



Компания

ЭНЕРГОМАШВИН

В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

3 электронная версия

Декабрь 2003 года

Аннотация:

В настоящее время в энергосистемах имеется значительное количество подстанций, с устройствами РЗА выполненными на устаревшей электромеханической релейной аппаратуре.

Эта аппаратура физически изношена, ее характеристики значительно отстают от современных требований по точности, энергопотреблению, возможности работать в экстремальных аварийных условиях.

Фирмой «Энергомашвин» разработан и выпускается комплекс аппаратуры на микроэлектронной и микропроцессорной базе, позволяющей без больших затрат выполнить модернизацию подстанций с переводом средств РЗА на современную базу. Разработаны схемы привязки аппаратуры к современным выключателям а также выключателям ранних выпусков. Фирма «Энергомашвин» может выполнить проект реконструкции РЗА, выбор уставок, монтаж шкафов РЗА, наладку аппаратуры. В тоже время представляемые фирмой материалы могут помочь заказчику выполнить указанные работы самостоятельно. Безусловно, предлагаемую аппаратуру и рекомендации можно использовать при проектировании новых объектов.

Значительное количество зарубежных и украинских фирм предлагают новую, микропроцессорную аппаратуру релейной защиты, которая соответствует современным требованиям и может быть использована для модернизации средств РЗА существующего электрооборудования, а также для новых объектов.

На Украине уже многие годы не выпускается техническая литература по вопросам релейной защиты и электроавтоматики, а старая литература в какой то степени устарела в части некоторых новых требований, и просто отсутствует на рынке. Предлагаемая книга, в основном использующая уже наработанный опыт выполнения защиты на электромеханических реле, в то же время включает в себя современные требования к релейной защите, которые могут быть реализованы на современной микроэлектронной и микропроцессорной аппаратуре.

Книга – это попытка фирмы «Энергомашвин» обобщить и старые данные в той части, в которой они сохранились в современных условиях, но и современные требования к построению защит и аппаратуре РЗА. Принципы выполнения защиты часто излагаются на основе схем на электромеханических реле, так как в таком случае легче разобраться в принципе выполнения устройств РЗА и предъявляемых к ним требованиям. И на основе этого перейти к изучению тех же функций на современной микроэлектронной и микропроцессорной базе. Для книги широко использовалась как ранее выпускавшаяся литература, так и книги современных авторов, а также техническая информация фирм производителей современной микроэлектронной и микропроцессорной аппаратуры.

Перечень использованной аппаратуры приведен в конце книги.

Данное издание книги предназначено для широкого круга специалистов релейщиков, в том числе начинающих – перед которыми стоит задача полной или частичной модернизации существующего или ввода нового оборудования и выбора аппаратуры, наиболее пригодной для использования в настоящих условиях. Для них нужна как общая техническая информация по вопросам выполнения релейной защиты, так и конкретная информация аппаратуре, методам выбора уставок и настройке защиты.

С целью более разностороннего информирования об имеющейся на рынке современной аппаратуре, а также часто отсутствующих данных об электромеханических защитах и первичном оборудовании, к книге добавлено приложение, в котором приводятся необходимые и имеющиеся в распоряжении фирмы сведения. Кроме этого, в состав диска включена подробная информация зарубежных фирм, таких как ALSTOM, GE, ABB, Siemens, Merlin Gerin и других о выпускаемой ими аппаратуре.

Выбор фирмы-производителя аппаратуры представляет сложную задачу, т.к. основные характеристики защиты и автоматики входящие в устройства совпадают. Разница лишь в деталях. Поэтому при выборе можно руководствоваться косвенными соображениями: ценой, наличием документации на русском языке, гарантиями фирмы. Следует иметь в виду, что микропроцессорные устройства, как и любые другие, могут отказывать. Ремонт устройства после истечения срока гарантии сложен, при отсутствии запчастей. Хорошо если в пределах досягаемости имеется сервисная фирма, которая может произвести

необходимый ремонт. Компания «Энергомашвин» оказывает помощь в ремонте изделий, которые она поставляет. Учитывая что большинство плат не ремонтпригодны и их нужно просто заменять. Поэтому при заказе следует позаботиться о том, как в последствии отремонтировать устройство. Следует заказать комплект запасных плат, особенно плат с выходными реле, которые могут сгореть, например, при отказе выключателя. Не помешает иметь по одному устройству каждого типа в запасе, Это позволит быстро заменить неисправное, а затем решать вопросы ремонта вышедшего из строя устройства. Следует иметь в виду и наличие программного обеспечения, которое позволит выявить место неисправности устройства или хотя бы определить поврежденную плату. Необходимо позаботиться о том, чтобы пройти обучение по вопросам применения, наладки, и ремонта изделий. Обычно обучение персонала включается в тендерную документацию и контракт на поставку аппаратуры.

Большое внимание в книге уделено вопросам применения аппаратуры фирмы «Энергомашвин», по которой фирма имеет значительный опыт разработки, изготовления и внедрения на энергетических предприятиях.

Фирма «Энергомашвин» может выполнить проект РЗА, выбор уставок, монтаж шкафов РЗА, наладку, как аппаратуре собственного производства, так и других зарубежных или украинских фирм. В тоже время представляемые фирмой материалы могут помочь заказчику выполнить указанные работы самостоятельно.

Украина, 04073, Киев, пр-т Красных Казаков 6, корп.1, тел/факс: 8-(10-38)-044-490-93-40 (-41,-42); **E-mail:** emv@emv.kiev.ua

Россия, 125083, Москва, а/я 77, АНО «Сотрудничество», ул. Верхняя Масловка, 20, тел/факс: (095) 795-08-34, 795-39-09 **E-mail:** info@emv.ru

Наш представитель в Белоруссии, г. Минск, ул. Романовская Слобода 5-107, тел. (017) 226-55-84

СОДЕРЖАНИЕ.

ВВЕДЕНИЕ	6
В.1. Назначение релейной защиты	6
В.2. Основные требования к релейной защите	7
В.3. Основные органы релейной защиты	11
В.4. Назначение и принцип действия технологической электроавтоматики	11
Глава 1. ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ, КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	15
1.1. Некоторые сведения о сетях переменного тока	15
1.2. Векторные диаграммы	16
1.3. Повреждения и ненормальные режимы работы в энергосистемах	24
1.4. Расчет токов короткого замыкания	31
1.5. Понятие о симметричных составляющих	42
1.6. Использование ПЭВМ для расчета коротких замыканий	43
Глава 2. УСТРОЙСТВА РЗА НА МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ	51
2.1. Общие принципы построения защит	51
2.2. Типовые схемы операционных усилителей, используемые в качестве функциональных элементов релейной защиты	58.
2.3. Примеры выполнения микроэлектронной аппаратуры	63.
Глава 3. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, АВТОМАТИКИ, ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ	95.
3.1. Основные характеристики микропроцессорных устройств	95
3.2. Краткое описание аппаратной части	95
3.3. Особенности обработки информации в цифровых реле	109
3.4. Особенности эксплуатации микропроцессорных защит и автоматики	114
3.5. Примеры устройств РЗА на микропроцессорах	124
Глава 4. ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ	132
4.1. Трансформаторы тока	132
4.2. Трансформаторы напряжения	142
Глава 5. ИСТОЧНИКИ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА	149
5.1. Аккумуляторная батарея	149
5.2. Шкаф управления оперативным током (ШУОТ)	153
5.3. Шкаф постоянного оперативного тока ШОТ-01 компании «ЭНЕРГОМАШВИН»	153
5.4. Блоки питания	157
5.5. Конденсаторные батареи	158
5.6. Схемы дешунтирования	158
5.7. Защиты с автономным питанием	158
5.8. Реле прямого действия	158
5.9. Выбор принципов использования оперативного тока на подстанциях	159
Глава 6. ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6-35 кВ	160
6.1. Основные принципы выполнения защиты	160
6.2. Применение аппаратуры и выбор уставок релейной защиты ВЛ 6-10кВ	168
6.3. Особенности выбора уставок на тупиковых ВЛ 35 кВ	178
Глава 7. ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 110-220кВ	183
7.1. Общие соображения	183
7.2. Особенности расчета токов и напряжений при коротком замыкании	184
7.3. Примеры выбора аппаратуры для тупиковых ВЛ 110-220кВ	189
7.5. Устройства защиты для ВЛ-110-220 кВ	209
Глава 8. ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ	215
8.1. Общие сведения	215
8.2. Требования к выполнению защит трансформатора	217
8.3. Дифференциальная защита	217
8.4. Газовая защита	233
8.5. Защита от сверхтоков при внешних КЗ (максимальная защита)	241
8.6. Токовая отсечка	223
8.7. Защита от перегрузки	241

8.8. Специальная защита нулевой последовательности от однофазных КЗ на стороне НН (0.4 кВ)	243
8.9. Резервирование защиты трансформатора	244
8.10. Примеры расстановки защит на трансформаторах	228
Глава 9. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	255
9.1. Общие соображения	255
9.2. Некоторые свойства асинхронных двигателей	257
9.3. Защита двигателей от междофазных КЗ	260
9.4. Защита электродвигателей от перегрузки	262
9.5. Дополнительные уставки реле MiCOM P220, связанные с тепловой перегрузкой двигателя	266
9.6. Защита двигателей от замыкания на землю	269
9.7. Защита минимального напряжения	271
9.8. Защита электродвигателей напряжением ниже 1000 В	272
9.9. Особенности защиты синхронных двигателей	275
9.10. Защита электродвигателей некоторых зарубежных фирм	274
Глава 10. АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ	281
Введение	281
10.1. Автоматическое повторное включение (АПВ)	281
10.2. Автоматический ввод резерва (АВР)	295
10.3. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)	313
10.4. Автоматическое регулирование напряжения в электрических сетях	325
11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА	332
11.1. Общие соображения	332
11.2. Принципы определения места КЗ по двухстороннему измерению параметров аварийного режима	333
11.3. Двухстороннее измерение на ЛЭП сложной конфигурации	335
11.4. Упрощенные способы одностороннего измерения	337
11.5. Некоторые положения теории дистанционных защит	338
11.6. Теория одностороннего измерения на линии	339
11.7. Методы и средства регистрации аварийного режима	342
11.8. Некоторые особенности цифровой регистрации	344
11.9. Цифровые регистраторы сигналов	345
Глава 12. ШКАФЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	349
12.1. Назначение	349
12.2. Конструкция шкафов	351
12.3. Специальные технические данные шкафов	352
Глава 13. УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕРКИ УСТРОЙСТВ РЗА	360
13.1. Основные характеристики установок	360
13.2. Испытательные установки для проверки простых защит	362
13.3. Устройства для проверки простых и сложных защит	367
13.4. Микропроцессорные системы для проверки средств РЗА	369
Глава 14. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ИНФОРМАЦИИ	386
Глава 15. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ШУНТОВЫХ БАТАРЕЙ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ	390
15.1. Общие соображения	390
15.2. Релейная защита БСК	396
15.3. Выбор аппаратуры для защиты БСК	399
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение П1. Условные обозначения, применяемые на электрических схемах	401
Приложение П2. Латинские и старые русские обозначения элементов	403
Приложение П3. Электрические характеристики линий электропередачи, трансформаторов и некоторых видов аппаратуры защиты применяемой в СНГ	404
Приложение П4. Коды ANSI применяемые для обозначения функций, входящих в состав микропроцессорных устройств РЗА	416
Приложение П5. Характеристики микропроцессорных устройств	

ВВЕДЕНИЕ

В.1 НАЗНАЧЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Электрические машины и аппараты, линии электропередачи и другие части электрических установок и электрических сетей постоянно находятся под напряжением и обтекаются током, вызывающим их нагрев. Поэтому в процессе эксплуатации могут возникать повреждения, приводящие к коротким замыканиям (КЗ).

Короткие замыкания возникают из-за пробоя или перекрытия изоляции, обрывов проводов, ошибочных действий персонала (включения под напряжение заземленного оборудования, отключения разъединителей под нагрузкой) и других причин.

В большинстве случаев в месте КЗ возникает электрическая дуга с высокой температурой, приводящая к разрушениям токоведущих частей, изоляторов и электрических аппаратов. При КЗ к месту повреждения подходят большие токи (токи КЗ), измеряемые тысячами ампер, которые перегревают неповрежденные токоведущие части и могут вызвать дополнительные повреждения, т. е. развитие аварии. Одновременно в сети, электрически связанной с местом повреждения, происходит глубокое понижение напряжения, что может привести к остановке электродвигателей и нарушению параллельной работы генераторов.

В большинстве случаев развитие аварий может быть предотвращено быстрым отключением поврежденного участка электрической установки или сети при помощи специальных автоматических устройств, получивших название **р е л е й н а я** защита, которые действуют на отключение выключателей.

При отключении выключателей поврежденного элемента гаснет электрическая дуга в месте КЗ, прекращается прохождение тока КЗ и восстанавливается нормальное напряжение на неповрежденной части электрической установки или сети. Благодаря этому сокращаются размеры или даже совсем предотвращаются повреждения оборудования, на котором возникло КЗ, а также восстанавливается нормальная работа неповрежденного оборудования.

Таким образом, основным назначением релейной защиты является выявление места возникновения КЗ и быстрое автоматическое отключение выключателей поврежденного оборудования или участка сети от остальной неповрежденной части электрической установки или сети.

Кроме повреждений электрического оборудования могут возникать такие нарушения нормальных режимов работы, как перегрузка, замыкание на землю одной фазы в сети с изолированными нейтралью, выделение газа в результате разложения масла в трансформаторе или понижение уровня масла в его расширителе и др.

В указанных случаях нет необходимости немедленного отключения оборудования, так как эти явления не представляют непосредственной опасности для оборудования и могут самоустраниться. Поэтому при нарушении нормального режима работы на подстанциях с постоянным обслуживающим персоналом, как правило, достаточно дать предупредительный сигнал персоналу подстанции. На подстанциях без постоянного обслуживающего персонала и в отдельных случаях на подстанциях с постоянным обслуживающим персоналом производится отключение оборудования, но обязательно с выдержкой времени.

Таким образом, вторым назначением релейной защиты является выявление нарушений нормальных режимов работы оборудования и подача предупредительных сигналов обслуживающему персоналу или отключение оборудования с выдержкой времени.

Если назначением релейной защиты является в первую очередь отключение оборудования, то в функции электроавтоматики входит его включение. В чистом виде к электроавтоматике относят автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резервного питания или механизма (сокращенно автоматический ввод резерва — АВР).

Существуют также некоторые виды технологической электроавтоматики, обслуживаемые персоналом служб РЗА.

К ним относят:

- автоматическое регулирование возбуждения генераторов и синхронных двигателей (АРВ);
- автоматическое регулирование положения переключателя РПН силового трансформатора (АРНТ);
- автоматическую настройку дугогасящих катушек компенсации емкостного тока замыкания на землю в сети 6-35кВ (АРК);
- автоматическую регулировку батареи статических конденсаторов;
- автоматику охлаждения силовых трансформаторов;
- автоматическую точную синхронизацию генераторов;
- автоматическую самосинхронизацию генераторов;
- автоматический частотный пуск гидрогенераторов (АЧП);
- определение места повреждения линий электропередачи (ОМП).

Кроме этого существует противоаварийная режимная автоматика.

К ней относят:

- автоматическую частотную разгрузку (АЧР);
- автоматическое включение потребителей, отключенных действием АЧР, после восстановления частоты (ЧАПВ);
- автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ);
- дополнительная автоматическая разгрузка по напряжению (ДАРН);
- дополнительная автоматическая разгрузка по току (ДАРТ);

Имеется также противоаварийная системная автоматика: разгрузка электростанций, предотвращение и прекращение асинхронного режима, предотвращение недопустимого повышения напряжения в узле, балансирующая автоматика. Такие устройства размещаются на крупных электростанциях и подстанциях сверхвысокого напряжения и не входят в рассмотрение в данной книге.

В.2 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

К релейной защите предъявляются основные требования:

Быстродействие

Как уже указывалось, быстрое отключение поврежденного оборудования или участка электрической установки предотвращает или уменьшает размеры повреждений, сохраняет нормальную работу потребителей неповрежденной части установки, предотвращает нарушение параллельной работы генераторов. Длительное протекание тока короткого замыкания может привести к повреждению неповрежденных участков оборудования линий, трансформаторов по которым протекает ток короткого замыкания из-за термического перегрева оборудования.

Допустимое время протекания тока через оборудование, не вызывающее его повреждения указываются в ГОСТах на оборудование.

Например, допустимое время КЗ для трансформатора определяется по формуле:

$$t_{\text{дон.}} = \frac{900}{K^2} \quad (\text{В.1})$$

где

K – отношение тока КЗ к номинальному току трансформатора. И в то же время отключения ТКЗ согласно инструкции по эксплуатации трансформатора не должны превышать 4–5 сек.

Приблизительно минимальное сечение проводов воздушных и кабельных линий должно составлять:

$$S_{\text{min}} = \frac{I_{k \text{ max}}}{C} \cdot \sqrt{t_{\text{откл}}} \quad (\text{В.2})$$

где

S_{min} – минимально допустимое сечение провода;

$I_{k \text{ max}}$ – ток КЗ в максимальном режиме в начале линии;

C – постоянная провода, зависящая от конструкции линии, наличия оболочки, натяжения провода, условий теплоотдачи и т.д. Для грубых расчетов можно принять $C = 69,5$;

$\sqrt{t_{\text{откл}}}$ – корень квадратный из времени отключения короткого замыкания при данном токе.

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{сз1}} + t_{\text{сз2}} = 2t_{\text{откл.выкл.}} \quad (\text{В.3})$$

где

$t_{\text{откл}}$ – полное время отключения КЗ;

$t_{\text{сз1}}$ – время срабатывания защиты до АПВ;

$t_{\text{сз2}}$ – время срабатывания защиты после АПВ;

$t_{\text{откл.выкл.}}$ – время отключения выключателя.

При этом считается, что за время АПВ температура провода существенно не снизится и время воздействия тока на нагрев провода суммируется. Для более точных расчетов следует использовать специальные методики.

Для обеспечения устойчивости параллельной работы генераторы, трансформаторы, линии электропередачи, по которым осуществляется параллельная работа и все другие части электрической установки или электрической сети должны оснащаться быстродействующей релейной защитой. Современные устройства быстродействующей релейной защиты имеют время действия 0,02–0,1 с.

Для распределительных сетей такое быстродействие необязательно. Оно определяется термической устойчивостью, но и в этом случае следует стремиться к минимально возможной выдержке времени. Время срабатывания быстродействующей ступени защиты должно составлять 0,05–0,1 с.

Селективность или избирательность

Селективностью называется способность релейной защиты выявлять место повреждения и отключать его только ближайшими к нему выключателями (см. рис. В.1).

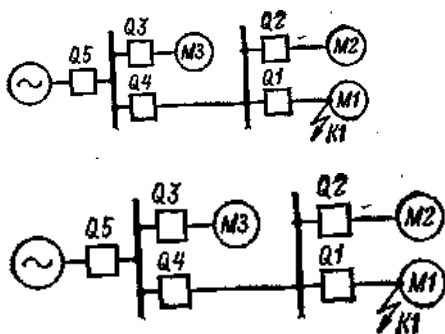


Рис. В.1 Схема электроустановки к пояснению принципа селективности релейной защиты.

Так, при КЗ в точке $K1$ (рис. В.1) для правильной ликвидации аварии должна подействовать защита только на выключателе $Q1$ и отключить этот выключатель. При этом остальная неповрежденная часть электрической установки останется в работе. Такое избирательное действие защиты называется селективным.

Если же при КЗ в точке $K1$ раньше защиты выключателя $Q1$ или одновременно с ней подействует защита выключателя $Q4$ и отключит этот выключатель, то ликвидация аварии будет неправильной, так как, кроме поврежденного электродвигателя $M1$, останется без напряжения неповрежденный электродвигатель $M2$. Такое действие защиты называется неселективным.

Из рис. В.1 видно, что если при КЗ в точке $K1$ подействует неправильно защита выключателя $Q5$ и отключит этот выключатель, то последствия такого неселективного действия будут еще более тяжелыми, так как без напряжения останутся оба неповрежденных электродвигателя $M2$ и $M3$.

Рассмотренный пример показывает, какое важное значение имеет выполнение требования селективности для обеспечения правильной ликвидации аварий.

В ряде случаев одновременное выполнение требований селективности и быстродействия вызывает серьезные трудности и требует существенного усложнения защиты. В таких случаях в первую очередь обеспечивается выполнение того из требований, которое в данных конкретных условиях является определяющим.

Применяется несколько способов обеспечения селективности.

Селективность по принципу действия. Защита принципиально не срабатывает при коротком замыкании вне зоны действия, например зона действия дифзащиты находится между ее трансформаторами тока.

Селективность по чувствительности. Ток, напряжение или сопротивление срабатывания выбирается таким образом, чтобы защита не действовала при коротком замыкании на смежной линии, или за трансформатором – отсечка.

Селективность по времени: Выдержка времени каждой предшествующей защиты вбирается на ступень селективности больше чем последующая. Поэтому она не успевает сработать, так как ее опережает защита последующей линии при коротком замыкании на ней. Этот принцип наиболее прост, однако имеет существенный недостаток заключающийся в том, что выдержка времени растет по мере приближения к источнику питания, а значит возрастания тока. Это противоречит принципу быстродействия, поэтому приходится определять, какой принцип – быстродействие или селективность важнее. Значительно улучшает положение применение ступенчатых защит или защит с зависимой выдержкой времени. Использование ступенчатых за-

щит будет изложено при рассмотрении принципов выполнения защиты оборудования. Величина ступени селективности определяется точностью защиты, быстродействием примененного выключателя и для современных микроэлектронных или микропроцессорных защит составляет 0.2–0.3 сек.

Чувствительность

Защита должна обладать такой чувствительностью к тем видам повреждений и нарушений нормального режима работы в данной электрической установке или электрической сети, на которые она рассчитана, чтобы было обеспечено ее действие в начале возникновения повреждения, чем сокращаются размеры повреждения оборудования в месте КЗ.

Чувствительность защиты должна также обеспечивать ее действие при повреждениях на смежных участках. Так, например, если при повреждении в точке К1 (рис. В.1) по какой-либо причине не отключится выключатель Q1, то должна подействовать защита следующего к источнику питания выключателя Q4 и отключить этот выключатель. Такое действие защиты называется дальним резервированием смежного или следующего участка.

Ток срабатывания должен быть меньше тока короткого замыкания на величину называемую коэффициентом чувствительности ($K_{\text{с}}$), напряжение и сопротивление срабатывания больше напряжения и сопротивления срабатывания на такую же величину. Коэффициент срабатывания учитывает погрешности реле, расчета параметров, влияние переходного сопротивления и электрической дуги в месте КЗ. Коэффициенты чувствительности нормируются в ПУЭ (л. 1), и величина их составляет для КЗ в защищаемой зоне $K_{\text{с}}=1.5$, в зоне резервирования — $K_{\text{с}}=1.2$, для быстродействующих дифференциальных защит $K_{\text{с}}=2$.

Надежность

Требование надежности состоит в том, что защита должна правильно и безотказно действовать на отключение выключателей оборудования при всех его повреждениях и нарушениях нормального режима работы, для действия при которых она предназначена, и не действовать в нормальных условиях, а также при таких повреждениях и нарушениях нормального режима работы, при которых действие данной защиты не предусмотрено, и должна действовать другая защита. Требование надежности обеспечивается совершенством принципов защиты и конструкций аппаратуры, добротностью деталей, простотой выполнения, а также уровнем эксплуатации.

Требуемое состояние устройств защиты поддерживается плановыми проверками релейной защиты, при которых необходимо выявить и устранить возникшие дефекты. У современных микропроцессорных и микроэлектронных устройств защиты существуют встроенные системы автоматической и тестовой проверки, которые позволяют быстро выявить появившиеся неисправности и тем самым предотвратить отказ или неправильную работу защиты. Глубина таких проверок может быть большой, но не 100%. поэтому наличие тестовых проверок или автоматического контроля не исключает необходимости плановых проверок, но существенно уменьшают частоту и объем их проведения.

Для дальнейшего повышения надежности применяют принципы ближнего или дальнего резервирования. Ближнее резервирование обеспечивается установкой на данном присоединении второй, резервной защиты, а для резервирования отказа выключателя — специального устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ). При дальнем резервировании отказ защиты и выключателя резервируется резервной защитой на вышестоящем, предшествующем элементе. Дальнее резервирование обеспечить в ряде случаев принципиально сложно, а то и невозможно. поэтому ПУЭ (л.1) допускает отказ от дальнего резервирования защитами линий, питающих отпаечные трансформаторы, а также защитой вводов питающих фидера, отходящие от шин НН, СН подстанций. При отсутствии такого резервирования, последствия отказа нерезервируемых защит очень тяжелы: это выгорание секций шин и трансформаторов на питающих подстанциях, выгорание отходящей линии на большом протяжении. Поэтому следует стремиться к применению дополнительных средств ближнего и дальнего резервирования, и отказываться от него только при полной технической невозможности. Затраты на до-

полнительные устройства рано или поздно себя окупят за счет спасения дорогостоящего оборудования.

В.3 ОСНОВНЫЕ ОРГАНЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Релейная защита состоит, как правило, из пусковых органов, измерительных органов и логической части.

Пусковые органы непосредственно и непрерывно контролируют состояние и режим работы защищаемого оборудования и реагируют на возникновение КЗ и нарушения нормального режима работы. Пусковые органы выполняются с помощью реле тока, напряжения, мощности и др.

На измерительные органы возлагается задача определения места и характера повреждения и принятие решения о необходимости действия защиты. Измерительные органы также выполняются с помощью реле тока, напряжения, мощности и др. Функции пускового и измерительного органа могут быть объединены в одном органе.

Логическая часть представляет собой схему, которая запускается пусковыми органами и, сопоставляя последовательность и продолжительность действия измерительных органов, производит отключение выключателей мгновенно или с выдержкой времени, запускает другие устройства, подает сигналы и производит прочие предусмотренные действия. Логическая часть состоит в основном из элементов времени (таймеров), логических элементов, промежуточных и указательных реле. В аналоговых и микропроцессорных устройствах к ним добавляются дискретные входы и индикаторные светодиоды.

В.4 НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Автоматическое регулирование возбуждения генераторов и синхронных двигателей (АРВ)

Автоматика управляет величиной тока возбуждения и воздействует на аппарат называемый возбудителем, который управляет током ротора генератор. Измерительные органы АРВ контролируют напряжение и ток генератора и поддерживают напряжение на выводах генератора согласно принятому закону регулирования. Возбудителем может быть машина постоянного тока, машина переменного тока, после которой установлен выпрямитель, трансформатор с тиристорным управлением током возбуждения. Для того чтобы обеспечить быстрый подъем напряжения при коротких замыканиях в состав АРВ включается форсировка возбуждения, быстро поднимающая напряжение на выводах генератора при его посадках.

Автоматическое регулирование положения переключателя РПН силового трансформатора (АРНТ)

Устанавливается на трансформаторах оснащенных РПН (регулятором под нагрузкой).

Регулирует уровень напряжения на шинах НН (НН и СН) трансформатора путем переключения количества витков на стороне высокого напряжения трансформатора. Трансформатор имеет несколько ответвлений (не менее 9), которые можно переключать под нагрузкой. Поскольку число витков меняется на стороне высокого напряжения, регулирование получается обратным: наибольшему количеству витков на стороне ВН соответствует наименьшее напряжение стороны ВН. Нумерация ответвлений идет в обратном порядке: наибольшему числу витков соответствует наименьший номер ответвления (1), а наименьшему - наибольший (9, 17 и т.д.). Поэтому, для того чтобы поднять напряжение на стороне НН, нужно увеличить номер ответвления. Переключение ответвлений производится в специальном отсеке безобрывно с помощью контакторов, расположенных в специальном отсеке. Этот отсек герметически изолирован от масла в баке трансформатора и имеет специальную газовую защиту на случай повреждения в нем. Подробное описание регулятора см. п. 10.4.

Автоматика настройки дугогасящих катушек компенсации емкостного тока замыкания на землю в сети 6-35кВ (АРК)

Катушка компенсации емкостного тока замыкания на землю включается в нейтраль трансформатора, подключенного к шинам, где производится регулирование. Индуктивность катушки (ДГК) меняется с помощью переключателя ответвления – ступенчато или плавно с помощью перемещения железного плунжера в магнитном зазоре сердечника ДГК. В последнем случае появляется возможность плавного регулирования индуктивности ДГК. Для автоматического регулирования применяются специальные регуляторы, получившие название РАНК или АРК. Регулирование производится до момента настройки системы в резонанс – емкость сети равна суммарной индуктивности дугогасящих катушек, т.е. емкостной ток замыкания на землю равен суммарному току ДГК. Наиболее широко используются 2 принципа регулирования: фазный – при настройке в резонанс ток замыкания на землю активный, поэтому ток в дугогасящей катушке совпадает по фазе с напряжением нулевой последовательности сети. Таким образом, фаза между током и напряжением, подаваемыми к регулятору должна быть равна 0° . На этом принципе работает регулятор РАНК. Экстремальный регулятор использует то явление, что при настройке в резонанс контура из индуктивности и емкости его сопротивление наибольшее, а значит и наибольшее напряжение нулевой последовательности (напряжение смещения нейтрали) в сети. Таким образом, регулятор должен находить наибольшее напряжение смещения нейтрали, а значит и точку резонансной настройки.

Автоматика регулировки батареи статических конденсаторов

Автоматика используется для дополнительной регулировки напряжения на шинах — при пониженном напряжении включается группа конденсаторов, которая это напряжение повышает. Кроме регулирования напряжения эта автоматика может служить для удержания коэффициента мощности ($\cos\varphi$) в электроустановках потребителей. Очень часто они обязываются поддерживать $\cos\varphi$ своей электроустановки на уровне 0.95, что и выполняется путем подключения регулируемой батареи конденсаторов. При регулировке напряжения используются 2 реле напряжения: реле повышения напряжения отключает группу конденсаторов, а реле понижения напряжения ее наоборот включает.

При регулировке $\cos\varphi$ используется реле реактивной мощности, установленное на стороне НН силового трансформатора (на кабельном вводе). Если подстанция принимает реактивную мощность больше определенной уставкой величины, включается дополнительная секция батареи, если она выдает эту мощность в сторону питающей линии, то батарея конденсаторов должна быть отключена.

Автоматика охлаждения силовых трансформаторов

Применяется для управления охлаждения масляных трансформаторов. Имеются три системы масляного охлаждения:

Д — дутьевое охлаждение: на охладителях трансформаторов устанавливаются дутьевые вентиляторы, обдувающие их воздухом. Масло в охладители поступает естественным путем: естественная циркуляция. Такая автоматика охлаждения работает по следующему принципу: вентиляторы включаются, если ток в трансформаторе достигает номинального независимо от температуры, или температура верхних слоев масла достигает $+ 55^\circ$ независимо от тока. Вентиляторы отключаются, если ток в трансформаторе снижается ниже 0.85-0.9 номинального (уставка определяется током возврата токового реле, пускающего охлаждение). и при этом отсутствует независимый пуск по температуре, а также в случае снижения температуры ниже $+ 50^\circ$ при отсутствии пуска по току нагрузки. Управляются одновременно все охладители. Таким образом, в схему автоматики входят два независимых пуска – по току и по температуре масла.

ДЦ — дутьевое с принудительной циркуляцией масла. Устанавливается на трансформаторах и автотрансформаторах большой мощности. Масло через охладители прокачивается специальными маслососами. Обычно такая система содержит 4 охладителя, или группы охладителей. Первая группа включается при подаче на трансформатор напряжения. Вторая группа

включается, когда ток через трансформатор превысит 40% номинального. Третья группа включается, если ток трансформатора превышает 80% номинального или температура масла превысит 50°. Четвертая группа является резервной и включается автоматически при отключении любой группы. Уставки даны условно, они определяются заводской инструкцией по эксплуатации системы охлаждения трансформатора.

Ц — циркуляционное охлаждение — применяется на автотрансформаторах и трансформаторах очень большой мощности. В этой системе масло прокачивается через промежуточные охладители, которые в свою очередь охлаждаются циркулирующей через них водой. Схема и уставки автоматики охлаждения определяются конструкцией трансформатора.

Практически все трансформаторы в распредсетях имеют систему охлаждения **Д**.

Автоматика точной синхронизации

Автоматика точной синхронизации обеспечивается устройством называемым автосинхронизатором. Он включается при приближении частоты вращения к номинальной и напряжению на генераторе к номинальному. На автосинхронизатор подается напряжение системы и генератора. Частота генератора подгоняется к частоте системы, напряжение генератора подгоняется к напряжению на шинах, Команда на включение генератора подается после подгонки с опережением равным времени включения выключателя таким образом, чтобы момент включения совпал с моментом совпадения фаз.

Автоматическая самосинхронизация

Применяется главным образом для гидрогенераторов синхронных компенсаторов и электродвигателей. При самосинхронизации частота генератора подгоняется приблизительно к частоте системы, а синхронные компенсаторы и электродвигатели асинхронным пуском разворачиваются до подсинхронной скорости вращения, после этого он включается в сеть, а затем на него подается возбуждение. Для контроля достижения необходимой скорости вращения используется специальное реле разности частот, на которое подается остаточное (без возбуждения) напряжение генератора и напряжение сети. Реле сравнивает частоты и дает разрешение на включение, при разнице частот меньшей заданной уставки.

Автоматический частотный пуск гидрогенераторов (АЧП)

Гидрогенераторы обладают важным системным качеством: они способны быстро включаться в сеть и нагружаться в отличие от паровых турбогенераторов, включение которых и набор мощности требует значительного времени, необходимого для прогрева турбины. Такое свойство гидрогенераторов используется для их автоматического пуска по частоте, получившего название АЧП. При снижении частоты до величины 49.0 – 49.3 Гц, АЧП поочередно разворачивает генераторы, включает их в систему методом самосинхронизации и нагружает генераторы до заданной величины.

Определение места повреждения линий электропередачи (ОМП)

Поиск места повреждения на линии представляет сложную задачу из-за значительной длины линии и бездорожья в тех местах, где она обычно проходит. Поэтому все линии напряжением 110 кВ и выше длиной свыше 20 км должны оснащаться средствами определения места повреждения. Желательно иметь такие средства и для линий меньшего напряжения и длины. Наиболее просто выглядит определение места короткого замыкания по его электрическим параметрам: току, напряжению, сопротивлению, которые изменяются при переносе точки КЗ вдоль линии. Параметры короткого замыкания запоминаются специальными приборами, называемыми фиксирующими или осциллографами, а затем, по полученным данным, производится расчет места повреждения. Микропроцессорные защиты, как правило, запоминают параметры аварийного режима, при которых работала защита, и их можно использовать для расчета. Более сложные устройства защиты (дистанционные) обладают встроенной функцией определения места повреждения. Место повреждения такими устройствами определяется по односторонним замерам непосредственно в километрах. Подробно такой вопрос рассмотрен в главе 12.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и АПВ после АЧР (ЧАПВ)

Устройства АЧР и ЧАПВ предназначены для поддержания частоты в допустимых пределах, при отсутствии в энергосистеме вращающегося резерва для ее поддержания на нужном уровне. При снижении частоты ниже заданного уровня начинают ступеньками отключаться потребители до тех пор, пока частота не достигнет длительно допустимого уровня. При появлении дополнительной генерации частота повышается, это повышение фиксируется измерительными органами ЧАПВ и начинается включение потребителей также ступеньками пока частота не выйдет за уставку ЧАПВ, что означает исчерпание появившегося резерва мощности. Подробно АЧР и ЧАПВ описаны в пункте 10.3.

Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ)

Все генераторы, работающие в энергосистеме оснащены средствами регулирования оборотов а значит и частоты. При понижении частоты эти регуляторы воздействуют на сервомоторы, увеличивающие расход пара в тепловую турбину или воды гидротурбину и таким образом регулировать мощность, а значит и частоту. Регулировать мощность целесообразно с учетом экономичности турбины, стремясь к тому, чтобы на более экономичных турбинах вырабатывать наибольшую мощность. Эти генераторы включаются в базу, что значит: регулирование обычно осуществляется менее экономичными турбинами. Есть много других причин, определяющих порядок разгрузки и загрузки генераторов в энергосистеме. Блок генератор-турбина должна иметь регулировочный диапазон. Ведь недостаточно открыть доступ пара в турбину для увеличения мощности блока, этот дополнительный пар нужно еще выработать, для чего в котел нужно подать больше воды и топлива и только после этого постепенно начнет увеличиваться мощность блока. При необходимости разгрузки приходится пар бесполезно сбрасывать в конденсатор, пока, после воздействия на котел, он уменьшит выработку пара. Регулировочный диапазон блока невелик, так как они разрабатывались для работы в базисном режиме, это означает, что именно при полной мощности достигается наибольшая экономичность и необходимый температурный режим блока. В базисе должны работать и атомные электростанции, стоимость выработки электроэнергии на которых значительно дешевле, чем на тепловых турбинах. На гидрогенераторах очень просто регулировать мощность, так как запас воды в водохранилище позволяет открыть направляющий аппарат турбины и набрать мощность и также легко снизить мощность, перекрывая доступ воды, лишняя вода просто останется в водохранилище. Однако количество воды в водохранилище меняется и, например в паводок, когда водохранилище заполнено, снижение мощности генератора заставит бесполезно сбрасывать воду в нижний бьеф. А, когда водохранилище сработано, нецелесообразно расходовать остатки воды, которые могут пригодиться в аварийной ситуации. Из вышесказанного ясно, почему нельзя использовать регуляторы скорости (оборотов) турбин для поддержания нужной частоты. Такую функцию выполняет специальная система регулирования частоты и активной мощности (АРЧМ). Эта система должна быть централизована. На верхнем уровне она определяет, на какие электростанции необходимо выполнять воздействие, а на уровне электростанции — определяет на какие конкретно блоки необходимо это воздействие направить. Вся эта структура связана каналами телемеханики и пока практически не работает. Причина отсутствие необходимого регулировочного диапазона заставляет регулировать мощность путем включения и отключения генераторов, ориентируясь на заранее рассчитанный график мощности, а вот уже отклонения от графика перекрывать за счет регулирования.

Дополнительная автоматическая разгрузка по напряжению (ДАРН)

Автоматика служит для разгрузки отключением фидеров при резком снижении напряжения на удаленных подстанциях в случае потери основного питания. Остается более слабое питание от удаленного источника. В таком случае не может быть обеспечен минимально допустимое напряжение у потребителя, что может привести к нарушению производства или даже повреждению оборудования — электродвигатели при понижении напряжения начинают потреблять больший ток из сети, что приводит к их перегрузке по току и повреждению. Автоматика действует так же как АЧР на отключение менее ответственных потребителей выбранных заранее и выполняется по таким же схемам.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и АПВ после АЧР (ЧАПВ)

Устройства АЧР и ЧАПВ предназначены для поддержания частоты в допустимых пределах, при отсутствии в энергосистеме вращающегося резерва для ее поддержания на нужном уровне. При снижении частоты ниже заданного уровня начинают ступеньками отключаться потребители до тех пор, пока частота не достигнет длительно допустимого уровня. При появлении дополнительной генерации частота повышается, это повышение фиксируется измерительными органами ЧАПВ и начинается включение потребителей также ступеньками пока частота не выйдет за уставку ЧАПВ, что означает исчерпание появившегося резерва мощности. Подробно АЧР и ЧАПВ описаны в пункте 10.3.

Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ)

Все генераторы, работающие в энергосистеме оснащены средствами регулирования оборотов а значит и частоты. При понижении частоты эти регуляторы воздействуют на сервомоторы, увеличивающие расход пара в тепловую турбину или воды гидротурбину и таким образом регулировать мощность, а значит и частоту. Регулировать мощность целесообразно с учетом экономичности турбины, стремясь к тому, чтобы на более экономичных турбинах вырабатывать наибольшую мощность. Эти генераторы включаются в базу, что значит: регулирование обычно осуществляется менее экономичными турбинами. Есть много других причин, определяющих порядок разгрузки и загрузки генераторов в энергосистеме. Блок генератор-турбина должна иметь регулировочный диапазон. Ведь недостаточно открыть доступ пара в турбину для увеличения мощности блока, этот дополнительный пар нужно еще выработать, для чего в котел нужно подать больше воды и топлива и только после этого постепенно начнет увеличиваться мощность блока. При необходимости разгрузки приходится пар бесполезно сбрасывать в конденсатор, пока, после воздействия на котел, он уменьшит выработку пара. Регулировочный диапазон блока невелик, так как они разрабатывались для работы в базисном режиме, это означает, что именно при полной мощности достигается наибольшая экономичность и необходимый температурный режим блока. В базисе должны работать и атомные электростанции, стоимость выработки электроэнергии на которых значительно дешевле, чем на тепловых турбинах. На гидрогенераторах очень просто регулировать мощность, так как запас воды в водохранилище позволяет открыть направляющий аппарат турбины и набрать мощность и также легко снизить мощность, перекрывая доступ воды, лишняя вода просто останется в водохранилище. Однако количество воды в водохранилище меняется и, например в паводок, когда водохранилище заполнено, снижение мощности генератора заставит бесполезно сбрасывать воду в нижний бьеф. А, когда водохранилище сработано, нецелесообразно расходовать остатки воды, которые могут пригодиться в аварийной ситуации. Из вышесказанного ясно, почему нельзя использовать регуляторы скорости (оборотов) турбин для поддержания нужной частоты. Такую функцию выполняет специальная система регулирования частоты и активной мощности (АРЧМ). Эта система должна быть централизована. На верхнем уровне она определяет, на какие электростанции необходимо выполнять воздействие, а на уровне электростанции — определяет на какие конкретно блоки необходимо это воздействие направить. Вся эта структура связана каналами телемеханики и пока практически не работает. Причина отсутствие необходимого регулировочного диапазона заставляет регулировать мощность путем включения и отключения генераторов, ориентируясь на заранее рассчитанный график мощности, а вот уже отклонения от графика перекрывать за счет регулирования.

Дополнительная автоматическая разгрузка по напряжению (ДАРН)

Автоматика служит для разгрузки отключением фидеров при резком снижении напряжения на удаленных подстанциях в случае потери основного питания. Остается более слабое питание от удаленного источника. В таком случае не может быть обеспечен минимально допустимое напряжение у потребителя, что может привести к нарушению производства или даже повреждению оборудования — электродвигатели при понижении напряжения начинают потреблять больший ток из сети, что приводит к их перегрузке по току и повреждению. Автоматика действует так же как АЧР на отключение менее ответственных потребителей выбранных заранее и выполняется по таким же схемам.

1 ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ, КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

1.1 НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

В большинстве электрических сетей применяется переменный ток, в связи с его существенными преимуществами перед постоянным. К ним можно отнести:

- Отсутствие необходимости его выпрямления, так как генераторы вырабатывают переменный ток, и для его выпрямления требуются механический (коллектор) или диодный выпрямитель.
- Легкость преобразования напряжения в другую величину с помощью трансформаторов. Это дает возможность использовать для передачи энергии высокие напряжения, которые создают меньшие потери энергии, а в местах использования – низкое напряжение, на котором токоприемники становятся проще и дешевле. Такая сеть выглядит следующим образом:

Генератор напряжением 3-24 кВ в зависимости от мощности, повышающий трансформатор и линия электропередачи напряжением до 750 кВ в зависимости от передаваемой мощности. На приемном конце – понижающий трансформатор, понижающий напряжение до величины, удобной для электроприемников: 10-0.4 кВ. Зачастую перед потребителем происходит несколько трансформаций напряжения – появляются промежуточные подстанции.

Сети могут быть однофазные и трехфазные. Однофазные сети состоят из прямого и обратного провода, т.е. для передачи требуется обязательно 2 провода. Трехфазная сеть состоит из трех проводов и таким образом обратный провод отсутствует. Причина в том, что в трехфазной симметричной сети сумма токов трех фаз равна нулю и таким образом исчезает необходимость в обратной проводке. Так происходит если нагрузка симметричная. Но если трехфазная сеть используется для питания однофазных электроприемников, то нагрузка по фазам может быть неодинакова и появляется необходимость в обратном проводе, в котором протекает разность токов трех фаз. Появляется т. н. четырехпроводная сеть переменного тока. К этой сети относятся сети 0.4 кВ бытового назначения.

Величины напряжения стандартизованы и величина их в странах СНГ соответствует следующей шкале:

220 В, 0.4; 1; 2; 3; 6; 10; 15; 20; 25; 35; 110; 154; 220; 330; 400; 500; 750; 1150 кВ.

При этом подразумевается величина напряжения между фазами – линейное напряжение.

Реальная величина напряжения электрических аппаратов может отличаться от этой шкалы на 5% и более – эта шкала поэтому именуется класс напряжения.

Трехфазные сети имеют четвертую точку, которая может существовать физически или условно. Эта точка называется нейтралью. Напряжение в этой точке равно геометрической сумме напряжений трех фаз, а напряжение фазы равно напряжению между фазным проводом и этой нейтральной точкой. Трехфазные аппараты могут иметь обмотки, которые соединяются между собой в звезду – концы всех обмоток соединяются в одну точку – это нейтраль – физически существующая нулевая точка. Если обмотки соединяются в треугольник – каждая обмотка подключается к 2 фазам – такая точка физически отсутствует, однако она существует – это земля, относительно которой и измеряются фазные напряжения. Напряжение между 2 фазами называется линейным (междуфазным напряжением), напряжение между фазой и землей – фазным.

По режиму нейтрали, сети разделяются на сети с изолированной нейтралью и заземленной.

К сетям с изолированной нейтралью относятся сети 220В и 1-35кВ. В этих сетях нулевая точка изолирована от земли или соединена с землей через большое сопротивление дугогасящего реактора или активное сопротивление 500 –100 Ом. Дугогасящий реактор компенсирует

емкостной ток замыкания на землю, и через место замыкания, при резонансной настройке реактора емкостной ток не протекает, протекает только относительно малый активный ток утечки. За рубежом широко применяется и начинает применяться у нас заземление нейтрали через резистор. При этом уменьшаются перенапряжения в сети при замыканиях на землю, и обеспечивается ток, достаточный для четкой работы защиты от замыкания на землю.

К сетям с заземленной нейтралью относятся сети 0,4 кВ и сети 110 -1050 кВ. В сетях с заземленной нейтралью, нейтраль обмотки трансформатора соединенной в звезду присоединяется к заземляющему контуру непосредственно или через малое сопротивление. Сети напряжением 110-220кВ называются также сетями с эффективно заземленной нейтралью. В таких сетях нейтраль части трансформаторов остается разземленной. Это снизит величину тока короткого замыкания и улучшает работу релейной защиты. Однако при этом требуется следить, чтобы ни в одном из возможных режимов не выделялся участок сети, где нейтрали всех трансформаторов изолированы.

1.2 ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ

Понятие о векторах. На рис. 1.1 приведена кривая изменения переменного тока во времени. Ток сначала растет от нуля (при $\varphi = 0^\circ$) до максимального положительного значения $+I_{max}$ (при $\varphi = 90^\circ$), затем убывает, переходит через нуль (при $\varphi = 180^\circ$), достигает максимального отрицательного значения $-I_{max}$ (при $\varphi = 270^\circ$) и, наконец, возвращается к нулю (при $\varphi = 360^\circ$). После этого цикл изменения тока повторяется.

Кривая изменения переменного тока во времени, приведенная на рис. 1.1, называется синусоидой.

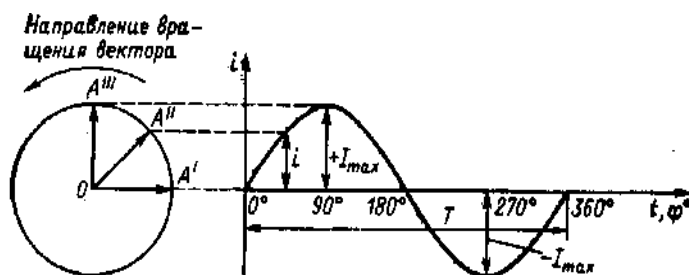


Рис. 1.1. Кривая изменения переменного тока во времени

Время T , в течение которого происходит полный цикл изменения тока, соответствующий изменению угла на 360° , называется периодом переменного тока. Число периодов за 1 с называется частотой переменного тока. В промышленных установках и в быту в странах Европы используется главным образом переменный ток частотой 50 Гц. Этот ток 50 раз в секунду принимает положительное и отрицательное направление. Изменение переменного тока во времени можно записать в следующем виде:

$$i = I_{max} \cdot \sin(\omega t + \alpha), \quad (1.1)$$

где

i — мгновенное значение тока, т. е. значение тока в каждый момент времени;

I_{max} — максимальное значение тока;

$\omega = 2\pi f$ — угловая частота переменного тока, $f = 50$ Гц, $\omega = 2\pi \cdot 50 = 314$;

α — начальный угол, соответствующий моменту времени, с которого начинается отсчет времени (при $t = 0$).

Для частного случая, показанного на рис. 1.1, $\alpha = 0^\circ$.

Анализируя действие устройств релейной защиты и автоматики, необходимо сопоставлять токи и напряжения, складывать или вычитать их, определять углы между ними и производить другие операции. Пользоваться при этом кривыми, подобными приведенной на рис. 1,1, неудобно, поскольку построение синусоид тока и напряжения занимает много времени и не дает простого и наглядного результата. Поэтому для упрощения принято изображать токи и напряжения в виде отрезков прямых линий, имеющих определенную длину и направление, — так называемых векторов (ОА на рис. 1.1). Один конец вектора закреплен в точке О — начало координат, а второй вращается против часовой стрелки.

Мгновенное значение тока или напряжения в каждый момент времени определяется проекцией на вертикальную ось вектора, длина которого равна максимальному значению тока или напряжения. Эта проекция будет становиться то положительной, то отрицательной, принимая максимальные значения при вертикальном расположении вектора. За время T , равное периоду переменного тока, вектор совершит полный оборот по окружности (360°), занимая последовательно положения ОА', ОА'', ОА''' и т. д. При частоте переменного тока 50 Гц вектор будет совершать 50 об/с.

Таким образом, вектор тока или напряжения — это отрезок прямой, равный по величине максимальному значению тока или напряжения, вращающийся относительно точки О против движения часовой стрелки со скоростью, определяемой частотой переменного тока. Зная положение вектора в каждый момент времени, можно определить мгновенное значение тока или напряжения в данный момент.

Так, для положения вектора тока ОА, показанного на рис. 1.2, его мгновенное значение определяется проекцией на вертикальную ось, т. е. $OA'' = OA \sin \varphi$.

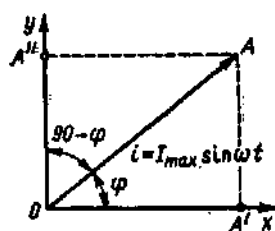


Рис. 1.2 Определение положения вектора на плоскости

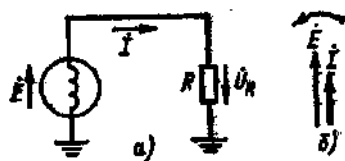


Рис. 1.3 Однофазная цепь переменного тока

а — схема цепи;
б — векторная диаграмма ЭДС и тока

На основании рис. 1.2 можно также сказать, что ток в данный момент времени имеет положительное значение. Однако это еще не дает полного представления о протекании процесса в цепи переменного тока, так как неизвестно, что значит положительный или отрицательный ток, положительное или отрицательное напряжение.

Для того чтобы векторные диаграммы токов и напряжений давали полную картину, их нужно увязать с фактическим протеканием процесса в цепи переменного тока, т. е. необходимо предварительно принять условные положительные направления токов и напряжений в рассматриваемой схеме. Без выполнения этого условия, если не заданы положительные направления токов и напряжений, любая векторная диаграмма не имеет никакого смысла.

Рассмотрим простую однофазную цепь переменного тока, приведенную на рис. 1,3, а. От однофазного генератора энергия передается в активное сопротивление нагрузки R . Зададимся положительными направлениями токов и напряжений в рассматриваемой цепи. За условное положительное направление напряжения и ЭДС примем направление, когда потенциал вывода генератора или нагрузки, связанного с линией, выше потенциала вывода, соединенного с землей. В соответствии с правилами, принятыми в электротехнике, положительное направление для ЭДС обозначено стрелкой, направленной в сторону более высокого потенциала (от земли к линейному выводу), а — для напряжения — стрелкой, направленной в сторону более

низкого потенциала (от линейного вывода к земле). Переменный ток будем считать положительным, когда во внешней цепи он проходит от шин генератора к нагрузке (обозначено стрелкой). Построим векторы ЭДС и тока, характеризующие работу рассматриваемой, цепи (рис. 1.3, б). Вектор ЭДС произвольно обозначим вертикальной линией со стрелкой, направленной вверх. Для построения вектора тока запишем для цепи уравнение согласно второму закону Кирхгофа;

отсюда

$$I = \frac{E}{R} \quad (1.2)$$

Поскольку знаки векторов тока и ЭДС в выражении (1.2) совпадают, вектор тока будет совпадать с вектором ЭДС и на рис. 1.3.б.

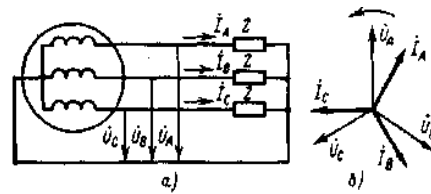


Рис. 1.4 Трехфазная цепь переменного тока.

а – схема цепи;

б – векторная диаграмма токов и напряжений

Здесь и в дальнейшем при построении векторов будем откладывать их по величине равными эффективному значению тока и напряжения, что удобно для выполнения различных математических операций с векторами. Как известно, эффективные значения тока и напряжения в $\sqrt{2}$ раз меньше соответствующих максимальных (амплитудных).

При заданных положительных направлениях тока и напряжения однозначно определяется и знак мощности. Положительной в рассматриваемом случае будет считаться мощность, направленная от шин генератора в линию:

$$P = EI \cdot \cos \varphi = EI \cdot \cos 0^\circ = EI \quad (1.3)$$

так как векторы тока и ЭДС на рис. 1.3, б совпадают.

Аналогичные соображения могут быть высказаны и для трехфазной цепи переменного тока, показанной на рис. 1.4, а. В этом случае во всех фазах приняты одинаковые положительные направления, чему соответствует симметричная диаграмма токов и напряжений, приведенная на рис. 1.7, б. Отметим, что симметричной называется такая трехфазная система векторов, когда все три вектора равны по величине и сдвинуты относительно друг друга на угол 120° .

Операции с векторами. Когда мы рассматриваем только одну кривую тока или напряжения, начальное значение угла, с которого начинается отсчет, или, иначе говоря, положение вектора на диаграмме, соответствующее началу времени, может быть принято произвольным. Если же одновременно рассматриваются два или несколько токов и напряжений, то, задавшись начальным положением на диаграмме одного из векторов, мы тем самым уже определяем положение всех других векторов.

Все три вектора: фазных напряжений: $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$, показанные на рис. 1.4, б, вращаются против часовой стрелки с одинаковой скоростью, определяемой частотой переменного тока. При этом они пересекают вертикальную ось, совпадающую с направлением вектора \vec{U}_A на рис. 1.4, б, поочередно с определенной последовательностью, а именно $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$, которая на-

зывается чередованием фаз напряжения (или тока). Для того чтобы определить взаимное расположение двух векторов, обычно говорят, что один из них **опережает** или **отстает** от другого. При этом опережающим считается вектор, который при вращении против часовой стрелки раньше пересечет вертикальную ось. Так, например, можно сказать, что вектор напряжения \dot{U}_A на рис. 1.7, б опережает \dot{U}_B на угол 120° или, с другой стороны, вектор \dot{U}_C отстает от вектора \dot{U}_B на угол 120° . Как видно из рис. 1.7, выражение «вектор отстает на угол 120° », равноценно выражению «вектор опережает на угол 240° ».

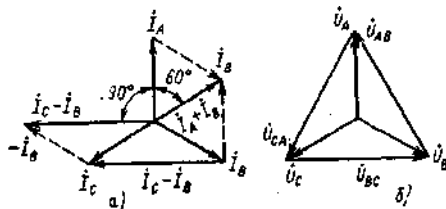


Рис. 1.5. Сложение и вычитание векторов: а — токов; б — напряжений

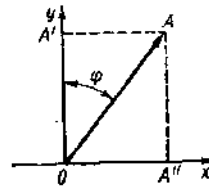


Рис. 1.6. К определению вектора через его проекции на перпендикулярные оси

Сложение векторов производится геометрическим суммированием по правилу параллелограмма, как показано на рис. 1.5, а, на котором построена сумма токов $(\dot{I}_A + \dot{I}_B)$. Так как вычитание — действие, обратное сложению, для определения разности токов (например, $(\dot{I}_C - \dot{I}_B)$) достаточно к току \dot{I}_C прибавить вектор, обратный \dot{I}_B . Вместе с тем на рис. 1.5, а показано, что вектор разности токов $(\dot{I}_C - \dot{I}_B)$ можно построить проще, соединив линией концы векторов \dot{I}_C и \dot{I}_B . При этом стрелка вектора разности токов направляется в сторону первого вектора, т. е. \dot{I}_C .

Аналогично строится векторная диаграмма междуфазных напряжений, например, $\dot{U}_B - \dot{U}_C = \dot{U}_{BC}$ (рис. 1.5, б).

Очевидно, что положение вектора на плоскости определяется его проекциями на две любые оси. Так, например, для того чтобы определить положение вектора ОА (рис. 1.6), достаточно знать его проекции на взаимно перпендикулярные оси.

$$OA' = OA \cdot \cos \varphi$$

$$OA'' = OA \cdot \sin \varphi = OA \cos(90 - \varphi)$$

Отложим на осях координат проекции векторов OA' и OA'' и восстановим из точек A' и A'' перпендикуляры к осям. Точка пересечения этих перпендикуляров и есть точка A — один конец вектора, вторым концом которого является точка O — начало координат.

Назначение векторных диаграмм. Работникам, занимающимся проектированием и эксплуатацией релейной защиты, часто приходится использовать в своей работе так называемые векторные диаграммы — векторы токов и напряжений, построенные на плоскости в определенном сочетании, соответствующем электрическим процессам, происходящим в рассматриваемой схеме.

Анализ векторных диаграмм токов и напряжений является одним из важных, а в ряде случаев единственным способом проверки правильности соединения цепей тока и напряжения и включения реле в схемах дифференциальных и направленных защит.

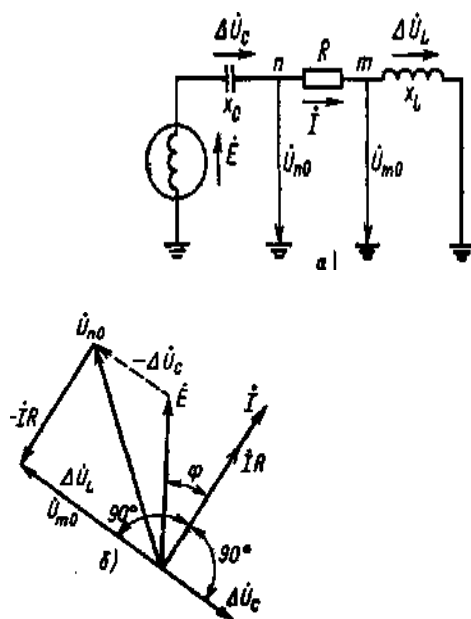


Рис.1.7 К расчету цепи переменного тока
а – схема цепи;
б – векторная диаграмма

По сути построение векторной диаграммы целесообразно во всех случаях, когда к рассматриваемому реле подаются две или более электрические величины: разность токов в максимальной токовой или дифференциальной защите, ток и напряжение в реле направления мощности или в направленном реле сопротивления. Векторная диаграмма позволяет сделать заключение о том, как рассматриваемая защита будет работать при КЗ, т. е. оценить правильность ее включения. Взаимное расположение векторов токов и напряжений на диаграмме определяется характеристикой рассматриваемой цепи, а также условно принятыми положительными направлениями токов и напряжений.

Для примера рассмотрим две векторные диаграммы.

На рис. 1.7 показана однофазная цепь переменного тока, состоящая из генератора и последовательно соединенных емкостного, активного и индуктивного сопротивлений примем при этом, что индуктивное сопротивление больше емкостного ($X_L > X_C$). Положительные направления токов и напряжений, так же как и в случаях, рассмотренных выше, обозначены на рис. 1.7, а стрелками.

Построение векторной диаграммы начнем с вектора ЭДС E , который расположим на рис. 1.7,б вертикально. Ток, проходящий в рассматриваемой цепи, определится из следующего выражения:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (1.4)$$

Поскольку в рассматриваемой цепи имеются активные и реактивные сопротивления, причем $X_L > X_C$, вектор тока отстает от вектора напряжения на угол φ :

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$$

Напряжение в точке n на рис. 1.7, а определится согласно следующему выражению:

$$\bar{U}_{n0} = \bar{E} - \Delta \bar{U}_C$$

На рис. 1.7, б построен вектор \dot{U}_C отстающий от вектора \dot{I} на угол 90° . Напряжение в точке $л$ $U_{л}$ определится разностью векторов \dot{E} и \dot{U}_C . Напряжение в точке $т$ определится аналогично:

$$\dot{U}_{mo} = \dot{U}_{no} - \dot{I}R$$

Как видно из рас. 1.7, б, этот последний вектор \dot{U}_{mo} будет равен падению напряжения в индуктивном сопротивлении \dot{U}_L .

Рассмотрим другую цепь переменного тока, приведенную на рис. 1.8, а, и построим векторную диаграмму, характеризующую распределение токов в параллельных ветвях. Для построения диаграммы примем, что активное и емкостное сопротивления равны:

$$R = XC$$

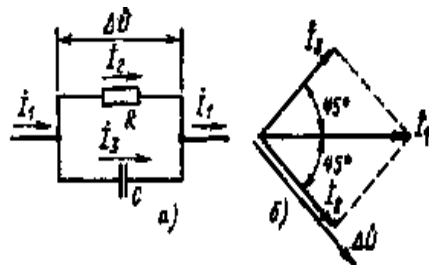


Рис.1.8. К расчету распределения тока

а – схема цепи;

б – векторная диаграмма токов

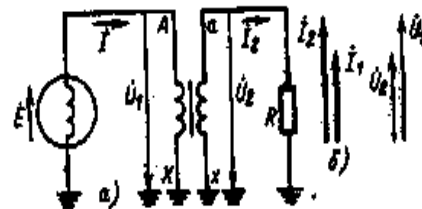


Рис.1.9.К определению условных положительных направлений токов и напряжений в обмотках трансформатора

а – схема цепи;

б – диаграмма токов и напряжений в обмотках трансформатора

Построение векторной диаграммы начнем с вектора I_1 , который расположим горизонтально. Затем построим вектор падения напряжения на сопротивлениях $A U$, отстающий от вектора I_1 на угол φ , так как результирующее сопротивление имеет активно-емкостный характер. Угол определяется следующим выражением:

$$\varphi = \arctg \frac{X_c}{R}$$

В рассматриваемом случае $\varphi = 45^\circ$. Вектор тока \dot{U}_2 , проходящего по активному сопротивлению, совпадает с \dot{U} , а \dot{I}_3 опережает \dot{U} на 90° , как показано на рис. 1.7,б.

Векторные диаграммы при наличии трансформации. При наличии в электрической цепи трансформаторов необходимо ввести дополнительные условия, для того чтобы сопоставлять векторные диаграммы токов и напряжений на разных сторонах трансформатора. Положительные направления токов при этом следует задавать с учетом полярности обмоток трансформатора. В зависимости от направления намотки обмоток трансформатора взаимное направление токов в них меняется. Для того чтобы определять направление токов в обмотках

силового трансформатора и сопоставлять их между собой, обмоткам трансформатора дают условные обозначения «начало» и «конец».

В схеме, приведенной на рис. 1.3, между источником ЭДС и нагрузкой включим трансформатор (рис. 1.9, а). Обозначим начала обмоток силового трансформатора буквами *A* и *a*, концы — *X* и *x*. При этом следует иметь в виду, что начало одной из обмоток принимается произвольно, а второй — определяется на основании условных положительных направлении токов, заданных для обеих обмоток трансформатора.

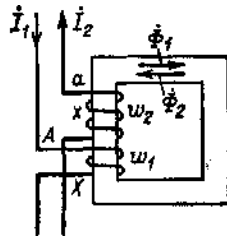


Рис. 1.10

На рис. 1.9, а показаны положительные направления токов в обмотках силовых трансформаторов. В первичной обмотке положительным считается направление тока от начала к концу, а во вторичной — от конца к началу. При таких условно принятых положительных направлениях токов в обмотках трансформатора направление тока в нагрузке остается таким же, каким оно было бы при отсутствии трансформатора и непосредственном подключении нагрузки к генератору (см. рис. 1.6 и 1.12). При этом, поскольку магнитные потоки, создаваемые в магнитопроводе трансформатора обоими токами (первичным и вторичным), направлены встречно (рис. 1.10), для идеального трансформатора, пренебрегая током намагничивания, можно записать следующее равенство:

$$\phi_1 - \phi_2 = 0 \text{ или } I_1 w_1 - I_2 w_2 = 0 \quad (1.5)$$

где ϕ_1 и ϕ_2 — магнитные потоки в магнитопроводе трансформатора, а $I_1 w_1$ и $I_2 w_2$ — магнитодвижущие силы (МДС), создающие эти потоки.

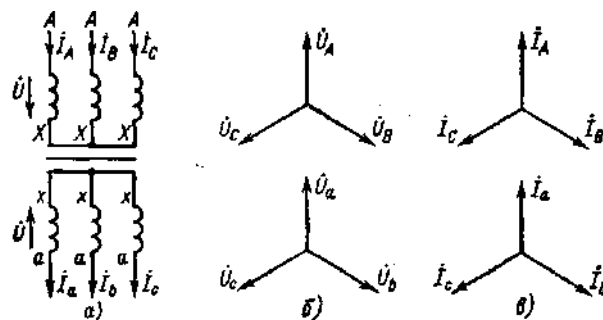


Рис. 1.11 Включение трансформатора по схеме У/У-12:

- а — схема соединения обмоток;
- б — векторная диаграмма напряжений;
- в — векторная диаграмма токов

Из последнего уравнения:

$$I_1 = I_2 \left(\frac{w_1}{w_2} \right) \quad (1.6)$$

Согласно последнему равенству векторы \dot{I}_1 и \dot{I}_2 имеют одинаковые знаки и, следовательно, будут совпадать по направлению (см. рис. 1.12, б). Таким образом, условно принятые положительные направления токов в обмотках трансформатора удобны тем, что векторы первичного и вторичного токов на векторной диаграмме совпадают по направлению (рис. 1.9,б). Для напряжений также удобно принять такие положительные направления, чтобы векторы первичного и вторичного напряжений на обмотках совпадали, как показано на рис. 1.9.

В рассматриваемом случае имеет место соединение обмоток трансформатора по схеме 1/1-12. Соответственно для трехфазного трансформатора У/У-12 схема соединений и векторная диаграмма токов и напряжений показаны на рис. 1.12.

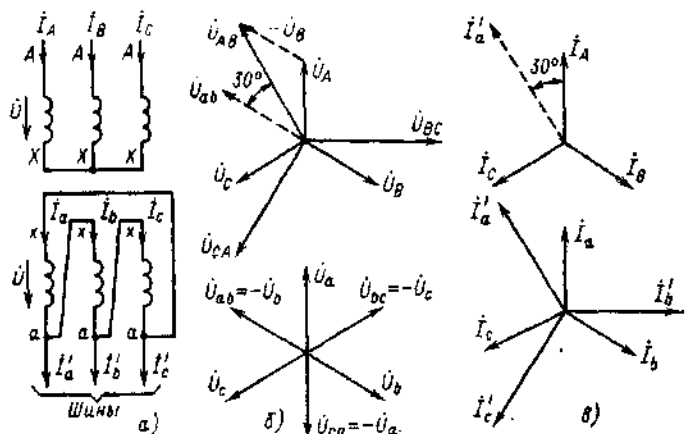


Рис. 1.12 Включение трансформатора по схеме У/Δ-11:

а – схема соединения обмоток;

б – векторная диаграмма напряжений;

в – векторная диаграмма токов

На рис. 1.12, б построены векторные диаграммы напряжений, соответствующие схеме соединения трансформатора У/Δ-11. На стороне высшего напряжения, где обмотки соединены в звезду, междуфазные напряжения в $\sqrt{3}$ раз превышают фазные напряжения. На стороне же низшего напряжения, где обмотки соединены в треугольник, междуфазные и фазные напряжения равны. Векторы междуфазных напряжений стороны низшего напряжения опережают на 30° аналогичные векторы междуфазных напряжений стороны высшего напряжения, что и соответствует схеме соединений У/Δ-11.

Для рассматриваемой схемы соединений обмоток трансформатора можно построить и векторные диаграммы токов, проходящих с обеих его сторон. При этом следует иметь в виду, что на основании принятых нами условий определяются только положительные направления токов в обмотках трансформатора. Положительные же направления токов в линейных проводах, соединяющих выводы обмоток низшего напряжения трансформатора с шинами, могут быть приняты произвольно независимо от положительных направлений токов, проходящих в треугольнике.

Так, например, если принять положительные направления токов в фазах, проходящих в треугольнике на стороне низшего напряжения в сторону выводов к **шинам** (рис. 1.12, а), можно записать следующие равенства:

$$\dot{I}'_a = \dot{I}_a - \dot{I}_c; \quad \dot{I}'_b = \dot{I}_b - \dot{I}_c; \quad \dot{I}'_c = \dot{I}_c - \dot{I}_a \quad (1.7)$$

Соответствующая векторная диаграмма токов показана на рис. 1.12, в.

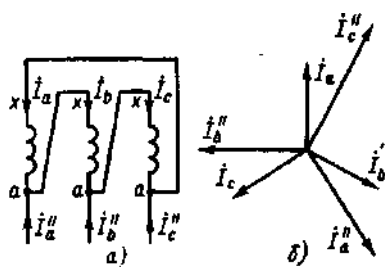


Рис. 1.13 Векторная диаграмма токов при изменении положительных направлений токов на выводах обмоток, соединенных в треугольник на стороне низшего напряжения

Аналогично можно построить векторную диаграмму токов и для случая, когда положительные направления токов приняты от шин к выводам треугольника (рис. 1.14, а). Этому случаю соответствуют следующие равенства:

$$\dot{I}_a'' = \dot{I}_a - \dot{I}_c; \quad \dot{I}_b'' = \dot{I}_b - \dot{I}_c; \quad \dot{I}_c'' = \dot{I}_c - \dot{I}_a \quad (1.8)$$

и векторные диаграммы, приведенные на рис. 1.13,б.

Сравнивая диаграммы токов, приведенные на рис. 1.12,в и 1.13, б, можно сделать вывод, что векторы фазных токов, проходящих в проводах, соединяющих выводы обмоток низшего напряжения трансформатора и шины, находятся в противофазе. Конечно, как те, так и другие диаграммы верны.

Таким образом, при наличии в схеме обмоток, соединенных в треугольник, необходимо задаваться положительными направлениями токов, как в самих обмотках, так и в линейных проводах, соединяющих треугольник с шинами.

В рассматриваемом случае при определении группы соединений силового трансформатора удобно за положительные принимать направления от выводов низшего напряжения к шинам, так как при этом векторные диаграммы токов совпадают с принятым обозначением групп соединения силовых трансформаторов (см. рис. 1.12, б и в). Аналогично могут быть построены векторные диаграммы токов и для других групп соединения силовых трансформаторов.

Сформулированные выше правила построения векторных диаграмм токов и напряжений в схемах с трансформаторами действительны и для измерительных трансформаторов тока и напряжения.

1.3 ПОВРЕЖДЕНИЯ И НЕНОРМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Основные сведения о коротких замыканиях. Короткие замыкания, возникающие в электрических сетях, машинах и аппаратах, отличаются большим разнообразием как по виду, так и по характеру повреждения.

Для упрощения расчетов и анализа поведения релейной защиты при повреждениях исключаются отдельные факторы, не оказывающие существенного влияния на значения токов и напряжений.

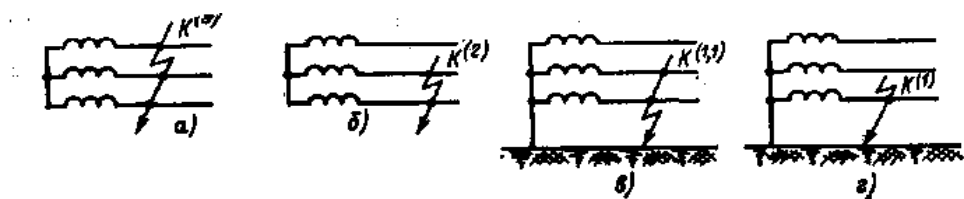


Рис. 1.14 Основные виды коротких замыканий:

а – трехфазное; б – двухфазное;

в – двухфазное на землю; г – однофазное

В частности, как правило, не учитывается при расчетах переходное сопротивление в месте КЗ и все повреждения рассматриваются как непосредственное (или, как говорят, «глухое» или «металлическое») соединение фаз между собой или на землю (для сети с заземленной нейтралью). Не учитываются токи намагничивания силовых трансформаторов и емкостные токи линий электропередачи напряжением до 330 кВ. Сопротивления всех трех фаз считаются одинаковыми.

Основные виды КЗ показаны на рис. 1.14. Междофазные КЗ — двухфазные и трехфазные — возникают в сетях как с заземленной, так и с изолированной нейтралью. Однофазные КЗ могут происходить только в сетях с заземленной нейтралью.

Основными причинами, вызывающими повреждения на линиях электропередачи, являются перекрытия изоляции во время грозы, схлестывания и обрывы проводов при гололеде, набросы, перекрытия загрязненной и увлажненной изоляции, ошибки персонала и др.

Трехфазное короткое замыкание. Симметричное трехфазное КЗ — наиболее простой для расчета и анализа вид повреждения. Он характерен тем, что токи и напряжения всех фаз равны по значению как в месте КЗ, так и в любой другой точке сети:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_b = \dot{I}_c; \quad \dot{U}_a = \dot{U}_b = \dot{U}_c \quad (1.9)$$

Векторная диаграмма токов и напряжений при трехфазном КЗ приведена на рис. 1.15. Поскольку рассматриваемая система симметрична, ток, проходящий в каждой фазе, отстает от создающей его ЭДС на одинаковый угол (φ_n), определяемый соотношением активного и реактивного сопротивлений цепи короткого замыкания:

$$\varphi_n = \arctg \frac{X_\Sigma}{R_\Sigma} \quad (1.10)$$

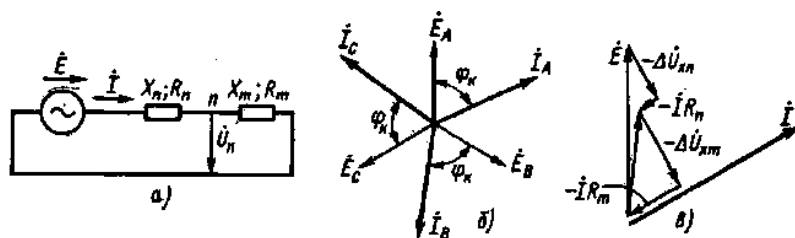


Рис. 1.15 Трехфазное КЗ;

а – расчетная схема; б – диаграмма токов и напряжений в месте КЗ; в – векторная диаграмма для определения напряжений в промежуточных точках сети.

Для линий 110 кВ этот угол равен 60—78°; 220 кВ (один провод в фазе) — 73—82°; 330 кВ (два провода в фазе) — 80—85°; 500 кВ (три провода в фазе) — 84—87°; 750 кВ (четыре про-

вода в фазе) — 86—88° (большие значения угла соответствуют большим сечениям проводов).

Напряжение в месте КЗ равно нулю, а в любой другой точке сети может быть определено, как показано на рис. 1.15, б. Так как все фазные и междуфазные напряжения в точке трехфазного короткого замыкания равны нулю, а в точках, удаленных от места КЗ на небольшое расстояние, незначительны по значению, рассматриваемый вид повреждения представляет наибольшую опасность для работы энергосистемы с точки зрения устойчивости параллельной работы электростанций и узлов нагрузки.

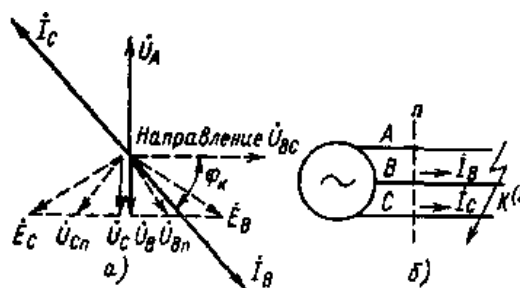


Рис. 1.16 Двухфазное КЗ между фазами В и С

а – векторная диаграмма токов и напряжений; б – схема сети

Двухфазное короткое замыкание. При двухфазном КЗ токи и напряжения разных фаз неодинаковы. Рассмотрим соотношения токов и напряжений, характерные для двухфазного КЗ между фазами В и С (рис. 1.19). В поврежденных фазах и месте КЗ проходят одинаковые токи, а в неповрежденной фазе ток отсутствует

$$\dot{I}_a = 0; \quad \dot{I}_b = \dot{I}_c \quad (1.11)$$

Междуфазное напряжение (\dot{U}_{bc}) в месте КЗ равно нулю, а фазные напряжения

$$\dot{U}_b = \dot{U}_c = \frac{\dot{E}}{2}; \quad \dot{U}_{bc} = 0 \quad (1.11a)$$

Так же как и при трехфазном КЗ, токи, проходящие в поврежденных фазах, отстают от создающей их ЭДС (в данном случае от ЭДС \dot{E}_{bc} или параллельного ему вектора \dot{U}_{bc} на угол φ_k , определяемый соотношением активных и реактивных сопротивлений цепи.

Соответствующие векторные диаграммы для места КЗ построены на рис. 1.19, а. По мере удаления от места КЗ фазные напряжения U_B, U_C и междуфазное напряжение \dot{U}_{ac} будут увеличиваться, как показано на рис. 1.16, а штриховыми линиями для точки л.

С точки зрения влияния на устойчивость параллельной работы генераторов и на работу электродвигателей рассматриваемый вид повреждения представляет значительно меньшую опасность, чем трехфазное КЗ.

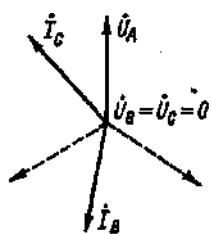


Рис. 1.17. Векторная диаграмма токов и напряжений в месте двухфазного КЗ между фазами В и С на землю

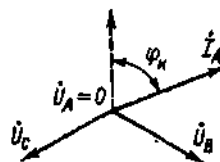


Рис. 1.18. Векторная диаграмма токов и напряжений в месте однофазного КЗ на землю фазы А

Двухфазное короткое замыкание на землю в сети с заземленной нейтралью. Этот вид повреждения для сетей с изолированной нейтралью практически не отличается от двухфазного КЗ. Токи, проходящие в месте КЗ и в ветвях рассматриваемой схемы, а также междуфазные напряжения в разных точках сети имеют те же самые значения, что и при двухфазном КЗ.

В сетях же с заземленной нейтралью двухфазное КЗ на землю значительно более опасно, чем двухфазное КЗ. Это объясняется более значительным снижением междуфазных напряжений в месте КЗ, так как одно междуфазное напряжение уменьшается до нуля, а два других — до значения фазного напряжения неповрежденной фазы (рис. 1.17).

Соотношения токов и напряжений в месте КЗ для этого вида повреждения имеют следующий вид:

$$\dot{I}_a = 0; \quad \dot{U}_b = \dot{U}_c = 0 \quad (1.12)$$

Однофазное короткое замыкание в сети с заземленной нейтралью.

Однофазное КЗ может иметь место только в сетях с заземленной нейтралью). Векторные диаграммы токов и напряжений в месте однофазного КЗ фазы А приведены на рис. 1.18, а формулы, определяющие соотношения между ними, даны ниже:

$$\dot{U}_a = 0; \quad \dot{I}_b = \dot{I}_c = 0 \quad (1.13)$$

Однофазные КЗ, сопровождающиеся снижением до нуля в месте повреждения только одного фазного напряжения, представляют меньшую опасность для работы энергосистемы, чем рассмотренные выше междуфазные КЗ.

Однофазное замыкание на землю в сети с малым током замыкания на землю. В сетях с малыми токами замыкания на землю, к которым относятся сети 3—35 кВ, работающие с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор, замыкание одной фазы на землю сопровождается значительно меньшими токами, чем токи КЗ.

При замыкании на землю одной фазы фазное напряжение поврежденной фазы (U_a на рис. 1.19, а) относительно земли становится равным нулю, а напряжения неповрежденных фаз U_b и U_c увеличиваются в 1,73 раза и становятся равными междуфазным ($\dot{U}_{b(1)}$ и $\dot{U}_{c(1)}$ на рис. 1.19, б).

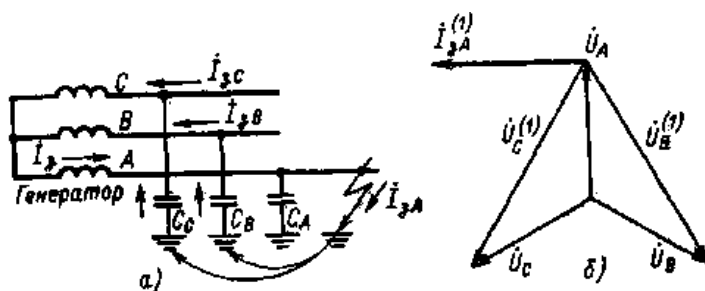


Рис. 1.19 Однофазное замыкание на землю фазы A в сети с малым током замыкания на землю (изолированная нейтраль)

Под действием напряжений \dot{U}_B и \dot{U}_C через место повреждения проходит ток \dot{I}_{3A} , замыкающийся через емкости неповрежденных фаз B и C . Емкость поврежденной фазы зашунтирована местом замыкания, и поэтому ток через нее не проходит. Значение тока в месте замыкания на землю определяется следующим выражением:

$$\dot{I}_{3A} = \frac{\dot{U}_B^{(1)}}{X_\Sigma} + \frac{\dot{U}_C^{(1)}}{X_\Sigma}$$

где

X_Σ – суммарное сопротивление цепи замыкания на землю. Поскольку активные и индуктивные сопротивления генераторов, трансформаторов и кабельных линий много меньше, чем емкостное сопротивление сети, ими можно пренебречь, тогда

$$X_\Sigma = X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (1.14)$$

где

f – частота сети, равная 50 Гц;

C – емкость одной фазы сети относительно земли.

Поскольку при замыкании фазы A на землю напряжения фаз B и C относительно земли равны по значению междуфазному напряжению и сдвинуты на угол 60° , то $|\dot{U}_B^{(1)} + \dot{U}_C^{(1)}| = 3U_{\phi a}$

В результате

$$\dot{I}_a = 3U_{\phi} \omega C = 3U_{\phi} \pi f C \quad (1.15)$$

Емкость сети в основном определяется длиной присоединенных линий, в то время как емкости относительно земли обмоток генераторов и трансформаторов сравнительно невелики. Для расчета емкостного тока (А/км), проходящего при замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью, можно воспользоваться следующими выражениями, определяющими ток на 1 км кабельной линии:

– для линии 6 кВ

$$\dot{I}_3 = \frac{95 + 2,84S}{2200 + 6S} \cdot U_{ном}$$

– для линии 10 кВ

$$\dot{I}_3 = \frac{95 + 1,44S}{2200 + 0,23S} \cdot U_{ном}$$

где

S — сечение кабеля, мм²;

$U_{ном}$ — номинальное междуфазное напряжение кабеля, кВ.

Для воздушных линий можно принимать следующие удельные значения емкостных токов: 6 кВ — 0,015 А/км; 10 кВ — 0,025 А/км; 35 кВ — 0,1 А/км.

Для снижения тока замыкания на землю применяются специальные компенсирующие устройства — дугогасящие катушки, которые подключаются между нулевыми точками трансформаторов или генераторов и землей. В зависимости от настройки дугогасящей катушки ток замыкания на землю уменьшается до нуля или до небольшого остаточного значения.

Поскольку токи замыкания на землю имеют небольшие значения, а все междуфазные напряжения остаются неизменными (рис. 1.22), однофазное замыкание на землю не представляет непосредственной опасности для потребителей. Защита от этого вида повреждения, как правило, действует на сигнал. Однако длительная работа сети с заземленной фазой нежелательна, так как длительное прохождение тока в месте замыкания на землю, а также повышенные в 1,73 раза напряжения неповрежденных фаз относительно земли могут привести к пробоем или повреждению их изоляции и возникновению двухфазного КЗ. Поэтому допускается работа сети с заземлением одной фазы только в течение 2 ч. За это время оперативный персонал с помощью устройств сигнализации должен обнаружить и вывести из схемы поврежденный участок. Пробой изоляции другой фазы может произойти в другом месте данной линии или вообще на другой линии или шинах. Такое замыкание называется двойным замыканием на землю. Это короткое замыкание, ток проходит часть пути через места замыкания и землю. В данном случае в принципе достаточно отключить только одно место замыкания на землю, после чего в сети останется другое.

При заземлении нейтрали через активное сопротивление (чаще всего это бетэловые резисторы общим сопротивлением 100 Ом), в месте КЗ протекает активный ток, величина которого определяется практически только сопротивлением этого резистора.

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_\phi}{R_n}$$

Для сети 10кВ этот ток равняется примерно 60 А, для сети 6 кВ – 36 А.

Такое замыкание необходимо отключать для предотвращения развития повреждения.

В сетях, питающих торфопредприятия и передвижные строительные механизмы, для обеспечения условий безопасности обслуживающего персонала, защита от замыканий на землю в сети с изолированной нейтралью выполняется с действием на отключение.

В настоящее время рассматривается вопрос об отключении замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью на линиях, проходящих в населенной местности, так как приближение к оборванному проводу может быть опасно для людей.

Другие ненормальные режимы оборудования

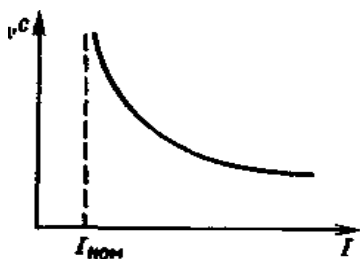


Рис. 1.20 Зависимость допустимой длительности перегрузки от значения тока $t_d = f(I)$ ($I_{ном}$ — номинальный ток оборудования).

Перегрузка оборудования, вызванная увеличением тока сверх номинального значения. Номинальным называется максимальное значение тока, допускаемое для данного оборудования в течение неограниченного времени. Если ток I , проходящий по оборудованию, превышает номинальное значение, то за счет выделяемой им дополнительной теплоты температура токоведущих частей и изоляции через некоторое время превосходит допустимое значение, что приводит к ускоренному старению изоляции и токоведущих частей.

Время t_d , допустимое для прохождения повышенных токов, зависит от их значения. Характер этой зависимости, определяемой конструкцией оборудования и типом изоляционных материалов, приведен на рис. 1.20. Величина выделяемого тепла определяется квадратом тока, и поэтому нагрев резко растет с увеличением кратности тока. Причиной сверхтока может быть увеличение нагрузки или появление КЗ за пределами защищаемого элемента (внешнее КЗ). Для предупреждения повреждения оборудования при его перегрузке необходимо принять меры к его разгрузке или отключению в пределах времени t_d .

Повышение напряжения. Обычно возникает на трансформаторах, генераторах и линиях высокого напряжения и может быть передано в распределительные сети. В распределителях появляются дополнительные причины для повышения напряжения: неправильная работа РПН, влияние емкостной компенсации при внезапном сбросе нагрузки. В ряде случаев, величина такого напряжения может оказаться опасной для оборудования: двигателей и трансформаторов. Действующими нормами защита от таких режимов требуется для устройств емкостной компенсации (БСК).

Понижение напряжения. Оно особенно опасно для электродвигателей, которые, для поддержания необходимой величины момента, увеличивают потребление тока, что приводит к их токовой перегрузке и выходу из строя. При понижении напряжения резко уменьшается светимость ламп накаливания. Защита от понижения напряжения обычно применяется в сетях промышленного назначения питающих электродвигатели, в особенности синхронные, а также на собственных нуждах электростанций.

Режим работы двумя фазами. Он происходит при обрыве фазы в питающей сети. Двигатели при этом могут остаться в работе, если момента развиваемого двигателями достаточно, или остановиться. В обоих случаях ток резко растет, что приводит к перегрузке двигателя и выходу его из строя. Поэтому очень часто двигатели снабжаются специальной защитой от работы двумя фазами (обрыва фазы). Для предотвращения возникшей перегрузки может быть использована и защита от перегрузки, действующая на отключение, эта защита должна быть установлена хотя бы в двух фазах, чтобы защита не оказалась подключенной к оборванной фазе.

1.4 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

1.4.1 Расчет трехфазного короткого замыкания

Изменение тока при КЗ. Рассчитать трехфазное КЗ — это, значит, определить токи и напряжения при этом виде повреждения как в точке КЗ, так и в отдельных ветвях и узлах схемы.

Ток в процессе КЗ не остается постоянным, а изменяется, как показано на рис. 1.23; ток, увеличившийся в первый момент времени, затухает до некоторого значения, а затем под действием автоматического регулятора возбуждения (АРВ) достигает установившегося значения. Промежуток времени, в течение которого происходит изменение значения тока КЗ, определяет продолжительность переходного процесса. После того как изменение значения тока прекращается, до момента отключения КЗ продолжается установившийся режим КЗ. В зависимости от назначения выполняемого расчета (выбор уставок релейной защиты или проверка электрооборудования на термическую и электродинамическую стойкость) нас могут интересовать значения тока в разные моменты времени КЗ.

Из-за наличия в сети индуктивных сопротивлений, препятствующих мгновенному изменению тока при возникновении КЗ, значение тока нагрузки I_n не изменяется скачком, а нарастает по определенному закону от нормального до аварийного значения. Для упрощения расчета и анализа ток, проходящий во время переходного процесса КЗ, рассматривают как состоящий из двух составляющих: апериодической и периодической.

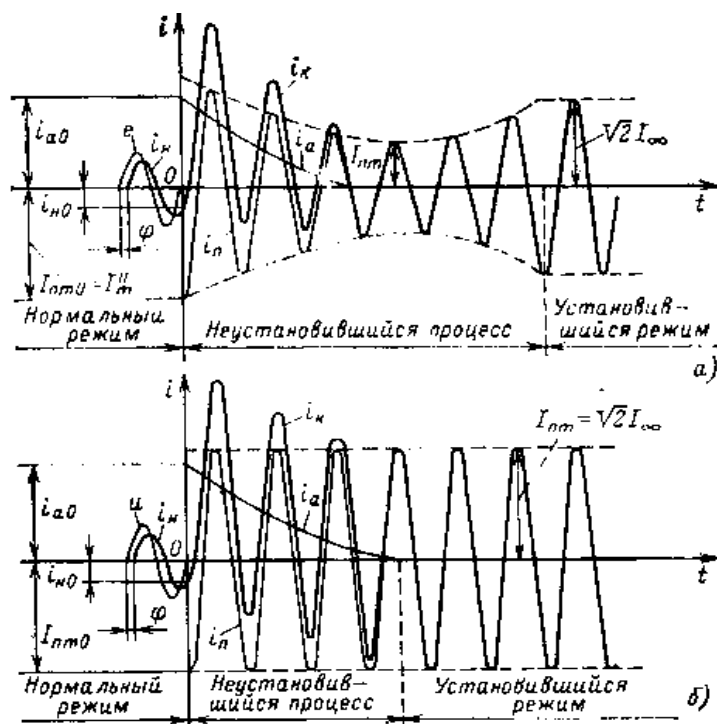


Рис. 1.21 Кривые изменения тока трехфазного КЗ;

а – в сети, питающейся от генератора с АРВ;

б – в сети, питающейся от системы неограниченной мощности

Апериодической называется постоянная по знаку составляющая тока i_a , которая возникает в первый момент КЗ и сравнительно быстро затухает до нуля (рис. 1.21).

Периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени $I_{пт0}$ называется начальным током КЗ. Начальный ток КЗ называют также сверхпереходным i_n , так как для его определения в схему замещения вводятся сверхпереходные сопротивления генератора x''_d и ЭДС E''_d .

Значение начального тока КЗ используют, как правило, для выбора уставок и проверки чувствительности релейной защиты.

Установившимся называется периодический ток КЗ после окончания переходного процесса, обусловленного затуханием апериодической составляющей и действием АРВ.

1.4.2 Методика расчета токов короткого замыкания в сетях 6-35 кВ.

Расчет производится на основании схемы замещения, для которой должны быть рассчитаны все элементы.

Активные и реактивные сопротивления линий электропередачи 6-35 кВ соизмеримы, поэтому при расчете токов короткого замыкания учитываются как активные, так и реактивные сопротивления. Эти величины можно рассчитать, зная тип, длину и сечение линии, используя справочники. В приложении приводятся справочные данные по электрическим параметрам ряда наиболее часто применяемых типов линий. Эти данные удельные. И величины активного и реактивного сопротивления участка линии получаются умножением удельных параметров линии на их длину в км.

Активные и реактивные сопротивления трансформатора определяются по его паспортным данным, в ряде случаев, из-за отсутствия паспорта, приходится брать эти данные по ГОСТу.

В приложении П4 приведены эти данные для ряда трансформаторов в соответствии с ГОСТом на трансформатор.

Эти данные для двухобмоточных трансформаторов определяются по выражениям:

$$Z_{mp} = \frac{U_k \cdot U_{mp}^2}{S_{mp}} \quad (1.16)$$

где

- Z_{mp} – полное сопротивление трансформатора в омах;
- U_k – напряжение короткого замыкания в относительных величинах;
- U_{mp} – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора в кВ;
- S_{mp} – номинальная мощность трансформатора в МВА.

$$R_{mp} = \frac{P_k \cdot U_{mp}^2}{S_{2mp}} \quad (1.17)$$

где

- R_{mp} – активное сопротивление трансформатора в омах;
- P_k – потери короткого замыкания при номинальном токе трансформатора в Вт;
- U_{mp} – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора в кВ;
- S_{mp} – номинальная мощность трансформатора в кВА.

$$X_{mp} = \sqrt{(Z_{mp}^2 - R_{mp}^2)} \quad (1.18)$$

В большинстве случаев для практических расчетов можно пренебречь активным сопротивлением трансформатора, его сопротивление принимается равным Z и считается реактивным (X). Исключение: трансформаторы напряжением 6-35 кВ с алюминиевыми обмотками.

При расчете токов КЗ за трансформаторами с РПН, имеющих большой диапазон переключения ответвлений, следует учесть изменение сопротивления при изменении коэффициента трансформации, см. приложение П4.

Сопротивление источника питания определяется по величине тока КЗ на шинах, от которых отходит защищаемая линия. Эти токи известны из расчета уставок трансформатора.

$$X_{ш} = \frac{U_{ш}}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}} \quad (1.19)$$

где

$X_{ш}$ – реактивное сопротивление на шинах в омах;

$U_{ш}$ – напряжение на шинах (номинальное напряжение питающего трансформатора);

$I_{КЗ}$ – ток КЗ на шинах.

Должны быть выполнены расчеты для минимального и максимального режима.

После выполнения расчетов для всех участков линии и питаемых трансформаторов строится схема замещения:

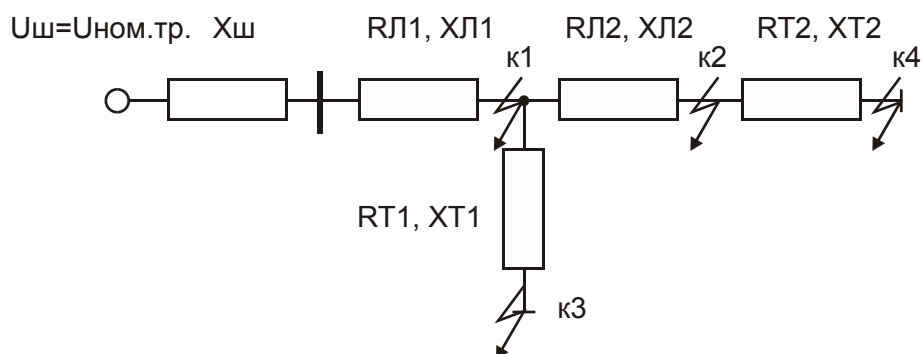


Рис.1.22 Расчетная схема замещения

Для определения тока КЗ в нужной точке, необходимо сложить отдельно активные и реактивные сопротивления всех участков до точки КЗ. Затем сложить геометрически суммарные активные и реактивные сопротивления. По полученному полному сопротивлению Z_k определить ток КЗ. Например для точки к4:

$$X_{k4} = X_{ш} + X_{Л1} + X_{Л2} + X_{Т2}$$

$$R_{k4} = R_{Л1} + R_{Л2} + R_{Т2}$$

$$Z_{k4} = \sqrt{X_{k4}^2 + R_{k4}^2}$$

$$I_{k4} = \frac{U_{ш}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k4}}$$

1.4.3 Методика расчетов токов КЗ для выбора уставок трансформатора

Для расчета токов короткого замыкания необходимо собрать следующие данные:

Сопротивление источника питания на шинах, куда подключен трансформатор, в максимальном и минимальном режиме. Обычно задается величина тока или мощности короткого замыкания

Сопротивление источника питания по величине тока КЗ на шинах определяется по формуле:

$$Z_{ш} = \frac{U_{ш}}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}} \quad (1.20)$$

где

$Z_{ш}$ – реактивное сопротивление на шинах в омах;

$U_{ш}$ – напряжение на шинах (номинальное напряжение питающего трансформатора) в кВ;

$I_{КЗ}$ – ток КЗ на шинах в кА.

Сопротивление источника питания по величине мощности КЗ на шинах определяется по формуле:

$$Z_{ш} = \frac{U_{ш}^2}{S_{КЗ}} \quad (1.21)$$

где

$Z_{ш}$ – реактивное сопротивление на шинах в омах;

$U_{ш}$ – напряжение на шинах (номинальное напряжение питающего трансформатора) в кВ;

$S_{КЗ}$ – мощность КЗ на шинах в МВт.

Активные и реактивные сопротивления трансформатора определяются по его паспортным данным, в ряде случаев, из-за отсутствия паспорта, приходится брать эти данные по ГОСТу

В паспорте трансформатора приводится напряжение короткого замыкания в %, которое указывает какое напряжение будет на выводах трансформатора при токе КЗ за трансформатором равном номинальному.

Эти данные для двухобмоточных трансформаторов определяются по выражениям:

$$Z_{mp} = \frac{U_k \cdot U_{mp}^2}{S_{mp}} \quad (1.22)$$

где

Z_{mp} – полное сопротивление трансформатора в омах;

U_k – напряжение короткого замыкания в относительных величинах;

U_{mp} – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора в кВ;

S_{mp} – номинальная мощность трансформатора в мВА.

$$R_{mp} = \frac{P_k \cdot U_{mp}^2}{S_{2mp}} \quad (1.23)$$

где

R_{mp} – активное сопротивление трансформатора в омах;

P_k – потери короткого замыкания при номинальном токе трансформатора в Вт;

U_{mp} – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора в кВ;

S_{mp} – номинальная мощность трансформатора в мВА.

Реактивное сопротивление трансформатора:

$$X_{k4} = \sqrt{Z_{mp}^2 - R_{mp}^2} \quad (1.24)$$

В большинстве случаев для практических расчетов можно пренебречь активным сопротивлением трансформатора, его сопротивление принимается равным Z и считается реактивным (X). Исключение: трансформаторы напряжением 6-35 кВ с алюминиевыми обмотками.

Сопротивление короткого замыкания трансформатора зависит от величины его коэффициента трансформации. Особенно сильно выражается эта зависимость на трансформаторах с РПН. В паспорте трансформатора поэтому указываются три величины напряжения короткого замыкания: для минимального, среднего и максимального положения переключателя.

Для трехобмоточных трансформаторов схема замещения состоит из трех сопротивлений обмоток ВН, СН и НН, соединенных в «звезду» см. рис 1.23.

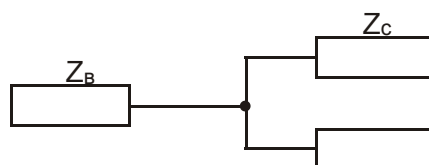


Рис 1.23 Схема замещения трехобмоточного трансформатора.

Напряжения короткого замыкания даются суммарно для каждой пары обмоток. Поэтому, после определения сопротивления каждой пары обмоток, их нужно пересчитать в сопротивления отдельных обмоток по формулам:

$$Z_B = \frac{Z_{BC} + Z_{BH} - Z_{CH}}{3} \quad (1.25)$$

$$Z_C = \frac{Z_{BC} + Z_{CH} - Z_{BH}}{3} \quad (1.26)$$

$$Z_H = \frac{Z_{BH} + Z_{CH} - Z_{BC}}{3} \quad (1.27)$$

Для трансформаторов с расщепленной обмоткой НН схема замещения также состоит из трех сопротивлений обмоток ВН, НН1 и НН2, соединенных в «звезду». Однако в паспорте приводится только одно напряжение короткого замыкания $U_k\%$. Оно соответствует режиму короткого замыкания за двумя, соединенными параллельно обмотками низкого напряжения, После его пересчета в сопротивление, сопротивления отдельных обмоток считаются по формулам:

$$Z_B = 0,125 \cdot Z_{ВН} \quad (1.28)$$

$$Z_{H1} = Z_{H2} = 1,75 \cdot Z_{ВН} \quad (1.29)$$

Для трансформаторов имеющих большой диапазон изменения коэффициента трансформации (с РПН) необходимо учитывать изменения величины тока КЗ при регулировании и рассчитывать токи КЗ для среднего и крайних положений переключателя.

Ток КЗ рассчитывается по формуле:

$$I_{K3} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3 \cdot Z_{K3}}} \quad (1.30)$$

где

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, принимается напряжение среднего положения переключателя трансформатора или 1,05 соответствующей ступени напряжения. (230, 115, 38,5 кВ и т.д.);

Z_{K3} – сопротивление короткого замыкания, равное сумме сопротивлений системы на стороне ВН, сопротивления обмотки ВН и обмотки за которой выполняется короткое замыкание:

$$Z_{K3} = Z_C + Z_B + Z_{H(C)} \quad (1.31)$$

Учет всего диапазона регулирования приводит к значительной разнице токов в крайних положениях выключателя. Например для одного из трансформаторов 25 МВА токи короткого замыкания отличаются в крайних положениях почти в 2 раза: 833 – 480 А, при средней величине тока КЗ – 578 А. Из-за такой разницы токов, для обеспечения необходимой чувствительности пришлось применить блокировку по напряжению для максимальных защит трансформатора. Реальный диапазон положений переключателя значительно уже и при его учете токи будут отличаться меньше, что позволит применить простую максимальную защиту. Заводом и ГОСТом обычно даются 3 величины сопротивления: для крайнего и обоих средних положений. Величина сопротивления для какого либо промежуточного положения, определяется методом линейной интерполяции, т.е. изменение величины сопротивления пропорционально отклонению напряжению от среднего положения переключателя.

1.4.4 Особенности расчета ТКЗ трансформаторов 10 / 0.4кВ

Учитываются рекомендации «Методических указаний по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги» ОРГРЭС 1993 год.

Учет электрических характеристик аппаратуры

При расчете токов короткого замыкания на стороне 0.4кВ необходимо учитывать некоторые данные, ряд которых не учитываются при расчете ТКЗ на более высоких напряжениях:

- индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;

- активные сопротивления контактов и контактных соединений;
- токоограничивающее влияние электрической дуги;
- значения параметров асинхронных электродвигателей, если их суммарный номинальный ток превышает 10% номинального значения периодической составляющей тока КЗ в месте КЗ, рассчитанного без учета влияния электродвигателей.

Кроме того, при расчетах токов КЗ рекомендуется учитывать изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при КЗ.

При расчетах токов КЗ допускается не учитывать:

- ток намагничивания трансформаторов;
- насыщение магнитных систем электрических машин;
- влияние асинхронных электродвигателей, если их суммарный номинальный ток не превышает 10% начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей;
- сопротивление внешней энергосистемы при расчете токов металлического КЗ в силовых сборках, сборках задвижек, а также КЗ за отходящими от сборок и шин кабелями;
- сопротивление внешней энергосистемы при расчете всех видов дугового КЗ;
- влияние асинхронных электродвигателей при расчете всех видов дуговых КЗ.

Коэффициенты трансформации трансформаторов допускается принимать равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

Определение параметров элементов сети

Расчет токов КЗ в сети напряжением до 1 кВ целесообразно проводить в именованных единицах.

При составлении эквивалентных схем замещения следует в качестве основной ступени выбирать ступень пониженного напряжения, как правило, 0,4 кВ, а активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах (мОм).

Сопротивление внешней системы включает в себя сопротивление прилегающей части энергосистемы на стороне высокого напряжения рабочего или резервного трансформатора питания РУ 6 (10) кВ, сопротивление собственно трансформаторов рабочего и резервного питания РУ 6 (10) кВ, а также сопротивление шинопроводов или кабельных связей, по которым осуществляется ввод рабочего или резервного питания на шины секций РУ 6 (10) кВ. Сопротивление (в миллиомах) прилегающей части энергосистемы (X_C) может быть определено при известном значении тока трехфазного КЗ на стороне высокого напряжения по формуле 2.1:

$$X_C = \frac{U_{ср.ни}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗвн} \cdot U_{ср.вн}} = \frac{U_{ср.ни}^2 \cdot 10^{-3}}{S_{КЗ}} \quad (1.32)$$

где:

$U_{ср.ни}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;

- $I_{K3вн}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА;
- $U_{ср.вн}$ – среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В;
- S_{K3} – мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора МВА.

Активное (R_T) и индуктивное сопротивления (X_T) (в миллиомах) трансформаторов 0,4 кВ, приведенные к ступени низшего напряжения, следует определять по формулам:

$$R_T = \frac{P_{K3} \cdot U_{нн. ном.}^2}{S_{T. ном.}^2} \cdot 10^6 \quad (1.33)$$

$$X_T = \frac{U_{K3} \cdot U_{нн. ном.}^2}{100 S_{T. ном.}} \quad (1.34)$$

где

- U_{K3} – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;
- P_{K3} – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;
- $U_{нн. ном.}$ – номинальное линейное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;
- $S_{T. ном.}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0 (треугольник – звезда с заземленным нулем), практически равны соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При соединении обмоток трансформаторов по схеме Y/Y_0 (звезда – звезда с заземленным нулем) активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности значительно больше соответствующих сопротивлений прямой последовательности и имеют значительный разброс, вследствие чего наиболее достоверные результаты могут быть получены путем непосредственного измерения этих сопротивлений для каждого конкретного трансформатора.

В литературе имеются расчетные результаты и замеры сопротивлений подобных трансформаторов. Данные в таблицах приводятся в 2 видах:

Отдельно дается X_1, R_1, X_0, R_0 . По этим данным расчет ТКЗ ведутся методом симметричных составляющих:

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{U_\phi}{\sqrt{(2R_1 + R_0)^2 + (2X_1 + X_0)^2}} \quad (1.35)$$

$$I_{K3}^{(1)} = I_1 + I_2 + I_0 \quad (1.36)$$

Дается величина « $\frac{1}{3} Z_T^{(1)}$ », которая равняется:

$$\frac{1}{3} Z_T^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2R_1 + R_0)^2 + (2X_1 + X_0)^2} \quad (1.37)$$

Расчет ТКЗ производится по формуле:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{1}{3} \cdot Z_T^{(1)}} \quad (1.38)$$

При расчете по формуле 2.7 получается непосредственно ток однофазного КЗ.

Данные некоторых трансформаторов приведены в приложении 4.

Сопротивление нулевой последовательности трансформатора схемы Δ / Y_0 равно сопротивлению прямой и токи КЗ при однофазном и трехфазном замыкании одинаковы.

Сопротивление нулевой последовательности трансформатора схемы Y / Y_0 значительно, больше чем прямой последовательности. Вследствие этого, при однофазных коротких замыканиях токи КЗ меньше и этот режим является расчетным при проверке чувствительности защиты.

Переходное активное сопротивление контактов в короткозамкнутой цепи для упрощенных расчетов рекомендуется принять равным 15 мОм. Это соизмеримо с сопротивлением трансформаторов и рассчитанный таким образом ток на трансформаторах 1000кВА получается в 2 раза меньше, чем при металлическом КЗ. Более точные результаты можно получить учетом сопротивлений всех элементов входящих в цепь КЗ. В упомянутой методике приводятся данные по некоторым видам аппаратуры, контрольных кабелей и токопроводов.

Учет сопротивления электрической дуги. Наиболее вероятная величина действующего значения периодической составляющей тока трехфазного дугового замыкания определяется по формуле:

$$I_{\text{дуг.}} = I_{\text{нм}} \cdot K_C \quad (1.39)$$

где

- $I_{\text{нм}}$ – периодическая составляющая тока металлического КЗ с учетом активных и реактивных составляющих всех элементов;
- K_C – коэффициент снижения тока КЗ под действием электрической дуги. Величина K_C определяется по характеристике приведенной на рисунке 1.24.

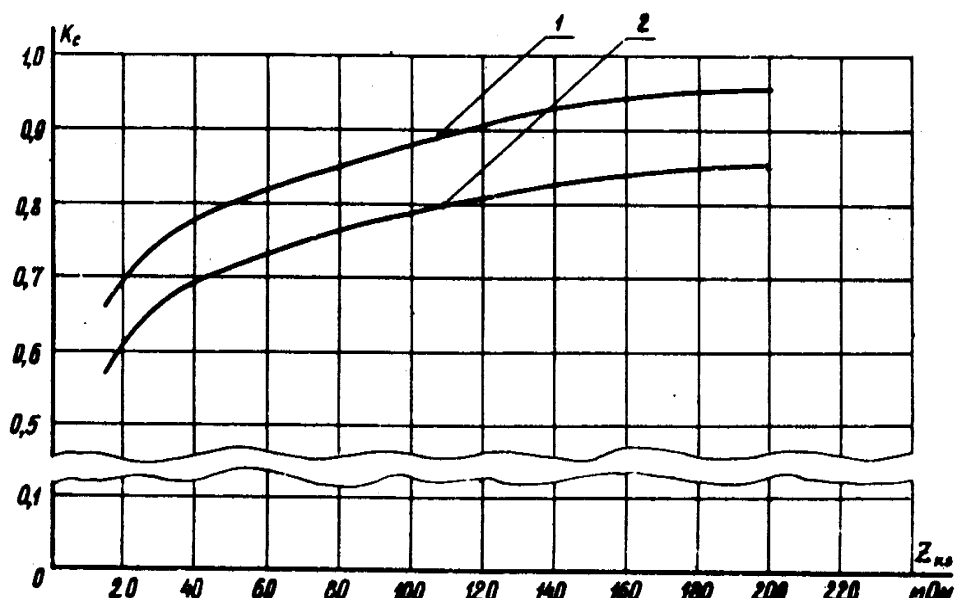


Рис. 1.24 Кривые зависимости K_c от сопротивления цепи КЗ. Кривая 1 – начало дугового замыкания $t_{kz} < 0.05$ с, кривая 2 – установившийся процесс короткого замыкания с.

Из рисунка видно, что коэффициент снижения тока КЗ зависит от величины сопротивления цепи КЗ и времени протекания ТКЗ. При определении тока дугового замыкания в начальный момент замыкания $t_{kz} < 0.05$ с значение K_c определяется по кривой 1: $K_c = f(Z_{k3})$. При определении установившегося значения тока дугового замыкания $t_{kz} > 0.05$ с K_c определяется по кривой 2.

Расчет дугового КЗ для разных видов КЗ производится отдельно для однофазного, двухфазного, трехфазного КЗ. При этом берется вычисленная величина однофазного, двухфазного и трехфазного тока металлического КЗ. Сопротивление цепи КЗ определяется по формулам:

$$\text{– трехфазное КЗ} \quad - \quad Z_{K3}^{(3)} = \sqrt{X_{1\Sigma}^2 + R_{1\Sigma}^2} \quad (1.40)$$

$$\text{– двухфазное КЗ} \quad - \quad Z_{K3}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{X_{1\Sigma}^2 + R_{1\Sigma}^2} \quad (1.41)$$

$$\text{– однофазное КЗ} \quad - \quad Z_{K3}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2 + (2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2} \quad (1.42)$$

Учет увеличения активного сопротивления кабеля при его нагреве. Целесообразно учитывать при расчете тока КЗ за кабелем при определении минимальных токов КЗ:

$$R_y = C_y \cdot R \quad (1.43)$$

где

C_y – коэффициент учитывающий увеличение активного сопротивления кабеля при его нагреве электрическим током. Для упрощенных расчетов можно принять C_y равным 1.5, предполагая нагрев кабеля до предельно возможной величины;

R – активное сопротивление кабеля при температуре $+20^\circ$.

Предложения по расчету ТКЗ для выбора уставок защиты трансформаторов.

При расчете всех видов КЗ для отстройки защит от КЗ за трансформатором используется ток металлического короткого замыкания за трансформатором.

При расчете токов КЗ для проверки чувствительности защит при КЗ за трансформатором мощностью 400кВА и менее используется ток короткого замыкания за трансформатором с добавлением в цепь переходного сопротивления 15мОм и нормированным коэффициентом чувствительности. При использовании тока металлического короткого замыкания за трансформатором, коэффициент чувствительности защиты должен быть не менее 2.

При расчете токов КЗ для проверки чувствительности защит при КЗ за трансформатором мощностью 630 кВА и более необходимо производить подробный расчет с учетом сопротивления элементов цепи и сопротивления дуги.

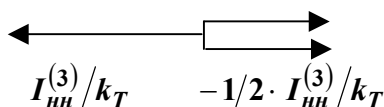
Учет роста сопротивления кабеля при нагреве токами короткого замыкания производится при расчете токов КЗ в конце кабелей 0.4кВ для проверки чувствительности защиты.

Пересчет токов КЗ на сторону ВН. Рекомендации по расчету ТКЗ, указанные выше, относились к стороне низкого напряжения. Для выбора уставок защиты на стороне ВН, эти токи должны быть пересчитаны на сторону ВН. При этом следует учесть особенности, связанные с группой соединения обмоток трансформатора. Наиболее распространенными группами являются треугольник – звезда с заземленным нулем (Δ/Y_0) и звезда – звезда с заземленным нулем (Y/Y_0). Ниже даны формулы пересчета, взятые из литературы (Л6).

Токи трехфазного КЗ пересчитываются через коэффициент трансформации трансформатора.

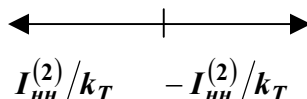
$$I_{вн}^{(3)} = \frac{I_{нн}^{(3)}}{k_T} \quad (1.44)$$

Токи двухфазного КЗ за трансформатором со схемой (Δ/Y_0) на стороне ВН проходят во всех трех фазах, причем в одной фазе течет ток равный току трехфазного КЗ, а в двух других текут половинки этого тока.



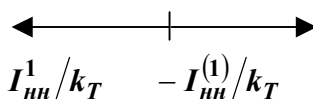
$$I_{вна}^{(3)} = I_{нн}^{(3)}/k_T ; \quad I_{внв}^{(3)} = -1/2 I_{нн}^{(3)}/k_T ; \quad I_{внс}^{(3)} = -1/2 I_{нн}^{(3)}/k_T ; \quad I_1 = I_2 = I_{вна}^{(3)}/\sqrt{3} \quad (1.45)$$

Токи двухфазного КЗ за трансформатором со схемой (Y/Y_0) на стороне ВН проходят в двух фазах, одноименных с поврежденными, и по величине равны этому току.



$$I_{вна} = I_{нн}^{(2)}/k_T ; \quad I_{внв} = -I_{нн}^{(2)}/k_T ; \quad I_1 = I_2 = I_{вна}/\sqrt{3} \quad (1.46)$$

Токи однофазного КЗ за трансформатором со схемой (Δ/Y_0) на стороне ВН проходят по 2 фазам равны по величине и противоположно направлены.



$$I_{вна} = I_{нн}^{(1)}/k_T/\sqrt{3} ; \quad I_{внв} = -I_{нн}^{(1)}/k_T/\sqrt{3} ; \quad I_1 = I_2 = I_{вна}/\sqrt{3} = 1/3 \cdot I_{нн}^{(1)}/k_T \quad (1.47)$$

Токи однофазного КЗ за трансформатором со схемой (Y/Yo) на стороне ВН проходят во всех трех фазах, причем в одной фазе течет ток равный $2/3$ тока однофазного КЗ, а в двух других текут половинки этого тока.

$$\begin{array}{c} \leftarrow \quad \boxed{} \quad \rightarrow \\ 2/3 \cdot I_{\text{нн}}^{(1)}/k_T \quad -1/3 \cdot I_{\text{нн}}^{(1)}/k_T \end{array}$$

$$I_{\text{вна}} = 2/3 \cdot I_{\text{нн}}^{(1)}/k_T; \quad I_{\text{внв}} = -I_{\text{нн}}^{(1)}/k_T/3; \quad I_{\text{внс}} = -I_{\text{нн}}^{(1)}/k_T/3; \quad I_1 = I_2 = I_{\text{вна}}/2 \quad (1.48)$$

1.5 ПОНЯТИЕ О СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

При однофазном или двухфазном КЗ, когда трехфазная система становится несимметричной, нельзя выполнять расчет только для одной из фаз, как это делается при трехфазных симметричных повреждениях.

Для определения токов, проходящих при несимметричных КЗ, потребовалось бы составлять несколько уравнений Кирхгофа для многих контуров и узлов, образующихся в рассматриваемой несимметричной трехфазной системе. Решение этих уравнений с учетом индуктивных связей между фазами даже при сравнительно простой схеме сети является весьма сложной задачей.

С целью упрощения расчетов несимметричных режимов в трехфазной сети предложен метод симметричных составляющих. Сущность этого метода состоит в том, что любую трехфазную несимметричную систему векторов токов или напряжений можно заменить суммой трех симметричных систем:

Затем производится расчет этих трех симметричных систем с учетом уже упоминавшегося нами упрощения, т. е. по расчетным схемам, составленным для одной из фаз, и согласно (1.37) определяются полные фазные токи и напряжения.

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0}; & \dot{U}_A &= \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}; \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B0}; & \dot{U}_B &= \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0}; \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0}; & \dot{U}_C &= \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0}; \end{aligned} \quad (1.49)$$

Таким образом, вместо одной схемы рассчитываются три, но значительно более простые, что в конечном итоге существенно упрощает вычисления. На рис. 1.29 приведены векторные диаграммы систем симметричных составляющих:

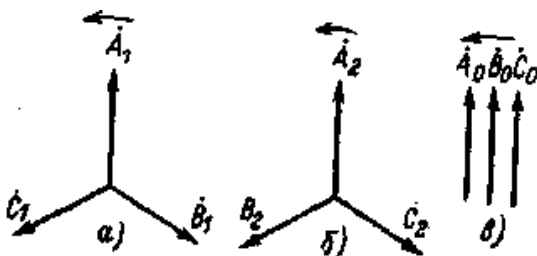


Рис. 1.29 Векторные диаграммы систем симметричных составляющих:
а – прямой последовательности; б – обратной последовательности;
в – нулевой последовательности

- прямой последовательности, в которой векторы, вращающиеся против часовой стрелки, следуют друг за другом в чередовании А, В, С;

- обратной последовательности, отличающейся обратным чередованием векторов A , C , B ;
- нулевой последовательности, в которой векторы всех фаз совпадают по направлению.

В нормальном симметричном режиме, а также при симметричном КЗ полные токи и напряжения равны току и напряжению прямой последовательности. Составляющие обратной и нулевой последовательностей в симметричном режиме равны нулю.

Составляющие обратной последовательности возникают при появлении в сети любой несимметрии: однофазного или двухфазного КЗ, обрыва фазы, несимметрии нагрузки. Наибольшие значения ток и напряжение обратной последовательности имеют в месте несимметрии.

Составляющие нулевой последовательности появляются при КЗ на землю однофазных и двухфазных), а также при обрыве одной или двух фаз. При междофазных КЗ без земли (двухфазных и трехфазных) токи и напряжения нулевой последовательности равны нулю.

1.6 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЭВМ ДЛЯ РАСЧЕТА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

1.6.1 Программы расчета токов и напряжений при коротких замыканиях

Как видно из раздела 1.4, расчеты вручную требуют значительных трудозатрат. По этим причинам после появления ЭВМ, а далее ПЭВМ начались попытки применить их для расчета уставок релейной защиты. Эти программы для распределительных сетей были относительно простыми и разрабатывались непосредственно теми, кто занимался расчетами на любительском уровне. Для разработки программ использовались алгоритмические языки программирования: Бейсик, Фортран, Паскаль, Дельфи и т.д. Для выполнения даже сложных профессиональных программ можно использовать любые имеющиеся ПЭВМ, начиная с I-386 серии. В п. 1.6.2. приводится пример составления программы расчета с использованием электронных таблиц Microsoft Excel.

В дальнейшем к разработке программ подключились профессионалы, и простые программы превратились в сложные комплексы программ, позволяющие автоматизировать выполнение всех этапов расчета: подготовку данных, расчет параметров, составление схемы замещения, расчет аварийных величин, выбор уставок защиты и сохранение результатов.

Ниже приводятся сведения о некоторых ряде программных комплексов разработанных и используемых в Украине.

Институтом Электродинамики НАН Украины разработан «Комплекс программ расчета аварийных режимов в сложной электрической сети объемом до 3000 узлов». В настоящее время эксплуатируется комплекс V-VI-50. С помощью этого комплекса возможно выполнить самые сложные расчеты в сетях любой сложности с учетом токов нагрузки, емкостных токов в сети, сложных несимметричных режимов. Этими программами оснащены все энергетические системы Укрэнерго. Этот комплекс можно применить и для расчета в распределительных сетях, однако для этого он слишком сложен.

В электрических сетях «Полтаваоблэнерго» разработана и эксплуатируется рядом предприятий программа расчетов ТКЗ и уставок защиты для распределительных сетей.

В Центральной энергосистеме Укрэнерго также разработана программа расчетов ТКЗ и уставок защиты для распределительных сетей. Эта программа эксплуатируется на ряде предприятий Украины, России, Белоруссии.

В энергонадзоре Киевэнерго, разработаны и эксплуатируются рядом предприятий программы расчета токов короткого замыкания и выбора аппаратуры в сетях переменного тока напряжением 0.4 кВ и постоянного оперативного тока напряжением 220 В.

Все перечисленные выше программы могут быть приобретены, для чего следует обратиться к упомянутым организациям.

ЦНИЭЛ Донбассэнерго в свое время (1986 г.) по заказу Министерства энергетики Украины разработала комплекс программ для расчета ТКЗ и уставок защиты в распредсетях. Она состояла из трех программ: защита сетей 6–35 кВ, защита понижающих трансформаторов, защита тупиковых линий – 110 кВ. Первая версия программы была распространена между сетевыми предприятиями Украины, собраны замечания, однако финансирование работы прекратилось, и дальнейшая судьба программы неизвестна.

Кроме того, множеством организаций – проектных, электросетевых – разработаны и эксплуатируются собственные программы, приспособленные к собственным нуждам.

Ниже приводится краткое описание ряда программ, которые могут быть приобретены.

Комплекс программ ЦЭС Укрэнерго.

Автоматизированное рабочее место инженера по релейным защитам сетевого предприятия (ППП-РЗ)

Пакет прикладных программ расчетов релейных защит распределительных разомкнутых электрических сетей (ППП-РЗ) 6-10-35-220 кВ. представляет собой автоматизированное рабочее место инженера сетевого предприятия по релейной защите.

АРМ решает следующие задачи:

- ведение информационных и справочных баз данных;
- формирование расчетной модели;
- расчет токов короткого замыкания;
- расчет уставок релейной защиты линий;
- расчет уставок релейной защиты трансформаторов;
- расчет параметров трансформаторов;
- расчетная проверка трансформаторов тока;
- графический редактор.

ППП-РЗ предназначен для хранения информационных и справочных файлов и выполнения необходимых расчетов, используя общую базу данных о конфигурации электрической сети.

Целью разработки является предоставление эксплуатационным службам ПЭС типового методического, информационного и математического обеспечения для расчетов токов короткого замыкания выбора и проверки уставок релейных защит разомкнутых распределительных электрических сетей напряжением 6–10–35-110 КВ. Работа базируется на типовых организационных методических решениях, положенных в основу расчетов служб релейных защит предприятий Электрических Сетей ПЭО "Киевэнерго".

- 1 Информационная часть включает программу, которая обеспечивает создание и корректировку базы данных исходной конфигурации районов электрических сетей (РЭС) и справочной базы. Справочная база комплекса включает и хранит паспортные данные по трансформаторам, проводам, используемым в электротехнике а также вспомогательные справочники РЭС и подстанций, которые создаются при внедрении комплекса в сетевом предприятии.
- 2 Формирование расчетной модели сети включает программу, которая создает электрическую схему замещения сети с параметрами, приведенными к номинальным коэффициентам трансформации, с заданием на источнике питания напряжения и эквивалент-

ного сопротивления системы, точками разреза сети, места расположения которых можно изменять.

- 3 Расчет токов короткого замыкания производится в своих номинальных напряжениях с учетом заданных коэффициентов трансформации, напряжения и сопротивления системы на источнике питания, заданных точек разрезов сети, которые можно изменять. Токи КЗ рассчитываются 3-х фазные и 2-х фазные в максимальном и минимальном режимах.
- 4 Расчет и выбор уставок релейных защит линий включает программу, которая производит расчет и выбор уставок:
 - 4.1 Максимальных токовых защит, выполненных на реле с зависимыми и независимыми характеристиками, выполняет отстройку и согласование с предыдущими и последующими защитами. Выполняет согласование с предохранителями. Проводит расчет защит с дешунтированием, при этом рассчитывает 10% погрешность трансформаторов тока.
 - 4.2 Токовых отсечек, рассчитываемых следующим образом:
 - 4.2.1 Отсечка без выдержки времени (селективная, отстроенная от 3-х ф. тока к.з. в конце линии).
 - 4.2.2 Неселективная токовая отсечка без выдержки времени, отстроенная от 3-х ф. тока к.з., снижающего напряжение в месте установки отсечки $U_{ост} \geq 0,5 : 0,6 U_n$.
 - 4.2.3 Отсечка с выдержкой времени на линиях.
 - 4.2.4 Отсечка без выдержки времени на блоках линия-трансформатор и на токопроводах (с реактированными ответвлениями).

Программа включает информационную базу уставок релейной защиты и автоматики, в которую после расчета могут быть занесены автоматически выбранные уставки и соответственно в дальнейшем автоматически по заданным формам можно выдавать на печать карты уставок по подстанциям.

Результаты всех расчетов, анализ расчетов выдаются на экран и печать.

- 5 Расчет и выбор уставок защиты трансформаторов включает программу расчета и выбор дифференциальной защиты и максимальной токовой защиты трансформатора с учетом дешунтирования.
- 6 Расчет параметров трансформаторов включает программу расчета параметров трансформаторов в комплексном виде $R+jX$, коэффициентов трансформации, проводимости:
 - Автотрансформатор
 - Трансформатор 3-х обмоточный
 - Трансформатор 2-х обмоточный
 - Трансформатор 2-х обмоточный с расщепленной обмоткой
 - (3 разновидности задания U к%).
- 7 Расчетная проверка трансформаторов тока включает программу, с помощью которой производится:

- 7.1 Расчетная проверка на 10%-ную полную погрешность по кривым предельной кратности.
- 7.2 Расчетное определение полной погрешности трансформаторов тока Е по его вольтамперной характеристике.
- 7.3 Расчетная проверка надежного замыкания контактов электромеханических реле тока, сопротивления и направления мощности.
- 7.4 Расчетное определение напряжения на выводах вторичной обмотки трансформатора тока.
- 7.5 Приближенное определение вторичного тока трансформатора тока с учетом его токовой погрешности $f > 10\%$.
- 7.6 Расчетное определение вторичной нагрузки трансформатора тока.
- 8. Графика включает пакет программ для черчения на экране и долгосрочное хранение электрических схем распределительных сетей для облегчения наглядности проводимых расчетов т.к.з. и расчетов и выбора уставок релейной защиты.

Консультацию по эксплуатации ППП-РЗ можно получить по телефону 221-47-28 у Василия Андреевича Саченко.

Все пожелания и замечания для учета их в последующих версиях ППП-РЗ просьба направлять по адресу:

01032 КИЕВ-1 ул.Коминтерна,27 Центральная электроэнергетическая система

Служба вычислительной техники, Саченко Василий Андреевич

тел.(044) 221-47-28

факс (044) 221-47-38,221-47-90 E.mail: OV@RDC.CENTRE.ENERGY.GOV.UA

Следует иметь в виду, что указанная программа ориентирована на выбор уставок электромеханических защит, и поэтому может быть применена для выбора ТКЗ без изменений, а для выбора уставок с корректировкой, учитывающей характеристики применяемых сейчас микроэлектронных и микропроцессорных защит.

1.6.2 Использование стандартной программы Microsoft Excel для расчета токов короткого замыкания

Для тех кто не имеет программы расчета токов короткого замыкания и не собирается ее разрабатывать с применением алгоритмических языков программирования, можем предложить способ разработки программы расчета с применением типовой программы Microsoft Excel.

Табличный процессор Microsoft Excel выбраны, исходя из возможностей представляемых программой для не слишком сложных но объемных обычных расчетов ТКЗ в распредсетях. Возможности необходимые для расчетов следующие:

Вводимые данные и результаты расчетов представляются в табличной форме, занимающей мало места, которая легко вводится в текстовую программу Microsoft Word или Adobe Acrobat.

Excel оперирует с адресами ячеек, в которые вводятся данные, формула расчета вводится в ячейку а записывается в таблицу результат расчета.

Относительная адресация позволяет производить расчеты с другими данными используя одну и ту же формулу, занесенную в предыдущую ячейку.

Расчет ТКЗ с применением Microsoft Excel покажем на примере.

Схема ПС показана на рис. 1.30.

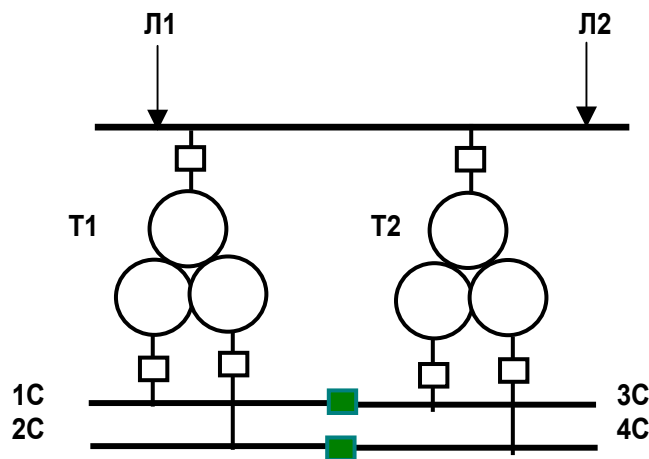


Рис 1.30 Схема подстанции.

1 Основные характеристики

1.1 Схема представлена на рис. 1.30. Подстанция питается двумя линиями 110кВ, которые работают параллельно на шинах 110кВ ПС. Может быть отключена любая ВЛ.

1.2 Токи короткого замыкания на шинах подстанции:

- Обе ВЛ в работе, максимальный режим: ток трехфазного КЗ - 6кА, однофазного –4кА.
- В работе ВЛ-1, минимальный режим 1: ток трехфазного КЗ - 5кА, однофазного –3кА.
- В работе ВЛ-2, минимальный режим 2: ток трехфазного КЗ - 3кА, однофазного –2кА.

1.3 Нейтрали стороны 110кВ трансформаторов разземлены.

1.4 Параметры трансформаторов ТДТН-25/110 взяты в соответствии с ГОСТ 12965-74:

- номинальная мощность стороны ВН – 25МВт, НН- 12.5МВт;
- номинальное напряжение стороны ВН 115, регулирование 9 ступеней по 1.78%;
- номинальное напряжение расщепленной обмотки НН 11кВ;
- напряжение U_k с учетом регулирования: 9.84, 10.5, 11.72 для минимального, среднего и максимального положения переключателя РПН соответственно.

1.5 На стороне 6кВ четыре секции с АВР на СВ-I-III, и СВ II-IV.

2 Расчет токов короткого замыкания. Проводится в именованных величинах, активным сопротивлением пренебрегаем:

2.1 Реактанс прямой последовательности на шинах 110кВ:

- максимальный режим: $X_{1\max} = U / (\sqrt{3} \cdot I_{k3}) = 115 / (1.73 \cdot 6) = 11 \text{ Ом};$
- минимальный режим: $X_{1\min} = 115 / (1.73 \cdot 3) = 22 \text{ ом}.$

2.2 Реактанс нулевой последовательности:

- максимальный режим: $X_{0\text{дн.}} = \frac{3 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{K3\text{одн.}}} = \frac{3 \cdot 115}{1.73 \cdot 4} = 49,8 \text{ Ом}$

$$X_0 = X_{0\text{дн.}} - X1 - X2 = 49,8 - 11 - 11 = 27,8 \text{ Ом}$$

– минимальный режим: $X_{одн.} = \frac{3 \cdot 115}{1,73 \cdot 2} = 99,6 \text{ Ом}$

$$X_0 = X_{одн.} - X1 - X2 = 99,6 - 22 - 22 = 55,6 \text{ Ом}$$

Дальнейшие расчеты выполняем в таблице Excel см. таблицу 1.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Табл.1.1. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ТКЗ ЗА ТРАНСФОРМАТОРОМ								
2	1. Расчет параметров трансформатора								
3	Полож. РПН	Напр. ВН	Ток ВН	Ток НН	Напр. КЗ	ХкзВНп.	Хкз. ННп	ХкзВНр	Хкз. ННр
4	1 (У макс)	133,4	108,33	688,14	0,1172	83,43	1,03	156,42	1,938
5	10 (Усредн.)	115	125,66	688,14	0,105	55,55	0,93	104,15	1,736
6	19 (Умин)	96,6	149,59	688,14	0,0984	36,73	0,87	68,87	1,627
7	2. Расчет токов короткого замыкания								
8		1. Максимальный режим				2. Минимальный режим			
9	Полож.РПН	ХкзВНр	IkзВНр	Хкз. ННр	IkзННр	ХкзВНр	IkзВНр	Хкз. ННр	IkзННр
10	1 (У макс)	167,42	0,397	1,04	5,044	178,42	0,373	1,11	4,733
11	10 (Усредн.)	115,15	0,577	0,96	6,323	126,15	0,527	1,05	5,771
12	19 (Умин)	79,87	0,832	0,94	7,657	90,87	0,732	1,07	6,730

В первой строке таблицы в ячейке В1 записываем № таблицы, С1 – название таблицы.

Во второй строке в ячейке С2 записываем заголовок расчета.

В строке 3 будем записывать название колонки, а в колонке А название строки.

Колонка В. Выполняем расчет напряжений при крайних положениях РПН.

Ячейка В5. =G10/10,5*B4 записываем величину напряжения в среднем положении 115кВ.

Ячейка В4 – формулу для расчета напряжения в 1 положении РПН - 115+0.16*115 - после перехода в другую ячейку или нажатия Enter в ячейке получается результат: **133,4**. Если вернуться в эту ячейку снова, то в ней результат остается, а в строке формул появляется формула, по которой производился расчет.

Ячейка В6 – формулу для расчета напряжения в 19 положении РПН - =115-0.16*115 - получается результат: 96,6.

В колонке С выполняем расчет номинального тока ВН для этих положений РПН:

В ячейку С4 записываем формулу: 25000/(1,73*B4), где 25000 – номинальная мощность трансформатора, 1,73 = $\sqrt{3}$, в ячейке В4 расположено вычисленное ранее напряжение в верхнем положении РПН. Следует учитывать, что табличный процессор распознает десятичную дробь только в том случае, если дробная часть отделяется запятой. При использовании десятичной точки, как в большинстве случаев в данной книге, Excel воспринимает число как текст и вычисления производиться не будут.

Установим мышь в левый нижний угол ячейки - появится малый крест. После этого перетащим Мышь на 2 ячейки вниз. В этих ячейках появятся вычисленные значения токов для других положений РПН. В данном случае мы имеем дело с относительной адресацией ячеек: при увеличении номера данной ячейки на единицу – одновременно происходит увеличение на единицу номера ячейки, которая входит в формулу и производится необходимый расчет.

В ячейке D4 выполняем расчет тока НН. Заносим формулу - =12500/(1,73*10,5) – 12500 – номинальная мощность обмотки НН, 10.5 ее напряжение в кВ. получаем результат расчета: 688.14А. Копируем результат в другие ячейки – он будет одинаковым для всех положений

РПН. Для копирования помещаем указатель мыши в середину ячейки – появляется большой крест и передвигаем указатель в другие 2 ячейки – в них появляется такой же результат.

В колонку Е ячейки Е4 – Е6 заносим величину напряжения короткого замыкания для разных положений РПН.

В колонке F произведем расчет реактансов трансформатора для этих положений РПН приведенный к напряжению ВН – заносим формулу: $=B4/(1,73*C4/1000)*E4$. В ячейке В4 находится напряжение ВН в кВ, в ячейке С4 – ток ВН в амперах – делим на 1000 чтобы получить кА. в ячейке Е4. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией: Установим указатель мыши в левый нижний угол ячейки - появится малый крест. После этого перетащим его на 2 ячейки вниз, появятся результаты расчета в ячейках.

В колонке G выполним расчет реактанса приведенный к напряжению НН. Вводим формулу: $10.5*E4/(1,73*(D4/1000))$ – в ячейке Е4 - величина напряжения короткого замыкания, D4 номинальный ток стороны 10кВ. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Рассчитанные реактансы относятся к режиму короткого замыкания сразу на 2 сторонах НН – данные U_k даются для параллельной работы. Трансформатор работает отдельно, поэтому полученные параметры должны быть пересчитаны для режима раздельной обмотки. Для этого умножим полученный результат на 1,875. Введем формулу $=F4*1,875$ для ячейки Н4. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Введем формулу $=F4*1,875$ для ячейки Н4. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Введем формулу $=G4*1,875$ для ячейки I4. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Расчет параметров закончен и перейдем к расчету ТКЗ на стороне НН. Продолжаем ту же таблицу.

В ячейку С7 заносим заголовок: **2.Расчет токов короткого замыкания**

В ячейку В8 - заголовок: **1. Максимальный режим.** В ячейку F8 - заголовок: **Минимальный режим.**

В ячейки А9-А12 копируем заголовки из ячеек А3-А6.

Колонка В10 – В12. Расчет реактанса КЗ на стороне НН в максимальном режиме. К реактансу трансформатора добавляется реактанс системы в максимальном режиме.

Введем формулу $=11+H4$ для ячейки В10. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Колонка С10 – С12. Расчет ТКЗ на стороне НН в максимальном режиме. Введем формулу $=115/(1,73*B10)$ для ячейки С10. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Колонка D10 –D13. Расчет реактанса КЗ на стороне НН в максимальном режиме приведенный к стороне НН. Реактанс пересчитывается через отношение квадратов напряжений сторон НН и ВН трансформатора. Введем формулу $=B10*СТЕПЕНЬ(10,5;2)/СТЕПЕНЬ(B4;2)$ для ячейки D10. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Колонка Е10 – Е12. Расчет ТКЗ на стороне НН в максимальном режиме. приведенный к стороне НН. Ток ВН пересчитывается через отношение напряжений ВН и НН. Введем формулу $=C10/10,5*B4$ для ячейки С10. Переносим формулу в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Повторяем результаты расчета для минимального режима. Для этого копируем колонки интервала (B10 - B12) - (E10 - E12) в колонки интервала (F9 - F12) - (I9 - I12).

После этого в ряду 10 изменяем формулы в ячейках F10 ($=22+B10$), G10 ($=115/(1,73 \cdot F10)$), H10 ($F10 \cdot \text{СТЕПЕНЬ}(10,5;2)/\text{СТЕПЕНЬ}(B4;2)$), I10 ($=G10/10,5 \cdot B4$). Для того чтобы изменить реактанс максимального режима на минимальный и восстановить измененные в результате переноса адреса. Переносим формулы в другие ячейки колонки с относительной адресацией. Появятся результаты расчета в ячейках.

Вместо копирования и изменения формул можно заполнить эти графы формулами самостоятельно, при этом время работы увеличится.

После окончания расчетов производится оформление таблицы - устанавливаются границы в ячейках, объединяются ячейки там, $=G10/10,5 \cdot B4$ где размещаются надписи.

Полученную таблицу можно сохранить, при следующих однотипных расчетах с другими параметрами трансформатора можно сделать копию таблицы, ввести в нужные ячейки параметры нового трансформатора и параметры системы после этого автоматически будет выполнен расчет с новыми данными.

Полученную таблицу можно через буфер перенести в текстовый редактор Word или Adobe Acrobat. $=G10/10,5 \cdot B4$

2 УСТРОЙСТВА РЗА НА МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

2.1 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИТ

Релейная защита содержит три части: измерительную, логическую и выходную. В измерительную часть входят измерительные и пусковые органы защиты, которые воздействуют на логическую часть при отклонении электрических параметров (тока, напряжения, мощности, сопротивления) от значений, предварительно заданных для защищаемого объекта.

Логическая часть состоит из отдельных переключающих элементов и органов выдержки времени, которые при определенном действии (срабатывании) измерительных и пусковых органов в соответствии с заложенной в логическую часть программой запускают выходную часть.

Выходная часть связывает релейную защиту с цепями управления коммутационными аппаратами (выключателями) и устройствами передачи команд по каналам связи и телемеханики. Выходные органы защиты имеют на выходе переключающие элементы достаточной мощности, обеспечивающие работу цепей управления.

До последнего времени все органы релейной защиты выполнялись только с помощью электромеханических реле. Необходимые выдержки времени создавались в логической части защит такого исполнения посредством часовых механизмов, управляемых электромагнитными устройствами. Наряду с часовыми механизмами для той же цели применяют электромагнитные реле с магнитной задержкой отпадания якоря.

Для получения реле с зависимой характеристикой выдержки времени используют механические системы с приводом, действующим на индукционном принципе. Скорость движения таких механизмов зависит от значения проходящего по ним тока.

Однако электромеханическая аппаратура устарела и нуждается в замене. На ней трудно добиться высокой точности, быстродействия, выполнить сложные характеристики. Для поддержания рабочего состояния защиты требуются значительные трудозатраты на техническое обслуживание. Аппаратура занимает много места и требует большого количества электротехнических материалов. Значительное потребление энергии требует мощных источников питания оперативным током, а также большой мощности измерительных трансформаторов тока и напряжения. Нередко новые требования к релейной защите не могут быть удовлетворены из-за несовершенства аппаратуры, содержащей электромеханические устройства. Стало очевидным, что использование электромеханических устройств в релейной аппаратуре задерживает дальнейшее развитие техники релейной защиты, как в качественном, так и в количественном отношении.

Один из возможных выходов из создавшегося положения открылся благодаря успехам современной полупроводниковой схемотехники, а в первую очередь – созданию интегральных микросхем, которые и стали основой для создания нового поколения релейной защиты.

Интегральные микросхемы относятся к категории электронных устройств средней степени интеграции, реализующих одну или несколько однородных функций. В последние годы электронная промышленность начала выпускать многоцелевые, так называемые большие интегральные схемы (БИС) универсального назначения. В настоящее время разработано и выпускается значительное количество приборов средней степени интеграции, на которых построены современные микроэлектронные устройства защиты. Эти устройства ориентированы на выполнение сразу нескольких функций, что упрощает и удешевляет монтаж и экономит место на панелях и шкафах РЗА. Второе направление развития РЗА – микропроцессорные устройства – обладают еще более высокой эффективностью, однако стоимость их значительно превышает стоимость микроэлектронных, поэтому последние находят спрос в случаях, когда к устройствам не предъявляются высокие требования в точности и многофункциональности. Микропроцессорные устройства будут рассмотрены в главе 3.

Имеется два основных вида интегральных микросхем. Один вид это так называемые логические микросхемы. Их роль заключается в том, что они обеспечивают подобно промежуточному реле выдачу управляющих команд в логической части защиты.

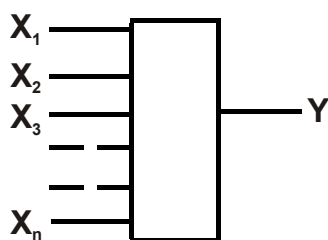


Рис. 2.1 Общее условное изображение логического элемента

Представим себе такой идеальный логический элемент в виде некоторого переключающего устройства, обладающего несколькими входными зажимами $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ и одним выходным зажимом Y .

За исходное состояние элемента примем такое, когда на его входные зажимы поданы нулевые сигналы и когда его переключение происходит после поступления на его входы некоторого сочетания единичных сигналов. Такие элементы зовутся элементами "единичной", или "положительной", логики. Если в исходном состоянии к элементам подводятся единичные сигналы, то их называют элементами "нулевой", или "отрицательной" логики. В наших примерах рассматриваются элементы "положительной" логики.

Операции ИЛИ. У идеального элемента, обеспечивающего выполнение операции **ИЛИ** при нулевых сигналах на всех его выходах, выходной сигнал имеет тоже нулевое значение. Если хотя бы на одном из входных зажимов подается единичный сигнал, элемент немедленно поддействует, и на его выходе устанавливается единичный сигнал. Единичный сигнал на выходе сохраняется при любом числе сигналов 1, поданных на его входы. Когда со всех входных зажимов сигналы 1 снимаются, выходной сигнал **ИЛИ** опять становится нулевым. На структурных схемах элемент **ИЛИ** принято изображать так, как показано на рис. 2.2, а.

Операции И. Элемент, осуществляющий операцию **И**, при нулевых сигналах на всех его входных зажимах имеет на выходном зажиме сигнал 0. Но в отличие от элемента **ИЛИ** этот элемент переключится только тогда, когда единичные сигналы поступят на все его входы. Только при этом условии на его выходном зажиме образуется сигнал 1. В случаях, когда единичные сигналы поступят только на часть входных зажимов, на выходе элемента **И** будет оставаться нулевой сигнал. После срабатывания элемента **И** сигнал 1 на его выходе будет сохраняться до тех пор, пока не снимается единичный сигнал хотя бы с одного из его входных зажимов.

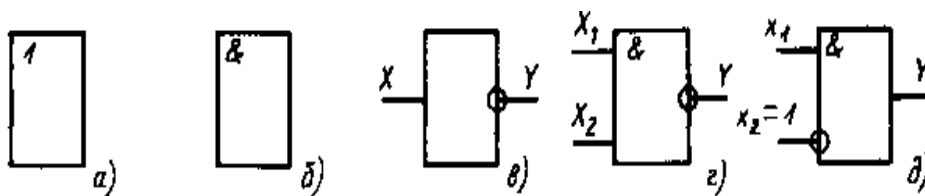


Рис. 2.2 Условные изображения логических элементов:

а – элемент **ИЛИ**; б – элемент **И**; в – элемент **НЕ**;
г – элемент **И-НЕ**; д – элемент **ЗАПРЕТ**

На структурных схемах элемент **И** изображается так, как дано на рис.2.2, б.

Операция НЕ или ИНВЕРСИЯ. В исходном положении элемента **НЕ** принято, что на его единственном входном зажиме X имеется нулевой сигнал, при этом на его выходном зажиме Y держится единичный сигнал. В случае появления на входном зажиме единичного сигнала сигнал на выходе элемента **НЕ** принимает нулевое значение. Действие элемента **НЕ** называют в математической логике инвертированием сигнала или инверсией, а сам элемент –

инвертором. Для его изображения применяется прямоугольник с небольшим кружочком, нанесенным посередине правой или левой его стороны (рис. 2, в).

Для промышленной автоматики изготавливают серийные логические микросхемы, представляющие собой набор из сложных элементов и предназначенные для одновременного выполнения операций **И** и **НЕ**. Такой элемент сокращенно записывается так: элемент **И-НЕ**.

Изображение элемента И-НЕ приведено на рис. 2, г. Ниже дана таблица переключений для элемента И-НЕ; в целях упрощения принято, что элемент имеет всего два входа X_1 и X_2 :

	X_1	X_2	Y
Состояние элемента:			
исходное	0	0	1
поданы сигналы	1	0	1
	0	1	1
	1	1	0

Как видно, мы приняли за исходное состояние такое, когда на входы элемента поданы нулевые сигналы, что соответствует "положительной" логике, применяемой в промышленной автоматике. Если представить себе, что в исходном положении на оба входа поданы сигналы 1, то на выходе установится сигнал 0 (нижняя строка таблицы). И тогда достаточно заменить хотя бы один из входных сигналов нулевым, чтобы на выходе появился сигнал 1. А такое действие элемента представляет собой уже операцию **ИЛИ-НЕ**, но при единичных сигналах в исходном состоянии элемента. Она часто применяется на практике.

Операция **ЗАПРЕТ**. В элементе, служащем для операции **ЗАПРЕТ**, на выходном зажиме Y будет сохраняться нулевой сигнал, если на отдельном, так называемом запрещающем зажиме X_2 имеется единичный сигнал. При наличии этого запрещающего сигнала независимо от того, какой сигнал появится на единственном входном зажиме элемента X_1 , на выходном зажиме Y будет оставаться сигнал 0. После снятия запрещающего сигнала - замены сигнала 1 на запрещающем входе сигналом 0 – изменение выходного сигнала произойдет тогда, когда на входном зажиме X_1 возникнет сигнал 1. Таким образом, для действия элемента **ЗАПРЕТ** нужно выполнить два условия: снять запрещающий сигнал и подать на вход X_1 сигнал 1. Операция **ЗАПРЕТ** может быть также представлена как операция **И** с одним инвертированным входным сигналом, являющимся запрещающим. Применяемое изображение элемента **ЗАПРЕТ** показано на рис. 2, д.

Для применения в устройствах РЗА применяются специальные микросхемы, называемые высокопороговыми. Из микросхем отечественного производства применяется серия К511 с добавлением в конце двух букв и цифры, относящихся к конкретным типам микросхем этой серии. Она предназначена для работы в условиях повышенных электромагнитных помех. В качестве переключающих электронных приборов в микросхемах этой серии используются биполярные транзисторы. По принципу исполнения серия входит в число микросхем транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Для отстройки от помех в серии К511 принята относительно большая разница между уровнями нулевого и единичного сигналов, и поэтому она и считается высокопороговой.

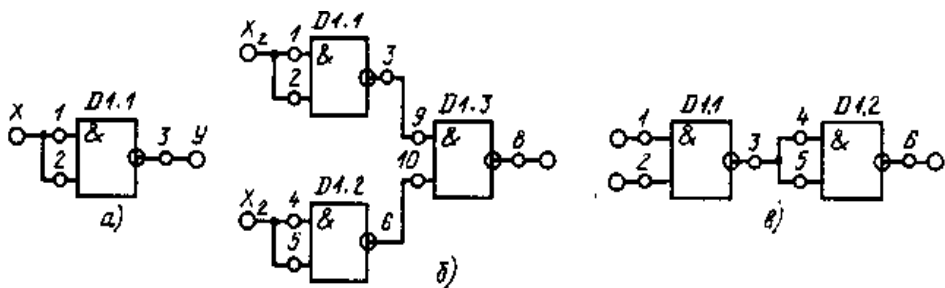


Рис. 2.3 Выполнение логических операций **НЕ** (а), **ИЛИ** (б), **И** (в) на микросхеме **И-НЕ** серии К511

Все основные логические операции, описанные выше, могут быть осуществлены с помощью только элементов **И-НЕ** серии К511. Эти элементы исполнены для выполнения операции **И-НЕ** при нулевых входных сигналах в исходном состоянии. Без всяких дополнений они могут быть использованы для реализации операции **ИЛИ-НЕ**, если в исходном режиме подавать на их входы единичные сигналы, а управление работой осуществлять с помощью нулевых сигналов. На рис. 2.3 показано в качестве примера, как выполняются операции **И**, **ИЛИ**, **НЕ** и **ИЛИ-НЕ** для единичных управляющих сигналов с помощью микросхемы типа К511ЛА1, содержащей четыре двухвходовых элемента **И-НЕ**. Так, операция **НЕ** обеспечивается при подаче единичного сигнала на объединенные входы элемента, что видно из рис. 2.3, а. На рис. 2.3, б изображено исполнение операции **ИЛИ**, а на рис. 2.3, в – операции **И**. Работа схем понятна из рисунков. Элементы **И-НЕ** серии К511 могут присоединяться к выходу операционных усилителей через ограничивающий резистор, имеющий сопротивление порядка 30 кОм.

В качестве реагирующего органа используются операционные усилители.

Отметим основные свойства ОУ:

- очень большой коэффициент усиления по напряжению, превышающий 10^4 и достигающий до $5 \cdot 10^5$;
- малое потребление по входу, измеряемое долями микроампер и меньше;
- небольшое выходное сопротивление, измеряемое десятками или сотнями Ом, что позволяет не учитывать его при выборе нагрузки, которая ограничивается допустимым током выхода ОУ, составляющим примерно 5 мА.

Питание операционных усилителей, применяемых при изготовлении реле защиты, осуществляется от двух разнополярных источников напряжения постоянного тока с общей нулевой точкой. Значения питающих напряжений берутся в диапазоне от ± 5 до ± 15 В в зависимости от конструкции ОУ. Операционный усилитель имеет два независимых входа и один общий выход. Он является усилителем дифференциального типа и реагирует на знак напряжения, определяемого разностью двух напряжений, поданных на его входы. Тот из входов, при преобладании напряжения на котором знак выходного напряжения совпадает с поданным на этот вход, называется неинвертирующим, или сокращенно **Н-входом**. До последнего времени этот вход обозначался на схемах усилителей условным знаком плюс. Другой вход, преобладание напряжения на котором приводит к изменению знака выходного напряжения на противоположный по сравнению со знаком напряжения на этом же входе, называется инвертирующим, или сокращенно **И-входом**. Ему присваивался условный знак минус.

Значения подаваемых на ОУ входных напряжений не должны превышать напряжения питания.

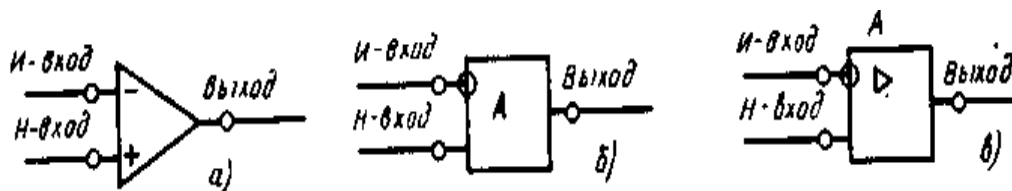


Рис.2.4 Условные изображения операционных усилителей: а – старое; б – допускаемое; в – новое

Если на оба входа ОУ подать одинаковые по значению и знаку напряжения, называемые синфазными, то выходное напряжение будет практически оставаться близким к нулю. Значения синфазных напряжений, подаваемых на входы ОУ, не должны быть выше напряжения питания.

На схемах, содержащих ОУ, встречаются три основных условных изображения операционных усилителей: старое (рис. 4, а), которое продолжают и поныне применять во многих информационных и проектных материалах, допускаемое (рис. 4, б), широко используемое в настоящее

время в технической литературе, и новое (рис. 4, в), принятое совсем недавно. На всех изображениях не показаны источники питания и другие внешние выводы.

Операционные усилители обладают общим недостатком, заключающимся в том, что даже при полном отсутствии внешних входных сигналов, через входы усилителя протекают небольшие так называемые нулевые токи, и может возникать некоторое напряжение между входами, которое называют напряжением сдвига нуля. Их появление обусловливается несбалансированностью входного каскада, которая зависит как от технологических отклонений параметров входных транзисторов, так и от внешних условий, в первую очередь от температуры окружающей среды и изменения напряжений питания. Напряжение сдвига нуля создает на выходе ОУ выходное напряжение соответствующего значения.

Этот недостаток оказывает существенное влияние на выбор параметров резисторов в схемах применения ОУ.

По техническим условиям на ОУ появляющееся выходное напряжение сдвига должно сводиться к нулю, если приложить между входами ОУ так называемое напряжение смещения соответствующего знака, значение которого не должно превосходить 7,5 мВ. Поэтому при расчете схем применения ОУ начальный уровень управляющего сигнала берется порядка 10 мВ. Это в свою очередь определяет нижний расчетный уровень выходного напряжения ОУ. Верхний расчетный уровень выходного напряжения ОУ определяется его напряжением насыщения, которое обычно меньше напряжения питания на 1-2 В.

Благодаря своим свойствам операционный усилитель может быть с достаточной степенью точности представлен в виде идеального усилителя. Такой идеальный усилитель имеет коэффициент усиления дифференциального сигнала, близкий к бесконечности ($A_D \rightarrow \infty$), и коэффициент усиления синфазных сигналов, равный нулю ($A_{сф} \rightarrow 0$). Входные токи идеального усилителя близки к нулю ($I_{ВХ} \rightarrow 0$), а выходное внутреннее сопротивление приближается к нулевому значению ($Z_{ВЫХ} \rightarrow 0$). Для облегчения анализа схем, в которых используются реальные операционные усилители, рассмотрим основные схемы их применения на примере идеальных усилителей дифференциального типа.

Идеальный усилитель обеспечивает максимальное значение выходного напряжения, ограниченное лишь уровнями напряжений питания, при очень малой разности напряжений между его входами. Эта разность не соизмерима со значениями напряжений во внешней части схемы. Получающуюся при этом на входных зажимах разность потенциалов называют напряжением суммирующей точки. Его значение близко к нулю. Токи, поступающие на входы идеального усилителя, также весьма малы и при рассмотрении схем не учитываются.

Основные схемы применения ОУ строятся на использовании различных вариантов обратных связей между выходом ОУ и его входами. Обратная связь в таких схемах осуществляется через соответственно подобранные линейные и нелинейные сопротивления в зависимости от характера операций, выполняемых с помощью данной схемы. Связь между выходом ОУ и Н-входом называется положительной обратной связью (ПОС), связь между выходом ОУ и инвертирующим входом – отрицательной обратной связью (ООС). Перейдем к описанию основных типовых схем применения ОУ.

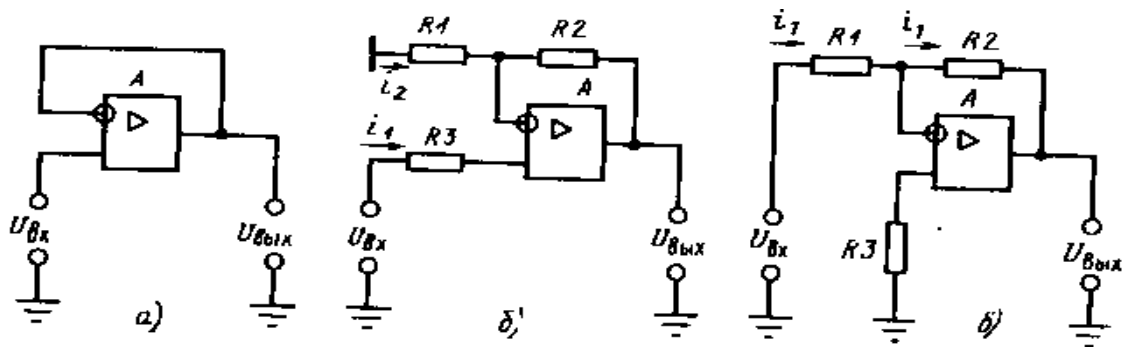


Рис.2.5 Основные схемы применения операционных усилителей:

а – повторитель напряжения; б – неинвертирующий усилитель;
 в – инвертирующий усилитель

Повторитель напряжения — схема, в которой выход ОУ соединен непосредственно с инвертирующим входом через сопротивление, равное нулю. Управляющий сигнал подается прямо на неинвертирующий вход (рис. 2.5, а). Подобный вид обратной связи называют 100%-ной отрицательной обратной связью (100 % ООС). При $U_{вх} = 0$ напряжение на выходе тоже будет оставаться равным нулю, так как на непосредственно связанном с ним инвертирующем входе не возникает разности напряжений по отношению к неинвертирующему входу. В случае изменения входного напряжения на неинвертирующем входе между входами будет поддерживаться ничтожно малая разность напряжений, определяемая значением напряжения суммирующей точки. Напряжение на выходе ОУ практически сравняется с поступающим сигналом и, по мере его изменения, будет совпадать с меняющимися значениями входного сигнала. Таким образом, рассматриваемая схема является следящей, повторяющей на выходе входной сигнал. Отсюда ее название. Коэффициент усиления повторителя напряжения,

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 1.$$

Неинвертирующий усилитель

Показанная на рис. 2.5, б схема применяется для усиления сигналов, подаваемых на неинвертирующий вход. В данной схеме ОУ охвачен отрицательной обратной связью через резистор $R2$, а резистор $R1$ соединяет инвертирующий вход с нулевой шинкой. Ток i_2 , проходящий по цепи обратной связи, определяется значением $U_{вых}$. Резисторы $R1$ и $R2$ представляют собой делитель напряжения. Так как входные токи ОУ можно не учитывать, то напряжение на инвертирующем входе будет равно $U_{вх} \cdot \frac{R1}{R1 + R2}$. Учитывая, что значение напряжения в суммирующей точке несравнимо меньше $U_{вх}$, можно считать, что напряжение на инвертирующем входе имеет то же значение, что и поступающий на неинвертирующий вход сигнал. Отсюда $U_{вх} = U_{вых} = \frac{R1}{R1 + R2}$. Коэффициент усиления такого усилителя

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{R1 + R2}{R1}.$$

Чтобы не нагружать выход ОУ, резисторы $R1$ и $R2$ в реальных схемах принимают порядка десятков и сотен кОм. Из схемы видно, что неинвертирующий усилитель имеет большое входное сопротивление, которое зависит только от входного тока ОУ i_1 , приближающегося к нулю. На линейном участке характеристики коэффициент усиления такого усилителя может быть весьма большим (достигать нескольких сотен). О назначении резистора $R3$ сказано ниже.

Инвертирующий усилитель

Схема его (рис.2.5, в) отличается от предыдущей тем, что управляющий сигнал подается на инвертирующий вход через резистор $R1$, а неинвертирующий вход соединяется с нулевой шинкой через резистор $R3$, поэтому потенциал суммирующей точки в рассматриваемой схеме равен примерно потенциалу нулевой шинки. Резисторы $R1$ и $R2$, образующие делитель напряжения, имеют нулевой потенциал в точке их соединения на инвертирующем входе. При подаче сигнала на инвертирующий вход при заземленном неинвертирующем входе на выходе ОУ получается усиленный сигнал противоположного знака, так как в суммирующей точке происходит переход через нулевое значение. Так как собственный входной ток ОУ можно не

учитывать, принимаем, что по цепи из $R1$ и $R2$ течет один ток $i_1 = \frac{U_{вх}}{R1} = -\frac{U_{вых}}{R1}$. Знаком ми-

нус учитываются противоположные знаки ($U_{вх}$ и $U_{вых}$). Отсюда можно получить выражение

для коэффициента усиления инвертирующего усилителя $K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = -\frac{R2}{R1}$.

Входное сопротивление инвертирующего усилителя значительно меньше, чем у неинвертирующего, так как равно сопротивлению резистора $R1$, которое берется в тех же пределах, что и для неинвертирующего усилителя.

Из рассмотренных схем усилителей видно, что их коэффициент усиления определяется только соотношением сопротивлений в цепи входов и обратной связи. И хотя эти данные получены для схем с идеальными ОУ, они с достаточной степенью точности могут быть применены и к реальным ОУ. Благодаря этому ОУ имеют универсальное применение, взаимозаменяемы и не требуют подбора, как это часто бывает в схемах, содержащих обычные транзисторы. Для понимания свойств реальных операционных усилителей, отличающих их от идеальных, ознакомимся с устройством применяемых ОУ.



Рис.2.6 Структурная схема операционного усилителя

Схемы таких ОУ содержат, как правило, три основных усилительных каскада (рис. 2.6): входной (дифференциальный), промежуточный (усилительный) и выходной (низкоомный).

Входной каскад является основной частью ОУ, определяющей его качество. В этом каскаде формируется дифференциальный сигнал, строго пропорциональный разности напряжений, подаваемых на входы ОУ. Дифференциальный коэффициент усиления входного каскада серийных ОУ может достигать значения 500 и более, при этом должна поддерживаться линейная зависимость между входным разностным сигналом и сигналом, поступающим из входного каскада в следующий, промежуточный каскад.

Промежуточный каскад является чисто усилительным и предназначен для связи между входным и выходным каскадами. Его коэффициент усиления у большинства серийных ОУ имеет такое же значение, как и у входного.

Входной каскад не должен реагировать на синфазные входные сигналы. Это очень важно с позиций нечувствительности ОУ к помехам. Ведь, как правило, помехи являются сигналами одинаково воздействующими на оба входа ОУ. Включение входного каскада ОУ по дифференциальной схеме само по себе делает его малочувствительным к синфазным входным напряжениям. Такое включение снижает также влияние температурных изменений отдельных параметров транзисторов и сопротивлений, входящих в плечи дифференциального каскада.

В схеме они оказываются включенными навстречу друг другу, благодаря чему однозначные температурные изменения отдельных параметров взаимно компенсируются.

Однако простого включения входных транзисторов по дифференциальной схеме недостаточно, чтобы обеспечить требуемую нечувствительность ОУ к синфазным напряжениям. Она достигается за счет ряда дополнительных мер, применяемых в схемах входных каскадов. Благодаря им также сводится к минимуму напряжение сдвига нуля. Выходной каскад является в основном усилителем мощности, и поэтому его коэффициент усиления по напряжению невелик и приближается к единице.

Остановимся на основных параметрах указанных выше ОУ.

Коэффициент усиления дифференциального сигнала A_d (В/мВ) равен приращению выходного напряжения к вызвавшему это приращение входному напряжению.

Входное сопротивление ОУ $R_{вх}$ (кОм) равно отношению приращения его входного напряжения к приращению активной составляющей входного тока.

Напряжение смещения ОУ $U_{см}$ (мВ) определяется значением постоянного входного напряжения, при котором выходное напряжение равно нулю.

Максимальное выходное напряжение ОУ $U_{вых max}$ (В) определяется предельным значением выходного напряжения при номинальном напряжении питания.

Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений дифференциального ОУ $K_{с,с}$ (дБ) равен отношению приращения синфазных входных напряжений к входному дифференциальному напряжению, вызывающих одно и то же приращение выходного напряжения.

Предельный выходной ток ОУ $I_{вых}$ (мА) равен максимальному значению выходного тока при оговоренном входном напряжении. Иногда вместо него приводится допустимое минимальное сопротивление нагрузки R_n (кОм).

2.2 ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КАЧЕСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТЫ

В данном параграфе описывается работа отдельных элементарных звеньев, из которых собираются основные узлы реле защиты. Каждое звено предназначается для осуществления одной из частных операций, присущих данному узлу. В схеме звена может содержаться одна или несколько микросхем, благодаря которым такие звенья относят к активным и называют функциональными элементами.

Наряду с функциональными элементами в схемах реле защиты применяют также звенья, не содержащие интегральных микросхем. В отличие от функциональных элементов такие звенья называют пассивными.

Остановимся на типовых схемах функциональных элементов, используемых в серийных реле защиты. Большинство из них заимствовано из схем, используемых в измерительной технике и промышленной автоматике.

К числу наиболее часто применяемых функциональных элементов следует в первую очередь отнести **схемы усилителей**, содержащих ОУ. Среди них можно указать уже известные из предыдущего параграфа схемы неинвертирующего и инвертирующего усилителей, изображенные на рис. 2.5, б, в. Широко применяют также повторители напряжения, показанные на рис. 2.5, а.

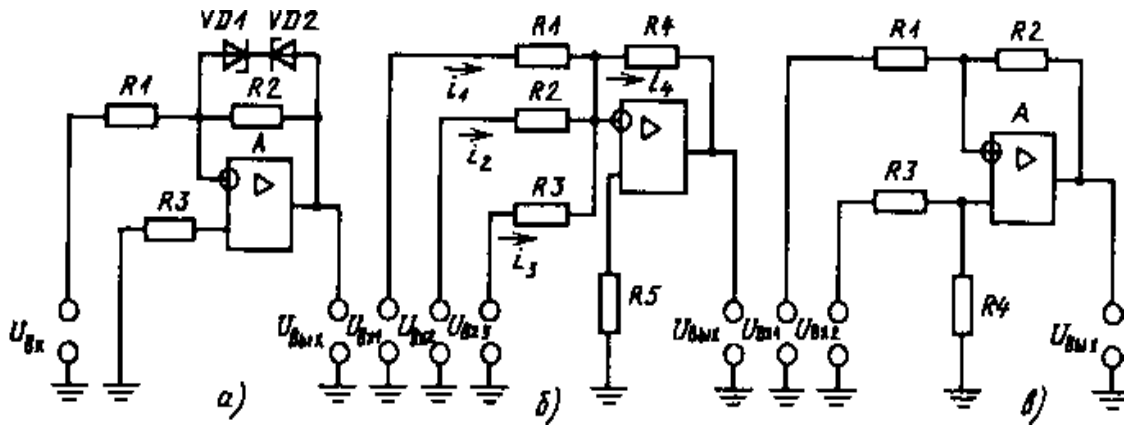


Рис. 2.7 Отдельные типовые схемы усилителей на реальных ОУ:

а – усилитель-ограничитель; б – сумматор на базе инвертирующего усилителя; в – дифференциальный усилитель.

Наряду с ними довольно часто в реле защиты применяют усилители с ограничением уровня выходного напряжения, называемые сокращенно **усилителями-ограничителями**. Ограничения достигают за счет включения параллельно сопротивлению обратной связи двух встречно включенных стабилитронов (рис. 8, а). При подъеме выходного напряжения более $U_{cm} + 0,7$ В сопротивление обратной связи шунтируется и рост $U_{вых}$ прекращается. Здесь U_{cm} – напряжение пробоя стабилитрона, а 0,7 В – падение напряжения на стабилитроне в прямом, диодном направлении.

Часто используют **схемы сумматоров** напряжения на ОУ. Один из вариантов схемы сумматора с тремя входами, выполненный на основе инвертирующего усилителя, показан на рис. 2.7, б. На инвертирующий вход подаются складываемые напряжения через индивидуальные резисторы $R1 - R3$. По этим резисторам протекают токи $i_1 = \frac{U_{ex}}{R1}$; $i_2 = \frac{U_{ex}}{R2}$ и $i_3 = \frac{U_{ex}}{R3}$. По резистору обратной связи $R4$ проходит ток i_4 , равный сумме этих токов. Полагая, что напряжение в суммирующей точке равно нулю, получаем, что выходное напряжение

$$U_{вых} = i_4 R4 = - \left(\frac{U_{ex1}}{R1} + \frac{U_{ex2}}{R2} + \frac{U_{ex3}}{R3} \right) R4 \quad (2.1)$$

При $R1 = R2 = R3$ выходное напряжение будет пропорционально сумме входных напряжений. Сумматоры обладают малым собственным потреблением и позволяют поднять значение суммы напряжений до желаемого уровня. Они успешно используются в схемах формирователей сигналов, фильтров симметричных составляющих и для сравнения мгновенных или средних значений подаваемых напряжений.

К числу типовых относится также схема **дифференциального усилителя**, показанная на рис. 8, в. Для того чтобы эта схема осуществляла функцию усилителя разности входных напряжений $U_{ex2} - U_{ex1}$, нужно, чтобы $\frac{R2}{R1} = \frac{R4}{R3}$. Действительно, если $U_{ex2} = 0$, то схема рабо-

тает как обычный инвертирующий усилитель $U_{вых} = -U_{ex1} \frac{R2}{R1}$, если , то при напряжении на

неинвертирующем входе $U_+ = U_{ex2} \frac{R4}{R3 + R4}$ для **НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО** усилителя имеем:

$$U_{вых} = U_+ \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) = U_{ex2} \frac{R4}{R3 + R4} \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (2.2)$$

Но, как следует из сказанного выше, $\frac{R4}{R3 + R4} = \frac{R2}{R1 + R2}$. И тогда:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}_2} \left(\frac{\frac{R2}{R1 + R2}}{\frac{R1}{R1 + R2}} \right) = U_{\text{вх}_2} \frac{R2}{R1} \quad (2.3)$$

Если на схему подать одновременно $U_{\text{вх}_1}$ и $U_{\text{вх}_2}$, то получим выходное напряжение:

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}_1} \frac{R2}{R1} + U_{\text{вх}_2} \frac{R2}{R1} = (U_{\text{вх}_2} - U_{\text{вх}_1}) \cdot \frac{R2}{R1} \quad (2.4)$$

Таким образом, данная схема обеспечивает усиление разности входных напряжений. Дифференциальный усилитель применяется также в качестве основы для получения схем различных сумматоров-вычитателей.

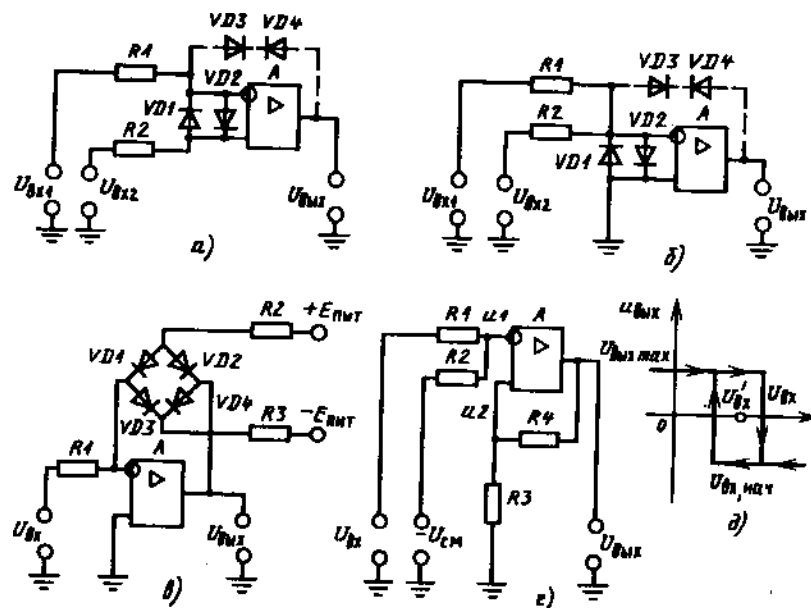


Рис. 2.8 Компаратор на реальных ОУ:

- а – однопороговый для однополярных сигналов;
- б – однопороговый для разнополярных сигналов;
- в – двухпороговый компаратор;
- г – инвертирующий триггер Шмитта;
- д – передаточная характеристика триггера Шмитта

Рассмотрим еще несколько схем применения серийных ОУ. **Компараторы** представляют собой схемы, обеспечивающие сравнение двух входных напряжений. Напряжение на выходе компаратора скачкообразно изменяется, когда одна из сравниваемых величин становится больше другой.

В реле защиты широко используются компараторы, в которых одной входной величиной является опорное напряжение заданного значения, а другой – напряжение, пропорциональное измеряемому напряжению или току, которое поступает от соответствующих датчиков. Компараторы используются также в качестве **нуль-индикаторов**. В них один из входов компаратора заземляется и скачкообразное изменение выходного напряжения происходит при переходе измеряемого сигнала через нулевое значение. Одна из типовых схем компаратора показана на рис. 9, а. На вход 7 подается измеряемый сигнал, а на вход 2 — опорное напряжение. Пока измеряемое напряжение меньше опорного, на выходе ОУ держится максимальное выходное напряжение, совпадающее по знаку с опорным. Как только измеряемое напряжение

станет больше опорного примерно на величину, равную свойственному данному ОУ напряжению суммирующей точки, выходное напряжение немедленно изменит свой знак на противоположный, сохранив максимальное значение. Диоды **VD1** и **VD2** защищают входы ОУ от повышенных значений дифференциального напряжения.

Если нужно ограничить выходное напряжение определенным уровнем, то в цепи обратной связи устанавливают два стабилитрона, включенных встречно.

Другая типовая схема компаратора, называемого еще суммирующим, показана на рис. 9, б. Компаратор применяется для сравнения разнополярных напряжений, подаваемых на его входы, при этом входные напряжения могут быть весьма большими. Изменение знака выходного напряжения происходит при переходе напряжения, приходящего на инвертирующий вход, через нулевое значение. Описанные компараторы получили наименование **однопороговых**.

Схема **двухпорогового компаратора** показана на рис. 2.8, в. При отсутствии входного сигнала диоды **VD1—VD4** открыты за счет протекания по ним тока от источников питания ± 15 В. Потенциалы узлов моста, примыкающих к инвертирующему входу и выходу ОУ, одинаковы, при этом сопротивление в цепи отрицательной обратной связи настолько мало, что коэффициент усиления схемы близок к нулю. Выходное напряжение держится на уровне прямого падения напряжения на диодах **VD1-VD4**. При появлении входного сигнала по диодам **VD1-VD4** начинают протекать дополнительные токи. Если $U_{вх}$ положительно, то эти токи, проходя по диодам **VD1** и **VD4**, будут направлены навстречу току, идущему от источника питания, и будут вычитаться из него, а при протекании этих токов через диоды **VD2** и **VD3** их направление будет совпадать с током от источника питания, и эти токи сложатся.

При некотором значении напряжения, называемого пороговым, диоды **VD1** и **VD4** закроются. Это приведет к резкому возрастанию сопротивления обратной связи и соответственно к появлению максимального значения $U_{вых}$. При отрицательном входном напряжении схема работает аналогично, только знак выходного напряжения будет противоположным. Подбором сопротивлений **R2 – R3** можно регулировать уровень порогового напряжения. Рассмотренная схема обладает повышенной помехоустойчивостью.

Триггер Шмитта представляет собой компаратор с одним заземленным входом, заданным опорным напряжением и положительной обратной связью. Благодаря ей изменение знака выходного напряжения и обратный переход в начальное состояние происходит при разных уровнях входного напряжения.

Зависимость $U_{вых}$ от $U_{вх}$ приобретает форму прямоугольной петли гистерезиса. Рассмотрим, как работает одна из распространенных схем – инвертирующий триггер Шмитта со смещенной характеристикой, изображенный на рис. 2.8, г. Для того чтобы срабатывание и возврат триггера происходили при изменениях входного напряжения одного знака, на его инвертирующий вход подается отрицательное напряжение смещения $-U_{см}$. При отсутствии $U_{вх}$ на инвертирующий вход ОУ поступает отрицательное напряжение, равное

$u_1 = -U_{см} \frac{R1}{R1 + R2}$ при этом выходное напряжение имеет максимальное положительное значение, а на неинвертирующем входе держится положительный потенциал $u_2 = U_{вых\ max} \frac{R3}{R3 + R4}$. Для переключения схемы нужно повысить входное напряжение до положительного значения, обеспечивающего превышение потенциала u_1 над u_2 . Это выходное напряжение можно представить в виде суммы двух слагающих. Одна из них – это входное напряжение, при котором u_1 становится равным нулю: $U_{вх\ нач} = U_{см} \frac{R1}{R2}$:

вторая – это часть входного напряжения, на которую его нужно поднять дополнительно, чтобы потенциал u_2 достиг имеющегося на неинвертирующем входе потенциала u_2 :

$$U'_{вх} = u_2 \frac{R1 + R2}{R2} = U_{вых max} \cdot \frac{R3}{R3 + R4} \cdot \frac{R1 + R2}{R2} \quad (2.5)$$

Отсюда следует, что для действия триггера Шмитта входное напряжение должно стать больше:

$$U_{вх ср} = U_{вх нач} + U'_{вх} = U_{см} \frac{R1}{R2} + U_{вых max} \cdot \frac{R3}{R3 + R4} \cdot \frac{R1 + R2}{R2} \quad (2.6)$$

Для возврата триггера в исходное состояние входное напряжение нужно снизить до значения $U_{вх нач} - U'_{вх}$. На рис. 2.8, д приведена передаточная характеристика такого триггера Шмитта.

Она имеет четко выраженный "релейный" характер. Поэтому такие триггеры часто используют в исполнительной части реле. Применяют их также для преобразования синусоидальных напряжений в прямоугольные, особенно при искаженной форме кривой напряжения.

Измерительные преобразователи тока и напряжения, называемые сокращенно датчиками, являются основной частью узла измерения. Наряду с основными функциями в них решается задача - защитить полупроводниковую часть реле от высокочастотных наводок, могущих проникать в цепи вторичной коммутации. Для защиты служит специальный экран, помещаемый между первичной и вторичной обмотками входного трансформатора датчика. Экран представляет собой однослойную обмотку, соединенную с нулевой шинкой реле.

Нагрузкой измерительных преобразователей служит соответственно подобранные резисторы. Падение напряжения, снимаемое с резистора, используется в качестве управляющего для узла формирования. Примеры исполнения датчиков тока показаны на рис. 2.9.

В простейшем случае в качестве нагрузки датчика тока используют резистор, включенный через двухполупериодный выпрямитель (рис. 2.9, а).

Для сложных реле применяют датчики тока с несколькими ступенями регулировки с помощью резисторов, подсоединяемых через переключатели (рис. 2.9, б) ко вторичной обмотке датчика. Выходное напряжение такого датчика снимается с делителя напряжения на резисторах. Средняя точка делителя связана с нулевой шинкой, что позволяет получать напряжения разного знака относительно нуля реле. Еще один вариант датчика тока, обеспечивающий возможность регулировки снимаемого с него напряжения с помощью отпаяек, показан на рис. 2.9, в.

Схема датчика тока для реле дифференциальной защиты трансформаторов и двигателей, в котором применен трансреактор, показана на рис. 2.9, г. Выходное напряжение трансреактора пропорционально первой производной входного тока. За счет этого обеспечивается исключение медленно затухающей апериодической слагающей и усиление составляющих высших гармоник в получаемом выходном напряжении. Конденсатор **С1** поставлен для подавления помех, имеющих частоту 500 Гц и выше.

В составе датчика напряжения имеется промежуточный трансформатор, ко вторичной обмотке которого подсоединяется схема преобразования входного напряжения, требующаяся для данного исполнения реле. В серийных реле напряжения применяется датчик, подобный показанному на рис. 2.9, а, но только с одной первичной обмоткой, последовательно с которой включается добавочное сопротивление. У сложных реле во вторичную цепь датчика напряжения при необходимости может включаться фазоповоротная схема (рис. 2.9, д).

Там, где требуется осуществить регулировку выходного напряжения датчика в широких пределах, вторичная обмотка промежуточного трансформатора выполняется с отпайками и соответствующим переключателем для грубого подбора ступеней регулировки. Кроме того, для плавного изменения напряжения на выходе датчика ставится делитель напряжения на резисторах. Один из резисторов снабжается движком для точной установки требуемого напряжения (рис. 2.9, е).

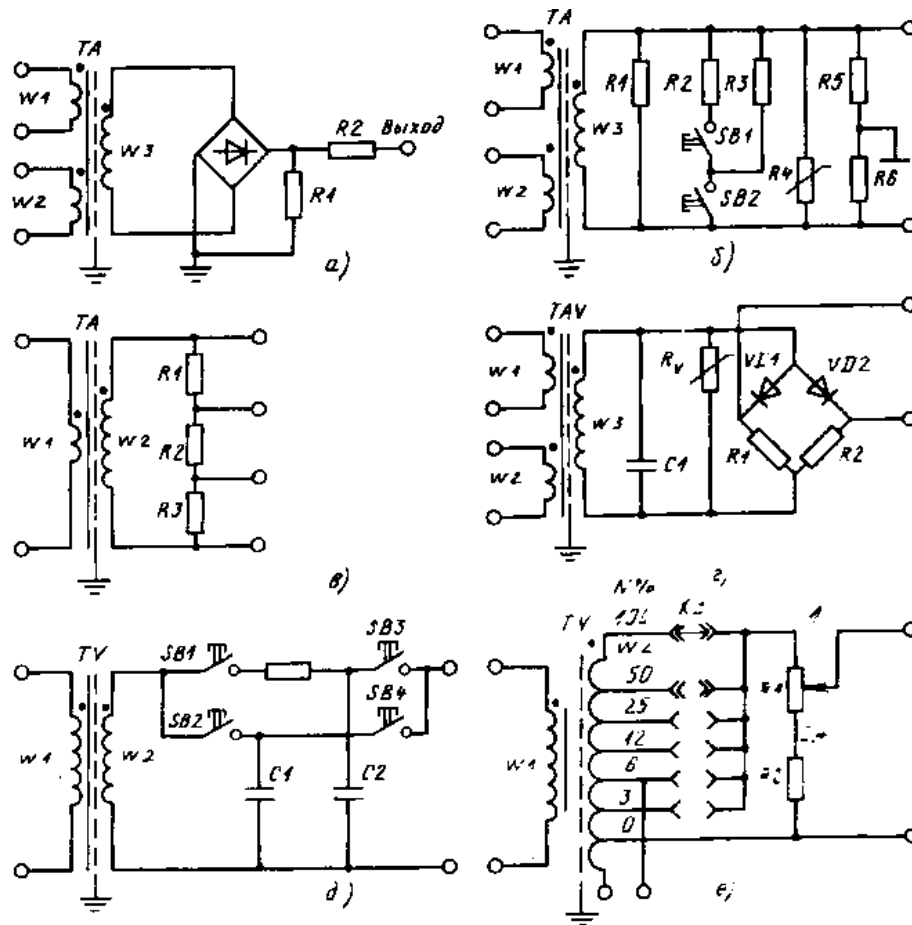


Рис. 2.9 Датчики тока и напряжения:

а – датчик тока с выпрямителем; б – датчик тока со ступенчатой регулировкой выходного сигнала; в – датчик тока с делителем выходного сигнала; г – датчик тока с трансреактором и выпрямителем; д – датчик напряжения с фазоповоротной схемой; е – датчик напряжения со ступенчатой и плавной регулировкой выходного напряжения.

В следующем параграфе, в качестве примеров, приводятся описания некоторых реле производства фирмы «Энергомашвин».

2.3 ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

2.3.1 Устройства защиты по току УЗА-АТ (УЗА-АТ-Т)

Устройства предназначены для использования в схемах релейной защиты и противоаварийной автоматики для защиты электрических машин, трансформаторов и линий электропередач при коротких замыканиях и перегрузках.

Устройства УЗА-АТ – это микроэлектронные реле без дополнительного источника питания. Питание элементов схемы осуществляется от входного тока. Дополнительное питание (постоянное или переменное напряжение значением 220 В) требуется только для обеспечения функции АПВ, индикации и дистанционной блокировки отсечки. Модификация УЗА-АТ-Т предназначена для использования в качестве трехступенчатой защиты понижающих трансформаторов 35 кВ – 1 ступень отключает СВ, вторая – ввод НН, третья – ввод ВН.

Устройства УЗА-АТ обеспечивают:

- максимальную токовую защиту (МТЗ) с независимой и двумя зависимыми характеристиками срабатывания (по выбору с передней панели);
- токовую отсечку (ТО) с временной задержкой (70-100) мс или (150-200) мс, которая задается с передней панели;

- ненаправленную или направленную защиту от замыканий на землю - ЗНЗ (кроме исполнений УЗА-АТ-Т). При этом, для ненаправленной ЗНЗ в заказе следует указать требуемый диапазон уставок тока срабатывания (табл. 2);
 - защиту от перегрузки (кроме исполнений УЗА-АТ-Т);
 - возможность задания общих для двух фаз входного тока уставок тока срабатывания МТЗ, тока срабатывания отсечки (в кратностях к току срабатывания МТЗ), времени срабатывания МТЗ;
 - срабатывание МТЗ и (или) токовой отсечки по наибольшему из входных токов;
 - возможность отключения токовой отсечки с передней панели или дистанционно замыканием внешнего замыкающего контакта. При этом, необходимо к клеммам питания устройства (приложение 2) подключить постоянное или переменное напряжение значением 220 В \pm 20%. В случае кратковременного (не более 1 минуты) пропадания напряжения 220 В и замыкания, в этот момент, внешнего замыкающего контакта, дистанционное отключение токовой отсечки обеспечивается на время не менее 3 секунд. Для исполнений УЗА-АТ-Т, кроме того, обеспечивается дистанционное отключение ТО без напряжения 220 В при наличии аварийного тока во входных цепях реле;
 - возможность отключения МТЗ дистанционно замыканием внешнего замыкающего контакта (только для исполнений УЗА-АТ-Т). Для этого требуется наличие оперативного напряжения или аварийного тока на соответствующих клеммах реле;
 - возможность работы в схемах с шунтированием-дешунтированием управляемой цепи. В качестве выходного силового ключа используется триак ТС 132 – 50 – 10. Для исполнений УЗА-АТ-Т предусмотрено дистанционное управление шунтированием-дешунтированием замыканием внешнего замыкающего контакта. Это может потребоваться для отключения трансформатора от дополнительных защит – например: дифзащиты трансформатора. Для этого требуется наличие аварийного тока на соответствующих клеммах реле.
 - функцию однократного АПВ (кроме исполнений УЗА-АТ-Т);
 - индикацию до сброса (с запоминанием) срабатывания МТЗ, ТО, АПВ, дискретного входа (только при наличии постоянного или переменного напряжения значением 220 В на клеммах питания устройства). Для функции МТЗ УЗА-АТ-Т индикация срабатывания с запоминанием обеспечивается для каждого выхода (ВЫХОД 1 МТЗ, ВЫХОД 2 МТЗ, ВЫХОД 3 МТЗ) отдельно;
 - индикацию готовности АПВ (кроме исполнений УЗА-АТ-Т);
 - индикацию срабатывания ЗНЗ и защиты от перегрузки (без запоминания);
 - индикацию наличия тока во входных цепях устройства;
 - возможность сброса индикации срабатывания с передней панели или дистанционно.
- Для исполнений УЗА-АТ-Т обеспечивается сброс индикации срабатывания только с передней панели;
- возможность внутреннего (при срабатывании МТЗ или ТО) или внешнего пуска АПВ (кроме исполнений УЗА-АТ-Т);
 - возможность внешнего сброса готовности АПВ (кроме исполнений УЗА-АТ-Т);
 - возможность внутреннего (при срабатывании МТЗ или ТО) пуска АПВ при пропадании напряжения питания 220 В, если:
 - на момент пропадания напряжения 220 В светился светодиод ГОТОВ АПВ;
 - с момента пропадания напряжения 220 В прошло не более 5 секунд.

После прохождения внутренней команды пуска АПВ схема АПВ "останавливается" до возобновления подачи напряжения питания, после чего схема АПВ продолжает работу. При этом следует иметь в виду, что внешний пуск АПВ при отсутствии напряжения питания 220 В не обеспечивается.

Устройства УЗА-АТ содержат дискретный вход, обеспечивающий индикацию срабатывания, размножение и распространение выходного сигнала внешней защиты (например, дуговой).

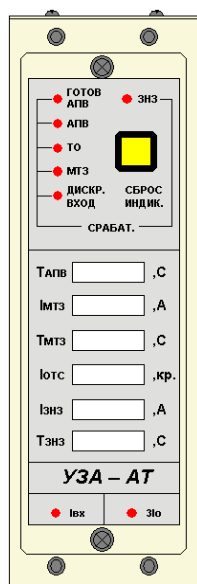
Значения уставок тока срабатывания МТЗ, выдержки времени МТЗ, кратности тока отсечки, выдержки времени АПВ их количество и дискретность приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1. Характеристики УЗА-АТ

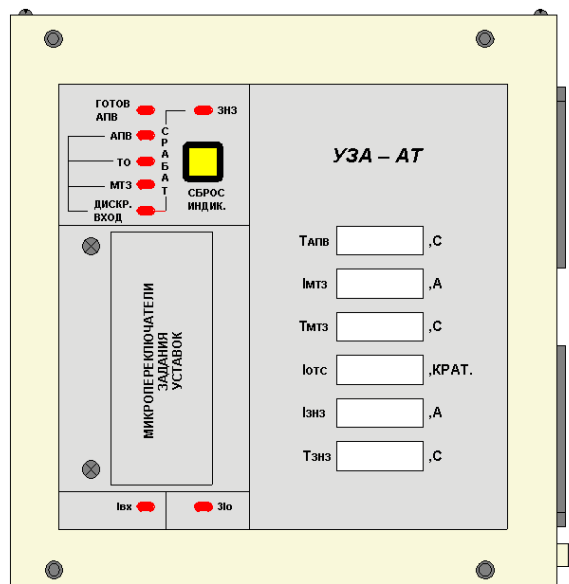
Уставки тока срабатывания МТЗ, А					Уставки выдержки времени МТЗ, с			Уставки тока отсечки, крат.			Уставки АПВ, с		
Диапазон, А		Кол.	Дискр., А		Диап., с	Кол.	Дискр., с	Диап., крат.	Кол.	Дискр., крат.	Диап., с	Кол.	Дискр., с
$I_n=5A$	$I_n=1A$		$I_n=5A$	$I_n=1A$									
1-2,27	0,4-0,91	128	0,01	0,004	0,3-25,8	256	0,1	2-17,75	64	0,25	0,5-8	16	0,5
2-4,54	0,8-1,82	128	0,02	0,008									
4-9,08	1,6-3,63	128	0,04	0,016									
8-18,16	3,2-7,26	128	0,08	0,032									

Выходной контакт АПВ является проскальзывающим. Время удержания его в замкнутом состоянии находится в пределах (0,25-0,4) с.

Уставки тока срабатывания ненаправленной ЗНЗ							
Диапазон изменения уставок	Кол-во дискретных уставок	Подключение к клеммам 9,10			Подключение к клеммам 8,9		
		Диапазон изменения уставок	Дискр-сть изменения уставок	Номинальный ток, А	Диапазон изменения уставок	Дискр-сть изменения уставок	Номинальный ток, А
0,05-0,415	64	50-207,5 mA	2,5 mA	0,25	100-415 mA	5 mA	0,5
0,15-1,245	64	150-622,5 mA	7,5 mA	0,75	300-1245 mA	15 mA	1,5
0,5-4,15	64	0,5-2,075 A	0,025 A	2,5	1,0-4,15 A	0,05 A	5,0



Лицевая панель устройства с креплением по узкой стороне



Лицевая панель устройства с креплением по широкой стороне

Рис. 2.10 Микроэлектронное устройство защиты УЗА-АТ. 2 варианта исполнения

Диапазон уставок выдержки времени ЗНЗ (0,1-6,4) с, дискретность – 0,1 с.

Диапазон уставок тока срабатывания защиты от перегрузки (1,0–7,3) А с дискретностью 0,1 А. Выдержка времени защиты от перегрузки фиксирована и находится в пределах (7–10) с.

Контакты выходных промежуточных реле имеют коммутационную способность 20 А на замыкание и 5 А длительно.

Устройства обеспечивают следующие характеристики зависимости времени срабатывания МТЗ от кратности тока срабатывания (выбором с передней панели) в диапазоне входных токов $2I_y \leq I \leq 10I_y$ (см. рис 2.13):

а) независимая

$$t = t_y \quad (2.7)$$

б) зависимая нормальная

$$t = \frac{0,14 \cdot K}{\left(\frac{I}{I_y}\right)^{0,02} - 1} \cdot t_y \quad (2.8)$$

в) зависимая крутая

$$t = \frac{13,5 \cdot K}{\left(\frac{I}{I_y}\right) - 1} \cdot t_y \quad (2.9)$$

где:

t – теоретическое время срабатывания, с;

t_y – уставка времени срабатывания, т.е. теоретическое время срабатывания для $I = 10I_y$, с;

I – входной ток устройства, А;

I_y – уставка тока срабатывания, А;

K – коэффициент, значение которого зависит от отношения $\frac{I}{I_y}$, для которого нормируется t_y , для $\frac{I}{I_y} = 10$ характеристики (2) $K = 0,3366$, а для характеристики (3) – $K = 0,6667$.

В диапазоне входных токов $I > 10I_y$ время срабатывания устройства не больше, чем время срабатывания при $I = 10I_y$.

Для ЗНЗ обеспечивается зависимость (1).

Принцип действия реле УЗ-АТ

Функциональная схема основных защит устройства приведена на рис. 2.11, 2.12.

Принцип действия МТЗ и ТО

Для функционирования МТЗ и ТО оперативное питание не требуется. Питание элементов схемы МТЗ и ТО осуществляется от входного тока.

Входной ток, в зависимости от выбранного диапазона, поступает на соответствующие выводы первичной обмотки трансформаторов тока ТТ1, ТТ2. Выпрямители ВП1, ВП2 преобразуют переменный ток частотой 50 Гц в выпрямленный пульсирующий ток частотой 100 Гц. При достижении входным током любой фазы значения (0,2–0,3) тока минимальной уставки на выходе источника питания ИП1 появляется достаточное для нормальной работы схемы напряжение питания. При этом на выходе ИОН1 появляются опорные напряжения -2В и +2В и загорается светодиод “ I_{ex} ”.

Резисторы R1, R2 преобразуют пульсирующий ток в пульсирующее напряжение частотой 100 Гц, которое усиливается усилителями УН1, УН2 и преобразуется фильтрами ФНЧ1, ФНЧ2 в постоянное напряжение, пропорциональное входному току "своей" фазы.

С выходов ФНЧ1, ФНЧ2 напряжения поступают на переключающий компаратор К6, который подключает на вход формирователя уставок тока ФУі большее из входных напряжений.

С выхода ФУі напряжение поступает на схему токовой отсечки (ФУо, К1, С31) и схему МТЗ с тремя характеристиками срабатывания (ФП1, ФП2, S, ФУт, К3, И1, К2).

ФУо масштабирует выходной сигнал ФУі таким образом, что при достижении входным током значения уставки отсечки напряжение на выходе ФУо сравнивается с напряжением ИОН1 -Uоп. Это приведет к срабатыванию компаратора К1. Выходной сигнал К1 запустит схему задержки С31. Значение времени задержки С31 задается оператором с передней панели и составляет (70–100) мс или (150-200) мс, по истечении которого С31 откроет ключ SV1, что приведет к срабатыванию выходных реле Р1, Р2 (ВЫХОД ТО+МТЗ). Одновременно, выходной сигнал С31 поступает на ключи SV12, SV4. Ключ SV12 открывается и замыкает контакт двухстабильного реле, что вызывает загорание светодиода СРАБАТ. ТО (при наличии оперативного питания 220 В). Ключ SV4, при наличии разрешающего сигнала с компаратора К4, замыкает контакт двухстабильного реле Р4 схемы АПВ.

При достижении входным током значения уставки тока срабатывания МТЗ напряжение на выходе ФУі сравнивается с напряжением ИОН1 -Uоп. Компаратор К3 срабатывает, открывает ключ SV2 и включает интегратор И1. Открывание ключа SV2 приведет к срабатыванию выходного реле Р3 (МТЗ мгновенный). Одновременно напряжение на выходе И1 начнет возрастать. Скорость возрастания зависит:

- для характеристики (1) – от заданной уставки времени ФУт;
- для характеристик (2), (3) – от заданной уставки времени ФУт и значения входного тока.

Когда напряжение на выходе интегратора достигнет значения +Uоп (ИОН1) сработает компаратор К2. Выходной сигнал К2 откроет ключ SV1, что приведет к срабатыванию выходных реле Р1, Р2 (ВЫХОД ТО+МТЗ). Одновременно выходной сигнал К2 поступает на ключи SV11, SV4. Ключ SV11 открывается и замыкает контакт двухстабильного реле, что вызывает загорание светодиода СРАБАТ. МТЗ (при наличии на клеммах напряжения оперативного питания 220 В).

Для дистанционного гашения светодиодов СРАБАТ. ТО, СРАБАТ, МТЗ необходимо временно замкнуть накоротко клеммы СИС (приложение 2).

Ключ SV4, при наличии разрешающего сигнала с компаратора К4, замыкает контакт двухстабильного реле Р4 схемы АПВ.

Преобразователи ФП1, ФП2 обеспечивают зависимые характеристики срабатывания, а переключатель S - возможность выбора нужной характеристики.

Принцип действия АПВ

Питание схемы АПВ обеспечивают выпрямитель ВПЗ и источник питания ИП2, на выходе которого формируются напряжения +10В и -10В.

После включения высоковольтного выключателя (замкнется контакт БКВ, (рис. 2.11) на клемме БКВ устройства появится положительное напряжение +250 В. Через резистор R5 начнется заряд конденсатора С3. Напряжение конденсатора С3 поступает на один из входов компаратора К4. На другой вход К4 поступает опорное напряжение с ИОН2. Примерно через 30 секунд после начала заряда С3 напряжение на нем сравнивается с опорным напряжением ИОН2, компаратор К4 сработает. Выходной сигнал К4 откроет ключ SV8 и на передней панели устройства загорится светодиод ГОТОВ АПВ. Одновременно, выходной сигнал К4 снимет запрет на открывание ключей SV4, SV6.

В случае срабатывания МТЗ или ТО, на ключ SV4 поступит открывающий сигнал с К2 или С31. Если светодиод ГОТОВ АПВ не светится, ключ SV4 не откроется, и АПВ работать не будет. Если же светодиод ГОТОВ АПВ светится, ключ SV4 откроется и замкнет контакт двухста-

бильного реле Р4. В результате, на ключ SV7 через резистор R4 будет подано положительное напряжение, ключ SV7 откроется и сработает реле Р5.

Размыкающий контакт Р5 включит интегратор И2. Напряжение на выходе И2 начнет возрастать. Скорость возрастания зависит от заданной оператором на передней панели уставки АПВ. Выходное напряжение интегратора И2 поступает на один из входов компаратора К5, на другой вход которого поступает опорное напряжение с ИОН2. В момент равенства напряжений на входах К5 сработает, откроет ключ SV9, который, в свою очередь, подключит к обмотке выходного реле Р6 напряжение заряженного конденсатора С3. Реле Р6 сработает, а конденсатор С3 начнет разряжаться. Через (0,25–0,4) секунды после включения Р6 конденсатор С3 почти полностью разрядится, компаратор К4 вернется в исходное состояние. При этом, погаснет светодиод ГОТОВ АПВ и сформируется сигнал запрета на открывание ключей SV4, SV6. Размыкается контакт двухстабильного реле Р4, закрывается ключ SV7, контакты реле Р5 возвращаются в исходное состояние. Цикл работы схемы АПВ завершен.

Пуск АПВ возможен, также, от внешних защит. Для этого выходной замыкающий контакт внешней защиты следует подключить к клеммам **ПУСК АПВ** (рис.2.11) устройства. В момент замыкания выходного контакта внешней защиты на клемме **ПУСК АПВ** появится напряжение +250В. Если светодиод ГОТОВ АПВ не светится, ключ SV6 не откроется (из-за действия запрета с компаратора К4) и схема АПВ работать не будет. Если же светодиод ГОТОВ АПВ светится, ключ SV6 откроется и замкнет контакты двухстабильного реле Р4. В дальнейшем работа схемы АПВ аналогична описанному выше.

Для снятия извне сигнала подготовки АПВ (гашения светодиода ГОТОВ АПВ) необходимо кратковременно замкнуть между собой клеммы **СП** (приложение 2). В этом случае, откроется ключ SV10 и разрядит конденсатор С3.

Схема АПВ обеспечивает возможность внутреннего (при срабатывании МТЗ или ТО) пуска АПВ при пропадании напряжения питания 220 В, если:

- на момент пропадания напряжения 220 В светился светодиод ГОТОВ АПВ;
- с момента пропадания напряжения 220 В прошло не более 5 секунд.

В этом случае, за счет источника питания ИП1 обеспечивается открывание ключа SV4 и замыкание контакта двухстабильного реле Р4. Открывание ключа SV7 без напряжения питания 220 В невозможно. Поэтому далее без напряжения питания схема работать не будет. Но, как только напряжение питания восстановится, изложенный выше алгоритм будет выполнен до конца. В то же время, ключ SV6 без напряжения 220 В не может быть открыт, из-за чего внешний пуск АПВ в этом случае невозможен.

Функциональная схема варианта УЗА-АТ-Т показана на рис. 2.11а. Она отличается выходными цепями, имеющими 3 ступени выдержки времени токовая отсечка, на зажимы 7-8 подключаются контакты внешней защиты, действующей на пуск схемы дешунтирования (на схеме не показаны).

Выходные контакты исполнений УЗА-АТ-Т ВЫХОД 1 МТЗ, ВЫХОД 2 МТЗ являются проскальзывающими. Время удержания в замкнутом состоянии контактов ВЫХОД 1 МТЗ, ВЫХОД 2 МТЗ составляет примерно 0,2-0,3 с.

Выходные контакты ВЫХОД 1 МТЗ, ВЫХОД 2 МТЗ, ВЫХОД 3 МТЗ исполнений УЗА-АТ-Т срабатывают в следующей последовательности:

- такт 1- после завершения выдержки времени МТЗ срабатывает ВЫХОД 1 МТЗ;
- такт 2 – через 0,2 с после срабатывания размыкается контакт ВЫХОД 1 МТЗ;
- такт 3 – через 0,2 с после размыкания контакта ВЫХОД 1 МТЗ срабатывает контакт ВЫХОД 2 МТЗ;
- такт 4 - через 0,2 с после срабатывания размыкается контакт ВЫХОД 2 МТЗ;

такт 5 - через 0,2 с после размыкания контакта ВЫХОД 2 МТЗ срабатывает контакт ВЫХОД 3 МТЗ и удерживается в сработанном состоянии до момента, когда значение входного тока устройства станет меньше значения уставки тока МТЗ.

Если во время такта 1 или 3 происходит уменьшение входного тока устройства ниже значения уставки тока МТЗ, последующие такты не выполняются.

Принцип действия ненаправленной ЗНЗ

Функциональная схема приведена на рис. 2.12.

Входной ток поступает на выводы первичной обмотки трансформатора тока ТТ. Выпрямитель ВП преобразует переменный ток частотой 50 Гц в выпрямленный пульсирующий ток частотой 100 Гц. При достижении входным током значения (0,2-0,3) тока минимальной уставки на выходе источника питания ИП появляется достаточное для нормальной работы схемы напряжение питания. При этом на выходе ИОН появится опорное напряжение –2 В.

Резистор R преобразует пульсирующий ток в пульсирующее напряжение частотой 100 Гц, которое усиливается усилителем УН и преобразуется фильтром ФНЧ в постоянное напряжение, пропорциональное входному току. С выхода ФНЧ напряжение поступает на первый вход компаратора напряжения К_и. На второй вход компаратора поступает выходное напряжение с формирователя уставок тока ФУ_и. При достижении входным током значения уставки выходное напряжение ФНЧ будет равно выходному напряжению ФУ_и, компаратора напряжения К_и сработает. Сработав, компаратор К_и запустит схему выдержки времени СЗ. Схема выдержки времени СЗ через интервал времени, равный значению уставки времени, замкнет ключ S2, что приведет к срабатыванию исполнительного реле К.

Принцип действия защиты от перегрузки аналогичен принципу действия ненаправленной ЗНЗ.

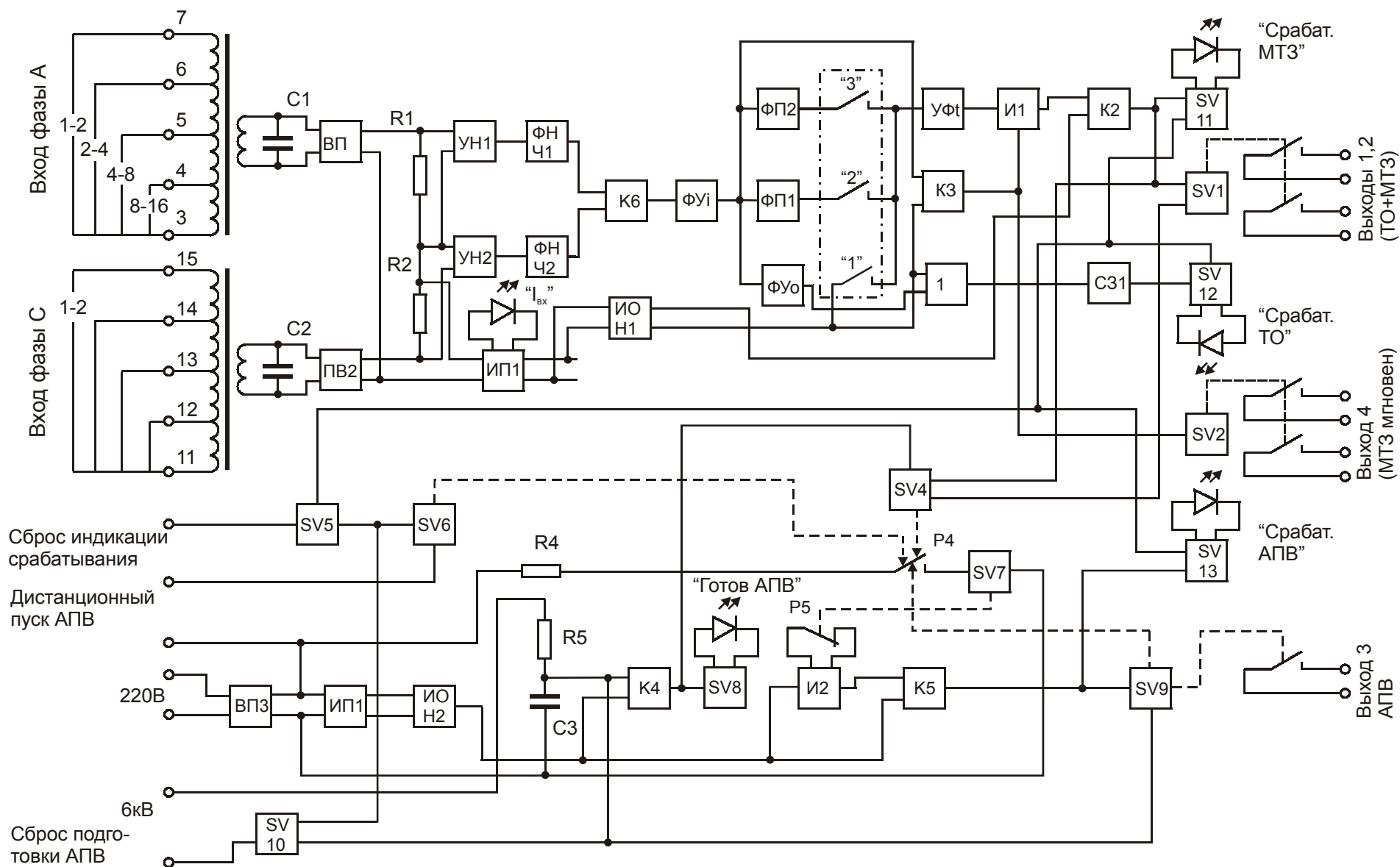


Рис. 2.11 Функциональная схема МТЗ, ТО, АПВ

ТТ1, ТТ2 – трансформаторы тока, С1...С3 – конденсаторы, ВП1...ВП3 – выпрямители, УН1, УН2 – усилители напряжения, ИП1, ИП2 – источники питания, ФУ1, ФУ2, ФУ3 – формирователи уставок тока, отсечки, времени соответственно, ФНЧ1, ФНЧ2 – фильтры нижних частот, ФП1, ФП2 – функциональные преобразователи, S – переключатель характеристик, ИОН1, ИОН2 – источники опорного напряжения, К1...К5 – компараторы, К6 – переключающий компаратор, И1, И2 – интеграторы, R1, R2, R4, R5 – резисторы, SV1...SV13 – ключи, P1...P3, P5, P6 – реле, P4 – двухпозиционное реле, C31, C32 – схемы задержки.

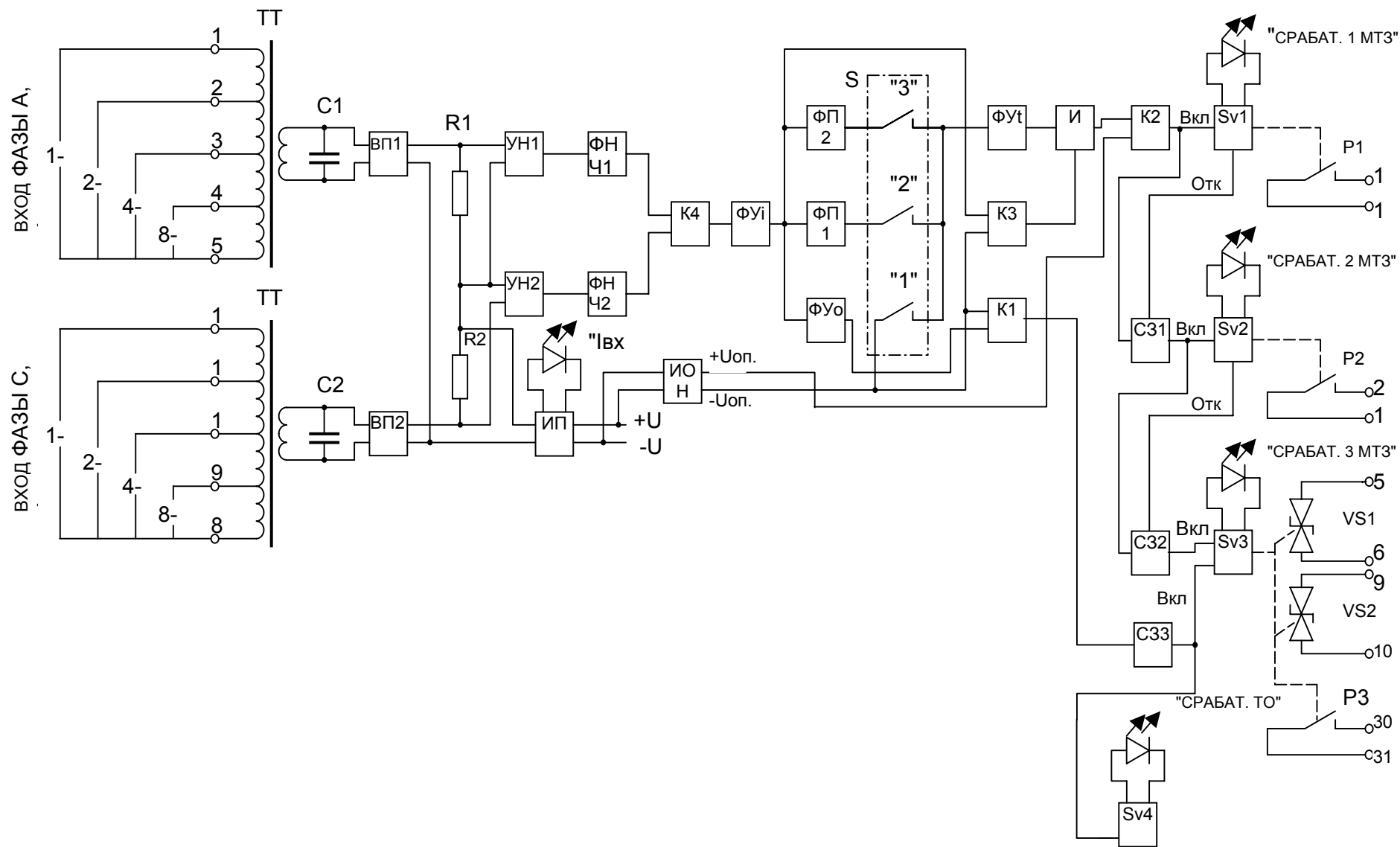


Рис. 2.11а. Функциональная схема УЗА – АТ – Т.

ТТ1,ТТ2-ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА, С1,С2-КОНДЕНСАТОРЫ, ВП1,ВП2-ВЫПРЯМИТЕЛИ, УН1,УН2-УСИЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ, ИП-ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, ФУ1,ФУ2,ФУ3-ФОРМИРОВАТЕЛИ УСТАВОК ТОКА, ОТСЕЧКИ, ВРЕМЕНИ СООТВЕТСТВЕННО, ФНЧ1,ФНЧ2-ФИЛЬТРЫ НИЖНИХ ЧАСТОТ, ФП1,ФП2-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, S-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК, ИОН-ИСТОЧНИК ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ, К1...К3-КОМПАРАТОРЫ, К4-ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЙ КОМПАРАТОР, И-ИНТЕГРАТОР, R1,R2-РЕЗИСТОРЫ, Sv1...Sv4-КЛЮЧИ, P1...P3-РЕЛЕ, C31...C33-СХЕМЫ ЗАДЕРЖКИ, VS1,VS2-ТРИАКИ.

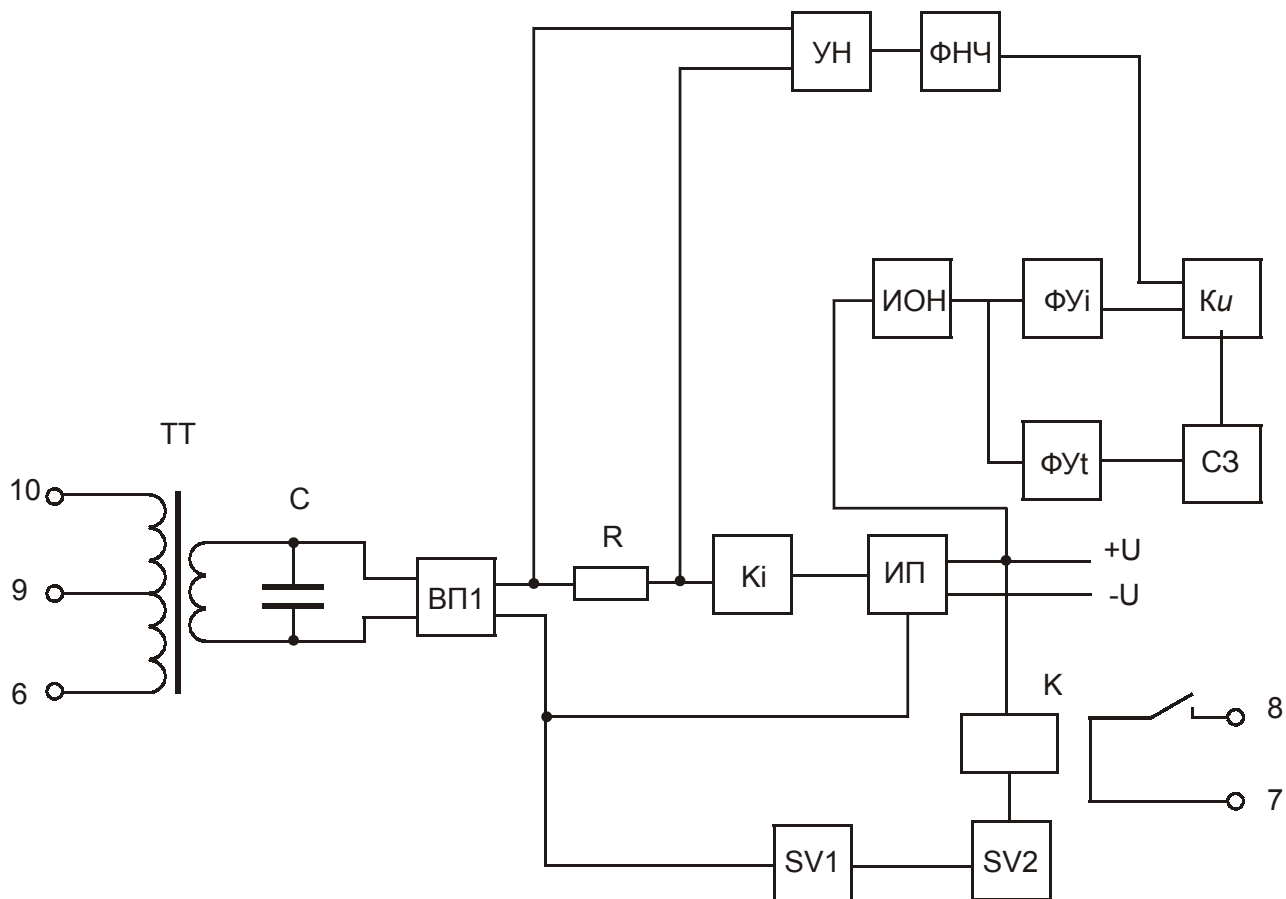


Рис. 2.12 Функциональная схема ненаправленной ЗНЗ

ТТ - трансформатор тока, С - конденсатор, ВП - выпрямитель, R - резистор, УН - усилитель напряжения, ФНЧ - фильтр нижних частот, Ki, Ku - компараторы тока и напряжения, ИП - источник питания, ИОН - источник опорного напряжения, ФУi, ФУt - формирователи уставок тока и времени, СЗ - схема задержки, К - выходное реле, SV1, SV2 - ключи

Конкретный перечень функций, который имеет данное реле, и количество выходных реле определяется заказом, в соответствии с опросным листом.

Устройства с максимальным функциональным наполнением содержат девять замыкающих выходных контактов:

- два контакта МТЗ мгновенный;
- два контакта ТО+МТЗ;
- АПВ;
- ЗНЗ;
- защита от перегрузки;
- два выходных контакта, управляемых от дискретного входа.

Выходной контакт АПВ является проскальзывающим. Время удержания его в замкнутом состоянии находится в пределах (0,25-0,4) с.

По способу регулирования уставок устройства относятся к исполнению - с дискретным регулированием; уставки регулируются с помощью **DIP** - переключателей находящихся под съемной передней панелью.

Рычажки микропереключателей имеют два положения – **ON** и **OFF**. На самих микропереключателях промаркировано только положение **ON**. Следует понимать, что положение **OFF** – это положение рычажка, противоположное положению **ON**.

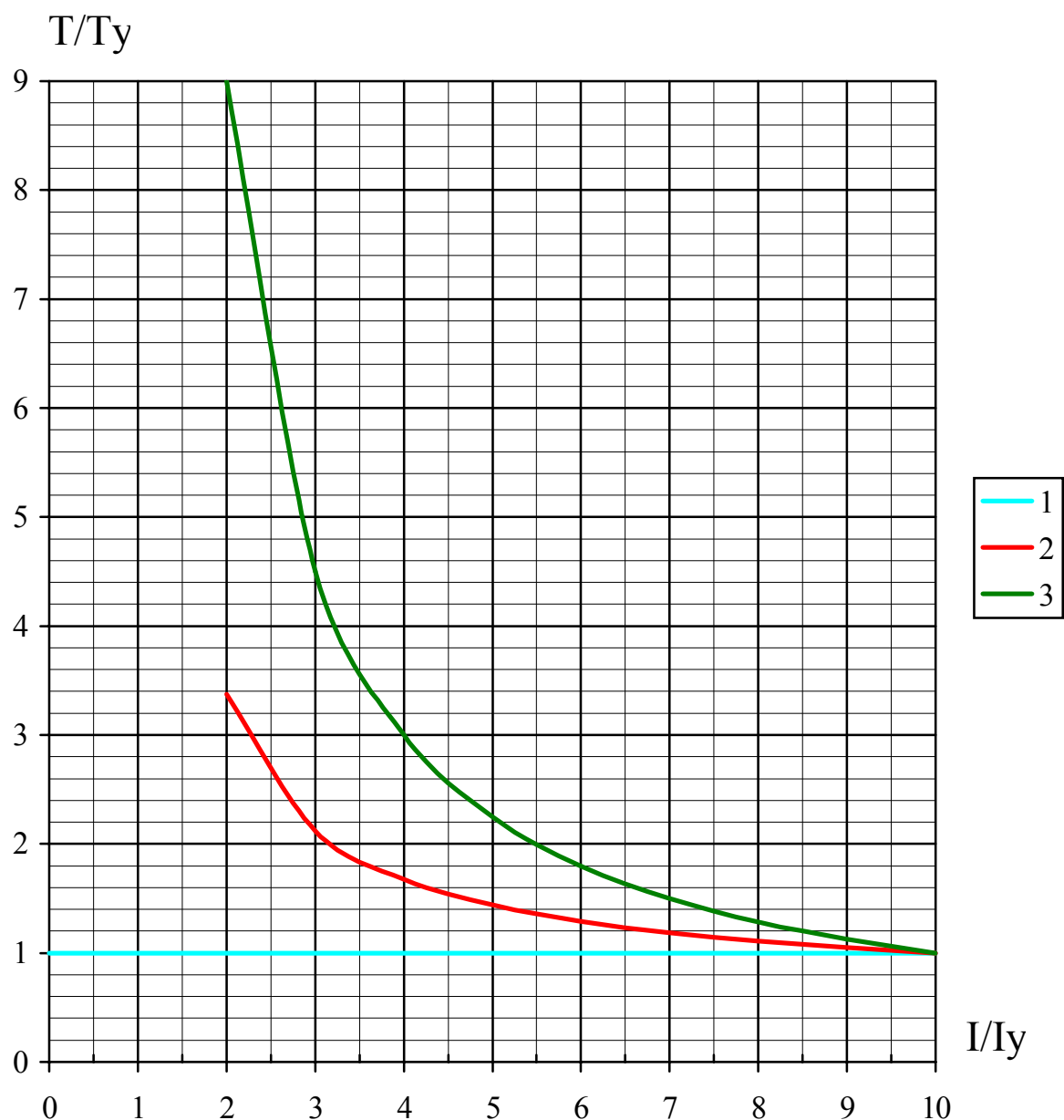
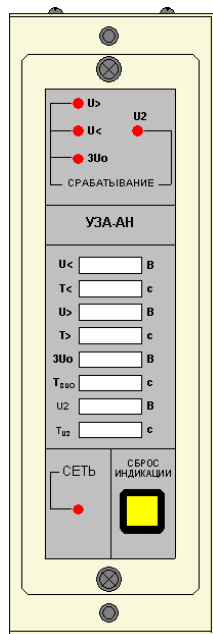


Рис. 2.13 Характеристики зависимости времени срабатывания от кратности тока срабатывания

Зависимая характеристика 2 наиболее пригодна для согласования защиты с защитами последующих присоединений выполненными на электромеханических реле; зависимая характеристика 3 – для согласования с предохранителями.

2.3.2 Устройства защиты по напряжению УЗА-АН



Устройства УЗА-АН – это статические устройства без дополнительного источника питания. Питание элементов схемы осуществляется от входного напряжения.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Устройства обеспечивают:

- блокировку по напряжению максимальной токовой защиты (МТЗ-Н);
- пуск АВР шин по снижению напряжения;
- контроль наличия напряжения на резервном источнике питания для АВР;
- трехфазную защиту от понижения напряжения, работающую по функции "ИЛИ" ($U<$);
- трехфазную защиту от понижения напряжения, работающую по функции "И" ($U<<$);
- двухфазную защиту от повышения напряжения;
- сигнализацию замыкания на землю по напряжению $3U_0$ для ТН, имеющих отдельную обмотку $3U_0$;
- защиту от повышения напряжения обратной последовательности.
- Все характеристики срабатывания устройства по времени – независимые.

По способу регулирования уставок устройства относятся к исполнению – с дискретным регулированием; уставки регулируются с помощью **DIP**- переключателей находящихся под съемной передней панелью.

Устройства обеспечивают следующие диапазоны уставок:

- Уставка защиты по минимальному напряжению (ЗМН) регулируется от 40 до 80% U_N , шаг 5В.
- Уставка защиты по максимальному напряжению ($U>$) регулируется от 0,8 до 1,2% U_N , шаг 5В.
- Уставки защиты по напряжению нулевой последовательности ($3U_0$) регулируется отдельно в диапазоне от 15 до 60В, шаг 5 В.
- Уставка по максимальному напряжению обратной последовательности (U_2) регулируется в диапазоне от 5 до 12,5В с шагом 0,5В.
- Выдержки времени срабатывания всех защит регулируются отдельно в диапазоне от 0,2 до 6,4 с, шаг 0,1 с.

Коэффициент возврата органа минимального напряжения – не более 1.15, максимального- не менее 0.85.

При наличии всех защит устройство содержит 7 выходных реле. Выход органа минимального напряжения состоит из 2 последовательно соединенных контактов реле: переключающего и замыкающего. С помощью этих реле организуется импульсное замыкание цепи (проскальзывающий контакт), нужное для некоторых схем АВР. Сначала замыкается контакт одного реле, затем размыкается контакт второго, переключающего реле и цепь вновь разрывается. Время замкнутого состояния цепи составляет 300-500 мсек. Если проскальзывающее действие контактов не нужно, то можно использовать на выходе один замыкающий контакт.

Остальные защиты содержат по одному замыкающему контакту.

Индикация срабатывания каждого органа фиксируется светодиодом, расположенным на передней панели. Сброс индикации осуществляется замыканием контактов «СИС» на клеммнике устройства (контакты 11-12) или с передней панели нажатием кнопки «СБРОС ИНДИКАЦИИ».

Принцип действия

Принцип действия защиты от повышения напряжения $U>$.

Функциональная схема защиты приведена на рис.2.14. Трехфазное входное напряжение через выпрямитель ВП1 поступает на источник питания ИП, который формирует питающие схему напряжения +10В и -10В. Источник ИОН формирует стабильное опорное напряжение -2В.

Линейные напряжения U_{AB} , U_{BC} поступают на выпрямители ВП1, ВП2 соответственно, где преобразуются в пульсирующее переменное напряжение частотой 100 Гц. Эти напряжения фильтрами ФНЧ1, ФНЧ2 преобразуются в постоянные и нормируются усилителями НУ1, НУ2. Коэффициент передачи НУ1, НУ2 значительно меньше единицы. С выходов НУ1, НУ2 сигналы поступают на первые входы компараторов напряжения К1, К2. На вторые входы К1, К2 поступает выходной сигнал формирователя уставок напряжения $\Phi U_{U>}$. В момент, когда значение линейного напряжения U_{AB} (U_{BC}) превысит значение уставки напряжения, выходное напряжение НУ1 (НУ2) станет больше выходного напряжения $\Phi U_{U>}$. Сработает компаратор К1 (К2) и включит интегратор И. Напряжение на выходе И начнет возрастать. Скорость возрастания зависит от заданной уставки времени $\Phi U_{T>}$.

Когда напряжение на выходе интегратора достигнет значения -2В сработает компаратор К3. Выходной сигнал К3 откроет ключ SV2, что приведет к срабатыванию выходного реле Р. Одновременно выходной сигнал К3 поступает на ключ SV1, который открывается и замыкает контакт двухстабильного реле, что вызывает загорание светодиода **СРАБАТЫВАНИЕ $U>$** .

Принцип действия защиты от снижения напряжения $U<$, $U<<$.

Функциональная схема защиты $U<$ приведена на рис.2.15.

Трехфазное входное напряжение через выпрямитель ВП1 поступает на источник питания ИП, который формирует питающие схему напряжения +10В и -10В. Источник ИОН формирует стабильное опорное напряжение -2В. Одновременно, трехфазное входное напряжение через выпрямители ВП2...ВП4 поступает на фильтры нижних частот ФНЧ1...ФНЧ3, где преобразуется в постоянное и, далее, масштабируется нормирующими усилителями НУ1...НУ3.

С выхода НУ1...НУ3 сигналы поступают на первый вход компараторов напряжения К1...К3. На второй вход К1...К3 поступает выходной сигнал формирователя уставок напряжения $\Phi U_{U<}$. В момент, когда значение напряжения на любой из фаз (для $U<$) станет меньше значения уставки напряжения, выходное напряжение НУ соответствующей фазы станет меньше выходного напряжения $\Phi U_{U<}$. Сработает компаратор К1 (К2 или К3) и включит интегратор И. Напряжение на выходе И начнет возрастать. Скорость возрастания зависит от заданной уставки времени $\Phi U_{T<}$.

Когда напряжение на выходе интегратора достигнет значения -2В сработает компаратор К4. Выходной сигнал К4 откроет ключ Sv2, что приведет к срабатыванию выходного реле Р1. Одновременно выходной сигнал К2 поступает на ключ Sv1, и схему задержки СЗ. Ключ Sv1 открывается и замыкает контакт двухстабильного реле, что вызывает загорание светодиода **СРАБАТЫВАНИЕ $U<$** . Примерно через (0,3-0,5) с после срабатывания К2, схема задержки СЗ откроет ключ Sv3, что приведет к срабатыванию выходного реле Р2.

Принцип действия защиты от повышения напряжения нулевой последовательности $3U_0$.

Функциональная схема защиты приведена на рис.2.16. Напряжение нулевой последовательности $3U_0$ поступает на выпрямитель ВП2, где преобразуется в пульсирующее переменное напряжение частотой 100 Гц. Это напряжение фильтром ФНЧ преобразуется в постоянное и нормируется усилителем НУ. Коэффициент передачи НУ значительно меньше единицы. С выхода НУ сигнал поступает на первый вход компаратора напряжения К1. На второй вход К1 поступает выходной сигнал формирователя уставок напряжения ΦU_{3U_0} . В момент, когда значение напряжения нулевой последовательности превысит значение уставки напряжения, выходное напряжение НУ станет больше выходного напряжения ΦU_{3U_0} . Сработает компаратор К1 и включит интегратор И. Напряжение на выходе И начнет возрастать. Скорость возрастания зависит от заданной уставки времени ΦU_{T3U_0} .

Когда напряжение на выходе интегратора достигнет значения -2В сработает компаратор К2. Выходной сигнал К2 откроет ключ SV2, что приведет к срабатыванию выходного реле Р. Одновременно выходной сигнал К2 поступает на ключ SV1, который открывается и замыкает контакт двухстабильного реле, что вызывает загорание светодиода **СРАБАТЫВАНИЕ $3U_0$** .

Принцип действия защиты от повышения напряжения обратной последовательности U_2 .

Функциональная схема защиты приведена на рис.2.17. Трехфазное входное напряжение через выпрямитель ВП1 поступает на источник питания ИП, который формирует питающие схему напряжения $+10\text{В}$ и -10В . Источник ИОН формирует стабильное опорное напряжение -2В .

Одновременно, трехфазное входное напряжение поступает на фильтр обратной последовательности ФОП. Выходное напряжение ФОП поступает на выпрямитель ВП2, где преобразуются в пульсирующее переменное напряжение частотой 100 Гц. Это напряжение фильтром ФНЧ преобразуется в постоянное и нормируется усилителем НУ. Коэффициент передачи НУ несколько меньше единицы. С выхода НУ сигнал поступает на первый вход компаратора напряжения К1. На второй вход К1 поступает выходной сигнал формирователя уставок напряжения ΦU_{U_2} . В момент, когда значение напряжения обратной последовательности превысит значение уставки напряжения, выходное напряжение НУ станет больше выходного напряжения ΦU_{U_2} . Сработает компаратор К1 и включит интегратор И. Напряжение на выходе И начнет возрастать. Скорость возрастания зависит от заданной уставки времени ΦU_{TU_2} .

Когда напряжение на выходе интегратора достигнет значения -2В сработает компаратор К2. Выходной сигнал К2 откроет ключ SV2, что приведет к срабатыванию выходного реле Р. Одновременно выходной сигнал К2 поступает на ключ SV1, который открывается и замыкает контакт двухстабильного реле, что вызывает загорание светодиода **СРАБАТЫВАНИЕ U_2** .

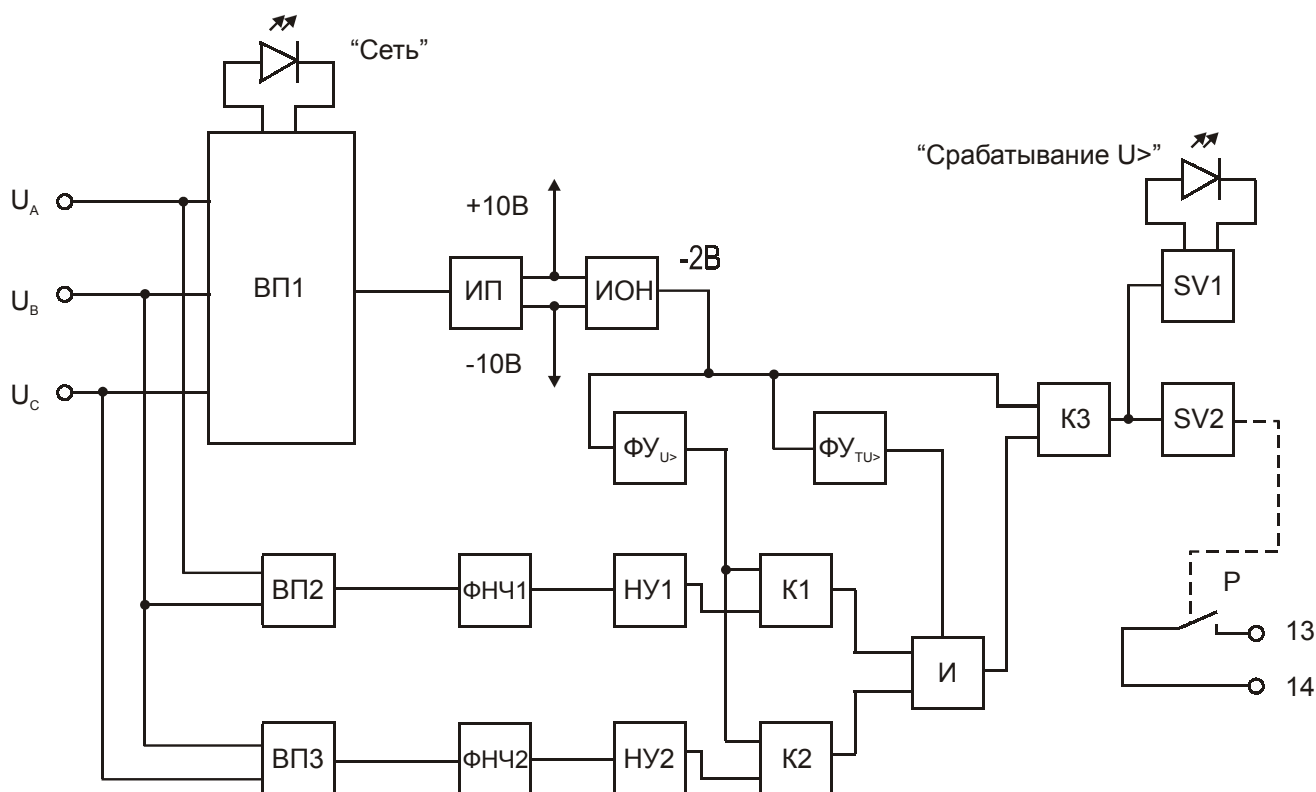


Рис 2.14 Структурная схема защиты от повышения напряжения $U>$.

ВП1...ВП3 – выпрямители, ИП – источник питания, ИОН – источник опорного напряжения, ФНЧ1,ФНЧ2 – фильтры нижних частот, НУ1,НУ2 – нормирующие усилители напряжения, $\Phi U_{U>}$, $\Phi U_{TU>}$ – формирователи уставок напряжения и времени соответственно, К1...К3 – компараторы, И – интегратор, SV1 – запоминающий ключ, SV2 – ключ, Р – реле.

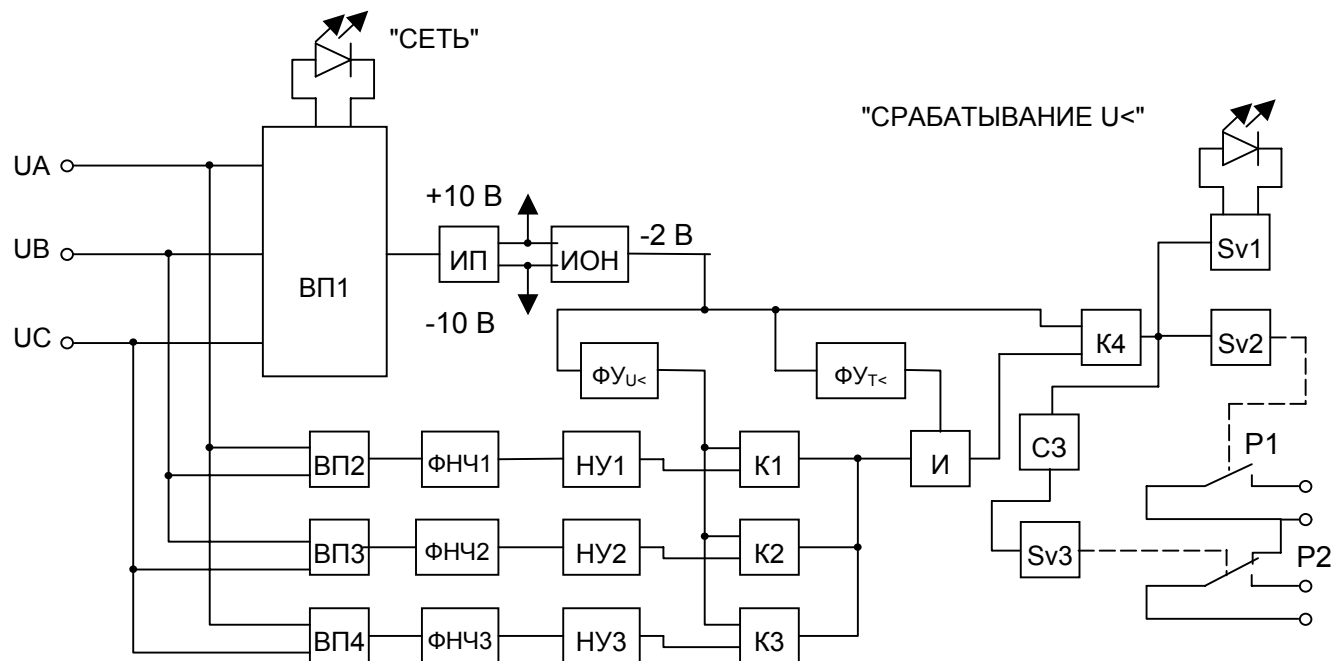


Рис 2.15 Структурная схема защиты от снижения напряжения $U<$

ВП1...ВП4 – выпрямители, ИП – источник питания, ИОН – источник опорного напряжения, ФНЧ1...ФНЧ3 – фильтры нижних частот, НУ1...НУ3 – нормирующие усилители напряжения, $\Phi U_{U<}$, $\Phi U_{T<}$ – формирователи уставок напряжения и времени соответственно, К1...К4 – компараторы, И – интегратор, СЗ – схема задержки, Sv1 – запоминающий ключ, Sv2, Sv3 – ключи, P1, P2 – реле.

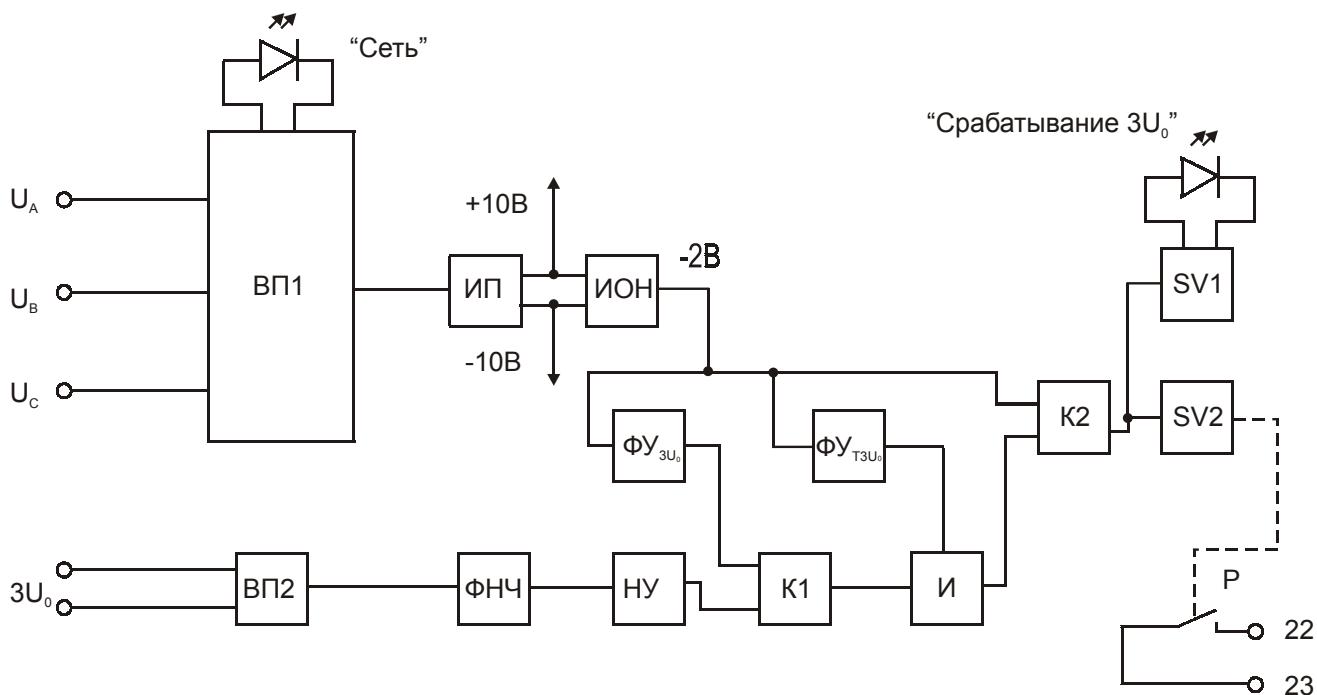


Рис 2.16 Структурная схема защиты от повышения напряжения нулевой последовательности $3U_0$

ВП1, ВП2 – выпрямители, ИП – источник питания, ИОН – источник опорного напряжения, ФНЧ – фильтр нижних частот, НУ – нормирующий усилитель напряжения, ΦU_{3U_0} , ΦU_{T3U_0} – формирователи уставок напряжения и времени соответственно, К1, К2 – компараторы, И – интегратор, Sv1 – запоминающий ключ, Sv2 – ключ, P – реле

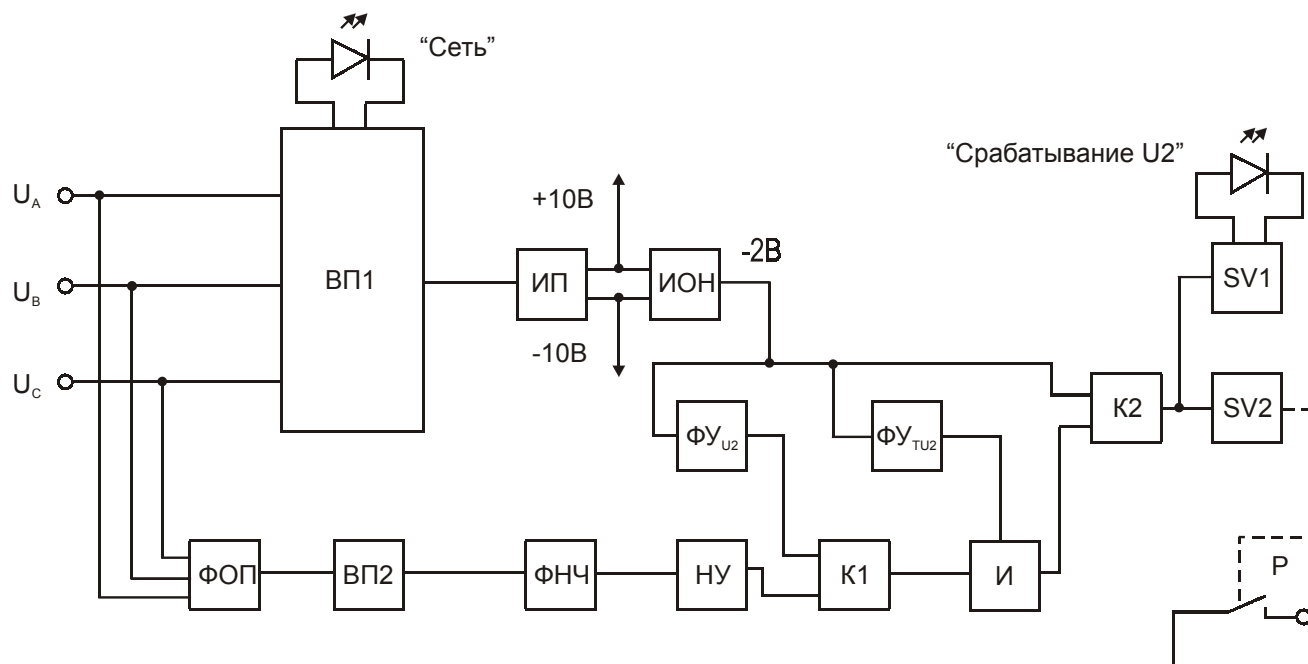


Рис 2.17 Структурная схема защиты от повышения напряжения обратной последовательности U_2 .

ФОР – фильтр обратной последовательности, ВР1, ВР2 – выпрямители, ИП – источник питания, ИОН – источник опорного напряжения, ФНЧ – фильтр нижних частот, НУ – нормирующий усилитель напряжения, ФУ_{U2}, ФУ_{TU2} – формирователи уставок напряжения и времени соответственно, К1, К2 – компараторы, И – интегратор, Sv1 – запоминающий ключ, Sv2 – ключ, Р – реле

2.3.3 Устройство резервной защиты трансформаторов РЗТ



Устройство резервной защиты трансформаторов (РЗТ) предназначено для отключения повреждения в трансформаторах при условиях отказа устройств защиты или коммутационного аппарата со стороны ВН трансформатора путем действия на отключение другого (при возможности) коммутационного аппарата. При этом допускается действие защиты на отделитель трансформатора, несмотря на то, что при этом он может быть поврежден токами КЗ. Возникшее после перекрытия отделителя КЗ будет отключено защитой питающей линии.

РЗТ имеет возможность действия с некоторым интервалом на два коммутационных аппарата: в наиболее распространенной схеме с короткозамыкателем и отделителем – сначала действует на короткозамыкатель, а затем на отделитель или 2 выключателя. По заказу может быть выполнено действие защиты на 3 выключателя. Интервал времени между действиями на разные аппараты составляет 0.4 – 0.6 с. При наличии на ПС выключателей, устройство может действовать на них повторно или на отделитель (имеется на некоторых подстанциях). Направление действия определяется в каждом конкретном случае отдельно. Следует иметь в виду, что защита может действовать на электромагнит с током не более 1А, при емкости конденсатора 100мкФ. По заказу может быть установлен конденсатор емкостью 230 мкФ, который может быть применен для выключателя или трех пофазных отделителей (на 154 кВ) с током электромагнитов отключения до 4 А.

По возможности, РЗТ должно включаться на трансформаторы тока, отдельные от других устройств защиты, Желательно подключение на выносные трансформаторы тока. Схема соединения трансформаторов тока – треугольник. Для двухфазного устройства защиты схема соединения – треугольник

обеспечивает равную чувствительность защиты ко всем видам двухфазного короткого замыкания на стороне НН трансформатора, обмотка которого соединена в треугольник. На трехобмоточных трансформаторах, при двухфазных коротких замыканиях на стороне СН, ток в двух фазах защиты будет равен $1/2$ тока, что понижает чувствительность защиты в двухфазном исполнении, но поскольку ток КЗ стороны СН, как правило, больше, чем ток на НН, то потеря чувствительности может быть незначительная. При необходимости можно заказать трехфазное исполнение РЗТ.

Защита РЗТ устанавливается на открытом воздухе возле агрегатного шкафа силового трансформатора.

Технические характеристики:

Резервная защита трансформаторов РЗТ обеспечивает:

- двухфазную максимальную токовую защиту (МТЗ) с независимой характеристикой срабатывания;
- возможность установки общих для двух фаз уставок тока и времени срабатывания максимальной токовой защиты;
- защита действует непрерывно до момента уменьшения входного тока ниже значения уставки тока, после срабатывания МТЗ по следующему циклу:
 - такт 1 - подключение заряженного до напряжения $350 \text{ В} \pm 10\%$ конденсатора С1 на нагрузку, подсоединенную к клеммам 1А, 3А колодки Х1;
 - такт 2 - отключение конденсатора С1 от нагрузки;
 - такт 3 - подключение заряженного до напряжения $350 \text{ В} \pm 10\%$ конденсатора С2 на нагрузку, подсоединенную к клеммам 1А, 3А колодки Х2 (приложение 2);
 - такт 4 - отключение конденсатора С2 от нагрузки;
 - такт 5 – одновременный заряд конденсаторов С1, С2 до напряжения $350 \text{ В} \pm 10\%$;
 - такт 1 и т. д.;
- индикацию заряда конденсаторов С1, С2. Светящийся индикатор КОНДЕНСАТОРЫ ЗАРЯЖЕНЫ означает, что напряжение на конденсаторах С1, С2 равно:
 - $(100-140) \text{ В}$ – для рабочего (неаварийного) режима;
 - $350 \text{ В} \pm 10\%$ – для аварийного режима.
- индикацию превышения входным током значения уставки тока (светодиод " $I > I_y$ ").

Диапазон уставок тока срабатывания МТЗ в зависимости от схемы подключения устройства 1...4,15 и 4...16,6 А.

Дискретность уставки тока – 0,05 А – для диапазона 1...4,15 А и 0,2 А – для диапазона 4...16,6 А.

- 0,2 А - для диапазона 4...16,6 А.

Диапазон уставок выдержки времени 2,0...17,5 с; дискретность выдержки времени 0,5 с.

Входное сопротивление при входном токе 5 А не более:

- 0,8 Ом - если происходит заряд конденсаторов C1, C2;
- 0,4 Ом - если конденсаторы заряжены.

Суммарная длительность тактов 1...4 (п. 3.1) - 0,5...0,9с.

Длительность такта 5 (заряд конденсатора) зависит от значения входного тока и приведена в табл. 2 (для входных токов, значением до 5 А).

Таблица 2.2

Входной ток, А		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
Длительность такта с.	1ф	20	8	5	4	3	2,5	2	1,6
	2ф	15	4	2,5	2	1,5	1,3	1	0,8

Примечание: 1ф - при однофазном входном токе.

2ф - при двухфазном входном токе.

Описание конструкции и работы

Защита РЗТ конструктивно выполнена в металлическом прямоугольном корпусе 220 × 367 × 100 мм³ с герметичными сварными швами. Корпус закрывается крышкой с помощью винтов через резиновый уплотнитель. Под головки винтов подложены уплотнительные шайбы, которые предотвращают попадание воды через отверстия внутрь корпуса. Для защиты от прямого попадания капель на крышку устройство закрыто дополнительно защитным щитком.

Подвод внешних кабелей осуществляется через две втулки снизу корпуса.

Внешняя клемма заземления размещена на нижней стенке корпуса между втулками подвода кабелей.

Внутри корпуса размещена плата с радиоэлементами, которая закреплена на кронштейнах винтами. Внешняя поверхность платы защищена изоляционной панелью с надписями. В правом верхнем углу через пазы в изоляционной панели выведены колонки для подпайки объемных перемычек, которыми задаются уставки тока и выдержки времени.

В исходном состоянии все перемычки, которыми производится изменение уставок запаяны, что означает минимальную уставку по времени и максимальную по току. Для выполнения нужной уставки, часть перемычек нужно выпаять. Это производится согласно таблицы уставок, имеющейся в заводской документации. Отказ от применения переключателей диктуется требованиями надежности, т.к. устройство находится на открытом воздухе. Если потребуются изменение уставок, часть перемычек возможно придется перепаять снова.

Принцип действия

Функциональная схема РЗТ приведена на рис. 2.18.

Защита состоит из:

- двухфазной максимальной токовой защиты (МТЗ) с независимой выдержкой времени (Т1, Т2, С3, С4, ВП1, ВП2, R1, R2, УН1, УН2, ФНЧ1, ФНЧ2, ПК, ФУt, ФУi, И, К1, К2);
- двух накопительных конденсаторов (С1, С2);

- циклического устройства заряда-переключения конденсаторов С1, С2 (Т3, Т4, ВП3, ВП4, S1...S5, СУ, VD1, VD2);
- четырех переключающих (по два для каждого выключателя или отделителя) силовых диодов (VD5, VD7, VD9, VD10);
- четырех ограничительных диодов (VD3, VD4, VD6, VD8);
- источника питания ИП;
- источника опорного напряжения ИОН.

МТЗ обеспечивает выдачу на циклическое устройство заряда-переключения конденсаторов С1, С2 двух сигналов:

- мгновенного сигнала превышения входным током значения уставки тока (с выхода компаратора К1);
- задержанного на время, равное значению уставки времени, сигнала превышения входным током значения уставки тока (с выхода компаратора К2).

Входной ток, в зависимости от выбранного диапазона, поступает на соответствующие выводы первичной обмотки трансформаторов тока Т1, Т2. Выпрямители ВП1, ВП2 преобразуют переменный ток частотой 50 Гц в выпрямленный пульсирующий ток частотой 100 Гц.

Резисторы R1, R2 преобразуют пульсирующий ток в пульсирующее напряжение частотой 100 Гц, которое усиливается усилителями УН1, УН2 и преобразуется фильтрами ФНЧ1, ФНЧ2 в постоянное напряжение, пропорциональное входному току "своей" фазы.

С выходов ФНЧ1, ФНЧ2 напряжения поступают на переключающий компаратор ПК, который сравнивает входные напряжения и подает на вход формирователя уставок тока ФУi большее из входных напряжений.

Формирователь уставок тока ФУi масштабирует напряжение с ПК пропорционально выбранной уставке тока и подает его на один из входов компаратора напряжения К1. На другой вход компаратора К1 поступает опорное напряжение с ИОН ($-U_{оп}$).

При достижении входным током значения уставки тока срабатывания напряжение на выходе ФУi сравнивается с напряжением ИОН. Компаратор К1 мгновенно срабатывает, подает на первый вход схемы управления СУ мгновенный управляющий сигнал и запустит интегратор И. Напряжение на выходе интегратора И начнет возрастать. Скорость возрастания зависит от выбранной уставки времени ФУt. Когда напряжение на выходе интегратора достигнет значения $-U_{оп}$ (ИОН) сработает компаратор К2 и подает на другой вход схемы управления СУ задержанный управляющий сигнал.

Накопительные конденсаторы С1, С2 предназначены для накопления достаточного количества электрической энергии, необходимой для надежного срабатывания исполнительных механизмов, подключаемых к РЗТ. Емкость каждого конденсатора равна 100 мкФ.

К моменту превышения входным током РЗТ значения уставки тока на конденсаторах поддерживается напряжение (100-140) В, что благоприятствует увеличению их срока службы.

В случае возникновения аварии после формирования компаратором К1 (п. 4.2.1) мгновенного сигнала конденсаторы дозаряжаются до напряжения $350 \text{ В} \pm 10\%$.

Защита РЗТ имеет светодиодный индикатор "КОНДЕНСАТОРЫ ЗАРЯЖЕНЫ" (приложение 4), который светится, если напряжение на конденсаторах С1, С2 соответствует необходимым значениям (100-140 В - для неаварийного режима; $350 \text{ В} \pm 10\%$ - для аварийного режима).

Циклическое устройство заряда-переключения конденсаторов С1, С2 обеспечивает:

- а) в рабочем (неаварийном) режиме - поддержание на накопительных конденсаторах С1, С2 напряжения (100-140) Вольт;
- б) в аварийном режиме после появления на входе СУ мгновенного сигнала от компаратора К1 - дозаряд конденсаторов С1, С2 до рабочего напряжения $350 \text{ В} \pm 10\%$;
- в) в аварийном режиме, после появления на входе СУ задержанного сигнала от компаратора К2 до момента уменьшения входного тока ниже значения уставки тока, устройство непрерывно обеспечивает цикл работы, указанный в п. 3.1.

В рабочем (неаварийном) режиме схема управления СУ непрерывно контролирует напряжение на конденсаторах С1, С2. Если напряжение становится меньше указанного в пп. а), СУ выдает сигнал на размыкание ключа S1. Открываются диоды VD1, VD2 и конденсаторы заряжаются. При возрастании напряжения на С1, С2 до значения 100-140 В СУ выдает сигнал на замыкание ключа S1. Диоды VD1, VD2 закрываются, заряд конденсаторов прекращается.

Аналогично устройство работает и в случае пп. б), с тем отличием, что конденсаторы заряжаются до напряжения $350 \text{ В} \pm 10\%$.

В аварийном режиме согласно пп. в):

- ключ S1 замкнут в течение тактов 1...4 и разомкнут в такте 5;
- ключи S2, S3 находятся в положении "на нагрузку" в такте 3 и в положении "на заряд" в тактах 1,2,4,5;
- ключи S4, S5 находятся в положении "на нагрузку" в такте 1 и в положении "на заряд" в тактах 2...5.

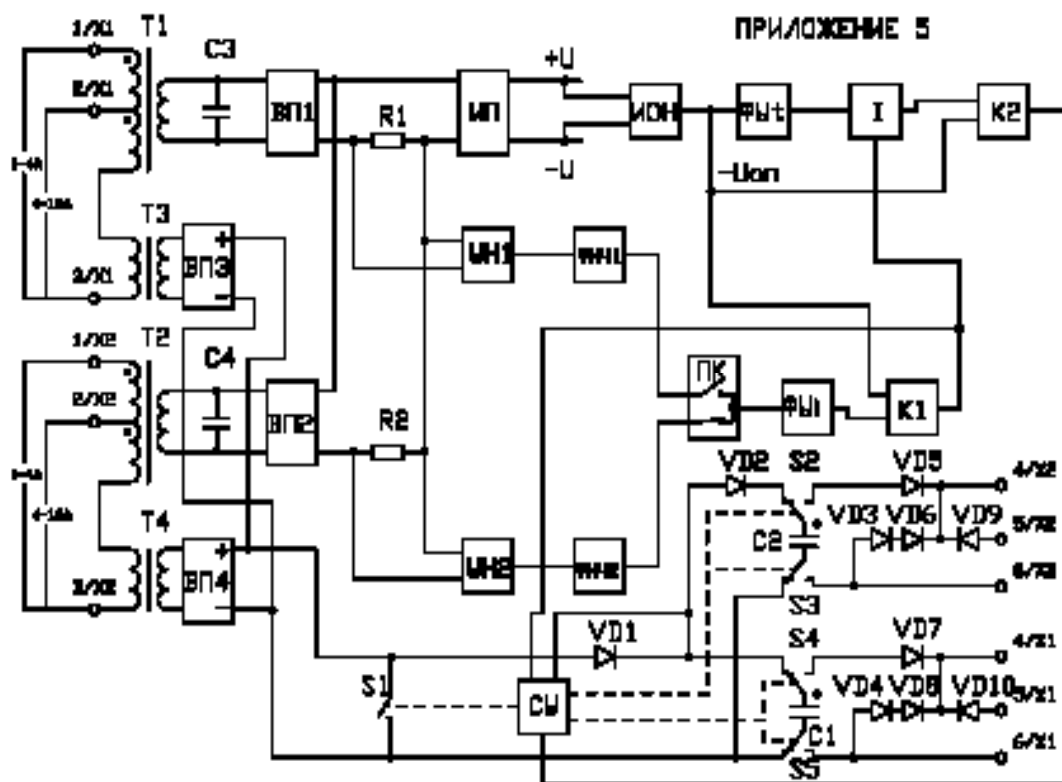
Четыре силовых переключающих диода (КД 226Д) позволяют подавать в нагрузку как напряжение конденсаторов С1, С2 РЗТ, так и внешнее напряжение от других защит. Это может потребоваться в случае, если РЗТ действует на тот же соленоид отключения, что и другие защиты.

Источник питания ИП обеспечивает схему РЗТ двухполярным напряжением питания значением $\pm (7-8) \text{ Вольт}$.

При достижении входным током значения (0,2–0,3) тока минимальной уставки на выходе источника питания ИП появляется достаточное для нормальной работы схемы напряжение питания.

Источник опорного напряжения ИОН формирует стабильное напряжение значением примерно минус 2В.

Ограничительные диоды ограничивают выбросы напряжения во время тактов 2, 4.



Т1...Т4-ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА, С1,С2-НАКОПИТЕЛЬНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ, С3,С4-ФИЛЬТРУЮЩИЕ КОНДЕНСАТОРЫ, ВП1...ВП4-ВЫПРЯМИТЕЛИ, R1,R2-РЕЗИСТОРЫ, S1...S5-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ, ИТ-ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, УН1,УН2-УСИЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ, СМ-СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДОМ И ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ КОНДЕНСАТОРОВ С1,С2, ФН1,ФН2-ФИЛЬТРЫ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ, VD1...VD10-ДИАОДЫ КДЗСБСА, МОП-ИСТОЧНИК СПОРОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ, ПК-ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЙ КОМПАРТОР, ФН,ФН-ФОРМИРОВАТЕЛИ ИСТАВОВ ТОКА И ВРЕМЕНИ СООТВЕТСТВЕННО, И-ИНТЕГРАТОР, К1,К2-КОМПАРТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ,

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА РЗТ.

2.3.4 Реле PC40M

Реле предназначены для использования в схемах релейной защиты и противоаварийной автоматики и являются статическими реле без дополнительного источника питания.

Питание элементов схемы осуществляется от измеряемого сигнала.

Реле – PC40M – однофазное реле, а PC40M2 – двухфазное реле максимального тока без дополнительной выдержки времени; PC40M1 – однофазное реле с дополнительной выдержкой времени. Уставки реле регулируются дискретно.

Реле имеют один переключающий выходной контакт.

Коэффициент возврата реле не меньше – 0,85:

Разброс тока срабатывания не больше плюс-минус 1,5

Относительная погрешность тока срабатывания при изменении температуры окружающего воздуха от минус 40°C до плюс 50°C не более чем:

- плюс-минус 5,0 % - для PC40M, PC40M1;
- плюс-минус 10 % - для PC40M2.

Относительная погрешность выдержки времени при изменении температуры окружающего воздуха от минус 40°C до плюс 50°C не более плюс-минус 10 % (только для C40M1).

Время замыкания замыкающего контакта для РС40М, РС40М2 не более чем:

- 0,1с - при отношении входного тока к току срабатывания, равном 1,2;
- 0,03с - при отношении входного тока к току срабатывания, равном 3.

Время размыкания замыкающего контакта при уменьшении тока с 1,2–20 тока срабатывания до нуля – не более 0,020 с.

Диапазоны уставок в зависимости от модификации реле, приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Модификация	К-во дискретных уставок	Последовательное соединение обмоток			Параллельное соединение обмоток		
		Диапазон изменения уставок, А	Дискрет. изменения уставок, А	Номинальный ток, А	Диапазон изменения уставок, А	Дискрет. изменения уставок, А	Номинальный ток, А
РС 40М–0,05/0,4 РС 40М1–0,05/0,4 РС 40М2–0,05/0,4	64	0,05–0,2075	0,0025	0,25	0,1–0,415	0,005	0,5
РС 40М–0,15/1,2 РС 40М1–0,15/1,2 РС 40М2–0,15/1,2	64	0,15–0,6225	0,0075	0,75	0,3–1,245	0,015	1,5
РС 40М–0,5/4 РС 40М1–0,5/4 РС 40М2–0,5/4	64	0,5–2,075	0,025	2,5	1,0–4,15	0,05	5,0
РС 40М–1/8 РС 40М1–1/8 РС 40М2–1/8	64	1,0–4,15	0,05	5,0	2,0–8,3	0,1	5,0
РС 40М–5/40 РС 40М1–5/40 РС 40М2–5/40	64	5,0–20,75	0,25	10,0	10,0–41,5	0,5	25,0
РС 40М–15/120 РС 40М1–15/120 РС 40М2–15/120	64	15,0–62,25	0,75	25,0	30,0–124,5	1,5	25,0

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ РЕЛЕ

Реле изготовлено в прямоугольном пластмассовом корпусе 70 X 140 X 136 мм, который состоит из основы и крышки. На верхней поверхности основы закреплены при помощи угольников плата реле А1 и плата уставок А2.

Платы соединены между собой перемычками. На плате уставок реле РС40М, РС40М2 размещены гнезда для задания уставок тока срабатывания. На плате уставок реле РС40М1, кроме этого, находятся гнезда для задания уставок времени и для незадействованных в задании уставок перемычек.

Над платой уставок размещена панель с маркировкой и отверстиями для установки перемычек в гнезда при задании уставок. Трансформатор Т (Т1, Т2 - для РС40М2) закреплен на

угольнике при помощи пластины. Снизу, на основании корпуса, размещена скоба, позволяющая крепить реле на место реле РТ40 производства ЧЭАЗ г. Чебоксары, Россия (скоба поставляется по отдельному заказу).

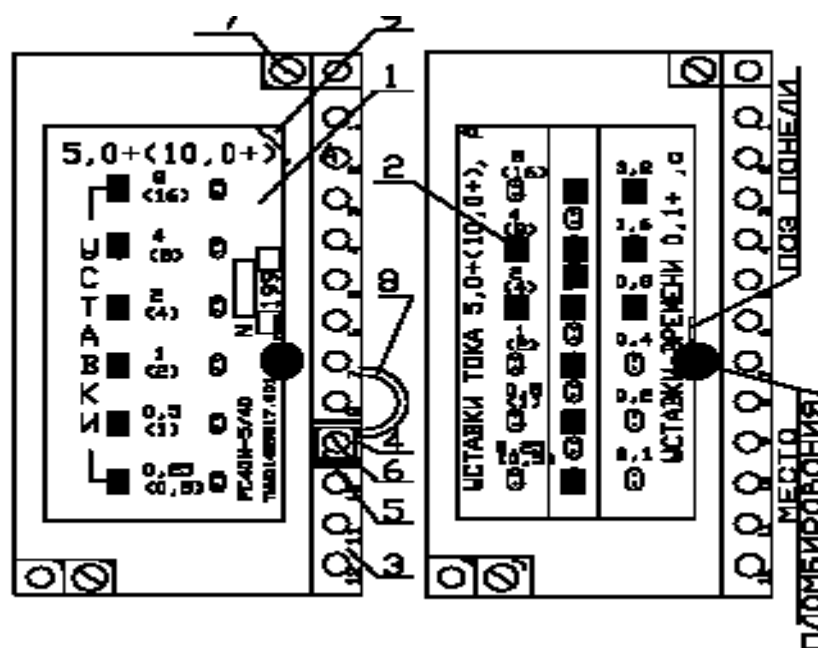


Рис. 2.20 Внешний вид реле. а) РС 40М, РС 42М, в) РС-41М.

1 – панель с маркировкой и отверстиями для перемычек; 2 – перемычка уставок; 3 – защитная крышка; 4 – клемма; 5 – зажимная шайба; 6 – винт клеммы; 7 – винт для крепления крышки на корпусе реле и пломбировки мастикой; 8 – перемычка клеммная; 9 – прозрачная панель.

Крышка корпуса крепится к основанию двумя винтами, один из которых пломбируется мастикой. На верхней стенке крышки размещена прозрачная панель, позволяющая визуально определять расположение перемычек в гнездах платы уставок. Панель съемная, что позволяет изменять уставки без снятия крышки. Для этого панель необходимо зацепить, используя паз и высвободить защелки панели (приложение 4).

На основании корпуса размещен ряд контактных клемм с зажимами для подключения проводников. С внешней стороны корпуса клеммы закрыты защитной крышкой с отверстиями для отвертки. Защитная крышка вставлена в направляющие и фиксируется защелками.

Конструкция клемм позволяет подключать проводники как с внешней стороны корпуса, так и с внутренней.

Принцип действия реле

Принцип действия реле РС40М

Функциональная схема реле приведена на рис.2.21.

Входной ток в зависимости от схемы соединения первичных обмоток трансформатора (последовательная или параллельная) поступает на выводы первичной обмотки трансформатора тока ТТ. Выпрямитель ВП преобразует переменный ток частотой 50 Гц в выпрямленный пульсирующий ток частотой 100 Гц. При достижении входным током значения (0,1-0,2) тока минимальной уставки на выходе источника питания ИП появляется достаточное для нормальной работы схемы напряжение питания. При этом на выходе ИОН появится опорное напряжение –2В.

Резистор R преобразует пульсирующий ток в пульсирующее напряжение частотой 100 Гц, которое усиливается усилителем УН и преобразуется фильтром ФНЧ в постоянное напряжение, пропорциональное входному току.

С выхода ФНЧ напряжение поступает на первый вход компаратора напряжения K_U . На второй вход компаратора поступает выходное напряжение с формирователя уставок ФУ. При достижении входным током значения уставки выходное напряжение ФНЧ будет равно выходному напряжению ФУ. Компаратор K_U сработает, замкнет ключ S_2 , что приведет к срабатыванию исполнительного реле K .

Компаратор K_I и ключ S_1 служат для исключения ложных срабатываний реле, вызванных выходом из строя элементов схемы при входных токах $I < 0,5I_y$.

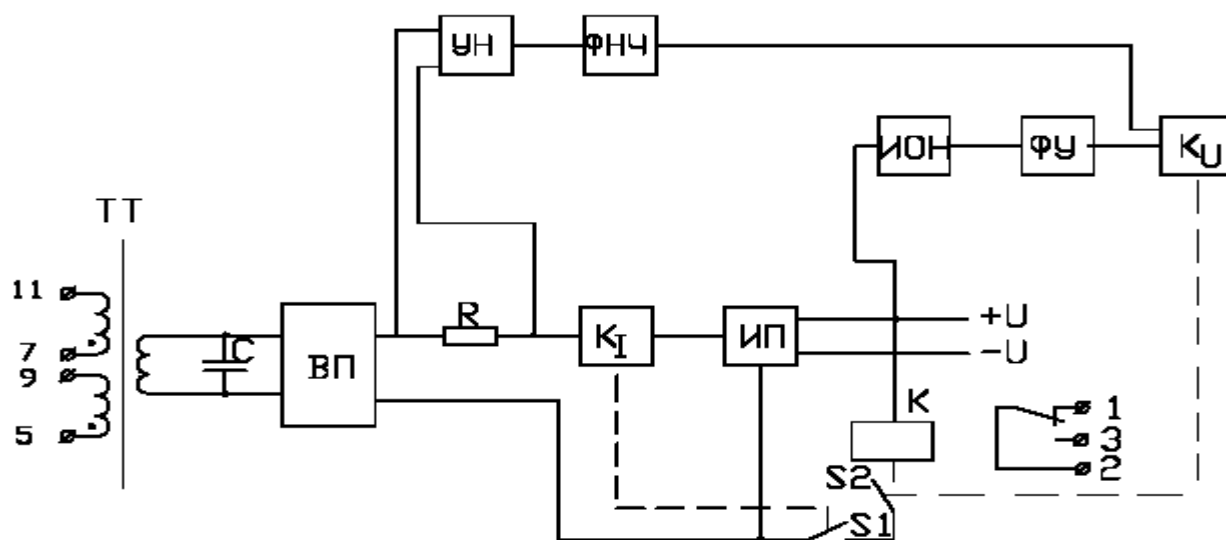


Рис. 2.21 Функциональная схема реле РС-40М

ТТ – трансформатор тока; С – конденсатор; ВП – выпрямитель; R – резистор; УН – усилитель напряжения; ФНЧ – фильтр нижних частот; K_I , K_U – компараторы тока и напряжения; ИП – источник питания; ИОН – источник опорного напряжения; ФУ – формирователь уставок; K – исполнительное реле; S1, S2 – ключи; 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11 – присоединительные клеммы.

Принцип действия реле РС40М1

Функциональная схема реле приведена на рис.2.22.

До момента срабатывания компаратора K_U принцип действия реле РС40М1 идентичен принципу действия реле РС40М.

Сработав компаратор K_U запустит схему выдержки времени СЗ. Схема выдержки времени СЗ через интервал времени, равный значению уставки времени, замкнет ключ S_2 , что приведет к срабатыванию исполнительного реле K .

ФНЧ1, ФНЧ2 в постоянное напряжение, пропорциональное входному току. С выходов ФНЧ1, ФНЧ2 напряжения поступают на переключающий компаратор ПК, который подключает на первый вход компаратора напряжения K_U большее из входных напряжений. На другой вход компаратора поступает выходное напряжение с формирователя уставок ФУ. При достижении входным током значения уставки выходное напряжение ФНЧ будет равно выходному напряжению ФУ. Компаратор K_U сработает, замкнет ключ S_2 , что вызовет срабатывание исполнительного реле K .

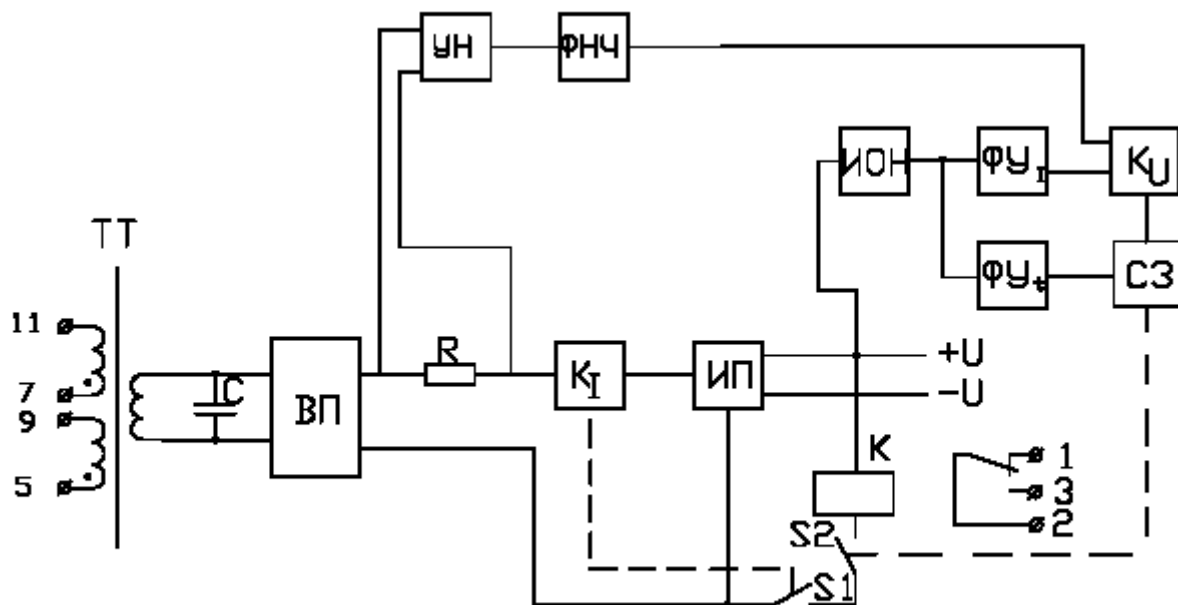


Рис. 2.22 Функциональная схема реле РС40М1

ТТ – трансформатор тока; С – конденсатор; ВП – выпрямитель; R – резистор; УН – усилитель напряжения; ФНЧ – фильтр нижних частот; K_I , K_U – компараторы тока и напряжения; ИП – источник питания; ИОН – источник опорного напряжения; $\Phi У_I$, $\Phi У_U$ – формирователи уставок тока и времени; СЗ – схема временной задержки; К – исполнительное реле; S1, S2 – ключи; 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11 – присоединительные клеммы.

Принцип действия реле РС40М2

Функциональная схема реле приведена на рис 2.22.

Входной ток в зависимости от схемы подключения первичных обмоток трансформаторов (последовательная или параллельная) поступает на соответствующие выводы первичной обмотки трансформаторов тока ТТ1, ТТ2. Выпрямители ВП1, ВП2 преобразуют переменный ток частотой 50 Гц в выпрямленный пульсирующий ток частотой 100 Гц. При достижении входным током значения (0,1-0,2) тока минимальной уставки на выходе источника питания ИП появляется достаточное для нормальной работы схемы напряжение питания. При этом на выходе ИОН появляется опорное напряжение –2В. Резисторы R1, R2 преобразуют пульсирующий ток в пульсирующее напряжение частотой 100 Гц, которое усиливается усилителями УН1, УН2 и преобразуется фильтрами.

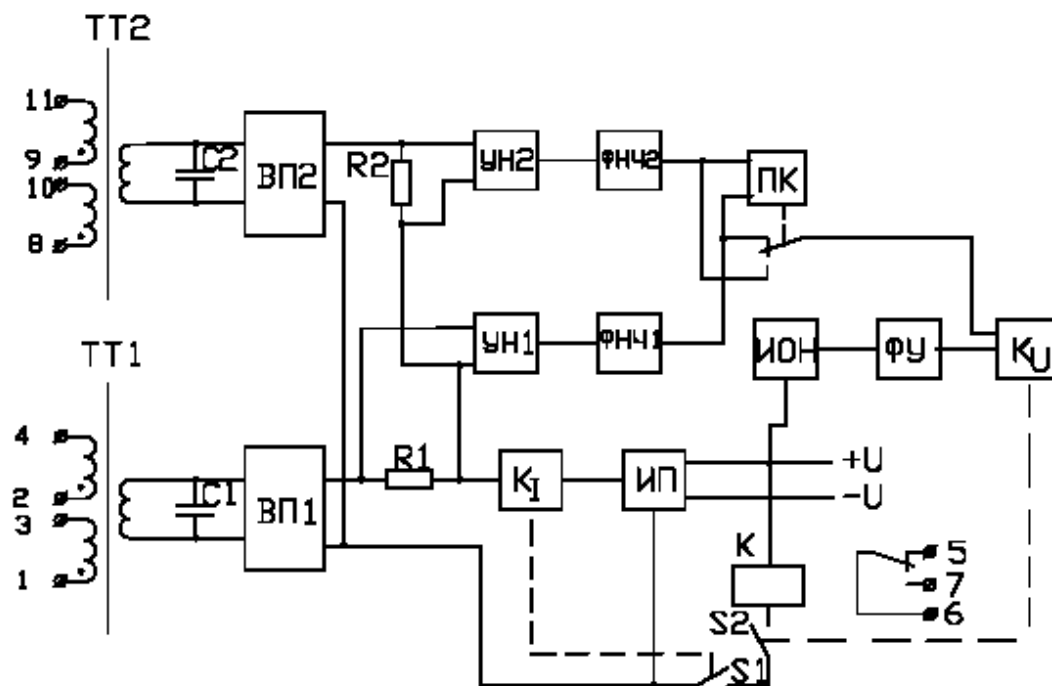


Рис. 2.23 Функциональная схема реле PC40M2.

TT1, TT2 – трансформаторы тока; C1, C2 – конденсаторы; ВП1, ВП2 – выпрямители; R1, R2 – резисторы; УН1, УН2 – усилители напряжения; ФНЧ1, ФНЧ2 – фильтры нижних частот; К1, К2 – компараторы тока и напряжения, соответственно, ПК – переключающий компаратор; ИП – источник питания; ИОН – источник опорного напряжения; ФУ – формирователь уставок; К – исполнительное реле; S1, S2 – ключи; 1...3, 5...12 – присоединительные клеммы.

2.3.5 Реле PC-80M

Реле близко по характеристикам и схеме вышеприведенному реле УЗА-АТ. Оно отличается от последнего пластмассовым корпусом, способом переключения уставок. Реле не имеет встроенной защиты от замыканий на землю. Реле разработано для замены реле серии РТ-80. В номенклатуру входит трехфазное исполнение реле PC-80M3, у которого установлен еще 1 входной трансформатор тока для фазы «В». Исполнение предназначено для установки на ВЛ и трансформаторах 35 кВ.

Реле предназначены для использования в схемах релейной защиты и противоаварийной автоматики для защиты электрических машин, трансформаторов и линий электропередач при коротких замыканиях и перегрузках.

Реле PC80M2, PC80M3 – это статические реле без дополнительного источника питания. Питание элементов схемы осуществляется от входного тока.

Реле включает:

- максимальную токовую защиту (МТЗ) с независимой и двумя зависимыми характеристиками срабатывания (по выбору с передней панели);
- токовую отсечку (ТО) с временной задержкой (70-100) мс или (150-200) мс, которая задается с передней панели.

Реле обеспечивает:

- возможность отключения токовой отсечки с передней панели (для всех модификаций) или дистанционно замыканием внешнего замыкающего контакта (только для PC80M2-1...8,10,18), при этом, для PC80M2-10 необходимо к клеммам 17, 19 реле (приложение 2) подключить постоянное или переменное напряжение значением 220 В \pm 20%. В слу-

чае кратковременного (не более 3 минут) пропадания напряжения 220 В и замыкания, в этот момент, внешнего замыкающего контакта, дистанционное отключение токовой отсечки обеспечивается на время не менее 3 секунд;

- возможность задания общих для всех фаз уставок тока срабатывания МТЗ, тока срабатывания отсечки (в кратностях к току срабатывания МТЗ), времени срабатывания МТЗ;
- срабатывание МТЗ и (или) токовой отсечки по наибольшему из входных токов.

Значения уставок тока срабатывания, выдержки времени, кратности тока отсечки, их количество и дискретность приведены в табл.2.4.

Таблица 2.4

Модификации	Уставки тока срабатывания МТЗ			Номинальный ток, А	Уставки выдержки времени			Уставки кратности тока отсечки		
	Диапазон А	Кол.	Дискр. А		Диап. с	Кол.	Дискр. с	Диап. крат.	Кол.	Дискр. крат.
PC 80M2–1.2.3.4.9.10.18	0,4–0,91 0,8–1,82 1,6–3,64 3,2–7,28	128 128 128 128	0,004 0,008 0,016 0,032	1,0 1,0 2,5 5,0	0,3–25,8	256	0,1	2–17,75	64	0,25
PC 80M2–5.6.7.8.17 PC 80M3–1.2.3	1–2,27 2–4,54 4–9,08 8–18,16	128 128 128 128	0.01 0,02 0,04 0,08	5,0 5,0 10.0 16,0	0,3–25,8	256	0,1	2–17,75	64	0,25
PC80M2–16	0,5–1,135 1–2,27 2–4,54 4–9,08	128 128 128 128	0.005 0.01 0,02 0,04	2,5 5,0 10.0 10.0	0,3–25,8	256	0,1	2–17,75	64	0,25

Реле PC80M2-1,3,5,7, PC80M3 содержат два переключающих выходных контакта (ВЫХОД1, ВЫХОД2).

Реле PC80M2-2,4,6,8 содержат две группы выходных контактов (ВЫХОД1, ВЫХОД2),

каждая из которых состоит из одного переключающего и одного замыкающего (нормально разомкнутого - далее НР) контакта.

Реле PC80M2-9,10,16,17 содержат два переключающих выходных контакта (ВЫХОД1, ВЫХОД2) и группу сигнальных контактов ВЫХОД3, состоящую из одного замыкающего (НР) и одного размыкающего (НЗ) контактов. При этом группа контактов ВЫХОД3 является двухстабильной. Срабатывание контактов ВЫХОД3 происходит одновременно со срабатыванием контактов ВЫХОД2. Возврат в исходное состояние контактов ВЫХОД3 происходит только после кратковременной подачи на вход реле СБРОС ВЫХОДА 3 постоянного или переменного напряжения значением 220 В ± 20% (приложения 2, 2а).

Реле PC80M2-18 содержит замыкающий выходной контакт ВЫХОД1 повышенной мощности.

Модификации реле PC80M2 определяются значением уставок тока срабатывания, функцией выходных контактов и наличием дистанционной блокировки отсечки.

Модификации реле PC80M3 определяются только функцией выходных контактов.

Модификации реле приведены в таблице 2.5.

Номинальная частота переменного тока – 50 Гц.

Реле обеспечивают следующие характеристики зависимости времени срабатывания реле от кратности тока срабатывания (выбором с передней панели) в диапазоне входных токов $2I_y \leq I \leq 10I_y$

а) независимая

$$t = t_y \quad (2.10)$$

б) зависимая нормальная

$$t = \frac{0,14 \cdot K}{\left(\frac{I}{I_y} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_y \quad (2.11)$$

в) зависимая крутая

$$t = \frac{13,5 \cdot K}{\left(\frac{I}{I_y} \right) - 1} \cdot t_y \quad (2.12)$$

где:

t – теоретическое время срабатывания, с;

t_y – уставка времени срабатывания, т.е. теоретическое время срабатывания для $I = 10I_y$, с;

I – входной ток устройства, А;

I_y – уставка тока срабатывания, А;

K – коэффициент, значение которого зависит от отношения $\frac{I}{I_y}$, для которого нормируется t_y , для $\frac{I}{I_y} = 10$ характеристики (2) $K = 0,3366$, а для характеристики (3) – $K = 0,6667$.

В диапазоне входных токов $I > 10I_y$ время срабатывания реле не больше, чем время срабатывания при $I = 10I_y$.

Таблица 2.5

Модификация	Уставки тока срабатывания, А	Функция выходных контактов			Наличие дистанционной блокировки отсечки
		Выход 1	Выход 2	Выход 3	
PC 80M2-1	0,4-7,28	ТО + МТЗ	ТО + МТЗ	нет	есть
PC 80M2-2	0,4-7,28	ТО + МТЗ	ТО	нет	есть
PC 80M2-3	0,4-7,28	ТО + МТЗ	МТЗ	нет	есть
PC 80M2-4	0,4-7,28	ТО	МТЗ	нет	есть
PC 80M2-5	1-18,16	ТО + МТЗ	ТО + МТЗ	нет	есть
PC 80M2-6	1-18,16	ТО + МТЗ	ТО	нет	есть
PC 80M2-7	1-18,16	ТО + МТЗ	МТЗ	нет	есть
PC 80M2-8	1-18,16	ТО	МТЗ	нет	есть
PC 80M2-9	0,4-7,28	МТЗ мгновенный	ТО + МТЗ	ТО + МТЗ двухстаб.	нет
PC 80M2-10	0,4-7,28	МТЗ мгновенный	ТО + МТЗ	ТО + МТЗ двухстаб.	есть
PC 80M2-16	0,5-9,08	МТЗ мгновенный	ТО + МТЗ	ТО + МТЗ двухстаб.	нет
PC 80M2-17	1-18,16	МТЗ мгновенный	ТО + МТЗ	ТО + МТЗ двухстаб.	нет
PC 80M2-18	0,4-7,28	ТО + МТЗ	нет	нет	есть
PC 80M3-1	1-18,16	ТО + МТЗ	нет	нет	нет
PC 80M3-2	1-18,16	ТО + МТЗ	ТО	нет	нет
PC 80M3-3	1-18,16	ТО	МТЗ	нет	нет

Габаритные размеры реле - 195 · 130 · 125 мм³.

Масса реле - 2,5 кг.

Класс точности реле - 5,0.

Конструкция реле

Реле изготовлено в прямоугольном пластмассовом корпусе размерами 125 · 195 · 127 мм, который состоит из основания и крышки (Рис. 2.24, 2.25). Внутри корпуса размещены: плата реле А1 (вертикально) и плата уставок А2 (горизонтально). Платы закреплены на двух вертикальных пластинах и соединены между собой электропроводными перемычками. Над платой уставок размещена панель с маркировкой и отверстиями для установки съемных перемычек в соответствующие гнезда при задании уставок (рис.2.26). На панели крепится винтами сменная планка с маркировкой для задания уставки тока срабатывания.

Неиспользуемые планки крепятся винтами на угольниках под платой уставок. Справа на плате уставок А2 находятся гнезда для хранения незадействованных съемных перемычек.

Входные трансформаторы ТТ1...ТТ3 реле РС80М3 установлены на отдельных кронштейнах под платой уставок. Входные трансформаторы ТТ1, ТТ2 реле РС80М2 установлены на боковых кронштейнах реле.

Между трансформаторами ТТ1, ТТ2 реле РС80М2-18 установлен триак, являющийся выходным ключевым элементом реле. Крышка корпуса изготовлена из прозрачной пластмассы, что позволяет визуально контролировать расположение съемных перемычек в гнездах передней панели. Крышка крепится двумя винтами, которые могут использоваться потребителем для пломбирования во время эксплуатации.

Внешние подключения реле осуществляются при помощи ряда клеммных зажимов снаружи корпуса. Схема подключения реле указана на шильдике, расположенном на боковой стенке крышки корпуса над рядом клемм.

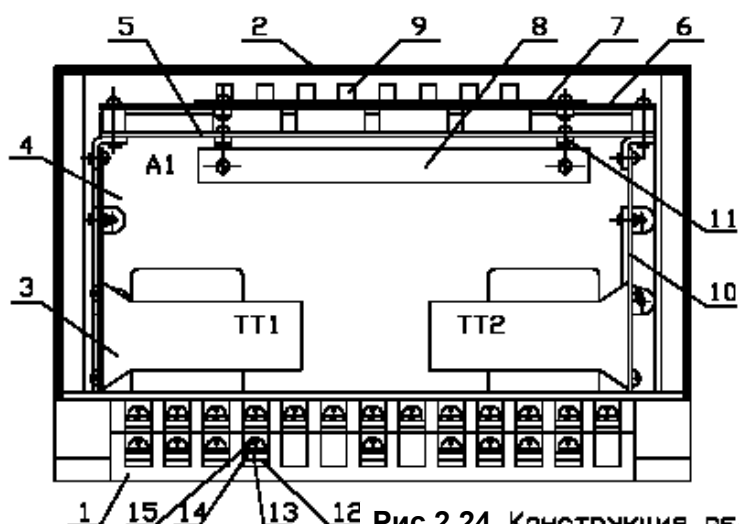


Рис.2.24 Конструкция реле РС80М2-1...8,9,15...17.

1-корпус, 2-прозрачная крышка, 3-трансформатор, 4-плата реле, 5-плата уставок, 6-передняя панель с надписями, 7-сменная планка уставок тока, 8-неиспользуемые сменные планки уставок тока, 9-съемная перемычка, 10-кронштейн, 11-уголок, 12-контакт, 13-прижим, 14-шарика пружинная, 15-винт.

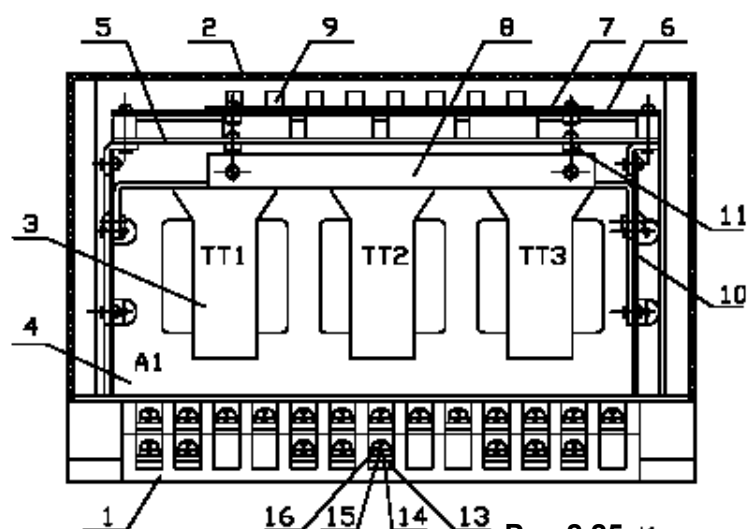


Рис.2.25 Конструкция реле РС80М3

1-корпус, 2-прозрачная крышка, 3-трансформатор, 4-плата реле, 5-плата уставок, 6-передняя панель с надписями, 7-сменная планка уставок тока, 8-неиспользуемые сменные планки уставок тока, 9-съемная перемычка, 10-кронштейн, 11-уголок, 12-кронштейн, 13-контакт, 14-прижим, 15-шарика пружинная, 16-винт.

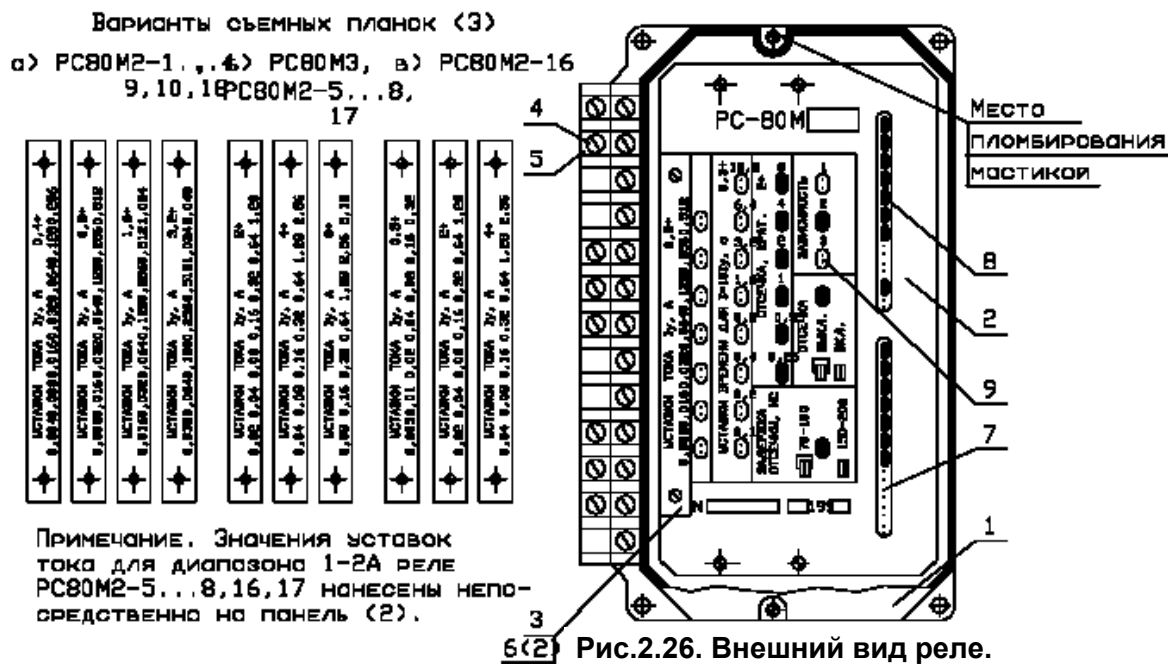


Рис.2.26. Внешний вид реле.

2.3.6 Устройство дуговой защиты ПД -01

Устройство предназначено для ускоренного отключения шкафа комплектных распределительных устройств (КРУ) 6 - 10 кВ при возникновении в них электрического дугового замыкания, путем воздействия на вводные и секционные выключатели с запретом действия сигналов АПВ и АВР. Чувствительность к току дугового короткого замыкания волоконно-оптического датчика длиной (700±50) мм на расстоянии (500±50) мм от дуги – не менее 500 А.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Характеристика	Значение	Допустимое отклонение
1. Напряжение питания, В	100 или 220	20%
2. Частота, Гц	50	2 Гц
3. Мощность потребления, ВА, не более	20	
4. Время срабатывания изделия, мс	40	10 мс
5. Время сохранения состояния срабатывания изделия, с, не менее	0,15	
6. Время сохранения возможности срабатывания после отключения электропитания изделия, с, не менее	3,0	

Устройство и принцип работы

Принцип действия устройства ПД-01 основан на одновременном воздействии двух внешних факторов:

- 1) воздействие светового потока, возникающего при появлении электрической дуги, вызванной токами КЗ внутри охраняемого объекта;
- 2) понижение питающего напряжения до значения $0,5 U_{ном}$.

Примечание. При замыкании между собой зажимов 6 и 7 клеммника, может быть обеспечено срабатывание изделия при отсутствии срабатывания узла слежения за напряжением.

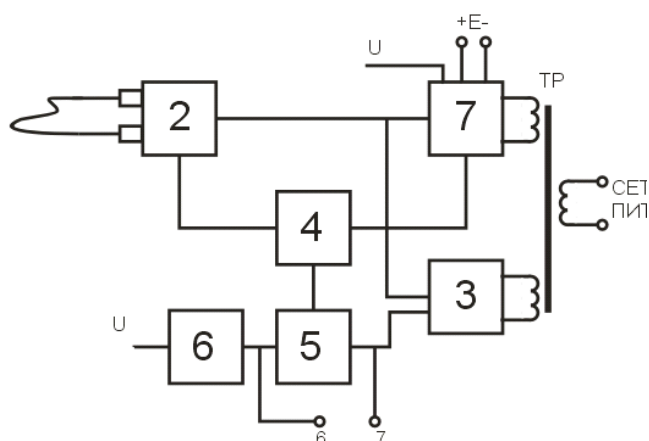
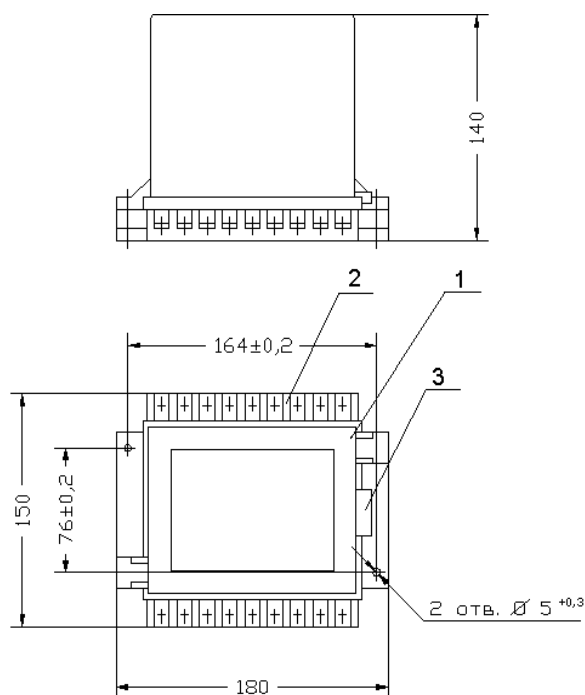


Рис. 2.27. Внешний вид и габариты ПД-01 Рис. 2.28. Структурная схема ПД-01

1 – крышка, 2 – основание, 3 – узел механического крепления волоконно-оптического датчика

Структурная схема устройства приведена на рис. 2.25. Световой поток проникает через прозрачную оболочку волоконно-оптического датчика 1, достигает стеклянной светопроводящей жилы и воздействует на фотоприемный узел 2. Уровень питающего напряжения контролируется на вторичной обмотке трансформатора ТР узлом слежения за напряжением 3. Обмотка исполнительного реле 6 включена последовательно с выходными ключами 4 и 5, что обеспечивает включение реле при одновременном срабатывании обоих узлов устройства. Электропитание изделия осуществляется от стабилизированного блока питания 7, обеспечивающего сохранение работоспособности устройства на время не менее 3 с после отключения питающей сети.

3 МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, АВТОМАТИКИ, ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Большинство фирм производителей прекращают выпуск электромеханических реле и устройств и переходят на цифровую элементную базу.

Переход на новую элементную базу не приводит к изменению принципов релейной защиты и электроавтоматики, а только расширяет ее функциональные возможности, упрощает эксплуатацию и снижает стоимость. Именно по этим причинам микропроцессорные реле очень быстро занимают место устаревших электромеханических и микроэлектронных.

Основные характеристики микропроцессорных защит значительно выше микроэлектронных, а тем более электромеханических. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится на уровне 0,1—0,5 ВА, аппаратная погрешность — в пределах 2—5%, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96—0,97.

Мировыми лидерами в производстве РЗА являются европейские концерны ALSTOM, ABB и SIEMENS. Общим является все больший переход на цифровую технику. Цифровые защиты, выпускаемые этими фирмами, имеют высокую стоимость, которая, впрочем, окупается их высокими техническими характеристиками и многофункциональностью.

Переход на цифровые способы обработки информации в устройствах РЗА не привел к появлению каких-либо новых принципов построения защиты электроустановок, но существенно улучшил эксплуатационные качества реле.

Современные цифровые устройства РЗА интегрированы в рамках единого информационного комплекса функций релейной защиты, измерения, регулирования и управления электроустановкой. Такие устройства в структуре автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) энергетического объекта являются оконечными устройствами сбора информации. В интегрированных цифровых комплексах РЗА появляется возможность перехода к новым нетрадиционным измерительным преобразователям тока и напряжения — на основе оптоэлектронных датчиков, трансформаторов без ферромагнитных сердечников и т. д. Эти преобразователи технологичнее при производстве, обладают очень высокими метрологическими характеристиками, но имеют малую выходную мощность и непригодны для работы с традиционной аппаратурой.

3.2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ

3.2.1 Структурная схема

Цифровые устройства РЗ различного назначения имеют много общего, а их структурные схемы очень похожи и подобны представленной на рис. 3.1. Центральным узлом цифрового устройства является микроЭВМ, которая через свои устройства ввода-вывода обменивается информацией с периферийными узлами. С помощью этих дополнительных узлов осуществляется сопряжение микроЭВМ (микропроцессора) с внешней средой: датчиками исходной информации, объектом управления, оператором и т. д.

Следует отметить, что в реальном устройстве РЗ может использоваться несколько микропроцессоров (МП), каждый из которых будет занят решением отдельного фрагмента общей задачи с целью обеспечения высокого быстродействия. Так, фирма ALSTOM, для этой цели, использует один мощный процессор, а фирма ABB, использует 4—10 МП, работающих параллельно.

Непременными узлами цифрового устройства РЗА являются:

входные $U1—U4$ и выходные $KL1—KLj$ преобразователи сигналов, тракт аналого-цифрового преобразования $U6$, $U7$, кнопки управления и ввода информации от оператора $SB1$, $SB2$, дисплеев H для отображения информации и блок питания $U5$. Современные цифровые устройст-

ва, как правило, оснащаются и коммуникационным портом X1 для связи с другими устройствами.

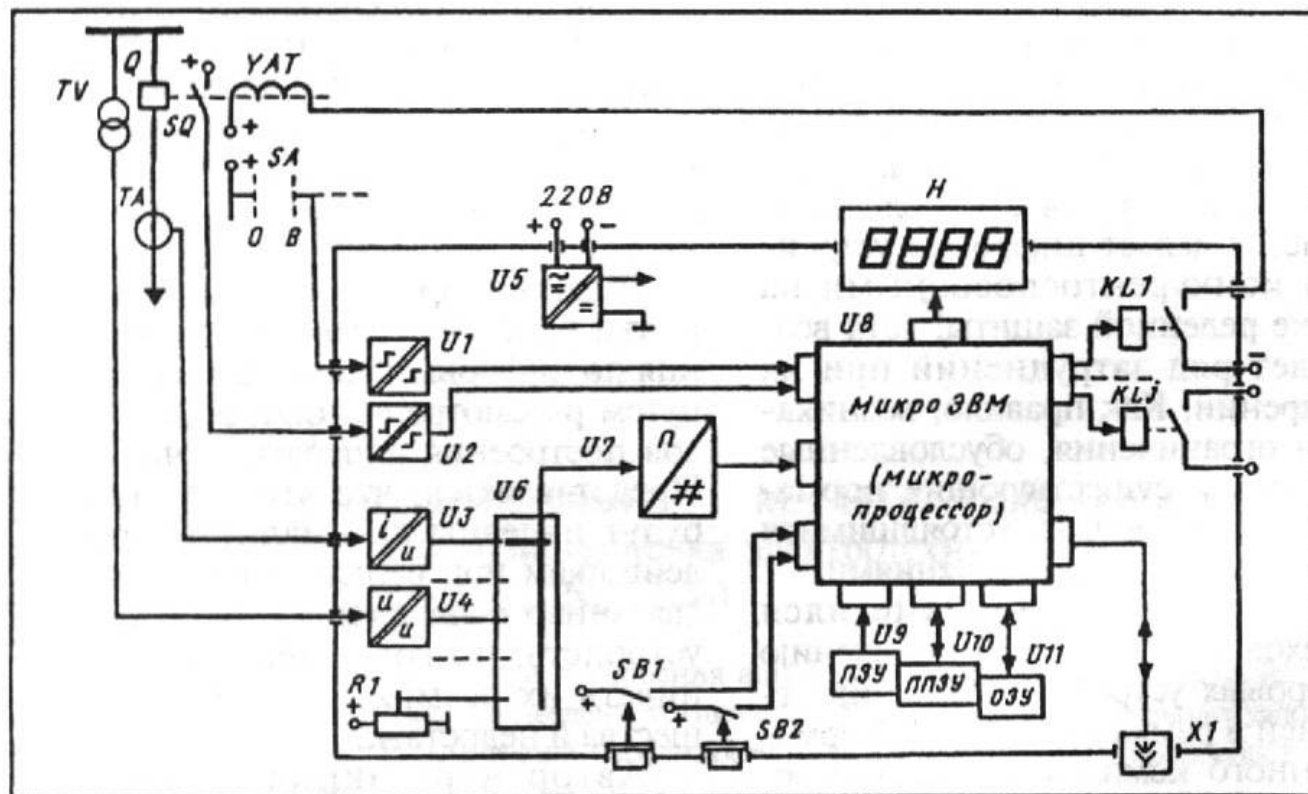


Рис. 3.1 Структурная схема цифрового устройства защиты

Основные функции вышеперечисленных узлов следующие:

Входные преобразователи обеспечивают гальваническую развязку внешних цепей от внутренних цепей устройства. Одновременно, входные преобразователи осуществляют приведение контролируемых сигналов к единому виду (как правило, к напряжению) и нормированному уровню. Здесь же осуществляется предварительная частотная фильтрация входных сигналов перед их аналого-цифровым преобразованием. Одновременно принимаются меры по защите внутренних элементов устройства от воздействия помех и перенапряжений. Различают преобразователи аналоговые ($U3$, $U4$) и логические ($U1$, $U2$) входных сигналов. Первые стремятся выполнить так, чтобы обеспечить линейную (или нелинейную, но с известным законом) передачу контролируемого сигнала во всем диапазоне его изменения. Преобразователи логических сигналов, наоборот, стремятся сделать чувствительными только к узкой области диапазона возможного нахождения контролируемого сигнала. Выходные релейные преобразователи. Воздействия реле на защищаемый объект традиционно осуществляется в виде дискретных сигналов управления. При этом выходные цепи устройства защиты выполняются так, чтобы обеспечить гальваническую развязку коммутируемых цепей как между собой, так и относительно внутренних цепей устройства РЗ. Выходные преобразователи должны обладать соответствующей коммутационной способностью и, в общем случае, обеспечивать видимый разрыв коммутируемой цепи.

Тракт аналого-цифрового преобразования включает мультиплексор $U6$ и собственно аналого-цифровой преобразователь (АЦП) — $U7$. Мультиплексор — это электронный коммутатор, поочередно подающий контролируемые сигналы на вход АЦП. Применение мультиплексора позволяет использовать один АЦП (как правило, дорогостоящий) для нескольких каналов. В АЦП осуществляется преобразование мгновенного значения входного сигнала в пропорциональное ему цифровое значение. Преобразования выполняются с заданной периодичностью. В последующем в микроЭВМ по этим выборкам из входных сигналов рассчитываются интегральные параметры контролируемых сигналов — их амплитудные или действующие значения.

Блок питания (БП) — $U5$ — обеспечивает стабилизированным напряжением все узлы рассматриваемого устройства, независимо от возможных изменений напряжения в питающей сети. Обычно это импульсный БП от сети постоянного тока. Имеются также блоки питания от цепей переменного тока и напряжения.

Дисплеи и клавиатура являются неперенными атрибутами любого цифрового устройства, позволяя оператору получить информацию от устройства, изменить режим его работы, ввести новую информацию. Надо отметить, что дисплей H и клавиатура $SB1$, $SB2$ в цифровых реле, как правило, реализуются в максимально упрощенном виде: дисплей — цифробуквенный, одно- (или несколько-) строчный; клавиатура — несколько кнопок.

Порт связи с внешними цифровыми устройствами. Достоинством цифровых устройств является возможность передачи имеющейся информации в другие цифровые системы: АСУ ТП, персональный компьютер и т. д., что позволяет интегрировать различные системы, экономя на каналах связи, затратах на предварительную обработку сигналов и т. п. Коммуникационный порт — необходимый элемент для дистанционной работы с данным устройством.

Наряду с вышеперечисленными, в цифровых устройствах, в общем случае, могут встретиться и другие узлы, например, цифро-аналоговые преобразователи при формировании аналоговых сигналов управления и регулирования.

Практически вся обработка информации в любом цифровом устройстве осуществляется внутри микроЭВМ по определенному алгоритму, реализованному в виде программы работы.

Для облегчения понимания принципов работы цифровых устройств РЗА необходимо иметь хотя бы общее представление об устройстве и функционировании ЭВМ. Рассмотрим структурную схему микроЭВМ, представленную на рис. 3.2.

Центральный управляющий и решающий блок микроЭВМ называется центральным процессорным устройством (Central Processing Unit-CPU) или просто процессором. Этот узел в виде интегральной микросхемы (ИМС), что дало повод называть такую ИМС микропроцессором. Как видно из структурной схемы, микроЭВМ МП в качестве самостоятельного узла не применяется.

Для его работы требуется внешнее запоминающее устройство, где хранится программа (последовательность команд), которую необходимо выполнить. В устройствах, работающих по жесткой программе, какими и являются реле защиты, программа записывается в постоянном запоминающемся устройстве (ПЗУ).

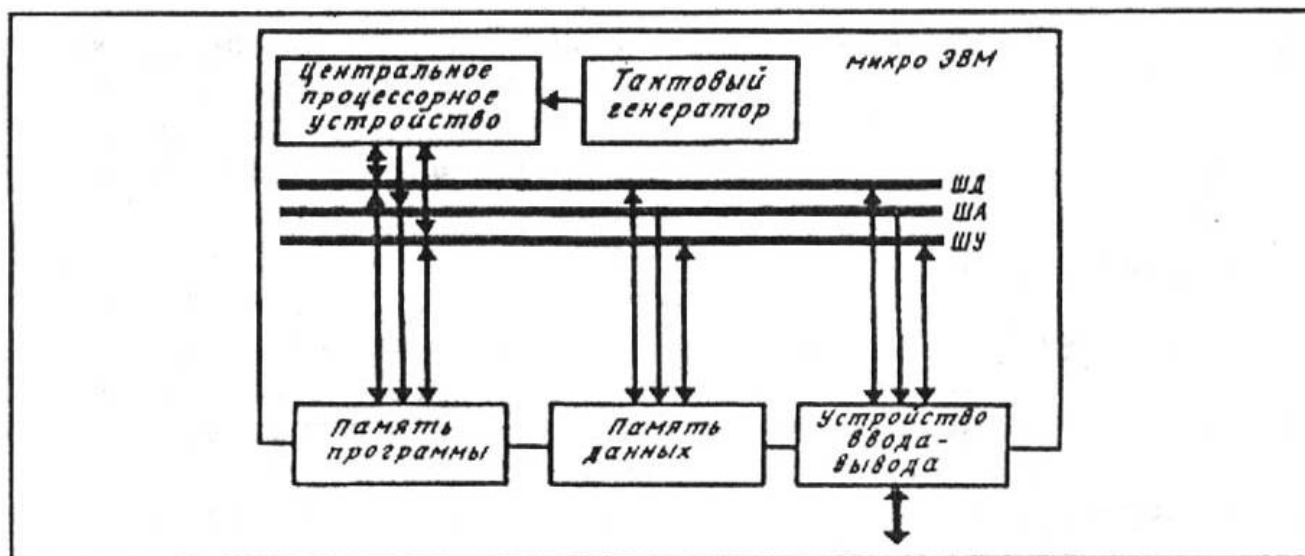


Рис. 3.2 Структурная схема микроЭВМ

Для хранения переменных и промежуточных результатов вычислений (данных) применяется оперативное запоминающее устройство (ОЗУ).

Обмен информацией с внешним оборудованием осуществляется с помощью устройств ввода-вывода.

Любая информация в ЭВМ представляется в виде чисел (числовых кодов). Обмен информацией между узлами микроЭВМ осуществляется с помощью шин, т. е. системы электрических линий. Шины различаются по функциям: шина пересылки данных *ШД*, шина адреса *ША*, шина передачи команд управления *ШУ*. Например, при чтении данных из устройства ввода-вывода (УВВ) в процессор последний выставляет на *ША* адрес УВВ, а на *ШУ* — сигналы, предписывающие УВВ выдать данные на *ШД*. В результате этого на шине данных появляется число, которое было в УВВ в момент обращения. При передаче информации используется двоичная система счисления, требующая для отображения чисел использования только двух символов 0 и 1, что делает наиболее простой реализацию узлов ЭВМ на основе электрических схем.

Скорость работы микроЭВМ существенно зависит от разрядности чисел, передаваемых по шинам от узла к узлу. Это определяется разрядностью шины данных. Современные микроЭВМ работают с 16- и 32-разрядными машинными словами. Время выполнения команды определяется тактовой частотой задающего генератора и зависит от быстродействия применяемых ИМС, что в свою очередь определяется технологией их изготовления. Сегодня электронной промышленностью предлагаются десятки разновидностей МП, и они непрерывно совершенствуются.

По этой причине происходит периодическое обновление аппаратной базы и в цифровых устройствах РЗА.

Сигналы, контролируемые устройствами РЗА, имеют в общем случае разную физическую природу — токи, напряжения, температура и т. д. Чаще всего устройства РЗ работают с сигналами от источников переменного тока и напряжения, с традиционными номинальными уровнями: 1А, 5А, 100В. Такие уровни сигналов обеспечивают необходимую помехозащищенность, но совершенно неприемлемы для обработки в электронных схемах. При подключении микропроцессорных устройств к традиционным датчикам тока и напряжения требуется приведение их сигналов к единому виду и диапазону изменения, приемлемому для обработки электронными узлами.

Входные преобразователи

Наиболее часто входные согласующие преобразователи цифровых устройств выполняются на базе обычных электромагнитных трансформаторов с ферромагнитным сердечником. Несмотря на то, что такие трансформаторы имеют нелинейные передаточные характеристики, определенный разброс параметров, некоторую нестабильность во времени и при изменении температуры, они все же приемлемы для построения устройств РЗ, допускающих работу с погрешностью 2—5%.

В трансформаторных преобразователях (рис. 3.3) основное внимание уделяется снижению междуобмоточной емкости, по которой возможно попадание импульсных помех внутрь устройства. С этой целью секционируют вторичную обмотку или помещают между первичной и вторичной обмотками электростатический экран. Ввиду очень малого потребления мощности последующими электронными узлами, преобразование токовых сигналов в напряжение осуществляют простейшим способом — с использованием шунтов *R*. Для защиты электронных узлов от возможных перенапряжений широко применяют варисторы *RV* (или стабилитроны) и фильтры нижних частот, например, на основе *R/C*-цепей. Эффективность фильтра нижних частот объясняется тем, что энергия импульсной помехи сосредоточена в высокочастотной части спектра. Ограничение полосы пропускания тракта в области высоких частот необходимо и для правильной работы аналого-цифрового преобразователя, независимо от того, будет ли в последующем применяться цифровая фильтрация сигналов или нет.

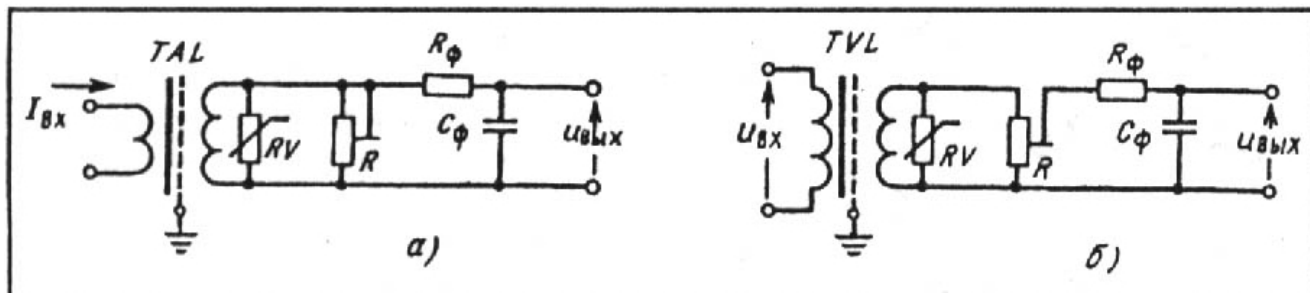


Рис. 3.3. Входные преобразователи на основе промежуточных трансформаторов

Аналогово-цифровые преобразователи

Дискретный (цифровой) сигнал, в отличие от аналогового, может принимать лишь конечное множество значений и определен лишь для конкретных моментов времени.

Процесс перехода от аналогового сигнала к дискретному называется *дискретизацией* или *квантованием* сигнала, а устройства, выполняющие эту операцию, называются аналого-цифровыми преобразователями (АЦП). Переход от непрерывного сигнала к дискретному всегда происходит с потерей некоторого количества информации. Конечное число градаций дискретного сигнала обуславливает погрешность квантования по уровню, а одной из причин необходимости квантования по времени является то, что и сам процесс аналого-цифрового преобразования, и последующий цикл вычислений в микроЭВМ требует определенного времени, по истечении которого можно делать новую выборку из входного сигнала (рис. 3.4).

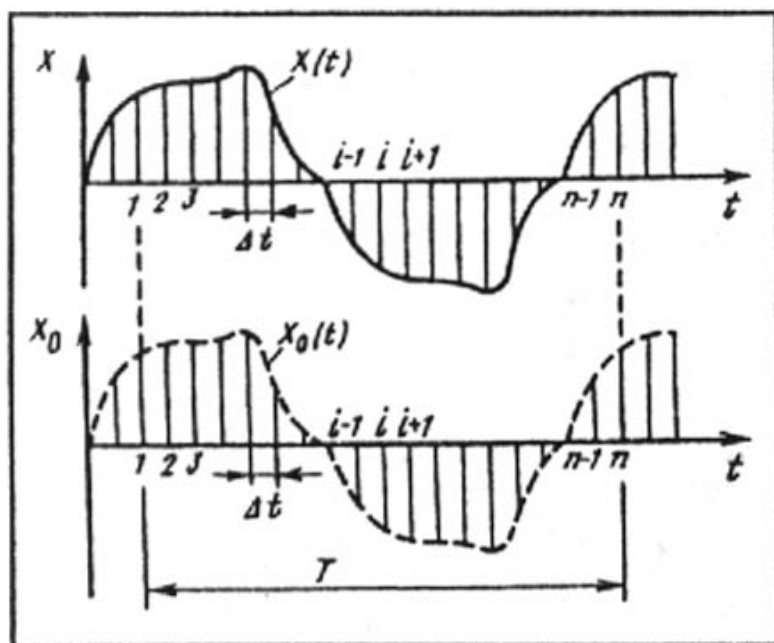


Рис. 3.4 Аналого-цифровое преобразование сигнала

Характеризуя АЦП, говорят о его разрядности и интервале дискретизации сигнала по времени Δt или частоте выборки $f_B = 1/\Delta t$, или, если речь идет о периодических сигналах с периодом T , о количестве выборок за период $N = f_B \cdot T$.

Для периодических сигналов существует взаимосвязь между верхней частотой преобразуемого сигнала и необходимым количеством выборок. Для точного восстановления первоначального сигнала из его дискретного представления частота выборок должна по крайней мере вдвое превышать самую высокочастотную гармоническую составляющую входного сигнала, т.е.:

$$f_B \geq 2f_{max} \text{ или } N \geq 2f_{max}T$$

Более того, при аналого-цифровом преобразовании из входного сигнала должны быть исключены все гармоники с частотой, более высокой, чем частота квантования. В противном случае, при восстановлении сигнала появляется разностная составляющая низкой частоты, поэтому на входе АЦП всегда устанавливают аналоговый фильтр нижних частот с полосой пропускания не более f_B .

В устройствах РЗА применяют АЦП с частотой выборок от 600 до 2000 Гц. Более высокая частота выборок используется в том случае, когда устройство защиты обеспечивает еще и осциллографирование аварийного процесса. Цифровое устройство с частотой выборок

2000 Гц эквивалентно осциллографу с полосой пропускания 0—1000 Гц. Для сравнения отметим, что запись звука на компакт-дисках осуществляется с частотой дискретизации около 44 кГц, что обеспечивает качественное воспроизведение фонограмм, включая частоты свыше 20 кГц.

Второй важной характеристикой АЦП является разрядность p формируемого им двоичного числа. Для того, чтобы выяснить каким должно быть значение p , рассмотрим работу АЦП как некоего "черного ящика" (рис. 1.7), на вход которого поступает аналоговый сигнал X , а на его цифровых выходах появляется эквивалентное число в виде двоичных сигналов с двумя возможными уровнями, условно обозначаемыми как 0 и 1. Кстати, представление числа напряжениями или током только двух уровней и делает предпочтительней двоичную систему счисления.

Существует однозначная связь между разрядностью АЦП и точностью измерения аналоговой величины. Например, в двухразрядном АЦП на его двух выходах возможно формирование только четырех независимых числовых комбинаций: 00, 01, 10 и 11. Эти числа можно интерпретировать как нахождение входного аналогового сигнала в одном из четырех поддиапазонов, ограниченных $0 - X_{\max}$. В случае p -разрядного АЦП возможно отождествление нахождения входного сигнала в любом из $m = 2^p$ поддиапазонов. При этом ступенька квантования при определении уровня сигнала составит $X_{\max}/2^p$. В энергетике из всех величин в наиболее широком диапазоне изменяется ток. Ток при нормальном режиме работы электроустановки находится в пределах $0 - I_{\text{ном}}$, а в аварийных — достигает $(10+30)I_{\text{ном}}$. Для преобразования с погрешностью не более 2—5 % требуемое число ступеней квантования m должно быть $2000 \div 4000$, т. е. требуется АЦП с $p = 11+12$.

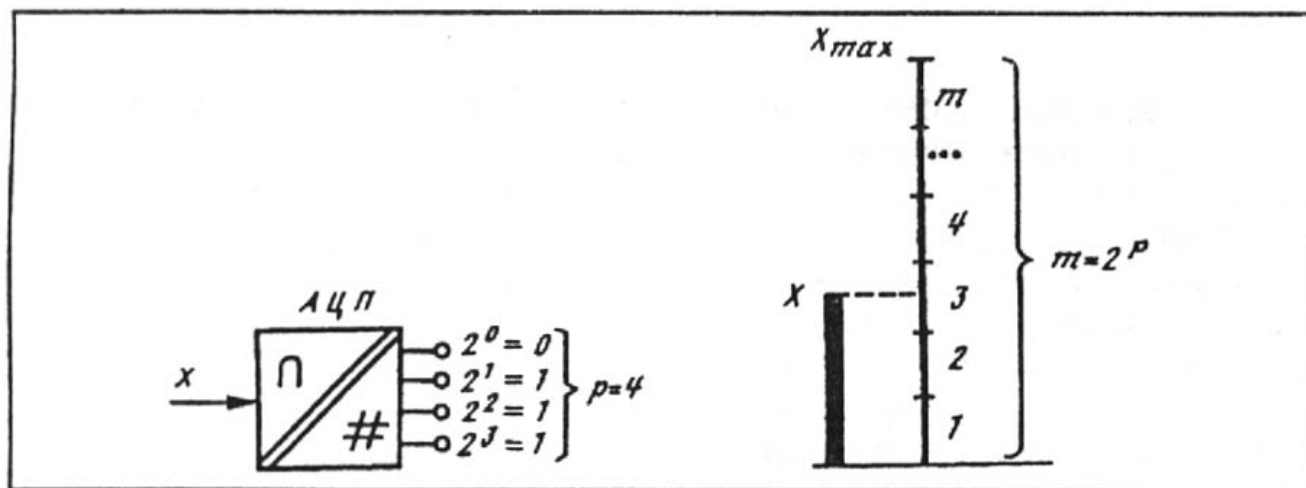


Рис. 3.5 К пояснению разрядности АЦП

Ввод дискретных сигналов

Практически во всей современной электронной аппаратуре ввод дискретных сигналов осуществляется через преобразователи на основе оптронов. Следует отметить, что схемы реальных преобразователей гораздо сложнее, чем схемы, приведенные на рис. 3.6.

Собственное время переключения у оптронов составляет доли микросекунды. Для оптопары (светодиод-фотоприемник) характерна малая проходная емкость, что препятствует проникновению помех по этому пути. Допустимое напряжение между цепью управления и элементами управляемой цепи достигает нескольких киловольт, а рабочий ток светодиода VD составляет 3—5 мА.

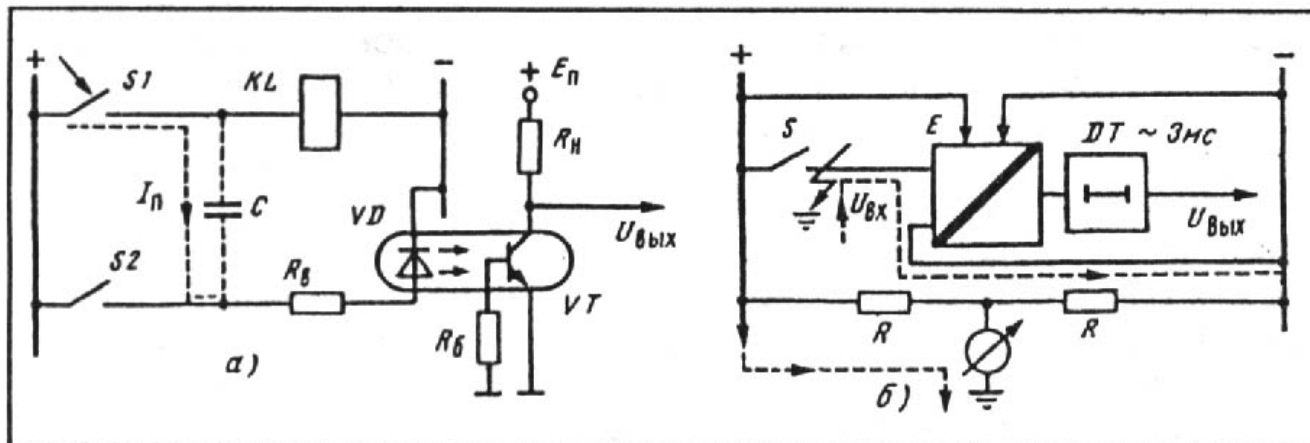


Рис. 3.6 Варианты ввода дискретного сигнала

Малый входной ток оптрона с одной стороны является благом, так как приводит к снижению мощности, потребляемой преобразователем, решает проблему рассеивания тепла резистора R_6 и уменьшает нагрузку на управляющий контакт $S2$ (рис. 3.6, а). Но с другой стороны, малый рабочий ток оптрона приводит к ряду проблем.

В первую очередь, малый входной ток обуславливает низкую помехозащищенность преобразователя. Например, при наличии протяженного проводника, связывающего управляющий ключ $S2$ с оптроном, возможно ложное срабатывание при перезарядке паразитной емкости C в момент замыкания ключа $S1$ в сторонней цепи. Чтобы исключить ложную работу устройства РЗ в такой ситуации, на выходе преобразователя устанавливают элемент задержки DT (рис. 3.6, б) с фиксированной или регулируемой задержкой в формировании выходного сигнала. Для того, чтобы отстроиться от переходных процессов, обычно достаточно задержки 0,5—3 мс.

Устройства с малым потреблением могут реагировать на замыкания на землю в сети оперативного тока, так как их входной ток соизмерим с током цепи контроля изоляции сети оперативного тока. Для исключения этого входные цепи измерительного преобразователя E выполняют с привязкой к потенциалам полюсов сети оперативного тока и поднимают порог переключения преобразователя E до уровня 60—80% номинального напряжения сети.

Выходные реле

Несмотря на очевидные достижения в области высоких потенциалов и сильных токов в цифровых реле, в большинстве случаев по-прежнему используются промежуточные электромагнитные реле. Контактная пара пока еще остается вне конкуренции как единственное устройство, обеспечивающее видимый разрыв в коммутируемой цепи. К тому же это и самое дешевое решение. Как правило, в цифровых устройствах РЗ применяются несколько типов малогабаритных реле: с большей коммутационной способностью — для работы непосредственно в цепях управления выключателей, с меньшей — для работы в цепях сигнализации. Мощные реле способны включать цепи с током примерно 5—30 А, но их отключающая способность обычно не превосходит 0,2 А при постоянном напряжении 220 В. Таким образом, схема управления должна предусматривать прерывание тока в цепи электромагнита выключателя его вспомогательным контактом. Отключающая способность сигнальных реле обычно не превышает 0,15 А в цепях постоянного тока напряжением 220 В.

Отображение информации

Для отображения информации в реле используются и отдельные светодиодные индикаторы, и табло, и даже графические экраны. Для простоты будем называть совокупность элементов визуального отображения информации в реле дисплеем.

Очевидно, что дисплей не должен быть дорогим, так как "общение" человека с реле происходит крайне редко. Дисплей реле должен обеспечивать быстрое и однозначное представление информации. Наилучшим образом этим требованиям удовлетворяют простые дисплеи в виде

светодиодных индикаторов. С другой стороны, цифровое устройство защиты — это устройство, которое способно предоставить оператору очень большой объем информации: текущие значения токов и напряжений электроустановки, их аварийные значения, уставки (а их в цифровых реле может быть несколько наборов), состояние входов и выходов управления и т. д. Для оперативного получения такого объема информации требуются соответственно и более информативные дисплеи. На рис. 3.7 представлены некоторые варианты выполнения дисплеев устройств РЗ.

В цифровых устройствах некоторых типов защиты (рис. 3.7, а) отдельный светодиодный индикатор (или крайний левый разряд цифрового светодиодного табло) указывает на отображаемый параметр, а численное значение этого параметра выводится в трех правых разрядах цифрового табло. Светодиодный дисплей хорошо заметен, особенно в условиях малой внешней освещенности.

В более современных устройствах применяются цифробуквенные многострочные табло (рис. 3.7, б), что обеспечивает удобство считывания информации. Такие табло выполняются на основе жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ). Основными недостатками ЖК-индикаторов являются относительно низкая контрастность изображения и неработоспособность при низких температурах. Однако, невысокая стоимость и легкость управления ЖКИ способствует их широкому применению, в том числе и в устройствах РЗА.

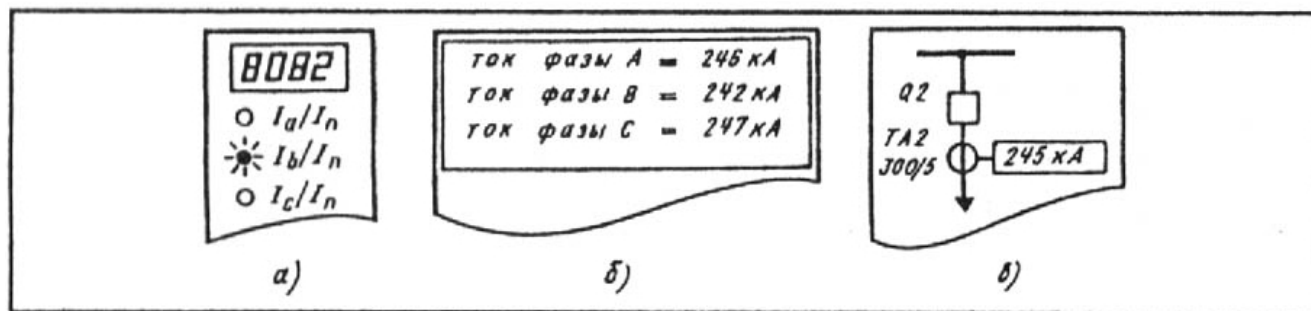


Рис. 3.7 Варианты дисплеев цифровых устройств защиты

Наиболее наглядно информация представляется на графическом дисплее, что в какой-то мере демонстрирует рис. 3.7, в.

Цифровые реле имеют погрешность 2 — 5%. С учетом этой погрешности и выполняются дисплеи цифровых реле — с возможностью отображения лишь трех значащих цифр. В цифровых реле используются в основном два способа представления величин — в именованных единицах (вольтах, амперах, градусах и т. д.) и в относительных. Оперативному персоналу удобнее работать с именованными величинами, отражающими реальные значения токов, напряжений и других параметров электроустановки. Но это требует занесения дополнительной информации в реле — коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов, а на дисплей необходимо дополнительно выводить размерность отображаемой величины. Альтернативным решением является представление всех величин в относительных единицах или процентах. Чаще всего за базисные единицы принимают номинальные значения контролируемых величин.

Управление аппаратурой

Кнопки управления или клавиатура являются неотъемлемыми элементами связи человека с цифровым устройством. С помощью клавиатуры можно изменить режим работы устройства, вызвать на дисплей интересующие параметры и величины, ввести новые уставки и т. д.

Число кнопок, используемых в клавиатурах различных устройств РЗ, варьируются от двух до десяти. Чем больше кнопок в клавиатуре, тем удобнее и быстрее можно вводить информацию в устройство. Однако, кнопки являются наиболее ненадежными элементами цифровой аппаратуры. Поэтому там, где пользоваться клавиатурой приходится крайне редко, стремятся использовать минимальное число кнопок. Минимальное число кнопок клавиатуры, позволяю-

щее вводить любую информацию, равно двум, оптимальное — 5: вверх –вниз; влево вправо; ввод.

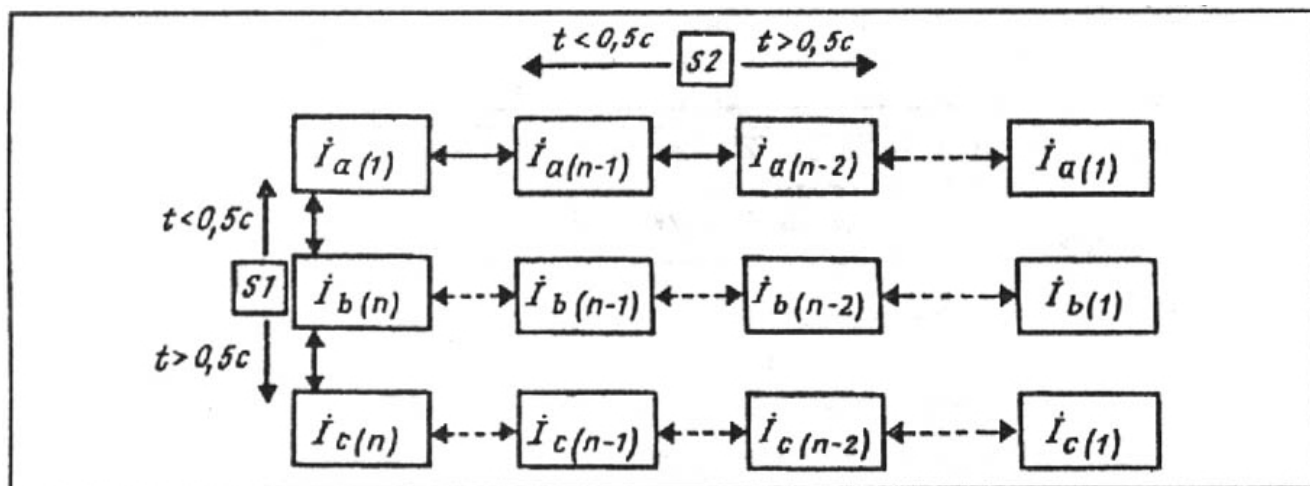


Рис. 3.8 Поиск информации в памяти реле

Состояния, доступные с помощью кнопок управления, представляются двухмерным массивом. Продвижение по координатам массива осуществляется соответствующими кнопками, а выбор элемента массива производится одновременным нажатием кнопки “ENTER”. Поясняет этот принцип рис. 1.10, где в качестве примера рассматривается процесс поиска информации о фазных токах, которые фиксировались в памяти защиты в момент срабатывания. Предполагается, что в памяти данного устройства хранится информация по n последним событиям, причем последнее событие имеет номер n .

Устройства хранения информации

Одним из важнейших узлов цифровых реле являются устройства хранения информации. В настоящее время используются различные типы устройств для хранения информации. В функциональном отношении все статические запоминающие устройства подразделяются на ПЗУ, ОЗУ и ЭППЗУ.

Для хранения рабочей программы в устройствах защиты обычно используются *постоянные запоминающие устройства - ПЗУ*. Отличительной чертой ПЗУ является однократная запись информации. В последующем возможно только считывание записанной информации. Отсюда и происходит англоязычное название этого типа памяти ROM (Read Only Memory — только считываемая память). Достоинством микросхем ПЗУ является их низкая стоимость и возможность хранения информации при отключении питания.

В последнее время все шире начинают применяться так называемые перепрограммируемые устройства памяти. Особенно они актуальны для устройств защиты, рабочая программа которых должна изменяться в процессе эксплуатации. В настоящее время существуют устройства РЗА, в которых нужные функции защиты выбираются из библиотеки стандартных функций самим пользователем. Логическая часть этих устройств РЗА создается пользователем из базовых логических функций типа И, ИЛИ, ТРИГГЕР и т. д. Рабочая программа в таких устройствах защиты располагается в *перепрограммируемом постоянном запоминающем устройстве* (ППЗУ или EEPROM — Electrical Erasable Programmable Read Only Memory — электрически перезаписываемая постоянная память). Подчеркнем, что ППЗУ является энерго-независимой памятью, т. е. хранящая в ней информация не разрушается в обесточенном состоянии.

Для временного хранения результатов промежуточных вычислений используются *оперативные запоминающие устройства* (ОЗУ или иначе RAM — Random Access Memory — память с произвольным доступом). Запись и считывание данных в ОЗУ осуществляется с максимальной скоростью. Существенным недостатком ОЗУ является разрушение информации при отключении питания.

Для хранения уставок и других параметров, которые приходится изменять в процессе эксплуатации защиты, используются ПЗУ, допускающие многократное изменение уставок.

Промежуточным решением задачи стало хранение уставок в ОЗУ, имеющем резервное питание от встроенного в изделие источника O . В таких устройствах применяют специальные малопотребляющие ИМС и литиевые батареи, имеющие срок службы 5—6 лет. Недостаток очевиден — необходим периодический контроль и своевременная замена источника питания.

Как и любое другое изделие, устройства памяти могут повреждаться или терять информацию, например, под воздействием ионизирующих излучений. Для обнаружения этого применяются следующие способы.

В ПЗУ, где данные размещаются в ячейках памяти, последовательно выполняют формальное суммирование всех чисел этого массива данных, а результат (контрольную сумму) помещают в определенную ячейку. В режиме тестовой проверки ПЗУ компьютер рассматривает его как объект исследования, выполняет подсчет суммы фактических чисел, хранящихся в ячейках, и сравнивает с контрольной суммой. При проверке ОЗУ в его ячейки поочередно записывают нули и единицы, а затем анализируют получающиеся при считывании результаты.

В устройствах с EEPROM-памятью имеется возможность даже восстанавливать утерянную информацию. Для этого важнейшие массивы информации, например, уставки, дублируются в разных микросхемах памяти. Так как одновременное повреждение информации в двух микросхемах маловероятно, то имеется возможность восстановить информацию перезаписью содержимого неповрежденного массива на место поврежденного.

Блоки питания

Практически во всех современных устройствах используются импульсные блоки питания, выполняемые на базе высокочастотных инверторов. Схематично такой БП с одноканальным инвертором представлен на рис. 1.12.

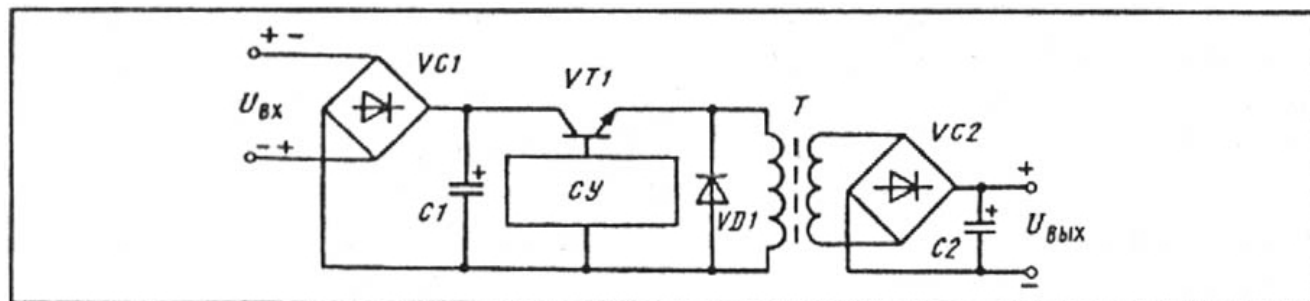


Рис. 3.9 Упрощенная схема импульсного блока питания: СУ — схема управления

С помощью электронного ключа, выполненного на транзисторе $VT1$, на первичную обмотку развязывающего трансформатора T подаются импульсы напряжения с частотой несколько десятков кГц. Трансформатор, работающий на высокой частоте, получается небольших габаритов, с малым числом витков в обмотках, но с относительно большой проходной мощностью. Использование широтно-импульсной модуляции при управлении ключом $VT1$ позволяет поддерживать стабильным выходное напряжение инвертора при изменении питающего напряжения в широких пределах. Например, устройства серии MODULEX 3 устойчиво работают при изменении напряжения от 64 до 300 В. Для исключения повреждения инвертора при несоблюдении полярности подаваемого напряжения на его входе устанавливается диодный мост $VC1$. Емкости накопительных конденсаторов $C1$ и $C2$ обычно выбирают из соображения требуемого сглаживания пульсации в выходном напряжении при питании инвертора от выпрямленного постоянного тока. В некоторых случаях емкости $C1$ и $C2$ увеличивают до уровня, достаточного для исключения сбоев в микропроцессорной части при кратковременных понижениях питающего напряжения, возникающих, например, при коротких замыканиях на смежных фидерах в сети оперативного тока. Отметим, что в БП большое внимание уделяется защите от перенапряжений в питающей сети и исключению проникновения помех внутрь устройства.

Интерфейсы цифровых устройств

Под интерфейсом понимается совокупность аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия различных цифровых устройств, объединенных в систему.

По принципу обмена информацией интерфейсы подразделяются на интерфейсы с *параллельной* и *последовательной* передачей данных.

Наиболее быстрый обмен информацией между двумя цифровыми устройствами обеспечивает *параллельный* интерфейс, упрощенная схема которого представлена на рис. 3.10, а.

В этом случае по синхронизирующему сигналу *СС* (в действительности это может быть последовательность из нескольких сигналов управления) передающее устройство выставляет на шину данных *ШД* одновременно все разряды передаваемого числа, а приемное устройство его считывает. Как видно, параллельный интерфейс требует достаточно сложного тракта передачи, включающего $n + 1$ физические линии при n -разрядном слове передаваемых данных. Чаще всего этот тип интерфейса применяется при передаче информации на небольшие расстояния (например, при связи компьютера с принтером) или при необходимости обеспечить наивысшую скорость обмена.

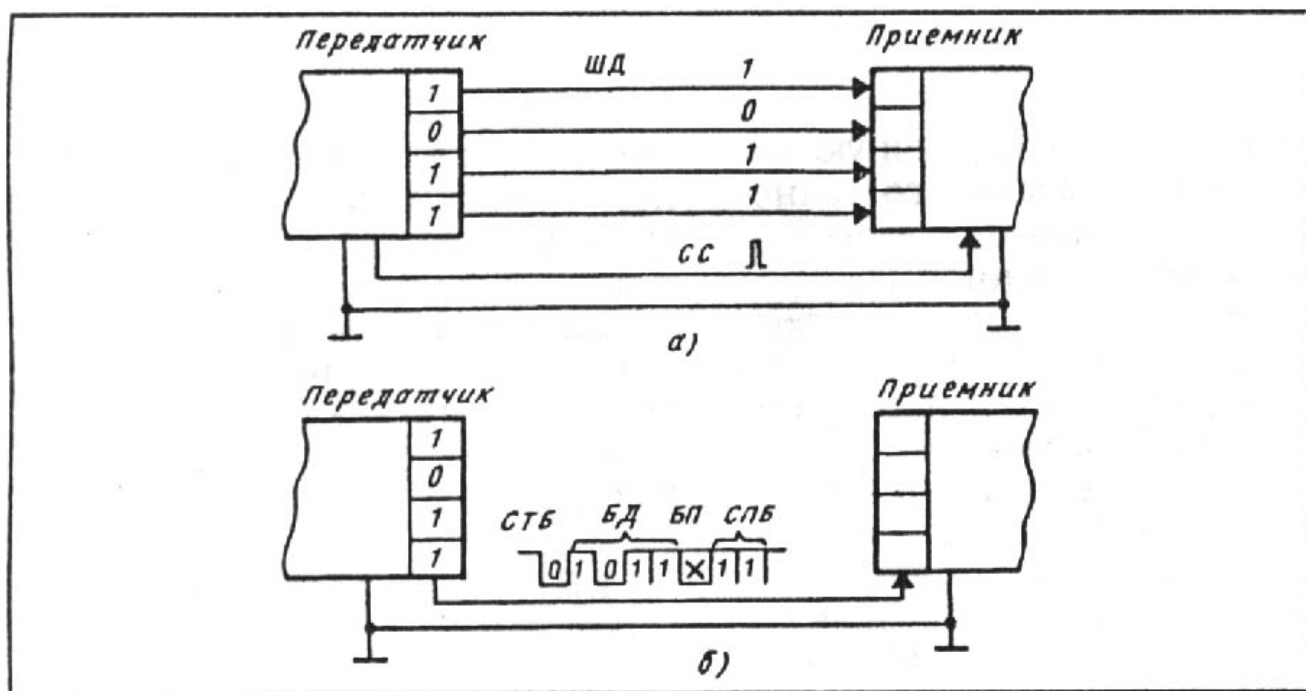


Рис. 3.10 Варианты обмена информацией

Технически более просто выполняется интерфейс с *последовательной* передачей данных. В этом случае слово данных передается последовательно разряд за разрядом. Наиболее распространен асинхронный режим передачи данных, схематически представленный на рис. 3.10, б. Асинхронный способ передачи данных требует минимального количества линий. При асинхронной передаче используют определенные договоренности, позволяющие приемнику распознать не только начало и окончание передачи, но и даже обнаруживать искажение информации при передаче. Это обеспечивается следующим образом. В режиме ожидания передатчик выдает в линию сигнал логической единицы. Начало передачи приемник распознает по появлению на линии логического нуля. Это так называемый стартовый бит *СТБ*. Длительность передачи одного бита заранее оговорена, т. е. приемник и передатчик должны быть предварительно настроены. После окончания передачи стартового бита *СТБ* передатчик передает разряд за разрядом биты данных *БД*. После передачи данных следует так называемый бит паритета *БП*. Бит паритета по договоренности устанавливается передатчиком в состояние логической единицы, если в бите (слове) данных нечетное число единиц, и используется "четный" паритет. И, наоборот, в случае договоренности о работе с "нечетным" паритетом, биту паритета присваивается нулевое значение. Таким образом, используя бит пари-

тета, приемник способен обнаруживать единичные сбои при передаче данных. Оканчивается сообщение передачей стоповых битов *СПБ* (1; 1,5 или 2 бита). По сути, стоповые биты определяют минимальный интервал между передачей отдельных слов данных. При асинхронной передаче обычно используется стандартный ряд скоростей: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 бит/с и т. д.

Существует достаточно много стандартов на каналы последовательной связи. Стандарты отличаются по скорости обмена, организации и длине линий связи и т. д.

Наиболее известен стандарт RS232, применяемый в IBM-совместимых ПК. Стандарт RS232C разработан в 1969 г. Интерфейс обеспечивает дальность связи до 15 м со скоростью до 19 200 бод. Уровни используемых сигналов:

лог. 0 = +3 ÷ +25 В, лог. 1 = -3 ÷ -25 В. Сопротивление нагрузки 3 -7 кОм.

В ряде цифровых реле порт последовательной связи выполнен в стандарте RS485. В этом стандарте используются сигналы с уровнями: лог. 0 = 0 В, лог. 1 = +5 В. Стандарт RS485 требует симметричный канал (витая пара). Обеспечивает связь сегментами длиной до 1200 м с возможностью подключения до 32 узлов на сегмент; минимальное сопротивление нагрузки — 60 Ом; скорость обмена—до 10 Мбит/с.

Как видно, порты у цифрового реле и персонального компьютера выполнены в разных стандартах, что исключает их непосредственное соединение. для их соединения требуется элемент, называемый: преобразователь протоколов.

Проводные каналы связи

Передача импульсов по электрическому каналу с ограниченной полосой пропускания $\Delta f = f_{max} - f_{min}$ сопровождается задержкой и искажением формы передаваемого импульса (рис. 3.11).

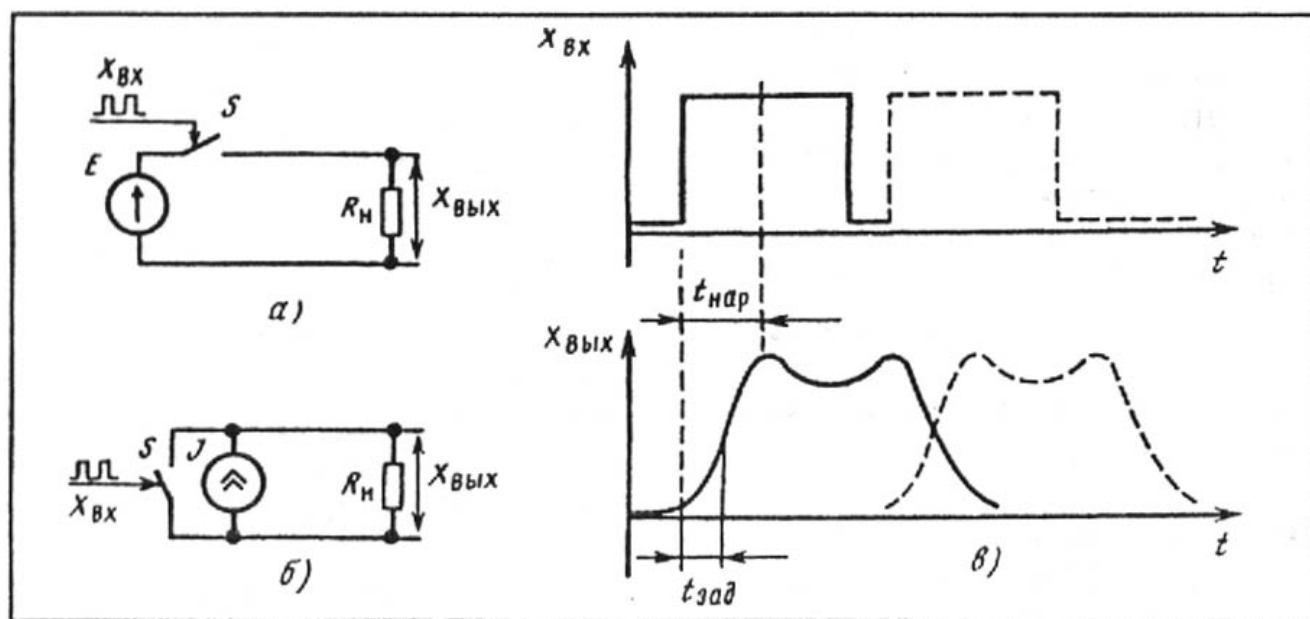


Рис. 3.11 Искажения сигнала при передаче по реальному каналу

$X_{вх}$ — входной сигнал; $X_{вых}$ — выходной сигнал; $t_{нар}$ — время нарастания сигнала; $t_{зад}$ — время задержки сигнала

На рис. 3.12 представлена схема передачи информации с использованием волоконно-оптического канала связи.

Основными компонентами этой системы являются: оптический излучатель *VD*, светодиод *C* и светочувствительный элемент (фотоприемник) *VT*. В качестве излучателей используются полупроводниковые светодиоды и последнее достижение оптоэлектроники — недорогие твер-

дотельные диодные лазеры. В отличие от диффузионных светодиодов, лазеры являются источниками когерентного излучения. Обычно используется излучение с длиной волны 800 нм (инфракрасная область невидимого спектра). В качестве детекторов используются фототранзисторы и *pin*-диоды. Последние являются высококачественными оптическими детекторами со временем срабатывания в несколько наносекунд и чувствительностью до 1000 фотонов/с.

Движение света вдоль криволинейного световода происходит при многократном внутреннем отражении луча на границе световод-оболочка.

Волоконно-оптический кабель (ВОК) является сложным сооружением, где, кроме обеспечения минимальных потерь энергии при передаче, достаточно много внимания уделено защите световода от внешних воздействий. Существует несколько типов ВОК. Самым дешевым является волокно со ступенчатым изменением коэффициента преломления. Часто для этой цели используются оптически прозрачная пластмасса. Минимальные потери в пластмассовом волокне наблюдаются в области видимого (красного) излучения. С помощью пластмассовых световодов можно передавать данные на расстояние до нескольких десятков метров. В кабелях более высокого качества используется кварцевое волокно. Кварцевые светодиоды бывают со ступенчатым и плавным изменением коэффициента преломления (лучше). Последним достижением волоконно-оптической дальней связи является передача информации на частотах до 4 Гц и на расстояние 120 км без повторителей.

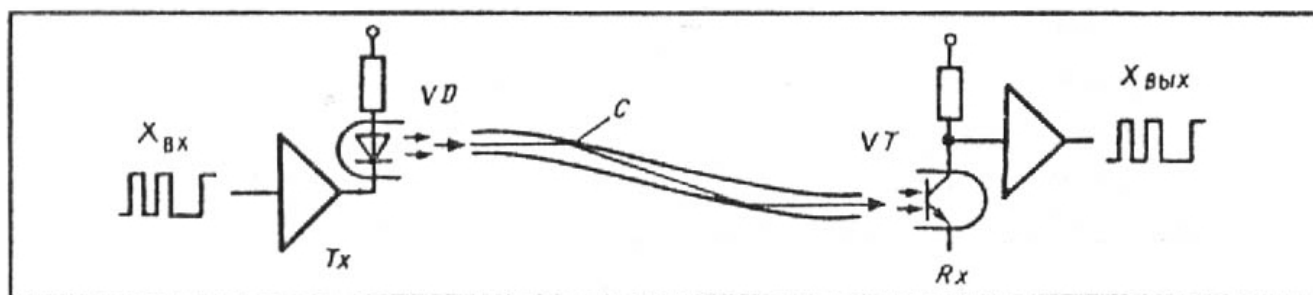


Рис. 3.12 Схема передачи информации с использованием волоконно-оптического канала связи

Световоды, по сравнению с электрическими кабелями, обладают рядом достоинств:

- высокая помехозащищённость в условиях электромагнитных полей;
- большая пропускная способность. По сравнению с коаксиальными кабелями, в которых скорость и потери существенно зависят от частоты, дисперсия (зависимость фазовой скорости волны от частоты) ВОК незначительна, а следовательно, в них в меньшей степени наблюдается уширение импульсов (рис. 3.12, в);
- безопасность при эксплуатации. Исключается вынос электрического потенциала из электроустановки; невозможно возгорание кабеля по причине короткого замыкания;
- не используется дефицитная медь, что делает их потенциально дешевле в перспективе при отработке технологии производства оптоволоконна;
- высокие эксплуатационные характеристики: малый радиус изгиба, не критичность к условиям прокладки (возможна прокладка рядом с силовыми кабелями), малые массо-габаритные показатели и т. д.

Основным же недостатком ВОК является сложность сопряжения (стыковки) светодиодов между собой, а также с излучателями и приемниками сигналов. Это обуславливается и малым сечением волокна (диаметр 0,125 мм и менее), и необходимостью выполнения среза волокна строго перпендикулярно его оси и обработки среза с высокой точностью чистоты для минимального затухания. По этой причине одножильные кабели протяженностью до нескольких десятков метров в настоящее время считаются неремонтопригодными. Однако технология сращивания оптических кабелей быстро совершенствуется.

При использовании ВОЛС цифровые устройства защиты необходимо дооснащать модулем оптико-электронного преобразования. Такой модуль может быть как встроенным, так и внешним.

В качестве примера рассмотрим организацию ВОЛС между цифровыми устройствами верхнего уровня АСУ ТП (рис. 3.13).

На схеме приняты следующие сокращения: R_x (Receiver) – приемник сигнала T_x (Transmitter) — передатчик сигнала.

Под шиной связи понимается совокупность аппаратных средств связи и правил формирования передаваемых сообщений, оговоренных в протоколе обмена. Физически шина представляет собой оптико-волоконную петлю, последовательно связывающую отдельные реле и устройство верхнего уровня. Передача сигнала только в одном направлении существенно упрощает конструкцию оптико-электронных преобразователей. Сообщения, передаваемые по оптической петле, циркулируют от одного оптико-электронного преобразователя к другому до тех пор, пока не найдут своего адресата.

Для практических целей можно применять следующее соотношение между предельной скоростью передачи импульсов V_{max} (измеренной в бодах; бод — это скорость передачи, исчисляемая в тактах за секунду) и полосой пропускания канала Δf (задаваемой в герцах):

$$V_{max} \leq 2\Delta f \quad (3.1)$$

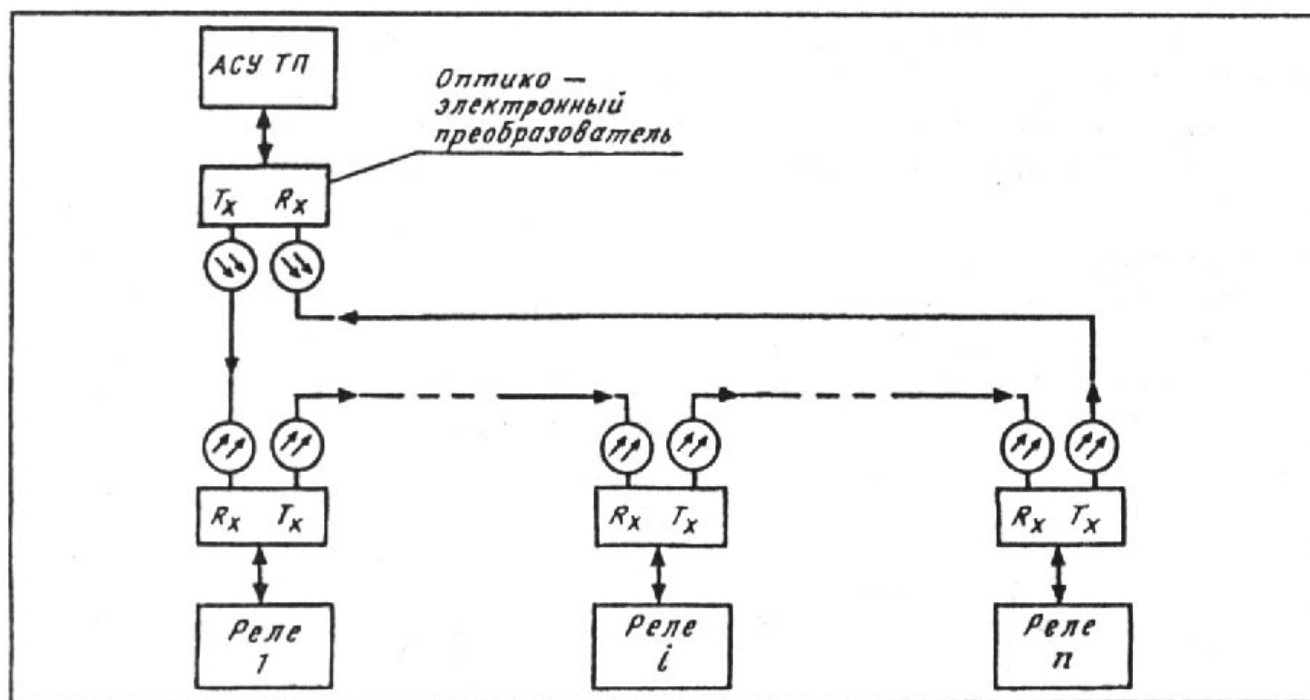


Рис. 3.13 Организация волоконно-оптического канала связи

Как видно, узкополосный канал ограничивает скорость обмена. Например, при передаче информации по телефонному каналу с полосой пропускания $\Delta f = 3200$ Гц максимальная скорость будет равна 6400 бод.

Для передачи импульсных сигналов по телефонным линиям, рассчитанным на передачу тональных (аналоговых) сигналов используют модемы. Как следует из названия, модем (МоДем = Модулятор + Демодулятор) обеспечивает преобразование импульсных сигналов в тональные сигналы путем модуляции несущей частоты. Современные модемы обеспечивают полнодуплексную связь, т. е. передачу информации по одному телефонному каналу одновременно в обоих направлениях, например, при передаче в одном направлении используется несущая частота 1200 Гц, а в другом — 2400 Гц. Иногда взамен амплитудной модуляции ис-

пользуется частотная или фазовая модуляция. Перспективной является, так называемая, фазовая манипуляция. В этом случае, изменение фазы осуществляют после передачи пары битов (дебита): 00 = 0°; 01 = 90°; 10 = 180°; 11 = -90°. Фазовая манипуляция как бы снижает эквивалентную скорость передачи и способствует повышению пропускной способности канала.

При передаче информации по последовательному каналу связи применяют различные способы проверки достоверности полученной информации. Это и сверка битов паритета с числом единиц в отдельных символах, и сверка суммы кодов всех символов, входящих в сообщение, с контрольной суммой этих кодов, передаваемой в конце сообщения. Все это исключает неправильное восприятие информации приемником. Однако, при большом уровне электромагнитных помех эффективная скорость передачи информации по электрическим линиям связи резко падает, так как искаженное сообщение приходится повторять. По этой причине, в условиях электростанций и подстанций альтернативой электрическим линиям становятся волоконно-оптические линии связи.

Волоконно-оптические каналы передачи информации

Волоконно-оптические системы связи стали развиваться с начала 70-х годов. Им предшествовало появление в начале 60-х годов лазера — мощного инструмента для передачи информации. Однако естественная среда — атмосфера оказалась нестабильной для организации связи в оптическом диапазоне. Способствовало развитию волоконно-оптических систем и уже отлаженное к этому времени производство сверхчистого кремния, необходимого для получения высококачественного кварцевого стекла. Начиная с 1978 года волоконно-оптические системы начали использоваться и для коммерческих целей. В настоящее время эта отрасль бурно развивается.

Для исключения конфликтных ситуаций (одновременной передачи по петле нескольких сообщений), устройство верхнего уровня является ведущим и только ему дается право инициировать обмен информацией. Ведомые устройства могут только отвечать на запросы ведущего устройства.

При необходимости одновременного обращения ведущего устройства ко всем ведомым (например, при синхронизации внутренних часов) используется так называемый широковещательный режим. При этом используется общий для всех ведомых адрес.

3.3 ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫХ РЕЛЕ

Основные характеристики цифровых реле

Цифровые реле обладают всеми достоинствами, достигнутыми с помощью электронных реле с аналоговыми принципами обработки информации. Это более близкий к единице коэффициент возврата измерительных органов (0,96-0,97 вместо 0,80-0,85 у механических реле), малое потребление мощности от трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) (на уровне 0,1—0,5 ВА вместо 10—30 ВА у электромеханических реле). Правда, при этом электронным реле требуется надежный источник питания. Практически независимо от числа реализуемых функций, цифровое устройство РЗ потребляет от сети оперативного тока мощность порядка 5—20 Вт.

Собственное время срабатывания цифровых реле

Собственное время срабатывания измерительных органов цифровых реле осталось практически таким же, как у их электромеханических аналогов. Это можно объяснить тем, что для определения интегральных параметров контролируемых токов и напряжений (действующих значений, фазовых сдвигов) требуется некоторое время. Так, согласно определению, действующее значение периодической временной функции $x(t)$ находится по выражению:

$$x_d = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} x^2(t) dt} \quad (3.2)$$

В реальном времени результат вычислений этого интеграла может быть получен только после наблюдения за контролируемым сигналом $x(t)$ в течение отрезка времени, равного периоду T .

Цифровые реле, как и их аналоговые прототипы, в принципе могут формировать сигнал срабатывания и через более короткий отрезок времени, чем период T , если значение контролируемой величины заведомо превышает уставку. Это легко сделать, так как численное интегрирование представляет собой подсчет суммы приращений:

$$\int_t^{t+T} x(t) dt = \sum_{i=0}^N x(t_i) \Delta t \quad (3.3)$$

где

$x(t)$ – значение подинтегральной функции в узловых точках $x(t_i)$, взятых на интервале интегрирования;

Δt – отрезок времени между двумя точками измерения.

При значениях контролируемой величины, соизмеримых с уставкой, время наблюдения будет стремиться к T .

Кажется, что в условиях, когда входной сигнал представляется только одной гармоникой, на вычисление действующего значения можно тратить меньше времени, так как амплитуда синусоиды (а соответственно, и действующее значение) может быть вычислена после измерения нескольких ее мгновенных значений. Однако, в реальных сигналах всегда наряду с интересующей гармоникой присутствуют другие гармоники и апериодические составляющие. Выделение же из сложного сигнала интересующей гармоники требует некоторого времени.

В общем случае, сказанное не распространяется на реле, в которых не используется определение интегральных параметров сигнала. Например, в дифференциальной токовой защите теоретически можно производить сравнение мгновенных значений токов в ветвях защищаемой схемы. Однако и в дифференциальных реле приходится сталкиваться с вопросами фильтрации. Фильтрация требуется для подавления помех в рабочих токах и при формировании блокирующих воздействий, например, при бросках тока намагничивания, если речь идет о дифференциальной РЗ трансформатора. Броски тока намагничивания обычно обнаруживаются по факту появления второй гармоники в дифференциальном токе.

Фильтрация сигналов в цифровых реле

Если контролируемый сигнал периодический и существует достаточно длительное время, то для выделения основной гармоники (или любой другой) можно воспользоваться теорией гармонического анализа, в соответствии с которой для определения амплитуды k -й гармоники потребуется сначала вычислить ее ортогональные составляющие:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_t^{t+T} x(t) \cos k\omega t dt, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_t^{t+T} x(t) \sin k\omega t dt \quad (3.4)$$

и только затем — ее амплитуду:

$$X_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (3.5)$$

Как показано, ортогональные составляющие определяются путем интегрирования временной функции $x(t)$ в течение периода T .

Численный способ гармонического анализа применяется в том случае, когда функция $x(t)$ известна на промежутке $0 < t \leq T$ только в дискретной системе точек $t_n = nT/N$, $n = 0; 1; \dots, N-1$.

Этот способ также связан с необходимостью использования при вычислениях составляющих, принадлежащих разным моментам времени:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) \cos \left(2\pi \frac{kn}{N} \right) dt, \dots b_k = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) \sin \left(2\pi \frac{kn}{N} \right) dt, \dots X_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (3.6)$$

И, наконец, рассмотрим работу цифрового фильтра. Цифровой фильтр работает с последовательностью из N выборок $X_{\text{вх } n}$, $n = 0; 1; \dots N - 1$, взятых с интервалом Δt из входного сигнала $X_{\text{вх}}(t)$. На выходе фильтра в результате определенных операций возникает последовательность чисел $X_{\text{вых } n}$.

Входной сигнал сложной формы $X_{\text{вх}}(t)$ может быть разбит на достаточно короткие прямоугольные импульсы (рис. 3.14, а). Для любой электрической цепи имеется ее импульсная характеристика $g(t)$, которая определяет процессы в цепи после завершения импульса (рис. 3.14, б). Сигнал на выходе электрической цепи в момент наблюдения n (рис. 3.14, в) вычисляется как сумма откликов цепи на все импульсы в промежутке от $t = 0$ до момента наблюдения n (Δt — длительность отдельного импульса), т. е.:

$$X_{\text{вых } n} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{k=0}^n X_{\text{вх } k} g[(n-k)\Delta t] \approx \sum_{k=0}^n X_{\text{вх } k} g[(n-k)\Delta t] \quad (3.7)$$

Если используемые при вычислениях весовые коэффициенты $g[(n-k)\Delta t]$ будут совпадать с соответствующими значениями импульсной характеристики какого-либо частотного фильтра, то выходной сигнал цифрового фильтра будет эквивалентен выходному сигналу аналогового фильтра. Идеальный цифровой фильтр должен оперировать с бесконечным числом выборок из входного сигнала, предшествующих моменту вычисления очередной составляющей его выходного сигнала. Реальное цифровое устройство может работать лишь с конечным числом выборок N . Связывая число используемых выборок с неким временным окном наблюдения за входным сигналом (рис. 3.14, а), можно отметить следующее.

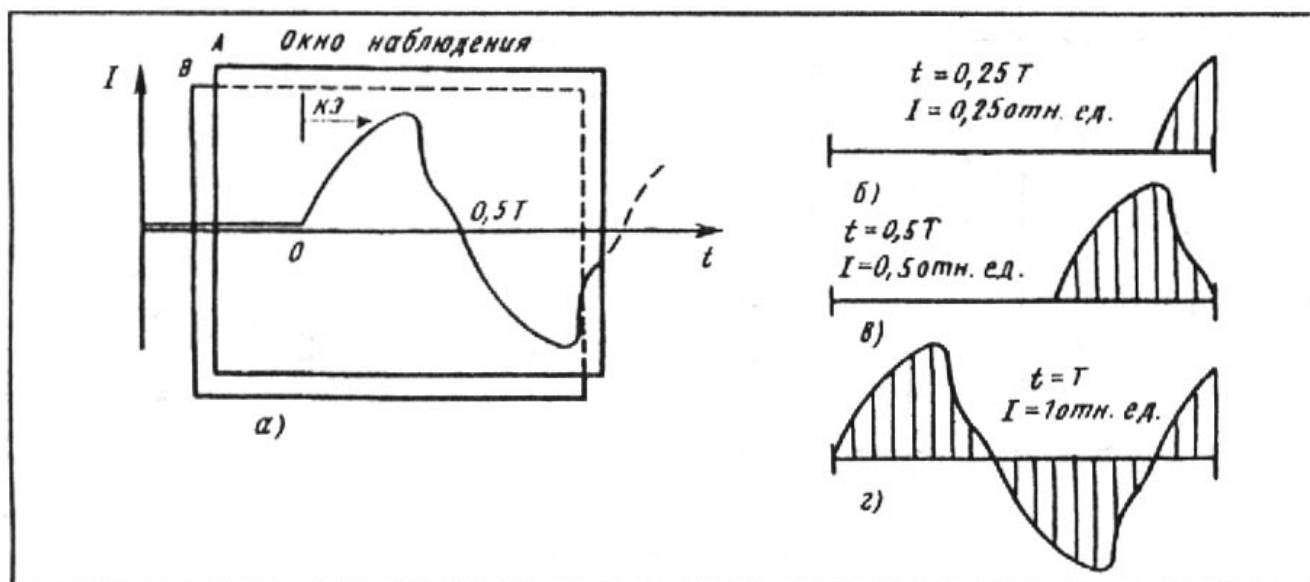


Рис. 3.14 Наблюдение реального сигнала

В первые моменты времени после скачкообразного изменения входного сигнала вычислительное устройство некоторое время будет формировать "неправильный" выходной сигнал. Это поясняют эпюры сигнала, видимого в окне наблюдения в различные моменты времени (рис. 3.14, б—г). Для наглядности на эпюрах приведены действующие значения тока.

Выход на установившийся режим работы может быть констатирован, например, по совпадению результатов наблюдения в двух смещенных во времени окнах наблюдения (рис. 3.14, а). Точность вычислений будет тем выше, чем больше выборок находится в окне наблюдения.

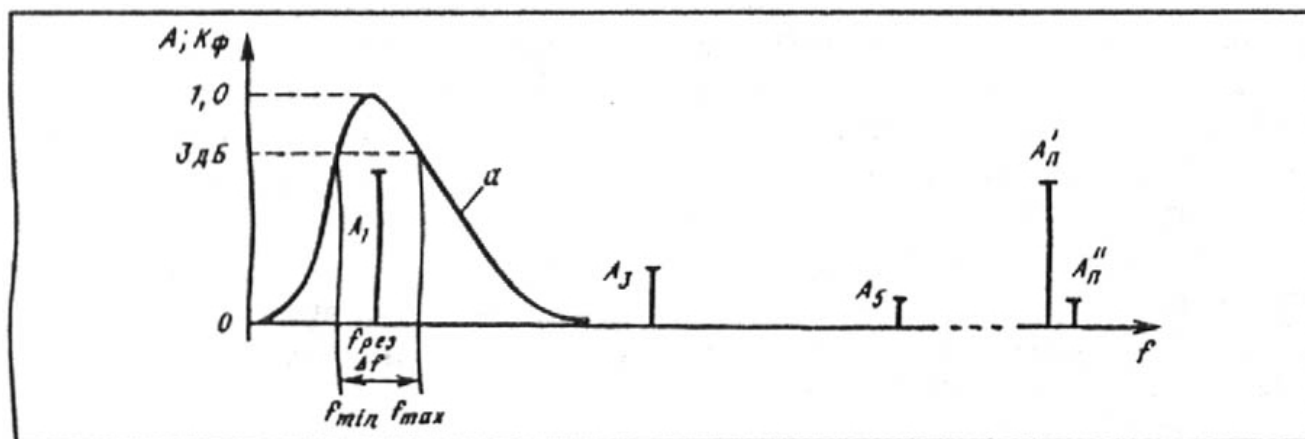


Рис. 3.15. Частотный спектр входного сигнала и АЧХ фильтра:

f — частота сигнала; A — амплитуда сигнала; K_ϕ — коэффициент передачи фильтра

Цифровые фильтры имеют ряд преимуществ. Основные из них — надежность в работе и стабильность характеристик, недостижимые в аналоговых фильтрах. Однако, так же как и аналоговые фильтры, цифровые имеют противоречие в части точности выделения нужной гармоники из сложного сигнала и времени, затрачиваемого на фильтрацию. Для того, чтобы отстроиться от аperiodических составляющих, высших гармоник (A_3, A_5 , на рис. 3.15), помех ($A'_п, A''_п$), амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) входного тракта реле должна быть подобна характеристике полосового фильтра (кривая a на рис. 3.15).

Качество полосового фильтра характеризуется его полосой пропускания, определяемой на уровне, когда коэффициент передачи фильтра K_ϕ уменьшается на 3 дБ. По аналогии с колебательным контуром для полосовых фильтров введено понятие добротности:

$$Q = f_{рез} / (f_{max} - f_{min}) \quad (3.8)$$

где

$f_{рез}, f_{max}, f_{min}$ — соответственно резонансная, максимальная и минимальная частоты, характеризующие фильтр.

Время затухания собственных переходных процессов в полосовом фильтре второго порядка определяется выражением:

$$t_{nep} = 6Q / (2\pi f_{рез}) \quad (3.9)$$

т. е. чем выше добротность, тем дольше длится переходный процесс в фильтре. Например, длительность переходного процесса в полосовом фильтре, имеющем добротность $Q = 5$ и настроенном на выделение гармоники промышленной частоты ($f_{рез} = 50$ Гц) около пяти периодов:

$$t_{nep} = 6Q / (2\pi f_{рез}) = 6 \cdot 5 / 314 \approx 0,1c = 5T \quad (3.10)$$

К таким же результатам можно прийти, используя спектральный подход к описанию электрических колебаний. Сужение полосы пропускания улучшает помехозащищенность реле, так как большинство помех является импульсными сигналами (грозовые разряды, коммутационные перенапряжения и т. д.), а, следовательно, имеют протяженные спектральные характеристики. При этом, чем уже полоса пропускания входного тракта реле, тем меньшая доля энергии помехи будет добавляться к рабочему сигналу. Однако, слишком узкополосный входной тракт реле приводит к неприемлемому снижению быстродействия реле. Для повышения быстродействия РЗ лучше применять фильтры меньшей добротности.

Фильтры симметричных составляющих

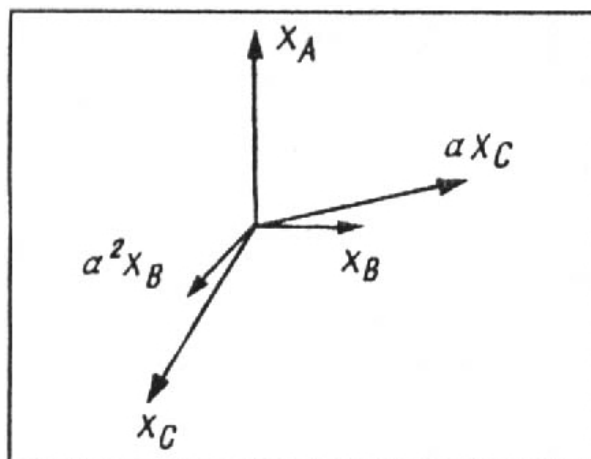


Рис. 3.16 Выделение симметричных составляющих

где

X_A, X_B, X_C – вектора, изображающие соответствующие фазные величины (токи или напряжения) вида: $x = X \sin(\omega t + \varphi)$;

$a (a^2)$ – операторы, поворачивающие данный вектор на угол $\psi = \frac{2\pi}{3}$ рад по направлению (против направления) вращения векторов трехфазной системы.

Векторная диаграмма фазных значений величин, используемых для выполнения фильтра обратной последовательности, приведена на рис. 3.16. В фильтре суммируются значения векторов X_A, X_B , повернутого в сторону отставания на $120^\circ (a^2 X_B)$ и X_C , повернутого в сторону опережения на $120^\circ (a X_C)$.

Работа реле при насыщении трансформаторов тока

Цифровые принципы обработки сигналов эффективно применяются и для обеспечения правильной работы реле при насыщении измерительных ТТ. Очевидно, что вторичный ток насыщенного ТТ существенно отличается от его идеального значения. Однако, известно и то, что даже в случае глубокого насыщения ТТ в отдельные моменты времени трансформация осуществляется правильно (верхняя кривая на рис. 3.17.).

Этим обстоятельством можно воспользоваться и правильно определить амплитудное или действующее значение искаженного вторичного тока. Для этого необходимо измерить мгновенные значения тока на отрезках правильной трансформации, вычислить его амплитудное (действующее) значение, предполагая, что закон его изменения известен: $i(t_1) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$.

Безусловно, реальный алгоритм восстановления искаженного вторичного тока при насыщении трансформатора гораздо сложнее.

Выделение симметричных составляющих из трехфазной системы токов и напряжений широко используется в практике РЗ. Алгоритмы вычисления симметричных составляющих прямой, обратной и нулевой последовательностей известны:

$$3X_{1A} = X_A + aX_B + a^2X_C;$$

$$3X_{2A} = X_A + a^2X_B + aX_C;$$

$$3X_0 = X_A + X_B + X_C,$$

Решение задачи восстановления токов требуется, например, в РЗ от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью, где высока вероятность попадания ТТ нулевой последовательности в режим глубокого насыщения. Принцип экстраполяции необходим и для правильного восстановления фаз сигналов. На рис. 3.17 показано, что выделение основной гармоники из искаженного сигнала путем частотной фильтрации приводит к большой погрешности в определении ее амплитуды и фазы. Идеальная кривая тока показана в нижней части рис. 2.5, а восстановленная, в верхней.

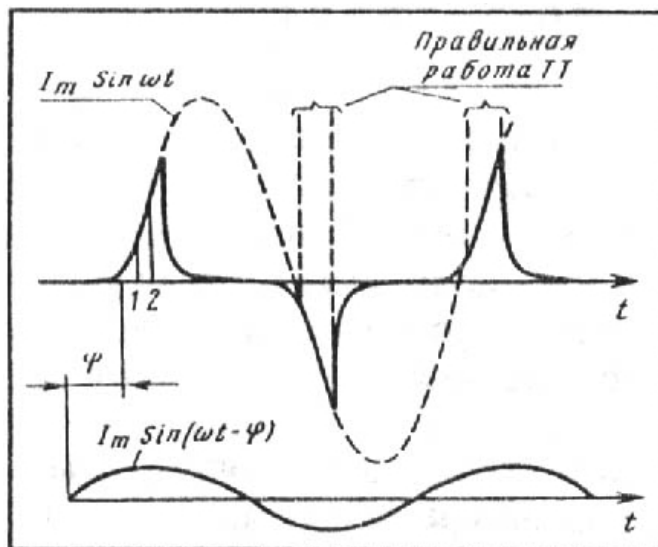


Рис. 3.17. Насыщение трансформатора тока

3.4 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ И АВТОМАТИКИ

Надежность функционирования систем с цифровыми реле

Одной из особенностей цифровых устройств является относительная простота организации контроля исправности аппаратной части и программного обеспечения. Этому благоприятствует циклический режим работы микропроцессора по заложенной в реле программе. Отдельные фрагменты этой программы и выполняют самотестирование устройства защиты. В арсенале разработчиков цифровой аппаратуры имеется целый набор типовых решений в части тестирования. В цифровых реле при самоконтроле часто используются следующие приемы.

Неисправность тракта аналого-цифрового преобразования с большой глубиной охвата входящих в него узлов обнаруживается путем периодического считывания опорного (неизменного по времени) напряжения. Если микропроцессор (МП) обнаруживает расхождение между последним и ранее полученным результатом, то он формирует сигналы неисправности.

Исправность ОЗУ проверяют, записывая в ячейки заранее известные числа и сравнивая результаты, получаемые при последующем считывании.

Рабочая программа, хранимая в ПЗУ, периодически рассматривается МП как набор числовых кодов. МП выполняет их формальное суммирование, а результат сравнивает с контрольной суммой, хранимой в заранее известной ячейке. Целостность обмоток выходных реле проверяется при кратковременной подаче на них напряжения и контроле обтекания их током. Периодически выполняется самотестирование МП, измеряются параметры блока питания и других важнейших узлов устройства.

На случай выхода из строя самого МП, осуществляющего самоконтроль, в цифровых устройствах предусматривается специальный сторожевой таймер "watch dog". Это несложный, а, следовательно, очень надежный узел. В нормальном режиме МП посылает в этот узел импульсы с заданным периодом следования. С приходом очередного импульса сторожевой таймер начинает отсчет времени. Если за отведенное время от МП не придет очередной импульс, который сбрасывает таймер в исходное состояние, то таймер воздействует на вход возврата МП в исходное состояние. Это вызывает перезапуск управляющей программы. При неисправности МП "зависает", устойчиво формируя 0 или 1. Это обнаруживает сторожевой таймер и формирует сигнал тревоги. При необходимости блокируются наиболее ответственные узлы устройства защиты.

Безусловно, тестирование не может обеспечить 100 % выявления внутренних дефектов изделия. Глубина тестирования целиком находится в компетенции разработчика, так как тестиро-

вание выполняется с учетом особенностей конкретного устройства и, в общем случае, неизвестна пользователю. Реально тестированием удастся охватить примерно 80—95 % всех элементов изделия. Однако, разработчик, заинтересованный в достижении максимального совершенства своего продукта, стремится предпринять всё возможное для достижения этого.

Надежность функционирования любого устройства следует рассматривать в двух аспектах: надежность самого устройства и надежность функционирования всей системы, в состав которой входит данное устройство. Надежность аппаратной части какого-либо устройства в первую очередь определяется количеством затраченных на его изготовление комплектующих изделий и их качеством. Для примера предположим, что два устройства с одними и теми же функциями выполняются, соответственно, на аналоговом и цифровом принципах из комплектующих (резисторов, конденсаторов, диодов и т. п.) с близкими показателями по надежности. Очевидно, что более надежным окажется устройство, выполненное с использованием меньшего числа элементов. У аналоговых устройств объем аппаратной части V растет пропорционально с увеличением числа реализуемых функций и их сложности C , а у цифровых устройств объем аппаратной части остается практически неизменным при вариациях сложности алгоритма в достаточно широких пределах.

С другой стороны, для цифровых устройств характерен непрерывный автоматический контроль аппаратной части и программного обеспечения. Самоконтроль существенно повышает надежность РЗ как системы, благодаря своевременному оповещению персонала о случаях отказа аппаратной части. Это позволяет незамедлительно принимать меры по восстановлению работоспособности системы РЗ. В аналоговых системах РЗ, как правило, предусматривается лишь периодический тестовый контроль работоспособности аппаратной части, причем с участием человека. При периодическом контроле возможна эксплуатация неисправной системы РЗ в течение достаточно длительного времени — до момента очередной плановой проверки. Таким образом, можно говорить о более высокой надежности функционирования цифровых устройств. Следовательно, цикл их технического обслуживания может быть теоретически увеличен до 10-12 лет. Однако пока отсутствует необходимый практический опыт, подтверждающий это положение. Поэтому в энергосистемах Украины существует мнение, что цикл их технического обслуживания следует сохранить на уровне микроэлектронных защит 6 лет. Однако, учитывая наличие автоматического контроля, объем проверки может быть существенно уменьшен. Кроме того следует иметь в виду, что в состав защиты входят также цепи вторичной коммутации, которые практически не изменились и по-прежнему требуют периодической проверки. Еще одно обстоятельство следует иметь в виду: при наладке устройства защиты из-за недостаточного знания аппаратуры вполне могут быть внесены ошибки, поэтому следует сохранить и первый профилактический контроль, призванный обнаружить и устранить ошибки, а также выявить приработочные отказы.

Следует также представлять себе, что если защита в процессе контроля выявила неисправность, то оборудование оставлено без защиты. Поэтому в силе должны быть оставлены требования о ближнем и дальнем резервировании. Т.е. следует позаботиться о резервной защите на ответственных элементах, особенно в случаях, когда дальнейшее резервирование неэффективно.

Помехозащищенность цифровых реле

Помехозащищенность — это способность аппаратуры правильно функционировать в условиях электромагнитных помех.

Необходимая помехозащищенность обеспечивается только при комплексном решении ряда вопросов, как-то:

- обеспечение должного превышения уровней информационных сигналов над уровнем помех. В этой связи в энергетике используются сигналы с номинальными уровнями 1 А и более, 100 В и выше;
- правильная прокладка линий связи датчиков информации с устройствами РЗ, а при необходимости — защита линий связи от действия помех и подавления самих помех;

- правильное конструирование аппаратной части устройства РЗ.

Если решение последнего вопроса находится исключительно в ведении разработчиков аппаратуры, то вопросы защиты каналов связи от помех должны решаться на стадии проектирования и в ходе эксплуатации системы защиты. Рассмотрим устройство РЗ с этих позиций.

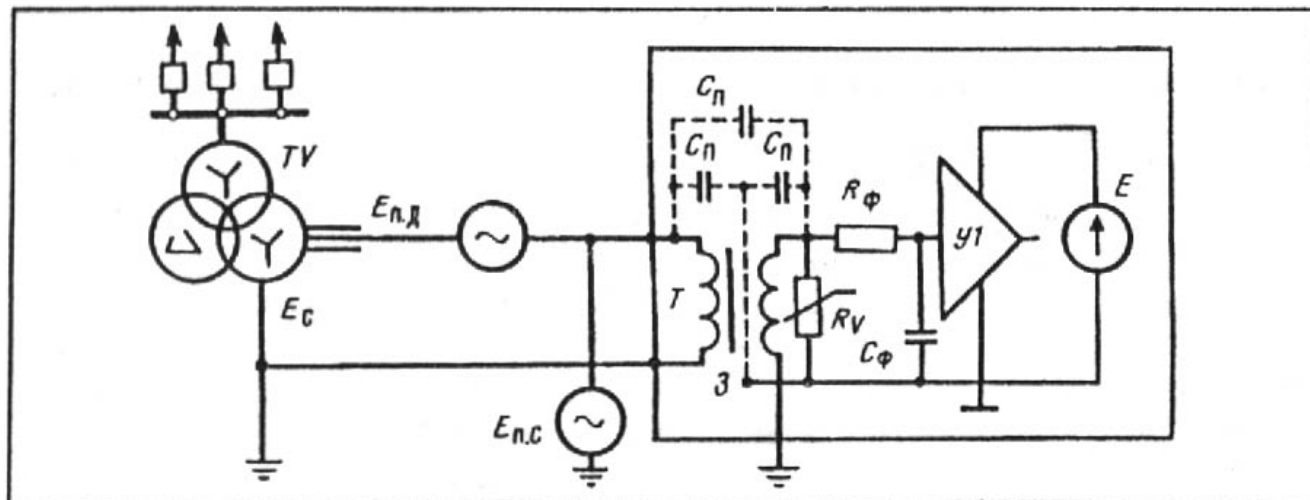


Рис. 3.18 Входной тракт устройства РЗА

Проникновение помех в реле и линии связи

Как правило, входная часть устройства защиты выполняется по схеме, показанной на рис. 3.1. При этом, рабочий сигнал E_c передается по двухпроводной линии в виде разности потенциалов или током. Обычно входным воспринимающим элементом устройства является промежуточный трансформатор T . Как уже отмечалось, трансформатор обеспечивает одновременно и преобразование подводимых сигналов, и гальваническое разделение внутренних и внешних цепей.

Помехи могут наводиться как между проводами линии связи (помехи дифференциального или поперечного вида $E_{нд}$), так и между любым проводом линии и землей (синфазные или продольные помехи $E_{нс}$).

Казалось бы, синфазные помехи $E_{нс}$ не опасны для дифференциальных приемников. Однако, это не совсем так. Проникая внутрь устройства по паразитным емкостным связям $C_п$, эти помехи затем могут накладываться на рабочий сигнал, который внутри устройства, как правило, является синфазным и передается относительно общей шины нулевого потенциала.

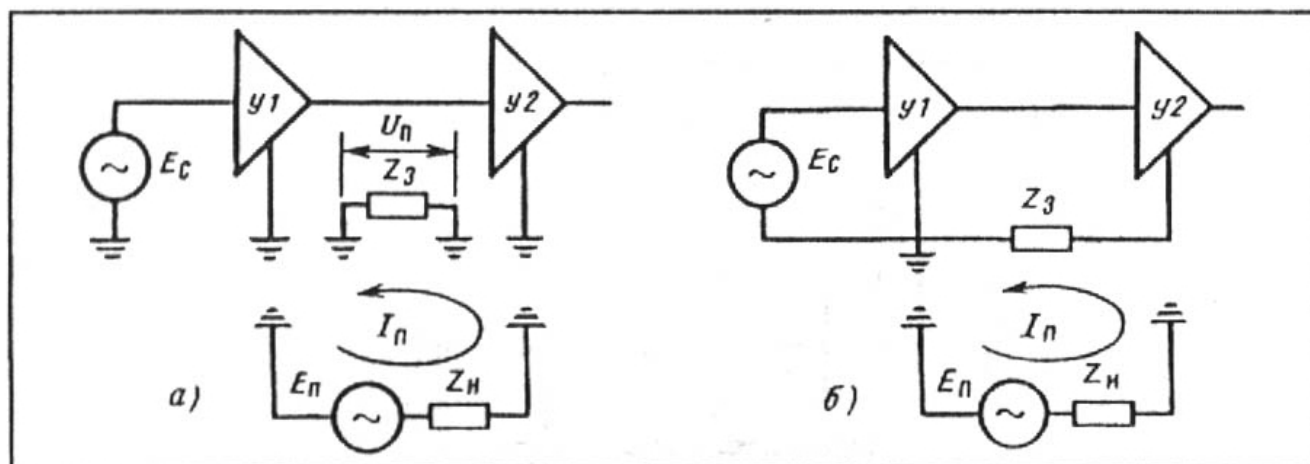


Рис. 3.19 Проникновение помех при непосредственной связи цепей

Поэтому конструкторы аппаратуры применяют меры, чтобы максимально ослабить паразитные (емкостные) связи между первичной обмоткой промежуточного трансформатора T и элементами внутренней схемы устройства.

Что касается дифференциальных помех $E_{нд}$, то наиболее действенным способом является максимальное ограждение линий связи от воздействия источников помех, если источник помехи неустраним. Для этого необходимо знать, как помехи попадают в линию связи.

Принято различать гальванический, электростатический и индуктивный пути проникновения помех из одной электрической цепи в другую.

Гальваническая связь — это непосредственная связь цепи приемника полезного сигнала с цепью, где расположен источник помехи. Чаще всего этот путь возникает из-за наличия общего проводника в рассматриваемых цепях. Принято считать, что "земля" во всех точках имеет потенциал, равный нулю. Это неверно. Рассмотрим совместную работу сильноточной и слаботочной цепей (рис. 3.19, а).

В данном случае система заземления используется в качестве одного из проводников цепи передачи информации от источника сигнала E_c к устройству $У1$ и далее к устройству $У2$. Одновременно система заземления использована в качестве обратного провода сильноточной цепи. Такая ситуация наиболее типична для внутренних схем различной аппаратуры, когда шина нулевого потенциала одновременно используется в электрических цепях, существенно различающихся по мощности. Однако, подобная ситуация возникает в любой другой слаботочной системе при передаче сигналов относительно общего провода. Источники мощных сигналов создают большие токи, протекающие по земле. Например, это наблюдается при замыканиях на землю в сетях с эффективно заземленной нейтралью или при проведении электросварочных работ.

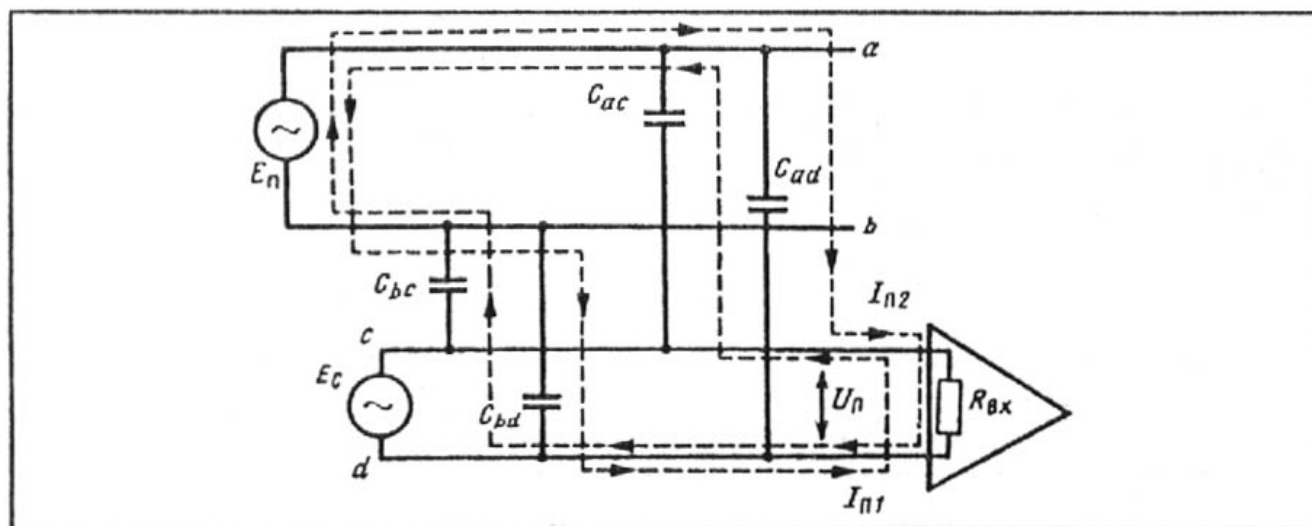


Рис. 3.20 Схема проникновения помех по емкостным связям

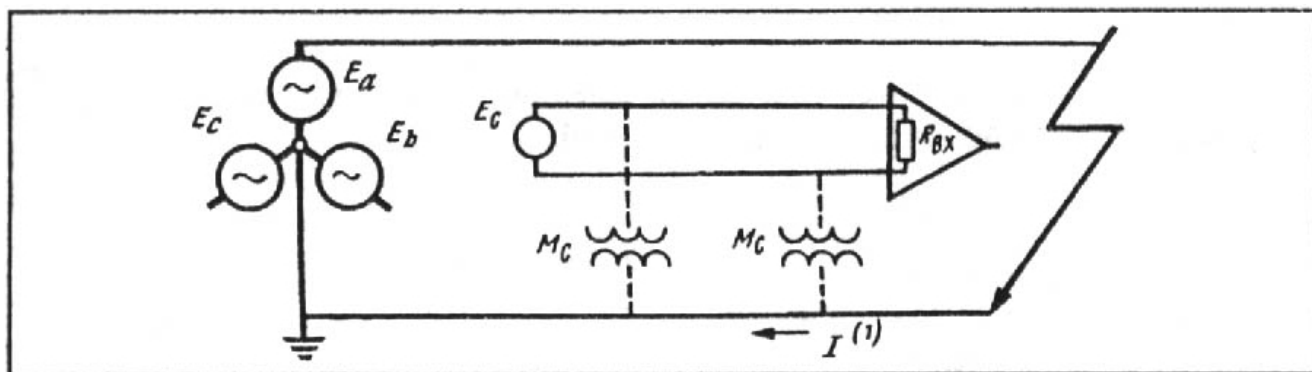


Рис. 3.21. Образование помех при замыкании на землю

Очевидно, что напряжение помехи, наводимое в слаботочной цепи будет равно:

$$U_n = \frac{E_n \cdot Z_3}{Z_n + Z_3}, \text{ где } Z_3 - \text{сопротивление цепи через землю.}$$

Снижению уровня такого рода помех благоприятствует только увеличение сечения шины заземления. Однако, и увеличение

сечения общей шины может оказаться неэффективным в случае высокочастотных помех, когда начинает проявляться индуктивный характер сопротивления шины. Кардинальное решение проблемы защиты от проникновения помех по земле — это заземление слаботочных цепей только в одной точке (рис. 3.19, б).

Электростатическая (емкостная) связь электрических цепей. Паразитная связь этого вида главным образом возникает в схемах с контурами с большим сопротивлением, когда проводники таких цепей генерируют и воспринимают электрические поля. Помехи между цепями такого рода еще называют перекрестными. Наиболее неблагоприятным случаем является близкое расположение проводников разных цепей на значительном расстоянии.

Напряжение помехи U_n на входе приемника (рис. 3.20) определяется разностью токов I_{n1} , I_{n2} создаваемых источником помехи E_n за счет перекрестных емкостных связей проводов этих двух цепей. Помеха на входе приемника (на R_{ex}) будет равна:

$$U = (I_{n1} - I_{n2})R_{ex} = E_n R_{ex} / [R_{ex} + k(1/ДС)] \quad (3.11)$$

где $k(1/ДС)$ — слагаемое, зависящее от разности емкостей проводов $ДС$.

Разность отмеченных токов обусловлена асимметрией паразитных емкостей между проводниками рассматриваемых цепей.

Эффективные способы борьбы с помехами этого рода — скрутка проводов и применение электростатических экранов. Скрутка способствует выравниванию емкостей между проводниками, т. е. стремлению $ДС$ к нулю, а экранирование уменьшает емкость связи как таковую. Отсюда следует, что нежелательно использовать для образования канала связи жилы из разных кабелей.

Индуктивная связь. Этот тип связи характерен для цепей с малым сопротивлением. Чаще всего индуктивная связь проявляется при замыкании на землю и трехфазных сетях. При междофазных КЗ внешнее поле трехфазной линии относительно мало, вследствие близкого расположения проводов и равенства нулю суммы фазных токов. При замыкании на землю (рис. 3.21) образуется контур протекания тока больших геометрических размеров. В сетях с эффективно заземленной нейтралью в таких контурах протекают очень большие токи, наводя помехи в рядом расположенных электрических цепях. Как и в случае емкостной связи цепей, уровень наводимой помехи определяется разностью взаимной индукции проводов слаботочной цепи по отношению к сильноточному контуру. Наибольший уровень наводимой помехи наблюдается в контуре с малым сопротивлением. Для борьбы с помехами, наводимыми за счет индуктивной связи, используют все мероприятия, рассмотренные для случая электростатической связи.

Как видно, помехи попадают на линию связи разными путями. В реальной ситуации проявляются одновременно все виды паразитной связи.

Эффективность экранирования кабелей связи

Экранирующее действие металлической оболочки кабеля объясняется тем, что в ней наводятся токи, создающие поле, которое компенсирует вызывающее их внешнее поле. Для эффективного экранирования толщина стенок экрана должна быть соизмерима с длиной волны электромагнитного поля в веществе экрана. Например, на промышленной частоте $f = 50$ Гц медный экран эффективен лишь при толщине стенок 6 см, а железный — при толщине 4,5 мм; на частоте 500 кГц для медного экрана это составит около 0,6 мм, а для железного — 0,05 мм. Несмотря на очевидные достоинства ферромагнитных экранов, на практике применяют экраны из хорошо проводящих материалов, так как магнитная проницаемость ферромагнитных веществ сильно зависит от напряженности внешнего поля. При насыщении ферромагнитного экрана его экранирующие свойства резко ухудшаются.

Кабели с экранами из немагнитного материала наиболее эффективны при защите от электростатических и высокочастотных электромагнитных полей. Для защиты от низкочастотных электромагнитных полей потребовались бы толстостенные ферромагнитные экраны, что практически невыполнимо при протяженных трактах передачи. От этих полей, как уже отмечалось, защищаются скруткой жил кабеля, что уменьшает площадь контура, образуемого жилами, и выравнивает перекрестные емкости и взаимоиндуктивности проводов. Но, так как часто помехами являются грозовые и коммутационные перенапряжения, представляющие собой кратковременные импульсы и ВЧ-колебания, то применение немагнитных экранов оправдывается, так как основная энергия таких помех сосредоточена в высокочастотной области.

Эффективность действия экранов существенно зависит не только от частотного спектра помехи, но и от схемы их заземления, расположения жил кабеля внутри экрана. На рис. 3.22 представлены различные варианты соединения источника сигнала E_c с приемником (нагрузкой R_H) и приведены коэффициенты ослабления помехи.

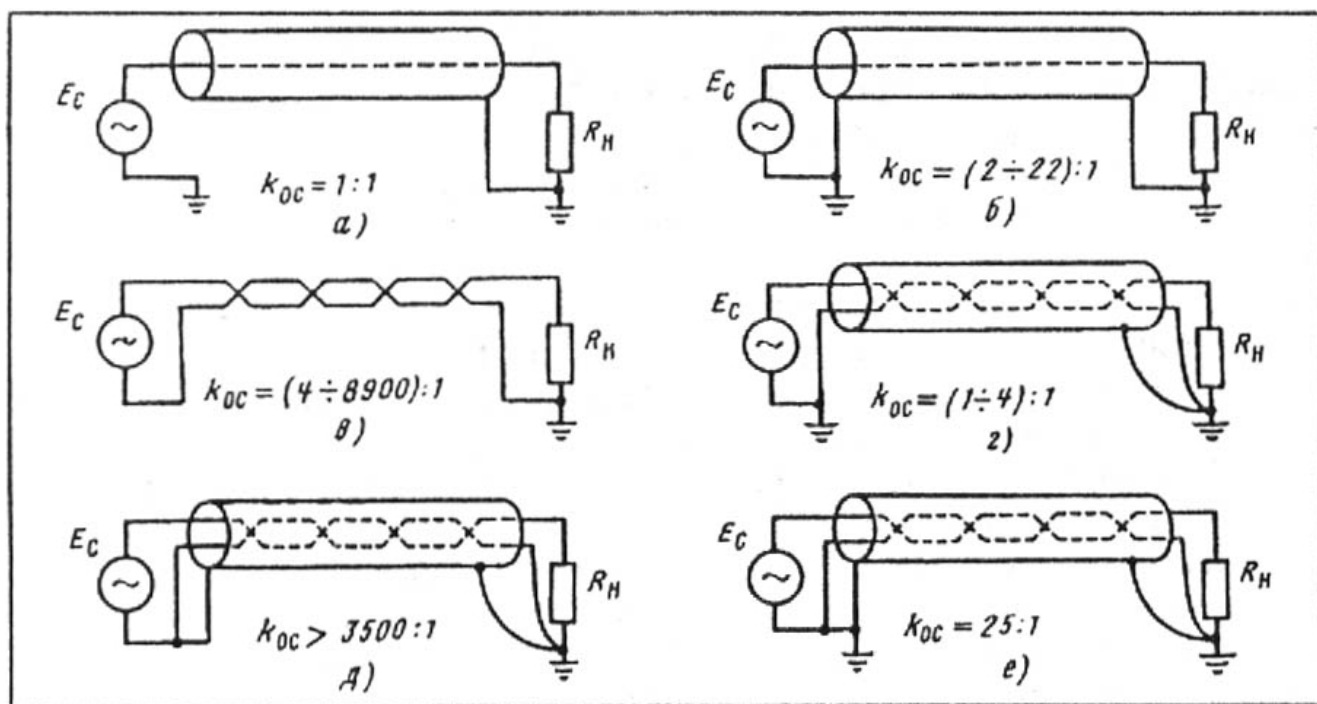


Рис. 3.22 Эффективность различных экранов

В качестве исходного случая выбран простейший, когда кабель содержит один сигнальный провод (рис. 3.22, а). Снижение уровня наводок в схемах на рис. 3.22, б – г обусловлено уменьшением эффективной площади контура рабочего сигнала. По этой причине в качестве проводников измерительной цепи следует применять жилы, принадлежащие одному контрольному кабелю, и ни в коем случае не применять жилы разных кабелей. При незаземленных источнике или нагрузке (рис. 3.22, в, д) полезный сигнал распространяется по обратному проводу или экрану кабеля, что уменьшает эффективную площадь контура и тем самым уровень помех.

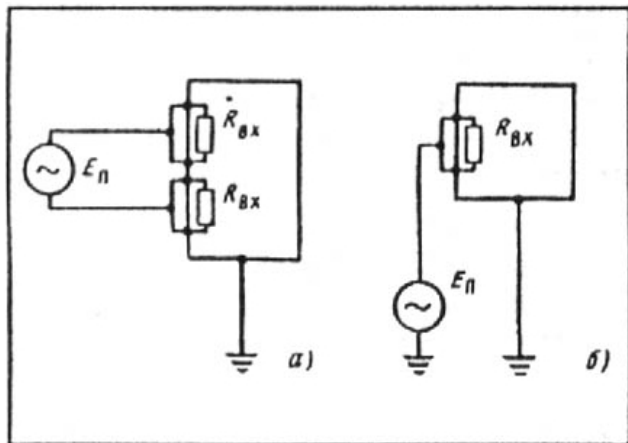


Рис. 3.23 Подача тестовых воздействий на аппаратуру

Если ток экрана искажает рабочий сигнал, экран следует заземлять в одной точке: у источника для уменьшения излучаемых помех, или у нагрузки для снижения уровня воспринимаемых помех. Экраны кабелей высокочастотных сигналов заземляют у концов и не менее чем через каждые $0,2 \lambda$ (λ — длина волны электромагнитного поля) вдоль их длины.

Следует отметить, что прокладка линии связи даже незранированным контрольным кабелем вблизи хорошо заземленного проводника (шиной заземления, металлоконструкциями и т. п.) способствует снижению уровня наводимых помех.

Хотелось бы отметить, что в системах защиты на базе электромеханических реле не использовались экранированные кабели. Помехозащищенность достигалась за счет относительно высоких уровней информационных сигналов, определенных практикой эксплуатации. Цифровые реле, если они не являются какими-то особо чувствительными или выполнены на каких-то нетрадиционных принципах защиты, не должны предъявлять особых требований к защите линий связи от внешних электромагнитных полей. Однако в условиях повышенного уровня электромагнитных помех при плохих контурах заземления применение экранированных кабелей может быть оправдано.

Испытания аппаратуры на помехозащищенность

Ввиду того, что учесть все паразитные связи между различными цепями реального устройства практически невозможно, единственным критерием должной помехозащищенности аппаратуры могут быть только ее натурные испытания. Причем эти испытания должны проводиться по единым нормам, чтобы можно было сопоставлять оборудование разных фирм.

В части испытаний измерительных реле и защитного оборудования во всем мире придерживаются рекомендаций Международной Электротехнической Комиссии (МЭК). Рекомендации МЭК в отношении помехостойкости отражены в нормах: МЭК 255-22-1, МЭК 255-22-2, МЭК 255-22-4. В какой-то мере помехостойкость оборудования проверяется и по нормам МЭК 255-5 "Испытания диэлектрической прочности изоляции". Рекомендации и нормы МЭК лежат в основе большинства национальных стандартов.

Следует отметить, что подтверждение заявляемых разработчиками тех или иных характеристик выпускаемой аппаратуры дают лишь независимые сертификационные центры, располагающие соответствующим испытательным оборудованием. При этом многие сертификационные центры специализируются на испытаниях только определенного вида.

В соответствии с нормами МЭК, при испытаниях тестовые воздействия прикладываются между любыми независимыми входами устройства (рис. 3.23, а) и между каждым входом и землей (рис. 3.23, б). Все зажимы, принадлежащие одному входу, при этом закорачиваются. В нормах МЭК подробно оговариваются параметры источников сигналов и методика испытания. Ниже мы рассмотрим лишь наиболее важные моменты в части проверки помехозащищенности реле.

Испытание на высокочастотные помехи (МЭК 255-22-1). Рекомендуемое тестовое воздействие имитирует помехи коммутационного происхождения. Пачки затухающих высокочастотных колебаний возникают при включении или отключении линий в электрических сетях и при однофазных замыканиях. Частота колебаний, генерируемых сетью, может изменяться от единиц герц до десятков и сотен гигагерц. Все зависит от соотношения распределенных индуктивностей и емкостей сети в каждом конкретном случае. В качестве испытательного воздействия приняты наиболее реальные колебания.

Испытание на электростатический разряд (МЭК 255-22-2). При этом испытании внешний электрический заряд переносится на устройство либо через воздушный промежуток (исходный потенциал 8 кВ), либо через контакт (исходный потенциал 6 кВ).

Испытания кратковременными импульсами (МЭК 255-22-4)

Этот вид тестирующего воздействия также выбран из практических соображений. Импульсы, наводятся в жилах контрольных кабелей под воздействием грозовых разрядов. Для грозовых импульсов характерен крутой фронт и относительно медленный спад. Однако, тестовые импульсы имеют срез и на спаде, что имитирует работу искровых разрядников, устанавливаемых на линиях для борьбы с грозowymi перенапряжениями. Обычно подается по три импульса разной полярности с интервалом 5 с.

Испытания диэлектрической прочности изоляции (МЭК 255-5). При испытании используется напряжение 2 кВ промышленной частоты, подаваемое на оборудование в течение 1 мин. Это испытание фактически дает гарантию безопасности обслуживания устройства, а не проверяет его помехостойкость. На практике, подобным воздействиям аппаратура подвергается в случае ее неправильного подключения, переноса потенциалов из смежных цепей и т. д. Таким образом, этот тест в какой-то мере характеризует и помехостойкость аппаратуры.

Использование цифровых реле в качестве элементов АСУ ТПЗ

Цифровые устройства РЗ сегодня становятся частью автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Главными функциями АСУ ТП являются отображение технологического процесса (на мнемосхемах, в средствах сигнализации об аварийных ситуациях и т. п.), ведение отчетов и обеспечение связи оператора с управляемым им процессом. АСУ ТП являются системами реального времени и в настоящее время строятся на основе персональных и специализированных устройств, с помощью которых обеспечивается связь с датчиками информации, обработка получаемой информации и представление ее в удобном виде для диспетчерского управления.

С позиций АСУ ТП цифровые устройства РЗ являются оконечными устройствами, т. е. терминалами. Поэтому иногда цифровые устройства РЗ называют релейными терминалами.

Программное обеспечение для АСУ ТП непрерывно совершенствуется. Рабочие программы АСУ ТП создаются из готовых библиотечных функций с использованием простых языков программирования. Например, создание рабочего окна на экране ПЭВМ (рис. 3.24) включает несколько этапов:

- создание статического изображения рабочего окна;
- формирование динамических объектов рабочего окна;

обработку информации: формирование отчетов, построение трендов и т. д. Тренд — это графическое отображение изменения параметра процесса во времени.

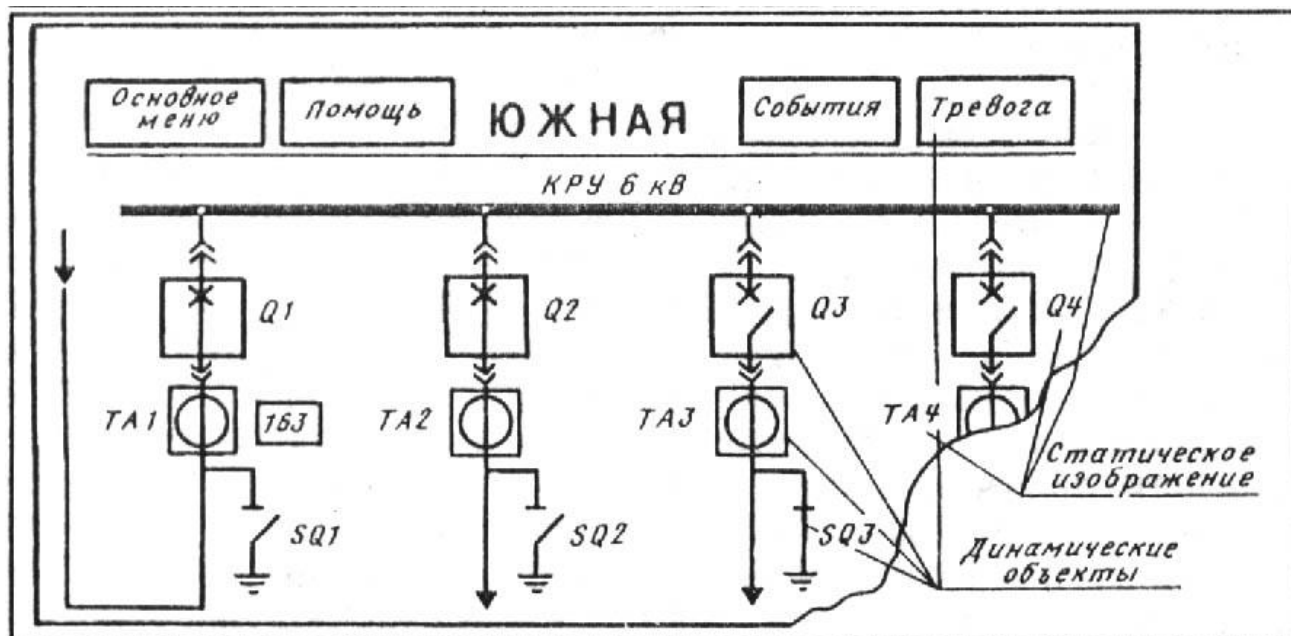


Рис. 3.24 Вывод информации на дисплей

Статическое изображение рабочего окна включает фон (мнемосхему объекта), неизменные надписи и т. п. Для создания статического изображения, как правило, используются внешние графические редакторы, например Paint Brush, а готовое изображение затем передается в общий программный пакет.

Для описания алгоритмов управления применяются либо специализированные языки с использованием библиотеки логических функций (типа И, ИЛИ и т. д.), либо простые языки высокого уровня, например, BASIC.

- органов управления (выключателей, разъединителей и т. п.);
- экранных элементов для отображения параметров процесса (в виде цифровых или аналоговые индикаторов и табло);
- возможности создания и ведения архивов событий и аварий, а также отслеживания параметров процесса с выборкой значений через заданные промежутки времени;
- представления информации в удобном для оператора виде, например, гистограммами или временными графиками;
- средств защиты от несанкционированного доступа в систему с использованием паролей и т. п.

Все устройства концерна ALSTOM (микропроцессорные реле) оснащены интерфейсом RS485 для организации дистанционной связи (подключения к компьютерной сети удаленной передачи информации). Для подключения к сети микропроцессорные реле объединяются с помощью экранированной витой пары или оптоволоконного кабеля в группы до 32-х и подсоединяются к порту компьютера рабочей станции или шлюза через устройство конвертора-протокола. Далее все микропроцессорные (реле) устройства предприятия могут быть объединены в глобальную вычислительную сеть с переводом традиционных функций телемеханики на язык вычислительной техники. Таким образом, все измеренные значения и зафиксированные сигналы, могут быть направлены на соответствующий уровень управления, выданы на монитор оперативного персонала для отображения или сохранены в архиве – на магнитном носителе (с или без сортирования). Дистанционное управление коммутационными аппаратами (включение и отключение) осуществляется оперативным персоналом также по вычислительной сети путем управления срабатыванием соответствующих выходных реле микропроцессорных устройств. Также дистанционно персоналом службы РЗА может быть произведено изменение уставок защит, а также переключение с одной их группы на другую. Любое дистанционное управление защищается паролем соответствующего уровня доступа.

Таким образом, цифровые реле позволяют создавать локальные (на одном объекте) или глобальные (на предприятии) автоматизированные системы управления электрическими сетями.

В зависимости от типа объекта и числа контролируемых входов-выходов, ALSTOM предоставляет системы управления: S10, S100, PSCN 3020, PSCN 3040, SPACE 2000, OMNIBUS и др. имеющие соответственно разную скорость обработки и отображения информации.

Техническое обслуживание цифровых реле

Все виды технического обслуживания, программы и периодичность их проведения регламентируются правилами технического обслуживания устройств релейной защиты и автоматики. Требования к техническому обслуживанию конкретного устройства РЗА (объемы, периодичность и методы обслуживания) определяются его изготовителем и включаются в ТЗ, ТУ и инструкции по эксплуатации. Как правило, подготовка цифрового устройства РЗА к работе предусматривает внешний осмотр, проверку сопротивления изоляции, выставление и проверку уставок, тестовую проверку в соответствии с ТО. Производится ранжирование реле т.е. создание внутренней схемы: назначение входов, выходных реле, светодиодов, ввод или вывод отдельных ступеней защиты. Уже говорилось о том, что пока цикл обслуживания целесообразно оставить 6 летним с обязательным выполнением первого профилактического контроля.

Однако цифровые устройства защиты более информативны и существенно отличаются по конструктивному исполнению от их аналоговых предшественников. Так, высокая плотность монтажа, использование многослойных печатных плат, отсутствие принципиальных схем и полной информации по алгоритмам функционирования узлов делает цифровые устройства защиты ремонтно-пригодными только до уровня отдельных конструктивных модулей. Встраиваемые системы самодиагностики и контроля, как правило, выводят на дисплей код неисправности, что упрощает поиск поврежденного узла. Однако, даже самые совершенные принципы не могут обеспечить 100%-ный самоконтроль. Поэтому микропроцессорные устройства также должны подвергаться техническому обслуживанию с участием персонала.

Благодаря высокой информативности цифровых устройств РЗА, их неисправность и неисправности в цепях измерительных трансформаторов, приводов выключателей может быть обнаружена косвенными способами. Так, практически все цифровые устройства могут предоставить информацию о контролируемых величинах, входных и выходных сигналах управления. Анализируя эти данные, можно своевременно обнаружить обрывы во входных и выходных цепях. По информации, запоминаемой в аварийных режимах (численные значения токов КЗ, время запуска тех или иных измерительных органов и т. д.), можно убедиться в правильном согласовании уставок как данного устройства РЗА, так и защит смежных участков. Еще большие возможности для подобного анализа открываются при включении устройств РЗА в АСУ ТП, когда вся необходимая информация может быть получена оперативно из разных источников.

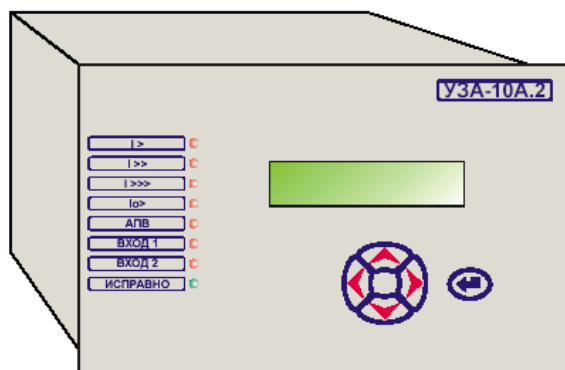
Традиционный способ проверки устройства РЗА путем подачи внешних сигналов от устройства проверки с контролем основных параметров релейных органов (порога срабатывания, коэффициента возврата, времени срабатывания и т. д.) также упрощается, если это устройство микропроцессорное. Во-первых, малое потребление по цепям тока и напряжения позволяет автоматизировать процесс проверки, используя автоматизированные устройства, такие как OMICRON (фирма OMICRON, Австрия), ISA (фирма "Avtomatisation Laboratories", Италия), DOBBLE (Dobble Engineering Co., США), RETOM (фирма "Динамика", Россия) и FREJA (фирма "Programma", Швеция). Выпускаются аналогичные устройства и на Украине. Это оборудование сводит к минимуму участие человека в проведении проверки и оформлении отчетности. К тому же сохранение результатов проверки в виде файлов позволяет легко сопоставлять результаты проверок, проведенных в разное время. Следует отметить и то обстоятельство, что уставки цифровых реле легко могут быть получены через ЭВМ и, при необходимости, оформлены в виде документа. В то же время следует иметь в виду, что устройство может быть проверено полностью с помощью обычных проверочных устройств. Конечно, в данном случае речи об автоматизации проверки и оформления результатов идти не может.

При работе с микропроцессорными устройствами РЗ следует принимать все меры, исключая повреждения электронных компонентов статическим электричеством. При ремонте аппаратура должна располагаться на заземленном токопроводящем столе. Тело работающего должно иметь потенциал стола, что обычно обеспечивается с помощью заземленного кольца или браслета. Такие меры защиты обусловлены тем, что электрический заряд, находящийся на теле человека, способен разрушать полупроводниковые структуры. Причем статическое электричество может и не вызвать выход изделия из строя сразу же, но predisположит это изделие к отказу в будущем.

И еще один важный момент в обслуживании микропроцессорных устройств: **ни в коем случае не следует расстыковывать и состыковывать разъемные соединения блоков устройства, когда оно находится под напряжением.** Это обуславливается не столько соображениями техники безопасности (уровни напряжения в микропроцессорных устройствах, как правило, не превышают 36 В), а весьма высокой вероятностью выхода интегральных микросхем при несоблюдении очередности подключения внешних цепей. Общее правило следующее: на микросхему должно быть подано сначала напряжение питания и только затем — входные сигналы. В момент расстыковки и стыковки разъемов это условие часто не выполняется, что и приводит к повреждениям оборудования.

3.5 ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВ РЗА НА МИКРОПРОЦЕССОРАХ

3.5.1. УСТРОЙСТВО ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ УЗА-10А.2



Устройства УЗА-10А.2 предназначены для использования в схемах релейной защиты и противоаварийной автоматики для защиты электрических машин, трансформаторов и линий электропередачи при коротких замыканиях и перегрузках, а также для управления и телемеханики присоединения. Устройство УЗА-10А.2 — одновременно выполняет функции токовой защиты и автоматики, управления и телемеханики. Предназначено для установки на новых и реконструируемых подстанциях промышленных установок и распре-

делительных сетей, для замены старых устройств РЗА и телемеханики.

Микропроцессорное устройство УЗА-10А.2-2 питается от источника как постоянного, так и переменного оперативного тока. От цепей переменного тока выполняется комбинированное питание от тока ($I_n = 1$ или 5А) и напряжения (100 - 220 В) и защита может работать только от тока короткого замыкания. При питании только от тока, устройство с номинальным током 5А, работает надежно начиная с 4А, устройство с номинальным током 1А — с 0,8А. Устройство УЗА-10А.2-3 питается только от сети постоянного оперативного тока.

При питании элементов схемы только от входного тока сохраняются только функции защиты. Дополнительное питание (постоянное или переменное напряжение величиной 220В) необходимо только для обеспечения функции АПВ, индикации и дистанционной блокировки защит. Блок питания обеспечивает устойчивую работу защиты при кратковременных перерывах питания (< 500 мс).

Устройство УЗА-10А.2-2 имеет токовые входы от двух фаз, на нем может быть выполнена двухфазная защита. Устройство УЗА-10А.2-3 имеет токовые входы от трех фаз и на нем выполняется трехфазная защита. Дополнительно оба типа реле имеют чувствительный вход по току нулевой последовательности для выполнения защиты от замыкания на землю. По прочим характеристикам реле не отличаются друг от друга, и в тексте для этих случаев упоминается только реле УЗА-10А.2

. Функции устройства

- двухфазная (трехфазная) МТЗ;
- токовая отсечка 2 ступени: ТО1, ТО2 (ТО2 может быть заменена на защиту от перегрузки);
- защита от замыканий на землю (ЗНЗ);
- ускорение МТЗ при включении выключателя;
- дистанционное включение и отключение выключателя;
- контроль положения выключателя;
- внешняя блокировка защиты;
- пуск УРОВ;
- однократное АПВ;
- измерение токов фаз и тока ЗНЗ;
- запоминание тока КЗ;
- порт связи RS 485 для подключения к локальной сети.

Конструкция реле.

Устройство УЗА-10А.2 имеет четыре выходных реле.

Выходное реле **RL1** используется для отключения выключателя защитами МТЗ, ТО1 и ТО2 или по сети передачи информации, реле имеет 2 независимых выходных контакта.

Выходное реле RL2 используется для включения выключателя автоматикой АПВ или по сети передачи информации.

Выходное реле RL3 – фиксация срабатывания токового органа МТЗ - логическая защита шин, реле имеет 2 независимых выходных контакта. Возврат этого реле может быть выполнен 2 способами: 1 – после возврата МТЗ, 2 – после срабатывания любой защиты на отключение. Во втором случае сигнал блокировки снимается немедленно после срабатывания защиты и блокируемая ступень вышестоящей защиты (защита ввода или СВ) сработает со своей выдержкой времени, значит эта ступень сработает при отказе выключателя и наличии тока КЗ: получается УРОВ.

Выходное реле **RL4** – защита от замыкания на землю 3I₀, защиты от перегрузки (по заказу).

Выходное реле **RL5** – сигнализация неисправности устройства.

Время замыкания контактов выходных реле, при включении и отключении по сети передачи информации, а также включении от АПВ/ЧАПВ, составляет около 0,3 с.

По заказу в реле устанавливаются выходы для дешунтирования электромагнитов отключения.

2.2. Устройство УЗА-10А.2 имеет 4 дискретных входа. Питание этих входов может осуществляться от источника питания реле, если управление выполняется «сухим» контактом, или подается напряжение при «потенциальном» управлении входом.

Дискретный вход №1 используется для контроля включенного положения выключателя. Положением выключателя управляется функция ускорения защиты при ручном включении и АПВ: ускорение МТЗ вводится на 0,5 сек. после включения выключателя.


Дискретный вход №2 используется для контроля отключенного положения выключателя в случае введенной функции контроля цепей управления. О наличии сигнала на этом входе сигнализирует светодиод 6.

Дискретный вход №3 используется для блокировки максимальной токовой защиты МТЗ($I>$), токовой отсечки ТО1 ($I>>$) и токовой отсечки ТО2 ($I>>>$) или для внешнего запуска ЧАПВ.

Дискретный вход №4 используется для отключения выключателя от внешнего сигнала. Наличие сигнала на входе 4 индицируется светодиодом 7.

Для оперативного оповещения оператора о состоянии устройства, УЗА-10А.2 имеет 8 независимых светодиодных индикаторов: 4 из них фиксируют срабатывание степеней защиты МТЗ, ТО1, ТО2, ЗНЗ; пятый фиксирует срабатывание АПВ, шестой и седьмой фиксирует появление сигнала на входе 2 и 4 соответственно, последний фиксирует исправность устройства: при наличии оперативного напряжения и исправном устройстве светодиод светится. Светодиодные индикаторы могут работать в 2 режимах: режим индикации – светодиод горит при наличии сигнала и гаснет после его исчезновения, и режим фиксации – светодиод загорается при появлении сигнала и остается горящим до его квитирования кнопкой «ВВОД» на лицевой панели.

Для ручной работы оператора используется лицевая панель, на которой размещены средства оперативного взаимодействия оператора с устройством защиты: клавиатура и система индикации.

Для выбора режимов работы и отображения информации, а также программирования устройства используются пять основных клавиш: клавиши «ВПРАВО», «ВЛЕВО», «ВНИЗ», «ВВЕРХ», обеспечивают движение в меню в нужном направлении; клавиша  (ВВОД) - производит ввод набранных данных и снятие фиксации сработавших светодиодов.

Для отображения информации во всех режимах работы устройства используется жидкокристаллический индикатор (2 строки по 16 алфавитно-цифровых символов) с подсветкой, что позволяет считывать информацию при любой освещенности. В нормальном режиме индицируется ток нагрузки фазы «А»; после срабатывания защиты – ток короткого замыкания. Подсветка загорается на 1 минуту при нажатии любой клавиши управления. При погашенном индикаторе и первом нажатии клавиши «ВВОД» загорается подсветка, второе нажатие производит возврат индикации в исходное состояние.

Лицевая панель дает возможность пользователю передвигаться по меню для доступа к данным, изменять уставки и считывать измерения. Реле сохраняет в памяти максимальный отключенный ток, который можно прочесть на дисплее. Для считывания сообщений пароль не требуется, однако любое изменение уставок может проводиться только после ввода пароля.

УЗА-10А.2 постоянно измеряет фазные токи и индицирует фактическое действующее значение тока вплоть до 10 гармоники.

УЗА-10А.2 может быть включено в локальную сеть посредством стандартного порта RS485, расположенного на задней стенке. Протокол связи MODBUS RTU. Вся хранящаяся информация (измерения, сигнализации, параметры) может быть считана и изменена с помощью канала передачи информации.

Ознакомиться и изменить эти данные можно при помощи обычного персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения.

Связь через порт RS485 обеспечивает соединение с цифровой системой управления (например, S+, MiCOM S10 и PSCN). Все имеющиеся данные в устройстве передаются диспетчеру и могут обрабатываться по месту или дистанционно.

2.12. Уставки

Максимальная токовая защита (МТЗ)

Токовая ступень I>:	(1.0 ÷ 16.0)А шаг 0,1А
Выдержка времени tI>:	(0.0 ÷ 10.0)с, шаг 0.1с
Время мгновенного срабатывания	< 100 мс
Коэффициент возврата	0.9 ÷ 0.92
Ускорение МТЗ в течение 1с после включения выключателя	t _{уск.} I> = 0.5 сек.

Токовая отсечка (ТО1)

Токовая ступень I>>:	(1 ÷ 32)А шаг 0,1А
Выдержка времени tI>>:	(0.0 ÷ 10.0)с, шаг 0.1с
Время мгновенного срабатывания	< 100 мс
Коэффициент возврата	0.9 ÷ 0.92

Токовая отсечка (ТО2)

Токовая ступень I>>>:	(5 ÷ 120)А шаг 0,5А
Выдержка времени tI>>>:	(0.0 ÷ 5.0)с, шаг 0,05с
Время мгновенного срабатывания	< 100 мс
Коэффициент возврата	0.9 ÷ 0.92

Защита от замыканий на землю (ЗНЗ)

Токовая ступень Io>:	(0.02 ÷ 2.00)А шаг 0.01А
Выдержка времени tIo>:	(0.0 ÷ 10.0)с, шаг 0.1с
Время мгновенного срабатывания	< 100 мс
Коэффициент возврата	0.9 ÷ 0.92

АПВ (ЧАПВ)

Число циклов	1 цикл
Время подготовки:	1 ÷ 99 сек
Выдержка времени АПВ:	(0.0 ÷ 10.0)с, шаг 0.1с
Напряжение питания	
Диапазон напряжения питания	(100 ÷ 250)В (~/=)
Пульсация	12%
Допустимое время перерыва питания, не менее	500 мс
Потребляемая мощность	3 Вт (3 ВА) + 0,25 Вт (0,25 ВА) на каждое сработавшее реле
Время готовности, не более	300 мс

Измерительные входы

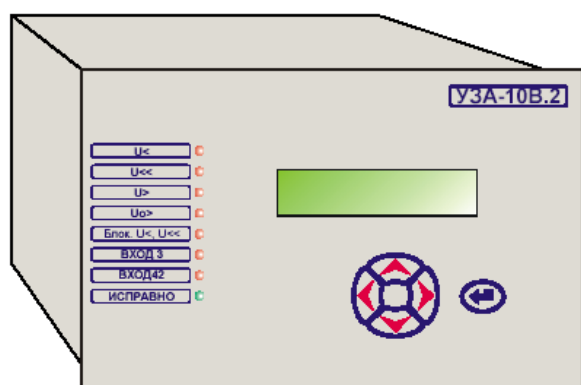
Фаза А	(2 ÷ 200)А
Фаза С	(2 ÷ 200)А
Токовый вход, использующийся для измерения тока ЗНЗ	(0.05 ÷ 2.00)А
Потребляемая мощность измерительных цепей ЗНЗ	0.01ВА при 0.1I _о (5А)
Потребляемая мощность измерительных цепей	0.3 ВА/фазу (5 А)
Потребляемая мощность измерительных цепей + цепей питания	2 ВА/фазу (5А)
Диапазон частоты	(45 ÷ 65) Гц
Номинальная	(50 ÷ 60) Гц
Термическая устойчивость	1с: 40 х ном.ток длительно: 2 х ном.ток

Выходы

Выход 1 - 2 независимых контакта	Отключение
Выход 2	Включение
Выход 3 - 2 независимых контакта	Фиксация пуска токового органа (ЛЗШ)

Выход 4	Сигнал неисправности
Выходы для дешунтирования (по заказу)	150А, 1с (электромагниты L1 и L2)
Последовательный интерфейс	
Порт RS 485	Порт на задней панели реле, витая пара
Тип	Изолированная, полудуплекс
Протокол	MODBUS™ RTU
Скорость передачи	1200 ÷ 9600 бод (программируется)
Точность индикации	
Фазных токов и времени	2%
Тока 3НЗ	не хуже 3%
Данные трансформаторов тока	
Фазный ТТ	1 или 5 А
ТТ нулевой последовательности	1 А

3.5.2. МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ПО НАПРЯЖЕНИЮ УЗА-10В.2



Устройство УЗА-10В.2 – выполняет функции защиты минимального и максимального напряжения, защиты по напряжению нулевой последовательности, а также телемеханики. Предназначено для установки на новых и реконструируемых подстанциях промышленных установок и распределительных сетей, для замены старых устройств РЗА и телемеханики.

Устройства УЗА-10В.2 используются в схемах релейной защиты и противоаварийной автоматики трансформаторов на-

пряжения присоединений 6-35 кВ. Устройство УЗА-10В.2 - питается от источника как постоянного, так и переменного оперативного тока. Кратковременные исчезновения напряжения (< 500 мс) фильтруются и стабилизируются в блоке питания устройства.

Функции устройства

- трехфазная двухступенчатая защита минимального напряжения (ЗМН) с выбором действия при снижении напряжения по «И» – одновременно всех фаз или «ИЛИ» – любого линейного напряжения.
- трехфазная защита повышения напряжения (ЗПН) с выбором действия по «И» - «ИЛИ»;
- защита от замыканий на землю по максимальному напряжению нулевой последовательности;
- порт связи RS 485 для подключения к локальной сети.

Описание конструкции и работы реле

На задней стенке устройства имеются зажимы для подключения внешних цепей – трех линейных напряжений и напряжения нулевой последовательности, цепей от выходных реле, цепей к дискретным входам и к локальной сети по интерфейсу RS485.

Устройство УЗА-10В.2 имеет четыре выходных реле.

Выходное реле RL1 – выходное реле первой ступени защиты минимального напряжения. Реле имеет 2 независимых выходных контакта.

Выходное реле RL2 используется как выходное второй ступени защиты минимального напряжения.

Выходное реле RL3 – выходное реле защиты максимального напряжения

Выходное реле RL4 – выходное реле защиты по напряжению нулевой последовательности.

Контакты выходных реле RL1, RL2 после срабатывания остаются замкнутыми в течение 0,3 с после исчезновения пускового сигнала

Устройство УЗА-10В.2 имеет 4 дискретных входа. Питание этих входов может осуществляться от источника питания реле, если управление выполняется «сухим» контактом, или может быть подано внешнее напряжение при «потенциальном» управлении входом.

Дискретный вход №1 используется для блокировки работы первой ступени защиты минимального напряжения.


Дискретный вход №2 для блокировки работы второй ступени защиты минимального напряжения.

Дискретный вход №3 используется для индикации подачи сигнала на вход.

Дискретный вход №4 используется для индикации подачи сигнала на его вход.

Для оперативного оповещения оператора о состоянии устройства, УЗА-10В.2 имеет 8 независимых светодиодных индикаторов: 4 из них фиксируют срабатывание степеней защиты ЗМН1, ЗМН2, максимального напряжения и максимального напряжения нулевой последовательности, пятый светодиод сигнализирует о блокировании ЗМН, шестой и седьмой фиксирует появление сигнала на входе 3 и 4 соответственно, последний фиксирует исправность устройства: при наличии оперативного напряжения и исправном устройстве светодиод светится. Светодиодные индикаторы могут работать в 2 режимах: режим индикации – светодиод горит при наличии сигнала и гаснет после его исчезновения, и режим фиксации – светодиод загорается при появлении сигнала и остается горящим до его квитирования кнопкой «ВВОД» на лицевой панели.

Для ручной работы оператора используется лицевая панель, на которой размещены средства оперативного взаимодействия оператора с устройством защиты: клавиатура и система индикации.

Для выбора режимов работы и отображения информации, а также программирования устройства используются пять основных клавиш: клавиши «ВПРАВО», «ВЛЕВО», «ВНИЗ», «ВВЕРХ», обеспечивают движение в меню в нужном направлении; клавиша  (ВВОД) - производит ввод набранных данных и снятие фиксации сработавших светодиодов.

Для отображения информации во всех режимах работы устройства используется жидкокристаллический индикатор (2 строчки по 16 алфавитно-цифровых символов) с подсветкой, что позволяет считывать информацию при любой освещенности. В нормальном режиме индицируется напряжение фаз «АВ». Подсветка загорается на 1 минуту при нажатии любой клавиши управления. При погашенном индикаторе и первом нажатии клавиши «ВВОД» загорается подсветка, второе нажатие производит возврат индикации в исходное состояние.

Лицевая панель дает возможность пользователю передвигаться по меню для доступа к данным, изменять уставки и считывать измерения. Для считывания сообщений пароль не требуется, однако любое изменение уставок может проводиться только после ввода пароля.

УЗА-10В.2 постоянно измеряет напряжения фаз и индицирует фактическое действующее их значение вплоть до 10 гармоники.

УЗА-10В.2 может быть включено в локальную сеть посредством стандартного порта RS485, расположенного на задней стенке. Протокол связи MODBUS RTU. Вся хранящаяся информация (измерения, сигнализации, параметры) может быть считана и изменена с помощью канала передачи информации.

Ознакомиться и изменить эти данные можно при помощи обычного персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения.

Связь через порт RS485 обеспечивает соединение с цифровой системой управления (например, S+. Все имеющиеся данные в устройстве передаются диспетчеру и могут обрабатываться по месту или дистанционно.

Уставки

Уставки даны для номинального линейного напряжения 100В.

Для номинальных напряжений 220 и 380 В значения увеличиваются пропорционально.

1 степень защиты минимального напряжения.

U< напряжение срабатывания:	20-80 В, шаг 1В
Выдержка времени t U<:	(0.0 ÷ 10.0)с, шаг 0.1с
Время мгновенного срабатывания	< 100 мс
Коэффициент возврата	1,05 ÷ 1,1

Защита минимального напряжения 2 степень

U<< напряжение срабатывания:	30-90 В, шаг 1В
Выдержка времени t U<<:	(0.0 ÷ 10.0)с, шаг 0.1с
Время мгновенного срабатывания	< 100 мс
Коэффициент возврата	1,05 ÷ 1,1

Защита повышения напряжения

U> напряжение срабатывания:	60-150В, шаг 1В
Выдержка времени t U> :	(0.0 ÷ 10.0)с, шаг 0.1с
Время мгновенного срабатывания	< 100 мс
Коэффициент возврата	0.9 ÷ 0.95

Защита от замыканий на землю

Uo>:	15-60 В, шаг 1В
Выдержка времени tUo>:	(0.0 ÷ 10.0)с, шаг 0.1с
Время мгновенного срабатывания	< 100 мс
Коэффициент возврата	0.9 ÷ 0.95

Напряжение питания

Диапазон напряжения питания	(100 ÷ 250)В (~/=)
Пульсация	12%
Допустимое время перерыва питания, не менее	500 мс
Потребляемая мощность	3 Вт (3 ВА) + 0,25 Вт (0,25 ВА) на каждое сработавшее реле
Время готовности, не более	300 мс

Измерительные входы

Фазы АВ, ВС, СА	0-150 В
Вход 3Uo	0-200 В
Потребляемая мощность измерительных цепей	0.3 ВА/фазу
Диапазон частоты	(45 ÷ 65) Гц
Номинальная	(50 ÷ 60) Гц

Дискретные входы

Четыре дискретных входа	Вход 1, Вход 2, Вход 3, Вход 4
Тип дискретных входов	Независимые, изолированные
Время распознавания	50 мс
Диапазон напряжения питания	170 ÷ 250 В (пост./выпр.)
Допустимое отклонение напряжения от номинального	+/- 20%
Пульсация	12%
Потребляемая мощность	1,5 Вт на вход

Выходные реле

Четыре выходных реле	Нормально открыты
Устойчивость (0.2с)	20А
Номинальный ток	5А

Разрывная способность контактов

250В (=), 0.4А (L/R=30мс)

220 В (~), 5 А (cos φ =0.6)

Последовательный интерфейс

Порт RS 485

Тип

Протокол

Скорость передачи

Порт на задней панели реле, витая пара

Изолированная, полудуплекс

MODBUS™ RTU

1200 ÷ 9600 бод (программируется)

Точность индикации

Напряжений фаз 2%

Напряжения 3U₀ не хуже 3%

4 ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

4.1 ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Устройство и схема включения ТТ показаны на рис. 4.1. ТТ состоит из стального сердечника C и двух обмоток: первичной (с числом витков w_1) и вторичной (с числом витков w_2). Часто ТТ изготавливаются с двумя и более сердечниками. В таких конструкциях первичная обмотка является общей для всех сердечников (рис. 4.1, б). Первичная обмотка, выполняемая толстым проводом, имеет несколько витков и включается последовательно в цепь того элемента, в котором производится измерение тока, или защита которого осуществляется. К вторичной обмотке, выполняемой проводом меньшего сечения и имеющей большое число витков, подключаются последовательно соединенные реле и приборы.

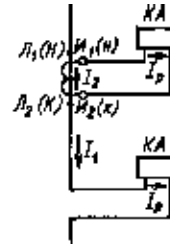
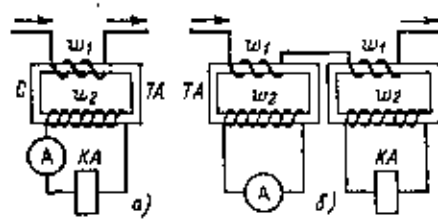


Рис. 4.1 Устройство и схема включения трансформаторов тока;

а – с одним сердечником;
б – с двумя

Рис. 4.2 Маркировка (обозначение) выводов обмоток трансформаторов тока

Ток, проходящий по первичной обмотке ТТ, называется первичным и обозначается I_1 , а ток во вторичной обмотке называется вторичным и обозначается I_2 . Ток I_1 создает в сердечнике ТТ магнитный поток Φ_1 , который, пересекая витки вторичной обмотки, индуцирует в ней вторичный ток I_2 , также создающий в сердечнике магнитный поток Φ_2 , но направленный противоположно магнитному потоку Φ_1 . Результирующий магнитный поток в сердечнике равен разности:

$$\Phi_0 = \Phi_1 - \Phi_2 \quad (4.1)$$

Магнитный поток зависит не только от значения создающего его тока, но и от количества витков обмотки, по которой этот ток проходит. Произведение тока на число витков $F = Iw$ называется **магнитодвижущей силой** и выражается в амперах (А). Поэтому выражение можно заменить выражением:

$$F_0 = F_1 - F_2 \quad (4.2)$$

или

$$I_0 w_1 = I_1 w_1 - I_2 w_2 \quad (4.3)$$

где

I_0 – ток намагничивания, являющийся частью первичного тока, обеспечивает результирующий магнитный поток в сердечнике (в дальнейшем обозначается $I_{нам}$);

w_1, w_2 – число витков первичной и вторичной обмоток.

Разделив все члены выражения на w_2 , получим:

$$I_{\text{нам}} \cdot (w_1/w_2) = I_1(w_1/w_2) \text{ или } I_1(w_1/w_2) = I_2 + I_{\text{нам}}(w_1/w_2) \quad (4.4)$$

Отношение витков $w_2/w_1 = K_I$ называется коэффициентом трансформации.

Поскольку при значениях первичного тока, близких к номинальному, ток намагничивания не превышает 0,5—3% номинального тока, то в этих условиях можно с некоторым приближением считать $I_{\text{нам}} = 0$. Тогда из выражения (4.4) следует:

$$\frac{I_1}{I_2} = K_I \quad (4.5)$$

Согласно действующему стандарту отношение номинального первичного тока к номинальному вторичному току называется номинальным коэффициентом трансформации. Номинальные коэффициенты трансформации указываются на щитках ТТ, а также на схемах в виде дроби, в числителе которой – номинальный первичный ток, а в знаменателе – номинальный вторичный ток, например: 600/5 или 1000/1. Определение вторичного тока по известному первичному и, наоборот, производится по номинальным коэффициентам трансформации в соответствии с формулами:

$$I_2 = I_1 K_I; \quad I_1 = I_2 K_I \quad (4.6)$$

Для правильного соединения ТТ между собой и правильного подключения к ним реле направления мощности, ваттметров и счетчиков выводы обмоток ТТ обозначаются (маркируются) заводами-изготовителями следующим образом: начало первичной обмотки – L_1 , начало вторичной обмотки – u_1 , конец первичной обмотки – L_2 , конец вторичной обмотки – u_2 . При монтаже ТТ они обычно располагаются так, чтобы начала первичных обмоток L_1 были обращены в сторону шин, а концы L_2 – в сторону защищаемого оборудования.

При маркировке обмоток ТТ за начало вторичной обмотки Н: принимается тот ее вывод, из которого ток выходит, если в этот момент в первичной обмотке ток проходит от начала H к концу K , как показано на рис. 4.2. При включении реле КА по этому правилу, ток в реле, как показано на рис. 4.2, при включении его через ТТ сохраняет то же направление, что и при включении непосредственно в первичную цепь.

Погрешности трансформаторов тока. Коэффициент трансформации ТТ так же, как у ТН, не является строго постоянной величиной и может из-за погрешностей отличаться от номинального значения. Погрешности ТТ зависят главным образом от кратности первичного тока по отношению к номинальному току первичной обмотки и от нагрузки, подключенной к вторичной обмотке. При увеличении нагрузки или тока выше указанных значений погрешность возрастает и ТТ переходит в другой класс точности.

Для измерительных приборов погрешность относится к зоне нагрузочных токов $0,2 - 1,2 I_{\text{ном}}$. Эта погрешность именуется классом точности и может быть равна 0,2; 0,5; 1,0; 3,0.

Требования к работе ТТ, питающих защиту, существенно отличаются от требований к ТТ, питающим измерительные приборы. Если ТТ, питающие измерительные приборы, должны работать точно в пределах своего класса при токах нагрузки, близких к их номинальному току, то ТТ, питающие релейную защиту, должны работать с достаточной точностью при прохождении токов КЗ, значительно превышающих номинальный ток ТТ.

Правила устройств электроустановок требуют, чтобы ТТ, предназначенные для питания релейной защиты, имели погрешность, как правило, не более 10%. Большая погрешность допускается в отдельных случаях, когда это не приводит к неправильным действиям релейной защиты. Погрешности возникают вследствие того, что действительный процесс трансформации в ТТ происходит с затратой мощности, которая расходуется на создание в сердечнике магнитного потока, перемагничивание стали сердечника (гистерезис), потери от вихревых токов, нагрев обмоток.

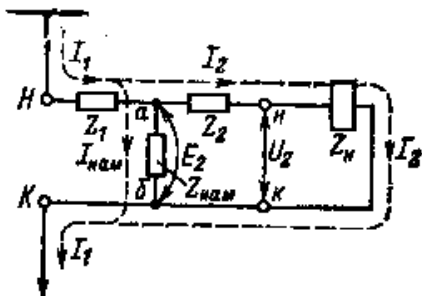


Рис. 4.3 Схема замещения трансформатора тока

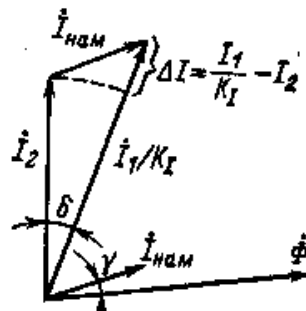


Рис. 4.4 Упрощенная векторная диаграмма трансформатора тока

Процесс трансформации тока хорошо иллюстрируется схемой замещения ТТ, приведенной на рис. 4.3. На этой схеме Z_1 и Z_2 – сопротивления первичной и вторичной обмоток, а $Z_{нам}$ – сопротивление ветви намагничивания, которое характеризует указанные выше потери мощности.

Из схемы замещения видно, что первичный ток I_1 входящий в начало первичной обмотки H , проходит по ее сопротивлению Z_1 и в точке a разветвляется по двум параллельным ветвям. Основная часть тока, являющаяся вторичным током I_2 , замыкается через сопротивление вторичной обмотки Z_2 и сопротивление нагрузки Z_H , состоящее из сопротивлений реле, приборов и соединительных проводов. Другая часть первичного тока $I_{нам}$ замыкается через сопротивление ветви намагничивания и, следовательно, в реле, подключенное к вторичной обмотке ТТ, не попадает. Поскольку из всех затрат мощности наибольшая часть приходится на создание магнитного потока в сердечнике, то ветвь между точками a и b схемы замещения ТТ называется ветвью намагничивания и весь ток $I_{нам}$, проходящий по этой ветви, – током намагничивания.

Таким образом, схема замещения показывает, что во вторичную обмотку ТТ поступает не весь трансформированный первичный ток, равный I_1/K_I , а его часть, и что, следовательно, процесс трансформации происходит с погрешностями.

На рис. 4.4 приведена упрощенная векторная диаграмма ТТ из которой видно, что вектор вторичного тока I_2 меньше значения первичного тока, деленного на коэффициент трансформации K_I на величину ΔI и сдвинут относительно него на угол δ . Таким образом, соотношение значений первичного и вторичного токов в действительности имеет вид:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_1 - \dot{I}_{нам}}{K_I} \quad (4.7)$$

Различают следующие виды погрешностей ТТ. Токовая погрешность, или погрешность в коэффициенте трансформации, определяется как арифметическая разность первичного тока, поделенного на номинальный коэффициент трансформации I_1/K_I , и измеренного (действительного) вторичного тока I_2 (отрезок ΔI на диаграмме рис. 4.4):

$$\Delta I = \frac{I_1}{K_I} - I_2 \quad (4.8)$$

Токовая погрешность, %,

$$f = \frac{\Delta I}{I_1 K_I} 100 \quad (4.9)$$

Угловая погрешность определяется как угол δ сдвига вектора вторичного тока I_2 относительно вектора первичного тока I_1 (см. рис. 4.4) и считается положительной, когда I_2 опережает I_1 .

Полная погрешность (ε) определяется как выраженное в процентах отношение действующего значения разности мгновенных значений первичного и вторичного токов к действующему значению первичного тока.

При синусоидальных первичном и вторичном токах: $\varepsilon = I_{\text{нам}}$. Из рассмотренного следует, что причиной возникновения погрешностей у трансформаторов тока является прохождение тока намагничивания, т. е. того самого тока, который создает в сердечнике ТТ рабочий магнитный поток, обеспечивающий трансформацию первичного тока во вторичную обмотку. Чем меньше ток намагничивания, тем меньше погрешности ТТ.

Как видно из схемы замещения (рис. 4.3), ток намагничивания зависит от ЭДС E_2 и сопротивления ветви намагничивания $Z_{\text{нам}}$.

Электродвижущая сила E_2 может быть определена как падение напряжения от тока I_2 в сопротивлении вторичной обмотки Z_2 и сопротивлении нагрузки Z_n т. е.:

$$E_2 = I_2(Z_2 + Z_n) \quad (4.10)$$

Сопротивление ветви намагничивания $Z_{\text{нам}}$ зависит от конструкции трансформаторов тока и качества стали, из которой выполнен сердечник. Это сопротивление не является постоянным, а зависит от характеристики намагничивания стали. При насыщении стали сердечника ТТ, $Z_{\text{нам}}$ резко уменьшается, что приводит к возрастанию $I_{\text{нам}}$ и как следствие этого к возрастанию погрешностей ТТ.

Таким образом, условиями, определяющими погрешности трансформаторов тока, являются: отношение, т. е. кратность, первичного тока, проходящего через ТТ, к его номинальному току и нагрузка, подключенная к его вторичной обмотке.

Схемы соединения трансформаторов тока

Для подключения реле и измерительных приборов вторичные обмотки ТТ соединяются в различные схемы. Наиболее распространенные схемы приведены на рис. 4.5.

На рис. 4.5, а дана основная схема соединения в звезду, которая применяется для включения защиты от всех видов однофазных и междуфазных КЗ; на рис. 4.5, б – схема соединения в неполную звезду, используемая главным образом для включения защиты от междуфазных КЗ в сетях с изолированными нулевыми точками; на рис. 4.5, в – схема соединения в треугольник, используемая для получения разности фазных токов (например, для включения дифференциальной защиты трансформаторов); на рис. 4.5, г – схема соединения на разность токов двух фаз. Эта схема используется для включения защиты от междуфазных КЗ, так же как схема на рис. 4.5, б на рис. 4.5, д – схема соединения на сумму токов всех трех фаз, используемая для включения защиты от однофазных КЗ и замыканий на землю.

На рис. 4.5, е дана схема последовательного соединения двух трансформаторов тока, установленных на одной фазе. При таком соединении нагрузка, подключенная к ним, распределяется поровну, т. е. на каждом из них уменьшается в 2 раза. Происходит это потому, что ток в цепи, равный $I_2 = \frac{I_1}{K_I}$, остается неизменным, а напряжение, приходящееся на каждый ТТ, составляет половину общего.

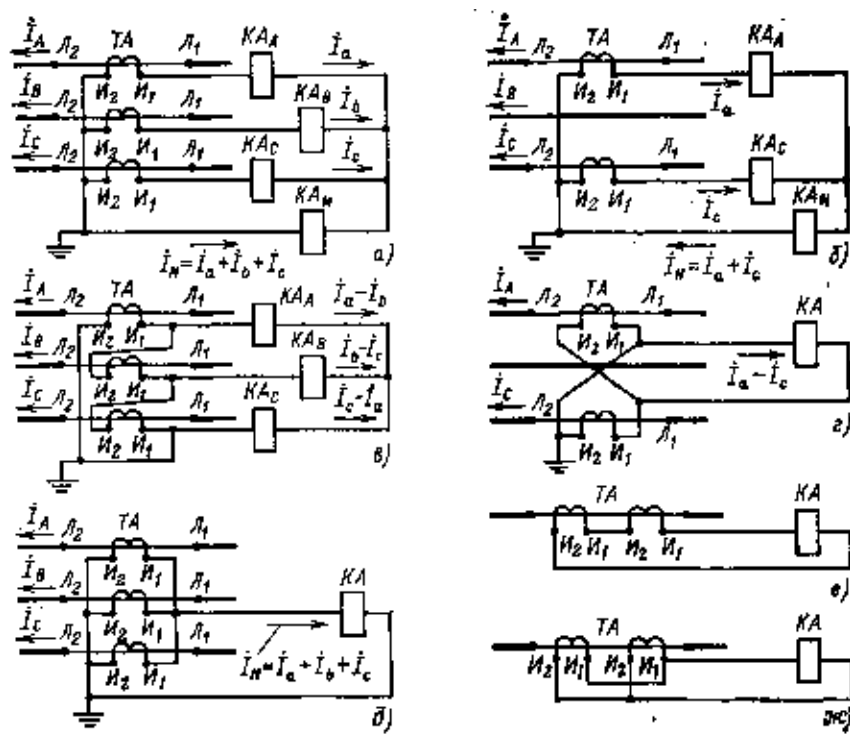


Рис. 4.5 Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока

Рассмотренная схема применяется при использовании маломощных ТТ (например, встроенных в вводы выключателей и трансформаторов).

На рис. 4.5, ж дана схема параллельного соединения двух ТТ, установленных на одной фазе. Коэффициент трансформации этой схемы в 2 раза меньше коэффициента трансформации одного ТТ.

Схема параллельного соединения используется для получения нестандартных коэффициентов трансформации. Например, для получения коэффициента трансформации 37,5/5 соединяют параллельно два стандартных ТТ с коэффициентом трансформации 75/5.

Выбор трансформаторов тока

Исходные данные. Все трансформаторы тока выбираются, как и другие аппараты, по номинальному току и напряжению установки и проверяются на термическую и электродинамическую стойкость при КЗ. Кроме того, ТТ, используемые для включения релейной защиты, проверяются на значение погрешности, которая, как указывалось выше, не должна превышать 10% по току и 7° по углу. Для проверки по этому условию в информационных материалах заводов – поставщиков ТТ и в другой справочной литературе даются характеристики и параметры ТТ:

- 1) *кривые зависимости 10 %-ной кратности m от сопротивления нагрузки Z_K , подключенной к вторичной обмотке ТТ.* Десятипроцентной кратностью m называется отношение, т. е. кратность, первичного тока, проходящего через ТТ, к его номинальному току, при которой токовая погрешность ТТ составляет 10% при заданной нагрузке Z_H . Угловая погрешность при этом достигает 7° (рис. 4.15).

Таким образом, зная кратность первичного тока, проходящего через ТТ, можно по кривым 10%-ной кратности для данного типа ТТ определить допустимую нагрузку $Z_{H.доп.}$, при которой погрешность ТТ не будет превышать 10%. И, наоборот, зная действительное значение нагрузки, которая подключена (или должна быть подключена) к вторичной обмотке ТТ Z_H , можно по кривым 10%-ной кратности определить допустимую кратность первичного тока $m_{доп.}$ при которой токовая погрешность ТТ также не будет превышать 10%.

- 2) *кривые зависимости предельной кратности K_{10} от сопротивления нагрузки Z_H , подключенной к вторичной обмотке* (для трансформаторов тока, выпущенных в соответствии с ГОСТ 7746-78 *Е). Согласно указанному ГОСТ предельной кратностью K_{10} называется наибольшее отношение, т. е. наибольшая кратность, первичного тока, проходящего через ТТ, к его номинальному току, при которой полная погрешность ТТ (ε) при заданной вторичной нагрузке не превышает 10%. При этом гарантируемая предельная кратность при номинальной вторичной нагрузке $Z_{H.ном.}$ называется номинальной предельной кратностью.

Аналогично рассмотренному выше, можно, пользуясь кривыми предельной кратности, определить либо допустимую нагрузку по известной кратности первичного тока, либо допустимую кратность первичного тока по известной нагрузке, при которых полная погрешность ТТ не будет превышать 10%.

- 3) типовые кривые намагничивания, представляющие собой зависимость максимальных значений индукции (B) в сердечнике от действующих значений напряженности магнитного поля H при средней длине магнитного пути; определенном сечении сердечника; (номинальном значении магнитодвижущей силы (А)).

$$B_{max} = \frac{E_2}{4,44 f \omega_2 S} \quad (4.11)$$

Напряженность магнитного поля (А/см) выражается формулой:

$$H = \frac{I_{нам} \omega_2}{l} \quad (4.12)$$

где

$I_{нам}$ – намагничивающий ток, А;

l – средняя длина магнитного пути, см.

Таким образом, эта характеристика является характеристикой железа, из которого сделан ТТ, а для конкретного трансформатора тока она пересчитывается в вольт-амперную с учетом числа витков и геометрических размеров сердечника.

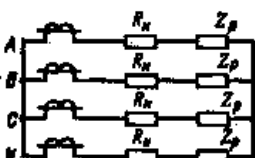
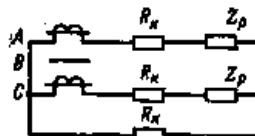
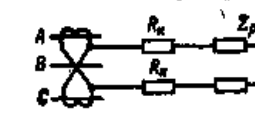
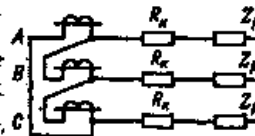


Определив B по указанной формуле, по кривой намагничивания определяют H , ток намагничивания $I_{нам}$ а затем вторичный ток ТТ:

$$I_2 = \frac{I_1}{K_I} - I_{нам} \quad (4.13)$$

Следует иметь в виду, что ГОСТом допускается 20% отклонение характеристик от типовой. Поэтому рассчитанную характеристику нужно понизить по напряжению на 20%.

- 4) *Действительные характеристики намагничивания* (называются ниже вольт-амперными), представляющие собой зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки ТТ U_2 от проходящего по этой обмотке тока намагничивания, т.е. $U_2 = f(I_{нам})$. Пользуясь действительными характеристиками намагничивания, можно также определить $I_{нам}$ и I_2 и оценить допустимость полученной погрешности. Эта характеристика снимается непосредственно на используемом трансформаторе тока.

Таблица 4.1

	Схема соединений трансформаторов тока и реле	Вид короткого замыкания	Формулы для определения сопротивления нагрузки на зажимах вторичных обмоток
1	<p>Соединение в звезду</p> 	Трехфазное и двухфазное	$Z_H = R_H + Z_p + R_{пер}$
		Однофазное	$Z_H = 2R_H + Z_p + Z_{p, o} + R_{пер}$
	Соединение в неполную звезду	Трехфазное	$Z_H = \sqrt{3} R_H + Z_p + R_{пер}$
2		Двухфазное AB или BC	$Z_H = 2R_H + Z_p + R_{пер}$
		Двухфазное AC	$Z_H = R_H + Z_p + R_{пер}$
3	<p>Соединение на разность токов двух фаз</p> 	Трехфазное	$Z_H = \sqrt{3} (2R_H + Z_p) + R_{пер}$
		Двухфазное AC	$Z_H = 4R_H + 2Z_p + R_{пер}$
		Двухфазное AB или BC	$Z_H = 2R_H + Z_p + R_{пер}$
4	<p>Соединение в треугольник</p> 	Трехфазное и двухфазное	$Z_H = 3(R_H + Z_p) + R_{пер}$
		Однофазное	$Z_H = 2(R_H + Z_p) + R_{пер}$
5	<p>Последовательное соединение двух ТТ одной фазы</p> 	—	$Z'_H = 0,5Z_H$
6	<p>Параллельное соединение двух ТТ одной фазы</p> 	—	$Z'_H = 2Z_H$

Примечания: 1. В формулы по пп. 1–4 должно подставляться наибольшее значение (для наиболее загруженной фазы).

2. В формулах по пп. 5 и 6 значение Z_H подсчитывается по формулам пп. 1–4.

Нагрузка вторичной обмотки трансформаторов тока. Нагрузка вторичной обмотки ТТ складывается из последовательно включенных сопротивлений: реле, приборов, жил контрольного кабеля, переходного сопротивления в месте контактных соединений:

$$Z_H = Z_p + Z_{np} + Z_{каб} + Z_{пер} \quad (4.14)$$

где

$Z_p, Z_{np}, Z_{каб}, Z_{пер}$ – сопротивления реле, приборов, кабеля переходных контактов соответственно.

Для упрощения расчетов производится арифметическое а не геометрическое сложение полных и активных сопротивлений. Нагрузка вторичной обмотки ТТ зависит также от схемы их соединения и вида КЗ. Поэтому нагрузка должна определяться для наиболее загруженного ТТ с учетом схемы соединения и для такого вида КЗ, при котором получаются наихудшие результаты.

Расчетные формулы для наиболее распространенных схем соединения вторичных обмоток ТТ и при различных видах КЗ приведены в табл. 4.1

Определение допустимой нагрузки на трансформаторы тока

Допустимая нагрузка на ТТ определяется, исходя из следующих требований: обеспечения точности измерительных органов релейной защиты при КЗ в расчетных точках электрической сети (полная погрешность ТТ ε не должна превышать 10 %) для токовых защит при токе уставки, для дифзащиты – в конце зоны действия; для предотвращения отказа срабатывания защиты при наибольших значениях тока КЗ – нормируется для электромеханических защит при КЗ в зоне установки защиты.

Проверка трансформаторов тока по действительным характеристикам намагничивания производится в следующем порядке:

- 1) Определяется фактическая нагрузка Z_H подключенная к вторичной обмотке с учетом формул, приведенных в таблице 4.1;
- 2) определяется расчетный первичный и вторичный токи КЗ которые равны максимальному току КЗ в конце защищаемой зоны (для токовых отсечек ток КЗ равен уставке отсечки);
- 3) Определяется расчетный ток намагничивания, равный $I_{2нам.расч.} = 0,1I_{2КЗ рас.}$
- 4) Строится наиболее низкая характеристика намагничивания проверяемых ТТ $U_2 = f(I_{нам})$ и по этой характеристике и полученному выше току намагничивания определяется соответствующее ему значение напряжения U_2 ;
- 5) Определяется допустимое сопротивление нагрузки, при котором погрешность ТТ не будет превышать 10 % по значению и 7° по углу, по формуле.

$$Z_{H1 доп} = \frac{U_2 - I_{2 рас} Z_1}{0,9 I_{2 рас}} \quad (4.15)$$

Для того чтобы погрешность трансформатора тока не превышала допустимых 10%, рассчитанная в п. 1) нагрузка на его вторичную обмотку не должна превышать значения Z_H определенного в п. 5).

Пример: Пусть требуется определить погрешности ТТ типа ТПФ–1 3, 200/5 при одинаковой нагрузке на его вторичные обмотки $Z_H = 1$ Ом. Сопротивление вторичной обмотки $Z_2 = 0,3$ Ом для обмотки класса 1 и $Z_2 = 0,4$ Ом для обмотки класса 3. Расчетный первичный ток $I_{рас} = 2000$ А.

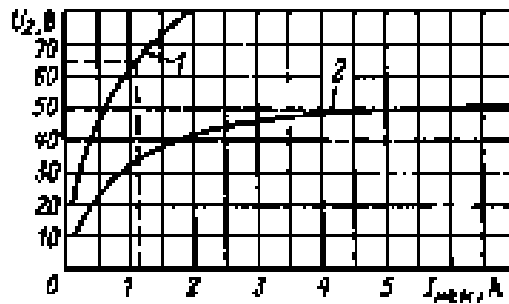


Рис. 4.6 Характеристика намагничивания трансформатора тока типа ТПФ-1/3,200/5:

1 – сердечник первого класса;

2 – сердечник третьего класса

1. Определяется расчетный вторичный ток:

$$I_{2\text{pac}} = \frac{I_{1\text{pac}}}{K_I} = \frac{2000}{200/5} = 50 \text{ A}$$

2. Строятся характеристики намагничивания обоих сердечников ТТ (рис. 4.6).
3. Определяются ЭДС вторичных обмоток по формуле

$$E_2 = I_{2\text{pac}}(Z_2 + Z_H) \quad (4.16)$$

Для сердечника класса 1 – $E_2 = 50 (0,3 + 1) = 65 \text{ В}$.

Для сердечника класса 3 – $E_2 = 50 (0,4 + 1) = 70 \text{ В}$.

4. Принимая $E_2 = U_2$ поскольку значения их отличаются незначительно, по характеристикам намагничивания, приведенным на рис. 4.16, определяют ток намагничивания.

Для сердечника класса 1 ток намагничивания при напряжении 65 В составляет $I_{\text{нам}} = 1,1 \text{ А}$. Таким образом, во вторичной обмотке будет проходить не 50, а $50 - 1,1 = 48,9 \text{ А}$. и погрешность

ТТ составит $f = \frac{1,1}{50} \cdot 100 = 2,2 \%$.

Расчетная ЭДС сердечника класса 3 составляет 70 В. Однако из характеристики намагничивания этого сердечника видно, что начиная с тока намагничивания, равного примерно 5,5 А, происходит его насыщение, вследствие чего напряжение на вторичной обмотке остается неизменным и равным примерно 51 В. Поэтому вторичный ток будет равным:

$I_2 = \frac{51}{0,4 + 1} = 36,5 \text{ А}$, при этом погрешность сердечника класса 3 составит:

$f = \frac{50 - 36,5}{50} 100 = 27 \%$.

Распределение токов при двухфазном КЗ за трансформатором со схемой Y/Δ

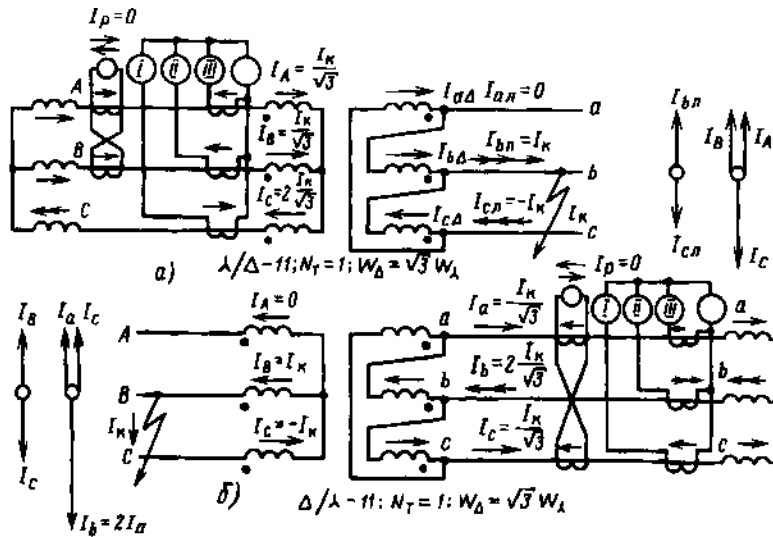


Рис. 4.7 Токораспределение и векторные диаграммы токов при двухфазных КЗ за трансформаторами с соединением обмоток: а – Y/Δ ; б – Δ/Y

Особым случаем по характеру токораспределения являются двухфазные КЗ за трансформаторами с соединением обмоток Y/Δ или Δ/Y .

Токораспределение на стороне звезды трансформатора с соединением обмоток Y/Δ (рис. 4.7, а) при КЗ на стороне треугольника. Для простоты принимается, что коэффициент трансформации трансформатора $N_T = 1$. При этом отношение линейных токов обмоток с соединением Y/Δ равно 1, а токов в фазах

$$I_Y/I_{\Delta} = w_{\Delta}/w_Y = \sqrt{3} \quad (4.17)$$

При двухфазном КЗ на стороне треугольника, например между фазами b и c (рис. 4.7, а), ток в неповрежденной фазе $I_a = 0$, а токи в поврежденных фазах b и c равны току КЗ, т. е.

$$I_c = -I_b = I_k \quad (4.18)$$

Как видно из рис. 4.7, а, в треугольнике ток I_k делится на две части: одна замыкается по обмотке фазы c и другая – по последовательно включенным обмоткам фаз b и c . Поскольку сопротивление второй цепи в 2 раза больше, чем первой, ток в обмотке фазы c равен $2/3 I_k$, а в обмотках a и b – $1/3 I_k$.

Токи на стороне звезды соответствуют токам в обмотках одноименных фаз треугольника и превышают их с учетом (4.18) в $\sqrt{3}$ раз:

$$I_A = I_{a\Delta} \sqrt{3} = I_k \cdot \sqrt{3}/3 = I_k/3 \quad (4.19)$$

$$I_B = I_{b\Delta} \sqrt{3} = I_k/3 \quad (4.20)$$

$$I_C = I_{c\Delta} \sqrt{3} = I_k \cdot 2/3 \quad (4.21)$$

При КЗ между фазами ab и ca картина распределения токов будет аналогичной. Таким образом, при двухфазном КЗ на стороне треугольника трансформатора, токи на стороне звезды появляются во всех трех фазах. В двух фазах они равны и одинаково направлены. В третьей фазе ток противоположен первым двум и равен их сумме, т.е. в 2 раза больше каждого из них.

Токораспределение на стороне треугольника при двухфазном КЗ за трансформатором с соединением обмоток Δ/Y (рис. 4.7, б). Распределение и соотношение токов на стороне треугольника получается аналогично предыдущему случаю на стороне звезды. Анализ условий работы максимальных токовых РЗ (МТЗ), подключенных к ТТ, соединенным по разным схемам, при КЗ за трансформатором Y/Δ (или Δ/Y) показывает:

- 1) в схеме полной звезды (рис. 3.19, б) в одной фазе схемы появляется ток $(2/\sqrt{3}) \cdot (I_k/K_I)$ а в двух других $(1/\sqrt{3}) \cdot (I_k/K_I)$, сумма токов в нулевом проводе равна нулю. Реле I, II, III действуют, но два из них имеют в 2 раза меньшую чувствительность, чем третье;
- 2) в схеме неполной звезды ток проходит по обеим фазам и обратному проводу, в последнем он равен геометрической сумме токов указанных фаз или току фазы, отсутствующей в схеме.

Если ТТ окажутся на фазах с меньшими первичными токами: $(1/\sqrt{3}) \cdot (I_k/K_I)$, то в таком случае условие чувствительности будет в 2 раза хуже, чем в схеме полной звезды. Для устранения этого недостатка следует использовать реле в обратном проводе, где проходит сумма токов фаз, равная току КЗ в третьей фазе:

$$I_{0Л} = \frac{I_k}{\sqrt{3}K_I} + \frac{I_k}{\sqrt{3}K_I} = \frac{2I_k}{\sqrt{3}K_I} \quad (4.22)$$

- 3) в схеме с включением одного реле на разность токов двух фаз ток в реле в случае, показанном на рис. 4.7, а, б, будет отсутствовать;
- 4) в схеме соединения трех трансформаторов тока в треугольник и трех реле в звезду (на рисунке не показано, восстанавливается распределение токов – в 2 фазах **ВС** и **СА** течет ток I_k а в третьем реле ток отсутствует.

4.2 ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ

Трансформатор напряжения (ТН) по принципу действия и конструктивному выполнению аналогичен силовому трансформатору. Как показано на рис. 4.8, трансформатор напряжения *TV* состоит из стального сердечника (магнитопровода) *C*, собранного из тонких пластин трансформаторной стали, и двух обмоток – первичной и вторичной, изолированных друг от друга и от сердечника.

Первичная обмотка w_1 имеющая большое число витков (несколько тысяч) тонкого провода, включается непосредственно в сеть высокого напряжения, а к вторичной обмотке w_2 имеющей меньшее количество витков (несколько сотен), подключаются параллельно реле и измерительные приборы. Под воздействием напряжения сети по первичной обмотке проходит ток, создающий в сердечнике переменный магнитный поток Φ , который, пересекая витки вторичной обмотки, индуцирует в ней ЭДС E , которая при разомкнутой вторичной обмотке (холостой ход ТН) равна напряжению на ее зажимах $U_{2х}$.

Напряжение $U_{2х}$ во столько раз меньше первичного напряжения U_1 , во сколько раз число витков вторичной обмотки w_2 меньше числа витков первичной обмотки w_1 .

$$\frac{U_1}{U_{2х}} = \frac{w_1}{w_2} \quad (4.23)$$

Отношение чисел витков обмоток называется коэффициентом трансформации и обозначается

$$K_U = w_1/w_2 \quad (4.24)$$

Введя такое обозначение, можно написать:

$$\frac{U_1}{U_{2х}} = K_U \quad (4.25)$$

Если ко вторичной обмотке ТН подключена нагрузка в виде реле и приборов, то напряжение на ее зажимах U_2 будет меньше ЭДС на величину падения напряжения в сопротивлении вторичной

обмотки. Однако поскольку это падение напряжения невелико, оно не учитывается и пересчет первичного напряжения на вторичное производится по формулам:

$$U_1 = U_1 K_U; \quad (4.26)$$

$$U_2 = \frac{U_1}{K_U}. \quad (4.27)$$

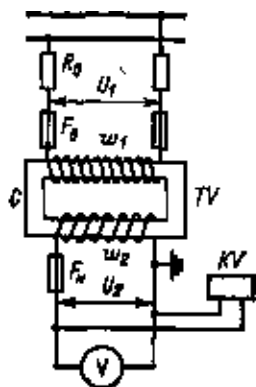


Рис. 4.8 Устройство и схема включения трансформатора напряжения

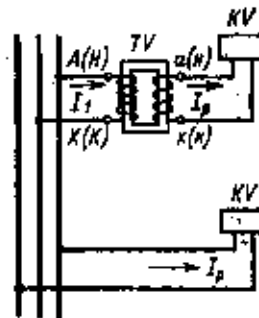


Рис. 4.9 Маркировка (обозначение) выводов обмоток трансформатора напряжения

Для правильного соединения между собой вторичных обмоток ТН и правильного подключения к ним реле направления мощности, ваттметров и счетчиков заводы-изготовители обозначают (маркируют) выводные зажимы обмоток определенным образом: начало первичной обмотки – *A*, конец – *X*; начало основной вторичной обмотки – *a*, конец – *x*; начало дополнительной вторичной обмотки – *a₀*, конец – *x₀*

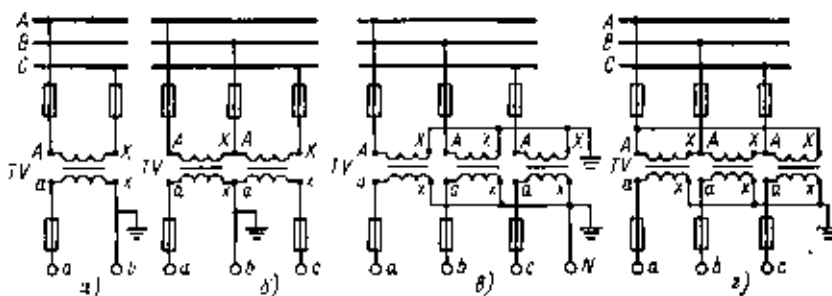


Рис. 4.10 Схемы соединения обмоток однофазных трансформаторов напряжения с одной вторичной обмоткой

На рис. 4.10 и 4.11 приведены основные схемы соединения обмоток однофазных ТН.

На рис. 4.10, а дана схема включения одного ТН на междуфазное напряжение. Эта схема применяется, когда для защиты или измерений достаточно одного междуфазного напряжения.

На рис. 4.10, б приведена схема соединения двух ТН в открытый треугольник, или в неполную звезду. Эта схема, получившая широкое распространение, применяется, когда для защиты или измерений нужно иметь два или три междуфазных напряжения.

На рис. 4.10, в приведена схема соединения трех ТН в звезду. Эта схема также получила широкое распространение и применяется, когда для защиты или измерений нужны фазные напряжения или же фазные и междуфазные напряжения одновременно.

На рис. 4.10 *в* приведена схема соединения трех ТН треугольник – звезда. Эта схема обеспечивает повышенное напряжение на вторичной стороне, равное ~ 173 В. Такая схема, в частности, используется для питания электромагнитных корректоров напряжения устройств автоматического регулирования возбуждения генераторов.

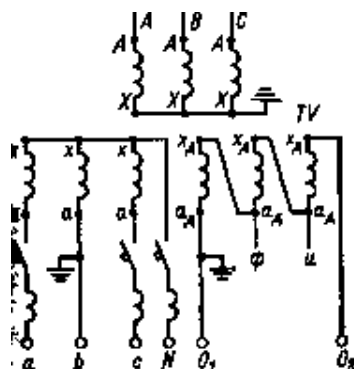


Рис. 4.11 Схема соединений обмоток трансформатора напряжения с двумя вторичными обмотками

На рис. 4.11 представлена схема соединения трансформаторов напряжения, имеющих две вторичные обмотки. Первичные и вторичные основные обмотки соединены в звезду, т.е. так же как в рассмотренной выше схеме на рис. 4.10, *в*. Дополнительные вторичные обмотки соединены в схему разомкнутого треугольника (на сумму фазных напряжений). Такое соединение применяется для получения напряжения нулевой последовательности, необходимого для включения реле напряжения и реле вправления мощности защиты от однофазных КЗ в сети с заземленными нулевыми точками трансформаторов и для сигнализации при однофазных замыканиях на землю в сети с изолированными нулевыми точками трансформаторов. Как известно, сумма трех фазных напряжений в нормальном режиме, а также при двух-трехфазных КЗ равна нулю. Поэтому в указанных условиях напряжение между точками $O_1—O_2$ на рис. 4.11 равно нулю (практически между этими точками имеется небольшое напряжение: 0,5–2 В, которое называется напряжением небаланса). При однофазном КЗ в сети с заземленными нулевыми точками трансформаторов (сети 110 кВ и выше) фазное напряжение поврежденной фазы становится равным нулю, а геометрическая сумма фазных напряжений двух неповрежденных фаз оказывается равном фазному напряжению.

В сети с изолированными нулевыми точками трансформаторов (сети 35 кВ и ниже) при однофазных замыканиях на землю напряжения неповрежденных фаз относительно земли становятся равными междуфазному напряжению, а их геометрическая сумма оказывается равной утроенному фазному напряжению. Для того чтобы в последнем случае напряжение на реле не превосходило номинального значения, равного 100 В, у ТН, предназначенных для сетей, работающих с изолированными нулевыми точками трансформаторов, вторичные дополнительные обмотки, соединяемые в схему разомкнутого треугольника, имеют увеличенные в 3 раза коэффициент трансформации, например 6000/100/3.

Напряжение нулевой последовательности может быть также получено от специальных обмоток трехфазных ТН. В конструкции, показанной на рис. 4.12, специальные обмотки расположены на крайних стержнях пятистержневого сердечника и соединены между собой последовательно. В нормальном режиме, а также при двух- и трех фазных КЗ, когда сумма фазных напряжений равна нулю, магнитный поток в крайних стержнях отсутствует, и поэтому напряжения на специальных обмотках нет. При однофазных КЗ или замыканиях на землю сумма фазных напряжений не равна нулю. Поэтому магнитный поток замыкается по крайним стержням и индуцирует напряжение на специальных обмотках. В другой конструкции, показанной на рис. 4.12, имеются дополнительные вторичные обмотки, расположенные на основных стержнях и соединенные в схему разомкнутого треугольника.

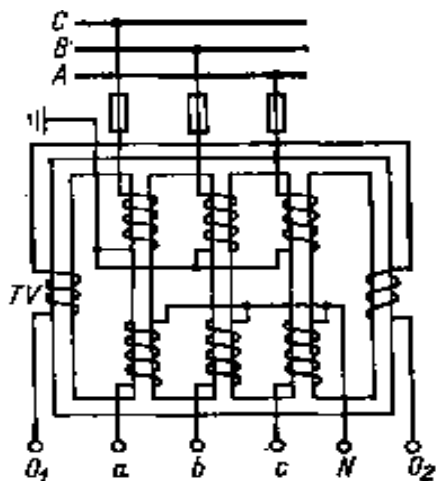


Рис. 4.12 Схема соединений обмоток трехфазного трансформатора напряжения с дополнительной обмоткой, расположенной на крайних стержнях.

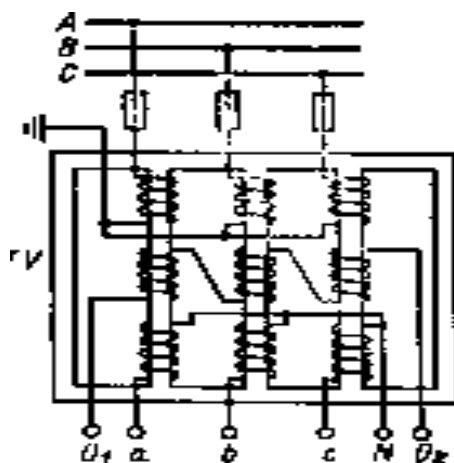


Рис. 4.13 Схема соединений обмоток трехфазного пятистержневого трансформатора напряжения с дополнительной обмоткой, расположенной на основных стержнях.

При включении первичных обмоток ТН на фазные напряжения они соединяются в звезду, нулевая точка которой обязательно соединяется с землей (заземляется), как показано на рис. 4.10, в; 4.11 – 4.13. Заземление первичных обмоток необходимо для того, чтобы при однофазных КЗ или замыканиях на землю в сети, где установлен ТН, реле и приборы, включенные на его вторичную обмотку, правильно измеряли напряжение фаз относительно земли. Вторичные обмотки ТН подлежат обязательному заземлению независимо от схемы их соединений. Это заземление является защитным, обеспечивающим безопасность персонала при попадании высокого напряжения во вторичные цепи. Обычно заземляется нулевая точка звезды (рис. 4.10, в и г) или один из фазных проводов (рис. 4.10, а и б, 4.11). В проводах, соединяющих точку заземления с обмотками ТН, не должно быть коммутационных и защитных аппаратов (рубильников) переключателей, автоматических выключателей, предохранителей и т. д.). Сечение заземляющего провода должно быть не менее 4 мм^2 (по меди).

Ниже приведены принципиальные схемы включения цепей напряжения к трансформаторам напряжения типа 3хЗНОЛ – 6(10) и НАМИТ – 6(10) – 2.

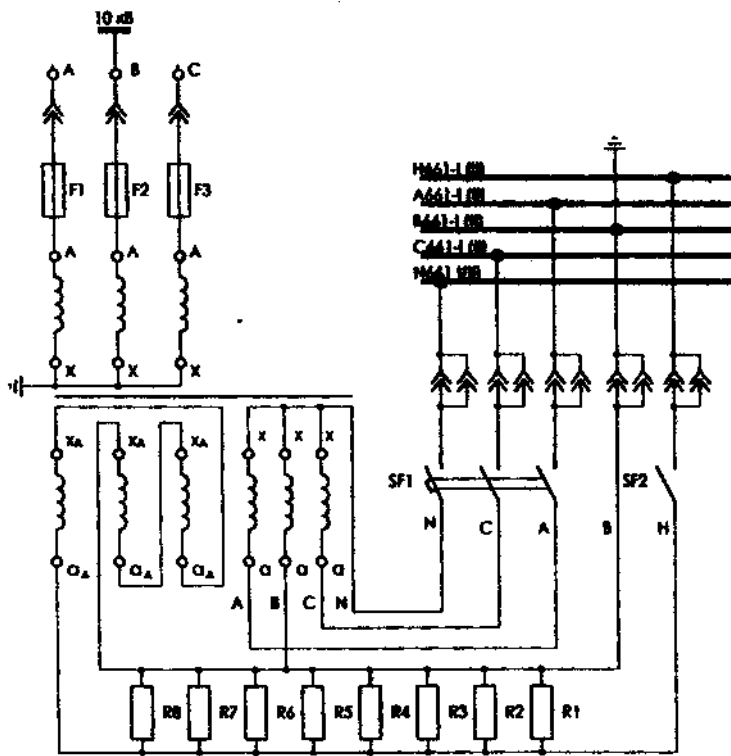
В схемах указаны меры, которые предпринимаются для защиты сети от самопроизвольного смещения нейтрали при феррорезонансе трансформатора напряжения. Феррорезонанс возникает в случае, когда емкость, какой либо фазы в сети компенсируется индуктивностью трансформатора напряжения, в этой фазе напряжение меняет знак и напряжение нейтрали приобретает величину $3U_\phi$. Такое явление может произойти при малой емкости сети – подаче напряжения на холостые шины или в случае, если общая длина подключенных кабелей меньше 3 км или воздушных линий меньше 60 км.

Резисторы **R1-R8** 200 Ом, 75 Вт предназначены для защиты от самопроизвольных смещений нейтрали при феррорезонансе ТН. В сети, где такая опасность отсутствует, резисторы устанавливать не требуется.

Для защиты от феррорезонансных перенапряжений в схемах с трансформаторами НАМИ или 3хЗНОЛ применяется включение резисторов общим сопротивлением 25 Ом на обмотку $3U_0$. Однако включение такой нагрузки приводит к перегрузке дополнительной обмотки ТН при замыканиях на землю, и такой режим может существовать ограниченное время: 8 часов для НАМИ 10.

АО «Самарский трансформатор» разработало специальный антирезонансный трансформатор НАМИТ–6(10)–2. В этом трансформаторе на общем магнитопроводе намотаны дополнительные первичная и вторичная обмотки нулевой последовательности (ТНП). Первичная обмотка включается между нейтралью ТН и землей. Вторичная обмотка выводится отдельно.

При замыкании выводов вторичной обмотки, первичная работает в короткозамкнутом режиме, и не влияет на процессы в сети.



Примечание.
1. Необходимость установки резисторов R1-R8 в цепях ТН или 3ХЗНОЛ-10 для защиты от перенапряжения при самопроизвольных смещениях нейтралей уточняется при эксплуатации.

Рис. 4.14 Схема включения однофазных трансформаторов напряжения типа 3хЗНОЛ–6(10)

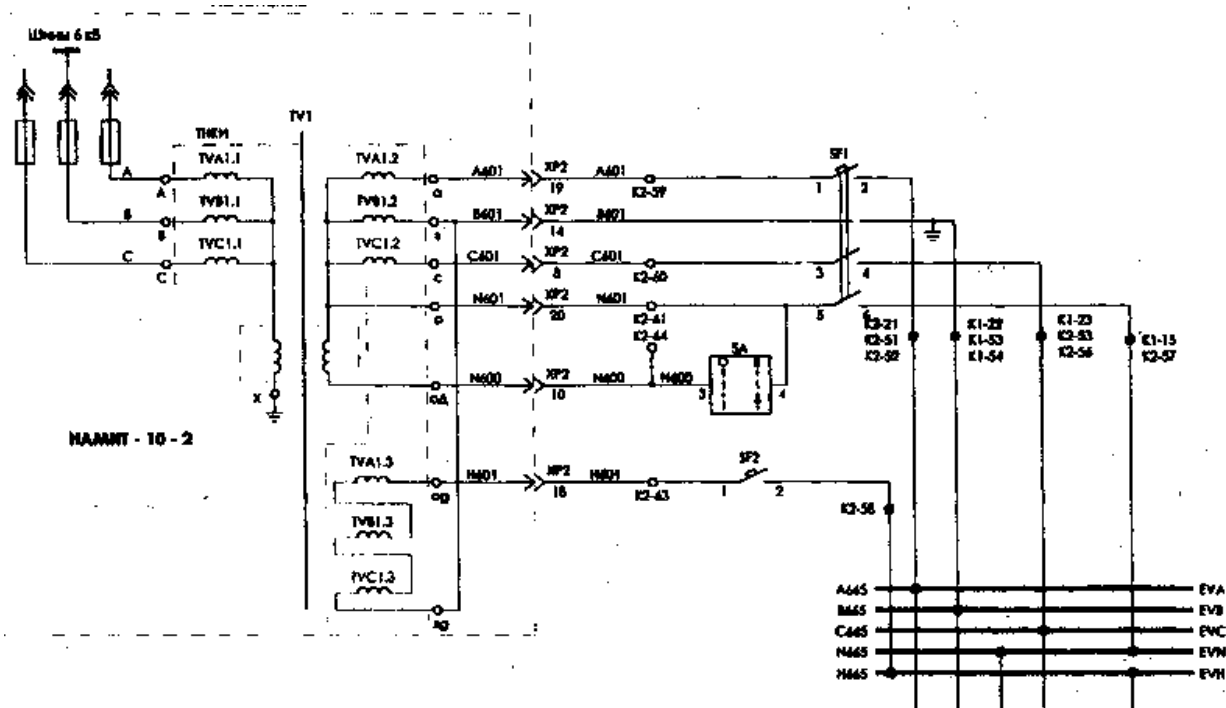
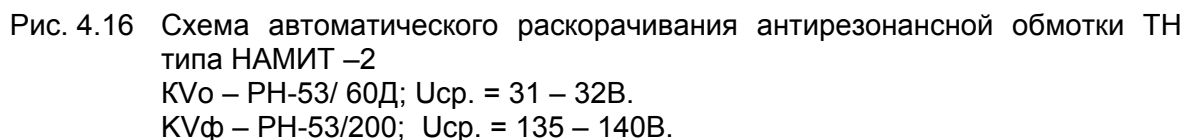


Рис. 4.15 Схема включения трехфазного антирезонансного трансформатора напряжения НАМИТ – 6(10)–2.

В сетях, где опасность феррорезонанса отсутствует, вторичная антирезонансная обмотка закорачивается ключом SA. К выводам K2-61 и K2-64 может быть подключена схема автоматического включения антирезонансной обмотки см. рис. 4.16.



KL – промежуточное реле например РП-23 или РП-25.

В нормальном режиме напряжение $3U_0$ отсутствует, контакты реле KV0 и KVф разомкнуты, вторичная (антиферрорезонансная) обмотка ТНП закорочена контактами реле KL. При появлении феррорезонанса срабатывают оба реле, KV0 и KVф, промежуточное реле KL раскорачивает вторичную обмотку ТНП. Схема удерживается при наличии напряжения $3U_0$ на дополнительной обмотке ТН и возвращается в исходное положение при отсутствии напряжения $3U_0$. Схема может быть возвращена вручную нажатием кнопки Кс, если режим феррорезонанса отсутствует.

Может быть выполнена двумя способами: по напряжению при наличии трансформатора напряжения с отдельной обмоткой $3U_0$ или по схеме фильтра напряжения нулевой последовательности встроенного в реле и предназначенного для подключения к звезде нулевой последовательности при отсутствии такой обмотки. Такая схема требуется например для ячеек фирмы «Таврида-электрик». Схема такого фильтра указана на рис.4.17.

Для сигнализации замыкания на землю выполняется установка:

$$t_{c3} = 5,4 \text{ c}$$

Схема работает неправильно при перегорании предохранителей на стороне ВН (или НН, если они там имеются).

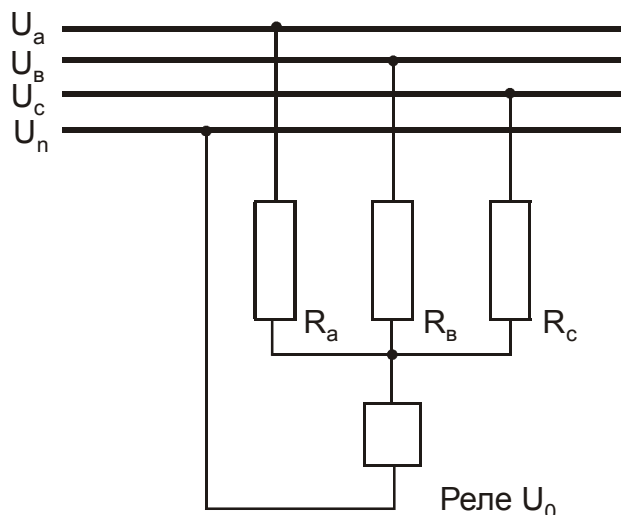


Рис. 4.17 Схема фильтра напряжения нулевой последовательности

Погрешности трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения имеют две погрешности:

- 1) погрешность в напряжении (или в коэффициенте трансформации), под которой понимается отклонение действительного коэффициента трансформации от номинального;
- 2) погрешность по углу, под которой понимается угол сдвига вторичного напряжения относительно первичного.

В зависимости от погрешностей ТН подразделяются на классы точности. Один и тот же ТН в зависимости от нагрузки, подключенной к его вторичной обмотке, может работать с различным классом точности. Поэтому в каталогах и паспортах на ТН указываются два значения мощности: номинальная мощность в вольт-амперах, при которой ТН может работать в гарантированном классе точности, предельная мощность, с которой ТН может работать с допустимым нагревом обмоток. Предельная мощность ТН в несколько раз превышает номинальную. Так, у ТН типа НОМ-6 с коэффициентом трансформации 6000/100 для класса точности 1 номинальная мощность составляет 50 ВА, а предельная – 300 ВА. Кроме рассмотренных выше основных погрешностей, возникающих при трансформации первичного напряжения на вторичную сторону, на работу релейной защиты и точность измерений влияют так же дополнительные погрешности от падения напряжения в цепях напряжения, от ТН до места установки панелей защиты или измерений. Поэтому, согласно требованиям ПУЭ, сечение жил кабелей должно выбираться так, чтобы падение напряжения в указанных цепях не превышало: 3 % – для релейной защиты; 2 % – для фиксирующих измерительных приборов; 1,5 % – для щитовых измерительных приборов; 0,25–0,5 % – для счетчиков. Следует заметить, что заземленные точки обмоток ТН, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник, должны выводиться разными жилами. Потери напряжения определяются по известным сопротивлениям жил контрольных кабелей и значениям проходящих по ним токов нагрузки:

$$\Delta U = k_1 I_1 R_1 + k_2 I_2 R_2 + \dots + k_n I_n R_n \quad (4.28)$$

где

k_1, k_2, k_n – коэффициенты для пересчета фазного падения напряжения на междуфазное (при питании нагрузки по трем фазам $k = \sqrt{3}$, а при питании по двум жилам нагрузки, включенной на междуфазное напряжение, $k = 2$).

5 ИСТОЧНИКИ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

5.1 АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ

5.1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

На ответственных объектах в качестве источника оперативного тока используется аккумуляторная батарея. Принято считать, аккумуляторную батарею наиболее надежным источником оперативного тока. Напряжение на аккумуляторной батарее не зависит от наличия и величины напряжения на подстанции, мощности батареи достаточно для операции включения любого выключателя на объекте. Учитывая высокую стоимость и необходимость постоянного обслуживания обычных стационарных аккумуляторных батарей, аккумуляторные батареи ранее устанавливались на электростанциях и крупных подстанциях 330–110 кВ.

Аккумуляторная батарея работает в режиме постоянного подзаряда от специальных выпрямителей (типа ВАЗП, ВУК), который подключен на шины и одновременно обеспечивает стабилизацию напряжения на шинах оперативного тока. Как правило, в работе должно быть два ВАЗПа, питающиеся от разных трансформаторов собственных нужд и параллельно работающих на шинах щита постоянного оперативного тока.

При отключении вводного автомата ВАЗПов или аккумуляторной батареи должна сработать сигнализация, и должны быть приняты немедленные меры по их обратному включению, так как только один из этих источников не обеспечивает надежной работы потребителей оперативного тока. Независимо от наличия сигнализации должен быть организован периодический контроль за работой батареи и щита постоянного тока. При этом необходимо контролировать: уровень напряжения – 220–230В; ток аккумуляторной батареи и подзарядных агрегатов – настраивается таким образом, чтобы ВАЗПы покрывали ток нагрузки щита и обеспечивали необходимый ток подзаряда батареи.

При отсутствии подзаряда аккумуляторная батарея в течение нескольких часов может потерять свой заряд за счет ее разряда на нагрузку подстанции, и устройства защиты и автоматики не смогут включить выключатель.

Величина сопротивления изоляции должна контролироваться автоматически. При снижении сопротивления изоляции ниже 20 кОм в сети оперативного тока 220 В (10 кОм в сети 110В) срабатывает сигнал “Земля на шинах оперативного тока”. При снижении изоляции ниже этого уровня возможно ложное срабатывание реле при случайном замыкании на землю у обмотки реле (см. рис 5.1) и отключение или включение оборудования. Поэтому при появлении сигнала “Земля” должны быть прекращены все работы, кроме поиска места замыкания на землю.

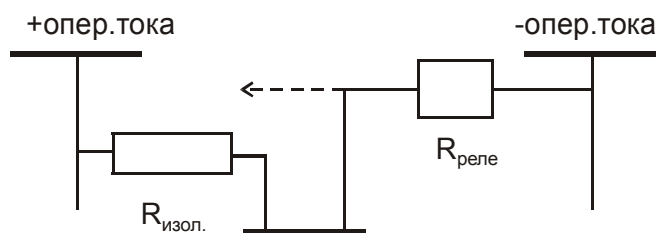


Рис 5.1 Возможность срабатывания реле при втором замыкании на землю в сетях оперативного тока

При случайном замыкании на землю клеммы, к которой подключено реле, сопротивление изоляции включается последовательно с обмоткой реле и на реле прикладывается напряжение, пропорциональное отношению сопротивлений реле и изоляции. При малом сопротивлении изоляции напряжения на реле будет достаточно для его срабатывания. Выбор величины сопротивления, при котором срабатывает сигнализация, и определяется требованием, чтобы сигнализация на землю срабатывала в тех случаях, когда замыкание на землю может привести к ложному срабатыванию выходных реле защиты. Граничные условия – сопротивление катушки реле не более 20 кОм и напряжение его срабатывания не менее 50% $U_{ном}$ и определили уставку сигнализации: при сопротивлении изоляции 20 кОм на реле с сопротивлением катушки 20 кОм будет приложено напряжение 50% $U_{ном}$.

Поиск земли в сетях оперативного тока часто осуществляется путем поочередного отключения автоматов (снятия предохранителей). После обнаружения поврежденного фидера, определяется возможность его отключения: фидер возможно отключить в случае, если от него не питается единственное устройство защиты, а устройство автоматики можно вывести из работы. Дальнейший поиск и устранение места замыкания на землю осуществляет релейный персонал объекта. Сети постоянного тока крупных объектов оборудованы специальными устройствами (СКИФ, САПФИР), позволяющими отыскать поврежденный фидер постоянного тока без его отключения. Такие устройства пускаются при появлении замыкания на землю и опрашивают фидера. В состав устройства входит генератор, подключенный между землей и шиной ЩПТ, и на том фидере, где есть ток, посылаемый генератором, фиксируется земля. Имеется клещевая приставка, с помощью которой можно проверить все цепи на наличие тока и найти конкретное место замыкания.

Для повышения надежности питания защиты и управления постоянным оперативным током, должна быть обеспечена селективность между вводным автоматом аккумуляторной батареи и автоматами (предохранителями) отходящих от ЩПТ присоединений. Добиться такой селективности технически сложно, главным образом потому, что ряд присоединений постоянного тока имеет большой ток нагрузки: соленоиды включения электромагнитных приводов, двигатели постоянного тока. Для аккумуляторной батареи обычного типа требуется большое помещение, специальное отопление и вентиляция, т.к. при заряде батареи выделяется водород, представляющий большую пожарную опасность. Необходимо постоянно контролировать уровень заряда АБ, плотность и уровень электролита. Эти трудности привели к тому, что аккумуляторные батареи применялись только на крупных объектах. В остальных случаях применялись различные виды переменного оперативного тока.

5.1.2. НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЩИТА ПОСТОЯННОГО ТОКА (ЩПТ)

Простейший контроль изоляции выполняется по схеме рис 5.2.

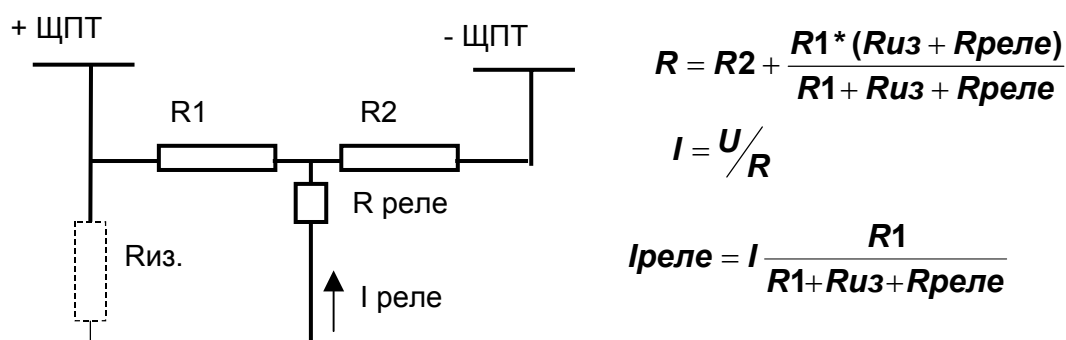


Рис. 5.2. Схема включения реле контроля изоляции ЩПТ и расчет тока срабатывания реле

Если принять $R_1=R_2=100 \text{ кОм}$; $R_{из}=20 \text{ кОм}$; $R_{реле}=5 \text{ кОм}$; $U=220 \text{ В}$, $R=120 \text{ кОм}$; $I = 1.83 \text{ мА}$; $I_{реле} = 1.53 \text{ мА}$.

Примерно такие параметры имеет реле ЕЛ17, выпускаемое АО "РИТМ".

Для автоматического контроля уровня напряжения нужны реле напряжения постоянного тока с высоким коэффициентом возврата. Причина в том, что зона допускаемых отклонений напряжения на ЩПТ от номинального составляет не более $\pm 5\%$. При напряжении 220 В это будет диапазон 210-230 В. При большем отклонении должна работать сигнализация. Таким образом, уставка сигнализации по повышению напряжения должна составить 230/Кв, а по понижению 210/Кв. Сигнализация должна быть отрегулирована таким образом, чтобы при работе в допустимой зоне 210 – 230 В сигнализация не работала. При коэффициенте возврата 0.95 уставка реле повышения напряжения должна составить $230/0.95 = 242 \text{ В}$, а уставка сигнализации понижения напряжения при $Кв=1.05$ будет равна $210/1.05 = 200$ соответственно, диапазон гарантированного срабатывания сигнализации будет составлять 240-200 В. Хотелось бы иметь еще более узкую зону. По этой причине допускается применять реле контроля напря-

жения постоянного тока только с коэффициентом возврата, по возможности очень близким к 1, во всяком случае не хуже, чем 1.05 – 0.95. Такой коэффициент возврата имеет реле контроля уровня напряжения щита постоянного тока НЛ8, выпускаемое АО «РИТМ». Для выполнения сигнализации нужно 2 реле НЛ-8: одно для повышения напряжения, другое для понижения напряжения. Среди реле АО «РИТМ» имеется реле с двумя порогами срабатывания и отпускания типа НЛ 9, которое может быть использовано одно взамен двух НЛ 8. Это реле подтянуто в зоне между двумя уставками – при напряжении выше уставки U2, но ниже уставки U1. Следовательно оно отпадает при напряжении ниже минимального порога напряжения U2 и выше максимального напряжения U1 и отпадание реле означает выход напряжения из допускаемой зоны, определяемой этими уставками.

Еще одна важная функция автоматики ЩПТ – контроль наличия подзаряда аккумуляторной батареи. При отключении автомата аккумуляторной батареи (АБ) или разрыва цепи батареи по другим причинам, питание нагрузки ЩПТ производится от выпрямительного подзарядного устройства. Таким образом может возникнуть ситуация, когда отключение батареи не будет обнаружено, а при коротком замыкании, сопровождающемся глубокой посадкой напряжения, исчезнет оперативный ток. Щиты постоянного тока современной конструкции имеют сигнализацию отключения автомата АБ однако обрыв цепи батареи может возникнуть и по другим причинам. В дополнение к нему целесообразно применить сигнализацию по косвенному признаку: наличию пульсации напряжения на шинах аккумуляторной батареи. Источники подзаряда типа ВАСП, ВУК имеют значительный уровень пульсации напряжения. Если к ним подключена батарея, уровень пульсации существенно снижается, поэтому можно отстроиться от этого уровня пульсаций уставкой и обеспечить срабатывание после отключения АБ. Для этой цели АО «РИТМ» выпускает реле ЕЛ-18. Можно выполнить и более простую схему, подключив на шины АБ цепочку состоящую из конденсатора 16 мкФ и токового реле РТ-40/0.2 с последовательным включением обмоток (рис. 5.1). (Циркуляр Ц-02-95Э).

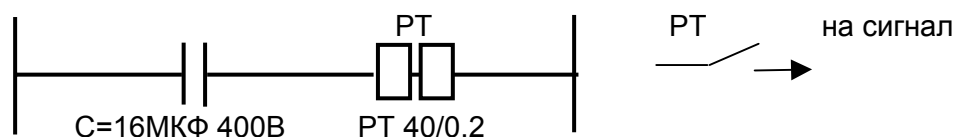


Рис. 5.3. Сигнализация повышения уровня высших гармоник на шинах ПТ.

Для щитов постоянного тока Энергомашвин выпускает специальное устройство контроля: блок сопряжения БСП-АБ см. рис. 5.4.

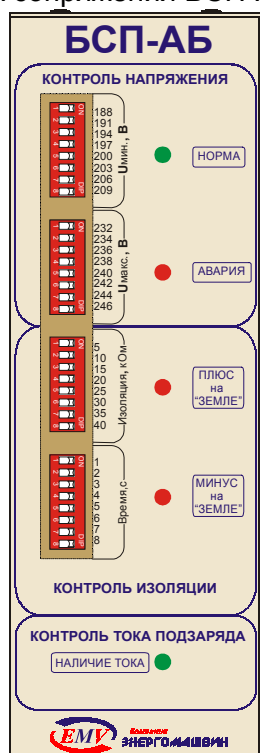


Рис.5.4. устройство БСП-АБ

Блок сопряжения с аккумуляторной батареей предназначен для контроля напряжения, изоляции и тока заряда АБ.

Функция контроля напряжения с двумя регулируемыми порогами срабатывания и отпускания обеспечивает контроль цепей оперативного постоянного тока напряжением 220 В. Отклонении напряжения ниже минимальной уставки, или выше максимальной с выдержкой времени срабатывает выходное реле.

Функция контроля изоляции обеспечивает контроль изоляции любой из шин источника постоянного тока относительно земли. При уменьшении сопротивления изоляции ниже уставки с выдержкой времени срабатывает выходное реле, т.е. кратковременное изменение сопротивления изоляции не приводит к срабатыванию выходного реле.

Функция контроля тока заряда позволяет контролировать наличие зарядного тока аккумуляторной батареи. При исчезновении тока заряда аккумуляторной батареи загорается красный светодиод и с выдержкой времени срабатывает выходное реле.

5.1.3. ШКАФЫ ШИТА ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ШОТ-01-500 ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ «ЭНЕРГОМАШВИН»

Шкафы предназначены для применения совместно со стационарной аккумуляторной батареей, располагаемой в отдельном помещении. Они могут быть использованы для замены щитов оперативного тока устаревших конструкций при модернизации подстанции. Применяемые подзарядные устройства имеют низкий уровень пульсации и высокую точность поддержания напряжения, что обеспечивает длительный срок работы примененной аккумуляторной батареи.



Технические данные

Род тока:

основных цепей шкафа –	постоянный
питающей сети –	переменный, однофазный, 50Гц

Номинальное напряжение

основных цепей шкафа, В –	=220
питающей сети, В –	~220/380

Точность поддержания выходного напряжения –

1%

Номинальный ток:

подзарядного устройства, А –	10
потребляемый подзарядным устройством, А –	14

Количество подзарядных устройств до (в каждом)

4

Рабочий диапазон температур

-10...+40°C

Конструктивно шкаф оперативного тока состоит из двух абсолютно аналогичных шкафов (ШОТ №1 и ШОТ №2), предназначенных для установки на полу. В каждом шкафу смонтированы подзарядные устройства, схема распределения оперативного тока, реле контроля напряжения, реле контроля изоляции. На дверях одного отсека устанавливаются амперметры, вольтметры, милливольтметр, реле контроля исправности схемы и выключатель обогрева. Емкость внешней аккумуляторной батареи – до 500 А·ч.

При нормальной работе шкафа оперативного тока, все подзарядные устройства находятся в работе. Подзарядка аккумуляторных батарей производится непрерывно. При наличии напряжения хотя бы на одной из двух секций собственных нужд питание потребителей (шин управления и сигнализации) осуществляется от подзарядных устройств, а при исчезновении напряжения собственных нужд – от аккумуляторных батарей.

При возникновении неисправности в шкафу оперативного тока, либо на отходящих шинах управления и сигнализации (неисправность подзарядного устройства, срабатывание автоматических выключателей, реле контроля уровня напряжения или реле контроля изоляции) срабатывает указательное реле неисправности, а также выдается сигнал о неисправности в шкаф питания через систему телепередачи информации.

Контроль величины напряжения на шинах =220В осуществляется по вольтметру (нормальное значение напряжения 231 В. Работа подзарядных устройств контролируется по показаниям амперметров. В нормальном режиме работы нагрузка на подзарядные устройства распределяется равномерно.

Внешний вид шкафов оперативного тока показан на рисунке 5.4. принципиальная схема шкафа на рисунке 5.5.

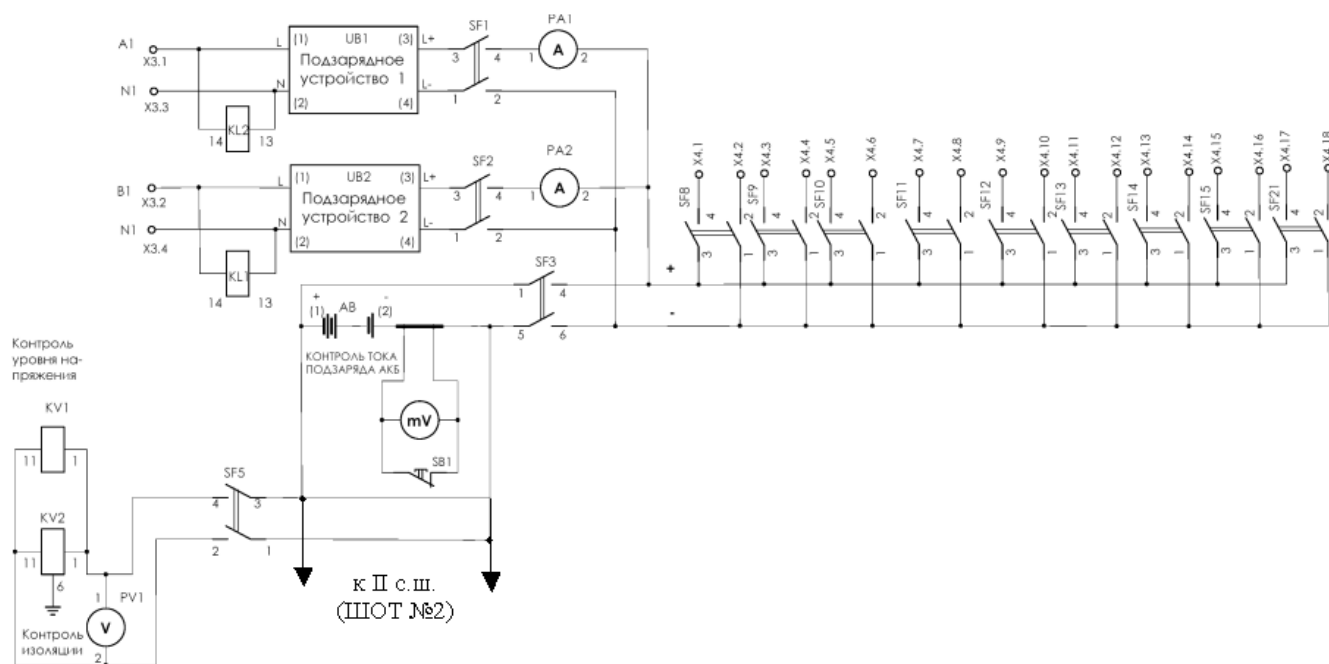


Рис. 5.5. Схема одной секции шкафа ШОТ-01-500.

5.2. ШКАФ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫМ ТОКОМ (ШУОТ)

ШУОТ был разработан специально для небольших объектов, для которых не требовалась большая емкость АБ. ШУОТ состоит из двух шкафов, в которых расположено подзарядное устройство и маломощная аккумуляторная батарея 220 В. из автомобильных аккумуляторов. Применяется на подстанциях с упрощенной схемой. При использовании на стороне ВН подстанции выключателей с соленоидными приводами, включение этих выключателей от ШУОТ не обеспечивается и для питания соленоидов включения используется специальный выпрямитель. Это означает, что для включения нужно иметь переменное напряжение на подстанции.

Низкое качество примененных аккумуляторов и подзарядного устройства, а также отсутствие необходимого надзора привело к тому, что срок службы батареи ограничивается 2-3 годами, после чего батарею нужно менять. В настоящее время на многих подстанциях батареи в ШУОТ вышли из строя и заменены другими, более современными аккумуляторными батареями.

Правила эксплуатации сети постоянного оперативного тока ШУОТ, не отличаются от аккумуляторной батареи.

5.2 ШКАФ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ШОТ-01 КОМПАНИИ “ЭНЕРГОМАШВИН”

Шкафы оперативного постоянного тока разработаны с учетом опыта эксплуатации ранее применявшихся шкафов ШУОТ. Подзарядные устройства обеспечивают уровень пульсаций менее одного процента, что значительно увеличивает срок службы аккумуляторов, доведя его до сроков гарантированных фирмой – изготовителем: 10–15 лет в зависимости от примененного аккумулятора. Уровень стабилизации оперативного тока 1%. Подзарядные устройства работают параллельно, так как автоматически выравнивают распределение тока между устройствами. Примененные аккумуляторные батареи герметизированы, что позволяет устанавливать шкафы в общих помещениях. Шкафы оснащены контролем уровня напряжения, уровня изоляции шин постоянного тока. Уровень тока в цепи подзарядных устройств и аккумуляторов контролируется амперметрами, имеется сигнализация неисправности подзарядных устройств, отклонения уровня напряжения за заданные пределы, появления земли в цепях опертока, отключения автоматов. Сигнал неисправности может быть передан по локальной

сети. Низкая стоимость шкафа позволяет применять его на подстанциях небольшой мощности, или использовать его в качестве дополнительного автономного источника питания защиты на ответственных объектах. Шкаф оснащен автоматикой обогрева.

Шкаф не требует постоянного наблюдения, так как оснащен сигнализацией. При внешнем осмотре следует проверить отсутствие сигналов неисправности, наличие тока в подзарядных устройствах и аккумуляторах, уровень напряжения на шинах, отсутствие замыкания на землю в сети.

Технические характеристики шкафа см. таблицу 5.1

Технические характеристики шкафов ШОТ- 01

Таблица 5.1

<i>Род тока</i>		
основных цепей шкафа	постоянный	
питающей сети	переменный, однофазный, 50Гц	
<i>Номинальное напряжение</i>		
основных цепей шкафа, В	=220	
питающей сети, В	~220	
Точность поддержания выходного напряжения	1%	
<i>Номинальный ток</i>		
подзарядного устройства, А	10	
потребляемый подзарядным устройством, А	14	
Количество подзарядных устройств	ШОТ-01-50	ШОТ-01-100
	2	4
Вид конструкции	шкаф	
Способ обслуживания	одностороннее	
Степень защиты, по ГОСТ 14254-80	IP54	
Рабочий диапазон температур	-10...+40°C	
Габаритные размеры шкафа, мм, не более	ШОТ-01-50	ШОТ-01-100
высота	2200	2200
ширина	600	1250
глубина	600	600
Количество аккумуляторов в аккумуляторном отсеке, шт.	17	
Срок службы, лет*	25	

***Примечание.** Срок службы установленных в шкафу оперативного тока герметизированных аккумуляторных батарей – в соответствии с эксплуатационной документацией предприятия-изготовителя.

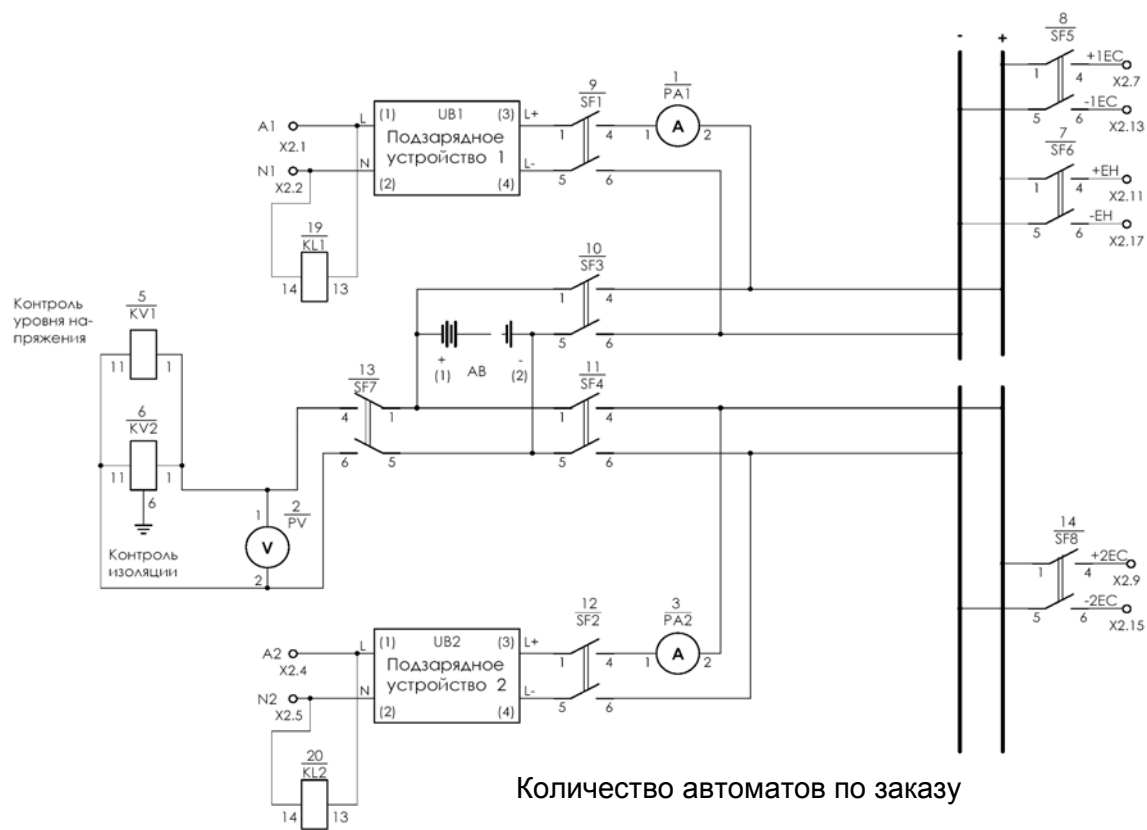
Шкаф оперативного тока ШОТ-01-50 см. рис. 5.6. состоит из металлической несущей конструкции шкафного типа, предназначенной для установки на полу, и размещенных внутри нее узлов. Шкаф разделен герметичной горизонтальной перегородкой на два отсека: нижний (отсек аккумуляторных батарей), и верхний с аппаратурой. На передней части шкафа имеются две двери, закрывающие шкаф на половину его ширины каждая.

В нижнем отсеке шкафа оперативного тока устанавливается 17 аккумуляторных батарей, которые, являются герметизированными, необслуживаемыми, с номинальным напряжением 12 В и имеют ударопрочный негорючий корпус. Емкость аккумуляторной батареи- 38 А·ч (по желанию заказчика, может быть изменена до 80 А·ч). В двери нижнего отсека могут быть выполнены вентиляционные отверстия (прорези).

В верхнем отсеке смонтированы два подзарядных устройства, схема распределения оперативного тока, реле контроля напряжения, реле контроля изоляции, реле контроля пульсаций. На дверях шкафа установлено два амперметра, вольтметр и реле контроля исправности схемы.

По согласованию с заказчиком в схему могут быть внесены изменения (например, изменен тип аккумуляторов или элементы схемы).

Шкаф оперативного тока ШОТ-01-100 (рис. 5.7) состоит двух металлических несущих конструкций шкафного типа, предназначенных для установки на полу. В левом отсеке шкафа смонтированы 4 подзарядные устройства, схема распределения оперативного тока, реле контроля напряжения, реле контроля изоляции. На дверях этого отсека установлено четыре амперметра, вольтметр, милливольтметр, реле контроля исправности схемы и выключатель обогрева. Во втором шкафу, установлено 17 аккумуляторных батарей, которые, являются герметизированными, необслуживаемыми, с номинальным напряжением 12В и имеют ударопрочный негорючий корпус. Емкость аккумуляторной батареи – до 150 А·ч.



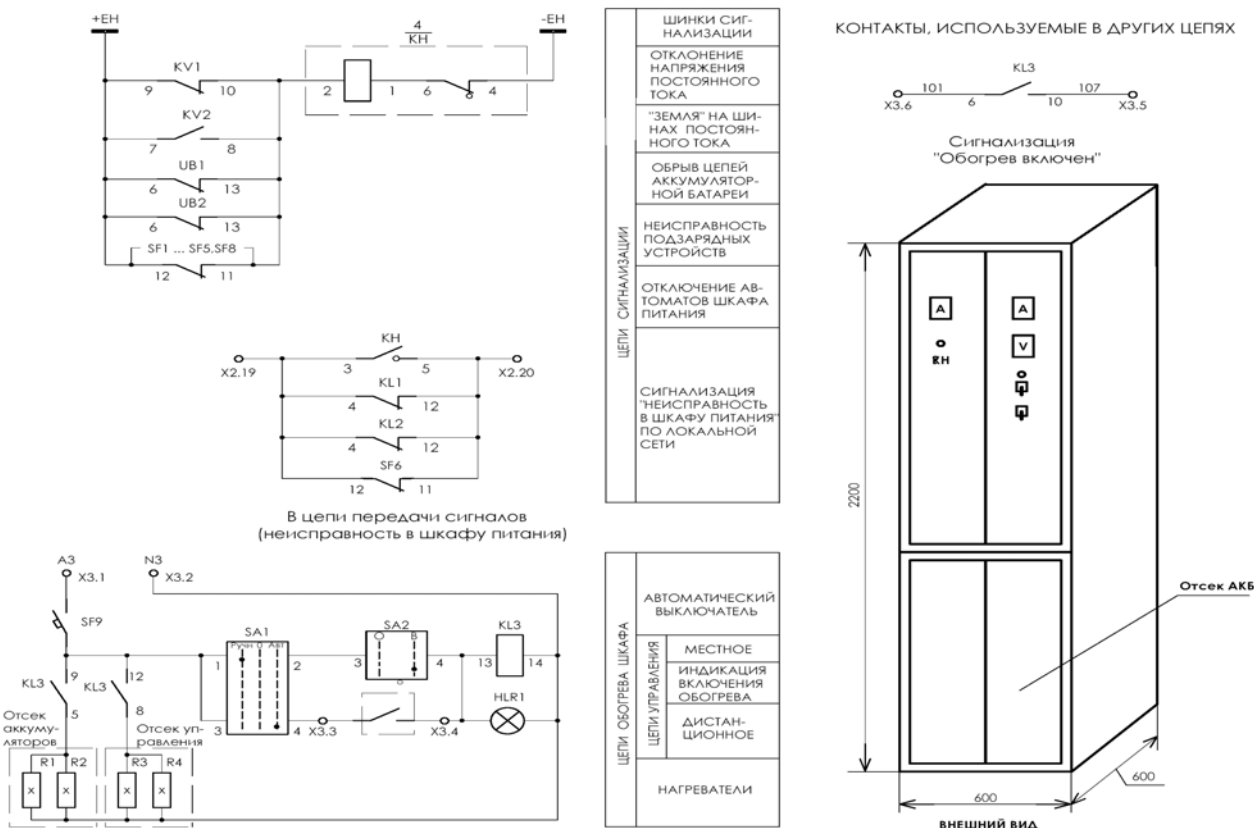
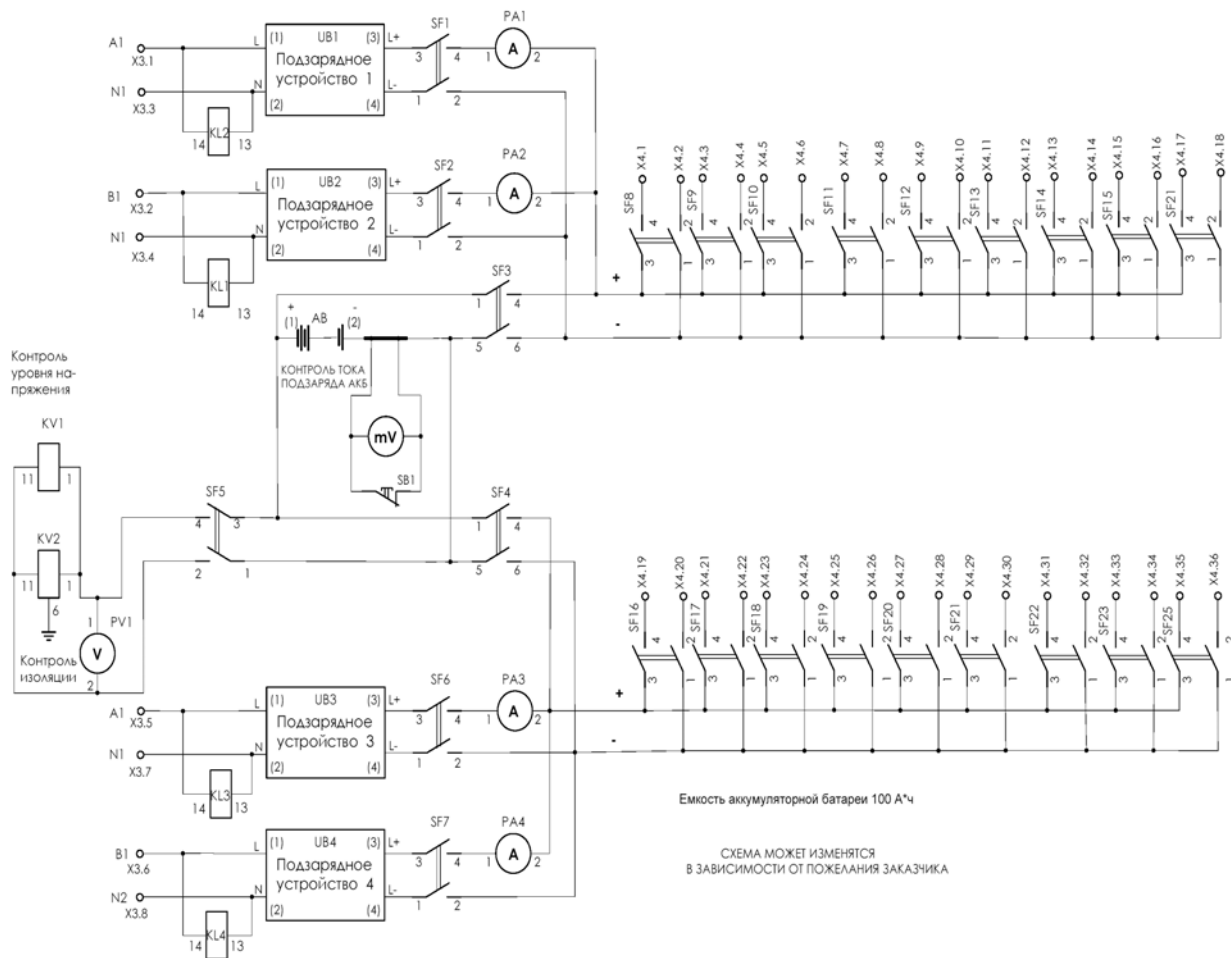


Рис. 5.6 Схема и внешний вид шкафа ШОТ-1-50



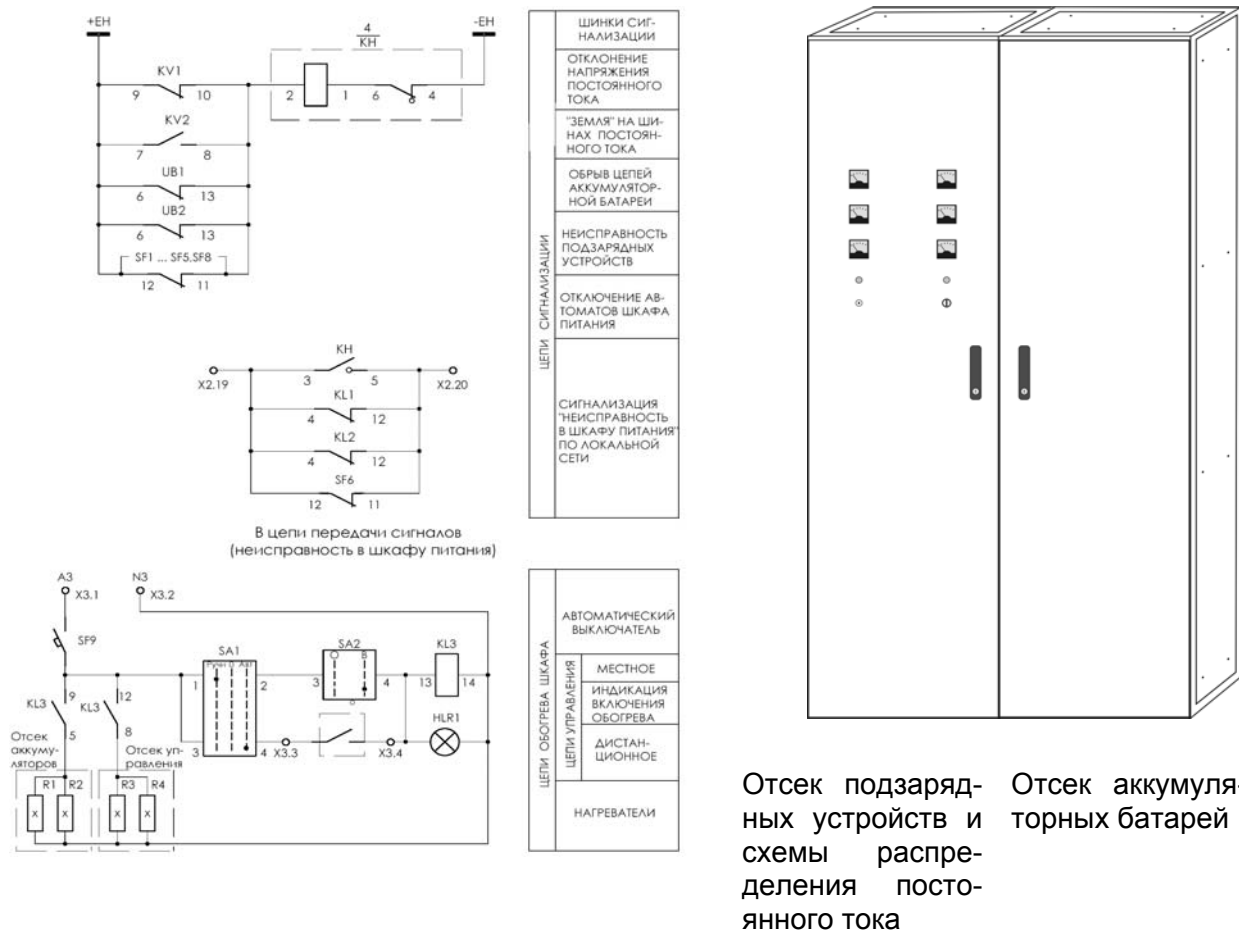


Рис. 5.7 Схема и внешний вид шкафа ШОТ-1-100

При нормальной работе шкафа оперативного тока, все подзарядные устройства находятся в работе. Подзарядка аккумуляторных батарей производится непрерывно. При наличии напряжения хотя бы на одной из двух секций собственных нужд питание потребителей (шинки управления и сигнализации) осуществляется от подзарядных устройств, а при исчезновении напряжения собственных нужд – от аккумуляторных батарей.

При возникновении неисправности в шкафу оперативного тока, либо на отходящих шинках управления и сигнализации (неисправность подзарядного устройства, срабатывании автоматических выключателей, реле контроля уровня напряжения или реле контроля изоляции), срабатывает указательное реле неисправности, а также выдается сигнал о неисправности в шкафу питания через систему телепередачи информации.

Контроль величины напряжения на шинах $\approx 220\text{В}$ осуществляется по вольтметру (нормальное значение напряжения 231 В).

Работа подзарядных устройств контролируется по показаниям амперметров. В нормальном режиме работы нагрузка на подзарядные устройства распределяется равномерно.

5.3 БЛОКИ ПИТАНИЯ

Применяются на подстанциях с упрощенной схемой. На выходе блока питания имеется выпрямленное напряжение, которое позволяет подключить к блоку защиты, рассчитанные на постоянный оперативный ток. Блоки питания подключаются к трансформатору напряжения (трансформатору собственных нужд) и трансформаторам тока. Блоки питания не выдают напряжение при отсутствии напряжения на подстанции, поэтому не могут быть использованы для подачи напряжения на подстанцию включением выключателя, или отключения отделителя в бестоковую паузу.

Практически все токовые устройства фирмы “Энергомашвин” могут быть оснащены специальными блоками питания, которые обеспечивают выполнение всех функций реле при наличии переменного напряжения на подстанции и работу защиты только от тока короткого замыкания.

5.4 КОНДЕНСАТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Конденсаторы предварительно заряжаются специальными выпрямителями до напряжения порядка 400В и при срабатывании защиты или автоматики разряжаются на катушку реле или аппарата. После снятия напряжения, заряд на конденсаторах сохраняется на время порядка 0.5 часа и может быть использован однократно при отсутствии напряжения на подстанции. Применяются в схемах управления отделителями для отключения его в бестоковую паузу, схемах включения от АВР, в ряде случаев используются для защиты.

Так, устройство резервной защиты трансформатора (РЗТ), описанное ранее (п. 2.3.3), имеет на выходе 2 конденсатора, обеспечивающих отключение выключателей (или КЗ-ОД). Заряд конденсаторов перед отключением обеспечивается от тока короткого замыкания.

5.5 СХЕМЫ ДЕШУНТИРОВАНИЯ

При срабатывании защиты специальное реле подключает ранее закороченную токовую катушку в приводе выключателя (короткозамыкателя) в цепь трансформатора тока, размыкая закорачивающий катушку контакт при срабатывании защиты, ток от трансформатора тока подается в электромагнит переменного тока и аппарат срабатывает при достаточной величине тока. Применяется для токовой защиты. Для дешунтирования применялось электромеханическое реле РП 341 (361), имеющее мощные контакты, обеспечивающие дешунтирование тока до 150А.

Фирма “Энергомашвин” взамен электромеханического реле применила семистор, обеспечивающий дешунтирование тока до 250А. Такие семисторы для дешунтирования установлены в некоторых модификациях реле УЗА-10, УЗА-10А.2 и УЗА-АТ.

5.6 ЗАЩИТЫ С АВТОНОМНЫМ ПИТАНИЕМ

Они используют для своей работы оперативный ток от собственных трансформаторов тока и могут действовать на отключение выключателя или отделителя и короткозамыкателя. К ним относятся вышеупомянутые реле УЗА-10 и УЗА-АТ, РЗТ. Фирма ALSTOM выпустила реле MiCOM P124 с встроенным блоком питания. Выпускается также специальный блок питания для микропроцессорных реле ALSTOM - ИПК. Завод “Киевприбор” выпустил блок питания для своих микропроцессорных устройств защиты МРЗС – 05.

Следует особенно подчеркнуть целесообразность применения в узловых точках подобных устройств, в том числе при наличии на подстанциях постоянного оперативного тока. Дело в том, что в большинстве случаев аккумуляторная батарея является единственным источником оперативного тока, который может быть утерян в процессе короткого замыкания, и оборудование остается без защиты. Такие события хотя и происходят не слишком часто, при условии тщательной эксплуатации системы оперативного тока, однако уже не раз приводили к выходу из строя энергоблоков на электростанциях, трансформаторов и секций шин на подстанциях. Поэтому можно рекомендовать применение устройств с автономным питанием, например на вводах ВН и НН трансформаторов в дополнение к основным защитам на постоянном оперативном токе.

5.7 РЕЛЕ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Это электромагниты переменного тока встроенные в выключатель. Они включаются в цепи трансформаторов тока присоединения и действуют на отключение выключателя. В такой схеме обычно несколько отключающих элементов, поэтому они действуют не прямо на выключатель, а на промежуточный элемент: релейную планку выключателя. При появлении в катушке тока, превышающего ток срабатывания электромагнита, он срабатывает и через релейную планку отключает выключатель. Такой элемент является токовым реле мгновенного

действия и называется РТМ. Для создания выдержки времени электромагнит сцепляется с часовым механизмом, и получается реле с выдержкой времени, называемое РТВ. Эти реле до настоящего времени применяются в сетях 10 кВ. Однако в связи с их малой точностью и надежностью на новых объектах они не устанавливаются.

5.8 ВЫБОР ПРИНЦИПОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА НА ПОДСТАНЦИЯХ

Наиболее универсальным принципом использования опертока, в большинстве случаев следует считать применение постоянного оперативного тока. Если объект ответственный, следует рассмотреть целесообразность применения 2 источников оперативного тока, особенно в случаях, когда выключатели имеют 2 соленоиды отключения и позволяют иметь 2 независимые системы оперативного тока и релейной защиты. Использование именно постоянного оперативного тока, позволяет выявить все возможности современных микропроцессорных терминалов, телеуправление, измерения, регистрация событий, осциллографирование и т. д. Эти функции разрабатываются с учетом именно постоянного оперативного тока, который не исчезает при отключении подстанции. Часть функций частично можно реализовать при питании от переменного тока. Однако не все и с недостаточной надежностью, учитывая возможность исчезновения напряжения на подстанции.

Применение разных видов переменного тока можно рекомендовать на неответственных объектах типа ТП, РП, там, где количество объектов не превосходит 10 и не требуется телемеханизация объекта. При этом следует отдавать предпочтение устройствам с автономным питанием защит.

При применении единственного источника постоянного тока следует рассмотреть целесообразность установки дополнительно устройств с автономным питанием, учитывая возможность потери единственного источника оперативного тока на подстанции.

6 ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6-35 КВ

6.1 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТЫ

Как уже говорилось в п. 1, указанные линии относятся к сети с изолированной или компенсированной нейтралью. Следовательно, защита должна реагировать на трехфазные, двухфазные и двойные замыкания на землю. Однофазные замыкания не относятся к коротким замыканиям и могут существовать 2 и более часов. За это время можно переключить нагрузку на другой источник и после этого уже отключить линию. Защита от замыканий на землю, поэтому, может действовать на сигнал. В ряде случаев защита от замыканий на землю может отсутствовать, например, на воздушных линиях, для которых отсутствуют трансформаторы тока нулевой последовательности. В этом случае поиск места замыкания на землю производится путем поочередного отключения линий.

Для работы при двухфазных и трехфазных коротких замыканиях достаточно иметь защиты установленные в двух фазах. Защита всегда устанавливается в фазах А и С. Она не реагирует на ток фазы В, но это не имеет значения, т.к. при любых междуфазных КЗ ток протекает в 2 фазах и сработает защита установленная либо в фазе А либо в С, либо одновременно в 2 фазах. Действие такой защиты имеет особенности работы при двойных замыканиях на землю. см. рис. 6.1.

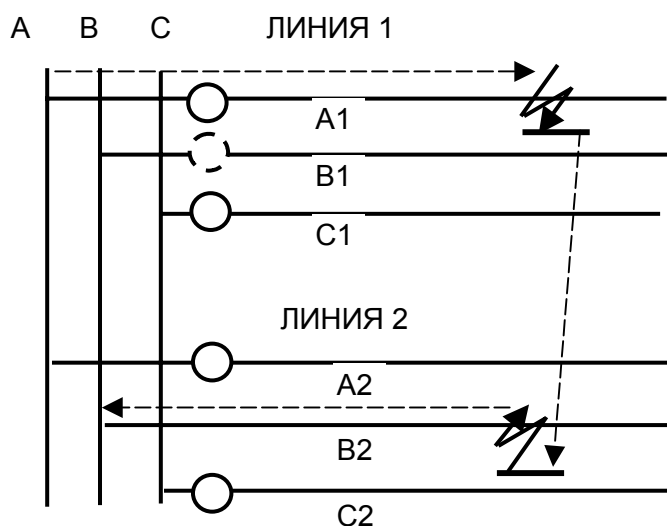


Рис. 6.1 Поведение защиты, установленной в 2 фазах при двойных замыканиях на землю

На рисунке указан случай двойного замыкания на землю на линиях 1 и 2. Защиты установлены на обеих линиях в фазах А и С. В изображенном варианте на Л1 протекает ток в фазе А, где установлена защита, а на Л2 в фазе В, где защита не установлена. Поэтому отключится линия 1, а линия 2 останется с замыканием на землю. Таким образом, линия 2 осталась в работе, с подключенной к ней нагрузкой. Рассмотрим все возможные варианты см. таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Поврежденная фаза Л1	Поврежденная фаза Л2	Отключается линия
А	В	Л1
А	С	Л1 и Л2
В	А	Л2
В	С	Л2
С	В	Л1
С	А	Л1 и Л2

Как видно из таблицы в 2, случаях из 6 отключается Л1, в 2 – Л2 и еще в 2 отключаются обе линии. Это считается преимуществом такого подключения защиты, так как в 4 из шести случаев в работе остается одна линия.

При ошибке в расстановке трансформаторов тока картина может измениться в худшую сторону. Так, например, если ошибочно установить на Л1 трансформаторы тока в фазе В и С (на рисунке в фазе В показано пунктиром), то окажется что на Л1 ток КЗ протекает в незащищенной фазе А, а на ВЛ-2 в незащищенной фазе В. Таким образом, отказывают обе защиты. Поэтому в ПУЭ записано, что защиты во всей сети должны располагаться в одинаковых фазах. Можно предположить, что это явление маловероятно, так как в комплектных распределительных устройствах трансформаторы тока располагаются в крайних фазах и ошибка невозможна. Это так, однако в сети часто пренебрегают этим правилом: провода линии или жилы кабеля подсоединяются как удобно и на питающем и на приемном конце. После подачи напряжения на приемной подстанции проверяется направление вращения фазоуказателя или двигателя, и если они вращаются в обратную сторону, то перемещаются 2 фазы, которые удобнее поменять местами. Но это не обязательно будут правильные фазы, следовательно, может произойти повреждение в сети, отключенное совершенно не теми защитами. Поэтому при рассмотрении случаев неправильной работы защиты в сети целесообразно проверить и такую причину.

Для защиты линии 35кВ требуется трехрелейная схема защиты. Необходимость ее объясняется тем, что, как правило, нагрузкой линии является трансформатор 35/6-10кВ со схемой соединения Y/Δ . Как указывалось в главе 4 (см. рис 4.7, а) при двухфазном КЗ за трансформатором со схемой соединения Y/Δ в 2х фазах протекает половина тока КЗ, и только в одной – полный ток. Если эта фаза окажется без трансформатора тока, то в защите протекает ток в 2 раза меньший, что может привести к отказу защиты. Если трансформаторов тока 2 или целесообразно оставить их 2 для обеспечения отключения в большинстве случаев только одной ВЛ при двойных замыканиях на землю, то третье реле можно включить в обратный провод 2 трансформаторов тока (см. рис. 6.2.).

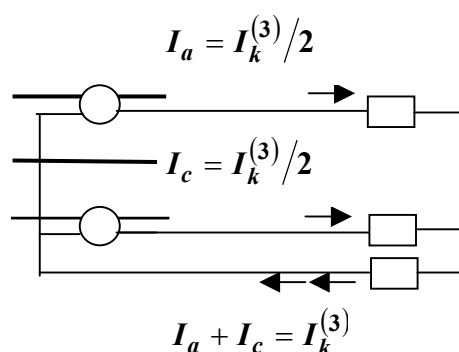


Рис. 6.2 Распределение токов в элементах защиты включенных в схему неполной звезды

В обратном проводе трансформаторов тока протекает сумма токов двух фаз, равная полному току трехфазного КЗ. Таким образом, можно одновременно обеспечить чувствительность защиты при КЗ за трансформатором Y/Δ и обеспечить отключение в большинстве случаев только одной ВЛ при двойных замыканиях на землю.

Максимальная защита, как правило, является главной, а иногда единственной защитой линии 6-35 кВ. Эта защита, которая отстраивается от тока нагрузки, обеспечивает отключение на своей линии, а если позволяет ее чувствительность, и резервирует отключение смежного участка.

Селективность максимальной защиты обеспечивается ее выдержкой времени. Поэтому по мере приближения защиты к источнику питания растет ее выдержка времени. При этом растет и величина тока короткого замыкания, поэтому объем повреждения вырастает.

Для уменьшения объема повреждения защита выполняется ступенчатой: кроме максимальной защиты, применяется токовая отсечка. Токовая отсечка отстраивается от короткого замы-

кания в конце защищаемой линии (КЗ за трансформатором). Защита состоит из 2 элементов: максимальная защита и токовая отсечка. Такие 2 защиты входят в состав микроэлектронной защиты УЗА АТ и микропроцессорной УЗА 10.

Вторым способом уменьшения выдержки времени защиты, является применение защиты с обратно зависимой выдержкой времени, выдержка времени уменьшается по мере увеличения тока КЗ. Защита УЗА-АТ имеет 2 зависимые характеристики нормальная и крутая см. формулы 2.8 и 2.9 в п. 2. Графическое изображение характеристики показано на рис. 2.13.

Защиты иностранных фирм имеют значительно большее количество характеристик. Так устройства серии MiCOM фирмы ALSTOM имеют сразу 11 зависимых характеристик. Устройства токовых защит фирмы GE кроме большого количества типовых характеристик, имеют также свободно программируемые характеристики. Такое количество характеристик не являются необходимым оно диктуется в основном рекламными соображениями, а также наличием разных стандартов в разных странах. Время срабатывания точно вычисляется по математической формуле. Коэффициенты, соответствующие выбранной характеристике, необходимы для подставления в эту формулу при расчете.

Ниже приводятся примеры различных характеристик выдержек времени токовых защит: Первые десять характеристик имеют общую математическую формулу:

$$t = T \times \left[\frac{K}{\left(\frac{I}{I_S} \right)^a - 1} + L \right] \quad (6.1)$$

где:

- t — время отключения;
- K — коэффициент;
- I — величина измеренного тока;
- I_S — программируемая величина ступени;
- a — коэффициент;
- L — коэффициент ANSI/IEEE (для характеристик МЭК равняется нулю);
- T — коэффициент времени, выбранный в диапазоне 0,025÷1,5.

Таблица 6.2

Тип характеристики	Стандарт	Коэффициент K	Коэффициент a	Коэффициент L
Крутая обратновременная	ALSTOM	0.05	0.04	0
Стандартная инверсная	МЭК	0.14	0.02	0
Очень инверсная	МЭК	13,5	1	0
Чрезвычайно инверсная	МЭК	80	2	0
Пологая обратновременная	ALSTOM	120	1	0
Крутая обратновременная	C02	0,00342	0,02	0,00242
Умеренно инверсная	ANSI/IEEE	0.0515	0.02	0.114
Пологая обратновременная	C08	5.95	2	0.18
Очень инверсная	ANSI/IEEE	19,61	2	0,491
Чрезвычайно инверсная	ANSI/IEEE	28,2	2	0,1215

Характеристика RI (электрохимическая) выражается следующей формулой:

$$t = K \cdot \left(\frac{1}{0,339 - 0,236 \frac{I}{I_S}} \right) \quad (6.2)$$

K корректируется в диапазоне 0,10÷10 с шагом 0,05;

Область допустимых значений $1,1 \leq \frac{I}{I_S} \leq 20$.

Характеристики УЗА-АТ совпадают со второй и третьей зависимыми характеристиками устройства MiCOM. Для практически необходимых случаев вполне достаточно 2 характеристик. Простая инверсная (зависимая нормальная в УЗА-АТ) используется для согласования с зависимыми характеристиками электрохимических защит, а очень инверсная (зависимая крутая в УЗА-АТ) для согласования с предохранителями или микроэлектронных защит друг с другом.

Выполнение АПВ

С помощью АПВ выполняется попытка подать напряжение на отключившуюся линию, больше половины повреждений, которые возникают на линии, после отключения исчезают, это набросы, схлестывание проводов, перекрытие изоляции, например грозное. При повреждении на кабеле АПВ может быть успешным, но не всегда эффективным вследствие отгорания жилы кабеля, чаще всего в месте пайки. Место пробоя, при этом заплывает и также удается подать напряжение на кабель, однако все фазы могут не дойти до потребителя. Успешным АПВ может быть и в случае короткого замыкания на ошиновке приемных подстанций.

Кроме указанного назначения АПВ применяется на воздушных и кабельных линиях для корректировки неселективной работы защиты. Такая неселективность часто допускается для того, чтобы не поднимать выдержку времени защиты. Например, если подключенные к линии трансформаторы включены через предохранители (ПК), а на линии применена отсечка без выдержки времени. При повреждении одновременно перегорает предохранитель и отключается линия. Последующее АПВ восстанавливает питание остальных трансформаторов, подключенных к линии.

АПВ также входит в комплекс автоматики понижающей подстанции, подключенной к линии через короткозамыкатель и отделитель. Такие схемы, хотя и устарели в настоящее время, но широко применяются на действующих подстанциях. Защита трансформатора действует на включение короткозамыкателя, он включается и создает короткое замыкание на стороне ВН, на которое реагирует быстродействующая защита линии. Линия отключается, в бестоковую паузу отключается отделитель–разъединитель с пружинным приводом – после этого линия включается от АПВ.

Еще один пример специального использования АПВ: частотное АПВ–ЧАПВ.

Энергетические предприятия оснащены устройствами АЧР. К ним подключены более 50% всех потребителей. Назначение АЧР – при дефиците мощности в энергосистеме, возникшем из-за отключения генераторов или связей с питающей энергосистемой отключить нагрузку. Чем больше дефицит мощности, тем большее количество нагрузки отключается от АЧР. Для этого выполняется много – несколько десятков – очередей АЧР. Они отличаются уставками по частоте и времени срабатывания. После ликвидации дефицита и восстановления частоты необходимо включить потребителей обратно. Эту функцию и выполняет частотное АПВ–ЧАПВ. В отличие от обычного АПВ, которое работает после отключения, ЧАПВ должно работать только после того, как частота восстановится. Это делается следующим образом: После срабатывания АЧР появляется напряжение на шинке АЧР и отключаются присоединения, подключенные к этой шинке. Уставка АЧР перестраивается на уставку по частоте, при которой разрешается включение потребителей (уставка ЧАПВ). Напряжение на шинке ЧАПВ со-

храняется до тех пор, пока частота не станет выше этой уставки. После чего напряжение на шинке исчезает, и это является командой для включения отходящих фидеров. Должны пускаться установленные на фидерах устройства АПВ и включить их в работу. Эта схема должна разбираться при снятии напряжения с подстанции, так как в этом случае, восстанавливается уставка АЧР а не ЧАПВ и это приводит к включению фидеров, если частота в сети выше уставки АЧР (а не ЧАПВ) и неправильно включит в работу нагрузку. Поэтому схема ЧАПВ должна разбираться. Характеристиками, требуемыми для ЧАПВ, обладает устройство АПВ, входящее в состав УЗА-10: при подаче команды отключения на дискретный вход, присоединение отключается и включается от АПВ после снятия сигнала с этого входа. Необходимым условием работы ЧАПВ является наличие напряжения на реле в течение 60 сек. Таким образом, при снятии напряжения с подстанции и его восстановлении, когда произойдет возврат уставки АЧР, АПВ уже работать не будет.

ПУЭ предусматривает однократное и двукратное АПВ. Двукратное требуется применять на тупиковых линиях, где потребители не имеют резервного питания. Таким образом, схемы АПВ должны иметь отсчет кратности, при однократном АПВ линия включается 1 раз, при 2 кратном—2 раза. Если после этого линия снова отключается, выключатель должен остаться отключенным. Статистические данные свидетельствуют о том, что эффективность АПВ (процент успешной работы) находится в пределах 40÷90% в зависимости от напряжения, эффективность второй кратности АПВ в пределах 10÷25%.

Выполнение АПВ требуется обязательно на воздушных и на смешанных – кабельно-воздушных линиях, на чисто кабельных линиях применение АПВ не обязательно, однако может быть желательным на разветвленных линиях, где оно может помочь при КЗ на ошиновке подстанций.

Устройства УЗА имеют встроенную функцию АПВ. АПВ в принятых ранее схемах пускалось по несоответствию – при любом отключении выключателя за исключением отключения по цепям управления выключателя от ключа или по телемеханике. Пуск АПВ УЗА-10 и УЗА-АТ выполняется от защиты, что, как правило, применяется в аппаратуре, выпускаемой за рубежом. АПВ однократное, однократность обеспечивается тем, что готовность АПВ к срабатыванию наступает через некоторое время, называемое временем «готовности»: после включения выключателя должно пройти время, прежде чем АПВ будет введено в действие. АПВ может сработать повторно через 30–60 с после включения, поэтому после 1 отключения, когда АПВ готово к действию, АПВ работает, а при неуспешном включении второе включение не произойдет, т.к. выключатель оказался отключенным и процесс подготовки не произошел. То же самое будет, если выключатель включился успешно, но следующее отключение произошло за время меньшее, чем выставленное на реле время готовности. АПВ пускается от защиты либо от внешнего пускового органа. Как уже говорилось, УЗА-10 приспособлено к работе АПВ в режиме АЧР-ЧАПВ.

Защита от замыканий на землю

Как правило, такие защиты на линиях действуют на сигнал, однако, тем не менее, применение этих защит целесообразно, так как место замыкания на землю нужно отыскать и устранить по возможности быстро, потому что упавший провод опасен для окружающих. Кроме того, повреждение в месте замыкания на землю развивается и может со временем привести к короткому замыканию. В ряде случаев защита должна обязательно действовать на отключение. Это двигатели и генераторы при токе замыкания на землю более 5 А. Это передвижные механизмы с электродвигательными приводами.

Существенным осложнением является то, что ток замыкания на землю имеет очень малую величину. Эта величина соизмерима с небалансом в нулевом проводе трансформаторов тока, поэтому в нулевой провод ТТ защиту от замыканий на землю не включают. Для подключения защиты используют специальные трансформаторы тока нулевой последовательности (ТЗ, ТЗЛ, ТЗР) и к ним подключают защиты от замыканий на землю. Это можно выполнить только при наличии кабельного вывода из ячейки. Если вывод воздушный, или линия имеет напряжение 35 кВ, для которых отсутствуют специальные трансформаторы тока нулевой последовательности, защиту подключить нельзя. Самарский трансформаторный завод в России выпускает трансформаторы тока нулевой последовательности для воздушных выводов 6-

10кВ ТДЗЛВ 10. Трансформатор, имеющий внутренний диаметр окна 590 мм, устанавливается внутри ячейки и охватывает проходные изоляторы всех трех фаз. Таким образом может быть выполнена защита от замыканий на землю и при отсутствии кабельной вставки. Конструкция кабельного ТНП показана на рис. 6.3.

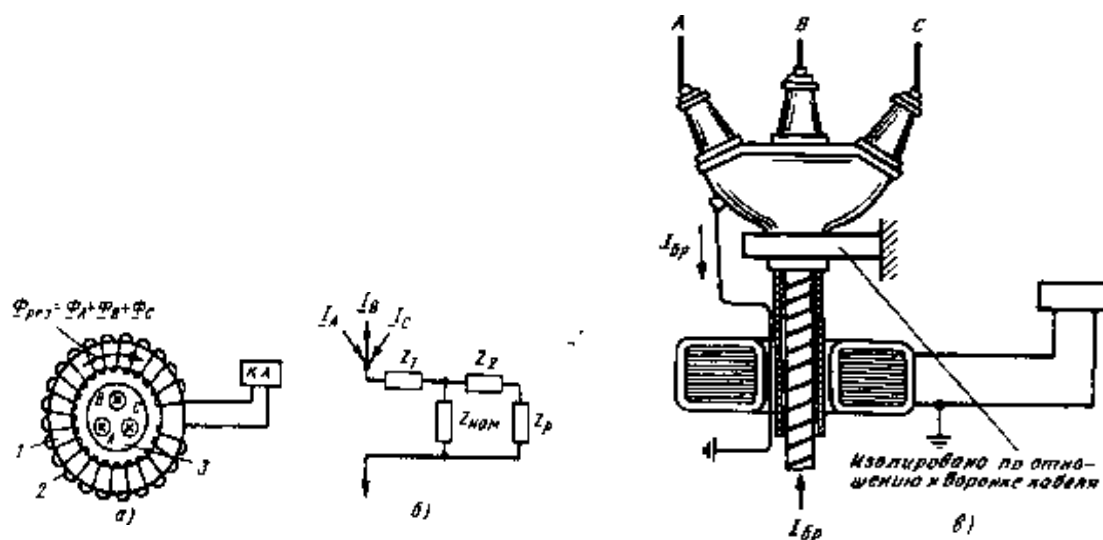


Рис. 6.3 Трансформатор тока нулевой последовательности:

а – устройство; б – схема замещения; в – установка ТНП на кабеле;

1 – магнитопровод; 2 – обмотка; 3 – трехфазный силовой кабель

Магнитопровод 1, собранный из листов трансформаторной стали, имеет обычно форму кольца или прямоугольника, охватывающего все три фазы защищаемой кабельной ЛЭП. Провода фаз А, В, С, проходящие через отверстие ТНП, являются первичной обмоткой трансформатора, вторичная обмотка 2 располагается на магнитопроводе с числом витков $w = 20-30$. Токи фаз I_A , I_B и I_C создают в магнитопроводе соответствующие магнитные потоки Φ_A , Φ_B , Φ_C , которые, складываясь, образуют результирующий поток:

$$\Phi_{рез} = \Phi_A + \Phi_B + \Phi_C.$$

Так как сумма токов $I_A + I_B + I_C = 3I_0$, то можно сказать, что результирующий поток, создаваемый первичными токами ТНП, пропорционален составляющей тока НП:

$$\Phi_{рез} = k3I_0.$$

Поток $\Phi_{рез}$, а следовательно, вторичная ЭДС E_2 и вторичный ток I_2 могут возникнуть только при условии, что сумма токов фаз не равна нулю, или, иначе говоря, когда фазные токи, проходящие через ТНП, содержат составляющую I_0 . Поэтому ток во вторичной цепи ТНП будет появляться только при замыкании на землю. В режиме нагрузки, трехфазного и двух фазного КЗ (без замыкания на землю) сумма токов фаз $I_A + I_B + I_C = 0$, и поэтому ток в реле отсутствует ($\Phi_{рез} = 0$).

Однако, поскольку из-за неодинакового расположения фаз А, В и С относительно вторичной обмотки ТНП коэффициенты взаимной индукции этих фаз со вторичной обмоткой различны, несмотря на полную симметрию первичных токов, сумма их магнитных потоков в нормальном режиме не равна нулю. Появляется магнитный поток небаланса ($\Phi_{рез} - \Phi_{ноб}$), вызывающий во вторичной обмотке ЭДС и ток небаланса ($I_{ноб}$). ТНП имеют малую мощность, поэтому, как правило, значительная часть тока уходит на ток намагничивания. Это приводит к необходимости применять реле с очень малым потреблением или подбирать условия, при которых отдача мощности от ТТ будет максимальной.

Для получения наибольшей мощности от ТНП, а следовательно, и максимальной чувствительности реле, питающихся от ТНП, сопротивление обмотки реле Z_p должно равняться сопротивлению ТНП. Пренебрегая сопротивлением вторичной обмотки Z_2 , согласно рис. 6.3, б получаем $Z_{ТНП} = Z_{нам}$, и тогда условие отдачи максимальной мощности можно выразить равенством $Z_p = Z_{нам}$. Из эквивалентной схемы ТНП (рис. 6.3, б) видно, что при выполнении этого условия вторичный ток, поступающий и реле, и ток намагничивания оказываются одинаковыми.

$I_{нам} = I_p$. Отсюда следует, что погрешность ТНП достигает примерно 50%. При такой большой погрешности нельзя вычислять вторичный ток по первичному, пользуясь коэффициентом трансформации $k = w_2/w_1$. Поэтому чувствительность защиты, включенной на ТНП, оценивается по значению первичного тока, при котором обеспечивается действие защиты. В ряде случаев она должна быть на уровне долей одного ампера. При малых значениях $3I_0$ ТНП работает в начальной части характеристики намагничивания, при которой МДС, созданная одновитковым ТНП, очень мала. Таким образом, для обеспечения необходимой чувствительности кроме конструктивных улучшений ТНП требуется применение высокочувствительных ИО.

Устройства УЗА имеют высокую чувствительность и малое потребление (УЗА-10 $I_{cp} = 0,05$ А, $S = 0,01$ ВА). Это позволяет необязательно добиваться наивысшей отдачи от трансформатора тока. Потребление УЗА АТ больше и сильно зависит от уставки. Поэтому первичный ток срабатывания защиты целесообразно проверять опытным путем, подачей тока в провод, пропущенный через окно ТНП.

Для защиты линий ТНП обычно выполняются кабельного типа (ТЗ, ТЗЛ, ТФ). При необходимости осуществления РЗ воздушных ЛЭП делается кабельная вставка, на которой устанавливается ТНП. Применяя устройство ТДЗЛВ 10 Самарского завода можно обойтись без кабельной вставки, если габариты ячейки и расположение проходных изоляторов позволяет разместить этот датчик тока внутри ячейки. Для кабельных ЛЭП изготавливаются ТНП типа ТЗ с неразъемным магнитопроводом, надеваемым на кабель до монтажа воронки, и типов ТЗР и ТФ с разъемным магнитопроводом, которые можно устанавливать на кабелях, находящихся в эксплуатации, без снятия кабельной воронки.

При прохождении токов I_{op} по оболочке неповрежденного кабеля, охваченного ТНП, в реле РЗ появляется ток, от которого РЗ может подействовать неправильно. Эти токи появляются при замыканиях на землю вблизи кабеля или при работе сварочных аппаратов.

Для исключения ложной работы РЗ необходимо компенсировать влияние блуждающих токов, замыкающихся по свинцовой оболочке и броне кабеля. С этой целью воронка и оболочка кабеля на участке от воронки до ТНП изолируются от земли (рис. 6.3, в), а заземляющий провод присоединяется к воронке кабеля и пропускается через окно ТНП. При таком исполнении ток, проходящий по броне кабеля, возвращается по заземляющему проводу, поэтому магнитные потоки в магнитопроводе ТНП от токов в броне и проводе взаимно уничтожаются. Магнитопровод ТНП должен быть надежно изолирован от брони кабеля.

Для сетей с изолированной нейтралью с разветвленной сетью, где емкостной ток одного фидера значительно меньше общего емкостного тока можно применить просто токовую защиту высокой чувствительности, такая защита имеется в устройствах УЗА, а также в большинстве микропроцессорных токовых устройств защиты зарубежных фирм. При малом количестве кабелей, или, если кабели разной длины и ток в кабеле соизмерим с общим током замыкания на землю, требуется применить направленную защиту нулевой последовательности. Такая защита входит в одну из модификаций УЗА-АТ и во многие устройства зарубежных фирм например: устройство MiCOM P125-127 фирмы ALSTOM. Широко распространена также защита ЗЗП ЧЭАЗ.

Для сетей с компенсированной нейтралью эти принципы не годятся, так как величина тока на поврежденной линии может быть меньше чем на неповрежденной, а направление этого тока может быть каким угодно. Для них используются специальные защиты: на высших гармониках, учитывая, что реактор в нейтрали компенсирует только основную гармонику тока, а высшие гармоники остаются. Выпускается ЧЭАЗом устройство УСЗ-2 или УСЗ-3. В реле защиты зарубежного производства ALSTOM, SIEMENS, ABB применяется защита по направлению актив-

ной мощности нулевой последовательности. Например: реле MiCOM – P125 -127, 140 ALSTOM используют реле направления активной мощности. Активные токи утечки на землю не компенсируются реактором, и их величина и направление используются защитой для определения поврежденного фидера.

Величина тока высших гармоник не постоянна, а зависит от схемы сети, тока нагрузки, уровня напряжения на шинах; поэтому величина тока в защите колеблется и трудно подобрать уставку, а рассчитать ее тоже нельзя, не имея реальных данных. Поэтому часто единственным методом настройки такой защиты является опыт замыкания на землю, при котором определяются величины токов высших гармоник на поврежденном и неповрежденных фидерах. Наибольший эффект при применении метода высших гармоник, дает принцип сравнения величины тока на фидерах. Его можно организовать на подстанционном уровне управления. В любом случае величина тока высших гармоник на поврежденном фидере больше, чем на неповрежденном. Такое устройство на микропроцессорном принципе разработано и выпускается одним из предприятий во Львове.

Логическая защита шин

Короткие замыкания на шинах комплектных распределительных устройств, приводят к быстрому разрушению поврежденной и смежных ячеек, если они отключаются максимальной защитой ввода. Поэтому, как правило, ячейки снабжаются специальными устройствами защиты шин. Это так называемые устройства дуговой защиты шин. Они бывают клапанные, световые и устанавливаются заводом изготовителем ячейки. В главе 2 описано устройство дуговой защиты на оптоволоконном кабеле ПД-01, выпускаемом фирмой «Энергомашвин». Широко распространены устройства дуговой защиты на фототиристорах. Кроме специально выполненного устройства, защиту шин, со свойствами близкими к дуговой защите, можно выполнить на токовом логическом принципе, используя практически любое комплектное устройство РЗА установленное на вводе и отходящих линиях, например защиты серии УЗА-10, УЗА АТ.

Токовые отсечки, примененные в указанных устройствах, позволяют блокировать себя внешним сигналом, подаваемым на дискретный вход. Эти устройства снабжены также мгновенным токовым контактом, в устройстве УЗА-10 это специальный токовый орган, который выполнен на аналоговом принципе, в УЗА-АТ это мгновенный контакт измерительного органа максимальной защиты.

Принцип действия токовой логической защиты шин показан на рис. 6.4. Токовые блокирующие органы ЛЗШ выводятся от каждого фидера, собираются вместе и поступают на дискретный вход защиты ввода и секционного выключателя. При коротком замыкании в точке К2 срабатывает защита фидера и ее блокирующий токовый орган и в защиту ввода и СВ (при питании секции от СВ) подается блокирующий сигнал, выводящий из действия отсечку. При К3 в точке К1 т.е. на шинах тока К3 не протекает ни в одной защите отходящей линии, поэтому отсечка не блокируется и работает отсечка на отключение питающего ввода (или секционного выключателя).

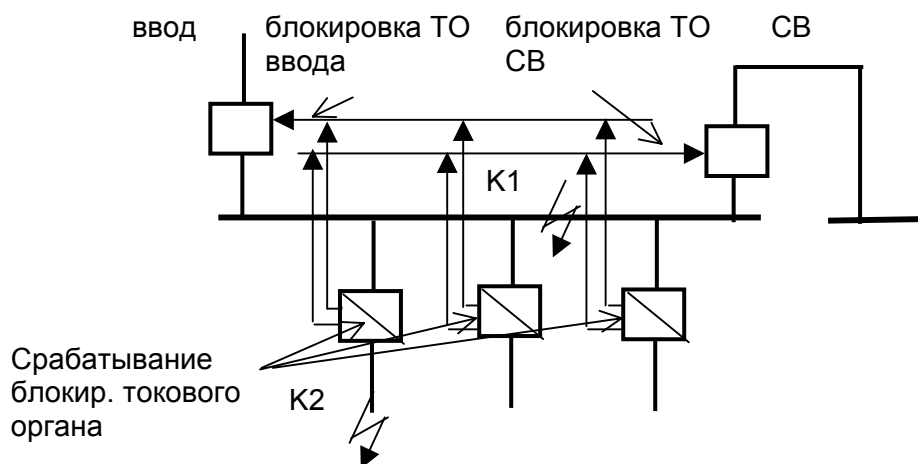


Рис.6.4 Принцип действия логической защиты шин

ЛЗШ-УРОВ

Цепи блокировки отсечки ввода от ЛЗШ в устройствах УЗА-10, УЗА-АТ замыкаются при срабатывании измерительного токового органа и размыкаются после срабатывания выходного реле на отключение выключателя. После этого снимается блокировка вышестоящей отсечки и она срабатывает с некоторой задержкой, необходимой для отстройки от времени нормального отключения выключателя фидера. В устройствах УЗА-10 цепочки состоят из последовательно соединенных контактов: нормально разомкнутого контакта токового органа ЛЗШ RL3 и нормально замкнутого контакта выходного реле KL2 см. рис 6.5.

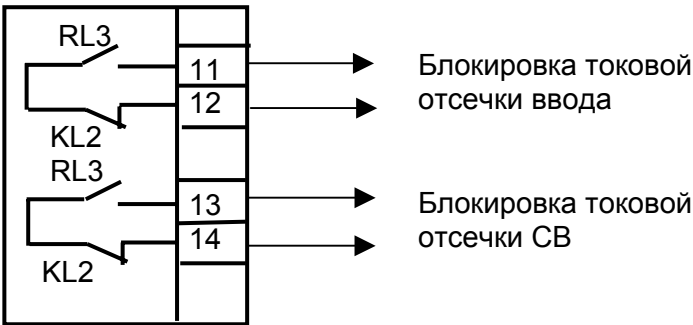


Рис. 6.5 Схема цепочки ЛЗШ-УРОВ УЗА –10.

При возникновении короткого замыкания на фидере срабатывает токовый орган ЛЗШ – реле RL3 и блокирует токовую отсечку на вводе или СВ. После истечения выдержки времени максимальной защиты срабатывают выходные реле защиты RL1 и RL3. Реле RL1 подает напряжение на соленоид отключения выключателя, а НЗ контакты реле RL3 размыкают цепи блокировки ТО защиты ввода (СВ). Пускается токовая отсечка, на которой устанавливается выдержка времени 0.15–0.2 сек. в зависимости от быстродействия выключателя фидера. Если выключатель отключается, то ток в отсечке ввода (СВ) исчезает и отключения его не происходит. При отказе выключателя ток КЗ не исчезает отсечка дорабатывает и отключает ввод (СВ).

Чувствительность такого УРОВ определяется чувствительностью токовой отсечки, уставкой которой выбирается по тем же правилам, как и МТЗ. В ряде случаев такой чувствительности недостаточно. В таком случае требуется применить более сложное реле, которое оснащено встроенной функцией УРОВ, например: серии MiCOM P122-127. В этих реле чувствительность УРОВ определяется встроенным в реле фидера органом минимального тока, который имеет низкую уставку по току (меньше номинального тока фидера). Чувствительность такого УРОВ определяется только чувствительностью защиты фидера.

6.2 ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТУРЫ И ВЫБОР УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВЛ 6-10 КВ

6.2.1 Выбор аппаратуры

Для линии напряжением 6–10 кВ предлагаются микропроцессорное (цифровое) устройство УЗА-10А.2 и микроэлектронное (аналоговое) устройство УЗА-АТ. Основные функции устройств приводились ранее, см. пункты 2.3.1 и 3.5.1. Ранее Энергомашвином выпускались реле УЗА-10 и РС-80 основные функции которых таблицу 6.3.

Таблица 6.3.

Функции	Код ANSI	УЗА-10А	УЗА-10В	РС-80М
1	2	3	4	5
Двухфазная МТЗ с независимой характеристикой	51	Х	Х	
Двухфазная МТЗ с независимой и двумя зависимыми характеристиками				Х

Токовая отсечка	50	X	X	X
ЗНЗ (сигнализация/отключение)	64N		X	
Направленная ЗНЗ				
Ускорение МТЗ при включении выключателя		X	X	
Защита от перегрузки				
Дистанционное включение и отключение выключателя			X	
Контроль и управление выключателем		X	X	
Блокирование/разблокирование МТЗ и ТО (ЛЗШ и УРОВ)		X	X	ТО
Однократное АПВ/ЧАПВ	79	X	X	X
Измерение токов фаз		X	X	
Измерение тока ЗНЗ или точное измерение тока фазы А			X	
Запоминание тока КЗ		X	X	
Порт связи RS 485 для подключения к локальной сети			X	

* Примечание: конкретный набор функций УЗА-10, РС-80 и УЗА-АТ определяется при заказе.

Устройства УЗА могут работать на постоянном и переменном оперативном токе, а также вообще без оперативного тока с использованием, при необходимости, схемы дешунтирования.

Все устройства защиты в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к защите тупиковых линий 6-10 кВ. Выбор одного или другого устройства определяется уровнем требований к месту установки защиты. Устройство УЗА-АТ примерно в 2 раза дешевле УЗА 10. Зато УЗА-10 обладает многими незащитными функциями, которые могут быть определяющими. Это в первую очередь возможность использовать реле в качестве терминала телемеханики – телеуправление, телеизмерение, телесигнализация. Устройство УЗА-10 запоминает величину тока короткого замыкания, что необходимо для анализа работы защиты. Устройство УЗА-10 оборудовано автоматическим контролем исправности. Это и определяет область применения устройств: УЗА–10 целесообразно использовать на простых подстанциях: ТП, РП не оснащенных устройствами телемеханики, а также в случаях модернизации защиты подстанций с сохранением существующих устройств управления и телемеханики присоединений. Устройства УЗА-10 целесообразно применять на ответственных объектах. При модернизации подстанций с сохранением существующих устройств телемеханики или при отсутствии необходимости в ТМ, можно применить более простую и дешевую модификацию микропроцессорной защиты УЗА-10А.

Зарубежные фирмы такие как (ABB, ALSTOM, SIEMENS,GE) так же предлагают широкий спектр аппаратуры для таких присоединений, основные характеристики их приведены в соответствующих приложениях к книге. Любое устройство из предлагаемых может быть применено, набор входящих в них функций превышает необходимый и выбор конкретного устройства определяется обычно другими соображениями, например: ценой, дополнительными функциями или наличием достаточно подробной документации на русском языке.

6.2.2 Выбор характеристик защиты и их уставок

Выбор уставок МТЗ с независимой выдержкой времени

Ток срабатывания защиты выбирается исходя из следующих условий:

- Отстройка от тока нагрузки

$$I_{сз} = k_n \cdot k_{сз} \cdot I_{раб.макс.} / k_v \quad (6.3)$$

где

k_n – коэффициент надежности – 1,2 для УЗА-10 и других микропроцессорных защит и 1,3 – для РС-80 и УЗА-АТ;

$k_{сз}$ – коэффициент самозапуска можно принять равным 2,5 для городских сетей общего назначения и 2,0 для сельских сетей;

Примечание. Указанный коэффициент нельзя применять для фидера, питающего сосредоточенную двигательную нагрузку. Для таких фидеров необходимо стандартными методами определить общий пусковой ток и подставить в формулу взамен $k_{сз} \cdot I_{раб.макс.}$.

$I_{раб.макс.}$ – максимальный рабочий ток линии;

$k_в$ – коэффициент возврата защиты: он составляет 0,85 для устройств РС-80 и УЗА-АТ и 0,92 для УЗА- ALSTOM он равняется 0,95.

- *Согласование защит по чувствительности*

Ток срабатывания предыдущей защиты выбирается таким образом, чтобы она не срабатывала, если не работает последующая:

$$I_{сз.пр.} = k_{от.} \cdot (I_{нагр.} + I_{сз.посл.}) \quad (6.4)$$

где

$I_{сз.пр.}$ – ток срабатывания предыдущей (расположенной ближе к источнику тока и более удаленной от КЗ защиты);

$k_{от.}$ – коэффициент отстройки; для микропроцессорных защит может быть принят для УЗА-10 и 1,2 для аналоговых устройств РС-80 и УЗА-АТ. Для микропроцессорных защит зарубежных фирм (ABB, ALSTOM, SIEMENS, GE) он может быть принят равным 1.1;

$I_{нагр.}$ – суммарный ток нагрузки неповрежденных элементов проходящий через выбираемую предыдущую защиту.

- *Выбор времени действия защиты*

Выдержка времени предыдущей защиты должна быть на ступень больше чем выдержка времени последующей защиты:

$$t_2 + t_1 + \Delta t \quad (6.5)$$

Величина ступени (Δt) зависит от погрешности реле обеих защит и может быть принята 0,3 с для УЗА-10 и 0,4 с для УЗА-АТ. Для микропроцессорных защит фирмы ALSTOM и выдержек времени меньше 1 с она может быть принята 0,2 с.

При согласовании предыдущей защиты с независимой характеристикой, с последующей защитой имеющей зависимую характеристику, необходимо по время-токовой характеристике последующей защиты определить ее время действия при токе срабатывания предыдущей защиты. Уставка предыдущей защиты по времени, должна быть на ступень больше этого времени. Так как все реле в зависимой части имеют большую погрешность, ступень селективности необходимо увеличить на 0,1-0,2 сек. После этого необходимо определить ток срабатывания последующей защиты при полученном времени срабатывания. Ток срабатывания должен быть на 20% меньше.

Ниже приводятся несколько примеров согласования. Следует напомнить, что согласно ГОСТУ, характеристика предохранителя может иметь отклонение по номинальному току до 20%. Поэтому построенная ампер-секундная характеристика должна быть сдвинут вправо.

Кроме этого к характеристике должно быть добавлено время гашения дуги, зависящее от тока и равное 0,03-0,1 с.

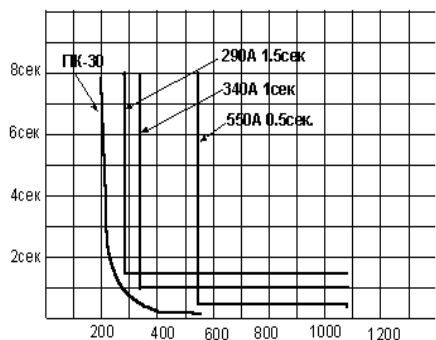


Рис.6.6 Согласование защиты с предохранителем

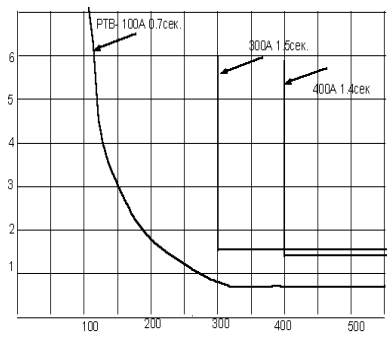


Рис.6.7 Согласование защиты с реле РТВ

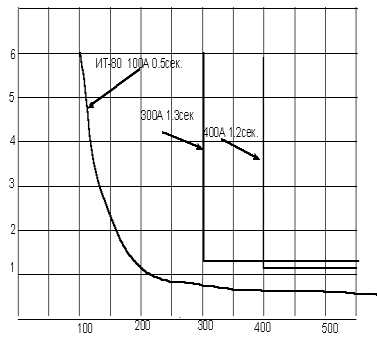


Рис. 6.8 Согласование защиты с реле ИТ-80

Согласование производится в одной точке, равной току и времени срабатывания предыдущей защиты. Таким образом и произведено согласование с широко распространенными в настоящее время устройствами защиты.

Некоторые выводы из примеров:

- Для уменьшения выдержки времени предыдущей защиты необходимо увеличивать ток срабатывания защиты. Для повышения чувствительности защиты приходится увеличивать выдержку времени.
- Для согласования защиты с предохранителем при уставке по времени 0,5 с, необходимо чтобы ток срабатывания защит превышал ток плавкой вставки в 20 раз, если ток срабатывания защиты превышает ток плавкой вставки в 10 раз, минимальная выдержка времени предыдущей защиты должна равняться 1,5 с.
- Согласование защиты с независимой выдержкой времени с защитой на реле РТВ или ИТ-85 обеспечивается при трехкратном токе срабатывания, и уставке по времени, превышающей уставку РТВ на 0,7–0,8 с. При соблюдении таких условий можно не производить расчетного согласования уставок. Такие условия можно обеспечить в городских кабельных сетях, где достаточно высок ток короткого замыкания. В сельских сетях с длинными воздушными линиями эти условия не всегда удается выполнить, поэтому приходится перейти к использованию защит с зависимой характеристикой.

Выбор уставок защит с зависимой выдержкой времени

Устройство УЗА-АТ имеет 2 зависимые характеристики, которые соответствуют формулам:

а) зависимая нормальная

$$t = \frac{0,14 \cdot K}{\left(\frac{I}{I_y}\right)^{0,02} - 1} \cdot t_y \quad (6.6)$$

б) зависимая крутая

$$t = \frac{13,5 \cdot K}{\left(\frac{I}{I_y}\right) - 1} \cdot t_y \quad (6.7)$$

Согласование защит проще производить графически.

Выбор тока срабатывания защиты по условию отстройки от тока нагрузки не отличается от выбора уставок защиты с независимой характеристикой. Однако выбор уставки по условию согласования значительно усложнен. Защиты должны быть согласованы во всех точках характеристики, поэтому согласование удобнее производить графически. Для этого по указанным формулам рассчитываются несколько точек, которые наносятся на график, и через них проводится кривая, на тот же график наносится характеристика последующей защиты.

Согласовании зависимой последующей защиты с защитой с независимой характеристикой производится отдельно по току и по времени. По времени характеристика согласовывается при максимальной величине тока КЗ в месте установки последующей защиты, в ней время срабатывания защиты с зависимой характеристикой должно быть на ступень больше, чем уставка по времени последующей защиты. По току согласование производится на уставках срабатывания защиты. Как уже говорилось, отношение уставки срабатывания предыдущей защиты к уставке последующей должно быть равно 1,2.

На рис. 6.9 показано согласование с предохранителями (из рисунка видно, что наиболее подходящей характеристикой, является зависимая крутая с уставками 120А 0,5 с). Независимая характеристика, выбранная ранее, имеет уставку 300 А, а зависимая нормальная – 300 А, 0,5 с. Расчетная характеристика предохранителя сдвинута вправо на 20%, для учета ее возможного отклонения от типовой.

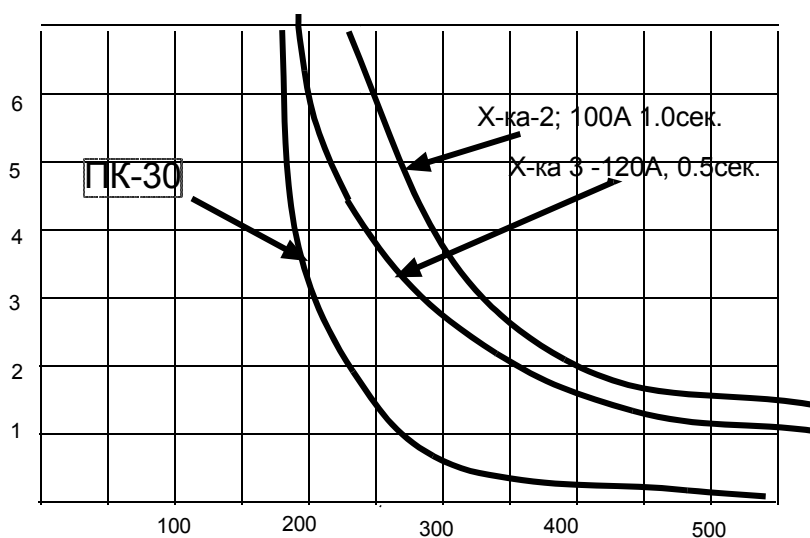


Рис.6.9 Подбор характеристики для согласования защиты УЗА-АТ с предохранителем ПК –30

На рис. 6.10 показано согласование зависимой предыдущей защиты на реле УЗА-АТ с характеристикой последующей защиты выполненной на реле серии ИТ 80.

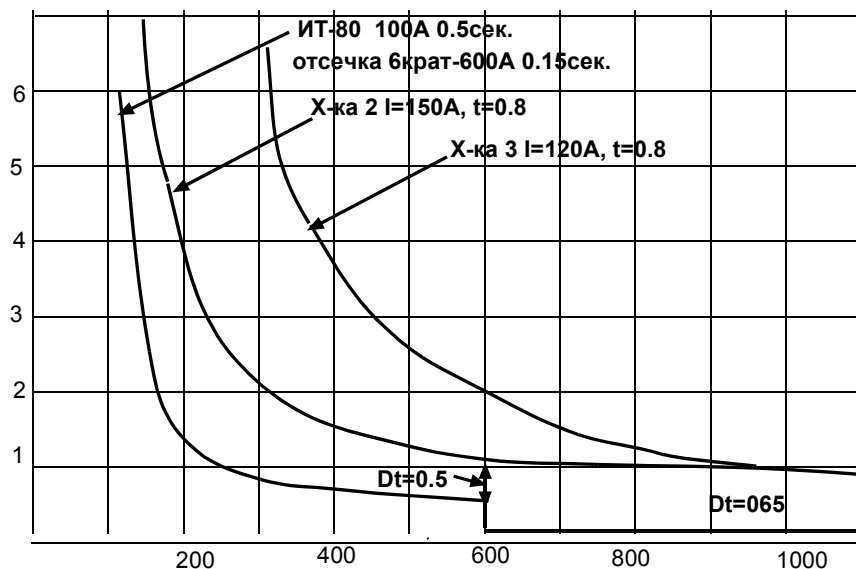


Рис. 6.10 Подбор характеристики для согласования с защитой на реле ИТ-80

Защита ИТ-80 имеет максимальную защиту с зависимой характеристикой (уставка 100 А, 0,5 с и токовую отсечку с уставкой 600 А. Из рис. 6.10 видно, что наиболее подходящей характеристикой будет обратная нормальная с уставкой 150 А, 0,8 с. Крутая характеристика имеет значительно большую выдержку времени в зоне малых токов, а независимая имела большую уставку по току – 300 А. Расчетной точкой на характеристике была точка при токе срабатывания отсечки.

Проверка дешунтирования

В качестве автономной защиты без использования дополнительного источника оперативного тока в распредсетях широко используются схемы с дешунтированием. Они выполняются на электромеханических реле с мощными контактами, позволяющими дешунтировать большие токи, протекающие при коротких замыканиях, схема защиты с дешунтированием показана на рис. 6.11.

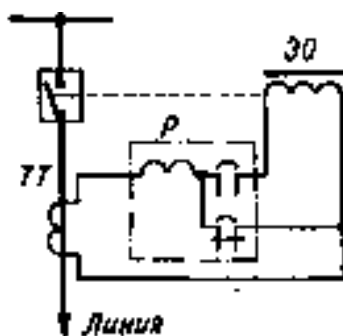


Рис. 6.11 Схема дешунтирования на электромеханическом реле

Р – реле со специальными усиленными контактами (например, реле РТ-85 или РТ-9S);

ТТ – трансформатор тока.

В нагрузочном режиме и при КЗ до срабатывания защиты ток протекает через нормально закрытый контакт реле защиты шунтирующий электромагнит отключения. При срабатывании защиты электромагнитное реле переключается, электромагнит раскорачивается, и в него поступает ток от трансформатора тока. Если тока достаточно для отключения, электромагнит срабатывает и выключатель отключается.

Электромагнит отключения – это токовое реле прямого действия (РТМ), встроенное в пружинный привод типа, например, ПП-61, ПП-67. Минимальный ток срабатывания токового реле

равен 5 А. Существуют специальные электромагниты отключения переменного тока с током срабатывания 3 А. Это ТЭО в приводе ПП-67 или ЭОТТ в приводе выключателя ВМП-10.

Некоторые модификации реле УЗА-10 и УЗА-АТ оснащены схемой дешунтирования. Взамен электромеханического реле для дешунтирования применен семистор ТС-132-50-10, позволяющий дешунтировать токи до 150 А и более. Нормально семистор открыт, и ток течет через него, минуя электромагнит отключения, при срабатывании защиты семистор закрывается, и электромагнит отключения срабатывает.

При выборе уставок защиты, выполненной со схемой дешунтирования, появляется еще одно дополнительное требование к обеспечению срабатывания защиты: обеспечение дешунтирования.

Для надежного действия ЭО после дешунтирования (при переключении контактов реле P на рис. 6.11) необходимо, чтобы $I_{сз}$ максимальной защиты был больше, чем ток срабатывания ЭО. При этом дополнительно учитывают увеличенную токовую погрешность трансформатора тока после дешунтирования ЭО, которая может возникнуть в связи с резким увеличением сопротивления его вторичной нагрузки за счет сопротивления ЭО ($Z_{ЭО} = 2-3$ Ом, а при некоторых схемах соединения трансформаторов тока сопротивление увеличивается в 2-3 раза, см. главу 4). При этом растет погрешность трансформатора тока. Условием обеспечения дешунтирования является требование, чтобы после срабатывания защиты ток через электромагнит был достаточный для отключения выключателя.

Таким образом, условие согласования:

$$I_{сз} \geq k_n I_{сЭО} + I_{нам} \quad (6.8)$$

где

k_n – коэффициент надежности, равный 1,2-1,4;

$I_{сЭО}$ – ток срабатывания электромагнита отключения;

$I_{нам}$ – ток намагничивания трансформатора тока после дешунтирования. Ток намагничивания определяется при токе равном $k_n I_{сЭО}$

Первичный ток срабатывания защиты будет равен:

$$I_{сз} = (k_n I_{сЭО} + I_{нам}) \cdot n_{тт} \quad (6.9)$$

Если полная погрешность трансформаторов тока и в режиме после дешунтирования не превышает 10%, то в выражениях (6.8), (6.9) принимается $I_{нам} = 0,1 \cdot k_n I_{сЭО}$. Тогда при использовании стандартных электромагнитов отключения, у которых $I_{сЭО} = 5$ А, ток срабатывания основных реле защиты должен быть $I_{сз} = 6,6$ А. При использовании специальных электромагнитов отключения с током срабатывания $I_{сЭО} = 3$ А – $I_{сз} = 4,5$ А. Эти условия обычно выполняются при установке выносных трансформаторов тока, у которых при кратности тока 1,2-1,4 допустимая вторичная нагрузка превышает 4 Ом. При использовании встроенных трансформаторов тока (особенно типа ТВТ 35 кВ и 110 кВ на маломощных трансформаторах) оказывается, что это условие не соблюдается. Поэтому в таких схемах часто приходится включать 2 ТТ последовательно или загроублять защиту. Если при этом не обеспечивается достаточная чувствительность защиты, то схема с дешунтированием ЭО не применяется. В качестве источников оперативного тока в таких случаях используются предварительно заряженные конденсаторы (главным образом, в схемах защиты трансформаторов 35, 110 и 220 кВ).

Кроме проверки выполнения условий (6.8) и (6.9) для этих схем (рис. 6.11), необходимо убедиться, что максимальный вторичный ток при КЗ в месте установки защиты ($I_{2КЗ\max}$) не превышает допустимого значения тока, дешунтируемого контактами реле РТ-85, РП-341, УЗА-10, УЗА-АТ, равного 150 А.

$$I_{2КЗ\max} = \frac{I_{КЗ\max} k_{сх}^{(3)}}{n_T} \leq I_{доп} = 150 \text{ А} \quad (6.10)$$

Выражение (6.10) не учитывает погрешности трансформатора тока.

6.2.3 Использование токовой отсечки

Токовая отсечка без выдержки времени отстраивается по току от коротких замыканий на смежных присоединениях: линиях, трансформаторах. Чувствительность отсечек проверяется по току короткого замыкания в месте установки защиты. Требуемый коэффициент чувствительности – 1,2.

На рисунке 6.12. изображена схема, для которой выбираются уставки отсечки. Ниже показан график изменения тока короткого замыкания вдоль линии.

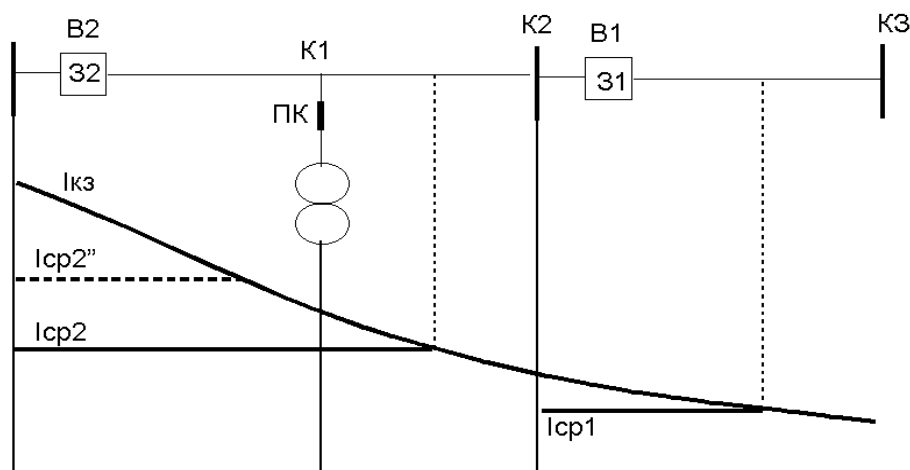


Рис 6.12 Схема сети для выбора токовой отсечки, график изменения тока

Для защиты **31** уставка должна отстраиваться от ТКЗ в точке КЗ:

$$I_{ср.отс.31} = k_n \cdot I_{КЗ\ КЗ} \quad (6.11)$$

Коэффициент надежности может быть принят 1,2 для реле УЗА-10 и 1,3 для реле УЗА АТ.

Для защиты **32** точки, от токов в которых должна отстраиваться отсечка, две: место подключения отпаечного трансформатора К1, и шины смежной подстанции К2.

Точка К1 расположена ближе и ток КЗ в ней больше. Поэтому она может быть расчетной точкой для выбора уставок отсечки.

$$I_{ср.отс.32} = k_n \cdot I_{КЗ\ К1} \quad (6.12)$$

Однако в ряде случаев такой ток отсечки недопустимо загрубляет отсечку, и приходится отстраиваться от КЗ в точке К2.

$$I_{ср.отс.32} = k_n \cdot I_{КЗ\ К2} \quad (6.13)$$

При этом отсечка срабатывает при КЗ на выводах трансформатора, т.е. работает неселективно.

Поскольку КЗ в трансформаторах бывает реже, чем на линиях, такую неселективность можно допустить. Эта неселективность может быть исправлена действием АПВ, при условии, что предохранитель успевает перегореть за время отключения выключателя действием отсечки. При токе КЗ равном пятнадцатикратному номинальному току плавкой вставки ПК, время ее перегорания менее 0,1 с, и это условие обеспечивается. Не менее такой величины должна быть выбрана уставка отсечки.

$$I_{ср.отс.32} = 15I_{ном ПК} \quad (6.14)$$

Еще одним условием выбора токовой отсечки, является отстройка от суммарного броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к линии, при включении линии под напряжение при выдержке времени отсечки порядка 0,05 с ток срабатывания отсечки должен быть равен пяти суммарным номинальным токам трансформаторов.

$$I_{ср.отс.32} = 5I_{ном сумм.} \quad (6.15)$$

Как правило, при выборе отсечки такое соотношение получается.

Отсечка, выбранная таким образом, полностью линию не защищает, и получается такая характеристика: см. рис 6.13.

Начало линии с большим ТКЗ защищается токовой отсечкой, а конец с током КЗ, меньшим уставки отсечки – максимальной защитой.

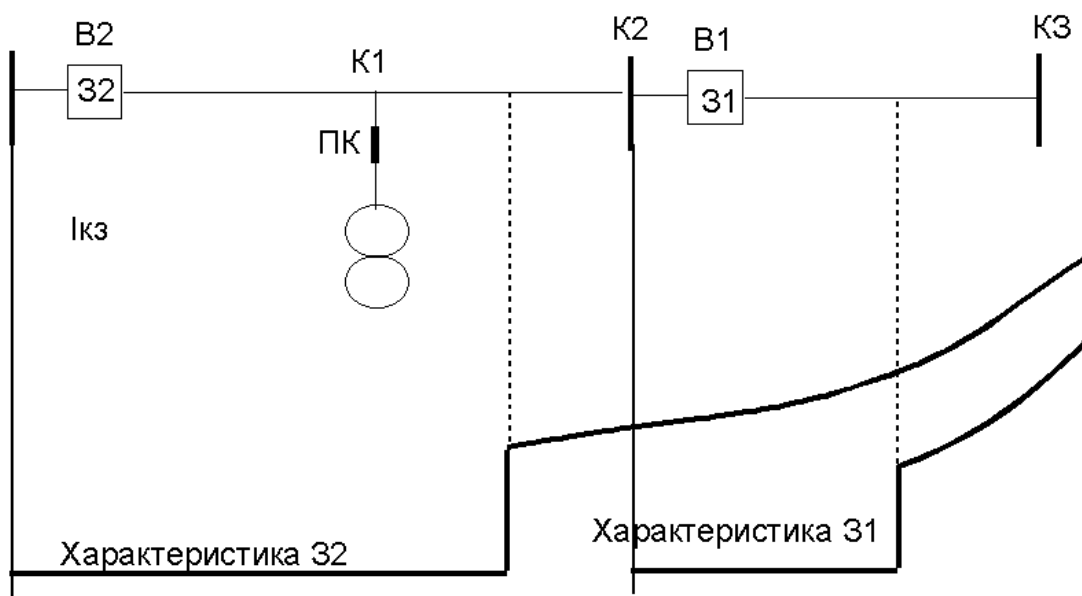


Рис. 6.13 Характеристики выдержки времени токовых защит с использованием максимальной защиты с зависимой характеристикой и токовой отсечкой

При выполнении уставки отсечки на реле, следует принимать во внимание особенности ее выполнения на разных реле. Если на аппаратуре УЗА-10 уставка задается непосредственно в единицах тока и времени, то на реле УЗА-АТ уставка задается в виде кратности к току срабатывания максимальной защите.

$$k_p = I_{ср отс} / I_{ср МТЗ} \quad (6.16)$$

6.2.4 Защиты от замыканий на землю

При выборе уставок ненаправленной защиты от замыканий на землю, где отсутствует компенсация, необходимо определить расчетом суммарный ток замыкания на землю и токи замыкания на землю конкретного фидера.

$$I_{cp} = k_n \cdot I_{zz} \quad (6.17)$$

где

I_{zz} — емкостной ток замыкания на землю конкретного фидера;

k_n — коэффициент надежности, принимается равным 1,5 для защиты имеющей выдержку времени порядка 0,3 сек и более. Если требуется нулевая выдержка времени, то k_n должен быть увеличен до 3-4 для отстройки от броска емкостного тока в переходном режиме замыкания на землю. Поскольку в большинстве случаев защита действует на сигнал, целесообразно ввести выдержку времени, чтобы не понижать чувствительность защиты.

Проверяется чувствительность защиты по общему току замыкания на землю сети, за вычетом тока замыкания на землю данного фидера.

$$k_u = 3I_{0сети} / I_{cp}, \quad k_u \geq 2 \quad (6.18)$$

Защиты по току нулевой последовательности, подключаемые к трансформаторам тока нулевой последовательности отечественного производства, нельзя настраивать, непосредственно выставив уставку в реле. Коэффициент трансформации этих трансформаторов резко меняется в зависимости от нагрузки из-за их малой мощности см. п. 6.1. На уставку влияет даже сопротивление соединительных проводов. Поэтому настройка ведется по первичному току, подаваемому через провод, пропущенный через зазор ТНП. Для начала можно принять коэффициент трансформации ТНП, равным 25.

Направленные защиты от замыканий на землю не отстраиваются от тока замыкания на землю конкретного фидера, поэтому могут быть выполнены более чувствительными. Уставки определяются необходимостью обеспечить нужную чувствительность при замыкании на землю. Для окончания следует отметить, что решение ПТЭ о возможности для линии работать с замыканием на землю, сейчас подвергнуто сомнению. Провод, лежащий на земле или на сооружениях, очень опасен для окружающих в густонаселенной местности. Однако защиту от замыканий на землю на указанных принципах трудно выполнить селективной.

Для обеспечения селективности за рубежом применяется и начинает применяться и у нас режим заземления нейтрали через резистор. У нас применяется резистор 100 Ом. Активный ток замыкания на землю с таким резистором равен 60 А в сети 10 кВ и 36 А в сети 6 кВ. Такого тока вполне достаточно для обеспечения четкой и селективной работы токовой защиты нулевой последовательности, в том числе и при ее включении в нулевой провод фазных трансформаторов тока. В таких условиях защита от замыкания на землю должна работать на отключение.

6.2.5 Устройство АПВ

Обязательно применяется на воздушных и смешанных линиях, иногда применяется на кабельных линиях.

Уставки АПВ на тупиковых линиях не требуют специальных расчетов. Необходимость задания выдержки времени АПВ диктуются следующими соображениями:

- после отключения линии должно восстановиться место повреждения – произойти деионизация внешней среды, заплыв место пробоя кабеля, упасть наброс, попавший на линию электропередачи;
- выключатель должен восстановить отключающую способность, например гасительная камера должна заполниться маслом.

Все эти процессы наверняка закончатся через 2 с. Эта уставка АПВ и предлагается к выполнению на указанных устройствах.

$$t_{АПВ} = 2,0 \text{ с} \quad (6.19)$$

В ряде случаев такой длительный перерыв питания не допускается потребителем из-за возможности нарушения технологического процесса. В этом случае выдержка времени АПВ может быть уменьшена до требуемой величины, если это позволяет примененный выключатель.

Кроме уставки АПВ по времени, для устройства УЗА-10 необходимо указать время готовности выключателя. Время готовности позволяет исключить АПВ при повторяющихся КЗ, поскольку, если выключатель вновь отключится через время, меньшее времени готовности, АПВ оно не произойдет. Практически выбор времени готовности определяется волевым решением предприятия. При отсутствии такого решения можно установить время равным 30 с. Время готовности для устройства УЗА-АТ не регулируется и составляет 30 с.

6.2.6 Ускорение максимальной защиты при включении выключателя

В устройствах УЗА-10 предусматривается ускорение максимальной защиты. Ускорение имеет одну выдержку времени 0,5 с и вводится на время 1 с. Согласно ПУЭ защита ускоряется, если выдержка времени максимальной защиты превышает 1 с. Каких-либо дополнительных расчетов для обоснования возможности ввода ускорения не требуется. Выдержка 0,5 с обеспечивает отстройку ускоряемой ступени от всех переходных процессов.

Для ВЛ-35кВ даже кабельных, отсутствуют трансформаторы тока нулевой последовательности. Поэтому защиты от замыканий на землю, которые применяются на кабельных линиях 6-10 кВ использовать нельзя. Замыкание на землю определяется после срабатывания сигнализации «земли» по напряжению, путем поочередного отключения линий.

6.3 ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ЗАЩИТ И ИХ УСТАВОК НА ТУПИКОВЫХ ВЛ 35 КВ

6.3.1 Выбор аппаратуры

Как правило, на линиях 35 кВ применяются защиты с независимой выдержкой времени. Нагрузкой линии является трансформатор, защищенный дифзащитой или токовой отсечкой и максимальной защитой с независимой выдержкой времени. Защиты трансформатора действуют на отключение выключателя или на включение короткозамыкателя. Имеются предохранители ПСН-35 для защиты трансформаторов напряжением 35 кВ. Применение защит с независимой выдержкой времени, упрощает расчеты, не требует построения графиков.

Применяемая аппаратура для ВЛ-35 кВ имеет повышенные требования по сравнению с аппаратурой для ВЛ-10 кВ.

Защиты на линиях 35 кВ должны устанавливаться в трех фазах или быть трехэлементными, с установкой двух элементов в фазах (как правило, А и С), а третьего в обратный провод соединенных в звезду двухфазных трансформаторов тока, где протекает сумма токов двух фаз. Это требование диктуется тем соображением, что при двухфазном коротком замыкании за трансформатором со схемой соединения звезда-треугольник, ток короткого замыкания только в одной фазе равен полному току КЗ а в двух других – половине этого тока. Поэтому защита, которая резервирует КЗ за трансформатором, должна быть обязательно трехфазной (трехэлементной). Тогда ее чувствительность будет одинаковой при любом коротком замыкании на стороне НН трансформатора.

Защиту целесообразно иметь трехступенчатой, для уменьшения выдержек времени, с которыми отключаются защищаемая линия (см. рис. 6.14).

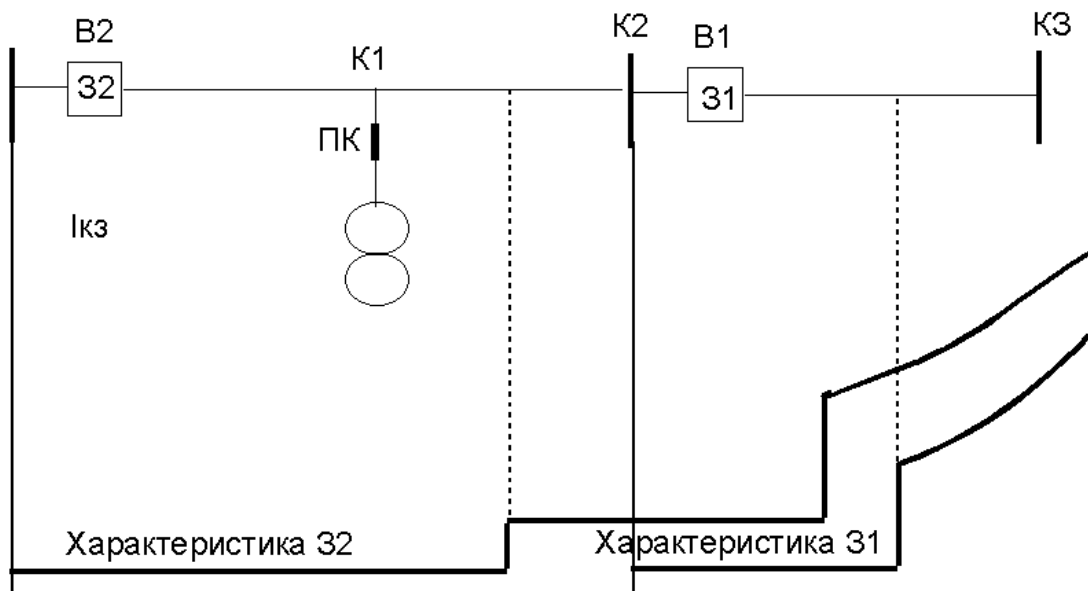


Рис. 6.14 Выполнение 3 ступенчатой защиты на ВЛ 35 кВ

Дополнительная 2-я ступень защиты **32** согласовывается по току и по времени с токовой отсечкой защиты **31**. Выдержку времени отсечки можно установить равной 0,1–0,5 с (задержка для обеспечения перегорания предохранителя ПСН-35). В результате оказалось, что линия защищается защитой **32**, в начале – 0,15 с, а в конце – 0,35 с для MICOM. Максимальная защита должна работать в зоне резервирования, т.е. при КЗ за трансформатором и на смежной линии электропередачи.

Проверка чувствительности при резервировании производится при двухфазном КЗ в минимальном режиме на резервируемой линии, и при трехфазном КЗ в минимальном режиме на резервируемом трансформаторе (при КЗ за трансформатором со схемой соединения Y/Δ ток КЗ на стороне ВН при двухфазном КЗ в той фазе, где протекает полный ток КЗ равен току трехфазного КЗ).

В качестве защиты для простой сети можно применить защиты типа двухступенчатую РС-80 МЗ, трехступенчатую УЗА-10А.2-3 или большинство защит ABB, ALSTOM, GE, SIEMENS например F650 GE. Если отказаться от резервирования защит трансформатора при двухфазном КЗ на стороне 35 кВ, то в ряде случаев можно применить и двухфазную защиту защиту УЗА-10, УЗА-АТ, в этом случае защита будет двухступенчатой, или применить трехступенчатую защиту УЗА-10А.2.

Схема сети 35 кВ часто бывает сложной, из-за наличия связей по сети и разных источников питания. Обычно применяются кольцевые разомкнутые сети. Может меняться как источник питания, так и направление питания. Поэтому выбор и согласование уставок в такой сети производится для различных режимов, в каждом из которых должны обеспечиваться требования чувствительности и селективности защиты. В этих случаях можно использовать, имеющуюся в большинстве устройств защиты, возможность переключения на второй набор уставок. Однако наиболее пригодным представляется применение направленных защит, например: F650 фирмы GE, REF 54_ ABB, 7SJ 5__ SIEMENS, MICOM P127 ALSTOM. В таком случае не понадобится организовывать изменение уставок защиты при переключениях в сети.

6.3.2 Выбор уставок направленных защит для некоторых типовых схем

Схема двух параллельных линий

Схема часто применяется в случаях, когда по одной линии не удастся обеспечить питание всей нагрузки секции. Приходится включать параллельно 2 линии. Для обеспечения селективности на приемной стороне, защиты РЗ-3, РЗ-4 необходимо выполнить направленными см. рис. 6.15.

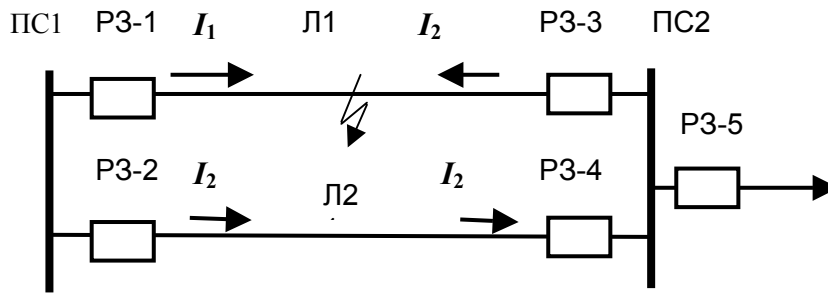


Рис. 6.15 Распределение ТКЗ при повреждении одной из параллельных линий

При коротком замыкании на Л1 через защиты РЗ-3 и РЗ-4 протекает одинаковый ток (I_2), и по его величине невозможно определить, на какой линии произошло короткое замыкание и которую нужно отключить с приемной стороны. Это и определяется по направлению тока в защитах. Поэтому защиты РЗ3 и РЗ4 необходимо выполнить направленными. Можно применить устройства защиты серии F650 GE или MiCOM P127 фирмы ALSTOM.

С питающей стороны может быть применена ненаправленная 2–3-ступенчатая защита. При коротком замыкании на одной из ВЛ в начале линии, в защите РЗ-3 и РЗ-4 ток КЗ не протекает. В этом случае должна сработать токовая отсечка на ПС-1 и отключить выключатель. После этого весь ток КЗ протечет по цепи ПС1, Л2, ПС2, Л1, а по защитах РЗ-3, РЗ-4 пройдет одинаковый ток КЗ, которого достаточно для срабатывания защиты, и сработает та защита, у которой ток направлен в линию см. рис 6.16:

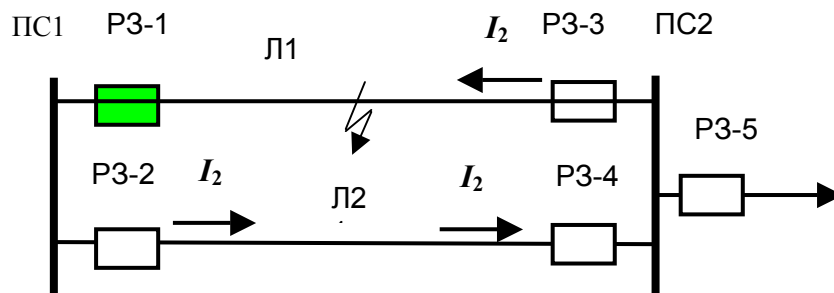


Рис. 6.16 «Каскадное» отключение линии

При коротком замыкании в конце ВЛ у шин ПС2 в режиме рис 6.15 токи КЗ, протекающие по защитах РЗ-1 и РЗ-2 примерно одинаковы и определить на какой ВЛ повреждение невозможно. В этом случае короткое замыкание первым должна отключить защита на ПС2, которая выполнена направленной и отключит именно поврежденную линию.

Выбор уставок

- По общим правилам выбирается защита тупиковой линии РЗ-5. Выбрано 2 ступени: максимальная защита и отсечка.
- Производится выбор защит на приемной стороне ПС-2. Для обеспечения четкой работы защиты достаточно одноступенчатой токовой отсечки с этой стороны. Ток срабатывания достаточно отстроить от нагрузки фидера в нормальном рабочем режиме.

$$I_{cp} = \frac{k_n}{k_g} \cdot I_{нагр.ном.} = \frac{1,2}{0,95} \cdot I_{нагр.ном.} = 1,25 \cdot I_{нагр.ном.}$$

- Производится выбор 1 ступени защиты РЗ-1 (РЗ-2). Эта защита должна быть отстроена от тока КЗ в конце линии в максимальном режиме при условии, что вторая линия отключена.

$$I_{cp} = k_n \cdot I_{K3 \text{ ПС2}} = 1,2 \cdot I_{K3 \text{ ПС2}}$$

- Производится выбор 2 ступени (максимальной защиты) РЗ-1(РЗ-2). Принцип выбора обычный: отстройка от максимального тока нагрузки ВЛ с учетом самозапуска и возможности наброса нагрузки при отключении второй параллельной ВЛ.

$$I_{cp} = \frac{k_n}{k_\epsilon} \cdot I_{нагр.макс.} = 1,25 \cdot I_{нагр.макс.}$$

- Производится проверка чувствительности максимальной защиты РЗ-1 (РЗ-2) в минимальном режиме, при двухфазном КЗ и параллельной работе линий.

$$k_\epsilon = I_{K3 \text{ мин}}^{(2)} / I_{cp}$$

Проверка чувствительности производится в двух точках в основной зоне – на шинах ПС2 ($k_\epsilon \geq 1,5$) и в зоне резервирования в конце линий, отходящих от ПС2 ($k_\epsilon \geq 1,2$).

- Производится проверка чувствительности отсечек в зоне их каскадного действия. Проверка производится при минимальном режиме системы и двух параллельно работающих линиях. Цель проверки – убедиться в том, что зоны отсечек перекрываются и, при КЗ в любом месте линии, работает хотя бы одна отсечка. Считается ток, протекающий через защиты РЗ-1 и РЗ-3 (РЗ-2 и РЗ-4) при коротком замыкании в середине линии. Если обе защиты имеют чувствительность при КЗ в этой точке не менее 1,5, значит каскадная работа обеспечивается. Если чувствительность защиты не обеспечивается, обычно это получается для отсечки РЗ-1, первый участок линии делится пополам, и рассчитывается КЗ в середине участка (0,25 длины линии). Производится повторная проверка чувствительности. если снова не получается, то делятся пополам получившиеся участки, считается ток КЗ и опять проверяется чувствительность.
- Если линии очень коротки, то каскадное действие отсечек может быть не обеспечено. В этом случае при КЗ в той точке, где уже не работает отсечка на ПС2 и не работает отсечка на ПС1, КЗ будет отключаться максимальной защитой этой линии. Отключение КЗ будет задержано на время срабатывания максимальной защиты после чего должна сработать отсечка на ПС2. Ускорить отключение может применение на ПС1 второй ступени токовой отсечки с малой выдержкой времени, согласованной по току и по времени с отсечкой отходящей ВЛ на ПС2 (РЗ-5), а также с отсечкой защиты на приемном конце параллельных линий (РЗ-3–РЗ-4). Согласование производится в режиме одна с одной линией. Проверка чувствительности в зоне каскадного действия производится таким же способом, как и для токовой отсечки.

Разомкнутый транзит 35 кВ

Упрощенную схему показано на рис. 6.17

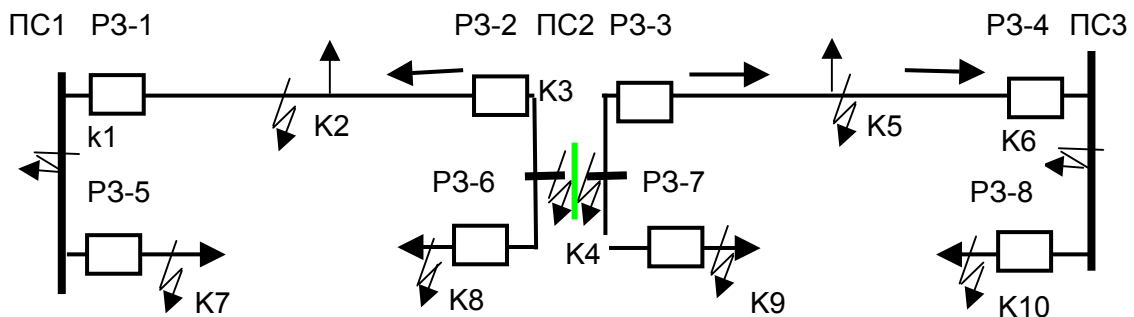


Рис. 6.17 Разомкнутый транзит 35 кВ

На ПС2 разрез: часть нагрузки питается от ПС1, вторая часть – от ПС2. На каждой линии имеются отпайки. В ремонтном режиме возможен перенос разреза на выключатель линии со стороны ПС1. Возможно также питание нагрузки ПС1 и ПС2 целиком от ПС3. Такие же самые варианты питания предусмотрены для ПС3. Применение направленных защит позволяет обеспечить селективность защиты во всех перечисленных режимах. Для этого направленными должны быть выполнены защиты РЗ-1, РЗ-2, РЗ-3, РЗ-4. Предпочтительны трехступенчатые защиты например: F650 фирмы GE, REF 54_ ABB, 7SJ 5__ SIEMENS, MiCOM P127 P140 ALSTOM. Остальные защиты могут быть ненаправленными.

Выбор уставок защиты и их согласование производится отдельно по двум направлениям питания:

- При питании от ПС1 согласовываются защиты РЗ-3 с РЗ-8, и РЗ-1 с защитами РЗ-3, РЗ-6 и РЗ-7.
- При питании от ПС3 согласовываются защиты РЗ-2 с РЗ-5, и РЗ-4 с защитами РЗ-2, РЗ-6 и РЗ-7.

За исключением того, что защиты направленные, условия выбора уставок ступенчатых защит сохраняются прежними. Первая ступень отстраивается от тока КЗ в конце линии и за трансформатором отпайки, и по времени выдержка равна 0. Вторая ступень согласовывается по току с отсечками последующих линий и отстраивается от тока КЗ за трансформатором отпайки. Третья ступень отстраивается от тока нагрузки и согласовывается по току и по времени с максимальной защитой последующей линии и отпаечных трансформаторов. Проверяется чувствительность ступенчатых защит в основной зоне и в зоне резервирования.

7 ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 110-220 КВ

7.1 ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Сети такого напряжения работают в режиме с эффективно или глухозаземленной нейтралью. Поэтому замыкание на землю является коротким замыканием с током, иногда превышающим ток трехфазного КЗ, и подлежит отключению с минимально возможной выдержкой времени.

Воздушные и смешанные (кабельно-воздушные) линии оснащаются устройствами АПВ. В ряде случаев, если применяемый выключатель выполнен с пофазным управлением, применяется пофазное отключение и АПВ. Это позволяет отключить и включить поврежденную фазу без отключения нагрузки, так как в этих сетях при заземлении нейтрали трансформатора, питающего нагрузку, нагрузка практически не ощущает работы в кратковременном неполнофазном режиме.

На чисто кабельных линиях АПВ, как правило, не применяется.

Линии высокого напряжения работают с большими токами нагрузки, что требует применения защит со специальными характеристиками. На транзитных линиях, которые могут перегружаться, как правило, применяются дистанционные защиты, позволяющие эффективно отстроиться от токов нагрузки. На тупиковых линиях во многих случаях можно обойтись токовыми защитами. Как правило, не допускается, чтобы защиты срабатывали при перегрузках. Защита от перегрузки, при необходимости, выполняется на специальных устройствах.

Согласно ПУЭ, устройства предотвращения перегрузки должны применяться в случаях, если допустимая для оборудования длительность протекания тока составляет менее 10-20 мин. Защита от перегрузки должна действовать на разгрузку оборудования, разрыв транзита, отключение нагрузки и только в последнюю очередь на отключение перегрузившегося оборудования.

Линии высокого напряжения, как правило, имеют значительную длину, что усложняет поиски места повреждения. Поэтому линии должны оснащаться устройствами, определяющими расстояние до места повреждения. Согласно директивным материалам СНГ, средствами ОМП должны оснащаться линии длиной 20 км и более.

Задержка в отключении короткого замыкания может привести к нарушению устойчивости параллельной работы электростанции, из-за длительной посадки напряжения может остановиться оборудование и нарушиться технологический процесс производства, могут произойти дополнительные повреждения линии, на которой возникло короткое замыкание. Поэтому на таких линиях очень часто применяются защиты, которые отключают короткие замыкания в любой точке без выдержки времени. Это могут быть дифференциальные защиты, установленные по концам линии и связанные высокочастотным, проводниковым или оптическим каналом. Это могут быть обычные защиты, ускоряемые при получении разрешающего или снятии блокирующего сигнала с противоположной стороны.

Токовые и дистанционные защиты, как правило, выполняются ступенчатыми. Количество ступеней не менее 3, в ряде случаев необходимо 4 или даже 5 ступеней.

Во многих случаях, все требуемые защиты можно выполнить в составе одного устройства. Однако выход из строя этого одного устройства оставляет оборудование без защиты, что недопустимо. Поэтому защиты линий высокого напряжения целесообразно выполнять в составе 2 комплектов. Второй комплект является резервным и может быть упрощен по сравнению с основным: не иметь АПВ, ОМП, иметь меньшее количество ступеней и т.д. Второй комплект должен питаться от другого автомата оперативного тока и комплекта трансформаторов тока.

При наличии такой возможности, питаться от другой аккумуляторной батареи и трансформатора напряжения, действовать на другой соленоид отключения выключателя.

Устройства защиты высоковольтных линий должны учитывать возможность отказа выключателя и иметь УРОВ либо встроенное в само устройство, либо организованное отдельно.

Для анализа аварии и работы релейной защиты и автоматики требуется регистрация как аналоговых величин, так и дискретных при аварийных событиях.

Таким образом, для высоковольтных линий комплекты защиты и автоматики должны выполнять следующие функции:

- Защиту от междуфазных коротких замыканий и коротких замыканий на землю.
- Пофазное или трехфазное АПВ.
- Защиту от перегрузки.
- УРОВ.
- Определение места повреждения.
- Осциллографирование токов и напряжений, а также регистрация дискретных сигналов защиты и автоматики.
- Устройства защиты должны резервироваться или дублироваться.
- Для линий, имеющих выключатели с пофазным управлением, необходимо иметь защиту от неполнофазного режима действующую на отключение своего и смежных выключателей, так как длительный неполнофазный режим в сетях СНГ не допускается.

7.2 ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Как указывалось в гл. 1, в сетях с заземленной нейтралью необходимо учитывать дополнительно два вида короткого замыкания: однофазного и двухфазного замыкания на землю.

Расчеты токов и напряжений при коротких замыканиях на землю ведутся методом симметричных составляющих см. гл. 1. Это важно, в том числе, и потому, что защиты используют симметричные составляющие, которые в симметричных режимах отсутствуют. Использование токов обратной и нулевой последовательности позволяет не отстраивать защиту от тока нагрузки и иметь уставку по току меньшую тока нагрузки. Например для защиты от замыканий на землю, главным образом используется токовая защита нулевой последовательности, включаемая в нулевой провод соединенных в звезду трех трансформаторов тока.

При использовании метода симметричных составляющих, схема замещения для каждой из них составляется отдельно, затем они соединяются вместе по месту КЗ. Например, составим схему замещения для схемы рис 7.1.

$$X_{1 \text{ сист.}} = 15 \text{ Ом}$$

$$X_{0 \text{ сист.}} = 25 \text{ Ом}$$

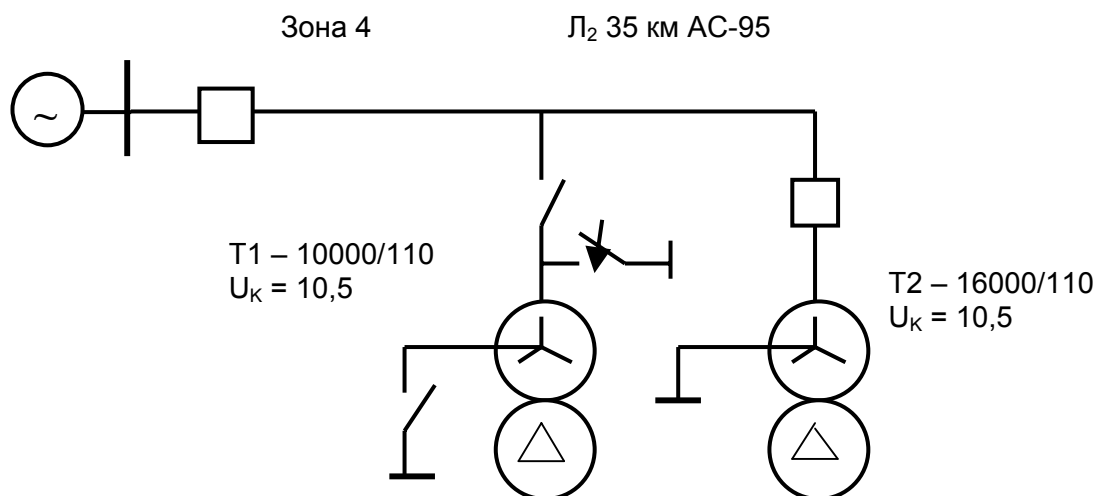


Рис. 7.1 Пример сети для составления схемы замещения в симметричных составляющих

При расчете параметров линии 110 кВ и выше для схемы замещения, обычно пренебрегают активным сопротивлением линии. Индуктивное сопротивление прямой последовательности (X_1) линии по справочным данным равно: АС-95 – 0,429 Ом на км, АС-120 – 0,423 ом на км. Сопротивление нулевой последовательности для линии со стальными тросами тросами равно $3X_1$ т.е. соответственно $0,429 \cdot 3 = 1,287$ и $0,423 \cdot 3 = 1,269$.

Определим параметры линии:

$$X_{1,Л1} = 25 \cdot 0,423 = 10,6 \text{ Ом}; \quad X_{0,Л1} = 25 \cdot 1,269 = 31,7 \text{ Ом}$$

$$X_{1,Л2} = 35 \cdot 0,423 = 15,02 \text{ Ом}; \quad X_{0,Л2} = 35 \cdot 1,269 = 45,05 \text{ Ом}$$

Определим параметры трансформатора:

Т1 10000кВА.

$$X_{1T1} = 0,105 \cdot 115^2 / 10 = 138 \text{ Ом};$$

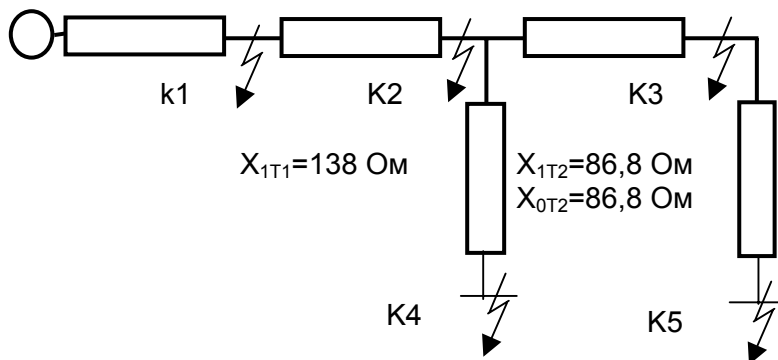
$$X_{1T2} = 0,105 \cdot 115^2 / 16 = 86,8 \text{ Ом}; \quad X_{0T2} = 86,8 \text{ Ом}$$

Сопротивление обратной последовательности в схеме замещения равно сопротивлению обратной последовательности.

Сопротивление нулевой последовательности трансформаторов обычно принимается равным сопротивлению прямой последовательности. $X_{1T} = X_{0T}$. Трансформатор Т1 не входит в схему замещения нулевой последовательности так как его нейтраль разземлена.

Составляем схему замещения.

$$\begin{array}{lll} X_{1C}=X_{2C}=15 \text{ Ом} & X_{1Л1}=X_{2Л1}=10,6 \text{ Ом} & X_{1Л2}=X_{2Л1}=15,1 \text{ Ом} \\ X_{0C}=25 \text{ Ом} & X_{0Л1}=31,7 \text{ Ом} & X_{0Л2}=45,05 \text{ Ом} \end{array}$$



Расчет трехфазных и двухфазных КЗ производится обычным путем, см. таблицу 7.1.

Таблица 7.1

точка КЗ	сопротивление до места КЗ $X_{1\Sigma} = \sum X_1$	Ток КЗ трехфазный $I^{(3)} = (115/\sqrt{3})/X_1$	Ток КЗ двухфазный $I^{(2)} = 0,87 \cdot I^{(3)}$
к1	15 Ом	4,43 кА	3,85 кА
к2	15+10,6 = 25,6 Ом	2,59 кА	2,26 кА
к3	25,6+15,1 = 40,7 Ом	1,63 кА	1,42 кА
к4	25,6+ 138=163,6 Ом	0,406кА	0,35 кА
к5	40,7+86.8 =127,5 Ом	0,52 кА	0,45 кА

Для расчета токов замыкания на землю необходимо использовать метод симметричных составляющих.

Согласно этому методу, эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности вычисляются относительно точки КЗ и включаются последовательно в схеме замещения для однофазных КЗ на землю рис.7.2, а и последовательно/параллельно для двухфазных на землю рис.7.2, б.

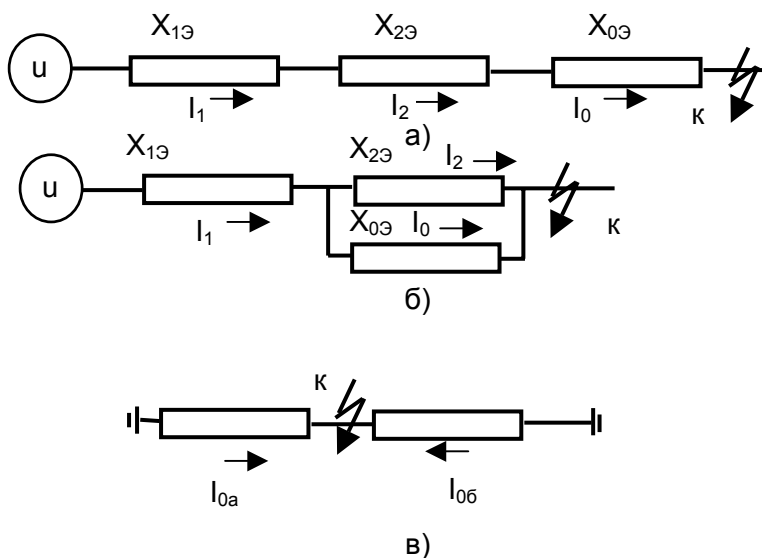


Рис. 7.2 Схема включения эквивалентных сопротивлений прямой, обратной и нулевой последовательности для расчета токов короткого замыкания на землю:

а) – однофазного; б) – двухфазного; в) – распределение токов нулевой последовательности между двумя точками заземления нейтрали.

Выполним расчет КЗ на землю см. таблицы 7.2, 7.3.

Схема прямой и обратной последовательности состоит из одной ветви: от источника питания до места короткого замыкания. В схеме нулевой последовательности 2 ветви от заземленных нейтралей, которые являются источниками тока КЗ и должны в схеме замещения соединяться параллельно. Сопротивление параллельно соединенных ветвей определяется по формуле:

$$X_3 = (X_a \cdot X_6) / (X_a + X_6) \quad (7.1)$$

Токораспределение по параллельным ветвям определяется по формулам:

$$I_a = I_3 \cdot X_3 / X_a ; I_6 = I_3 \cdot X_3 / X_6 \quad (7.2)$$

Токи однофазного КЗ

Таблица 7.2

Точка КЗ	X_{13}	X_{23}	$X_{03} = X_{0a} // X_{06}^*$	X_3	I_{K31}	I_{K32}	I_{K30}	I_{K30a}^{**}	I_{K306}^{**}	$I_{K3} = I_1 + I_2 + I_0$
к1	15	15	25//163,5=21,6	51,6	1,29	1,29	1,29	1,11	0,18	3,87
к2	25,6	25,6	56,7//131,8=39,6	90,8	0,73	0,73	0,73	0,51	0,22	2,19
к3	40,7	40,7	91,7//86,8= 42,2	123,6	0,53	0,53	0,53	0,24	0,29	1,59

*Примечание. Определяется сопротивление параллельно соединенных двух участков схемы нулевой последовательности по формуле 7.1.

**Примечание. Распределяется ток между двумя участками нулевой последовательности по формуле 7.2.

Токи двухфазного КЗ на землю

Таблица 7.3

Точка КЗ	X_{13}	X_{23}	X_{03}^* таб.7.2	$X_{0-23}^{**} = X_{03} // X_2$	X_3	I_{K31}	I_{K32}^{***}	I_{K30}	I_{K30a}^{****}	I_{K306}	$I_{K3}^{*****} \approx I_1 + 1/2(I_2 + I_0)$
к1	15	15	21,6	8,85	23,85	2,78	1,64	1,14	0,98	0,16	4,17
к2	25,6	25,6	39,6	15,55	42,05	1,58	0,95	0,63	0,44	0,19	2,37
к3	40,7	40,7	42,2	20,71	61,41	1,08	0,55	0,53	0,24	0,29	1,62

*Примечание. Определяется сопротивление параллельно соединенных двух участков схемы нулевой последовательности по формуле 7.1, расчет выполнен в таблице 7.2.

**Примечание. Определяется сопротивление параллельно соединенных двух сопротивлений обратной и нулевой последовательности по формуле 7.1.

***Примечание. Распределяется ток между двумя сопротивлениями обратной и нулевой последовательности по формуле 7.2.

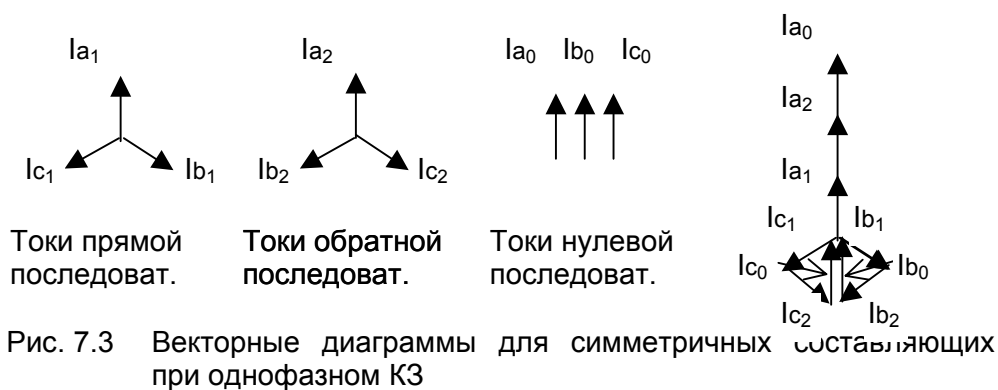
****Примечание. Распределяется ток между двумя участками нулевой последовательности по формуле 7.2.

*****Примечание. Ток двухфазного КЗ на землю указан по приближенной формуле, точное значение определяется геометрическим путем см. ниже.

Определение фазных токов после расчета симметричных составляющих

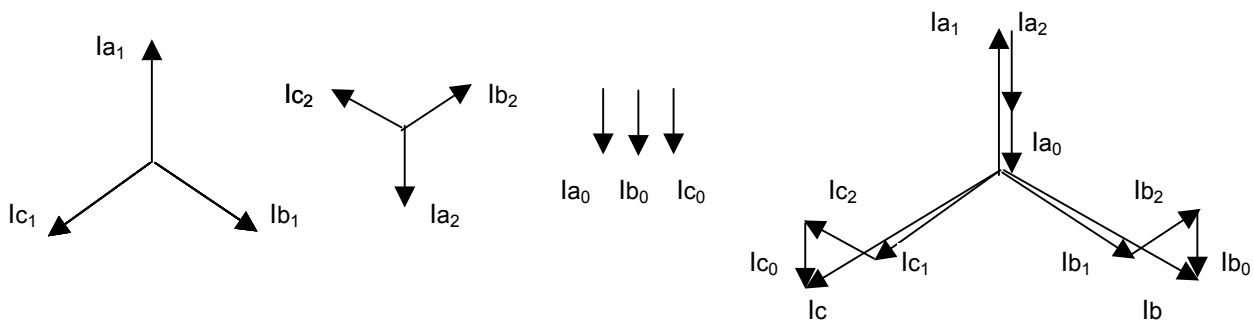
При однофазном КЗ весь ток КЗ протекает в поврежденной фазе, в остальных фазах ток не протекает. Токи всех последовательностей равны между собой.

Для соблюдения таких условий симметричные составляющие располагаются следующим образом (рис.7.3):



При однофазном КЗ токи $I_1 = I_2 = I_0$. В поврежденной фазе они равны по величине и совпадают по фазе. В неповрежденных фазах равные токи всех последовательностей образуют равносторонний треугольник и результирующая сумма всех токов равна 0.

При двухфазном коротком замыкании на землю нулю равен ток в одной неповрежденной фазе. Ток прямой последовательности равен сумме токов нулевой и обратной последовательности с обратным знаком. Исходя из таких положений, строим токи симметричных составляющих (рис. 7.4):



Из построенной диаграммы видно, что фазные токи при замыканиях на землю построить довольно сложно, так как угол фазного тока отличается от угла симметричных составляющих.

Его следует строить графически или использовать ортогональные проекции. Однако с достаточной для практики точностью величину тока можно определить по упрощенной формуле:

$$I_{\phi} = I_1 + \frac{1}{2}(I_2 + I_0) = 1,5I_1 \quad (7.3)$$

Токи в таблице 7.3 подсчитаны по этой формуле.

Если сравнить токи двухфазного КЗ на землю по таблице 7.3 с током двухфазного и трехфазного КЗ по таблице 7.1, можно сделать вывод, что токи двухфазного КЗ несколько ниже тока двухфазного КЗ на землю, поэтому чувствительность защиты следует определять по току двухфазного КЗ. Токи трехфазного КЗ соответственно выше тока двухфазного КЗ на землю, поэтому определение максимального тока КЗ для отстройки защиты производится по трехфазному КЗ. Это значит, что для расчетов защиты не нужен ток двухфазного КЗ на землю, и его считать незначим. Ситуация несколько изменяется при расчете токов короткого замыкания на шинах мощных электростанций, где сопротивление обратной и нулевой последовательности меньше сопротивления прямой. Но к распределителям это не имеет отношения, а для электростанций токи считаются на ЭВМ по специальной программе.

7.3 ПРИМЕРЫ ВЫБОРА АППАРАТУРЫ ДЛЯ ТУПИКОВЫХ ВЛ 110-220 кВ

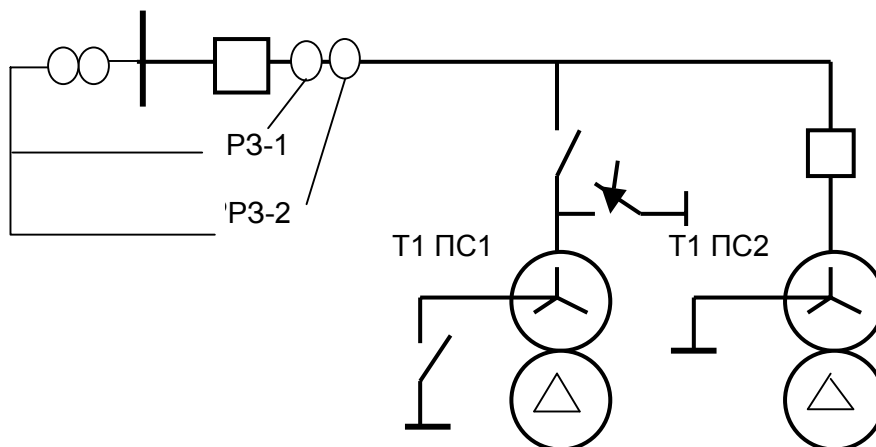


Схема 7.1. Тупиковая воздушная линия 110–220 кВ. Со стороны ПС1 и ПС2 отсутствует питание. Т1 ПС1 включен через отделитель и короткозамыкатель. Т1 ПС2 включен через выключатель. Нейтраль стороны ВН Т1 ПС2 заземлена, на ПС1 – изолирована. Минимальные требования к защите:

Вариант 1. Должна быть применена трехступенчатая защита от междуфазных коротких замыканий (первая ступень, без выдержки времени, отстроена от КЗ на шинах ВН ПС2, вторая, с малой выдержкой времени, от КЗ на шинах НН ПС1 и ПС2, третья ступень – максимальная защита). Защиты от замыканий на землю – 2 ступени (первая ступень, без выдержки времени отстроена от тока, посылаемого на шины заземленным трансформатором ПС2, вторая ступень с выдержкой времени, обеспечивающей ее согласование с защитами внешней сети, но не отстроенная от тока КЗ, посылаемого трансформатором ПС2). Должно быть применено двух или однократное АПВ. Чувствительные ступени должны ускоряться при АПВ. Защиты пускают УРОВ питающей подстанции. К дополнительным требованиям можно отнести защиту от обрыва фаз, определение места повреждения на ВЛ, контроль ресурса выключателя.

Вариант 2. В отличие от первого защита от замыканий на землю выполнена направленной, что позволяет не отстраивать ее от обратного тока КЗ и, таким образом, выполнить более чувствительную защиту без выдержки времени. Таким образом, удастся защитить всю линию без выдержки времени.

Примечание. В этом и последующих примерах не даются точные рекомендации по выбору уставок защиты, упоминания о настройке защит используются для обоснования выбора типов защиты. В реальных условиях может быть применена другая настройка защит, что и требуется определить при конкретном проектировании. Защиты могут быть заменены устройствами защиты других типов, имеющих подходящие характеристики.

Набор защит, как уже было сказано, должен состоять из 2 комплектов. Защита может быть реализована на 2х реле выбранных из:

- MiCOM P121, P122, P123, P126, P127 фирмы ALSTOM,
- F 60, F650 фирмы GE
- двух реле REF 543 фирмы ABB – подбирается 2 подходящих модификации,
- 7SJ 511, 512, 531, 551 SIEMENS– подбирается 2 подходящих модификации,
- двух реле SEL 551 фирмы SEL.

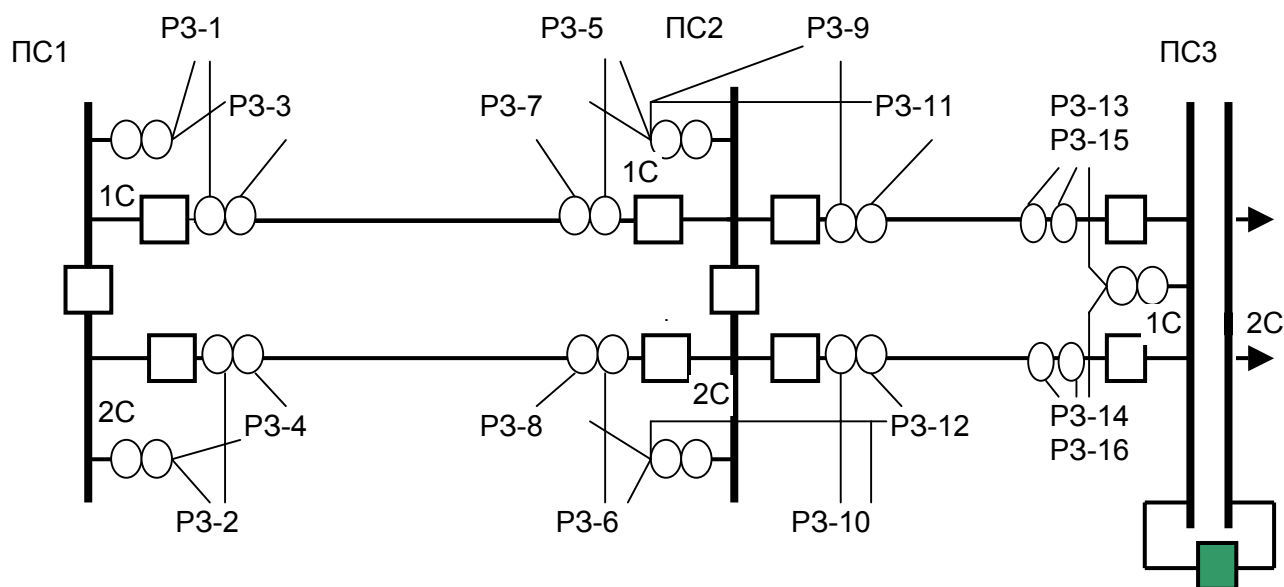


Схема 7.2. Разомкнутый транзит на подстанции 3

. Двухцепная воздушная линия заходит на подстанцию 2, секции которой работают параллельно. Предусматривается возможность переноса разреза на ПС2 в ремонтном режиме. В этом случае включается секционный выключатель на ПС3. Транзит замыкается только на время переключения и, при выборе защит, его замыкание не учитывается. На 1 секции ПС3 включен трансформатор с заземленной нейтралью. Источника тока для междуфазного КЗ на подстанциях 2 и 3 нет. Поэтому защита на стороне без питания работает только в «каскаде», после отключения линии со стороны питания. Несмотря на отсутствие питания с противоположной стороны защита должна быть выполнена направленной как при замыканиях на землю, так и при междуфазных коротких замыканиях. Это позволяет на приемной стороне правильно определить поврежденную линию.

В общем случае для того, чтобы обеспечить селективную защиту с небольшими выдержками времени, особенно на коротких линиях, необходимо применить четырехступенчатую защиту,

уставки которой выбираются следующим образом: 1 ступень отстраивается от КЗ в конце линии, 2 ступень согласовывается с первой ступенью параллельной линии в каскаде и первой ступенью смежной линии, 3 ступень согласовывается со вторыми ступенями этих ВЛ. При согласовании защит со смежной линией учитывается режим одна с двумя: на первом участке - 1 ВЛ, на втором участке – 2, что существенно загроубляет защиту. Эти три ступени защищают линию, а последняя, 4 ступень резервирует смежный участок. При согласовании защит по времени учитывается время действия УРОВ, что увеличивает выдержки времени согласуемых защит на время действия УРОВ. При выборе уставок защиты по току, они должны быть отстроены от суммарной нагрузки двух линий, так как одна из параллельных ВЛ может отключиться в любой момент, и вся нагрузка будет подключена к одной ВЛ.

В составе устройств защиты оба комплекта защит должны быть направленными. Можно применить следующие варианты защит:

- MiCOM, P127 и P142 фирмы ALSTOM,
- F60 и F650 фирмы GE,
- два реле REF 543 фирмы ABB – подбирается направленные модификации,
- реле 7SJ512 и 7SJ 531 фирмы SIEMENS,
- два реле SEL 351 фирмы SEL.

В ряде случаев, из соображений обеспечения чувствительности, отстройки от токов нагрузки или обеспечения селективной работы может потребоваться применение дистанционной защиты. Для этой цели одна из защит заменяется на дистанционную может быть применена дистанционная защита:

- MiCOM P433, P439, P441 фирмы ALSTOM,
- D30 фирмы GE,
- REL 511 фирмы ABB – подбирается направленные модификации,
- реле 7SA 511 или 7SA 513 фирмы SIEMENS,
- реле SEL 311 фирмы SEL.

7.4 ДИСТАНЦИОННЫЕ ЗАЩИТЫ

Назначение и принцип действия

В сетях сложной конфигурации с несколькими источниками питания простые и направленные МТЗ (НТЗ) не могут обеспечить селективного отключения КЗ. Так, например, при КЗ на *W2* (рис. 7.5) НТЗ 3 должна подействовать быстрее РЗ I, а при КЗ на *W1*, наоборот, НТЗ 1 должна подействовать быстрее РЗ 3. Эти противоречивые требования не могут быть выполнены с помощью НТЗ. Кроме того, МТЗ и НТЗ часто не удовлетворяют требованиям быстродействия и чувствительности. Селективное отключение КЗ в сложных кольцевых сетях может быть обеспечено с помощью дистанционной РЗ (ДЗ).

Выдержка времени ДЗ t_3 зависит от расстояния (дистанции) $t_3 = f(L_{PK})$ (рис. 7.5) между местом установки РЗ (точка Р) и точкой КЗ (К), т. е. L_{PK} , и нарастает с увеличением этого расстояния. Ближайшая к месту повреждения ДЗ имеет меньшую выдержку времени, чем более удаленные ДЗ.

Например, при КЗ в точке К1 (рис. 7.6) ДЗ2, расположенная ближе к месту повреждения, работает с меньшей выдержкой времени, чем более удаленная ДЗ1. Если же КЗ возникает и в точке К2, то время действия ДЗ2 увеличивается, и КЗ селективно отключается ближайшей к месту повреждения ДЗ3.

Основным элементом ДЗ является дистанционный измерительный орган (ДО), определяющий удаленность КЗ от места установки РЗ. В качестве ДО используются реле сопротивления (РС), реагирующие на полное, реактивное или активное сопротивление поврежденного участка ЛЭП (Z, X, R).

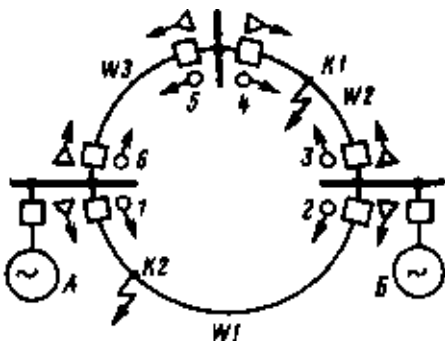


Рис. 7.5 Кольцевая сеть с двумя источниками питания

- — максимальная токовая направленная защита;
- △ — дистанционная защита

Рис. 7.6 Зависимость выдержки времени дистанционной защиты от расстояния до места КЗ

Сопротивление фазы ЛЭП от места установки реле Р до места КЗ (точки К) пропорционально длине этого участка, так как величина сопротивления до места КЗ равна длине участка умноженной на удельное сопротивление линии: $Z = L \cdot Z_{уд}$.

Таким образом, поведение дистанционного органа, реагирующего на сопротивление линии, зависит от расстояния до места повреждения. В зависимости от вида сопротивления, на которое реагирует ДО (Z, X или R), ДЗ подразделяются на РЗ полного, реактивного и активного сопротивлений. Реле сопротивления, применяемые в ДЗ для определения сопротивления Z_{PK} до точки КЗ, контролируют напряжение и ток в месте установки ДЗ (рис. 7.7.). К зажимам РС подводятся вторичные значения U_p и I_p от ТН и ТТ. Реле выполняется так, чтобы его поведение в общем случае зависело от отношения U_p к I_p . Это отношение является некоторым сопротивлением Z_p . При КЗ $Z_p = Z_{PK}$, и при определенных значениях Z_{PK} , РС срабатывает; оно реагирует на уменьшение Z_p , поскольку при КЗ U_p уменьшается, а I_p возрастает. *Наибольшее значение, при котором РС срабатывает, называется сопротивлением срабатывания реле Z_{cp} .*

$$Z_p = U_p / I_p \leq Z_{cp} \quad (7.4)$$

Для обеспечения селективности в сетях сложной конфигурации на ЛЭП с двухсторонним питанием ДЗ необходимо выполнять направленными, действующими при направлении мощности КЗ от шин в ЛЭП. Направленность действия ДЗ обеспечивается при помощи дополни-

тельных РНМ или применением направленных РС, способных реагировать и на направление мощности КЗ.

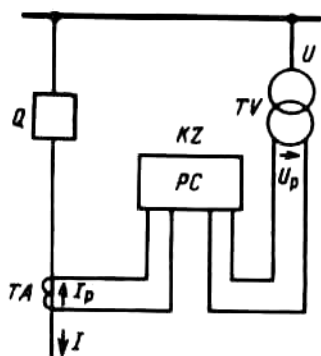


Рис. 7.7 Подключение цепей тока и напряжения реле сопротивления

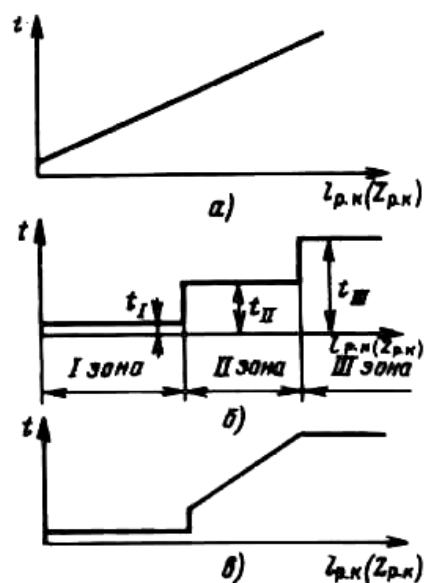


Рис. 7.8 Характеристики зависимости времени дистанционных защит $t = f(L_{PK})$

- а – наклонная;
- б – ступенчатая;
- в – комбинированная

Характеристики выдержки времени дистанционных защит

Зависимость времени действия ДЗ от расстояния или сопротивления до места КЗ $t_3 = f(L_{PK})$ или $t_3 = f(Z_{PK})$ называется характеристикой выдержки времени ДЗ. По характеру этой зависимости ДЗ делятся на три группы: с нарастающими (наклонными) характеристиками времени действия, ступенчатыми и комбинированными характеристиками (рис. 7.8). Ступенчатые ДЗ действуют быстрее, чем ДЗ с наклонной и комбинированной характеристиками и, как правило, получаются проще в конструктивном исполнении. ДЗ со ступенчатой характеристикой производства ЧЭАЗ выполнялись обычно с тремя ступенями времени, соответствующими трем зонам действия ДЗ (рис. 7.8, б). Современные микропроцессорные защиты имеют 4, 5 или 6 ступеней защиты. Реле с наклонной характеристикой разрабатывались специально для распределительных сетей (например ДЗ-10).

Принципы выполнения селективной защиты сети с помощью устройств дистанционной защиты

На ЛЭП с двухсторонним питанием ДЗ устанавливаются с обеих сторон каждой ЛЭП и должны действовать при направлении мощности от шин в ЛЭП. Дистанционные РЗ, действующие при одном направлении мощности, необходимо согласовать между собой по времени и по зоне действия так, чтобы обеспечивалось селективное отключение КЗ. В рассматриваемой схеме (рис. 7.9.) согласуются между собой ДЗ1, ДЗ3, ДЗ5 и ДЗ6, ДЗ4, ДЗ2.

С учетом того, что первые ступени ДЗ не имеют выдержки времени ($t_1 = 0$), по условию селективности они не должны действовать за пределами защищаемой ЛЭП. Исходя из этого протя-

женность первой ступени, не имеющей выдержки времени ($t_1 = 0$), берется меньше протяженности защищаемой ЛЭП и обычно составляет 0,8–0,9 длины ЛЭП. Остальная часть защищаемой ЛЭП и шины противоположной подстанции охватываются второй ступенью ДЗ этой ЛЭП. Протяженность и выдержка времени второй ступени согласуются (обычно) с протяженностью и выдержкой первой ступени ДЗ следующего участка. Например, у второй ступени ДЗ1 зона действия отстраивается от конца первой ступени ДЗ3 (т.е. $Z_{II(1)} < (Z_{Л(1)} + Z_{I(2)})$), а время действия выбирается на ступень Δt больше $t_{I(3)}$: $t_{II(1)} = t_{I(3)} + \Delta t$

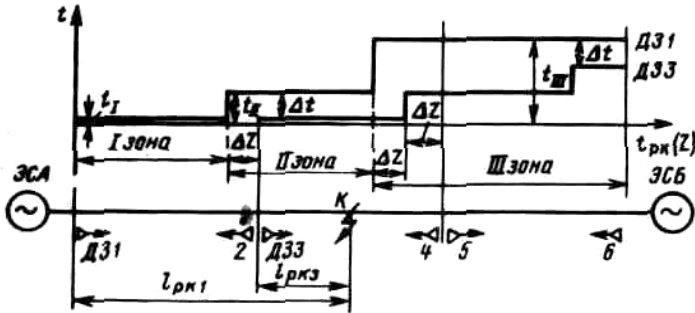


Рис.7.9 Согласование выдержек времени дистанционных РЗ со ступенчатой характеристикой:

Δz – погрешность дистанционного реле;

Δt – ступень селективности

Последняя третья ступень ДЗ является резервной, ее протяженность выбирается из условия охвата следующего участка, на случай отказа его РЗ или выключателя. Выдержка времени принимается на Δt больше времени действия второй или третьей зоны ДЗ следующего участка. При этом зона действия третьей ступени должна быть отстроена от конца второй или третьей зоны следующего участка.

Структура защиты линии с использованием дистанционной защиты

В отечественных энергосистемах ДЗ применяется для действия при междуфазных КЗ, а для действия при однофазных КЗ используется более простая ступенчатая МТЗ нулевой последовательности (НП). Большинство микропроцессорной аппаратуры имеет дистанционную защиту, действующую при всех видах повреждения, в том числе и при замыканиях на землю. Реле сопротивления (РС) включается через ТН и ТТ на первичные напряжения в начале защищаемой ЛЭП. Вторичное напряжение на зажимах РС: $U_p = U_{pn} / K_{II}$, а вторичный ток: $I_p = I_{pn} / K_I$.

Сопротивление на входных зажимах реле определяется по выражению:

$$Z_p = (K_I / K_{II}) Z_{pn} \tag{7.5}$$

где

Z_{pn} – первичное значение сопротивления, подведенного к зажимам реле:

Первичное сопротивление $Z_{сз} = Z_{ср} (K_u / K_l)$ называется сопротивлением срабатывания ДЗ.

Кроме измерительных органов в состав дистанционной защиты входят органы выдержки времени, а также ряд блокировок, предотвращающих неправильную работу защиты, в режимах, при которых защита может сработать при отсутствии повреждения на защищаемой ЛЭП. К таким режимам относятся качания в энергосистеме и повреждения в цепях ТН, питающих ДЗ.

Устройство блокировки при качаниях УБК блокирует неправильную работу при качаниях. При качаниях, дистанционная защита измеряет расстояние от места установки до электрического центра качаний и если этот центр качаний находится на защищаемой линии, измерительный орган защиты срабатывает (см. рис. 7.10).

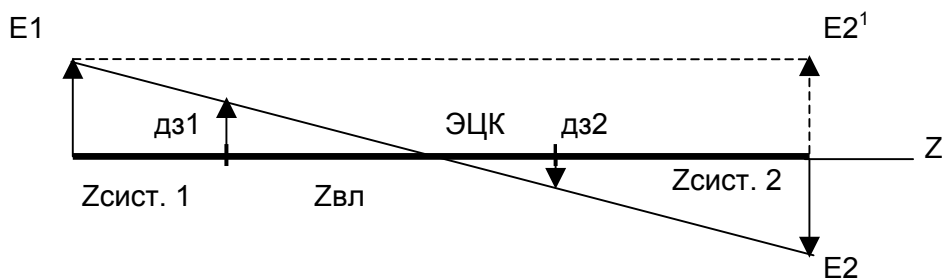


Рис. 7.10 Расположение электрического центра качаний на защищаемой линии

На диаграмме показаны напряжения вдоль линии при качаниях. В момент, показанный на рисунке ЭДС по концам связи, находятся в противофазе, а в электрическом центре, который находится примерно посередине линии, на которой в масштабе построены сопротивления системы 1, линии и системы 2, напряжение равно 0. Дистанционный орган защиты воспринимает центр качаний, как место короткого замыкания и срабатывает. Пунктиром показан момент, когда ЭДС E_2 находится в фазе с E_1 . В этот момент напряжения во всех точках линии примерно одинаковы и ДО возвращается. Таким образом, при качаниях дистанционная защита то срабатывает, то возвращается. Если времени, пока ДО сработал, достаточно для срабатывания защиты, защита может отключить линию. Наверняка успевает сработать 1 ступень защиты и может сработать вторая, если время ее срабатывания менее 1–1,5 сек. Поэтому блокировка УБК, как правило, блокирует первую ступень, а в тех случаях, когда время действия второй ступени мало (менее 1 с) – и вторую.

Распространены 2 принципа блокировки от качаний

В электромеханических защитах прежних выпусков ЭПЗ-1636, ПЗ-5, ДЗ-501, блокируемые ступени защиты нормально выведены из работы и вводятся при кратковременной несимметрии, которой сопровождается любое, даже трехфазное, короткое замыкание. Ступени вводятся на время, достаточное для срабатывания ДО (обычно на 0,3–0,4 с), после чего они из работы выводятся. При качаниях ДО срабатывают через некоторое время, после того, как разойдутся вектора напряжения по концам линии связи. К этому моменту защита из работы уже выведена.

В аналоговых защитах последних выпусков (ШДЭ-2802, ПДЭ-2003), а также в микропроцессорных защитах применяется блокировка по скорости изменения сопротивления. Для блокировки измеряется время между срабатываниями ДО с разными уставками. При КЗ они срабатывают одновременно, а при качаниях срабатывает сначала более чувствительное реле сопротивления, а затем, через некоторое время, более грубое. Наличие времени между срабатываниями двух ДО и является признаком качаний, при которых соответствующие ступени выводятся из работы.

Устройства блокировки при неисправности цепей напряжения (УБН)

При неисправностях в цепях напряжения ТН напряжение U_p , подводимое к РС, исчезает или резко понижается. В результате этого, реле сопротивления, включенные на это напряжение, фиксируют снижение сопротивления и приходят в действие, что приводит к неправильному срабатыванию ДЗ. При неисправном состоянии цепей напряжения дистанционная защита должна немедленно выводиться из работы. При этом блокировка должна опередить срабатывание реле сопротивления. Ниже приведены два принципа блокировки при неисправности цепей напряжения, применяющихся на электромеханических и аналоговых дистанционных защитах.

Блокирующие устройства, реагирующие на появление U_0 при повреждениях в цепях напряжения, приведены на рис. 7.11.

В нормальных условиях напряжение на реле отсутствует. При обрыве одной или двух фаз цепи напряжения возникает U_0 , под влиянием которого в реле KV появляется ток, и оно срабатывает, давая сигнал. Подобные устройства применяются в дистанционных РЗ, имеющих токовые пусковые органы, и которые не выводятся из работы автоматически. Блокировка, выполненная на таком принципе, не отличает U_0 , появляющееся при перегорании предохранителя, от появления замыкания на землю в сети. Она также не срабатывает, при отключении используемого в цепях напряжения трехфазного автомата.

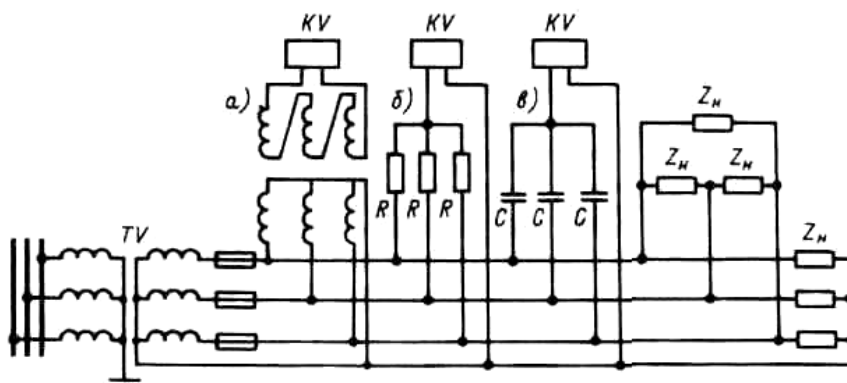


Рис. 7.11 Схемы сигнализации обрыва в цепях ТН:

- а – с трансформаторным фильтром U_0 ;
- б – с фильтром на активных сопротивлениях;
- в – с фильтром на конденсаторах C .

Улучшенная схема подобной блокировки типа КРБ-11 для дистанционных РЗ в сетях с заземленной нейтралью приведена на рис. 7.12. Она состоит из трех конденсаторов C одинаковой емкости, реле напряжения KVO и тока $КАО$. В провод, соединяющий нулевые точки конденсаторов и вторичной обмотки ТУ, включено реле KVO , через размыкающий контакт которого подается оперативный ток на комплект релейной защиты (РЗ). Цепь обмотки KVO проходит через размыкающий контакт $КАО$, обмотка которого включена в нулевой провод ТА.

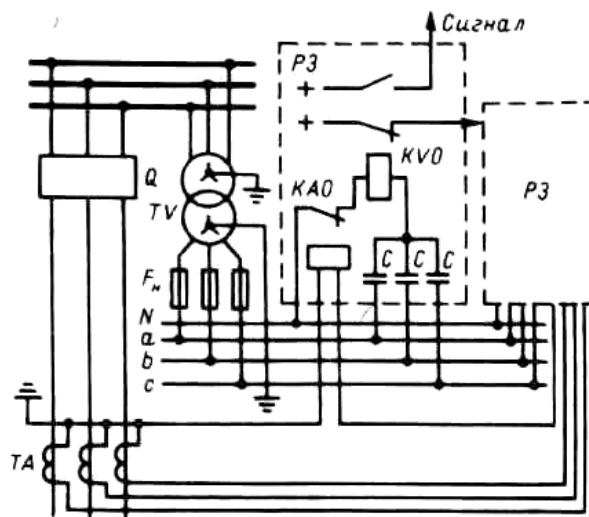


Рис. 7.12 Схема включения блокировки при перегорании предохранителей

Нормально, когда сумма фазных напряжений равна нулю, потенциалы нулевых точек звезды конденсаторов и вторичной обмотки TV равны, и поэтому ток в реле *KVO* отсутствует. При перегорании одного или двух предохранителей потенциал нулевой точки звезды конденсаторов станет равным сумме напряжений оставшихся фаз, а потенциал нулевой точки звезды вторичной обмотки TV останется равным нулю. Под воздействием напряжения, возникающего между нулевыми точками, через обмотку *KVO* проходит ток, и реле, сработав, нижним контактом снимает оперативный ток с РЗ, а верхним подает сигнал. Для обеспечения работы блокировки при перегорании предохранителей всех трех фаз (отключении трехфазного автомата) одна из фаз автомата или предохранитель шунтируется конденсатором, величина которого подбирается таким образом, чтобы при отключении трех фаз блокировка сработала.

При двухфазном КЗ на землю на защищаемой ЛЭП симметрия фазных напряжений, подводимых к звезде конденсаторов, нарушается, и блокировка может сработать и вывести РЗ из действия. Для предотвращения такого неправильного действия блокировки предусмотрено токовое реле *KAO*, которое срабатывает и, размыкая цепь обмотки реле *KVO*, препятствует его действию.

Блокирующее устройство на сравнении напряжений двух вторичных обмоток ТН

Недостатком рассмотренных выше устройств блокировки типа КРБ-11 является то, что при КЗ в цепях фазных напряжений они не действуют, а срабатывают лишь после отключения автоматических выключателей или предохранителей поврежденных фаз. Подобные блокировки не могут предотвратить ложного срабатывания первых ступеней быстродействующих дистанционных РЗ, применяемых в сетях сверхвысоких напряжений. Другим недостатком этих блокировок является то, что они не могут предотвратить ложного срабатывания дистанционных РЗ при отключении всех трех фаз напряжения общим автоматическим выключателем или ключом.

Этих недостатков лишена блокировка, схема которой приведена на рис. 7.13.

Четырехобмоточный промежуточный трансформатор *TL* устройства блокировки подключен через добавочные резисторы к измерительному трансформатору напряжения *TV* с соединением вторичных обмоток в звезду и разомкнутый треугольник. В цепях обмотки w_1 сопротивление резистора в фазе А – R_a принято в два раза меньшим относительно сопротивлений R_b и R_c , равных между собой. К обмотке w_2 с выводов *H – K* подано напряжение $3U_0$. Обмотка w_3 (компенсационная) находится под воздействием напряжения фазы А. Ко вторичной обмотке w_4 через выпрямительный мост *VS* присоединен реагирующий элемент - реле *KV*.

В нормальном режиме, при исправных вторичных цепях TV и соответствующих значениях сопротивлений резисторов, токи в обмотках w_1 и w_3 направлены встречно: $I_0 = I_a + I_b + I_c = -I_{a\Delta}$ (рис. 7.13, в, г). МДС в сердечнике взаимно уравновешены - реле KV не работает. При обрывах в цепях TV (одной или двух фаз) равновесие МДС нарушается, что вызывает срабатывание реле KV . В случае КЗ на землю в сети реле не срабатывает, так как МДС обмотки w_1 будет скомпенсирована МДС обмотки w_2 , включенной на $3U_0$.

При отключении всех трех фаз напряжения со стороны обмоток ТН, соединенных в звезду, блокировка срабатывает за счет тока в обмотке w_3 . Блокировка без замедления срабатывает также при всех видах КЗ в цепях напряжения, за исключением КЗ между фазами В и С.

В последнем случае блокировка подействует только после отключения автоматического выключателя. Указанная блокировка не срабатывает при снятии напряжения с ТН т.е. исчезновении напряжения одновременно в схеме звезды и треугольника. Это возможно при переводе защиты на ТН другой системы шин и погашении последней – в этом случае ток в защите не исчезнет вместе с напряжением.

Микропроцессорные защиты осуществляют одновременный контроль за цепями напряжения и тока путем логического сопоставления изменений, происходящих в этих цепях, например: в случае КЗ при посадке напряжения одновременно должен увеличиться ток.

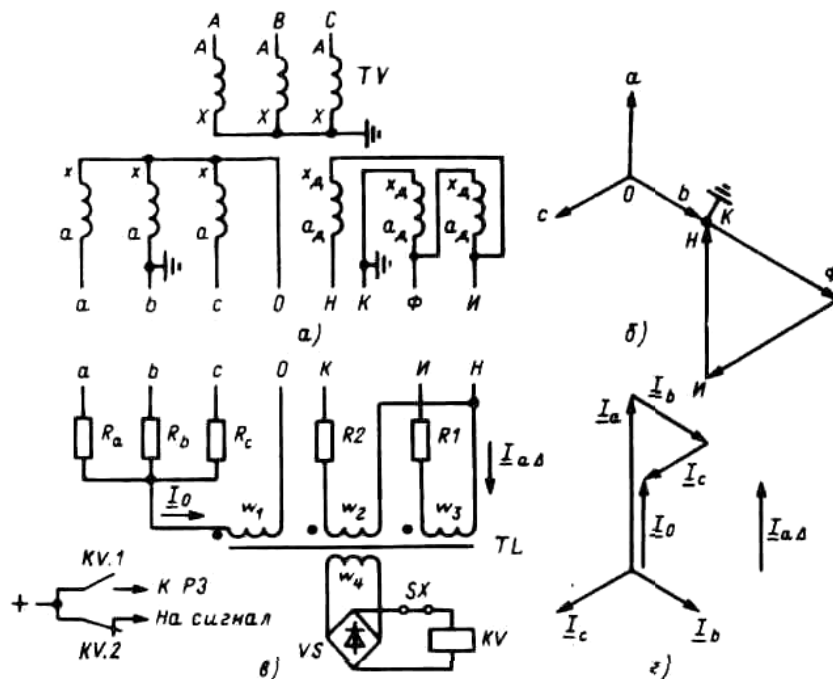


Рис. 7.13 Устройство блокировки для предотвращения ложных срабатываний дистанционных защит при нарушении цепей напряжения:

- а – схема соединения обмоток измерительного трансформатора TV ;
- б – векторная диаграмма напряжений во вторичных обмотках TV ;
- в – схема внутренних соединений устройства;
- г – векторная диаграмма, поясняющая работу устройства в нормальном режиме.

Схемы включения дистанционных органов на ток и напряжение

Требования к схемам включения. Измерительные ДО, выполняемые с помощью РС, должны включаться на такие напряжения и токи сети, при которых сопротивление на зажимах реле Z_p , во-первых, будет пропорционально расстоянию Z_{pk} до места повреждения и, во-вторых, будет иметь одинаковые значения (по модулю и углу) при всех видах КЗ в одной точке. Для соблюдения этих требований к ДО необходимо подводить напряжение в месте установки ДЗ, равное падению напряжения в сопротивлении Z_{pk} до точки К: $U_p = I_K \cdot Z_{pk}$ (рис. 7.14). При этом для обеспечения одинакового Z_p при всех видах КЗ ток I_p , подводимый к РС, должен равняться току КЗ I_K , вызывающему падение напряжения в сопротивлении Z_{pk} :

$$Z_p = U_p / I_p = I_K \cdot Z_{pk} / I_K = Z_{pk}$$

С учетом сказанного ДО включаются на напряжение и ток петли КЗ. Схемы включения ДО, реагирующих на междуфазные КЗ и ДО, реагирующих на однофазные КЗ, должны быть разными.

Включение дистанционных органов, реагирующих на междуфазные КЗ.

Включение на междуфазные напряжения и разность фазных токов осуществляются согласно табл. 7.5. При трехфазных КЗ все три ДО находятся в одинаковых условиях, к каждому из них подводится междуфазное напряжение, равное $\sqrt{3}U_\phi$. Фазное напряжение равно падению напряжения в проводе от места установки РС до точки К. Отсюда напряжение $U_p^{(3)} = \sqrt{3}I_K^{(3)}Z_{1K} = \sqrt{3}I_K^{(3)}Z_{1y} \cdot L_K$, где $I_K^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ, проходящий по фазе; Z_{1K} – сопротивление прямой последовательности фазы от места установки реле до точки К; L_K – расстояние до места КЗ; Z_{1y} – удельное сопротивление прямой последовательности фазы на 1 км.

Таблица 7.5

Реле фаз	U_p	I_p
AB	U_{ab}	$I_a - I_b$
BC	U_{bc}	$I_b - I_c$
CA	U_{ca}	$I_c - I_a$

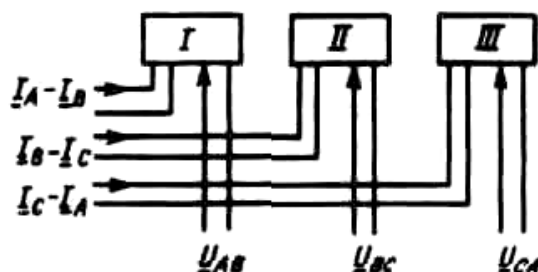


Рис. 7.14 Схема включения дистанционных органов от междуфазных КЗ

Ток в каждом реле равен геометрической разности токов двух фаз, т. е. $I_p^{(3)} = \sqrt{3}I_K^{(3)}$ следовательно, сопротивление на зажимах каждого РС:

$$Z_p^{(3)} = U_p^{(3)} / I_p^{(3)} = \sqrt{3} U_K^{(3)} / \sqrt{3} I_K^{(3)} = Z_{1K} \quad (7.6)$$

При двухфазных КЗ, например между фазами В и С только один ДО, включенный на напряжение между поврежденными фазами В и С, получает напряжение, пропорциональное расстоянию L . Это напряжение равно падению напряжения в фазах В и С: $U_p^{(2)} = U_{BC} = 2I_K Z_{1K}$.

Ток $I_p = I_b - I_c = 2I_K$. Отсюда находим: $Z_p^{(2)} = U_p^{(2)} / I_p^{(2)} = 2I_K \cdot Z_{1K} / 2I_K = Z_{1K}$.

Можно показать, что и при двухфазных КЗ на землю $Z_p^{(1)} = Z_{1K}$.

Таким образом, при всех видах междуфазных КЗ сопротивление на зажимах реле равно сопротивлению прямой последовательности фазы Z_{1K} .

Включение дистанционных органов, реагирующих на однофазные КЗ

Дистанционные органы, предназначенные для определения удаленности мест однофазных КЗ, включаются по схеме с токовой компенсацией (рис. 7.15). Схема предусматривает три РС, каждое из которых включается согласно таблице 7.6 на напряжение U_ϕ и ток $I_\phi + k3I_0$.

Таблица 7.6

Реле фаз	U_p	I_p
А	U_a	$I_a + k3I_0$
В	U_b	$I_b + k3I_0$
С	U_c	$I_c + k3I_0$

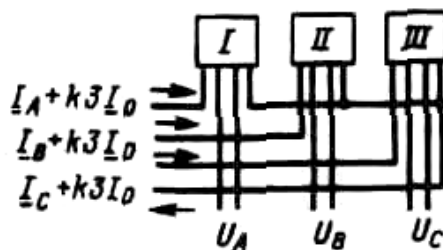


Рис. 7.15 Схемы включения дистанционных органов на ток $I_\phi + 3I_0$

Коэффициент компенсации $k = (Z_0 - Z_1) / 3Z_1$. При таком значении k сопротивление на зажимах реле при однофазных КЗ $Z_p = U_\phi / (I_\phi + k3I_0)$ получается равным сопротивлению прямой последовательности до места КЗ Z_1 . Следовательно, при включении по табл. 7.6 ИО реагирующего на однофазные КЗ, сопротивление Z на его зажимах получается таким же, как и у реле, реагирующих на междуфазные КЗ и включенных по табл. 7.5. В обоих случаях $Z_p = Z_1$.

Коэффициент компенсации задается постоянной величиной, однако его точная величина зависит от места КЗ и влияния смежных линий электропередачи.

Величина активного сопротивления задается отдельная для междуфазных и однофазных замыканий т.к. активное сопротивление в месте КЗ при однофазном замыкании существенно больше, чем при междуфазных КЗ.

Для одиночной линии без троса можно считать, что $Z_0 = 3.5Z_1$ поэтому $k = (3.5 - 1)/3 = 0.83$.

Если данная линия находится в зоне влияния других линий, по которым протекает ток КЗ, то на поврежденной линии наводится напряжение, которое либо совпадает по фазе и при этом увеличивается напряжение на поврежденной линии, а значит и замер сопротивления; либо в противофазе и напряжение, а также сопротивление уменьшается. Сопротивление связи между ВЛ называется сопротивлением взаимоиндукции, оно зависит от расстояния между проводами 2 ВЛ а также длиной участка на котором линии взаимодействуют. Напряжение нулевой последовательности рассчитываемой линии будет равно $U_{0Л} = I_0 X_0 + I_{01} X_{M1} + I_{02} X_{M2} + \dots$

К напряжению нулевой последовательности собственной линии добавляется напряжение влияющих линий равное падению напряжения от тока нулевой последовательности в сопротивлении взаимоиндукции между рассчитываемой и влияющей линией. При приближенном расчете необходимо учитывать направление тока в этой влияющей линии. Если ток совпадает по направлению, напряжение складывается, если нет – то вычитается. Точный расчет требует учитывать фазу тока влияющей линии по сравнению с фазой рассчитываемой, т. е. влияющее напряжение нужно складывать геометрически. Разделив полученное напряжение $U_{0Л}$ на ток I_0 рассчитываемой линии, получим $Z_{0Э}$ – эквивалентное сопротивление нулевой последовательности. Коэффициент компенсации с учетом влияния определяется по формуле:

$$k = (Z_{0Э} - Z_1) / 3Z_1 \quad (7.7)$$

где

$Z_{0Э}$ – эквивалентное сопротивление нулевой последовательности, с учетом влияния смежных линий, влияющих на расчет.

При нескольких влияющих линиях расчет коэффициента компенсации представляет сложную задачу. Его можно рассчитать на ЭВМ, используя упоминавшийся выше в п.1.6.1. «Комплекс программ расчета аварийных режимов в сложной электрической сети объемом до 3000 узлов V-VI-50» института Электродинамики НАН Украины.

Во всех случаях установки коэффициентов компенсации рассчитываются по приведенной ниже формуле при однофазном металлическом ($R_{пер} = 0$) КЗ в конце защищаемой ВЛ без учета нагрузочного режима.

$$k = (U_\phi - Z_{1\phi}) / Z_{1Л} 3I_0 \quad (7.8)$$

Указанные данные берутся непосредственно из расчета на ПЭВМ.

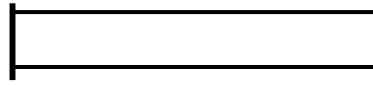
Ниже приводится пример расчета коэффициента компенсации для часто встречающегося случая – одной цепи двухцепной линии, в зависимости от состояния другой цепи.

Как видно из примера, коэффициент компенсации меняется по величине в зависимости от режима параллельной линии. В ряде защит, например: MiCOM P435, можно учесть ток параллельной линии, введя его в комплект защиты.

2 цепи включены параллельно:

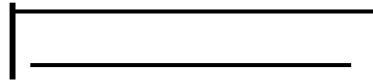
$$Z_{0Э} = Z_{0Л} + Z_M$$

$$k = (Z_{0Л} + Z_M - Z_1)/3Z_1$$



2 цепь отключена:

$$Z_{0Э} = Z_{0Л} \quad k = (Z_{0Л} - Z_1)/3Z_1$$



2 цепь отключена и заземлена:

$$Z_{0Э} = Z_{0Л} - Z_M^2 / Z_{0Л}$$

$$k = (Z_{0Л} - Z_M^2 / Z_{0Л} - Z_1)3Z_1$$

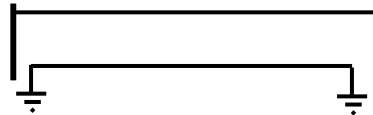


Рис. 7.16 Зависимость величины коэффициента компенсации от режима параллельной линии.

Наличие в общем коридоре нескольких линий сильно усложняет расчеты. Учитывая отсутствие в настоящее время автоматизированных программ для таких расчетов, повидимому целесообразно отказаться частично от применения ступеней дистанционной защиты от замыканий на землю. Предлагается такой вариант:

Контур замыкания на землю вводится на 1 и 2 ступенях, в остальных ступенях он не вводится, и применяются ступени токовой защиты от замыканий на землю, которые имеются в любом устройстве дистанционной защиты, расчет уставок этих защит с учетом влияния уже освоен. Таким образом, остается выбор 1 ступени и 2, для которых определить расчетный режим значительно проще.

Характеристики срабатывания дистанционной защиты и их изображение на комплексной плоскости

Сопротивление является комплексной величиной, поэтому характеристики срабатывания РС $Z_{cp}(z_p, \varphi_p)$ и сопротивления на их зажимах Z_p удобно изображать на комплексной плоскости в осях R, jX (рис. 7.17). В этом случае по оси вещественных величин откладываются активные сопротивления R , а по оси мнимых величин – реактивные сопротивления X . Полное сопротивление на зажимах реле $Z_p = U_p / I_p$ может быть выражено через активные и реактивные составляющие в виде комплексного числа $Z_p = R_p + jX_p = Z_p e^{-j\varphi_p}$ и изображено в осях R, jX вектором с координатами R_p и jX_p (рис. 7.17, а). Величина этого вектора характеризуется модулем $|Z_p| = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$, а его направление – углом φ_p , который определяется соотношением X_p и R_p , поскольку $tg\varphi_p = X_p / R_p$. На рис. 7.17, б видно, что угол φ_p равен углу сдвига фаз между векторами тока I и напряжения U , следовательно, можно считать, что

на комплексной плоскости вектор I_p совпадает с осью положительных сопротивлений R , а напряжение U_p – с вектором Z_p .

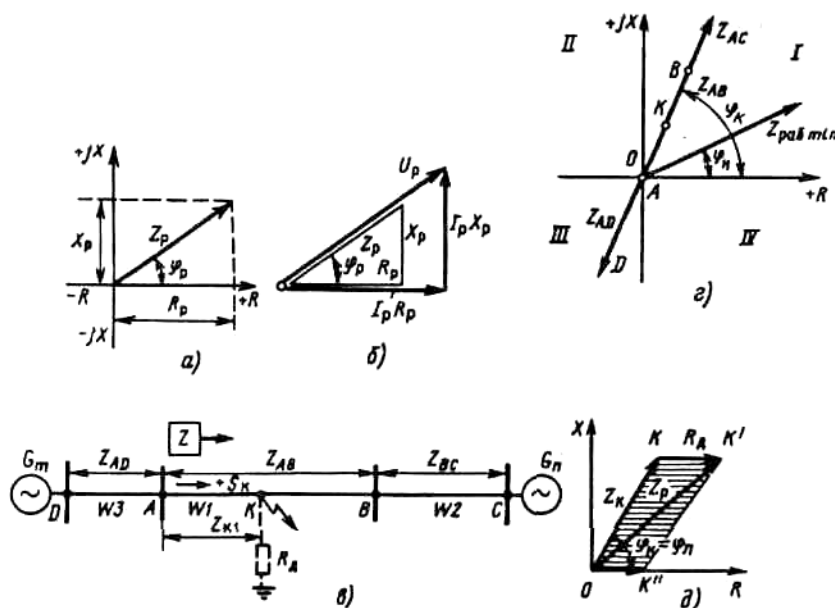


Рис. 7.17 Построение характеристик реле сопротивления на комплексной плоскости R, jX :

- а – изображение вектора Z_p ;
- б – треугольник сопротивлений;
- в, г – участок сети и его изображение в осях R, jX ;
- д – область сопротивлений Z_p при КЗ через сопротивление электрической дуги R_δ

Любой участок сети, например WI (рис. 7.17, в) можно представить в осях R, jX вектором $Z_{AB} = Z_{w1}$, имея в виду, что каждая точка ЛЭП характеризуется определенными сопротивлениями R_{w1} и X_{w1} .

Если сопротивление всех участков сети имеет один и тот же угол $\varphi_L = \arctg X_L / R_L$, то их геометрическое место на комплексной плоскости изображается в виде прямой, смещенной относительно оси R на угол φ_L (рис. 7.17, г). Начало защищаемой ЛЭП, где установлена рассматриваемая ДЗ А, совмещается с началом координат (рис. 7.17, в, г). Координаты всех участков сети, попадающих в зону ДЗ А, считаются положительными и располагаются в I квадранте комплексной плоскости (рис. 7.17, г). Координаты участков сети, расположенные на рис. 7.17, в слева от точки А, считаются отрицательными и располагаются в III квадранте. Сопротивление линии W_1 показано на диаграмме отрезком АВ, W_2 – отрезком ВС и W_3 – отрезком АО. Сопротивление Z_K от места установки ДЗ до точки К изображено отрезком АК под углом $\varphi_K = \varphi_L$ к оси R (рис. 7.17, в, г). Если КЗ произошло через электрическую дугу, имеющую активное сопротивление R_δ , то сопротивление до места КЗ будет изображаться вектором AK' равным геометрической сумме векторов Z_K и R_δ (рис. 7.17, д):

$$AK' = Z_K + R_\delta$$

Исследования показали, что значение R пропорционально длине дуги L_δ , м, и тем меньше, чем больше ток КЗ:

$$R_\delta = KL_\delta / I_\delta$$

где K — постоянная величина, равная 1200–1500.

Графическое изображение характеристик срабатывания реле

Характеристики срабатывания РС выпуска ЧЭАЗ, изображенные на рис. 7.18, представляют собой геометрическое место точек, удовлетворяющих условию $Z_p = Z_{cp}$. Заштрихованная часть характеристики, где $Z_p < Z_{cp}$, соответствует области действия реле. При Z_p , выходящих за пределы заштрихованной части, т. е. при $Z_p > Z_{cp}$, реле не работает.

Характеристика срабатывания реле должна обеспечивать работу реле при КЗ в пределах принятой зоны действия (Z'). С учетом сопротивления электрической дуги вектор $Z_p = Z_K + R_\delta$ может располагаться при КЗ на защищаемом участке ЛЭП в пределах площади четырехугольника $OKK'K''$ показанного на рис. 7.18, д. Действие реле при КЗ будет обеспечено, если характеристики срабатывания реле, показанные на рис. 7.18, будут охватывать область комплексной плоскости, в которой может находиться вектор сопротивления Z_p при КЗ на ЛЭП (площадь $OKK'K''$ на рис. 7.18, д). Однако область срабатывания РС имеет ограничения: реле не должно действовать при сопротивлении нагрузки (при $Z_{p\text{абmin}}$) и при качаниях. Для этого векторы $Z_{p\text{абmin}}$ и $Z_{\text{кач}}$ должны располагаться за пределами области срабатывания реле, т. е. должно соблюдаться условие $Z_{cp} < Z_{p\text{абmin}}$ и по возможности $Z_{cp} < Z_{\text{кач}}$.

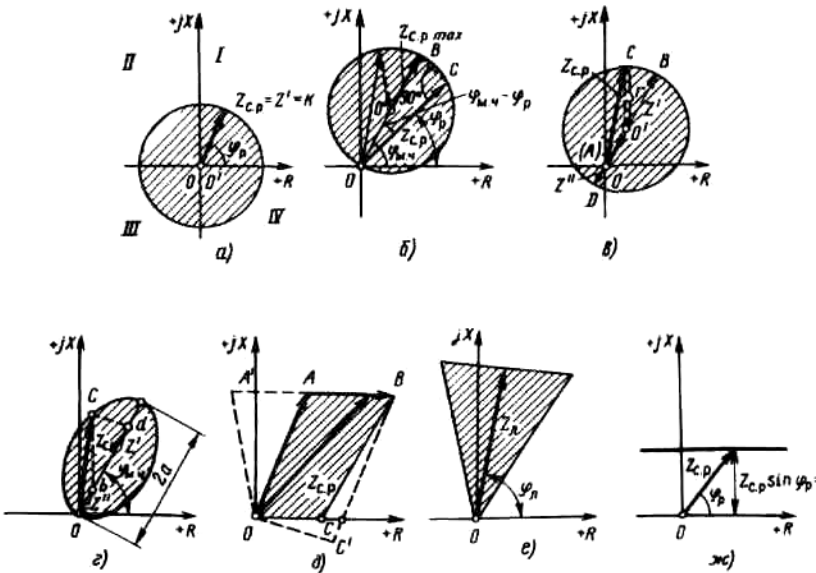


Рис. 7.18 Характеристики срабатывания реле сопротивления

Ненаправленное реле полного сопротивления (рис. 7.18, а). Характеристика этого реле имеет вид окружности с центром в начале координат и радиусом, равным K . Реле работает при $Z_p \leq K$ при любых углах φ_p между вектором Z_p и осью R . Характеристика срабатывания РС выражается уравнением

$$Z_{cp} = K \qquad \text{где } K \text{ — постоянная величина.}$$

Зона действия реле расположена в четырех квадрантах, в том числе в I и III. Реле с характеристикой, изображенной на рис. 7.17, а, работает как ненаправленное РС.

Направленное реле полного сопротивления имеет Z_{cp} , зависящее от угла φ_p (рис. 7.18, б). Его характеристика срабатывания изображается окружностью, проходящей через начало координат. Сопротивление срабатывания имеет максимальное значение при $\varphi_p = \varphi_{mc}$, где φ_{mc} - угол максимальной чувствительности реле, при котором $Z_{cp} = Z_{cpmax}$, т. е. равен диаметру окружности 0В.

Зависимость срабатывания этого реле от угла φ_p может быть представлена уравнением:

$$Z_{cp} = Z_{cpmax} \cdot \cos(\varphi_{mc} - \varphi_p)$$

Реле не работает при Z_p , расположенных в III квадранте. Это означает, что оно не может действовать, если мощность направлена к шинам подстанции. Следовательно, рассмотренное реле является направленным. Направленное РС имеет "мертвую зону" при повреждениях в начале защищаемой ЛЭП.

Реле с круговой характеристикой, смещенной относительно начала координат. На рис. 7.18, в показана характеристика, смещенная в III квадрант на расстояние Z'' . Такое реле рассчитано на работу при КЗ на защищаемой линии W_1 (рис. 7.17, в) и включает в зону своего действия питающие эту ЛЭП шины и часть длины (пропорциональную Z'') других отходящих от шин ЛЭП (на рис. 7.17, в это шины А и часть ЛЭП W_3). Уравнение смещенной характеристики в векторной форме имеет вид

$$(Z' - Z'')/2 = Z_{cp} - (Z' - Z'')/2 = 0$$

Для дистанционных органов второй и третьей ступеней находят применение реле с характеристикой, смещенной в сторону I квадранта. Такая характеристика позволяет увеличить зону действия и улучшить отстройку от нагрузки.

Реле с эллиптической характеристикой. На рис. 7.18, г изображена характеристика направленного реле, имеющая вид эллипса. Сопротивление срабатывания такого реле Z_{cp} зависит от угла φ_p и имеет наибольшее значение при $\varphi_p = \varphi_{mc}$. Угол φ_{mc} , как и в предыдущем случае, равен φ_L . Сопротивление Z_{cpmax} равно большой оси эллипса $2a$. Как известно, эллипс является геометрическим местом точек, сумма расстояний которых до фокусов b и d постоянна и равна большой оси $2a$. На основании этого, обозначая координаты фокусов b и d , Z' и Z'' , а координаты любой точки C эллипса Z_{cp} , получаем уравнение эллиптической характеристики

$$|Z_{cp} - Z'| + |Z_{cp} - Z''| = 2a$$

По сравнению с круговой характеристикой эллиптическая характеристика имеет меньшую рабочую область. Это дает возможность лучше отстроить реле от качаний и перегрузок, но ухудшает чувствительность при КЗ через переходное сопротивление $R_{пер}$.

Реле с характеристикой в виде многоугольника. Подобная характеристика направленных РС, имеющая форму четырехугольника, показана на рис. 7.18, д. Сопоставляя эту характеристику с площадью $ОКК'К''$ на рис. 7.18, д. можно установить, что четырехугольная характеристика реле в большей мере, чем другие характеристики, совпадает с контуром области расположения векторов Z_p при КЗ и является с этой точки зрения наиболее рациональной.

Пунктиром показан вариант характеристики OA' и BC' , предусматривающий расширение зоны реле для обеспечения его действия при двустороннем питании КЗ через переходное сопротивление.

На рис. 7.18, е показана характеристика, имеющая форму треугольника, применяемая для третьей зоны ДЗ. Она позволяет отстроиться от Z_p при больших значениях тока нагрузки $I_{раб\max}$, чему соответствует минимальное значение $Z_{раб\min} = 0,9U_{ном} / I_{раб\max}$, и допускает срабатывание РС при значительном переходном сопротивлении $R_{пер}$ в случае удаленных КЗ.

Реле реактивного сопротивления срабатывает при $X_{cp} = -Z_{cp} \cdot \sin \varphi_p$, $X_{cp} = K$, где K – постоянная величина. Характеристика таких РС изображается прямой линией, параллельной оси X (рис. 7.18, ж), отстоящей от нее на расстоянии $X_{cp} = K$.

Характеристики микропроцессорных дистанционных защит

Дистанционная защита работает при всех видах повреждения, измеряя при междуфазных коротких замыканиях разность фазных токов и линейное напряжение. При однофазном коротком замыкании реле измеряет фазный ток и фазное напряжение. Сопротивление при однофазном замыкании значительно больше, чем при междуфазном $X_0 = 3,5X_1$. Кроме этого, в проводе, в котором возникло короткое замыкание, наводится напряжение от тока, протекающего в других линиях, находящихся в зоне влияния. В защите все это учитывается коэффициентом компенсации. При однофазном замыкании реле измеряет величину $Z_{pg} = V_{pg} / (I_p + K_g I_n)$. К фазному току добавляется ток нулевой последовательности, умноженный на коэффициент компенсации. Поскольку ток в смежных линиях может не совпадать по фазе с током на поврежденной линии, коэффициент компенсации представляет собой комплексную величину, должны быть рассчитаны величина и угол компенсации. Дистанционная защита учитывает что, короткое замыкание может быть через дугу, имеющую активное сопротивление. Это сопротивление учитывается расширенной характеристикой защиты. Величина сопротивления дуги зависит от величины тока и длины дуги. При замыкании на землю ток меньше, а длина дуги значительно больше. Поэтому и сопротивление дуги значительно больше. Уставки по активному сопротивлению защиты стараются выполнить по возможности большими, отстроив их от активного сопротивления нагрузки.

Дистанционная защита PD-532 или MiCOM P433-P439 фирмы ALSTOM может быть выполнена с круговой характеристикой или прямоугольной.

Защита с круговой характеристикой малоэффективна, поэтому ее применение может быть рекомендовано для резервной защиты шин 6-35 кВ с кабельными линиями. В таких случаях угол нагрузки и угол КЗ близки друг к другу. При таких напряжениях значительное влияние на ток КЗ оказывает активное сопротивление электрической дуги. Улучшить чувствительность в этом режиме помогает дуговая компенсация, которая расширяет характеристику при близких КЗ.

В случае применения дуговой компенсации задается угол « δ », определяющий начальную точку для построения дуги (пунктирная линия с точками).

$$Z_{откл} = Z(1 + \sin \delta)$$

где

угол « δ » показан на рисунке.

Выбирается направленность защиты.

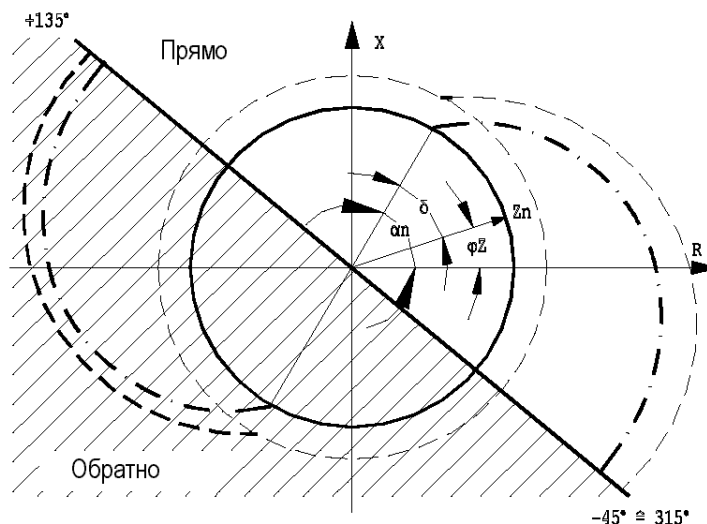


Рис.7.19 Пример круговой характеристики для PD 532 $n = 1 \div 4$; $\alpha = 60^\circ$

Пунктирная линия ограничивает зону расширения (коэффициент расширения – K_{ze}).

Круговая характеристика срабатывания ДЗ с «дуговой» компенсацией

Защита с многоугольной характеристикой более эффективна на длинных линиях высокого напряжения, где влияние активного сопротивления дуги меньше сказывается.

Характеристика работы представлена на рис. 7.20, где

X_n – реактивное сопротивление;

R_n – активное сопротивление для петли «фаза – фаза» или «фаза – земля»;

α_n – угол характеристики (угол максимальной чувствительности;

σ_n – угол, показанный на рисунке.

Активные сопротивления для петель «фаза – фаза» (R_n , PP) и «фаза – земля» (R_n , PG) задаются отдельно для каждой зоны. Ширина характеристики самой чувствительной ступени (R_n) определяется условиями отстройки от активной нагрузки линии.

Выбирается направленность защиты.

Расчет уставок для случая КЗ на землю производится с применением коэффициента K_g , который учитывает большую величину сопротивления дуги и переходного сопротивления при замыканиях на землю

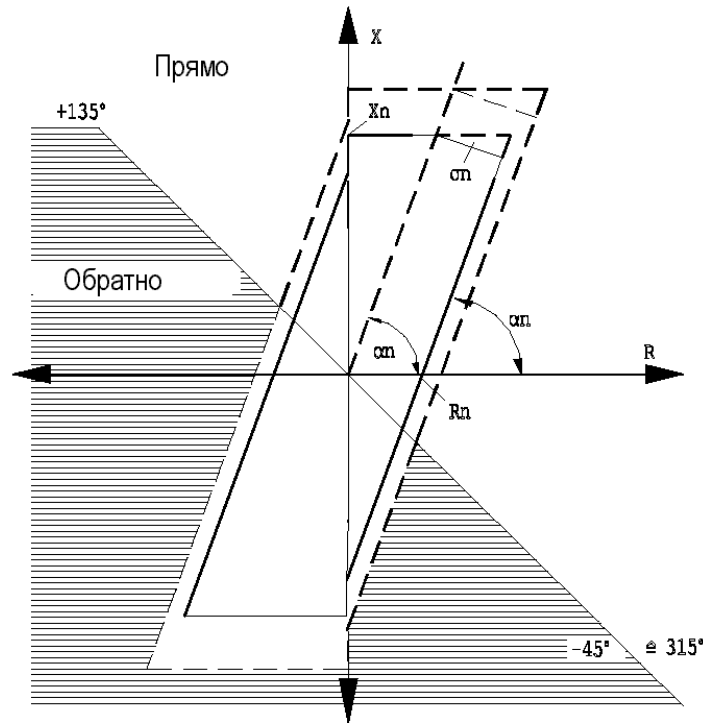


Рис. 7.20 Пример прямоугольной характеристики для PD 532, MiCOM серии P430

Пример: $X_n = 6,5 \, \Omega$; $R_n = 2,0 \, \Omega$; $\alpha_n = 70^\circ$; $\sigma_n = -20^\circ$; $n = 1 \div 4$

Зона расширения: $k_{ze}=1,2$ (расширение 1-ой зоны)

В отличие от реле серии MiCOM P440, реле PD 532, MiCOM серии P430 имеют отдельный пусковой орган. Он может быть выполнен по току и напряжению, или по сопротивлению, в последнем случае имеется возможность улучшить отстройку защиты от нагрузки за счет выреза характеристики защиты в зоне нагрузки (рис. 7.21).

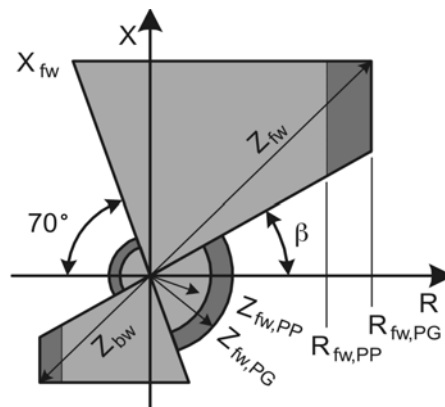


Рис.7.21 Характеристика пускового органа сопротивления защиты серии MiCOM P433 – P439

Устанавливаемые параметры:

Реактивное сопротивление X_{fw} fw = в сторону линии

Активное сопротивление $R_{fw,PP}$ и $R_{fw,PG}$ bw = в сторону шин

Полное сопротивление $Z_{fw,PP}$ и PP = контур фаза-фаза
 $Z_{fw,PG}$

Угол нагрузки β PG = контур фаза-земля

Коэффициент границы зоны Z_{bw}/Z_{fw} fw = в сторону линии

Базисный ток линии $I>$

Характеристики дистанционной защиты MiCOM P 440

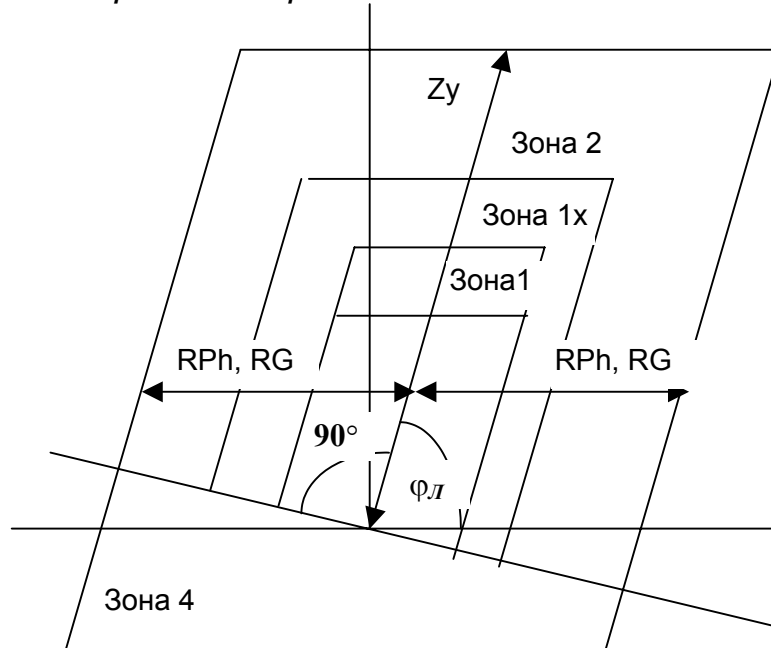


Рис. 7.22 Характеристики дистанционной защиты серии MiCOM P440

Кроме изображенных на рисунке зон, имеется еще одна 5, программируемая зона "Р", которая может быть направлена либо вперед либо назад.

Для каждой ступени защиты должны быть заданы: угол линии – ϕ_L , полное сопротивление срабатывания – Z , активное сопротивление при междуфазных КЗ – RPh , активное сопротивление при замыканиях на землю – RG , коэффициент компенсации при замыканиях на землю KZ – величина и фаза.

7.5. УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ВЛ 110-220 кВ

Устройства защиты фирмы ALSTOM

Дистанционная защита MiCOM P433 - P439 имеет 6 ступеней. Устройство имеет также четырехступенчатую защиту от замыканий на землю и четырехступенчатую токовую защиту обратной последовательности. Они могут быть выполнены направленными. MiCOM P433, P439, может быть использована схема ускорения защиты по ВЧ каналу. Среди возможных способов ускорения по ВЧ каналу, имеется способ ускорения для режима слабого питания (тупиковый режим).

Устройство MiCOM P439 имеет жидкокристаллический графический дисплей, на котором может быть изображена мнемосхема ячейки с разъединителями и заземляющими ножами, и

может управлять до 6 аппаратами. Поэтому область применения такой защиты ячейки с дистанционным управлением разъединителями и заземляющими ножами, например КРУЭ.

Защита MiCOM P441 работает при междуфазных коротких замыканиях и при замыканиях на землю и имеет 5 ступеней. Устройство имеет также трехступенчатую защиту от замыканий на землю и четырехступенчатую максимальную токовую защиту от междуфазных коротких замыканий. Она может быть выполнена направленной и применена, в каких то режимах, взамен дистанционной защиты. Может быть также использована схема ускорения защиты по ВЧ каналу. Среди возможных способов ускорения по ВЧ каналу, имеется способ ускорения для режима слабого питания.

В серии MiCOM имеется набор дифференциальных защит линии MiCOM P540. Может быть применено устройство MiCOM P541, если не нужно АПВ, или если выполнить АПВ на резервной дистанционной защите, MiCOM P542 имеет четырехкратное АПВ. Перечисленные защиты могут работать по проводному или оптоволоконному каналу. Имеется также дифференциально-фазная защита MiCOM P547 которая работает по ВЧ каналу, принцип ее действия похож на широко применяемые в СНГ защиты ДФЗ-201 и они работают со стандартными ВЧ приемопередатчиками ПВЗ. Все эти устройства могут быть применены в качестве основной защиты, а в качестве резервной применяются вышеупомянутые дистанционные защиты P433-P439, P441.

Как и ранее, на воздушных линиях должно быть предусмотрено АПВ. В данном случае, АПВ обычно выполняется однократным, чтобы не увеличивать объем повреждения на линии, так как даже при однократном включении линия включается от АПВ два раза (с двух сторон).

Для того чтобы обеспечить селективную защиту с небольшими выдержками времени, особенно на коротких линиях, необходимо применить четырехступенчатую защиту, уставки которой выбираются следующим образом: 1 ступень отстраивается от КЗ в конце линии, 2 ступень согласовывается с первой ступенью параллельной линии в каскаде и первой ступенью смежной линии. 3 ступень согласовывается со вторыми ступенями этих ВЛ. При согласовании защит со смежной линией, учитывается режим одна с двумя: на первом участке – 1 ВЛ на втором участке – 2, что существенно грубляет защиту. Эти три ступени защищают линию, а 4 ступень резервирует смежный участок. Имеющуюся пятая ступень направлена к шинам и может обеспечить защиту шин или резервирование смежных участков линии. При согласовании защит по времени учитывается время действия УРОВ, что увеличивает выдержки времени согласуемых защит на время действия УРОВ. При выборе уставок защиты они должны быть отстроены от суммарной нагрузки двух линий, так как одна из параллельных ВЛ может отключиться в любой момент, и вся нагрузка будет подключена к одной ВЛ. Кроме этого, возможен наброс нагрузки на линию при размыкании транзита в удаленной точке, или отключении генерации.

Устройство дистанционной защиты MiCOM P433-P435 работает при междуфазных коротких замыканиях и при замыканиях на землю и имеет 6 ступеней. В состав защиты входят четырехступенчатые защиты от замыканий на землю и междуфазных коротких замыканий.

На воздушных линиях должно быть предусмотрено АПВ. В данном случае, АПВ обычно выполняется однократным, чтобы не увеличивать объем повреждения на линии, так как даже при однократном включении линия включается от АПВ два раза (с двух сторон). Устройство АПВ может быть выполнено с контролем синхронизма с какой то стороны, для чего на линии должен быть установлен ТН.

Рекомендуется применять следующие устройства защиты:

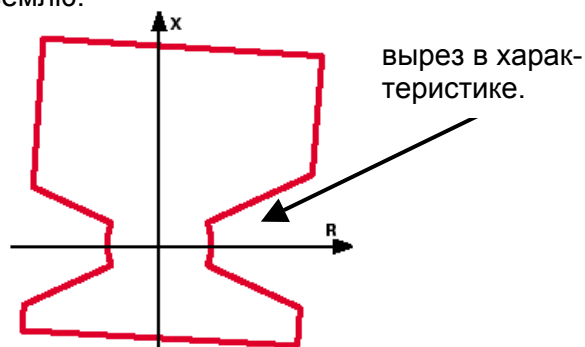
1. Набор из двух дистанционных защит MiCOM P441, или P435 с ВЧ каналом.

Примечание: аппаратура для передачи сигнала отключения по ВЧ или другому каналу может быть использована любой фирмы, в том числе и выпускаемые на Украине ВЧ постам ПВЗ, АНКА-АВПА, АКПА.

2. Набор дистанционной защиты MiCOM P435, P441 и продольной дифзащиты MiCOM P541, P542.
3. Набор дистанционной защиты MiCOM P435, P441 и продольной диффазной защиты MiCOM P547.

Устройства защиты фирмы GE

Предлагаются 2 дистанционных защиты: более простая D30 и D60. Защита D30 имеет 3 ступени а D60 - 4 ступени дистанционной защиты от междуфазных замыканий и замыканий на землю.



Обе защиты имеют дополнительно 4 ступени направленной токовой защиты по фазному току, току обратной и нулевой последовательности. Имеется блокировка при качаниях и АПВ. Защита может иметь круговую, эллиптическую или прямоугольную характеристику. Четырехугольная характеристика может иметь вырез при углах нагрузки (см. рис.7.23) , что позволяет ей отстроится от тока нагрузки и иметь высокую чувствительность к коротким замыканиям. Защита может ускоряться с использованием стандартной ВЧ аппаратуры, например: ПВЗ или АКПА.

В качестве основной защиты для транзитных линий предлагается продольная дифференциальная защита линии L90 и дифференциально - фазная защита L60. Обе защиты могут работать по проводному и оптоволоконному каналу. Защита L60 может работать по высокочастотному каналу, с использованием стандартных для СНГ высокочастотных приемопередатчиков, например: ПВЗ.

Устройства защиты фирмы ABB

Для линий 110-220В предлагаются устройства защиты типа REL 500. Аппаратура ABB отличается значительным объемом функций, которые в принципе не умещаются в устройстве. Поэтому необходимые функции определяются при заказе. Предоставляется широкие возможности по разработке логики защиты (ранжированию). REL 521 является более совершенной модификацией защиты REL 511 с примерно одинаковым набором функций, но расширенными возможностями.

Защиты включают:

Дистанционную защиту от всех видов замыканий с общим критерием повреждения и пятью независимыми ступенями для отключения многофазных замыканий и замыканий на землю. Защиты имеют четырехугольную характеристику с вырезом в зоне наибольших нагрузок.

Четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности для отключения замыканий на землю,

Библиотеку дополнительных базовых функций защиты, автоматики, блокировок и конфигурируемых логических схем

Наличие функции определения места повреждения

Набор функций управления.

Возможность заказа дополнительных функций, (в том числе функций АПВ и контроля синхронизма для схем с двумя выключателями, УРОВ)

Возможность ускорения защиты по проводному, оптоволоконному или высокочастотному каналу.

Защиты фирмы SIEMENS.

Дистанционные защиты 7SA511, 513 имеют 5 ступеней дистанционной защиты от междуфазных коротких замыканий и замыканий на землю с прямоугольными характеристиками срабатывания см. рис.7.24. Устройство 7SA513 реализует различные дополнительные функции, обычно требуемые для выполнения защиты и автоматики присоединения (ступенчатая токовая защита от междуфазных КЗ и замыканий на землю, АПВ, ОМП, защита от перенапряжения и т. д.). интегрированная функция определения места повреждения на линии электропередачи. Выдача результата ОМП в численной и/или аналоговой (опционально) форме. Имеется:

- компенсация токов параллельной линии при выполнении дистанционных измерительных органов и определении расстояния до места повреждения, логика приема/передачи телесигналов по каналу связи (нормально-присутствующих / отсутствующих, блокирующих / разрешающих);
- блокировка от качаний и/или отключение электропередачи при потере устойчивости (два органа полного сопротивления: “чувствительный” и “грубый” для идентификации качаний, измерение и контроль скорости изменения сопротивления);
- защита от повышения /понижения напряжения;
- однофазное и/или трехфазное автоматическое повторное включение (АПВ), одно- или многократное, свободно программируемое. Контроль синхронизма при АПВ и включении линии под нагрузку;
- защита от повреждения выключателя (УРОВ);

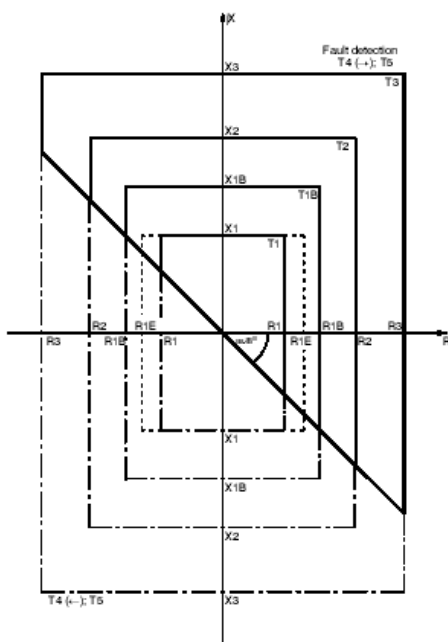


Рис. 7.24. Характеристика дистанционной защиты 7SA513

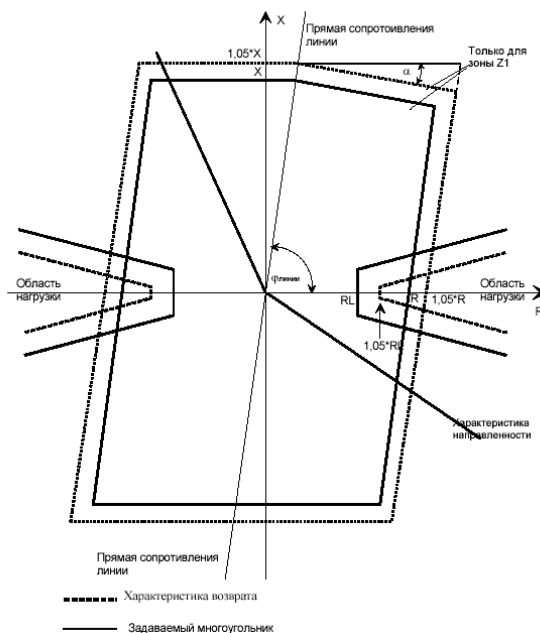


Рис. 7.25. Многоугольная характеристика дистанционной защиты 7SA522

Дистанционная защита 7SA522 имеет по заказу либо многоугольные (рис. 7.25) либо круговые (рис.7.26) характеристики. Имеется вырез характеристики в зоне максимальных нагрузок.

Используются

- шестисистемные дистанционные измерительные органы;
- 6 дистанционных ступеней, направленных “вперед” или “назад”, одна из ступеней используется в качестве управляемой ступени;
- 9 ступеней выдержки времени для дистанционных ступеней;
- обнаружение качаний с помощью контроля скорости изменения (dZ/dt) и анализа годографа сопротивления;
- максимальная токовая направленная ступенчатая защита от замыканий на землю имеет 3 независимые ступени и одну зависимую.

- автоматическое повторное многократное включение (АПВ) после однофазного отключения (ОАПВ), трехфазного отключения (ТАПВ), одно-трехфазного отключения (ОАПВ/ТАПВ);

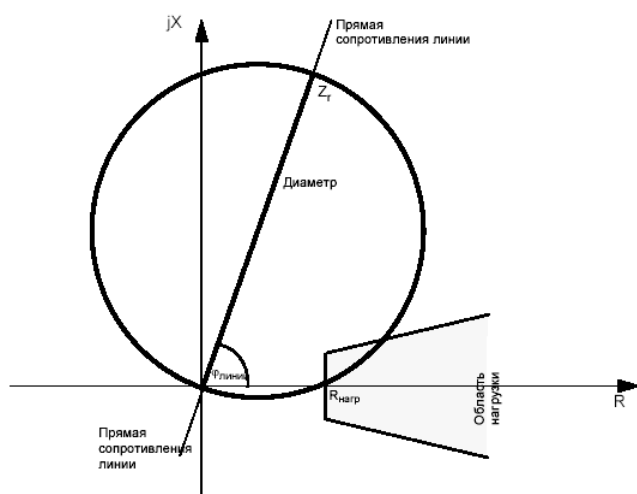


Рис. 7.26. Круговая характеристика дистанционной защиты 7SA522

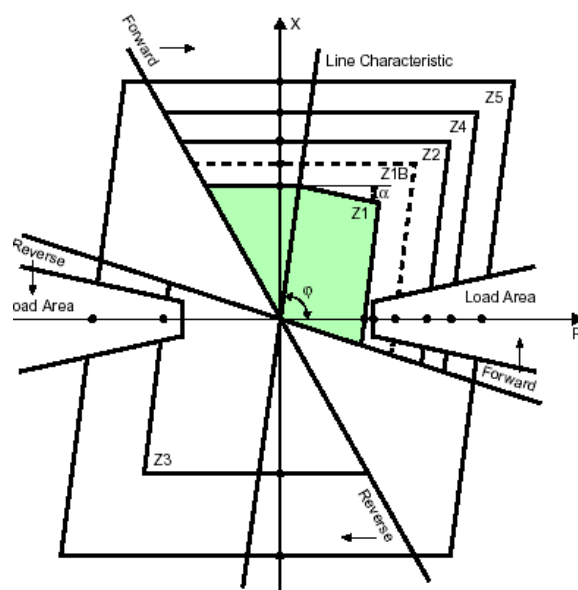


Рис. 7.27. Полигональная характеристика дистанционной защиты 7SA6__

Семейство дистанционных защит серии 7SA 600 отличается друг от друга количеством входов выходов и соответственно размерами: последняя цифра 0 размер 1/3; 1 - размер 1/2, 2 – 1/1 –полный размер 19". Вторая цифра определяет тип дисплея: 1 - четырехстрочный буквенно-цифровой, 2 – графический, 3 - графический и возможность местного управления разъединителями и заземляющими ножами. Электрические характеристики всех устройств одинаковые. Наиболее существенными отличиями этой защиты от предыдущих, является широкие возможности программирования логики защиты, управления несколькими аппаратами в ячейке, программирование графической схемы присоединения. Электрические характеристики всех устройств одинаковые:

- 6 зон дистанционной защиты, одна из них является управляемой, полигональные характеристики защиты показаны на рис.7.27;
- блокировка от качаний путем измерения скорости изменения вектора полного сопротивления и анализа годографа;
- резервная максимальная токовая защита: 2 степени с независимой временной характеристикой / 1 степень с инверсной временной характеристикой от междуфазных КЗ и замыканий на землю;
- максимальная токовая защита с независимой и зависимой временной характеристикой;
- токовая отсечка при включении на повреждение;
- защита от повышения напряжения 2 степени;
- защита от понижения напряжения 2 степени;
- защита при отказе выключателя УРОВ:
- автоматическое повторное многократное включение (АПВ) после однофазного отключения (ОАПВ), трехфазного отключения (ТАПВ), одно-трехфазного отключения (ОАПВ/ТАПВ);

Дистанционные защиты фирмы SEL

Фирма SEL предлагает 3 модификации дистанционной защиты разной степени сложности:

SEL 311A имеет 2 степени дистанционной защиты от междуфазных КЗ и замыканий на землю с круговыми характеристиками направленными вперед;

SEL 311B имеет еще одну реверсивную степень дистанционной защиты;

SEL 311С имеет 2 ступени дистанционной защиты от междупазных КЗ и замыканий на землю с четырехугольными и круговыми характеристиками направленными вперед 2 реверсивных ступени с такими же характеристиками.

Защиты имеют также дополнительные ступени токовой направленной защиты от междупазных КЗ и замыканий на землю - соответственно по 1, 3 и 4.

Защиты модификации В и С имеют четырехкратное АПВ.

Ускорение защиты по ВЧ каналу

Уставка 1 зоны обычно устанавливается ниже 100 % длины линии, чтобы избежать срабатывания на ВЛ, отходящих от смежных подстанций. Защитное телеускорение расширяет область влияния защиты до 100%, посредством сигнала, переданного с другой подстанции (другого конца линии).

Защитное отключение может работать, используя одну из следующих схем:

- Прямая передача команды отключения (прямое отдаленное отключение).
- Разрешение срабатывания ступени с выдержкой времени со стороны, где не сработала 1 ступень
- Расширение 1 зоны на всю длину линии.

Имеется значительное количество разновидностей этих принципов.

С помощью указанных способов можно обеспечить отключение коротких замыканий на всем протяжении линии без выдержки времени.

Имеется 2 главных принципа взаимодействия защит между собой: разрешающий и блокирующий. Для срабатывания защиты с разрешающим импульсом требуется приход команды по каналу с противоположной стороны. Пример: ускорение защиты по ВЧ каналу на аппаратуре АКПА. При применении такого принципа с ВЧ каналом по защищаемой линии следует учитывать, что сигнал разрешающий может проходить через место короткого замыкания, вносящее большое затухание сигнала. Поэтому должен иметься большой запас по затуханию ВЧ сигнала (для аппаратуры АКПА – 23-28 дБ). Должно иметься 2 канала для передачи сигнала с каждого конца на противоположный. Аналог такой защиты: широко применяемое в СНГ в качестве второй быстродействующей защиты телеускорение резервных защиты на аппаратуре АНКА, АКПА. Защита, работающая на блокирующем принципе срабатывает, если отсутствует блокирующий сигнал. Блокирующий сигнал создает полукомплект, для которого короткое замыкание является внешним (используется направленный к шинам пусковой орган). При отсутствии такого сигнала на каждом конце, защита срабатывает, если срабатывает пусковой орган, направленный в линию. ВЧ сигнал передается только при внешнем КЗ, а значит он не передается через место повреждения. Поэтому запас по затуханию канала может быть меньшим (12-18 дБ). Все передатчики и приемники подсоединяются к одному каналу. Аналог такой защиты в СНГ – защита с ВЧ блокировкой, например: ПДЭ-2802.

Такие возможности предоставляет дистанционная защита любой из перечисленных фирм, совместно с которой можно применить кроме проводного (оптоволоконного) канала ВЧ аппаратуру применяемую в СНГ: ВЧ посты ПВЗ и аппаратуру АКПА.

8 ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

8.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

- В обмотках трансформаторов могут возникать КЗ между фазами, одной или двух фаз на землю, между витками одной фазы и замыкания между обмотками разных напряжений. На вводах трансформаторов и автотрансформаторов, ошиновке и в кабелях могут также возникать КЗ между фазами и на землю. В эксплуатации могут происходить нарушения нормальных режимов работы трансформаторов, к которым относятся: прохождение через трансформатор или автотрансформатор сверхтоков при повреждении других связанных с ними элементов, перегрузка, выделение из масла горючих газов, понижение уровня масла, повышение его температуры. В зависимости от опасности нарушения нормального режима для трансформатора защита, фиксирующая нарушение действует на сигнал, разгрузку или отключение трансформатора.
- По количеству обмоток трансформаторы делятся на двух и трехобмоточные, весьма часто используются трансформаторы с расщепленной вторичной обмоткой – вместо одной вторичной обмотки на полную мощность, наматываются 2 или даже 3 обмотки НН меньшей мощности.
- Трехфазные трансформаторы соединяются в схему звезды (Y) или треугольника (Δ). В схеме звезды кроме фазных выводов обычно выводится нейтраль. Вывод нейтрали либо заземляется наглухо, либо заземляется через разрядник или дугогасящий реактор в сетях с компенсированной нейтралью. Иногда вывод нейтрали остается незаземленным.
- Каждая пара обмоток трансформатора образует группу соединения основные из них: Y/Y, Y/ Δ . Кроме схемы соединения в названии группы указывается число, показывающее сдвиг напряжения (или тока) по фазе между вторичной и первичной обмотками. Число, показывающее сдвиг по фазе вторичной обмотки соответствует положению часовой стрелки (нашее напряжение) относительно минутной (высшее напряжение) установившейся в положении 12 часов. Наиболее часто используется группа Y/Y–12, в этой группе вторичное напряжение совпадает по фазе с первичным – часовая и минутная стрелки на 12 часов или Y/ Δ –11 – часовая стрелка находится в положении 11 часов, а минутная – на 12. Вторичное напряжение опережает первичное на угол 30° .
- Трансформаторы могут присоединяться к сети с помощью
 - выключателей;
 - плавких предохранителей или открытых плавких вставок;
- автоматических отделителей или выключателей нагрузки, предназначенных для отключения трансформатора в бестоковую паузу.

Присоединение трансформаторов к сети через плавкие предохранители используется в схемах упрощенных подстанций 35-6 кВ при отсутствии аппаратуры на стороне высокого напряжения трансформатора.

Имеются предохранители ПК-10, ПКН-10, ПСН-10., ПСН-35. Ток плавкой вставки зависит от мощности трансформатора, например: см. таблицу 8.1.

Предохранители ПСН-35 для трансформаторов применяются для трансформаторов напряжением 35 кВ малой мощности (до 1 МВА), обычно на передвижных подстанциях. С помощью таких предохранителей практически невозможно обеспечить селективность защиты с защитой ввода, поэтому они согласовываются непосредственно с отходящими от шин линиями 6-10 кВ. Были также разработаны но не нашли применения стреляющие предохранители 110 кВ типа ПС-110У1.

Плавкие предохранители рассчитаны на отключение тока КЗ в трансформаторе, поэтому они проверяются по номинальному отключаемому току КЗ. Номинальный ток отключения для предохранителей 6-10кВ может быть в пределах 2,5÷40 кА. Кроме того, требуется выбрать номинальное напряжение предохранителя. Одинаково недопустимо устанавливать предохранитель напряжением 6 кВ на трансформатор 10 кВ, и предохранитель 10 кВ на трансформатор напряжением 6 кВ. В первом случае может произойти перекрытие предохранителя по поверхности, а во втором может не погаснуть дуга внутри предохранителя.

Рекомендуемые значения номинальных токов плавких вставок $I_{ном.вс}$ предохранителей для трехфазных силовых трансформаторов 6/0,4 и 10/0,4 кВ

Таблица 8.1

Мощность трансформатора, кВА	Номинальный ток, А					
	трансформатора на стороне			плавкой вставки на стороне		
	0,4 кВ	6 кВ	10 кВ	0,4 кВ	6 кВ	10 кВ
25	36	2,40	1,44	40	8	5
40	58	3,83	2,30	60	10	8
63	91	6,05	3,64	100	16	10
100	145	9,60	5,80	150	20	16
160	231	15,40	9,25	250	32	20
250	360	24,00	14,40	400	50	40
400	580	38,30	23,10	600	80	50
630	910	60,50	36,40	1000	160	80

Кроме рассмотренных выше предохранителей, которые обеспечивают отключение короткого замыкания, ранее применялись открытые плавкие вставки для трансформаторов напряжением 110 кВ. Трансформатор подключался к линии через тонкие алюминиевые провода, при перегорании которых возникала электрическая дуга. Открытые плавкие вставки не могли отключить ток КЗ, после их перегорания возникало короткое замыкание на стороне ВН, которое должно было отключаться защитой питающей линии.

При высшем напряжении 35 кВ и более наиболее распространенным для трансформаторов мощностью более 1,0 МВА способом подключения трансформатора отпаечной и тупиковой подстанции к линии является подключение через автоматический отделитель (ОД) с установкой короткозамыкателя (КЗ) (рис. 8.1 б, в). Короткозамыкатель устанавливается в 2-х фазах при напряжении 35 кВ и одной фазе при напряжении 110 кВ и выше. В этом случае при повреждении в трансформаторе его релейная защита дает команду на включение КЗ, после чего срабатывает релейная защита питающей линии, и отключается выключатель (В) этой линии. Наступает *бестоковая пауза*, во время которой автоматика дает команду на отключение ОД, а линия включается снова от устройства АПВ.

Наиболее хорошим способом является присоединение трансформатора через выключатель (рис.8.1, а) На рисунке показан выключатель со встроенными в него трансформаторами тока (ТВ). При наличии у защищаемого трансформатора встроенных трансформаторов тока (ТБТ) требуется установить более дешевый выключатель без встроенных ТТ, стоимость установки которого может оказаться соизмеримой с установкой короткозамыкателя и отделителя. Большинство строящихся в настоящее время подстанций комплектуются именно выключателями на стороне ВН.

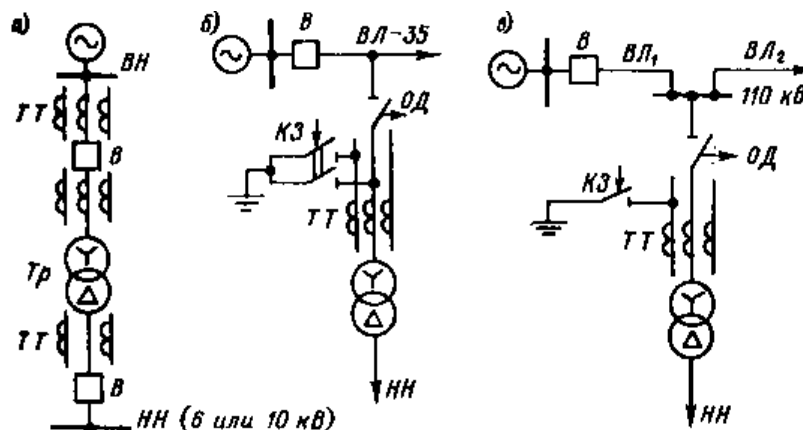


Рис. 8.1 Схемы присоединения понижающего трансформатора к питающей сети: с помощью выключателя (а) и отделителя с короткозамыкателем (б и в)

При подключении трансформатора по схемам рис. 8.1, можно полностью реализовать требования к защитах трансформатора, указанным в п. 8.2.

8.2 ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Согласно ПУЭ требуются следующие защиты для трансформатора:

- Защита от внутренних повреждений для трансформаторов менее 4 МВА – максимальная защита и токовая отсечка, для трансформаторов большей мощности – дифференциальная защита.
- Защита от повреждения внутри бака трансформатора или РПН – газовая защита трансформатора и устройства РПН с действием на сигнал и отключение.
- Защита от внешних коротких замыканий – максимальная защита с блокировкой по напряжению или без нее. Она же используется как резервная защита трансформаторов от внутренних повреждений.
- Защита от однофазных коротких замыканий на сторонах трансформатора с глухозаземленной нейтралью.
- Защита от перегрузки с действием на сигнал. В ряде случаев, на ПС без обслуживающего персонала, защита от перегрузки выполняется с действием на разгрузку или на отключение.

Кроме непосредственно защит, требуются дополнительные токовые органы, например для автоматики охлаждения, блокировки РПН.

8.3 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА

Область применения и принцип действия

Дифференциальная защита применяется в качестве основной быстродействующей защиты трансформаторов и автотрансформаторов. Ввиду ее сравнительной сложности дифференциальная защита устанавливается в следующих случаях (Л1):

- на одиночно работающих трансформаторах (автотрансформаторах) мощностью 6300 кВА и выше;
- на параллельно работающих трансформаторах (автотрансформаторах) мощностью 4000 кВА и выше;
- на трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше, если токовая отсечка не обеспечивает необходимой чувствительности при КЗ на выводах высшего напряжения ($k_q < 2$), а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 с.

При параллельной работе трансформаторов (автотрансформаторов) дифференциальная защита обеспечивает не только быстрое, но и селективное отключение поврежденного трансформатора (автотрансформатора), что поясняется на рис. 8.2. Если параллельно работающие трансформаторы $T1$ и $T2$ оснащены только максимальными токовыми защитами, то при повреждении на вводах низшего напряжения трансформатора, например в точке К, действуют максимальные токовые защиты обоих трансформаторов, а так как их выдержки времени одинаковы, отключатся оба трансформатора. Дифференциальная защита, действующая без выдержки времени, обеспечивает в рассмотренном случае отключение только поврежденного трансформатора. Для выполнения дифференциальной защиты трансформатора (автотрансформатора) устанавливаются ТТ со стороны всех его обмоток, как показано на рис. 8.2 для двухобмоточного трансформатора. Вторичные обмотки ТТ соединяются в дифференциальную схему и параллельно к ним подключается токовое реле. Аналогично выполняется дифференциальная защита автотрансформатора. При рассмотрении принципа действия дифференциальной защиты условно принимается, что защищаемый трансформатор имеет коэффициент трансформации, равный единице, одинаковое соединение обмоток и одинаковые ТТ с обеих сторон.

При прохождении через трансформатор сквозного тока нагрузки или КЗ ток в реле равен: $I_p = I_1 - I_2$

При принятых выше условиях и пренебрегая током намагничивания трансформатора, который в нормальном режиме имеет малое значение, можно считать, что первичные токи равны ($I_1 = I_2$) и, следовательно, вторичные токи $I_1 = I_2$. С учетом этого: $I_p = I_1 - I_2 = 0$

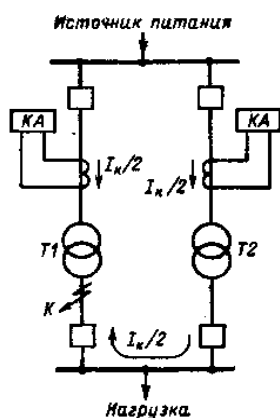


Рис. 8.2 Прохождение тока КЗ и действие максимальной токовой защиты при повреждении одного из параллельно работающих трансформаторов

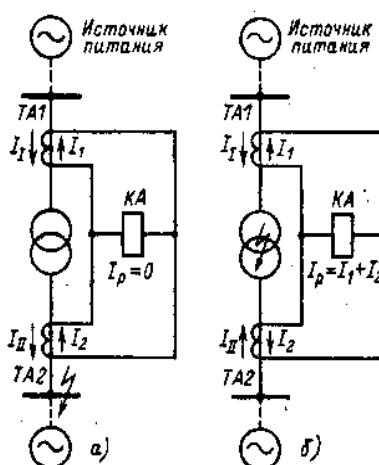


Рис. 8.3 Принцип действия дифференциальной защиты трансформатора:

- а – токораспределение при сквозном КЗ;
- б – то же при КЗ в трансформаторе (в зоне действия дифференциальной защиты).

Таким образом, если схема дифференциальной защиты выполнена правильно и ТТ имеют точно совпадающие характеристики, то при прохождении через трансформатор тока нагрузки или внешнего КЗ ток в реле отсутствует и дифференциальная защита на такие режимы не реагирует.

Практически вследствие несовпадения характеристик ТТ вторичные токи не равны $I_1 \neq I_2$ и поэтому в реле проходит ток небаланса, т. е. $I_p = I_1 - I_2 = I_{p.нб}$

Для того чтобы дифференциальная защита не действовала от тока небаланса, ее ток срабатывания должен быть больше этого тока, т. е.

$$I_{C3} = k_n I_{p.нб} \quad (8.1)$$

При КЗ в трансформаторе или любом другом месте между ТТ направление токов I_{II} и I_2 изменится на противоположное, как показано на рис. 8.3, б. При этом ток в реле станет равным $I_p = I_1 + I_2$ или $I_p = I_1/k_I + I_2/k_I = I_p/k_I$.

Таким образом, при КЗ в зоне дифференциальной защиты в реле проходит полный ток КЗ, деленный на коэффициент трансформации трансформаторов тока. Под влиянием этого тока защита срабатывает и производит отключение поврежденного трансформатора.

Особенности, влияющие на выполнение дифференциальной защиты трансформаторов:

- *Наличие намагничивающего тока, проходящего только со стороны источника питания*

Даже в том случае, когда трансформатор имеет коэффициент трансформации, равный единице, и одинаковое соединение обмоток, ток со стороны источника питания больше тока со стороны нагрузки на значение намагничивающего тока. Намагничивающий ток в нормальном режиме составляет примерно 1÷5% номинального тока трансформатора и поэтому вызывает лишь некоторое увеличение тока небаланса. Иные явления происходят при включении холостого трансформатора под напряжение или при восстановлении напряжения после отключения КЗ. В этих случаях в обмотке трансформатора со стороны источника питания возникает бросок намагничивающего тока, который в первый момент времени в 5÷8 раз превышает номинальный ток трансформатора но быстро, в течение времени менее 1 с, затухает до значения порядка 5-10% номинального тока. Для предотвращения ложного срабатывания дифференциальной защиты от броска намагничивающего тока ток срабатывания защиты должен быть больше максимального значения намагничивающего тока, т. е.

$$I_{C3} = k_n \cdot I_{нам\max} \quad (8.2)$$

Ток $I_{нам\max}$ зависит от конструкции трансформатора, момента его включения под напряжение и ряда других условий, трудно поддающихся учету. Поэтому при расчетах дифференциальной защиты ток срабатывания определяется по формуле:

$$I_{C3} = k_n \cdot I_{ном} \quad (8.3)$$

где

$I_{ном}$ — номинальный ток обмотки, имеющей наибольшую мощность;

k_n — коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1÷4 в зависимости от типа реле, используемых в схеме дифференциальной защиты.

- *Неравенство вторичных токов и разнотипность трансформаторов тока*

Поскольку у трансформаторов токи со стороны обмоток высшего, среднего и низшего напряжений не равны, трансформаторы тока, выбираемые по номинальным токам обмоток, имеют разные коэффициенты трансформации и различное конструктивное выполнение. Вследствие этого они имеют различные характеристики и погрешности.

Номинальные токи обмоток трансформаторов, как правило, не совпадают со шкалой номинальных токов ТТ. Поэтому при выборе ТТ принимается трансформатор тока, номинальный ток которого является ближайшим большим по отношению номинальному току обмотки трансформатора. Иногда и этого сделать не удастся, так как на выбор трансформаторов тока влияют и другие соображения. Таким образом, вследствие неравенства вторичных токов в плечах дифференциальной защиты в дифференциальном реле при номинальной нагрузке трансформатора проходит ток небаланса, равный:

$$I_{нб} = I_{ВН} / K_{ПВН} - I_{НН} / K_{ПНН} \quad (8.4)$$

При сквозном КЗ этот ток возрастает пропорционально току КЗ, а также увеличивается вследствие возрастания погрешностей ТТ, имеющих неодинаковые характеристики, что может вызвать ложное действие дифференциальной защиты.

Поэтому для снижения тока небаланса, вызванного неравенством вторичных токов ТТ дифференциальной защиты, производится выравнивание этих токов путем включения специальных промежуточных автотрансформаторов тока, или путем использования выравнивающих обмоток дифференциальных реле. В цифровых реле такое выравнивание производится математическим путем.

– Неодинаковые схемы соединения обмоток трансформаторов

При неодинаковых схемах соединения обмоток, например звезда-треугольник, токи со стороны обмотки, соединенной в звезду, и токи со стороны обмотки, соединенной в треугольник, оказываются сдвинутыми относительно друг друга на некоторый угол, который зависит от схемы соединения обмоток. Как уже говорилось в разделе 8.1, для обычно применяемой группы Y/Δ вторичный ток опережает первичный на угол 30° . Угловой сдвиг токов создает небаланс в реле дифференциальной защиты, который нельзя компенсировать подбором витков. Компенсация углового сдвига производится соединением вторичных обмоток трансформаторов тока по той же схеме, что и трансформатор. Для этого на стороне звезды трансформаторы тока соединяются в треугольник, а на стороне треугольника – в звезду (см. рис. 8.4).

При таком соединении вторичных обмоток ТТ, как показано на рис. 8.4, в трансформаторах тока ТА1, вторичные обмотки которых соединены в треугольник, создается сдвиг токов на такой же угол, как и в соединенной в треугольник обмотке НН трансформатора, что и обеспечивает совпадение фаз вторичных токов.

Современные цифровые защиты (фирм ABB, SIEMENS, ALSTOM, GE) получают разность фазных токов математическим путем. У таких защит трансформаторы тока со всех сторон соединяются в звезду, а группа соединений трансформатора и полярность ТТ вводится в реле в виде уставки. Соединение в звезду выгоднее в части величины нагрузки на трансформаторы тока (как указывалось в гл. 4, при соединении трансформаторов тока в треугольник нагрузка на трансформаторы тока вырастает в 3 раза).

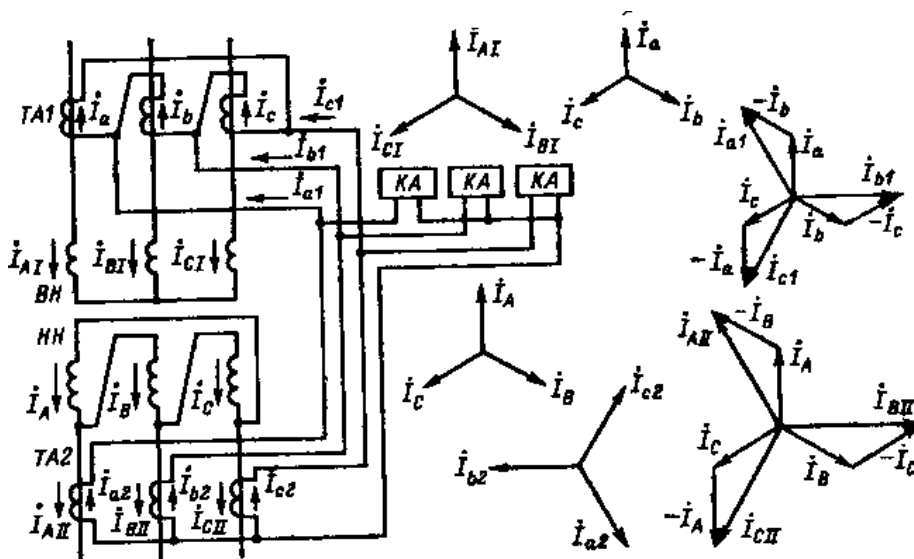


Рис. 8.4 Прохождение токов и векторные диаграммы токов в схеме дифференциальной защиты трансформатора с соединением обмоток по схеме звезда-треугольник, поясняющие принцип компенсации углового сдвига

Соединение трансформаторов тока в треугольник на стороне трансформатора, где первичные обмотки соединены в звезду, имеет еще одно преимущество. Если нейтраль трансформатора заземлена, то при замыкании на землю протекает ток от заземленной нейтрали к месту КЗ. При установке трансформаторов тока только на выводах и схеме соединения трансформаторов тока - звезда протекает несбалансированный ток нулевой последовательности, который при схеме соединения ТТ – треугольник замыкается внутри треугольника и в реле не попадает. Таким образом, состояние нейтрали соединенной в звезду обмотки трансформатора не влияет на работу дифзащиты. Цифровые защиты исключают ток нулевой последовательности из схемы математическим путем, поэтому трансформаторы тока можно соединить в звезду.

Выбор уставок дифференциальной защиты

Выбор уставок дифференциальной защиты производится по 2 условиям: отстройка от тока намагничивания и тока небаланса.

Ток намагничивания трансформатора достигает 5-6 величины номинального тока трансформатора. В схеме дифференциальной защиты он не компенсируется, и дифзащита должна отстраиваться от него для исключения ложной работы при включении трансформатора. Отстройка производится по ранее приведенной формуле (8.3):

$$I_{CЗ} = k_n I_{ном}$$

Коэффициент надежности k_n определяется в основном типом примененного реле и наличием в них специальных методов отстройки от броска тока намагничивания.

Ток небаланса в схеме дифференциальной защиты. Токи небаланса в схеме дифференциальной защиты трансформаторов и автотрансформаторов имеют место из-за погрешностей ТТ, из-за изменения коэффициента трансформации защищаемого трансформатора (при регулировании напряжения), из-за неточного выравнивания вторичных токов.

Для отстройки дифференциальной защиты от тока небаланса при сквозном КЗ ее ток срабатывания должен удовлетворять условию:

$$I_{CЗ} = k_n \cdot I_{нб.рас.} \quad (8.5)$$

где

k_n – коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,3.

Расчетный ток небаланса, определяемый погрешностями ТТ, вычисляется по формуле:

$$I_{нб.рас.} = k_a \cdot k_{одн} \cdot f \cdot I_{КЗmax} \quad (8.6)$$

где

k_a – коэффициент, учитывающий влияние на быстродействующие защиты переходных процессов при КЗ, которые сопровождаются прохождением апериодических составляющих в токе КЗ; принимается $k_a = 1$ для реле, имеющих БНТ с короткозамкнутыми обмотками или других средств отстройки от переходных процессов при КЗ, и $k_a = 2$ для реле без таких средств; Для микропроцессорных защит также можно принять $k_a = 1$.

$k_{одн}$ – коэффициент однотипности условий работы ТТ, принимаемый равным 0,5 в тех случаях, когда ТТ обтекаются близкими по величине значениями токами, и равным 1 в остальных случаях, для трансформаторов $k_{одн}$ принимается равным 1 ;

$f = 0,1$ – погрешность ТТ, удовлетворяющих 10 %-ной кратности (см. п. 4);

$I_{КЗmax}$ – наибольший ток при сквозном КЗ.

Вторая составляющая тока небаланса определяется изменением коэффициента трансформации защищаемого трансформатора при регулировании напряжения, вычисляется по формулам:

- при регулировании на одной стороне трансформатора

$$I_{2нб.рас.} = \Delta N \cdot I_{K3max} \quad (8.7)$$

- при регулировании с двух сторон трансформатора

$$I_{2нб.рас.} = \Delta N_{ВН} \cdot I_{K3max} + \Delta N_{НН} \cdot I_{K3max} \quad (8.8)$$

где

ΔN – половина регулировочного диапазона, для которого производится выравнивание вторичных токов (например, при половине регулировочного диапазона $N = \pm 10\%$, $\Delta N = 0,1$).

Третья составляющая расчетного тока небаланса определяется неточностью выравнивания вторичных токов вычисляется по формуле:

$$I_{3нб.рас.} = \frac{w_{I рас.} - w_I}{w_{I рас.}} \cdot I_{IK3max} + \frac{w_{II рас.} - w_{II}}{w_{II рас.}} \cdot I_{IIK3max} \quad (8.9)$$

где

$w_{I рас.}$, $w_{II рас.}$ – расчетные числа витков выравнивающих обмоток трансформаторов реле для неосновных сторон (сторон с меньшим вторичным током);

w_I , w_{II} – принятые числа витков обмоток;

I_{IK3max} , $I_{IIK3max}$ – наибольшие токи КЗ соответствующих сторон.

Для двухобмоточного трансформатора формула упрощается:

$$I_{3нб.рас.} = \frac{w_{II рас.} - w_{II}}{w_{II рас.}} \cdot I_{IIK3max} \quad (8.10)$$

для стороны трансформатора принятой за основную.

Суммарный расчетный ток небаланса состоит из этих трех составляющих

$$I_{нб.рас.} = I_{1нб.рас.} + I_{2нб.рас.} + I_{3нб.рас.} \quad (8.11)$$

Обычно при расчете дифференциальной защиты трансформаторов вначале определяется ток небаланса как сумма первых двух составляющих:

$$I_{нб.рас.} = I_{1нб.рас.} + I_{2нб.рас.} \quad (8.12)$$

Затем после выбора тока срабатывания и определения расчетных чисел витков определяется дополнительно суммарный ток небаланса по формуле (8.10) и производится уточнение ранее выбранного тока срабатывания по формуле 8.10.

Ток срабатывания защиты по условию отстройки от тока небаланса:

$$I_{C3} = k_n \cdot I_{нб.рас.} \quad (8.13)$$

где

k_n — коэффициент надежности, который можно принять равным 1.3.

Некоторые схемы дифзащиты

Дифференциальная отсечка. В схеме дифотсечки отсутствуют какие либо специальные средства для отстройки от броска тока намагничивания и выравнивания вторичных токов (см. рис. 8.4).

Ток срабатывания дифференциальной отсечки определяют условием отстройки от броска намагничивающего тока согласно формуле (8.3), принимая $k_n = 3 \div 4$ для электромеханических реле. Броски намагничивающего тока в первый момент включения трансформатора могут превышать ток срабатывания дифференциальной отсечки, выбранный с указанным коэффициентом надежности отстройки. Однако эти токи очень быстро затухают, что дает возможность отстроиться от них за счет собственного времени действия реле дифференциальной отсечки. Для этого в схеме дифференциальной отсечки применяют выходное промежуточное реле (реле KL на рис. 8.5) которое имеет время срабатывания 0,07–0,08 с. Для измерения тока используется обычное токовое реле. При правильном подборе трансформатора тока и такой уставке удастся отстроиться и от тока небаланса за счет невыравнивания – второе условие выбора уставок, что и дает возможность использовать для дифотсечки простое токовое реле.

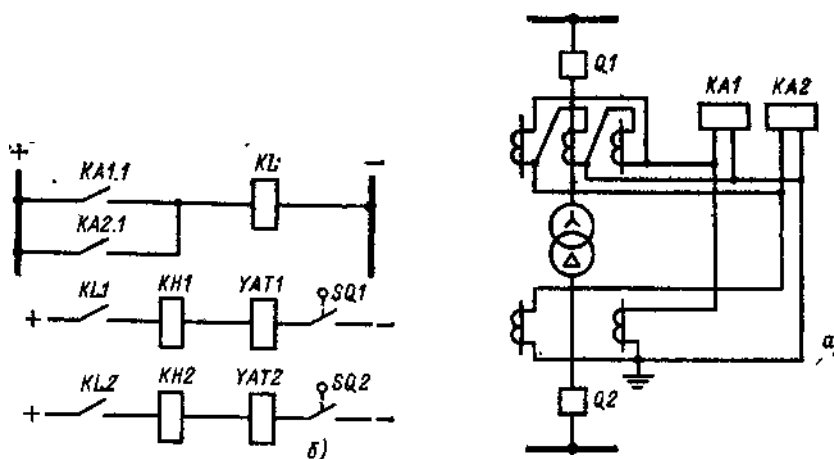


Рис. 8.5 Принципиальная схема дифференциальной отсечки двухобмоточного трансформатора

а — схема токовых цепей;

б — схема цепей оперативного тока

В сложных устройствах дифзащиты, например ДЗТ-21, R3IPT, MiCOM P630 и других микропроцессорных защит, имеется дополнительный элемент, именуемый отсечкой. Этот элемент не имеет дополнительной задержки и специальных средств отстройки от броска тока намагничивания. Поэтому он должен отстраиваться от бросков тока намагничивания с большим коэффициентом равным 6-8 $I_{ном}$. Зато такая отсечка, не имеющая никаких задержек по сравнению с основной, более чувствительной дифзащитой, обеспечивает очень быстрое отключение большого тока короткого замыкания.

Логическая дифференциальная защита трансформатора

Подобно тому, как выполнялась логическая защита шин (см. п. 6), можно выполнить и логическую дифзащиту трансформатора. Для этого необходимо установить 2 защиты: на вводе ВН и НН и связать их схемой блокировки таким образом, чтобы мгновенный токовый орган на вводе НН блокировал токовую отсечку на вводе ВН (рис.8.5).

Токовый орган защиты (ТО), установленный на стороне НН (Р32), блокирует отсечку (О) на стороне ВН (Р31). При внешнем КЗ отсечка блокируется и не работает. При КЗ в зоне блокировки на вход отсечки на стороне ВН не поступает, и она отключает трансформатор с временем отсечки.

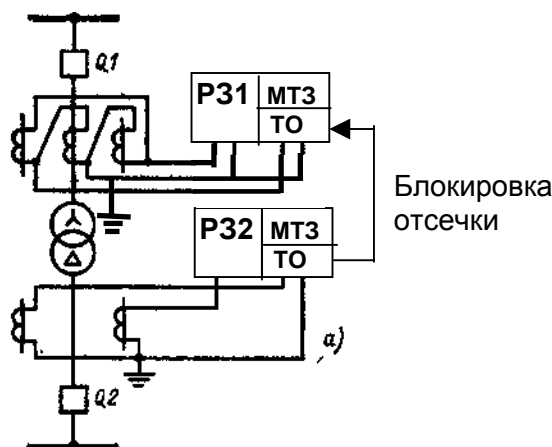


Рис.8.6 Выполнение логической дифзащиты с использованием дифзащиты вводов

В качестве таких защит можно применить защиту УЗА-10 или УЗА-АТ. Эти устройства имеют мгновенный токовый орган и 2 ступени защиты: токовую отсечку и МТЗ. Токовая отсечка защиты стороны НН (Р32) используется в логической защите шин НН, МТЗ стороны НН выполняет функции максимальной защиты, а токовый элемент блокирует отсечку стороны ВН, образуя логическую дифзащиту. Отсечка стороны ВН должна быть согласована по току с токовым органом защиты стороны НН. Для получения одинаковых токов в фазах защиты Р31 и Р32 при двухфазном КЗ, защита Р31 должна включаться на трансформаторы тока ВН, включенные по схеме треугольника.

Согласование производится по формуле:

$$I_{CЗ ВН} = k_n I_{CЗ НН} \quad (8.14)$$

где

k_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,3 для учета регулирования коэффициента трансформации.

Второе условие выбора отсройка от броска тока намагничивания, при выполнении отсечки указанных устройств с выдержкой времени 0,15 с. Ток срабатывания может быть принят равным:

$$I_{CЗ ВН} = (2 \div 2,5) I_{ном}, \quad t_{CЗ ВН} = 0,15 \text{ с}$$

Хмельницоблэнерго (г. Журавский В.И.) предложило использовать в качестве такой защиты токовые реле РТ-40 производства ЧЭАЗ. Для отсройки от броска тока намагничивания, как показали испытания на ряде трансформаторов, можно также выполнить уставку, равную $2,5 I_{ном.}$, не выполняя дополнительной задержки защиты, кроме использования обычного выходного реле.

Пока нет достаточного опыта применения логических дифзащит трансформатора. Поэтому целесообразно при выполнении такой защиты производить опытную проверку отсройки защиты от броска тока намагничивания.

Дифференциальная защита с быстронасыщающимися трансформаторами (БНТ) (реле РНТ-562, 565)

Схема защиты показана на рис. 8.7.

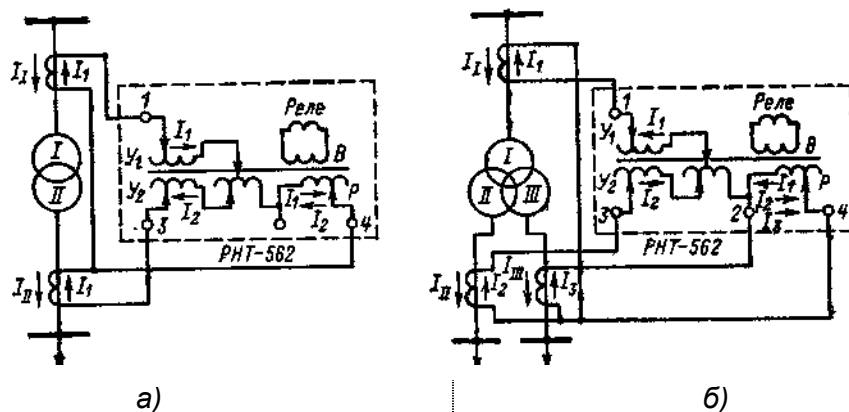


Рис. 8.7 Схема защиты на реле РНТ- 562(565)

а) для двухобмоточного трансформатора

б) для трехобмоточного

Быстронасыщающийся трансформатор реле РНТ-565 является одновременно и промежуточным трансформатором для компенсации неравенства вторичных токов в плечах дифференциальной защиты и имеет для этой цели специальные уравнивательные обмотки. Ток во вторичной обмотке БИТ, к которой подключено реле, определяется суммарным магнитным потоком в сердечнике, который создается как рабочей, так и уравнивательными обмотками. Для того чтобы при прохождении через трансформатор сквозного тока нагрузки или КЗ ток во вторичной обмотке был равен нулю, необходимо правильно включить рабочую и уравнивательные обмотки в дифференциальную схему и так подобрать числа витков обмоток, чтобы компенсировать неравенство вторичных токов ТТ и установить необходимый ток срабатывания. При броске тока намагничивания БНТ насыщается постоянной составляющей тока намагничивания и ухудшает трансформацию переменной составляющей в реле. За счет применения БНТ, можно выполнить уставку по условию отстройки от броска тока намагничивания, равной $1 \div 1,3$ номинального тока трансформатора.

Реле для дифференциальной защиты типа РСТ-15 (ЧЭАЗ)

Дифференциальные реле тока серии РСТ-15 (для сетей 50 Гц) применяются в качестве измерительных органов дифференциальной защиты понижающих трансформаторов и мощных двигателей. Реле выполнены на интегральных микросхемах. В состав реле входят (рис. 8.8):

- датчик тока – трансреактор ТАВ, содержащий три первичных обмотки: основную (дифференциальную), имеющую 30 витков с отводами от 12, 16, 20, 25-го витков и две дополнительные (уравнивательные) по три витка в каждой с отводами от 1-го витка;
- узел формирования реле, состоящий из нагрузочного моста ($VD1, VD2, R2, R1$); делителя $R3, R4$ и активного фильтра нижних частот (ФНЧ) $A1$;
- узел сравнения, состоящий из компаратора $A2$ и элемента выдержки времени $A3$ с установленным на нем временем 22 мс;
- узел выхода УВ;
- узел питания УЛ.

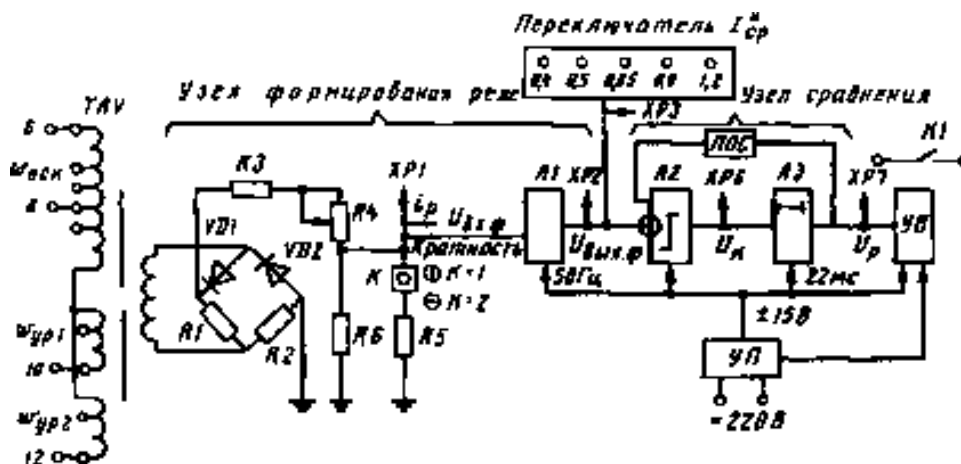


Рис. 8.8 Функциональная схема дифференциального реле типа РСТ-15

Переключатель K позволяет исключить резистор $R5$ из схемы делителя. При этом значение выходного сигнала, подаваемого на $A1$, изменяется в отношении 1:2. Переключатель K служит для ступенчатого изменения уставки реле по току срабатывания в 2 раза.

Формы сигналов, образующихся на выходе узла формирования при появлении повышенного дифференциального тока, резко различаются в зависимости от того, является он током КЗ или током включения. Это позволяет получать управляющий сигнал на выходе сравнения только при КЗ в зоне защиты. Для обеспечения релейного эффекта выход элемента времени $A3$ соединен положительной обратной связью с входом компаратора $A2$. Реле РСТ-15 характеризуется высокой степенью отстройки от переходных токов небаланса, возникающих при включении трансформаторов и двигателей под напряжение, за счет того, что постоянная составляющая тока намагничивания не трансформируется трансреактором, а из переменной составляющей отфильтровывается только 1 гармоника. Вследствие этого ток срабатывания дифференциальной защиты при использовании реле РСТ-15 можно устанавливать порядка $0,5 \cdot I_{ном}$. Ток срабатывания реле может быть установлен в пределах $(0,4 \div 1,2) \cdot I_{ном}$ при $K = 1$ и $(0,8 \div 2,4) \cdot I_{ном}$ при $K = 2$. Уставка осуществляется штекером, помещенным в соответствующее гнездо на лицевой плате реле.

Использование торможения

Условие отстройки от тока намагничивания не является определяющим условием выбора уставок дифзащиты. Обычно таким условием является отстройка от тока небаланса. Действительно, если предположить погрешность ТТ равной 10%, а диапазон регулирования напряжения 16% и кратность тока КЗ за трансформатором равной $10 I_{ном}$, то уставка защиты по условию отстройки от небаланса составит по формулам (8.12), (8.13):

$$I_{C3} = 1,3(0,1 + 0,16) \cdot 10 I_{ном} = 3,4 I_{ном}$$

Поэтому этот режим является определяющим для выбора уставок защиты. Защита трансформатора становится очень грубой и для многих режимов недостаточно чувствительной. Значительно улучшает чувствительность применение процентного торможения.

При применении такого торможения ток срабатывания растет с ростом тока короткого замыкания и защита во всех режимах остается чувствительной к КЗ. Уставка защиты для данного режима определяется по формуле:

$$I_{C3} = I_{y.бom} + k_m I_m \quad (8.15)$$

где

k_m — коэффициент торможения принимается равным:

$$k_m = k_n I'_{нб.рас.} = k_n (I'_{1нб.рас.} + I'_{2нб.рас.} + I'_{3нб.рас.}) \quad (8.16)$$

где

k_n — принимается равным 1,3.

$I'_{нб.рас.}$; $I'_{1нб.рас.}$; $I'_{2нб.рас.}$; $I'_{3нб.рас.}$ — полный ток небаланса и его составляющие в относительных единицах

Для вышеприведенного случая коэффициент торможения можно принять равным $k_m = 1,3 \cdot 0,26 = 0,34$.

Защита автоматически загрубляется с ростом тормозного тока, и уставка отстается отстроенной от небаланса при любом токе короткого замыкания. Следует учитывать, что тормозная обмотка не включается в дифференциальный ток, а включается на ток короткого замыкания. Если включить ее на сторону НН при питании со стороны ВН, то при коротком замыкании в трансформаторе, тормозной ток в дифзащите отсутствует и защита не загрубляется.

Дифференциальное реле с торможением типа ДЗТ-11 ЧЭАЗ

У этого реле на БНТ кроме обмоток, аналогичных тем, что имеются у реле типа РНТ, расположена одна дополнительная тормозная обмотка. Включение реле типа ДЗТ-11 показано на рис. 8.7.

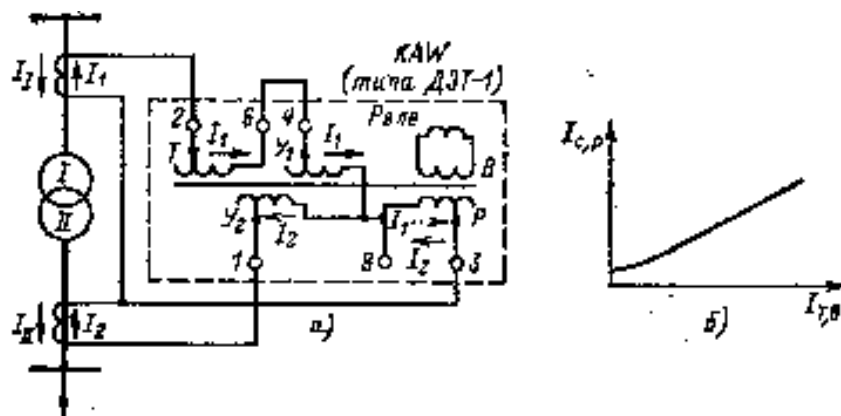


Рис. 8.9 Принципиальная схема токовых цепей дифференциальной защиты с реле ДЗТ-11 для двухобмоточного трансформатора:

- а) — схема включения реле;
- б) — тормозная характеристика зависимости тока срабатывания $I_{ср}$ от тока в тормозной обмотке $I_{то}$

Тормозная обмотка T , включенная в плечо дифференциальной защиты, по которой проходит ток сквозного КЗ подмагничивает сердечник БНТ, что приводит к ухудшению трансформации, а значит к увеличению тока срабатывания реле. Зависимость тока срабатывания реле ДЗТ от тока, проходящего в тормозной обмотке, показана на рис. 8.9, б. Эта зависимость, называемая тормозной характеристикой, показывает, что при увеличении тока сквозного КЗ ток срабатывания также возрастает, что обеспечивает отстройку от увеличивающегося тока небаланса.

Реле ДЗТ-21, ЧЭАЗ

Для защиты трансформаторов и автотрансформаторов большой мощности ЧЭАЗ выпускает реле дифференциальной защиты с торможением типов ДЗТ-21 и ДЗТ-23, в которых применен новый принцип отстройки от бросков тока намагничивания и токов небаланса. Защита выполнена на микроинтегральном принципе.

На дифференциальных защитах с реле ДЗТ-21 и ДЗТ-23 может быть выполнена минимальная уставка по току срабатывания $0,3 \cdot I_{ном}$ трансформатора. Для отстройки от бросков намагничивающего тока силовых трансформаторов и переходных токов небаланса используется время-импульсный принцип блокирования защиты в сочетании с торможением от составляющих второй гармонической тока, содержащихся, как показывает анализ, в токах намагничивания.

Время-импульсный принцип основывается на анализе длительности пауз, появляющихся в кривой дифференциального тока (рис. 8.10). При апериодическом броске тока намагничивания паузы t_n между моментами, когда мгновенные значения тока намагничивания превышают ток срабатывания реагирующего органа защиты (РО), велики (рис. 8.10, а и б).

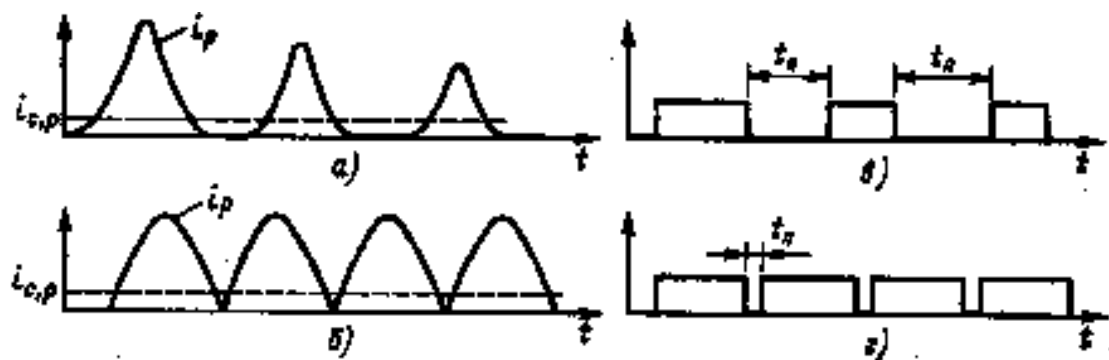


Рис. 8.10 Временные диаграммы, поясняющие принцип действия дифференциальной защиты с реле типа ДЗТ-21:

- а)– выпрямленный рабочий ток в реле при броске тока намагничивания;
- б)– то же при симметричном токе КЗ;
- в)– импульсы и паузы на выходе органа, формирующего импульсы при броске тока намагничивания;
- г)– то же при симметричном токе КЗ.

При синусоидальном токе (режим КЗ в защищаемой зоне): паузы между мгновенными значениями выпрямленного тока КЗ, превышающими ток срабатывания РО, малы (рис. 8.10, б и г). Таким образом, оценивая с помощью специальной схемы (см. ниже) продолжительность пауз, защита может отличить режим броска тока намагничивания (блокировка защиты) от режима КЗ в зоне (срабатывание защиты).

Сочетание в ДЗТ-21 (ДЗТ-23) двух указанных способов позволяет обеспечить отстройку защиты от бросков тока намагничивания при необходимом быстродействии и чувствительности. В защите предусмотрено также торможение от фазных токов в двух плечах защиты, улучшающее отстройку от установившихся и переходных токов небаланса. При больших кратностях тока в защищаемой зоне, особенно при наличии апериодической составляющей, может наступить насыщение ТТ защиты. При этом во вторичных токах ТТ появляются паузы, которые могут вызвать замедление или отказ защиты. Для обеспечения надежности и быстродействия защиты в этих режимах в схеме предусмотрена дополнительная отсечка.

Однолинейная структурная схема защиты приведена на рис. 8.11, она содержит: промежуточные автотрансформаторы $TL1$ и $TL2$ для выравнивания вторичных токов.

Промежуточные трансформаторы $TL3$, $TL4$ и выпрямители $VS1$, $VS2$, через которые формируется тормозной ток плечей защиты, подаваемый к реагирующему органу РО; стабилитрон VD , включенный последовательно в тормозную цепь и обеспечивающий при небольших токах работу защиты без торможения (рис. 8.12); трансреактор, TAV , к вторичным обмоткам которого подключено через выпрямитель $VS3$ реле дифференциальной отсечки K_A и цепь торможения от тока второй гармоники; фильтр тока второй гармоники ZF и выпрямитель $VS4$, через которые подается к РО тормозной ток второй гармоники; устройства формирования, подготавливающие токи смещения, подаваемые в РО, пропорциональные тормозным токам.

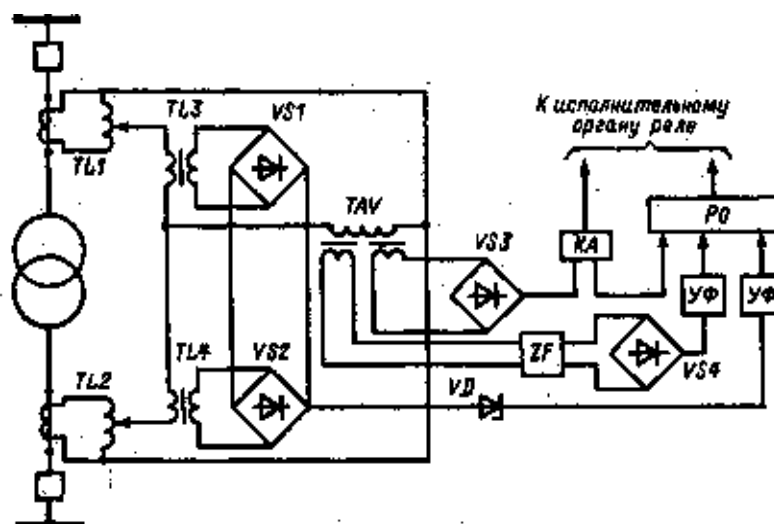


Рис. 8.11 Однолинейная структурная схема защиты ДЗТ-21

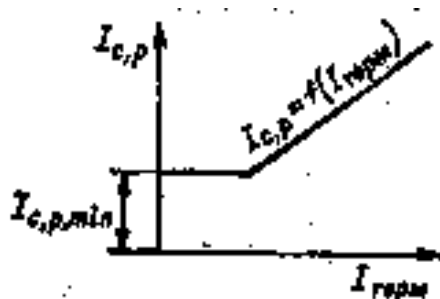


Рис. 8.12 Характеристика срабатывания защиты ДЗТ в зависимости от тормозного тока.

Дифзащита устройств R3IPT и MX3DPT3A фирмы ALSTOM

Реле имеют тормозную характеристику пропорционального типа (процентное торможение) – ток срабатывания защиты увеличивается пропорционально увеличению тока короткого замыкания. Тормозным током является самый большой ток среди подводимых к реле, по каждой фазе отдельно. Дифзащита использует 3 или 2 комплекта трансформаторов тока, расположенных с трех сторон трансформатора. Выравнивание вторичных токов по величине и по фазе производится защитой автоматически расчетным путем, для чего при задании общих характеристик задаются параметры трансформатора и трансформаторов тока. При этом возникает возможность собрать трансформаторы тока со всех сторон в «звезду» что снижает нагрузку вторичных цепей. Ток нулевой последовательности, при этом, устраняется программно, что делает характеристики независимыми от режима нейтрали трансформатора.

Участок АВ – начальный, на этом участке ток срабатывания не зависит от торможения. В точке В характеристика начального участка пересекается с первой тормозной характеристикой. Она имеет наклон P1 и начинается от начала координат. Эта характеристика работает при малых токах короткого замыкания, когда погрешность трансформаторов тока невелика. При токах, больших $2,5I_n$ начинается вторая тормозная характеристика, которая пересекается с первой в точке С и имеет более крутой наклон – P2 учитывая большую погрешность трансформаторов тока при больших ТКЗ. И последний участок – DE, где ток срабатывания опять не зависит от тормозного тока. Ломаная линия ABCDE представляет общую характеристику дифференциальной защиты.

Для обеспечения отстройки дифзащиты от броска тока намагничивания при подаче напряжения применяется блокировка второй гармоникой тока КЗ. Блокировка по току пятой гармоники,

предназначена для предотвращения ложной работы дифзащиты от повышенного тока намагничивания при перевозбуждении (подачи напряжения на обмотку трансформатора значительно выше номинального). Она работает совместно с предыдущей и нормально должны быть введены обе блокировки.

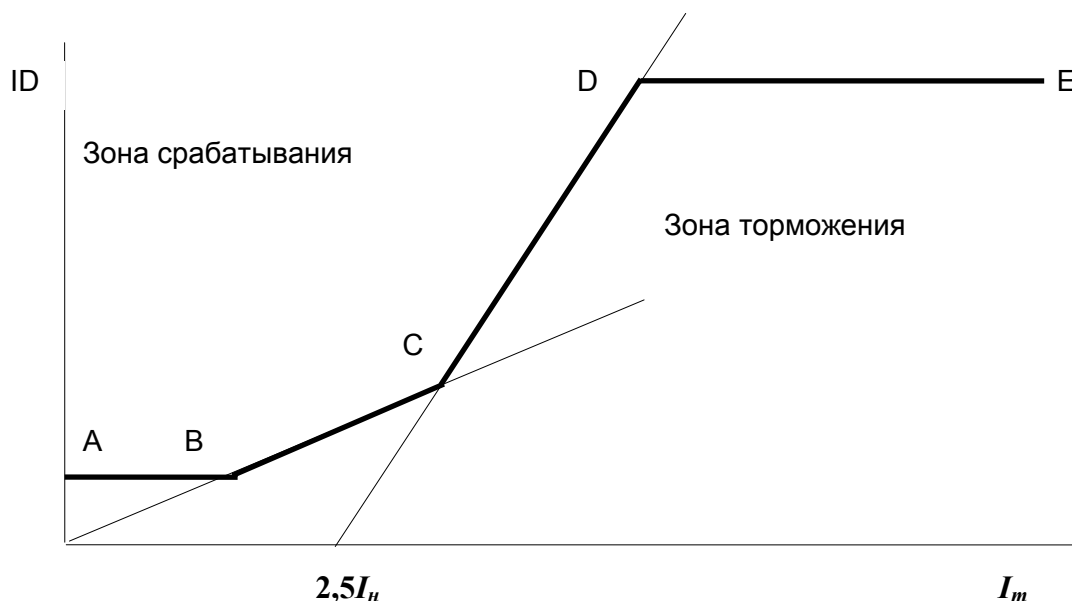


Рис.8.13 Характеристика дифференциальной защиты R3IPT

ID – дифференциальный ток;

I_m – тормозной ток равен наибольшему из трех вторичных токов.

Благодаря наличию блокировок, ток срабатывания дифзащиты может быть выполнен значительно меньшим номинального тока трансформатора.

При выборе уставок следует исходить из таких соображений. Уставки дифреле выбираются без расчета.

Реле градуировано в относительных единицах к базисному току (номинальному току трансформатора). Вторичные токи пересчитываются автоматически исходя из введенных ранее коэффициентов трансформации трансформаторов тока и параметров трансформатора.

Ток срабатывания 1 участка характеристики (AB) принимается равным 0,4 номинального тока трансформатора.

Коэффициент торможения P1 первого участка тормозной характеристики в зоне малых токов КЗ, принимается равным 0,4.

Коэффициент торможения P2 второго участка тормозной характеристики в зоне больших токов КЗ принимается равным 1.

Для отстройки от броска тока намагничивания ток срабатывания отсечки должен быть равен 6.

Ток блокировки по 2 гармонике принимается равным – 10%.

Ток блокировки по 5 гармонике принимается равным – 10%.

Группа соединений трансформатора, выравнивание вторичных токов по величине и фазе учитывается программным путем. Можно учесть программно и полярность трансформаторов тока.

Устройство дифзащиты на реле MiCOM P632-633 ALSTOM

Оно имеет немного отличающиеся характеристики (см. рис. 8.14). Реле MiCOM P632-633 имеет торможение арифметической полусуммы токов.

Участок II – начальный. На этом участке ток срабатывания не зависит от торможения. Характеристика начального участка пересекается с первой тормозной характеристикой в точке, где сходится линия тормозной характеристики при одностороннем питании КЗ. Она имеет наклон $P1$ (участок III). Эта характеристика работает при малых токах короткого замыкания, когда погрешность трансформаторов тока невелика. Ток начала второго участка торможения IIII задается уставкой. Имеется еще 2 уставки: при токе $I_d \gg$ прекращается действие блокировки по 2 гармонике, и при токе $I_d \gg \gg$ прекращается действие тормозной характеристики.

Для обеспечения отстройки дифзащиты от броска тока намагничивания при подаче напряжения применяется блокировка второй гармоникой тока КЗ. Блокировка по току пятой гармоники, предназначена для предотвращения ложной работы дифзащиты от повышенного тока намагничивания при перевозбуждении (подачи напряжения на обмотку трансформатора значительно выше номинального). Она работает совместно с предыдущей и нормально должны быть введены обе блокировки.

Благодаря наличию блокировок, ток срабатывания дифзащиты может быть выполнен значительно меньшим номинального тока трансформатора.

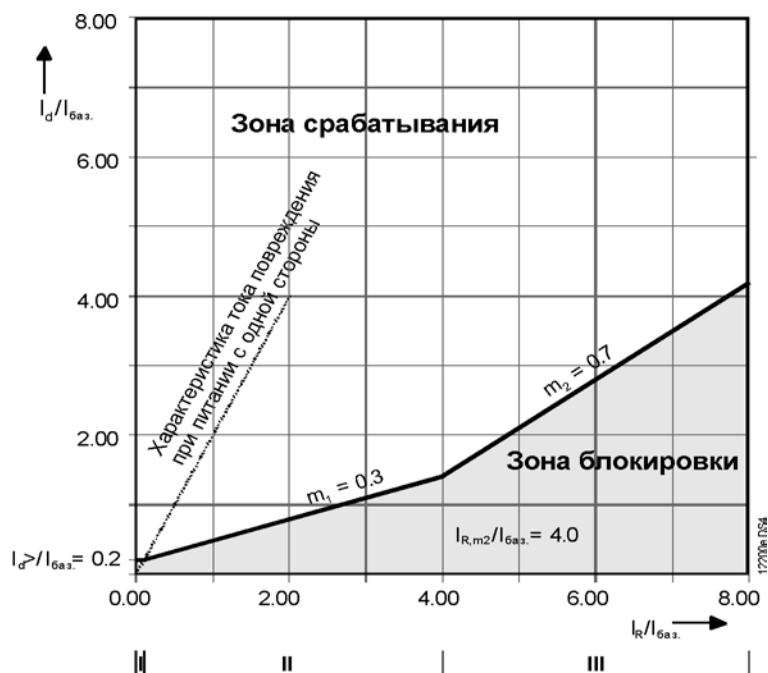


Рис.8.14 Характеристики срабатывания дифференциального органа

При выборе уставок следует исходить из таких соображений. Уставки выполняются без расчетов.

Реле градуировано в относительных единицах к базисному току (номинальному току трансформатора). Вторичные токи пересчитываются автоматически исходя из введенных ранее коэффициентов трансформации трансформаторов тока и параметров трансформатора.

Ток срабатывания 1 участка характеристики II принимается равным 0,4 номинального тока трансформатора.

Коэффициент торможения $m1$ первого участка тормозной характеристики IIII в зоне малых токов КЗ, принимается равным 0,4.

Ток начала второго участка торможения равен 1,5 номинального тока.

Коэффициент торможения m_2 второго участка тормозной характеристики $|III|$ в зоне больших токов КЗ принимается равным 1.

- Уставки $I_{d>>}$ и $I_{d>>>}$ принимаются одинаковыми и равными 6.
- Ток блокировки по 2 гармонике принимается равным – 10%.
- Ток блокировки по 5 гармонике принимается равным – 10%.

Группа соединений трансформатора, выравнивание вторичных токов по величине и фазе учитывается программным путем. Можно учесть программно и полярность трансформаторов тока.

Дифференциальная защита от замыканий на землю

Входит в состав защиты MiCOM P632, P633, работает на фильтрах тока нулевой последовательности и защищает обмотку трансформатора с заземленной нейтралью. Включается на трансформаторы тока со стороны вводов защищаемой обмотки и на трансформатор тока установленный со стороны заземленной нейтрали. Дифзащита также имеет процентное торможение. Характеристику см. ниже рис 8.15. Защита более чувствительная, чем основная дифзащита, которая не реагирует на ток нулевой последовательности. Она достаточно четко реагирует на витковые замыкания обмотки трансформатора.

Начальная точка характеристики $I_{d>}$ регулируется в пределах $0,1 \div 1,0 \cdot I_{ном}$.

Коэффициент торможения не регулируется и равен $m=1,005$.

Ток прекращения действия торможения $I_{d>>>}$ регулируется в пределах $5 \div 10 \cdot I_{ном}$.

Рекомендуемые уставки:

$$I_{d>} \geq 0,2 \cdot I_{ном};$$

$$I_{d>>>} \geq 5 \cdot I_{ном};$$

$$m=1,005.$$

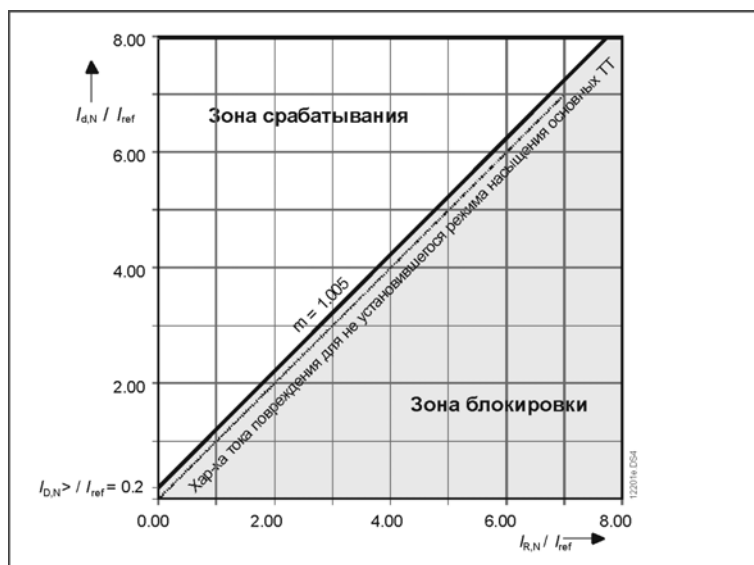


Рис. 8.15 Характеристика срабатывания дифференциального органа от замыканий на землю

Дифференциальные защиты трансформаторов других фирм

Они имеют подобные характеристики:

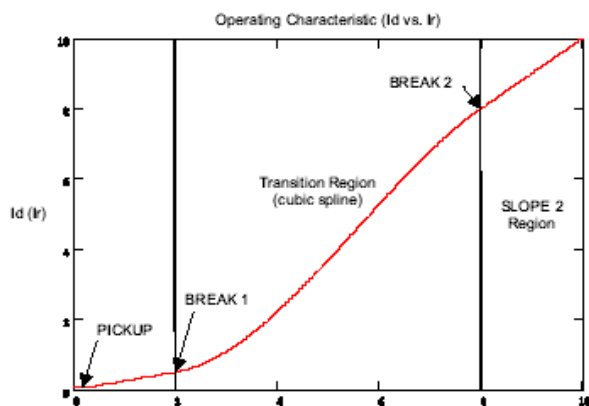


Рис. 8.16. Тормозная характеристика дифзащиты t35 и t60 фирмы GE.

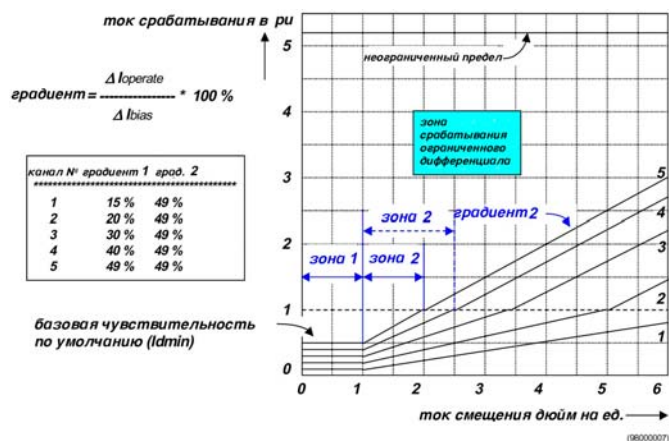


Рис. 8.17. Набор тормозных характеристик дифзащиты RET 521 фирмы ABB.

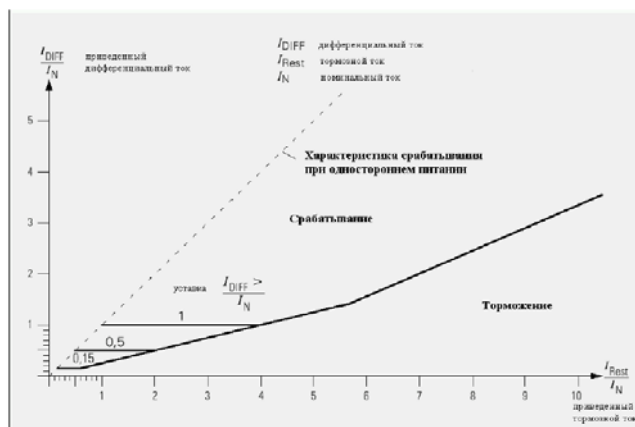


Рис. 8.18. Тормозная характеристика дифзащиты 7UT513 и 7UT612 фирмы SIEMENS.

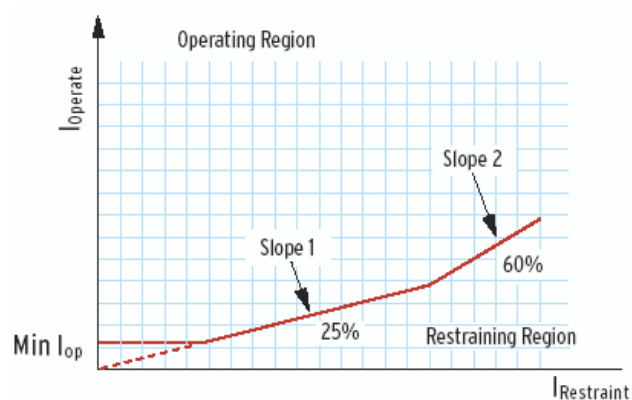


Рис. 8.19. Тормозная характеристика дифзащиты SEL 387 фирмы SEL.

Из приведенных на рисунках 8.16 – 8.19, где приводятся тормозные характеристики дифференциальных реле различных иномарок видно, что они похожи друг на друга и принципы на которых они выполняются одинаковы. Имеется начальный ток срабатывания значительно меньший номинального тока трансформатора, участок с малым торможением для малой величины тока, участок с большим торможением для больших токов, при которых погрешность трансформаторов тока существенно возрастает. Как правило в состав дифзащиты входит дифотсечка, которая обеспечивает быстрое отключение КЗ при больших токах, когда торможение может замедлить срабатывание защиты. Отстройка от броска намагничивающего тока трансформатора производится за счет торможения второй гармоникой тока намагничивания.

8.4 ГАЗОВАЯ ЗАЩИТА

Газовая защита предназначена для отключения повреждения внутри трансформатора, когда под действием дуги разлагается масло. Оно устанавливается в рассечку трубы, соединяющей бак трансформатора с расширителем.

Образующиеся при дуговом замыкании внутри бака газы выталкивают масло из трубопровода и газового реле, а затем прорываются в расширитель, заполняя по пути газовое реле. При незначительном выделении газа, он через трубу заполняет верхнюю часть газового реле, а излишек проходит в расширитель. Таким образом, в газовом реле скапливается газ, который

можно выпустить через кран или набрать в специальную емкость и направить на анализ. Внутри объема, где скапливается газ, находится поплавков, который при появлении газа опускается и замыкает контакты, действующие на сигнал (сигнальный элемент газового реле). При срабатывании сигнализации, необходимо отключить трансформатор, взять пробы газа; состав газа, затем анализируется. Для взятия пробы газа реле оснащено специальным краном, а для наблюдения за количеством газа имеется специальное окно с делениями. Простейшим способом анализа является проверка газа на горючесть и цвет. Горючие газы образуются в масле под действием электрической дуги и свидетельствуют о ее появлении внутри бака трансформатора. Окрашивание газа происходит при горении твердой изоляции внутри трансформатора. Химический анализ дает более точные сведения о характере повреждения. Следует иметь в виду, что в газовом реле может оказаться и воздух, который был растворен в масле и начал выделяться после его нагрева. Инструкциями запрещается отбор газа на трансформаторе, находящемся под напряжением, из соображений безопасности – незначительное вначале повреждение может перерасти в большое повреждение с разрывом бака и пожаром, вследствие чего пострадает персонал, отбирающий пробу газа. Второй элемент (поплавок) газового реле расположен внутри реле прямо на пути потока масла из трубы в расширитель, он может опуститься под давлением масла при его броске или при заполнении реле газом. Для четкой работы при броске масла в современных реле поплавков дополнительно соединяется со специальной заслонкой (см. рис. 8.20.).

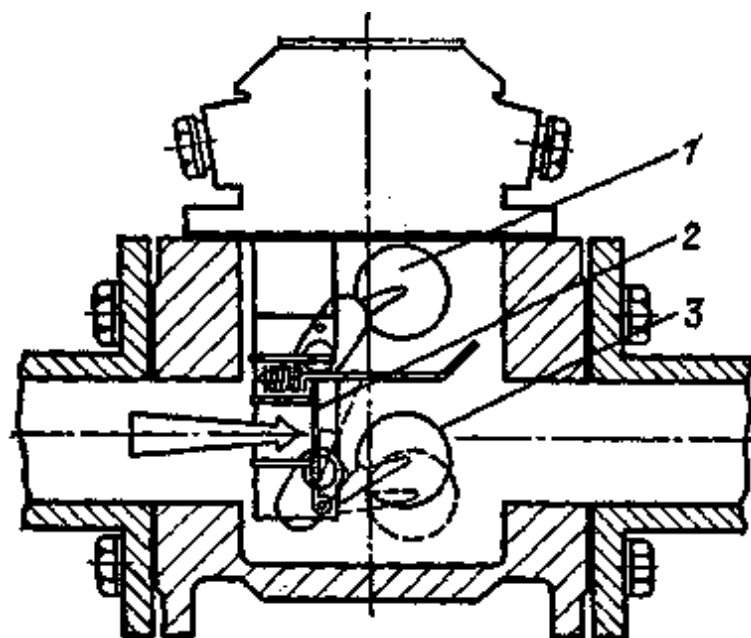


Рис. 8.20 Газовое реле типа BF-80

- 1 – верхний (сигнальный) поплавков;
- 2 – заслонка;
- 3 – нижний поплавков;
- стрелка – направление струи масла и газа.

Бросок масла или появление сразу большого объема газа происходит при серьезном повреждении внутри бака, поэтому этот элемент действует сразу на отключение. Отключающий элемент срабатывает также при отсутствии масла в газовом реле. Нормально это происходит при течи из бака, когда масло целиком ушло из расширителя и газового реле. Но существует и вторая возможность: между газовым реле и расширителем имеется кран, перекрывающий выход масла из расширителя.

Если этот кран оставить в закрытом состоянии, то при понижении температуры масла в трансформаторе уровень его понизится и масло уйдет из газового реле. Трансформатор отключится. Поэтому оперативный персонал обязан проверить положение крана перед включением трансформатора.

Новый трансформатор должен включаться с введенным на отключение сигнальным поплавком газовой защиты, который может сработать и при начинающемся повреждении трансформатора, до короткого замыкания в нем.

При включении нового трансформатора по мере его нагрева происходит выделение воздуха, растворенного в масле. Он заполняет газовое реле и его необходимо время от времени выпускать. Выводить действие отключающего элемента на отключение до прекращения выделения воздуха не разрешается. Для обеспечения свободного выхода газов при слабом газообразовании, трансформатор устанавливается так, чтобы крышка трансформатора и трубопровод имели подъем в сторону газового реле. Отключающий элемент газовой защиты имеет уставку срабатывания по скорости масла.

Величина уставки определяется по заводской инструкции и может корректироваться в зависимости от состояния трансформатора. Дело в том, что бросок масла происходит не только при повреждении внутри трансформатора, но и при внешних коротких замыканиях.

При КЗ динамическим воздействием тока обмотки трансформатора сжимаются и посылают толчком масло в расширитель. Сжатию препятствуют клинья которые раскрепляют обмотку. Однако со временем клинья усыхают и деформируются и витки обмотки получают возможность некоторого перемещения. При этом бросок масла становится сильнее и скорость масла увеличивается. В какой то степени срабатывания газовой защиты можно избежать путем загробления уставки по скорости масла, если срабатывание газовой защиты происходит при толчке масла. Но лучше выполнить капитальный ремонт трансформатора с укреплением обмоток.

Газовая защита переключателя РПН

Контакты переключателя РПН находятся в отделенном от бака трансформатора отсеке. Поскольку при переключении контактов дуга горит в масле, то масло постепенно разлагается с выделением газа и других компонентов. Это масло не смешивается с остальным маслом в баке и не ухудшает его качество. Бак РПН так же соединяется с расширителем (отдельный отсек) и в соединительной трубе устанавливается специальное реле, например, типа URF-25. Это реле называется струйным и работает только при броске масла. В реле только один отключающий элемент – заслонка вместо поплавка. Газ, выделяющийся при переключении контактов, свободно выходит в расширитель и не вызывает срабатывания реле. Срабатывание реле вызывает бросок масла, происходящий при перекрытии внутри отсека РПН. После срабатывания струйное реле остается в сработавшем положении и должно возвращаться в исходное положение нажатием кнопки на реле. Реле снабжено также кнопкой опробования, нажав на которую можно отключить трансформатор. Эта кнопка наиболее удобна для персонала производящего опробование отделителя и короткозамыкателя и бывают случаи, когда, после опробования, реле оставляли в сработавшем состоянии и, при включении трансформатора, он отключался обратно. Поэтому при вводе трансформатора необходимо проверить положение струйного реле РПН.

Примечание. Есть еще один элемент на трансформаторе, положение которого нужно проверить перед включением: отсечной клапан. Он стоит на мощных трансформаторах и при его срабатывании перекрывается выход масла из расширителя в трансформатор. На закрытие отсечного клапана действует защита от внутренних повреждений трансформатора. Его также нужно взвести перед включением, иначе будет нарушена связь между трансформатором и расширителем и впоследствии может произойти ложная работа газовой защиты.

8.5 ЗАЩИТА ОТ СВЕРХТОКОВ ПРИ ВНЕШНИХ КЗ (МАКСИМАЛЬНАЯ ЗАЩИТА)

Максимальная защита служит для отключения трансформатора при КЗ на сборных шинах или на отходящих от них присоединениях, если РЗ или выключатели этих элементов отказали в работе. Одновременно РЗ от внешних КЗ используется и для защиты от повреждения в трансформаторе. Однако по условиям селективности МТЗ должна иметь выдержку времени и, следовательно, не может быть быстродействующей. По этой причине в качестве основной

РЗ от повреждений в трансформаторах она используется лишь на маломощных трансформаторах. На трансформаторах, имеющих специальную РЗ от внутренних повреждений, РЗ от внешних КЗ служит резервом к этой защите на случай ее отказа.

Защита двухобмоточных понижающих трансформаторов. Схема МТЗ трансформатора с односторонним питанием приведена на рис. 8.21. Чтобы включить в зону действия защиты сам трансформатор, РЗ устанавливается со стороны источника питания и должна действовать на отключение выключателя $Q1$. Токовые реле МТЗ включаются на ТТ, установленные у выключателя $Q2$

На рис. 8.21, а приведена схема РЗ трансформатора, выполненная с двумя токовыми реле $KA1$ и $KA2$, которые, сработав, с выдержкой времени одновременно действуют на отключение выключателей $Q1$ и $Q2$. При этом в случае внешних КЗ на стороне низшего напряжения (НН) трансформатора отключение выключателя $Q2$ резервирует действие выключателя $Q1$. Часто РЗ выполняют с двумя выдержками времени; с первой t_1 на отключение выключателя $Q1$ со стороны НН, а со второй $t_2 = t_1 + \Delta t$ на отключение $Q2$ со стороны ВН. ТТ, установленные у выключателя $Q2$.

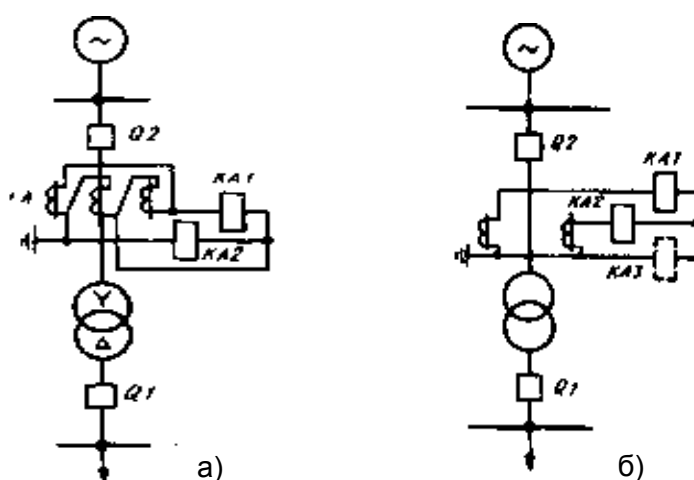


Рис. 8.21 Максимальная токовая защита двухобмоточного понижающего трансформатора:

а – схема токовых цепей с тремя ТТ б – схема токовых цепей с двумя ТТ

В случае неотключенного внешнего КЗ на стороне НН МТЗ с выдержкой времени t_1 отключит выключатель $Q1$, трансформатор при этом останется под напряжением со стороны ВН. В случае же повреждения в трансформаторе и отказе его основных быстродействующих РЗ, МТЗ с выдержкой времени отключит выключатель $Q2$.

Токовые реле $KA1$ и $KA2$ в схеме МТЗ трансформаторов с ВН 110-220 кВ подключены к ТТ, соединенным в треугольник (рис. 8.17, а). Такое выполнение токовых цепей МТЗ предотвращает возможное неселективное ее действие при КЗ на землю: в сети 110-220 кВ (в случае, когда нейтраль трансформатора заземлена). Защита может действовать при всех видах междуфазных КЗ на сторонах как ВН, так и НН трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Δ . При этом, однако по сравнению с МТЗ, содержащей три токовых реле, подключенных к ТТ, соединенным в полную звезду, имеет место снижение чувствительности на 15% при двухфазном КЗ на стороне НН 6-10 кВ. При двухфазном КЗ за трансформатором со схемой Y/Δ токи в фазах на стороне ВН равны $\frac{1}{2}I^{(3)}$, $\frac{1}{2}I^{(3)}$, $I^{(3)}$ см. п. 4. Такие же токи будут в реле. Если трансформаторы тока на стороне ВН собрать в треугольник, то ток в реле равен по величине току двухфазного КЗ и соотношение между ними будет равно $1 / 0,876$.

Для трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Y или Δ/Δ и не связанных с сетью с заземленной нейтралью, МТЗ выполняется двумя токовыми реле $KA1$ и $KA2$, ТТ при этом

соединяются в неполную звезду (см. рис. 8.21, б). Подобная схема МТЗ может применяться и на трансформаторах со схемой соединения обмоток Y/Δ . При этом для повышения чувствительности МТЗ к двухфазным КЗ за трансформатором с такой схемой соединения, устанавливается дополнительное реле в обратном проводе токовых цепей КАЗ (показано пунктиром на рис. 8.21, б). Аналогичная схема применяется и на трансформаторах со схемой соединения обмоток треугольник-звезда с заземленной нулевой точкой (обычно питающих сеть 0,4 кВ).

Для выполнения защиты с 2 токовыми органами, можно применить комплектное устройство УЗА-10 или УЗА-АТ-Т. Если требуется использование трех измерительных органов, то можно использовать реле АЗА-10А.2-3.

Выбор уставок МТЗ

Ток срабатывания МТЗ находится из условия возврата токовых реле при максимальной нагрузке.

$$I_{CЗ} = k_n \cdot k_{с.з.} \cdot I_{раб.маx} / k_\epsilon \quad (8.17)$$

где

k_n — коэффициент надежности — 1,2 для УЗА-10 и других микропроцессорных защит и 1,3—для УЗА-АТ;

$k_{с.з.}$ — коэффициент самозапуска, можно принять равным 2,5 для городских сетей общего назначения и 2 для сельских сетей.

Примечание. Указанный коэффициент нельзя применять для трансформатора, питающего сосредоточенную двигательную нагрузку. Для такого трансформатора необходимо стандартными методами определить общий пусковой ток и подставить в формулу взамен $k_{с.з.} \cdot I_{раб.маx}$;

$I_{раб.маx}$ — максимальный рабочий ток трансформатора;

k_ϵ — коэффициент возврата защиты: он составляет 0,85 для устройства УЗА-АТ и 0,92 для УЗА-10. Для микропроцессорных защит фирмы ALSTOM он равняется 0,95.

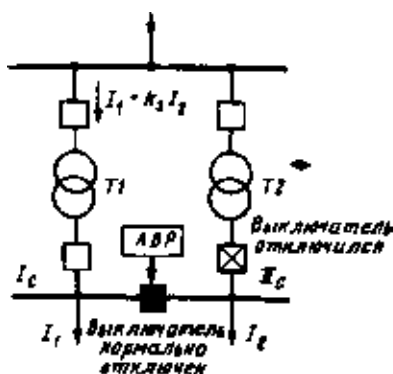


Рис. 8.22 При отключении трансформатора $T2$ и включении от АВР секционного выключателя возникает перегрузка трансформатора $T1$

Максимальный ток нагрузки с учетом самозапуска, от которого необходимо отстроить МТЗ, обычно определяется из рассмотрения трех видов нарушения: отключение параллельно работающего трансформатора, включение трансформатора от АПВ на неотключенную нагрузку, автоматическое подключение нагрузки при действии АВР в случае исчезновения напряже-

ния на соседней секции (рис. 8.22). В двух первых случаях $I_{с.з.}$ определяется по (8.17). В третьем случае $I_{с.з.}$ определяется по выражению:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot (I_{I\text{ раб.мах}} + k_{с.з.} \cdot I_{II\text{ раб.мах}}) / k_e \quad (8.18)$$

где

$I_{I\text{ раб.мах}}$, $I_{II\text{ раб.мах}}$ – максимальные значения токов нагрузки секций: I – от которой при действии АВР подается напряжение и II – на которую подается напряжение.

Коэффициент чувствительности при КЗ в конце защищаемого участка определяется по формуле:

$$k_q = I_{к\min} / I_{с.з.} \quad (8.19)$$

где

$I_{к\min}$ – минимальное значение тока при КЗ на стороне НН трансформатора; вид КЗ определяется в соответствии с табл. 8.2.

Значение k_q должно быть не менее 1,5 при выполнении МТЗ функций основной защиты шин и не менее 1,2 при выполнении функций резервирования. Если чувствительность МТЗ оказывается неудовлетворительной, то применяются другие, более чувствительные РЗ: ДЗ, МТЗ НП и ОП.

Выдержка времени выбирается из условий селективности на ступень выше наибольшей выдержки времени t_n РЗ присоединений, питающихся от трансформатора:

$$t_I = t_n + \Delta t \quad (8.20)$$

Выдержка времени МТЗ с ограниченно зависимой характеристикой выбирается из условия (8.20) в предположении, что ток в реле равен току КЗ, проходящему через трансформатор в случае повреждения в начале ЛЭП, питаемой трансформатором. Защиту с ограниченно зависимой характеристикой следует применять в тех случаях, когда посредством ее удастся ускорить отключение повреждения в трансформаторе или на шинах.

Таблица 8.2

Схема соединения		Вид КЗ для расчета чувствительности
обмоток трансформатора	ТТ, к которым подключена МТЗ	
Y/Δ	треугольник	Двухфазное
Y/Y	Неполная звезда	То же
Δ/Δ	То же	То же
Y/Δ	Неполная звезда с дополнительным реле в обратном проводе	Трехфазное
Y/Δ	Полная звезда	Трехфазное

Максимальная токовая защита с пуском по напряжению

В ряде случаев не удастся выполнить достаточно чувствительную защиту только по току, особенно на подстанциях, питающих двигательную нагрузку. Для повышения чувствительности можно применить защиту с блокировкой по напряжению.

Первичный ток срабатывания МТЗ с пуском по напряжению определяется по условию отстройки от номинального тока $I_{ном}$ трансформатора:

$$I_{c.з.} = k_{отс} \cdot I_{ном} / k_{\epsilon} \quad (8.21)$$

Уставка срабатывания реле минимального напряжения выбирается исходя из следующих условий:

- возврата после отключения внешнего КЗ

$$U_{cp} \leq U_{\min} / k_{отс} k_{\epsilon} k_U \quad (8.22)$$

- отстройки от остаточного напряжения самозапуска после действия АПВ или АВР

$$U_{cp} \leq U_{c.з.} / k_{отс} k_U \quad (8.23)$$

где

U_{\min} – междуфазное напряжение в месте установки МТЗ в условиях самозапуска после отключения внешнего КЗ, может быть принято равным $(0,9 \div 0,85)U_{ном}$;

U_{cp} – междуфазное напряжение в месте установки МТЗ в условиях самозапуска после действия АПВ или АВР заторможенных электродвигателей, может быть принято равным $0,7U_{ном}$;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, равный 1,2;

k_{ϵ} – коэффициент возврата, равный 1,1 для реле УЗА-АН.

Чувствительность определяется для токового реле по выражению (8.18); для реле минимального напряжения по формуле

$$k_{\eta} = U_{c.з.} k_{\epsilon} / U_{\max}^{(3)} \quad (8.24)$$

где

$U_{\max}^{(3)}$ – первичное значение междуфазного напряжения в месте установки МТЗ при металллическом трехфазном КЗ между фазами в расчетной точке в режиме, обуславливающим максимальное значение этого напряжения.

В соответствии с ПУЭ для реле тока и напряжения необходимо обеспечить следующие коэффициенты чувствительности: 1,5 – при выполнении МТЗ функций основной РЗ шин; 1,2 – при выполнении МТЗ функций резервирования.

Для выполнения защиты двухобмоточного трансформатора вполне достаточно установки на обеих сторонах двухэлементной токовой защиты. При этом для защиты трансформатора со схемой соединения Y/Δ , реле на стороне ВН должны быть включены на три ТТ собранные по схеме треугольника. Для такой защиты можно применить реле УЗА-АТ или УЗА-10. Отсечка стороны НН используется в качестве логической защиты шин (см. п. 6). Максимальная защита используется в качестве максимальной защиты ввода, а дополнительный токовый орган блокирует логическую дифзащиту трансформатора стороны ВН. На стороне ВН максимальная защита выполняет свои функции, а токовая отсечка – логическую дифзащиту трансформатора.

Расстановка защит на трехобмоточных трансформаторах

На двухобмоточных трансформаторах с расщепленными обмотками НН (обычно 6-10 кВ) по условию селективности (при КЗ на шинах или ВЛ НН) в цепи каждой обмотки, питающей соответствующую секцию шин, необходимо устанавливать МТЗ (рис. 8.23) с двумя токовыми реле, подключенными к ТТ, соединенным по схеме неполной звезды.

Защиты стороны НН, расположенные в шкафах КРУ выключателей вводов 6-10 кВ, с первой выдержкой времени действуют на отключение своих выключателей ($Q1$ и $Q2$), а со второй (на ступень селективности большей) – на отключение выключателя ВН ($Q3$).

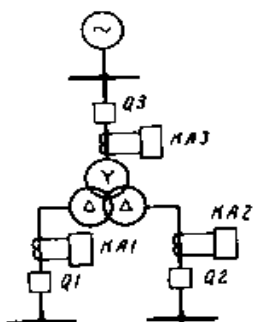


Рис. 8.23 Размещение максимальных токовых защит (КА) на сторонах ВН и НН двухобмоточного понижающего трансформатора с расщепленными обмотками

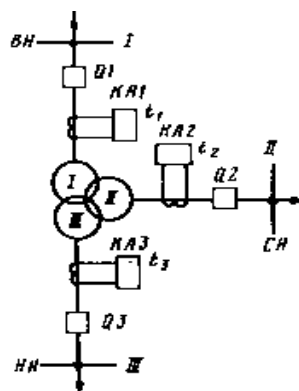


Рис. 8.24 Размещение максимальных токовых защит (КА) на сторонах ВН и НН трехобмоточных понижающих трансформаторов с односторонним питанием

МТЗ на стороне ВН действует на выходные промежуточные реле РЗ трансформатора с выдержкой времени, равной второй выдержке времени МТЗ ответвлений к секциям 1 шин 6-10 кВ. Таким образом, МТЗ стороны ВН осуществляет резервирование основных РЗ трансформатора и МТЗ стороны НН.

Предусматривается автоматическое ускорение МТЗ, установленных на ответвлениях к шинам НН, при включении соответствующего выключателя 6-10 кВ, благодаря чему ускоряется его отключение в случае подачи напряжения на поврежденные шины. Ускорение выполняется с выдержкой времени 0,3-0,5 с для отстройки от броска пускового тока.

Защита трехобмоточных понижающих трансформаторов при внешних КЗ трехобмоточных трансформаторов должна обеспечивать селективное отключение только той обмотки трансформатора, которая непосредственно питает место повреждения. Так, например, при КЗ на шинах III (рис. 8.24) должен отключаться выключатель $Q3$, обмотки трансформатора I и II должны остаться в работе.

На трехобмоточных трансформаторах с односторонним питанием (например, от шин I) на обмотках II и III устанавливаются самостоятельные комплекты МТЗ ($КА2$ и $КА3$ на рис. 8.20), действующие на соответствующие выключатели. На обмотке I, питающей трансформатор, устанавливается третий комплект МТЗ $КА1$, предназначенный для отключения трансформатора при КЗ в нем и резервирования МТЗ и выключателей обмоток II и III. Выдержка времени t_1 выбирается больше t_2 и t_3 . Токовые РЗ на сторонах НН и СН выполняются в двухрелейном исполнении и подключаются к ТТ, соединенным по схеме неполной звезды. Для увеличения защищаемой зоны $КА2$ питается от ТТ, встроенных во втулки 35 кВ СН трансформатора.

Для выполнения защиты на трансформаторе с расщепленной обмоткой стороны НН вполне достаточно установки на стороне ВН и обеих сторонах НН двухэлементной токовой защиты. При этом для защиты трансформатора со схемой соединения Y/Δ , реле на стороне ВН должны быть включены на три ТТ собранные по схеме треугольника. Для такой защиты можно применить реле УЗА-АТ или УЗА-10. Отсечка сторон НН используется в качестве логической защиты шин (см. п. 6). Максимальная защита используется в качестве максимальной защиты ввода, а дополнительный токовый орган обеих комплектов блокирует логическую дифзащиту трансформатора стороны ВН. На стороне ВН максимальная защита выполняет свои функции, а токовая отсечка – логическую дифзащиту трансформатора.

Для трехобмоточного трансформатора необходимо применить со стороны ВН трехфазную защиту, включенную на трансформаторы тока собранные в звезду или треугольник. Обычно предпочтительна схема звезды, так как эта схема более чувствительна к КЗ на стороне НН трансформатора собранной по схеме треугольника, обычно сопротивление трансформатора в сторону НН больше, чем на сторону СН и токи КЗ на стороне НН меньше. На стороне НН и СН достаточно двухэлементной защиты. На стороне ВН целесообразно установить защиту MiCOM P121-124, а на сторонах НН и СН можно применить вышеупомянутые защиты УЗА-АТ или УЗА-10. Использование защит такое же, как и для трансформатора с расщепленной обмоткой. Вполне очевидно, что защиты серии MiCOM P121-124 можно применить на всех трех сторонах трансформатора. Оставшиеся в этих устройствах ступени защиты можно использовать для сигнализации перегрузки, блокировки РПН, пуска автоматики охлаждения. Если требуется блокировка по напряжению, то необходимо использовать устройство УЗА-АН, которое заодно будет выполнять функцию ЗМН в схеме АВР.

8.6 ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

Токковая отсечка - простая быстродействующая РЗ от повреждений в трансформаторе. Зона действия отсечки ограничена, она не действует при витковых замыканиях и замыканиях на землю в обмотке, работающей на сеть с малым током замыкания на землю. Отсечка устанавливается с питающей стороны трансформатора и выполняется без выдержки времени.

На трансформаторах в сети с глухозаземленной нейтралью отсечка устанавливается на трех фазах, а в сети с изолированной нейтралью на двух. Ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального тока КЗ при повреждении за трансформатором.

$$I_{CЗ} = k_{омс} I_{кmax} \quad (8.25)$$

где

$k_{омс} = 1,25 \div 1,5$ – (последнее для реле типа РТ-90 и РТ-80). Кроме того, токовая отсечка должна отстраиваться от броска намагничивающего тока однако уставка выбранная по первому условию, как правило, больше.

В зону действия отсечки входят ошиновка, выводы и часть обмотки трансформатора со стороны питания. Отсечка, являющаяся РЗ от внутренних повреждений, должна отключать трансформатор со всех сторон, имеющих источники питания. Достоинством отсечки являются ее простота и быстродействие. Отсечка в сочетании с МТЗ и газовой защитой (рассматриваемой ниже) обеспечивает хорошую защиту для трансформаторов малой мощности. Таким образом, трансформатор напряжением 35 кВ и мощностью до 4 МВт вполне можно защитить одним устройством УЗА-АТ, УЗА-10 установив его на стороне ВН трансформатора и включив на трансформаторы тока, соединенные в треугольник.

8.7 ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Трансформаторы допускают перегрузку в течение значительного времени. Поэтому при наличии оперативного персонала защита от перегрузки трансформатора действует на сигнал. При его отсутствии на объекте контроль за перегрузкой трансформатора может осуществляться средствами телемеханики. Защита от перегрузки на объектах без постоянного дежурного персонала может действовать на разгрузку или отключение (при невозможности ликвидации перегрузки другими средствами). Защита от перегрузки согласно ПУЭ устанавливается на трансформаторах мощностью 0,4 МВт и более. Защита от перегрузки при симметричной нагрузке может осуществляться реле, установленным в одной фазе.

Для обеспечения защиты от перегрузки всех обмоток трансформатора следует руководствоваться таким размещением устройств сигнализации перегрузки.

- На двухобмоточных трансформаторах – с одной любой стороны.

- На трехобмоточных трансформаторах с обмотками одинаковой мощности – со стороны питания (обычно ВН). На трансформаторах с возможным питанием с 2 сторон – со всех трех сторон.
- На трансформаторах, имеющих обмотки разной мощности, со всех трех сторон.

Таким образом, для того, чтобы охватить все возможные режимы и параметры трансформатора, целесообразно установить сигнализацию перегрузки на всех трех сторонах трехобмоточного трансформатора.

Ток срабатывания защиты от перегрузки с действием на сигнал определяется по условию возврата защиты при номинальном токе нагрузки трансформатора.

$$I_{с.з.л} = k_{отс} \cdot I_{ном} / k_{\epsilon}$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,05;

$I_{ном}$ – номинальный ток стороны трансформатора, где установлена защита, с учетом регулирования на данной стороне, принимается равным номинальному току от ветвления с наибольшим током;

k_{ϵ} – коэффициент возврата устройства.

Для реле УЗА-АТ имеющего измерительный орган перегрузки в одной фазе, коэффициент возврата принимается равным 0,85, для микропроцессорных защит ALSTOM может быть принят равным 0,95.

Время срабатывания защиты от перегрузки во избежание ложных сигналов должно превышать время работы защиты и восстановления нормального режима действием автоматики, снижения пускового тока нагрузки до номинального. Общепринятая в ряде энергопредприятий выдержка времени: 9 с. Она ставится одинаковой на всех устройствах сигнализации, не имеющих специальных требований к выдержке времени.

В состав специализированных устройств защиты трансформаторов, а также вводов входят защиты от перегрузки, имеющие тепловую характеристику, включающую постоянные времени нагрева и охлаждения трансформатора. Таким образом, можно выполнить защиту от перегрузки, учитывающую предварительный нагрев трансформатора и максимально использующую его перегрузочную способность.

Формула, по которой производится расчет перегрузки, для реле разного типа отличается. Для устройства R3IPT фирмы ALSTOM защита от перегрузки рассчитывается, исходя из наибольшего значения фазного тока среди трех измеренных величин: $I = \max(I_A, I_B, I_C)$.

Защита от перегрузки характеризуется кроме константы нагрева T , также (равной ей по значению) константой охлаждения T_2 .

Действующие характеристики защиты от перегрузки определяются по формуле:

$$t = T \times 60 \times \log \frac{(I / I_b)^2}{(I / I_b)^2 - (DT / DT_n)}$$

где

T – установленная для реле термоконстанта нагрева, выраженная в минутах;

I_b – базисный ток реле, определенный как симметричный и сбалансированный фазный ток в устойчивом состоянии, принимается равным номинальному;

DT – нагрев трансформатора в предшествующем режиме, принимаем = 1;

DTn – нагрев при длительно допустимый токе нагрузки. можно принять 1.1 номинального;

log – натуральный логарифм.

Защита от перегрузки характеризуется двумя степенями перегрузки ***DT>*** и ***DT>>***, указываемыми в % от номинального ***DTn***.

Первая степень ***DT>*** должна быть использована для сигнализации или для разгрузки, вторая степень ***DT>>*** действует на отключение выключателя.

Сброс степеней ***DT>*** и ***DT>>*** происходит при снижении нагрева трансформатора, однако можно мгновенно сбросить защиту от перегрузки, используя, предназначенный для этой цели, дискретный вход. Таким образом, трансформатор может продолжать работу в опасном режиме или при отсутствии блокирующего сигнала отключаться от защиты.

Такая защита не требуется нормами ПУЭ, однако может использоваться в особых случаях и действовать на разгрузку трансформатора или его отключение.

8.8 СПЕЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОТ ОДНОФАЗНЫХ КЗ НА СТОРОНЕ НН (0,4 кВ)

Специальная токовая защита нулевой последовательности от однофазных КЗ на землю устанавливается на трансформаторах с соединением обмотки НН в звезду с заземленной нейтралью. Измерительным органом защиты является одно максимальное реле тока T_0 , включенное через трансформатор тока в заземленную нейтраль. В нормальном режиме работы трансформатора с симметричной нагрузкой в заземленной нейтрали проходит только ток небаланса, меньший, чем рабочие токи в фазах. От этого тока рассматриваемая защита должна быть надежно отстроена. При КЗ на землю на шинах или в сети НН через заземленную нейтраль проходит ток однофазного КЗ ($I_K^{(1)} = 3I_0$), вызывающий срабатывание этой защиты. По сравнению с максимальной токовой защитой эта защита всегда имеет более высокую чувствительность к однофазным КЗ, поскольку их не нужно отстраивать от сверхтоков при самозапусках и перегрузках, которые являются симметричными режимами и не сопровождаются появлением токов обратной и нулевой последовательностей.

Специальная защита нулевой последовательности устанавливается в соответствии с ПУЭ в тех случаях, когда максимальная токовая защита на стороне ВН недостаточно чувствительна к однофазным КЗ на землю за трансформатором. Практически это имеет место на трансформаторах со схемой соединения обмоток Y/Y_0 , у которых $I_K^{(1)} \ll I_K^{(3)}$. На трансформаторах со схемой соединения обмоток Δ/Y_0 , для которых $I_K^{(1)} = I_K^{(3)}$ максимальная токовая защита на стороне ВН, как правило, имеет достаточную чувствительность к однофазным КЗ на выводах НН. Однако и на этих трансформаторах целесообразно устанавливать специальную токовую защиту нулевой последовательности в качестве резервной к максимальной токовой защите трансформатора (ближнее резервирование) и к защитным аппаратам элементов сети НН (дальнее резервирование). Такое решение применяется, например, Теплоэлектропроектом для трансформаторов собственных нужд 6/0,4 кВ. При применении реле УЗА-АТ или УЗА-10 для этой цели можно использовать свободный элемент $3I_0$, который можно подключить к нейтрали 0,4 кВ трансформатора. Если этот элемент занят для защиты от замыканий на землю стороны ВН трансформатора, можно применить для этой цели реле РС-40М содержащий токовое реле и элемент выдержки времени.

Расчет уставок состоит из выбора тока срабатывания защиты $I_{сз}$, тока срабатывания реле $I_{ср}$ и времени срабатывания защиты $t_{сз}$.

Ток срабатывания защиты выбирается по следующим условиям, обеспечивающим:

- несрабатывание (отстройку) от токов, которые могут проходить по заземленной нейтрали обмотки *НН* трансформатора при несимметрии нагрузки в нормальном режиме;
- согласование по току и по времени с защитами элементов, отходящих от сборки *НН*;
- необходимые значения коэффициента чувствительности при однофазном КЗ в основной зоне действия (на сборке *НН*) и в зоне резервирования (на элементах сети *НН* при отказе их собственной защиты).

Максимально допустимый в нормальном режиме ток в заземленной нейтрали обмотки *НН* для трансформаторов Y/Y_0 равен $0,25 I_{ном. тр.}$, для трансформаторов Δ/Y_0 – $0,75 I_{ном. тр.}$. Для обеспечения несрабатывания защиты при появлении таких токов в нейтрали ток срабатывания должен быть примерно в 1,5—2 раза выше.

$$I_{с.з.} = 1,5 \cdot 3 I_{0доп}$$

Согласование рассматриваемой защиты трансформатора с защитами элементов, отходящих от сборки на стороне *НН*, по ПУЭ не считается обязательным. Это объясняется тем, что выполнение условия согласования с защитными характеристиками автоматов и предохранителей относительно мощных элементов 0,4 кВ приводит к загромождению защиты трансформатора. Однако отсутствие согласования по чувствительности между последующей защитой трансформатора и предыдущими защитами отходящих элементов достаточно часто вызывает неселективное отключение питающего трансформатора при таких КЗ, когда защита предыдущего элемента оказывается недостаточно чувствительной. Наилучшие условия для согласования обеспечиваются в тех случаях, когда на относительно мощных элементах 0,4 кВ устанавливается дополнительная токовая защита нулевой последовательности без выдержки времени, действующая на отключение автомата. Такая защита предусматривается, например, Теплоэлектропроектом для электродвигателей 0,4 кВ начиная с мощности примерно 100 кВт. При токе срабатывания, выбранном только по первому условию, рассматриваемая защита всегда имеет достаточный коэффициент чувствительности при однофазных КЗ на сборке *НН* и, как правило, в зоне резервирования, если, разумеется, первичная схема сети *НН* создана с учетом требований дальнего резервирования.

Время срабатывания защиты нулевой последовательности от КЗ на землю выбирается по возможности минимальным. Если на элементах сети 0,4 кВ имеется дополнительная защита нулевой последовательности без выдержки времени то защиты нулевой последовательности на вводах 0,4 кВ трансформатора могут иметь $t_{сз} = 0,4$ сек, а в нейтрали – на ступень селективности выше, т. е. 0,8 с.

8.9 РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Практика эксплуатации защит трансформатора показывает, что эти защиты при теперешнем их построении могут отказать независимо от того, выполнена ли эти защиты на постоянном или переменном оперативном токе. Может быть потерян источник оперативного тока - если это аккумуляторная батарея, то она единственная, а защиты на переменном токе сходятся на один комплект соленоидов отключения и эти цепи также могут повредиться. Может отказать выключатель или короткозамыкатель. Как правило, защиты питающих линий не резервируют коротких замыканий за трансформатором, и повреждение на шинах *НН* отключится только после того, как короткое замыкание перейдет на сторону *ВН* после повреждения питающих трансформаторов. Хотя такие случаи и не слишком частые, однако тяжесть последствий заставляет релейщиков различных предприятий искать способы выполнения автономной защиты, не зависящей от состояния оперативного тока и аппаратов на подстанции. Одно из таких устройств, РЗТ, выпускается фирмой «Энергомашвин» и уже нашло применение на ряде энергетических предприятий.

Оно основано на ряде соображений, получивших подтверждение при эксплуатации.

- Источником оперативного тока может быть только трансформатор тока, по возможности не имеющий длинных цепей, которые могут быть повреждены электрической дугой. Для этого устройство должно располагаться вблизи трансформатора и связываться с трансформатором тока и отключаемым аппаратом короткими кабелями.

- Оно должно действовать на другой аппарат. В качестве его при схеме короткозамыкатель–отделитель взят отделитель. Безусловно, отделитель, при его отключении под током короткого замыкания, будет поврежден возникающей дугой, но зато его отключение вызовет короткое замыкание на стороне ВН, которое почувствует защита отключающей линии и отключит КЗ. Практика показала, что возникающие при этом повреждения таковы, что отделитель может быть отремонтирован.
- Зачастую, аппарат, не отключившийся при первой подаче напряжения на его соленоид отключения, может отключиться при повторной или даже третьей подаче напряжения на него.

Учитывая все эти соображения, и разработана конструкция реле РЗТ.

- Оно выполнено для наружной установки и располагается непосредственно на ОРУ.
- Оно подключается к трансформатору тока, короткозамыкателю и отделителю короткими кабелями.
- Оно имеет источником оперативного тока заряд на конденсаторе, создающийся протекающим током. Потребление тока для заряда конденсаторов невелико и эти трансформаторы тока можно одновременно использовать для питания других защит, хотя для надежности лучше использовать отдельный комплект трансформаторов тока.
- Оно действует одновременно на включение отделителя и короткозамыкателя поочередно.
- Для отключения выключателя с соленоидным приводом, имеющего один соленоид отключения имеется диодная развязка, позволяющая подключить РЗТ совместно с другими защитами на один соленоид отключения.
- Если в результате первого срабатывания аппарат не отключится, то после повторного заряда конденсатора устройство опять подействует, и так будет продолжаться до тех пор, пока не исчезнет ток КЗ и защита не вернется.
- РЗТ для резервирования отказа выключателя, при 2 выключателях на линиях, питающих секцию, может действовать на эти 2 выключателя, резервируя, таким образом, отказ выключателя на трансформаторе. Имеются варианты для действия на три выключателя.
- Изменение уставок устройства, учитывая ее наружную установку, производится не переключением перемычек, а пайкой; при заводской поставке все перемычки запаяны и выполнение нужной уставки в первый раз производится выкусыванием перемычек.

Выбор уставок устройства

Ток срабатывания РЗТ согласовывается с током срабатывания максимальной защиты трансформатора.

$$I_{срРЗТ} = 1,1 \cdot I_{срМТЗ}$$

Проверка достаточности тока для заряда конденсаторов не производится, так как его хватает при любой уставке по току РЗТ.

Выдержка времени на включение короткозамыкателя, принимается на ступень большей МТЗ стороны ВН, для учета возможной погрешности РЗТ.

$$t_{срРЗТ} = t_{срМТЗ} + \Delta t$$

где $\Delta t = 0,5$ с – ступень селективности.

Выдержка времени на отключение отделителя выбирается таким образом, чтобы обеспечить отключение питающей линии, если сработает ее защита, до отключения под током отделителя.

1 условие: должен успеть включиться короткозамыкатель действием штатной МТЗ трансформатора и отключиться питающая линия действием ее защиты до того, как отключится от- делитель.

$$t_{ср РЗТ} = t_{ср МТЗ} + t_{вкл КЗ} + t_{ср РЗ} + \Delta t$$

где

- $t_{вкл КЗ}$ — время включения короткозамыкателя можно принять равной 0.3 сек;
- $t_{ср РЗ}$ — время срабатывания защиты питающей линии, чувствующей ток включения короткозамыкателя;
- $\Delta t = 0,5$ с — время запаса.

2 условие: Если короткозамыкатель не включился, то вторая ступень должна переждать ра- боту наиболее чувствительной защиты питающей линии, чтобы обеспечить отключение пи- тающей линии до отключения отделителя.

$$t_{ср РЗТ} = t_{ср чув РЗ} + \Delta t$$

где

- $t_{ср чув РЗ}$ — уставка защиты питающей линии с наибольшей выдержкой времени;
- $\Delta t = 0,5$ с — время запаса.

Выбирается уставка по времени большей величины.

Для схемы подстанции с подключением трансформатора через 1 выключатель—отпайка — за- щита РЗТ действует на отключение того же выключателя что и основная защита трансфор- матора:

$$t_{ср РЗТ} = t_{ср МТЗ} + \Delta t$$

Для схемы подстанции с подключением трансформатора через 2 выключателя — схема мос- тика — защита РЗТ действует на отключение этих 2 выключателей, как и основная защита трансформатора с дополнительной выдержкой времени.

Для схемы подстанции с подключением трансформатора к секции с 2-мя питающими линиями с выключателями, защита РЗТ действует на отключение этих 2 выключателей, даже если трансформатор имеет собственный выключатель.

8.9. ПРИМЕРЫ РАССТАНОВКИ ЗАЩИТ НА ТРАНСФОРМАТОРАХ

8.9.1 Трансформатор 10-6/0.4 кВ с выключателем на стороне ВН

Трансформаторы используются для собственных нужд подстанций, для подключения в ней- траль ВН дугогасящих катушек или резисторов. Для трансформатора необходимы следующие защиты:

- токовая отсечка без выдержки времени, отстраивается по току от КЗ на стороне НН.
- максимальная защита согласованная с защитой на автоматах 0,4 кВ. Вид характери- стики МЗ (зависимая или независимая) определяется, по удобству согласования с ав- томатом НН.
- Трансформаторы тока собраны в неполную звезду.
- Учитывая, что ток однофазного КЗ за трансформатором с группой соединений **Y/Yo** примерно в 3 раза меньше трехфазного, целесообразно для защиты трансформатора выполнить дополнительную защиту от замыканий на землю на стороне НН, использо- вав имеющийся в УЗА дополнительный вход 3Io, подключив его к трансформатору то- ка установленному в нейтрали 0.4кВ. Газовая защита, при ее наличии, должна под-

ключаться к устройству УЗА-10 через дискретный вход или напрямую. Если трансформатор имеет схему Δ/Y_0 , то токи однофазного КЗ будут примерно равны трехфазному, зато при двухфазном КЗ, вследствие того, что защита установлена в 2 фазах, возможно, что в обе фазы попадет только половина тока КЗ, поэтому ток расчетный ток КЗ нужно уменьшить в 2 раза. Если чувствительности защиты в этом случае будет недостаточно, следует включить дополнительно в обратный провод реле РС-40М1, с уставками теми же, что и МТЗ. Подключение дополнительного входа по $3I_0$ и в этом случае целесообразно, так как повышает чувствительность защиты при однофазных КЗ.

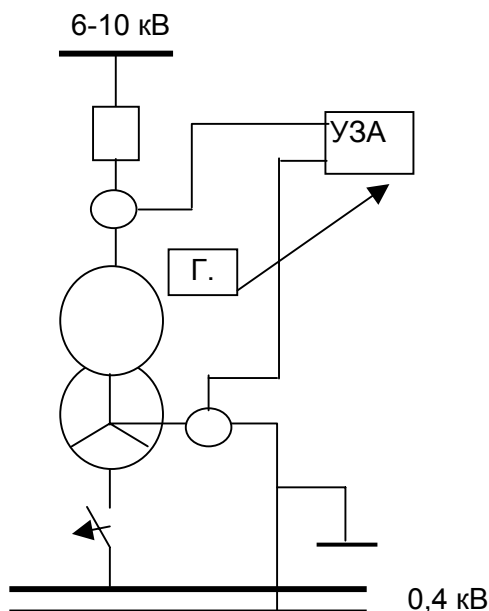


Рис. 8.25 Расстановка защиты на трансформаторе 6-10/0.4 кВ

- Учитывая, что защита питающих линий (трансформаторов), как правило, не резервирует указанные трансформаторы, рекомендуется применение УРОВ, которое должно организовываться на внешних реле и действовать на отключение питающего ввода и секционного выключателя.
- Для сигнализации перегрузки целесообразно использовать защиту от перегрузки, имеющуюся в некоторых модификациях устройства УЗА-АТ.

8.9.2 Защита на трансформаторе 35,6-10 кВ мощностью менее 6 300 кВА 35 кВ

Защита трансформатора выполнена на 2 реле УЗА-АТ или УЗА 10. Газовая защита действует на отключение непосредственно. Трансформаторы тока стороны ВН собраны в треугольник, на стороне НН в неполную звезду.

Устройство УЗА-АН используется для схемы АВР шин 10 кВ и может быть использовано для блокировки по напряжению максимальных защит трансформатора.

Токовые отсечки используются в качестве логических защит (ввод НН – защита шин, ввод НН-дифзащита трансформатора). Имеющиеся в составе устройств входы защиты нулевой последовательности, включены в обратные провода токовых цепей и используются в качестве защиты от перегрузки и автоматики охлаждения трансформатора.

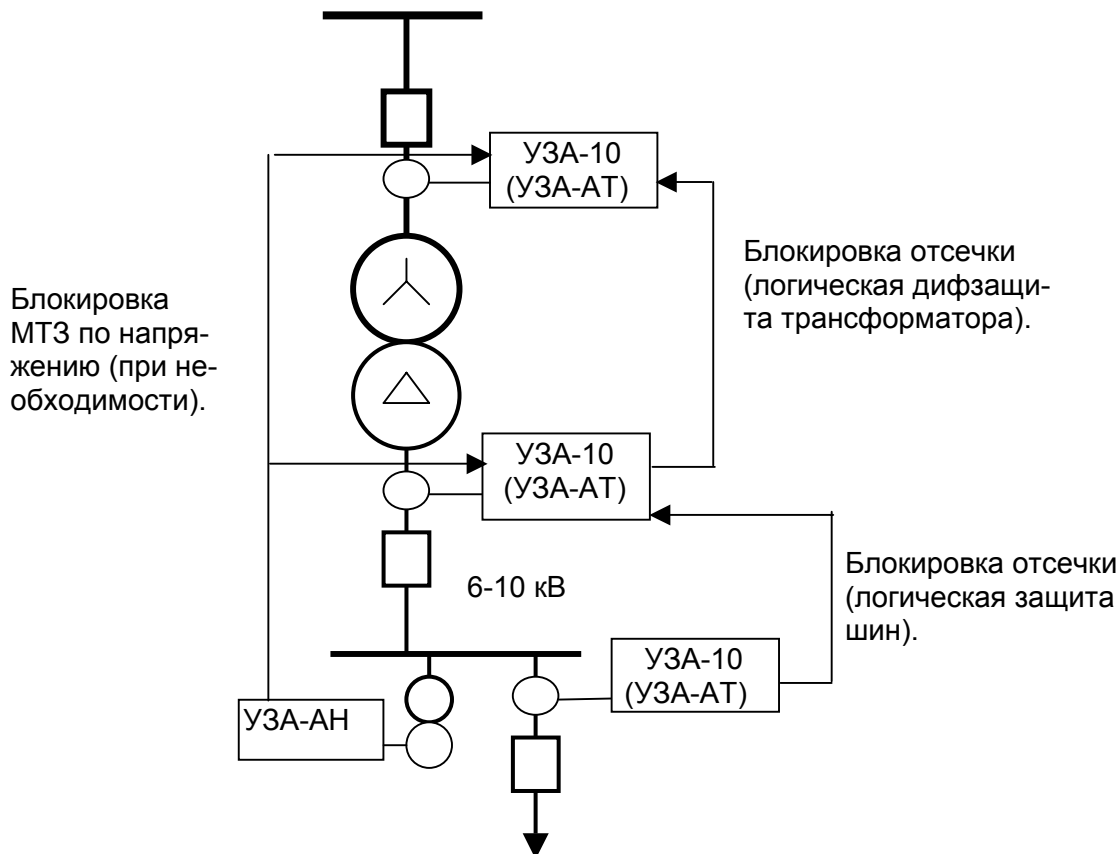
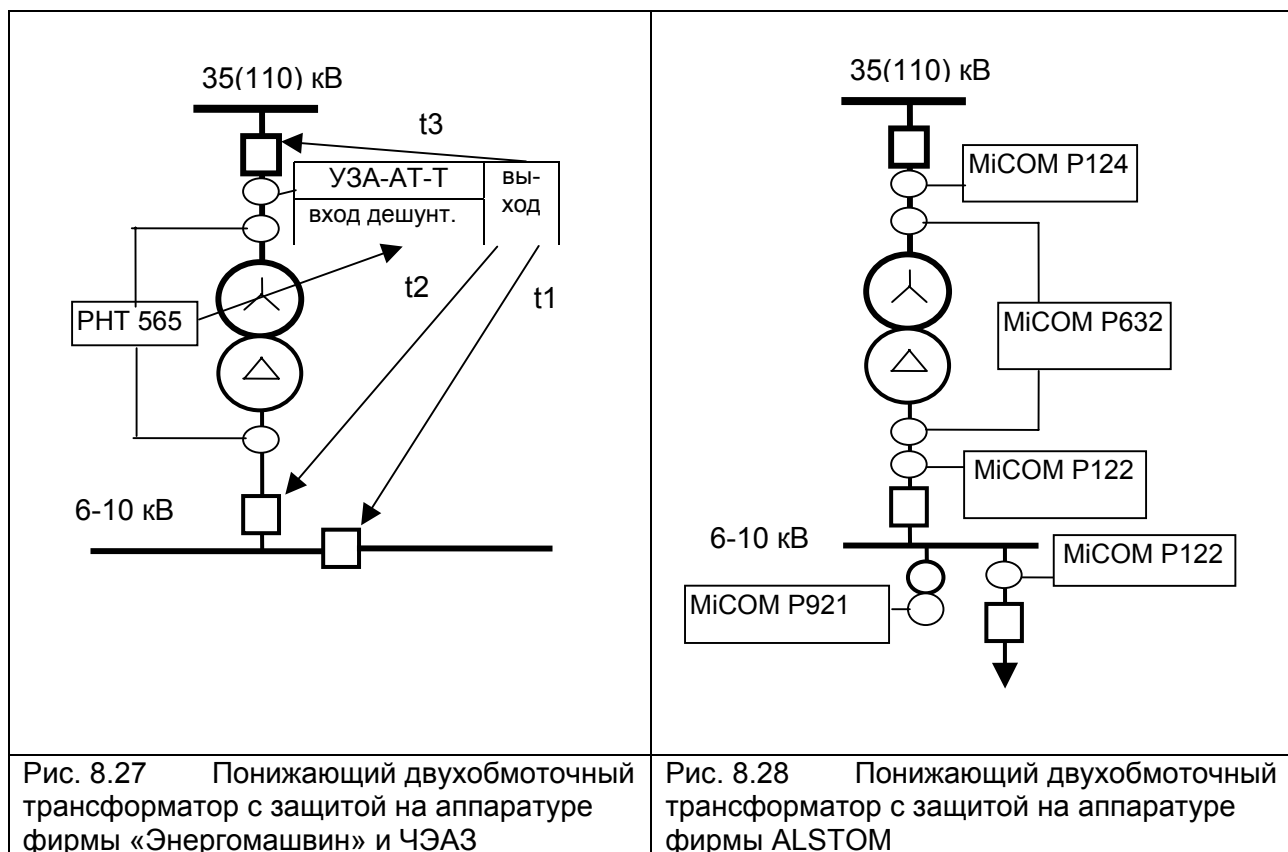


Рис. 8.26. Защита на трансформаторе 35/6-10 кВ мощностью менее 6 300 кВА.

8.9.3 Двухобмоточный понижающий трансформатор повышенной мощности (более 4 МВА)

Для трансформаторов напряжением 35кВ фирма «Энергомашвин» предлагает простое решение:

- Дифзащита выполнена на простых электромеханических реле РНТ 565 (ДЗТ-11) производства ЧЭАЗ. Резервная защита использует реле УЗА – АТ-Т фирмы «Энергомашвин» имеющих три ступени выдержки времени. 1 ступень действует на отключение СВ 6-10кВ, вторая отключает ввод 6-10 кВ, третья отключает выключатель (включает короткозамыкатель) на стороне 35кВ. Сторона 35кВ использует дешунтирование, предусмотренное в устройстве УЗА-АТ-Т, а дифзащита действует на дешунтирование через дискретный вход того же реле см. рис.8.27.
- На рис. 8.28. показана защита трансформатора, выполненная на аппаратуре ALSTOM: реле MiCOM P124 на вводах ВН и P122 – на вводе НН. Дифзащита выполнена на реле MiCOM P632 или MX3DPT3A. Газовая защита подключается на дискретный вход устройства MiCOM P124. Взамен MiCOM P122 могут быть использованы реле MiCOM 123 или реле серии MODULEX3: MX3AMD30A, MX3AM30A. Для ввода ВН во всех случаях целесообразно применить устройство MiCOM P124, имеющего автономное питание и независимое от наличия опертока на ПС. Дополнительные токовые органы, входящие в состав MiCOM P632 используются для дублирования резервных защит. а свободные токовые органы – для блокировки РПН, сигнализации перегрузки, автоматике охлаждения и т.д.
- Взамен MiCOM P921 может быть использовано MiCOM P922, при этом появляется возможность выполнить блокировку по напряжению МТЗ дополнительно по U2. Можно использовать также реле MX3VIR30A или MX3VIC30A соответственно.



– Распределение функций см. табл. 8.3.

Таблица 8.3.

MiCOM P124 включена на трансформаторы тока выключателя со стороны ВН. Токовые органы защиты нулевой последовательности могут быть включены на фазный ток ТТ и использоваться для пуска охлаждения и блокировки РПН	Токовая отсечка, отстроена от КЗ на стороне НН Вторая ступень – выполнена без выдержки времени и блокируется устройством защиты стороны НН Третья ступень – обычная максимальная защита с выдержкой времени	Дублирующая логическая дифзащита трансформатора. (см. примечание 1) Дублирует вторую ступень на случай отказа цепей блокировки 2 ступени Обеспечивает резервирование защит подстанции при потере на ПС постоянного оперативного тока.
<i>Примечание 1. Для отстройки от броска $I_{нам}$, ступени с логической блокировкой у реле MiCOM уставка должна составить не менее $2I_n$, при ее выполнении без выдержки времени. Для реле серии MODULEX 3 при уставке порядка $2I_{ном}$ необходимо ввести выдержку времени порядка 0,2с.</i>		
MiCOM P632 (MX3DPT3A) целесообразно включить на трансформаторы тока встроенные на стороне ВН трансформатора и ТТ выключателя стороны НН	Продольная дифзащита трансформатора повышенной чувствительности	

MiCOM P122 включена на трансформаторы тока выключателя со стороны НН	Первая ступень выполнена без выдержки времени и блокируется устройствами защиты отходящих фидеров Вторая ступень выполняется с выдержкой времени селективной с фидерами Третья ступень – защита от перегрузки трансформатора	Логическая дифзащита шин Дублирует вторую ступень на случай отказа цепей блокировки
MiCOM P921 (MX3VIR30A) включена на ТН стороны НН	Может быть использована для блокировки защит трансформатора по напряжению	

При использовании аппаратуры других фирм можно рекомендовать, табл. 8.4

Таблица 8.4

Фирма	Защита ввода ВН	дифзащита и дополнительные защиты	Защита ввода НН, дополнительные токовые органы, АВР, АПВ	Защита фидеров
GE	F650	T60	MIF, F650	MIF, F35*, F650
ABB	REF 543	RET 521	REF 543	REF 541
SIEMENS	7SJ511	7UT513	7SJ511	7SJ511
SEL	SEL551	SEL387A	SEL 351	SEL 551

Примечание: F35* -групповая устройство защиты рассчитанное на подключение до 5 фидеров и 1 ТН*

8.9.4 Трансформатор с расщепленной обмоткой НН

При использовании аппаратуры ALSTOM защита трансформатора выполняется на реле MiCOM P124 на вводе ВН, P122 на вводах НН1 и НН2. Дифзащита выполнена на реле MiCOM P632 или MX3DPT3A. Газовая защита подключается на дискретный вход первого устройства MiCOM P122. Использование функций см. таблицу 8.5.

Взамен MiCOM P122 могут быть использованы реле MiCOM P123 или реле серии MODULEX3: MX3AMD30A, MX3AM30A. Для ввода ВН во всех случаях целесообразно применить устройство MiCOM P124, имеющего автономное питание и независящее от наличия опертока на ПС.

Взамен MiCOM P921 может быть использовано MiCOM P922, при этом появляется возможность выполнить блокировку по напряжению МТЗ дополнительно по U2. Можно использовать также реле MX3VIR30A MX3VIC30A, соответственно.

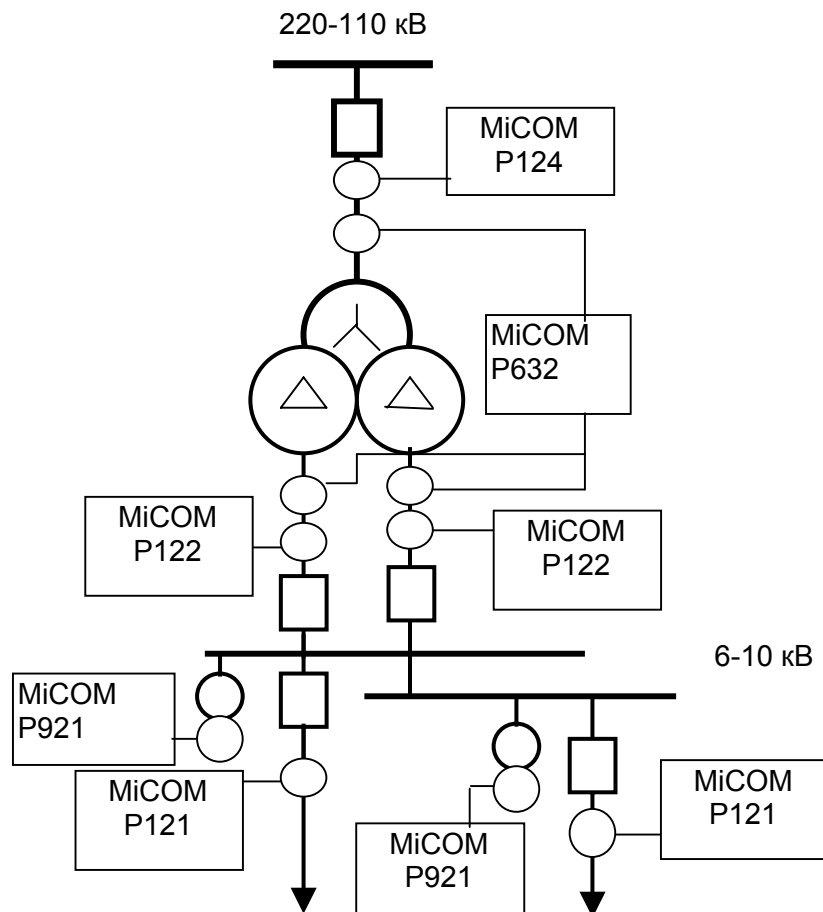


Рис. 8.29 Расстановка аппаратуры на трансформаторе с расщепленной обмоткой НН

Таблица 8.5

<p>MiCOM P124 включена на трансформаторы тока выключателя со стороны ВН. Токовые органы защиты нулевой последовательности могут быть включены на фазный ток ТТ и использоваться для пуска охлаждения и блокировки РПН</p>	<p>Токовая отсечка, отстроена от КЗ на стороне НН</p> <p>Вторая ступень – выполнена без выдержки времени и блокируется устройством защиты сторон НН1 и НН2</p> <p>Третья ступень – обычная максимальная защита с выдержкой времени</p>	<p>Дублирующая логическая дифзащита трансформатора см. примечание 1</p> <p>Дублирует вторую ступень на случай отказа цепей блокировки 2 ступени</p>
<p><u>Примечание 1.</u></p> <p>Для отстройки от броска $I_{нам.}$ ступени с логической блокировкой у реле MiCOM уставка должна составить не менее $2 I_{нам.}$ при ее выполнении с выдержкой времени 0.1 с. Для реле серии MODULEX 3 при уставке порядка $2 I_{ном}$ необходимо ввести выдержку времени порядка 0,2с</p>		
<p>MiCOM P632 (MX3DPT3A) целесообразно включить на трансформаторы тока встроенные на стороне ВН трансформатора и сумму токов ТТ выключателей стороны НН1 и НН2</p>	<p>Продольная дифзащита трансформатора повышенной чувствительности</p>	

MiCOM P122-1 и 2 включена на трансформаторы тока выключателей на сторонах НН1 и НН2	Первая ступень выполнена без выдержки времени и блокируется устройствами защиты отходящих фидеров Вторая ступень выполняется с выдержкой времени, селективной с фидерами Третья ступень – защита от перегрузки трансформатора	Логическая дифзащита шин Дублирует вторую ступень на случай отказа цепей блокировки Должна быть выполнена отдельно для каждой обмотки НН
MiCOM P921 1 и 2 (MX3VIR30A 1 и 2) включена на ТН стороны НН	Может быть использована для блокировки защит трансформатора по напряжению	

При использовании аппаратуры других фирм можно рекомендовать, табл. 8.6

Таблица 8.6

Фирма	Защита ввода ВН	дифзащита и дополнительные защиты	Защита вводов НН, дополнительные токовые органы, АВР, АПВ	Защита фидеров
GE	F650	T60	F650	MIF, F35*, F650
ABB	REF 543	RET 521	REF 543	REF 541
SIEMENS	7SJ511	7UT513	7SJ511	7SJ511
SEL	SEL551	SEL387E	SEL 351	SEL 551

Примечание*: F35* -групповая устройство защиты рассчитанное на подключение до 5 фидеров и 1 ТН

8.9.5 Понижающий трехобмоточный трансформатор

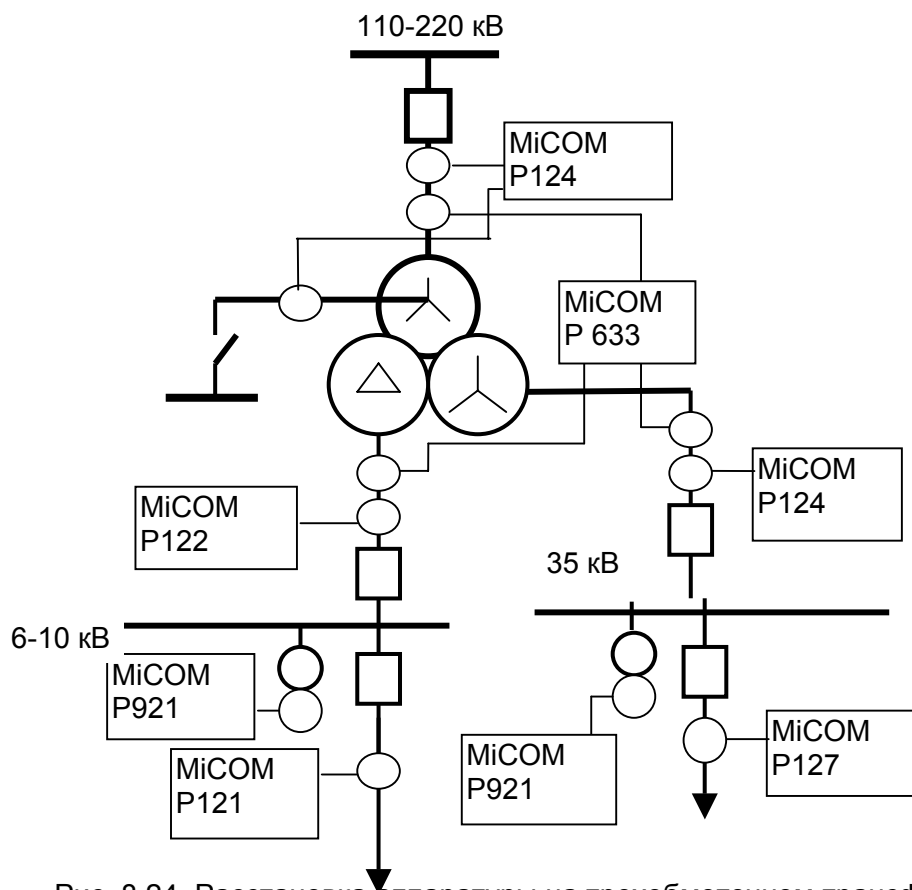


Рис. 8.24. Расстановка аппаратуры на трехобмоточном трансформаторе

Предусматривается возможность резервного питания по стороне СН. В этом режиме нейтраль трансформатора должна быть заземлена. Защиты трансформатора и отходящих линий выполнены целиком на реле серии MiCOM. Дифзащита выполнена на реле MiCOM P633. На вводах СН и НН установлена защита MiCOM P122, ВН и СН – P124. Газовая защита подключается на дискретный вход устройства MiCOM P122 стороны ВН и должна действовать на MiCOM P124 стороны СН. Для выполнения защиты от замыканий на землю стороны ВН, в режиме питания трансформатора со стороны СН, используется трансформатор тока со стороны нейтрали трансформатора, подключенный к устройству MiCOM P124 стороны ВН. Использование функций см. таблицу 8.7. Взамен MiCOM P122 могут быть использованы реле MiCOM P123. Защита линии 35 кВ, которая может быть питающей, выполнена направленной с помощью устройства MiCOM P127.

Взамен MiCOM P921 может быть использовано MiCOM P922, при этом появляется возможность выполнить блокировку по напряжению МТЗ дополнительно по U2.

Таблица 8.7

<p>MiCOM P124-1 включена на трансформаторы тока выключателя со стороны ВН. Токовые органы защиты нулевой последовательности включены на ток ТТ в нейтрали</p>	<p>Токовая отсечка, отстроена от КЗ на стороне НН</p> <p>Вторая ступень выполнена с выдержкой времени 0,2 с и блокируется устройством защиты сторон НН и СН</p> <p>третья ступень используется для пуска охлаждения и блокировки РПН</p> <p>Защита от перегрузки с тепловой характеристикой</p>	<p>Дублирующая логическая дифзащита трансформатора см. примечание 1</p>
<p><u>Примечание 1.</u></p> <p>Для отстройки от броска $I_{н.м.}$ ступени с логической блокировкой у реле MiCOM уставка должна составить не менее $2 I_{н.}$, при ее выполнении с выдержкой времени 0.1 с</p>		
<p>MiCOM P124-2 и P122 включены на трансформаторы тока выключателя со стороны СН и НН соответственно. Токовые органы защиты нулевой последовательности могут быть включены на фазный ток ТТ, и использоваться для пуска охлаждения и блокировки РПН</p>	<p>Максимальная защита шин СН и НН</p> <p>На второй ступени выполнена логическая защита шин СН и НН, которая блокируется устройством защиты фидеров сторон СН и НН</p> <p>Дублирующая дифзащита трансформатора блокируется устройствами СН и ВН</p>	<p>Дублирующая логическая дифзащита трансформатора</p> <p>Резервирует защиты ПС при потере оперативного тока и питания по стороне 35 кВ.</p>
<p>MiCOM P633 целесообразно включить на трансформаторы тока встроенные на стороне ВН трансформатора и отдельно на токи ТТ выключателей стороны СН и НН. Комплект защиты от замыканий на землю подключается к тр-ру тока нейтрали 110 кВ</p>	<p>Продольная дифзащита трансформатора повышенной чувствительности. Защиты от замыкания на землю на стороне ВН.</p> <p>На сторонах НН и СН выполняются дополнительные максимальные защиты</p> <p>Защита от перегрузки</p>	

MiCOM P921 1 и 2 включена на ТН стороны НН и СН	Может быть использована для блокировки максимальных защит трансформатора по напряжению	
--	--	--

При использовании аппаратуры других фирм можно рекомендовать, табл. 8.8

Таблица 8.8

Фирма	Защита ввода ВН	дифзащита и дополнительные защиты	Защита вводов НН, дополнительные токовые органы, АВР, АПВ	Защита фидеров
GE	F35	T60	F35, F60	MIF, F35*, F650
ABB	REF 543	RET 521	REF 543	REF 541
SIEMENS	7SJ511	7UT513	7SJ511, 7SJ531	7SJ511, 7SJ531
SEL	SEL551	SEL387E	SEL551, SEL 351	SEL551, SEL 351

Примечание: F35* -групповая устройство защиты рассчитанное на подключение до 5 фидеров и 1 ТН*

Указанной аппаратурой не исчерпывается возможный перечень аппаратуры. Номенклатура фирм производителей значительно шире. Исходя из конкретных требований к защите, автоматике и управлению можно подобрать и другую аппаратуру, часто более простую и дешевую.

9 ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

9.1 ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) на двигателях напряжением выше 1000 В должны устанавливаться следующие устройства релейной защиты:

- защита от междофазных коротких замыканий;
- защита от замыканий на землю;
- защита от двойных замыканий на землю;
- защита от перегрузки.

Для синхронных двигателей дополнительно требуется защита от асинхронного режима.

Применяемые для этой цели виды защиты зависят от мощности электродвигателей:

В качестве защиты от междофазных КЗ при мощности двигателей до 5000 кВт применяется токовая отсечка, она может применяться и для двигателей большей мощности, не имеющих фазных выводов со стороны нейтрали двигателя. При двигателях большей мощности, а также если токовая отсечка для двигателей меньшей мощности не удовлетворяет требованиям чувствительности, применяется дифференциальная защита при условии, что эти двигатели имеют выводы со стороны нейтрали.

В качестве защиты от замыканий на землю при токах замыкания более 5 А для двигателей более 2000 кВт и 10 А для двигателей меньшей мощности применяется токовая защита нулевой последовательности, действующая на отключение. На линиях, питающих двигатели передвижных механизмов, защита от замыканий на землю, по соображениям электробезопасности, должна действовать на отключение независимо от величины тока замыкания на землю. На блоках трансформатор–двигатель защита от замыканий на землю действует на сигнал. Указанная защита входит в состав всех перечисленных устройств.

В качестве защиты от двойных замыканий на землю применяется токовая защита нулевой последовательности, действующая на отключение. Она применяется в тех случаях, когда защита от замыканий на землю имеет выдержку времени. Ее применение обязательно, если защита от междофазных КЗ выполняется в двух фазах.

Защита от перегрузки требуется для двигателей, подверженных перегрузке по технологическим причинам, или с особо тяжелыми условиями пуска. Защиту от перегрузки согласно нормам СНГ можно выполнять с зависимой или независимой выдержкой времени. Защита от перегрузки может действовать на разгрузку механизма по технологическим цепям или сигнал – 1-я ступень и на отключение – 2-я ступень. Выдержка времени защиты от перегрузки при токе, равном пусковому току двигателя, выполняется большей времени его пуска. Как правило, при таком выполнении защиты двигателя имеется значительный тепловой запас – обычные двигатели по температуре выдерживают не менее двух пусков подряд. Это дает возможность выполнить действие такой защиты от перегрузки на разгрузку механизма.

Таким образом, согласно ПУЭ на двигателях мощностью менее 5000 кВт можно иметь токовую отсечку, токовую защиту от замыканий на землю, защиту от перегрузки. Такие защиты можно выполнять на реле УЗА-АТ или УЗА-10, выпускаемых компанией «Энергомашвин». Специально для электродвигателей компания «Энергомашвин» выпускает реле УЗА-10А.2Э которое включает в себя защиту от перегрузки, защиту от несимметричного режима, токовую отсечку и защиту от замыкания на землю.

Существуют специальные защиты от перегрузки с зависимой характеристикой, совпадающей с тепловой, которая определяет тепловое состояние двигателя и позволяет полнее использовать его перегрузочную способность. Параметры этой характеристики зависят от данных самого электродвигателя: системы охлаждения, допустимой температуры для изоляции двигателя, исходной температуры двигателя или помещения. Все эти данные учитывают специ-

альные защиты двигателей (например MiCOM P210, P220, P241 фирмы ALSTOM). Кроме этой защиты от перегрузки с похожими характеристиками входит в состав реле MiCOM122-123. Недостаток такого принципа – двигатель отключится только после нагрева до предельной температуры, так что она может действовать только на отключение. Поэтому защиты от перегрузки имеют обычно 2 ступени: ступень с меньшей выдержкой времени действует на разгрузку, с большей – на отключение.

Защита от асинхронного режима для синхронных двигателей может действовать по току перегрузки с независимой выдержкой времени. Для двигателей с ОКЗ более 1 может быть применена защита с зависимой характеристикой. В устройстве MiCOM-241 имеется защита, действующая по величине $\cos \varphi$. Однако эта защита способна выявить отключение возбуждения и переход двигателя в асинхронный режим без возбуждения. При асинхронном режиме с возбуждением эта защита может не действовать из-за колебаний мощности и периодического возврата измерительного органа. Для того, чтобы она действовала и в этом режиме, требуется уменьшить выдержку времени защиты таким образом, чтобы при асинхронном режиме она успевала срабатывать в зоне пониженного $\cos \varphi$. Режим асинхронного хода сопровождается перегрузкой двигателя, и на него реагируют защиты от перегрузки. Простые токовые защиты могут срабатывать и возвращаться при колебаниях тока. Поэтому защиты от перегрузки в асинхронном режиме должны накапливать выдержку времени. Такой принцип заложен в защиту от перегрузки устройства УЗА-10А.2Э компании «Энергомашвин». Так же как и ранее, можно использовать две ступени защиты от перегрузки: ступень с меньшей выдержкой времени действует на ресинхронизацию, с большей на отключение. Поскольку в этом случае невозможно различить режим перегрузки и асинхронный режим, нельзя обеспечить автоматическую ресинхронизацию. При наличии дежурного персонала на объекте он может это выявить визуально при срабатывании 1-й сигнальной ступени. Специальные защиты от потери возбуждения имеются в устройствах возбуждения крупных двигателей. Эти устройства целесообразно использовать для автоматической ресинхронизации.

Для двигателей, работающих в блоке с понижающим трансформатором, может быть выполнена общая защита, если она удовлетворяет требованиям к защите как двигателя, так и трансформатора.

Для облегчения условий самозапуска, а также для предотвращения подачи несинхронного напряжения на возбужденные синхронные двигатели или заторможенные механизмы двигатели должны быть оборудованы защитой минимального напряжения. Эта защита может быть либо индивидуальной, либо групповой. В ряде случаев для ускорения подачи напряжения на шины или предотвращения подачи напряжения на двигатели автоматикой внешней сети синхронные двигатели могут быть дополнительно оборудованы защитой по понижению частоты, так как они способны длительно поддерживать напряжение в сети. Устройство защиты двигателя MiCOM P241 имеет в своем составе вышеупомянутые органы понижения напряжения и частоты. Следовательно, при использовании такого реле для защиты двигателя нет необходимости в применении с этой целью специальных реле напряжения.

Кроме перечисленных обязательных для двигателей функций защиты специальные защиты для двигателей имеют дополнительные функции, использование которых улучшает условия эксплуатации двигателя, тем самым снижая вероятность его повреждения и продлевая срок его службы. К ним относятся:

- защита от обрыва фазы;
- ограничение количества пусков;
- запрет пуска по времени прошедшего от предыдущего пуска;
- защита минимального тока или мощности;
- Заклинивание или затормаживание ротора.

Специальные устройства защиты двигателей могут работать не только с током и напряжением, но и с датчиками температуры.

У двигателей большой мощности существуют также технологические защиты, которые могут действовать на отключение двигателей: повышение температуры двигателя, его подшипников, прекращение смазки подшипников, циркуляция воздуха в системе охлаждения. Необходимость этих защит и предъявляемые к ним требования излагаются в заводской документации. Эти защиты подаются на дискретные входы устройства защиты.

Поэтому для крупных и ответственных двигателей всегда целесообразно использовать специализированные устройства защиты двигателя типов MiCOM P220, P241.

9.2 НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Вращающий момент электродвигателей и момент сопротивления механизма

Нормальный установившийся режим работы электродвигателя характеризуется равенством электромагнитного момента M_δ , развиваемого электродвигателем, и механического момента сопротивления M_c механизма, приводимого в действие электродвигателем:

$$M_\delta = M_c \quad (9.1)$$

Если $M_\delta < M_c$, то электродвигатель будет тормозиться, а если $M_\delta > M_c$, то частота вращения электродвигателя будет увеличиваться. При неизменном напряжении питающей сети момент, развиваемый асинхронным электродвигателем, зависит от частоты вращения n или, что то же самое, скольжения s (рис. 9.1). В нормальных условиях равенство $M_\delta = M_c$ имеет место при $s = 0,02-0,05$. Максимальный момент электродвигателя $M_{\delta \max}$ равен приблизительно двукратному номинальному моменту:

$$M_{\delta \max} / M_{\delta \text{ном}} = 2 \quad (9.2)$$

Частота вращения n_k и скольжение s_k , соответствующие максимальному моменту, называются критическими.

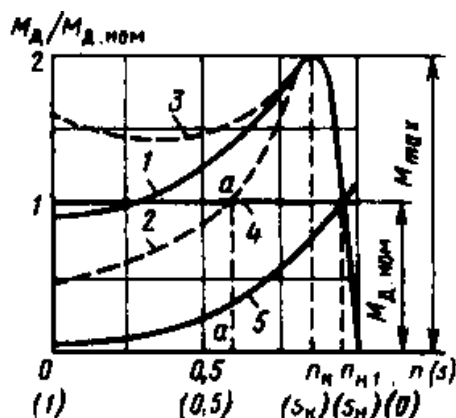


Рис. 9.1 Зависимость момента вращения асинхронных электродвигателей и моментов сопротивления механизмов от частоты вращения

Пусковой момент $M_{\delta \text{пуск}}$, соответствующий частоте вращения $n = 0$ или скольжению $s = 1$, в зависимости от конструкции электродвигателя имеет разные значения (кривые 1, 2, 3, рис. 9.1).

Характеристики моментов сопротивления механизмов, которые приводятся в действие электродвигателями, в зависимости от их частоты вращения могут быть зависящими от частоты вращения (кривая 5) и не зависящими от нее (кривая 4, рис. 9.1). Момент сопротивления, не зависящий от частоты вращения, имеют, например, шаровые мельницы в системе пылепри-

готовления электростанции. Момент сопротивления, резко зависящий от частоты вращения, имеют все центробежные механизмы.

Ток, потребляемый статором электродвигателя из сети, I_δ состоит из тока намагничивания $I_{\text{нам}}$ статора и тока ротора, приведенного к обмотке статора $I_{\text{рот}}$:

$$I_\delta = I_{\text{нам}} + I_{\text{рот}} \quad (9.3)$$

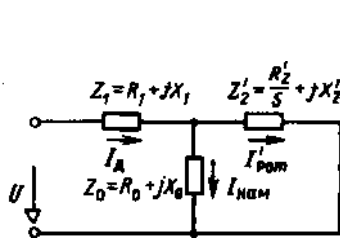


Рис. 9.2 Схема замещения асинхронного электродвигателя

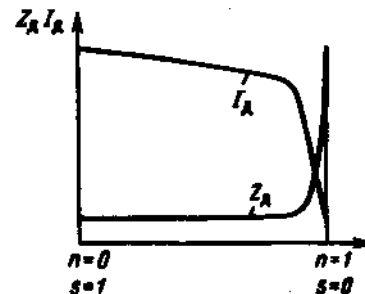


Рис. 9.3 Зависимость тока статора и сопротивления электродвигателя от скольжения

Это следует из схемы замещения (рис. 9.2). Ток в роторе определяется наведенной в нем ЭДС, которая зависит от скольжения. Токи ротора и статора также меняются с изменением скольжения. Характер зависимости периодической составляющей I_δ и сопротивления электродвигателя Z_δ от скольжения представлен на рис. 9.3. При нормальной работе электродвигателя, когда скольжение составляет 2–5% (близко к нулю), сопротивление ротора очень велико, $I_{\text{рот}}$ мал, мал и ток статора, так как ветвь намагничивания имеет большое сопротивление.

Пуск электродвигателей

При пуске, т. е. при подаче напряжения на неподвижный электродвигатель, сопротивление его мало и ток ротора имеет максимальное значение. Соответственно, максимальное значение имеет и ток статора. Ток статора при пуске электродвигателя называется пусковым током. Начальный пусковой ток равен току трехполусного КЗ за сопротивлением, равным сопротивлению неподвижного электродвигателя.

Пусковой ток состоит из переменной составляющей, затухающей по мере увеличения частоты вращения, и апериодической составляющей, затухающей в течение нескольких периодов. Из осциллограммы пуска двигателя, представленной на рис. 9.4, видно, что по мере разворота ток, потребляемый электродвигателем, меняется вначале мало, и только при приближении к синхронной частоте вращения он быстро падает. Объясняется это характером изменения сопротивления двигателя. Периодическая составляющая пускового тока электродвигателя $I_{\delta \text{ пуск}}$ при неподвижном роторе в 4–8 раз превосходит $I_{\text{ном}}$. Пик тока с учетом апериодической составляющей достигает:

$$I_{\delta \text{ пуск}} = (1,6 \div 1,8) \cdot I_{\text{ном}} \quad (9.4)$$

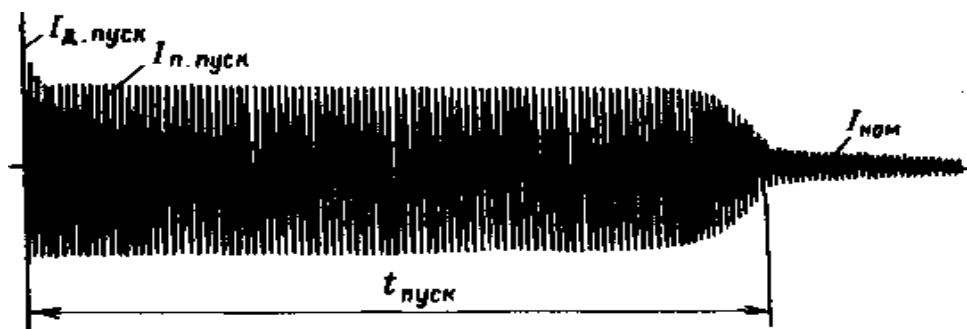


Рис. 9.4 Осциллограмма пускового тока асинхронного электродвигателя

Продолжительность затухания периодической составляющей пускового тока до значения номинального тока зависит от параметров электродвигателя и условий пуска. При пуске с нагрузкой развертывание электродвигателя до номинальной скорости происходит медленнее и продолжительность спада тока увеличивается. Это объясняется тем, что ускорение вращения ротора зависит от значения избыточного момента:

$$M_{изб} = M_{\delta} - M_c \quad (9.5)$$

Если M_{δ} превосходит M_c во все время пуска, то электродвигатель пускается быстро и легко. Как видно из рис. 9.1, электродвигатели, приводящие механизмы с зависимым от частоты вращения моментом сопротивления, пускаются легче, чем электродвигатели, приводящие механизмы с независимым от частоты вращения моментом сопротивления. В последнем случае при недостаточном значении пускового момента электродвигатели могут вообще не развернуться (кривые 2 и 4, рис. 9.1), так как, начиная со скольжения, соответствующего точке *a*, M_c превосходит M_{δ} .

Электродвигатели с глубоким пазом и двойной обмоткой ротора имеют наиболее благоприятный пусковой момент (кривая 3, рис. 9.1). Длительность пуска электродвигателей $t_{пуск}$, как правило, не превосходит 10–15 с, и только у электродвигателей с тяжелыми условиями пуска это значение может быть значительно больше.

При возникновении КЗ в питающей сети вблизи зажимов электродвигателя последний за счет внутренней ЭДС, поддерживаемой энергией магнитного поля, посылает к месту КЗ быстро затухающий ток. Броски тока КЗ могут достигать значений пусковых токов.

Зависимость момента электродвигателей от напряжения выражается формулой:

$$M_{\delta} = kU^2 \quad (9.6)$$

При КЗ в сети напряжение на зажимах электродвигателей снижается. В результате этого моменты электродвигателей уменьшаются, и они начинают тормозиться, увеличивая скольжение (кривые 1, 1', 1'', рис. 9.5) до тех пор, пока вновь не восстановится равенство $M_{\delta} = M_c$. Если при этом окажется, что $M_{\delta max} = M_c$ (кривая 1'', точка *a* на рис. 9.5), то электродвигатель будет находиться на пределе устойчивой работы и иметь скольжение, равное критическому. При дальнейшем снижении напряжения электродвигатель будет тормозиться вплоть до полной остановки. После отключения КЗ напряжение питания восстанавливается, и дальнейшее поведение электродвигателя будет зависеть от скольжения, имевшего место в момент восстановления напряжения, и соответствующих ему значений M_{δ} и M_c .

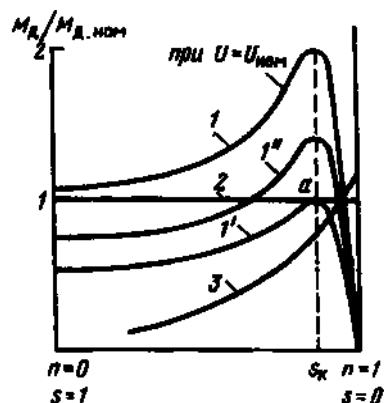


Рис. 9.5 Зависимость момента вращения асинхронных электродвигателей от скольжения s при различных значениях напряжения

При $M_0 > M_c$ электродвигатель развернется до нормальной частоты вращения, а при $M_0 < M_c$ будет продолжать тормозиться до полного останова. В этом случае электродвигатель необходимо отключить, так как он будет потреблять пусковой ток, не имея возможности развернуться.

Самозапуск электродвигателей тяжелее обычного пуска. Объясняется это тем, что при самозапуске электродвигатели пускаются нагруженными, а электродвигатели с фазным ротором – без пускового реостата в цепи ротора, что уменьшает пусковой момент и увеличивает пусковой ток и, наконец, пускается большое количество электродвигателей одновременно, что вызывает падение напряжения в питающей сети от суммарного пускового тока. Однако самозапуск электродвигателей проходит сравнительно легко. Так самозапуск электродвигателей собственных нужд электростанций возможен даже в тех случаях, когда в первый момент после восстановления напряжения значение его составляет $0,55U_{ном}$. При этом общее время самозапуска не превышает 30–35 с, что допустимо по их нагреву.

В случае обрыва одной из фаз обмотки статора электродвигатель продолжает работать. Частота вращения ротора при этом несколько уменьшается, а обмотки двух, оставшихся в работе фаз перегружаются током в 1,5–2 раза большим номинального. Защита от работы на двух фазах применялась ранее лишь на электродвигателях напряжением до 500 В, защищенных предохранителями, если двухфазный режим работы может повлечь за собой повреждение электродвигателя. В настоящее время в связи с высокой стоимостью двигателей высокого напряжения и высокой вероятностью неполнофазных режимов в питающей сети считается целесообразным, не вводя специальную защиту от режима работы двумя фазами, отключать двигатели защитой от перегрузки, которая имеет подходящие для этой цели уставку $(1,1 \div 1,3)I_{ном}$. Токовые органы защиты от перегрузки в этом случае должны включаться не менее чем в 2 фазы трансформаторов тока двигателей.

9.3 ЗАЩИТА ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ

Защита от КЗ между фазами является основной РЗ электродвигателей, и установка ее обязательна во всех случаях. В качестве РЗ электродвигателей мощностью до 5000 кВт от КЗ согласно ПУЭ применяется МТЗ (токовая отсечка). Наиболее просто токовая отсечка выполняется с реле прямого действия, встроенными в привод выключателя. Для работы при всех видах междуфазных КЗ отсечка должна выполняться в двух фазах.

Токовая отсечка должна быть отстроена от пускового тока двигателя. В момент включения двигателя появляется бросок тока намагничивания, в 1,6–1,8 раза превышающий по амплитуде установившийся пусковой ток двигателя. Это бросок учитывается повышенным коэффициентом надежности при отстройке от пускового тока двигателя.

$$I_{CЗ} = k_n \cdot I_{nmax} \quad (9.7)$$

где

I_{C3} – первичный ток срабатывания отсечки;

k_n – коэффициент надежности, с учетом отстройки от броска тока намагничивания равен 1,8 для отсечек с временем срабатывания 0,05 с и более, или 2 при времени срабатывания меньше 0,05 с;

$I_{n\max}$ – пусковой ток двигателя в максимальном режиме.

Кратность пускового тока двигателя может быть взята из паспорта двигателя. А пусковой ток равен:

$$I_{n\max} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}} \quad (9.8)$$

После выбора уставки должна быть проверена чувствительность отсечки по току:

$$k_q = I_{K3\min}^{(2)} / I_{C3} \quad (9.9)$$

где

k_q – коэффициент чувствительности, он должен быть не менее 2;

$I_{K3\min}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания в минимальном режиме.

Если ток срабатывания отсечки отстроен от пускового тока электродвигателя, то она надежно отстроена и от тока, который электродвигатель посылает в сеть при внешнем КЗ.

Токовую РЗ электродвигателей мощностью до 2000 кВт ранее выполняли на простой и дешевой однорелейной схеме включая реле на разность токов двух фаз. Недостатком этой схемы является более низкая чувствительность по сравнению с двухрелейной отсечкой, к двухфазным КЗ между одной из фаз, на которых установлен ТТ, и фазой без ТТ. Ток срабатывания реле отсечки, выполненной по однорелейной схеме, в $\sqrt{3}$ раз больше, чем в двухрелейной схеме: при выборе уставки учитывался коэффициент схемы при симметричном пусковом режиме равный $k_{cx} = \sqrt{3}$.

$$I_{C3} = \sqrt{3} \cdot k_n \cdot I_{n\max} \quad (9.10)$$

Соответственно ниже в $\sqrt{3}$ раз получалась и чувствительность защиты.

На электродвигателях мощностью 2000-5000 кВт токовую отсечку необходимо выполнять двухрелейной. Двухрелейную схему отсечки требуется также применять на электродвигателях мощностью до 2000 кВт, если коэффициент чувствительности однорелейной схемы при двухфазном КЗ на выводах электродвигателя окажется менее двух ($k_q < 2$). При использовании реле УЗА-АТ или УЗА-10 отсечка выполняется 2–элементной, независимо от мощности двигателя.

На электродвигателях мощностью 5000 кВт и более должна дополнительно устанавливаться продольная дифференциальная РЗ, обеспечивающая более высокую чувствительность к КЗ на выводах и в обмотках ($I_{C3} \leq I_{\text{ном}}$). Если токовая отсечка не обладает необходимой чувствительностью, то дифзащита может выполняться на двигателях меньшей мощности при условии наличия на двигателе выводов фаз со стороны нейтрали.

Для этого применяются специальные дифференциальные реле, включаемые на комплекты трансформаторов тока, соединенные в неполную звезду на сторонах выводов и нейтрали двигателей. Защита выполняется двухфазной. Могут использоваться реле РНТ-565, ДЗТ11 или РСТ-15 ЧЭАЗ, МХ3DPG3А, MiCOM P631, P632 фирмы ALSTOM. Описание дифференциальных реле приводилось в п. 8.

Поскольку РЗ в двухфазном исполнении не реагирует на двойное замыкание на землю, одно из которых возникает в обмотке электродвигателя на фазе В, в которой отсутствует ТТ, дополнительно устанавливается специальная РЗ от двойных замыканий на землю, которая выполняется токовым реле, подключенным к ТТНП. Эта функция может выполняться защитой от замыкания на землю, если она не имеет выдержки времени.

9.4 ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Перегрузка электродвигателей возникает при затянувшемся пуске и самозапуске; из-за перегрузки приводимых механизмов. Перегрузка может возникнуть также при пониженном напряжении на выводах двигателя. Для электродвигателя опасны только устойчивые перегрузки. Сверхтоки, обусловленные пуском или самозапуском электродвигателя, кратковременны и самоликвидируются при достижении нормальной частоты вращения.

Значительное увеличение тока электродвигателя получается также при обрыве фазы, что встречается, например, у электродвигателей, защищаемых предохранителями, при перегорании одного из них. При номинальной загрузке в зависимости от параметров электродвигателя увеличение тока статора при обрыве фазы будет составлять примерно $(1,6 \div 2,5) I_{ном}$. Эта перегрузка носит устойчивый характер. Также устойчивый характер носят сверхтоки, обусловленные механическими повреждениями электродвигателя или вращаемого им механизма и перегрузкой механизма. Основной опасностью сверхтоков является сопровождающее их повышение температуры отдельных частей и в первую очередь обмоток. Повышение температуры ускоряет износ изоляции обмоток и снижает срок службы двигателя. Перегрузочная способность электродвигателя определяется характеристикой зависимости между сверхтоком и допускаемым временем его прохождения:

$$t = T \frac{a - 1}{k - 1} \quad (9.11)$$

где

t – допустимая длительность перегрузки, с;

T – постоянная времени нагрева, с;

a – коэффициент, зависящий от типа изоляции электродвигателя, а также периодичности и характера сверхтоков (для асинхронных электродвигателей в среднем $a = 1,3$);

k – кратность сверхтока, т. е. отношение тока электродвигателя I_{∂} к $I_{ном}$.

$$k = I_{\partial} / I_{ном} \quad (9.12)$$

Вид перегрузочной характеристики при постоянной времени нагрева $T = 300$ с представлен на рис. 9.6.

При решении вопроса об установке РЗ от перегрузки и характере ее действия руководствуются условиями работы электродвигателя, имея в виду возможность устойчивой перегрузки его приводного механизма:

- а) на электродвигателях механизмов, не подверженных технологическим перегрузкам (например, электродвигателях циркуляционных, питательных насосов и т. п.) и не имеющих тяжелых условий пуска или самозапуска, РЗ от перегрузки может не устанавливаться, однако ее установка целесообразна на двигателях объектов, не имеющих постоянного обслуживающего персонала, учитывая опасность перегрузки двигателя при пониженном напряжении питания или неполнофазном режиме;

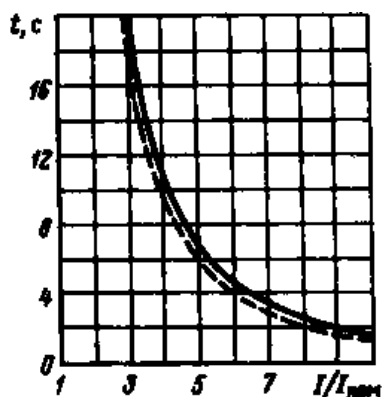


Рис. 9.6 Характеристика зависимости допустимой длительности перегрузки от кратности тока перегрузки

- б) на электродвигателях, подверженных технологическим перегрузкам (например, электродвигателях мельниц, дробилок, багерных насосов и т. п.), а также на электродвигателях, самозапуск которых не обеспечивается, РЗ от перегрузки должна устанавливаться;
- в) защита от перегрузки выполняется с действием на отключение в случае, если не обеспечивается самозапуск электродвигателей или с механизма не может быть снята технологическая перегрузка без останова электродвигателя;
- г) защита от перегрузки электродвигателя выполняется с действием на разгрузку механизма или сигнал, если технологическая перегрузка может быть снята с механизма автоматически или вручную персоналом без останова механизма и электродвигателя находится под наблюдением персонала;
- д) на электродвигателях механизмов, могущих иметь как перегрузку, устраняемую при работе механизма, так и перегрузку, устранение которой невозможно без останова механизма, целесообразно предусматривать действие РЗ от сверхтоков с меньшей выдержкой времени на отключение электродвигателя. В тех случаях, когда ответственные электродвигатели собственных нужд электростанций находятся под постоянным наблюдением дежурного персонала, защиту их от перегрузки можно выполнить с действием на сигнал.

Защиту электродвигателей, подверженных технологической перегрузке, желательно иметь такой, чтобы она, с одной стороны, защищала от недопустимых перегрузок, а с другой – давала возможность наиболее полно использовать перегрузочную характеристику электродвигателя с учетом предшествовавшей нагрузки и температуры окружающей среды. Наилучшей характеристикой РЗ от сверхтоков являлась бы такая, которая проходила несколько ниже перегрузочной характеристики (пунктирная кривая на рис. 9.6).

Защита с тепловым реле

Лучше других могут обеспечить характеристику, приближающуюся к перегрузочной характеристике электродвигателя, тепловые реле, которые реагируют на количество тепла Q , выделенного в сопротивлении его нагревательного элемента. Тепловые реле выполняются на принципе использования различия в коэффициенте линейного расширения различных металлов под влиянием нагревания. Основой такого теплового реле является биметаллическая пластина состоящая из спаянных по всей поверхности металлов a и b с сильно различающимися коэффициентами линейного расширения. При нагревании пластина прогибается в сторону металла с меньшим коэффициентом расширения и замыкает контакты реле.

Нагревание пластины осуществляется нагревательным элементом при прохождении по нему тока.

Тепловые реле сложны в обслуживании и наладке, имеют различные характеристики отдельных экземпляров реле, часто не соответствуют тепловым характеристикам электродвигате-

лей и имеют зависимость от температуры окружающей среды, что приводит к нарушению соответствия тепловых характеристик реле и электродвигателя. Поэтому тепловые реле применяются в редких случаях, обычно в автоматах 0,4 кВ.

Защита от перегрузки с токовыми реле

Для защиты электродвигателей от перегрузки обычно применяются МТЗ с использованием реле с ограниченно зависимыми характеристиками типа РТ-80 или МТЗ с независимыми токовыми реле и реле времени.

Преимуществами МТЗ по сравнению с тепловыми являются более простая эксплуатация их и более легкий подбор и регулировка характеристик РЗ. Однако МТЗ не позволяют использовать перегрузочные возможности электродвигателей из-за недостаточного времени действия их при малых кратностях тока.

Максимальная токовая РЗ с независимой выдержкой времени в однорелейном исполнении обычно применяется на всех асинхронных электродвигателях собственных нужд тепловых и атомных электростанций, а на промышленных предприятиях - для всех синхронных (когда она совмещена с РЗ от асинхронного режима) и асинхронных электродвигателей, являющихся приводами ответственных механизмов, а также для неответственных асинхронных электродвигателей с временем пуска более 12–13 с.

РЗ от перегрузки с зависимой выдержкой времени лучше согласовываются с тепловой характеристикой двигателя, однако и они недостаточно используют перегрузочную способность двигателей в области малых токов.

Защита от перегрузки с независимой или зависимой характеристикой выдержки времени может быть выполнена на устройстве УЗА-АТ и с независимой на устройстве УЗА-10. По вышеприведенным причинам – для обеспечения работы защиты от перегрузки в неполнофазных режимах – для защиты от перегрузки целесообразно использовать двухэлементную максимальную защиту, возложив функцию защиты от коротких замыканий на токовую отсечку. В состав некоторых модификаций УЗ-АТ входит однофазная защита от перегрузки, которую можно использовать в случае, если МТЗ занята для других целей, учитывая малую выдержку времени однофазной защиты от перегрузки (7–10 с), такую защиту целесообразно использовать только на сигнал. То же самое относится к защите на реле УЗА-10, которая имеет максимальную уставку по времени МТЗ – 5 с. Модификация УЗА-10А.2Э имеет функцию защиты от перегрузки взамен максимальной защиты с максимальной выдержкой времени 20сек.

Ток срабатывания защиты от перегрузки устанавливается из условия отстройки от $I_{ном}$ электродвигателя:

$$I_{CЗ} = \frac{k_{омс}}{k_{\epsilon}} \cdot I_{ном} \quad (9.13)$$

Время действия МТЗ от перегрузки $t_{ЗП}$ должно быть таким, чтобы оно было больше времени пуска электродвигателя $t_{пуск}$, а у электродвигателей, участвующих в самозапуске, больше времени самозапуска.

Время пуска асинхронных электродвигателей обычно составляет 10–15 с. Поэтому характеристика реле с зависимой характеристикой типа УЗА-АТ должна иметь при пусковом токе время, не меньшее 12–15 с. Выбирается характеристика 3 – крутая. На РЗ от перегрузки с независимой характеристикой выдержка времени принимается 12–20 с.

Защита от перегрузки с тепловой характеристикой выдержки времени микропроцессорных защит на специализированном реле MiCOM P220

Специализированная защита двигателей типа MiCOM P220 создает тепловую модель двигателя из составляющих прямой и обратной последовательности тока, потребляемого двигателем таким образом, чтобы учесть тепловое воздействие в статоре и роторе. Составляющая

обратной последовательности токов, потребляемых в статоре, генерирует в роторе токи значительной амплитуды, которые создают существенное повышение температуры в обмотке ротора. Результатом сложения, проведенного MiCOM P220 является эквивалентный тепловой ток $I_{эkv}$, отображающий повышение температуры, вызванное током двигателя. Ток $I_{эkv}$ вычисляется в соответствии с зависимостью:

$$I_{эkv} = \sqrt{I_{np}^2 + K_{\theta} I_{обр}^2} \quad (9.14)$$

Начиная с этого эквивалентного теплового тока, тепловой уровень двигателя Θ вычисляется каждые 100 мс защитой MiCOM P220 по следующему выражению:

$$\Theta_{I+1} = \left(\frac{I_{эkv}}{I_{\Theta>}} \right)^2 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{0,1}{T}\right) \right] + \Theta_I \cdot \exp\left(-\frac{0,1}{T}\right) \quad (9.15)$$

где:

K_{θ} – коэффициент усиления влияния тока обратной последовательности;

$I_{\Theta>}$ – уставка тока тепловой перегрузки;

Θ_I – значение теплового уровня, подсчитанное предварительно (на 100 мс раньше);

T – постоянная времени двигателя. В зависимости от режима работы двигателя защита использует одну из трех следующих постоянных времени:

тепловая постоянная времени T_{e1} , которая применяется, когда эквивалентный тепловой ток $I_{эkv}$ находится между 0 и $2 I_{\Theta>}$, т. е. когда двигатель работает (режим нагрузки или перегрузки);

начальная постоянная времени T_{e2} , которая применяется, когда эквивалентный тепловой ток $I_{эkv}$ больше чем $2 I_{\Theta>}$, т. е. когда двигатель запускается или при заклинивании ротора;

постоянная времени охлаждения T_{ox} , которая применяется, когда двигатель выключен (дискретный вход $L1$ в нулевом логическом положении – зажимы 22–24). В этом случае двигатель больше не потребляет ток, и значение теплового уровня поэтому снижается во времени по выражению:

$$\Theta_{I+1} = \Theta \cdot \exp\left(-\frac{0,1}{T_{ox}}\right) \quad (9.16)$$

Сигнал тепловой перегрузки “ТЕПЛ.ПЕРЕГР” генерируется, когда значение теплового уровня Θ достигнет 100%. Может быть выполнено действие защиты от перегрузки на отключение.

Выбор уставок функции перегрузки:

K_{θ} – коэффициент тока обратной последовательности. Учитывает повышенное воздействие тока обратной последовательности по сравнению с прямой на нагрев двигателя. При отсутствии необходимых данных принимается равным 4 для отечественных двигателей и 6 – для зарубежных.

$I_{\Theta>}$ – уставка тока тепловой перегрузки – вторичный ток срабатывания защиты.

$$I_{\Theta>} \geq 1,1 I_{н.дв.} / K_{mm} \quad (9.17)$$

Ток срабатывания пускового органа тепловой перегрузки принимается равным $1,2 I_{ном}$ двигателя.

T_{e1} – постоянная времени нагрева токами в диапазоне 1–2 $I_{н.дв.}$, нормальный процесс перегрузки, когда целесообразно учитывать теплоотдачу двигателя в окружающую среду. При отсутствии данных об этой постоянной времени принимается равной 10 мин.

T_{e2} – постоянная времени нагрева токами величиной более 2, пуск, заклинивание ротора, когда теплоотдачу двигателя в окружающую среду учитывать нецелесообразно. При отсутствии данных об этой постоянной времени принимается равной $0,8 T_{e1}$.

T_{ox} – постоянная времени охлаждения двигателя после его отключения, можно принять равной $4T_{e1}$. При этом учитывается, что в остановленном двигателе отсутствует искусственное охлаждение (остановлен вентилятор).

Таким образом, можно выбрать эти уставки, зная только номинальный ток двигателя, эти данные для многих двигателей дают существенный запас, но могут не обеспечить технологический процесс с частыми пусками или тяжелыми условиями пуска. Поэтому, при необходимости заглубить защиту, необходимо произвести тепловые испытания или тепловые расчеты двигателей.

Коррекция допустимого тока двигателя при изменении температуры окружающей среды. Если наружная температура превышает 40 градусов то уставка по допустимому току двигателя $I\Theta$ уменьшается пропорционально превышению окружающей температуры по коэффициенту K :

$K = 1 - \frac{T_{окр} - 40}{100}$. Функция вводится при ее наличии в реле и подключении к зажимам реле датчика температуры.

9.5 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТАВКИ РЕЛЕ МІСОМ Р220, СВЯЗАННЫЕ С ТЕПЛОВОЙ ПЕРЕГРУЗКОЙ ДВИГАТЕЛЯ

Запрет отключения от тепловой перегрузки при пуске двигателя

Функция обеспечивает завершение процесса пуска в случае достижения тепловой характеристикой Θ величины, равной 1 в процессе пуска. Функция работает, если перед пуском двигателя величина Θ была менее 0,9. При этом двигатель остается защищенным защитой от затяжного пуска. Функция автоматически выводится по истечении выдержки времени пуска $tI_{пуск}$. Уставки: **Да** или **Нет**.

Сигнализация тепловой перегрузки

Вводится при действии защиты от перегрузки на отключение: $\Theta_{сигн.} = 0,95$.

Запрет пуска

Повторный пуск запрещается, если тепловой уровень Θ имеет такую величину, что при повторном пуске двигатель перегреется. Пуск двигателя может быть обеспечен, если начальный уровень Θ не превышает 0,9.

$\Theta_{запрета пуска} = 0,9$.

Затяжной пуск

Время нормального пуска двигателей обычно может достигать 10–15 с, а для тяжелых условий пуска может достигать 25 с. Это время определяется, главным образом, механизмом, который приводится в действие двигателем. Так, на электростанции к двигателям с тяжелыми условиями пуска относятся двигатели дымососов, дутьевых вентиляторов, мельниц. Факт пуска определяется по получению сигнала о включении выключателя на вход $L1$ реле (**52A**) или включению выключателя и появлению пускового тока (**52 A + I**). При прямом пуске двигателя применяется способ (**52 A + I**). Способ устанавливается в подменю конфигурация.

Уставка по току пуска, по условию отстройки от реально возможной перегрузки двигателей:

$$I = 2I\Theta \quad (9.18)$$

Уставка по времени пуска должна отстраиваться от возможного времени пуска электродвигателя при неблагоприятных условиях:

$$TI_{пуск} = 1,2T_{пуск} \quad (9.19)$$

При отсутствии данных исходя из допускаемого времени пуска в обычных условиях 15 с принимается $TI_{пуск} = 18$ с.

Заклинивание ротора

Заклинивание ротора двигателя может произойти при пуске двигателя или в процессе его работы. Для этих условий можно выполнить разные уставки.

Заклинивание двигателя при пуске двигателя фиксируется по факту включения выключателя, и отсутствию на входе $L2$ после истечения выдержки времени $tI_{зак}$ сигнала от двигателя о его вращении.

Уставка по току пуска, по условию отстройки от реально возможной перегрузки двигателей: $I_{зак} = 2I_{\Theta}$.

Уставка по времени пуска должна отстраиваться от времени, после которого датчик скорости двигателя надежно зафиксирует его разворот.

$$TI_{зак} = 5 \text{ с}$$

При отсутствии на двигателе датчика вращения, эта функция не может быть реализована. И ее роль с большей выдержкой времени выполняет функция: **“затяжной пуск”**.

Функция заклинивание ротора при работающем двигателе вводится автоматически при его успешном развороте после истечения выдержки времени $TI_{пуск}$. Работает при условии отсутствия сигнала: **“разрешение самозапуска”**. Уставки по току и времени выполнены ранее. При наличии сигнала **“разрешение самозапуска”** эта функция блокируется на время $TI_{пуск}$.

Несимметрия. Защита двигателя от перегрузки токами обратной последовательности. Защищает двигатель от подачи напряжения с обратным чередованием фаз, от обрыва, от работы при длительной несимметрии напряжений.

При подаче на двигатель напряжения с обратным чередованием фаз двигатель начинает вращаться в обратную сторону, приводимый в действие механизм может быть заклинен или вращаться с моментом сопротивления, отличающимся от момента прямого вращения. Таким образом, величина тока обратной последовательности двигателя может колебаться в широких пределах. При обрыве фазы двигатель уменьшает вращающий момент в 2 раза и для компенсации у него в $1,5 \div 2$ раза увеличивается ток.

При несимметрии питающих напряжений ток обратной последовательности может иметь различную величину до самых малых значений. Появление тока обратной последовательности более всего влияет на нагрев ротора двигателя, где он наводит токи двойной частоты. Таким образом, целесообразно иметь защиту по I_2 , которая отключала бы двигатель для предотвращения его перегрева.

Защита имеет 2 ступени:

Ступень $I_{обр} >$ с независимой выдержкой времени. Ток срабатывания принимается равным $(0,2 \div 0,25) I_{ном}$ двигателя. Выдержка времени должна обеспечить отключение несимметричных коротких замыканий в прилегающей сети, для чего она должна быть на ступень больше чем защита питающего трансформатора.

$$tI_{обр} \geq t_{МТЗ} + Dt \quad (9.20)$$

Ступень $I_{обр}>>$ с зависимой характеристикой выдержки времени может быть использована для повышения чувствительности защиты, если известны реальные тепловые характеристики двигателя по току обратной последовательности.

Элементы тепловой автоматики двигателя

Потеря нагрузки.

Функция позволяет обнаружить расцепление двигателя с приводимым им в движение механизмом вследствие обрыва муфты, ленты транспортера, выпуск воды из насоса и т.д. по уменьшению рабочего тока двигателя.

Уставка минимального тока:

$$I \leq (1,2 \div 1,5) I_{xx} \quad (9.21)$$

где

I_{xx} – ток холостого хода двигателя (механизма) – определяется при испытаниях.

Выдержка времени минимального тока двигателя $tI<$ определяется исходя из технологических особенностей механизма – возможных кратковременных сбросов нагрузки, при отсутствии таких соображений принимается равным:

$$tI \leq 5 \text{ с}$$

Выдержка времени запрета автоматики минимального тока двигателя $t_{запр.}$ задерживает ввод автоматики при пуске двигателя, если нагрузка подключается к двигателю после его разворота. определяется исходя из технологии подключения нагрузки к двигателю, если нагрузка подключена к двигателю постоянно, уставка должна быть равна времени разворота двигателя плюс необходимый запас:

$$t_{запр.} = 1,2 T_{пуска} \quad (9.22)$$

Количество пусков двигателя

При отсутствии конкретных данных по двигателю можно руководствоваться следующими общими соображениями:

- Согласно ПТЭ двигателя обязаны обеспечивать 2 пуска из холодного состояния и 1 из горячего состояния.
- Постоянная времени охлаждения двигателя равна 40 мин.
- Можно выполнить следующие уставки в автоматике подсчета пусков:
 - Уставка по времени, в течение которого считаются пуски: $T_{отсчета} = 30$ мин.
 - Количество горячих пусков – 1.
 - Количество холодных пусков – 2.
 - Уставка по времени, в течение которого повторный пуск запрещен $T_{запрета} = 5$ мин.
- Минимальное время между пусками не использовать.

Время разрешения самозапуска.

Согласно СДМ, самозапуск двигателей на электростанциях должен обеспечиваться, при времени перерыва питания 2,5с. По этим данным производится расчетная проверка обеспечения самозапуска при перерыве питания двигателей на электростанциях.

Таким образом, для электростанций можно принять $T_{самозап} = 2,5$ с.

Для других условий следует определить время, на которое возможен перерыв питания, например время действия АВР, произвести расчетную проверку самозапуска, и если он обеспечивается при таком перерыве питания, установить указанное время на устройстве. Если са-

мозапуск обеспечивается при любом перерыве питания или он запрещается, функция «разрешение самозапуска» не вводится.

9.6 ЗАЩИТА ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В соответствии с ПУЭ, РЗ от замыканий на землю в обмотке статора с действием на отключение устанавливается на электродвигателях мощностью 2000 кВт и более при токах замыкания на землю более 5 А, а на электродвигателях меньшей мощности – при токах замыкания на землю более 10 А. В эксплуатации, однако, при токах замыкания на землю более 5 А, РЗ от замыканий на землю часто устанавливают на электродвигателях любой мощности, что способствует ограничению их повреждений при замыканиях на землю.

Защита от замыканий на землю реагирует на емкостный ток сети и выполняется с помощью одного токового реле которое подключается к ТТ нулевой последовательности (ТТНП), установленному на кабеле, питающем двигатель. Применяются ТТНП типов ТЗ, ТЗЛ, ТЗЛМ и др. Описание схемы установки защиты приводилось в главе 6.

В случае, когда питание электродвигателя осуществляется по нескольким параллельным кабелям (двум-четырем), вторичные обмотки ТТНП, надетые на каждый из них, соединяются последовательно или параллельно.

На электродвигателях большой мощности, для питания которых прокладывается больше четырех кабелей, РЗ от замыканий на землю выполняется с одним общим ТТНП типа ТНПШ с подмагничиванием аналогично защите генераторов.

Ток срабатывания РЗ выбирается на основании тех же соображений, что и для аналогичной РЗ кабельных линий, реагирующих на емкостный ток (50 Гц) (см. гл. 6):

$$I_{c.з.} = k_{омс} \cdot k_{\delta} \cdot I_c \quad (9.23)$$

где

I_c – собственный емкостный ток электродвигателя;

$k_{омс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2-1,3;

k_{δ} – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока электродвигателя при внешних перемежающихся замыканиях на землю. Для РЗ, действующей без выдержки времени, значение этого коэффициента принимается равным 3–4. Для повышения чувствительности РЗ допускается принимать уменьшенное значение $k_{\delta} = 1,5 \div 2$. Защита при этом выполняется с выдержкой времени 1-2 с.

Поскольку мощность ТТНП (типов ТЗ, ТЗР и др.) невелика, для обеспечения максимальной чувствительности РЗ от замыканий на землю к каждому типу ТТНП необходимо подбирать токовое реле на определенный ток срабатывания, имеющее соответствующее сопротивление обмотки (реле РТЗ-51, РТЗ-50, РТ-40/0,2 производства ЧЭАЗ). В составе защит УЗА, РС-80, имеется специальный промежуточный трансформатор для подключения ТТНП для защиты от замыканий на землю. Подобные вводы имеются в устройствах защиты ALSTOM серии MiCOM P120, P 200, применяемых для защиты двигателей.

В целях уменьшения перенапряжений при замыканиях на землю в сети собственных нужд (СН) энергоблоков ТЭС и АЭС большой мощности, а также повышения чувствительности и селективности действия РЗ электродвигателей 6 кВ и трансформаторов СН 6,3/0,1 кВ, эти сети могут работать с нейтралью, заземленной через резистор. Для этого на каждой секции блочных СН 6,3 кВ устанавливается дополнительный заземляющий трансформатор (ДТ), например типа ТСЗК-63, со схемой соединения обмоток звезда с заземленной нейтралью - треугольник. В нейтраль ДТ включаются параллельно два высоковольтных заземляющих резистора, по 200 Ом каждый, изготовленные из специального электротехнического бетона (бетела) (рис. 9.7, б). При этом в случае однофазного замыкания на землю в двигателе по его цепи будет протекать активный ток $3I_0 = 35 \div 40$ А (достаточный для надежного действия защиты и

допустимый по условию ограничения повреждения в двигателе от тока замыкания на землю). Одновременно по цепям неповрежденных элементов, присоединенных к тем же шинам, будут протекать только емкостные токи нулевой последовательности, от которых защиты рассматриваемых присоединений могут быть легко отстроены. Наличие заземляющих резисторов резко снижает вероятность перехода однофазных замыканий на землю в двухфазные и двойные КЗ, так как перенапряжения на неповрежденных фазах не будут превышать при этом значения:

$$U_{пер} = 1,8U_{ном} \quad (9.24)$$

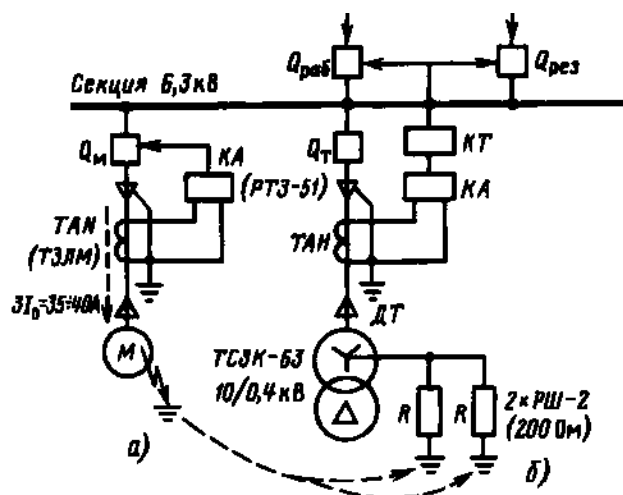


Рис. 9.7 Структурная схема защиты от замыканий на землю в сети собственных нужд 6,3 кВ

а – защита двигателя от замыканий на землю;

б – схема подключения дополнительного трансформатора с заземляющими резисторами

Защита электродвигателя от замыканий на землю, как и ранее, выполняется с помощью токового реле, подключенного к ТТНП и действующего на отключение электродвигателя без выдержки времени. При отказе защиты от замыканий на землю или выключателя на поврежденном присоединении или при замыкании $K_3^{(1)}$ на шинах секции имеется опасность повреждения заземляющих сопротивлений R в нейтрали дополнительного трансформатора $ДТ$ (рис. 9.7, б). Для исключения этого на $ДТ$ предусматривается защита нулевой последовательности ($КА$, $КТ$), действующая с выдержкой времени 0,6 с на отключение трансформатора (линии), питающего секцию 6 кВ.

Запрет АВР при этом не производится.

Для электродвигателей механизмов карьеров, рудников, торфоразработок и других предприятий, где требуется по условиям безопасности незамедлительное отключение замыкания на землю даже при очень малых значениях тока в месте повреждения (0,2-0,5 А) рекомендуется применять более чувствительную направленную РЗ от замыканий на землю типа ЗЗП-1 производства ЧЭАЗ. Эта защита не требует отстройки от собственного емкостного тока двигателя и, поэтому, может быть выполнена более чувствительной. Firmой «Энергомашвин» по заказу выпускается вариант защиты УЗА-АТ, имеющий направленную защиту от замыканий на землю.

Для выполнения РЗ от двойных замыканий на землю на электродвигателях, оснащенных продольной дифференциальной РЗ в двухфазном исполнении или, в случае, если основная ступень ЗЗ выполнена с выдержкой времени, ко вторичной обмотке ТТНП подключается действующее на отключение без выдержки времени второе токовое реле, имеющее $I_{сз} = 100-200$ А. В качестве такого реле может быть применено реле РС-40М1 Энергомашвин. Можно применить также микропроцессорное реле защиты имеющее несколько ступеней защиты от замыканий на землю например: фирмы «ALSTOM» серии MICOM P120, P 200.

9.7 ЗАЩИТА МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Защита минимального напряжения устанавливается на электродвигателях, которые необходимо отключать при понижении напряжения для обеспечения самозапуска ответственных электродвигателей, а также электродвигателей, самозапуск которых при восстановлении напряжения недопустим по условиям техники безопасности или особенностям технологического процесса.

На электростанциях к ответственным относятся такие электродвигатели, отключение которых вызывает снижение нагрузки или останов электростанции: двигатели питательных, конденсатных и циркуляционных насосов, дутьевых вентиляторов и питателей пыли. Неответственными считаются электродвигатели, отключение которых не отражается на нагрузке электростанции: мельниц при наличии промежуточных бункеров, багерных насосов и т.п.

Если мощность всех ответственных электродвигателей превышает допустимую мощность по условию самозапуска, то при понижении напряжения необходимо отключать и некоторые ответственные электродвигатели. По истечении времени, достаточного для разворачивания неотключаемых электродвигателей, отключенные ответственные электродвигатели можно включать обратно при помощи АПВ.

- Отключение электродвигателей при исчезновении напряжения обеспечивается установкой одного реле минимального напряжения, включенного на линейное напряжение. Существенным недостатком такой РЗ минимального напряжения является возможность ее неправильной работы в случае обрыва цепей напряжения. Поэтому РЗ с одним реле напряжения применима лишь для неответственных электродвигателей. Обычно применяется ЗМН с контролем снижения напряжения одновременно в трех фазах (схема «И»). В устройстве УЗА-АН фирмы «Энергомашвин» применяется именно такая логика выполнения ЗМН 2 ($U < <$). Такая логика не годится, если ЗМН используется в качестве блокировки по напряжению максимальной защиты (требуется реагирование блокировки на замыкание между двумя любыми фазами., поэтому в состав УЗА АН входит ступень ($U <$) работающая по схеме «ИЛИ». Более сложное микропроцессорное устройство защиты УЗА-10В.2 имеет переключение логики: схема «И» для ЗМН и схема «ИЛИ» для блокировки по напряжению.

Напряжение срабатывания реле $KV1$ принимается порядка $70\% U_{ном}$. Выдержки времени на отключение: 0,5-1,5 с – для неответственных электродвигателей, 10–15 с – для ответственных. На блочных электростанциях обычно применяется групповая защита минимального напряжения с уставками:

- 1 ступень – обеспечение самозапуска остающихся электродвигателей. Она действует на часть двигателей (малоответственных). Уставка выбирается по условиям обеспечения возврата при восстановлении напряжения после отключения коротких замыканий защитой, а так же предотвращение отключения двигателя при коротких замыканиях.

$$U \leq 0,7 U_n \quad (9.25)$$

Выдержка времени первой ступени отстраивается от времени действия защит отходящих линий (двигателей) и обычно равна по времени защите питающего ввода:

$$t_1 = t_{мтз. в} \quad (9.26)$$

Для устойчивой работы двигателей необходимо, чтобы все защиты отходящих линий имели токовую отсечку без выдержки времени. Если это условие не обеспечивается, двигатели могут затормозиться, и последует самозапуск всех двигателей, который может оказаться неуспешным, поэтому как правило уставка МТЗ рабочего и резервного ввода а значит и ЗМН равна 0.3 сек.

2 ступень используется для отключения остальных двигателей, если напряжение недостаточно для запуска двигателей, или по технологическим условиям самозапуск уже не целесообразен.

Уставка по напряжению равна напряжению, при котором двигатель уже не может развернуться:

$$U \ll (0,5 \div 0,6)U_n \quad (9.27)$$

Выдержка времени второй ступени определяется технологическими условиями работы механизмов агрегата и обычно равна по времени:

$$t_2 = 3 \div 9 \text{ с}$$

9.8 ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ НИЖЕ 1000 В.

Защиту электродвигателей напряжением 500, 380 и 220 В осуществляют, исходя из тех же требований, что и к электродвигателям более высоких напряжений. Для этих электродвигателей применяются мгновенная РЗ от междуфазных КЗ, РЗ от перегрузки, РЗ минимального напряжения. Защита от КЗ может осуществляться с помощью плавких предохранителей, при этом в качестве коммутационного аппарата используется трехфазный магнитный пускатель (контактор) подтянутый, пока на его катушку подано напряжение.

Магнитными пускателями называются трехфазные автоматические выключатели низкого напряжения (контакторы), рассчитанные на разрыв нормального рабочего тока двигателя и тока его перегрузки, но не тока КЗ. Отключение токов КЗ при применении магнитного пускателя возлагается на последовательно с ним включаемые предохранители. Схема включения с помощью пускателя и защиты предохранителями показана на рис 9.8. Магнитные пускатели (рис. 9.8) в большинстве случаев не имеют защелки и во включенном положении удерживаются действием электромагнита УА, обмотка которого подключена на напряжение питания. Включение магнитного пускателя осуществляется нажатием кнопки SB1. При этом замыкается цепь обмотки удерживающего электромагнита, якорь которого притягивается и замыкает механически связанные с ним силовые контакты. Кнопка SB1 имеет самовозврат, поэтому после ее размыкания цепь обмотки электромагнита остается замкнутой через вспомогательный контакт SQ, шунтирующий кнопку SB1. Для отключения пускателя вручную служит кнопка SB2, при нажатии которой разрывается цепь удерживания электромагнита, и якорь его, отпадая, размыкает силовые контакты УА1: При понижении напряжения питающей сети электромагнит отпадает, и электродвигатель отключается, чем осуществляется защита минимального напряжения. После восстановления напряжения магнитный пускатель сам включиться не может - включение его должно вновь осуществляться вручную. Защита электродвигателя от перегрузки выполняется тепловыми реле КА1 и КА2. Тепловые реле настраиваются таким образом, чтобы они не срабатывали от токов, проходящих при пуске и самозапуске электродвигателя.

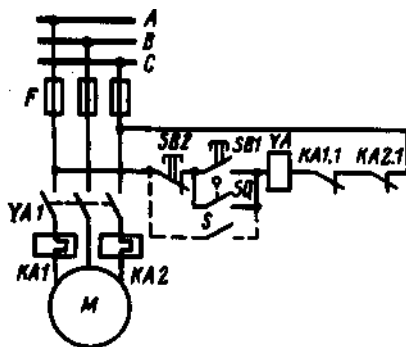


Рис. 9.8 Схема защиты электродвигателя напряжением до 500 В с магнитным пускателем

Схема включения цепей магнитного пускателя, приведенная на рис. 9.8, применяется для защиты неотчетственных электродвигателей, подверженных технологической перегрузке. В случае, если электродвигатель не подвержен перегрузкам, из схемы исключаются контакты тепловых реле. На ответственных электродвигателях, которые не должны отключаться при

снижениях напряжения, вместо кнопок управления *SB1* и *SB2* устанавливается однополюсный рубильник (выключатель), которым производится включение и отключение электродвигателя. После восстановления напряжения магнитный пускатель вновь включается, так как рубильник *S* остается замкнутым.

На электродвигателях мощностью 40-50 кВт применяются автоматические воздушные выключатели типов АВМ, АЗ100, АП50-ЗМТ, АЗ700. Автоматы имеют катушки включения и отключения, а также встроенные реле прямого или косвенного действия. Они остаются включенными при снятии напряжения питания. В последних вариантах автоматов для двигателей большой мощности используются выносные аналоговые или микропроцессорные устройства защиты, действующие на электромагнит отключения.

Защита от междуфазных КЗ осуществляется в простейшем случае электромагнитными расцепителями мгновенного срабатывания – отсечкой автоматического выключателя, которая резервируется расцепителем с зависимой характеристикой выдержки времени. В случаях, когда встроенные в автоматический выключатель расцепители не обеспечивают надежной защиты электродвигателя, применяется выносная защита в виде токовой отсечки с реле тока, подключенным к ТТ двух фаз, действующая без выдержки времени на независимый расцепитель. При выполнении защиты электродвигателей от КЗ необходимо учитывать, что сети напряжением до 500 В работают с заземленной нейтралью и, следовательно, в этих цепях возможны все виды КЗ, в том числе и однофазные. Поэтому предохранители устанавливаются во всех фазах, а расцепители и токовые реле, с помощью которых осуществляется РЗ от КЗ, также должны реагировать на токи, проходящие во всех фазах и нулевом проводе.

Поскольку токи однофазного КЗ на землю в сети 380 В обычно меньше токов трехфазного КЗ, не всегда удается обеспечить необходимую чувствительность электромагнитных расцепителей автоматических выключателей к однофазным КЗ. При этом для РЗ от однофазных КЗ используется чувствительное токовое реле, например типа РТ-40/0,2, присоединенное к ТТНП, надеваемому на силовую кабель, питающий электродвигатель. Так, выносную РЗ от однофазных КЗ на землю рекомендуется устанавливать на электродвигателях, питающихся от трансформаторов собственных нужд со схемой соединения обмоток Δ/Y_0 , у которых уставкой отсечки автоматического выключателя 4000 А и более. Такая же РЗ рекомендуется для электродвигателей с уставкой токовой отсечки автоматического выключателя 2000 А и более, питающихся от трансформаторов собственных нужд со схемой соединения обмоток Y/Y_0 , у которых токи однофазных КЗ на землю значительно меньше, чем у трансформаторов со схемой соединения обмоток Δ/Y_0 . Вследствие значительного заглубления отсечки автоматического выключателя по условию отстройки от пускового тока электродвигателя часто не удается обеспечить необходимую чувствительность защиты от перегрузки с помощью расцепителей, имеющих зависимую характеристику. В этом случае РЗ от перегрузки выполняется с помощью выносных реле тока и времени.

В отдельных случаях на электродвигателях устанавливается специальная РЗ от работы на двух фазах, действующая на отключение электродвигателя. Применение такой РЗ допускается на электродвигателях, защищенных от КЗ плавкими предохранителями и не имеющих действующей на отключение РЗ от перегрузки. Защита от режима работы двумя фазами осуществляется с помощью реле ЕЛ 11-13 производства СКБ «Ритм». Эта защита работает по факту появления напряжения обратной последовательности. Реле подключается после пускателя (автомата).

Специальные выносные защиты двигателей 0,4 кВ

Их имеется значительное количество вариантов. В качестве примера рассмотрим реле MiCOM P211, производства ALSTOM. Внешний вид реле и подключение показаны на рис. 9.9-9.10.

Реле MiCOM P211 защищает от:

- коротких замыканий;
- перегрузок;
- недогрузок;
- несимметричного режима;
- исчезновения фазы питания;
- перегрева двигателя;
- замыканий на землю (P211R);
- излишнего простоя и ремонта, обусловленного неисправностью защиты двигателя

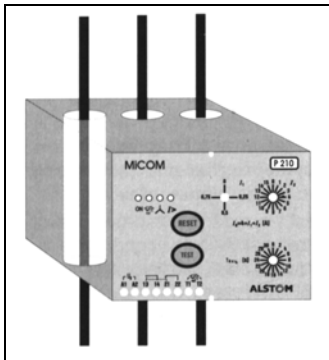


Рис. 9.9 Схема подключения для двигателей с $I_n > \min. I_\delta$

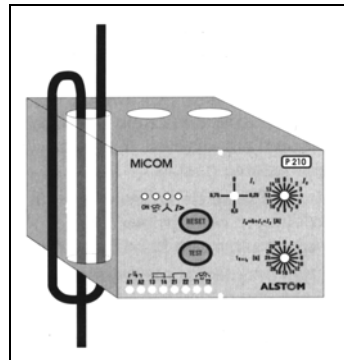


Рис. 9.10 Схема подключения для двигателей с $I_n < \min. I_\delta$

Реле включается непосредственно в силовые цепи двигателя, для чего в корпусе реле имеются отверстия для пропуска трех фаз двигателя. Если двигатель маломощный, то чувствительность защиты можно повысить пропустив провод в отверстие несколько раз. Количество витков определяется отношением номинального (базисного) тока двигателя к минимальной уставке. Так при номинальном токе двигателя равном 2,5 А можно пропустить 2 витка, и выполнить уставку $2,5 \cdot 2 = 5$ А

Если номинальный ток двигателя превышает 80 А, то устанавливаются трансформаторы тока, а их вторичные цепи должны проходить через реле, как показано на рис. 9.12. Рекомендуется применять трансформаторы тока класса 3 или 5 с током вторичной цепи 5 А. Трансформаторы тока подключаются в цепь питания двигателя.

Первичный ток трансформатора тока должен быть равен или больше $0,8 I_{ном}$.

Пример:

Номинальный ток двигателя $I_{ном} = 141$ А, $K_{mm} = 150/5$ А,

На MiCOM P211 устанавливается диапазон 4÷6А

Уставка:

$I = (5/150) \cdot 141 = 4,7$ А; должна быть установлена величина уставки 4,6 или 4,8 А.

Основой выбора уставок защиты является задание базисного тока I_δ , относительно которого задается остальные уставки. Базисный ток (I_δ) принимается равным номинальному току двигателя.

Защита от перегрузки работает по обратно-временной характеристике. Она пускается при токе нагрузки, равном $1,1 I_\delta$. Время отключения (t_{6I_δ}) задается при токе равном $6 I_\delta$ и выполняется в пределах 1-40 с при холодном состоянии двигателя. Таким образом, выбирается одна из 16 возможных характеристик. Задаваемая характеристика должна соответствовать двукратному времени разворота двигателя из холодного состояния.

Защита имеет тепловую память: при токе нагрузки, превышающем $0,9 I_\delta$ защита начинает фиксировать нагрев двигателя и постепенно, через $36 t_{6I_\delta}$ переходит на характеристику нагретого двигателя. Тепловое состояние нагретого двигателя принимается за 50%. Таким образом защита обеспечивает выполнение требований ПТЭ о возможности пуска двигателя 2 раза из

холодного состояния и 1 раз из горячего. В таблице 9.1 приведена характеристика защиты строка «0» соответствует холодному состоянию двигателя, строка «50» горячему.

Таблица 9.1

Кратность I_b	Тепловое состояние двигателя [%]	Время пуска для $I = 6 \times I_b$															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40
6	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40
	50	0,54	1,09	1,50	2,10	2,58	3,12	3,54	4,14	4,74	5,06	7,90	10,3	12,9	14,8	17,2	20,6
5	0	1,44	2,98	4,44	5,96	7,40	9,00	10,3	11,9	13,5	14,8	22,7	29,6	37,2	42,4	49,5	59,7
	50	0,72	1,96	2,28	3,06	3,4	4,56	5,22	6,06	6,84	7,48	11,5	15,0	18,8	21,5	25,0	30,2
4	0	2,34	4,70	7,02	9,42	11,7	14,3	16,6	18,8	21,4	23,5	36,2	47,8	58,8	67,0	78,9	94,5
	50	1,2	2,49	3,60	4,80	5,94	7,32	8,28	9,66	10,9	11,9	18,4	24,0	30,0	34,2	4,02	48,2
3	0	4,32	8,80	12,9	17,3	21,5	26,3	29,8	34,6	39,2	43,1	66,3	87,0	107	124	143	174
	50	2,28	4,73	6,72	8,94	11,1	13,6	15,5	17,9	20,3	22,3	34,3	45,0	55,5	64,2	74,0	90,4
2	0	10,7	22,0	32,3	43,3	54,0	65,5	74,4	86,0	97,7	108	166	216	276	311	357	418
	50	5,88	12,4	17,6	23,6	29,4	35,7	40,5	46,9	53,2	58,8	90,5	118	150	170	194	228
1,5	0	23,1	47,0	68,7	92,5	116	141	159	188	210	233	360	449	572	664	791	978
	50	13,7	28,9	40,8	55,0	69,3	84,2	94,7	112	125	139	214	265	340	396	472	540

Тепловая память при полном нагреве двигателя будет отменена через время $216t_{6I_b}$ после того, как величина тока уменьшится ниже $0,7I_b$

Защита от несимметрии при неполнофазном режиме срабатывает при несимметрии, превышающей 10-50% согласно заданной уставки (обрыв фазы – 100% несимметрия).

Уставка токовой отсечки может быть выполнена в пределах $5 - 12 I_b$, выдержка времени 0,1 с.

Защита минимального тока вводится для отключения двигателя в случае его расцепления с приводимым механизмом или прекращения подачи материала в приводимый механизм. Применение такой защиты не обязательно и диктуется обычно требованиями технологического процесса.

Защита от повышения температуры использует встроенные внутри двигателя датчики температуры – терморезисторы, общим сопротивлением 1500 Ом в холодном состоянии. Защита срабатывает при увеличении сопротивления до величины 4000 Ом.

Имеется реле защиты специально предназначенное для подключения на трансформаторы тока: MiCOM P211R. В состав функций реле входит дополнительно защита от замыканий на землю. Такое реле целесообразно применять для двигателей напряжением 3-10 кВ.

9.9 ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Некоторые особенности синхронных электродвигателей

При рассмотрении РЗ синхронных электродвигателей необходимо учитывать их особенности:

Пуск большинства синхронных электродвигателей производится при отсутствии возбуждения прямым включением в сеть. Для этой цели на роторе синхронного электродвигателя предусматривается дополнительная короткозамкнутая обмотка, выполняющая во время пуска ту же роль, что и в короткозамкнутом роторе асинхронного электродвигателя. Когда скольжение электродвигателя приближается к нулю, включается возбуждение, и электродвигатель втягивается в синхронизм под влиянием появляющегося при этом синхронного момента.

Во время пуска синхронный электродвигатель потребляет из сети повышенный ток, который по мере уменьшения скольжения затухает, так же как и у асинхронного электродвигателя.

Для уменьшения понижения напряжения и пусковых токов мощные синхронные электродвигатели пускаются через реактор, который затем шунтируется. Защиты синхронных электродвигателей, как и РЗ асинхронных электродвигателей, должны быть отстроены от токов, возникающих при их пуске или самозапуске, имеющих место при восстановлении напряжения в сети.

Момент синхронного электродвигателя зависит от напряжения сети U_δ , ЭДС электродвигателя E_d и угла сдвига δ между U_δ и E_d . Без учета потерь в статоре и роторе

$$M_\delta = U_\delta \cdot E_d \sin \delta / X_d \quad (9.28)$$

где

X_d – синхронное сопротивление двигателя.

При постоянных значениях U_δ и E_d каждой нагрузке электродвигателя соответствует определенное значение угла δ . В случае понижения напряжения в сети, как следует из выражения (9.14), момент M_δ уменьшается. Если при этом он окажется меньше момента сопротивления M_c механизма, то устойчивая работа синхронного электродвигателя нарушается, возникают качания и электродвигатель выходит из синхронизма. Нарушение устойчивости возможно также при перегрузке электродвигателя (увеличение δ) или снижении возбуждения (уменьшение E_d).

Эффективным средством повышения устойчивости электродвигателя является форсировка возбуждения, увеличивающая его ЭДС. Опыт показывает, что при глубоких понижениях напряжения (до нуля) синхронные электродвигатели, работающие с номинальной нагрузкой, выходят из синхронизма, если перерыв питания превосходит 0,5 с.

При нарушении синхронизма частота вращения электродвигателя уменьшается, и он переходит в асинхронный режим. При этом в пусковой обмотке и цепи ротора появляются токи, создающие дополнительный асинхронный момент, под влиянием которого синхронный электродвигатель может остаться в работе с некоторым скольжением.

Токи, появляющиеся в статоре, роторе и пусковой обмотке электродвигателя при асинхронном режиме, вызывают повышенный нагрев их, поэтому длительная работа синхронных электродвигателей в асинхронном режиме с нагрузкой более 0,4-0,5 номинальной недопустима.

В связи с этим, появляется необходимость в специальной РЗ от асинхронного режима, которая должна реализовать мероприятия, обеспечивающие ресинхронизацию электродвигателя, или отключить его. Ресинхронизация состоит в том, что с электродвигателя снимается возбуждение (при этом его асинхронный момент повышается и скольжение уменьшается), через некоторое время включается возбуждение, и электродвигатель вновь втягивается в синхронизм. Признаком нарушения синхронизма электродвигателя является появление колебаний тока в статоре и переменного тока в роторе.

Исследования и опыт эксплуатации показывают, что после отключения КЗ или включения резервного источника питания многие синхронные электродвигатели могут самозапущаться, т. е. вновь (сами) втягиваться в синхронизм. Самозапуск синхронных электродвигателей возможен, если после восстановления напряжения под влиянием возросшего асинхронного момента скольжение электродвигателя настолько уменьшится, что он сможет снова втянуться в синхронизм.

Защиты, применяемые на синхронных электродвигателях

На синхронных электродвигателях устанавливаются следующие РЗ: от междуфазных повреждений в статоре; от замыканий обмотки статора на землю; от перегрузки; от асинхронного хода; от понижения напряжения в сети.

Защита от междуфазных повреждений выполняется мгновенной в виде токовой отсечки или продольной дифференциальной защиты по такой же схеме, как у асинхронных электродвигателей. Отличие заключается в том, что РЗ синхронного электродвигателя одновременно с выключателем отключает АГП. При применении тиристорного возбуждения и отсутствии АГП защита действует на инвертирование возбудителя. Ток срабатывания отсечки отстраивается от пусковых токов и токов самозапуска электродвигателя. Крупные электродвигатели оборудуются продольной дифференциальной РЗ в двухфазном исполнении. Защита от замыканий обмотки статора на землю применяется при токах замыкания на землю более 5 -10 А. Защита от перегрузки обычно выполняется совмещенной с РЗ от асинхронного хода (см. рис.9.12).

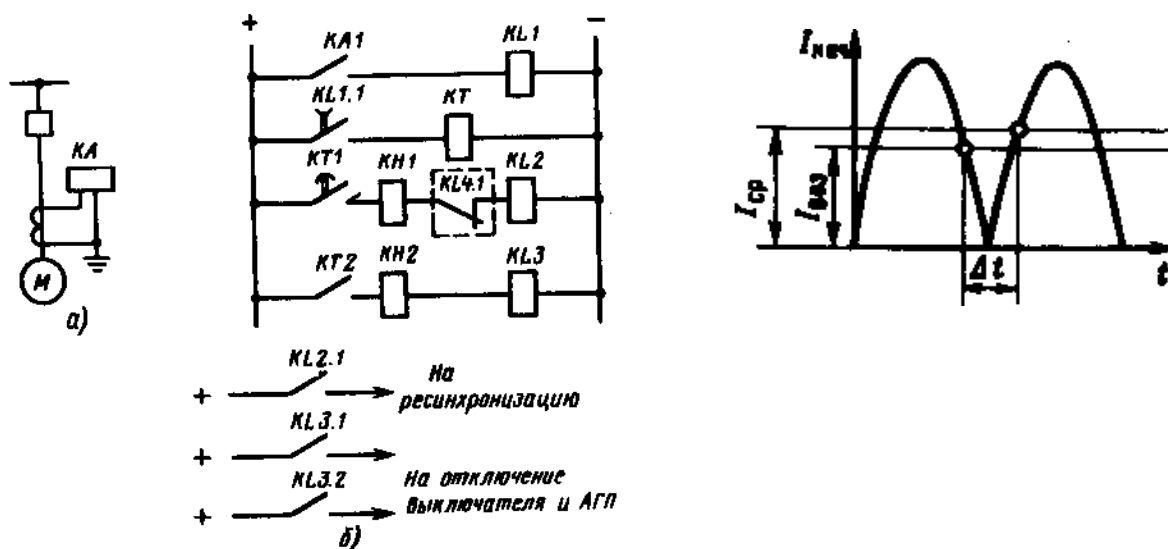


Схема защиты синхронного электродвигателя от асинхронного режима: на электромеханических реле

Изменение тока статора синхронного электродвигателя при асинхронном режиме

а — цепи тока;

б — цепи постоянного оперативного тока

В качестве пускового органа в схеме РЗ от асинхронного режима и перегрузки используется токовое реле КА типа РТ-40. Это реле воздействует при срабатывании на промежуточное реле КЛ1 контакты которого КЛ1.1 в цепи реле времени КТ замыкаются мгновенно, а размыкаются с замедлением. При асинхронном режиме реле времени КТ не успевает возвратиться за время Δt спада тока между циклами качаний (рис. 9.13) и постепенно, за несколько периодов качаний набирает время и срабатывает на отключение. Для надежной работы РЗ время возврата t_{B03} якоря промежуточного реле КЛ1 должно быть больше времени Δt (рис. 9.13), в течение которого ток качаний недостаточен для действия реле, т. е. $t_{B03} > \Delta t$. Выдержка времени РЗ выбирается большей времени затухания пусковых токов электродвигателя. Устройство защиты двигателя УЗА-10А.2Э фирмы «Энергомашвин» имеет выдержку на возврат ИО защиты от перегрузки порядка 0.5 сек, что позволяет его успешно использовать в качестве защиты от асинхронного режима.

Реле времени КТ имеет две выдержки времени. По истечении первой выдержки времени замыкается контакт КТ1, после чего промежуточное реле КЛ2 подает команды на осуществление ресинхронизации.

В случае, если ресинхронизация не происходит и качания тока продолжаются, замыкаются контакты реле времени $KT2$, после чего промежуточное реле $KL3$, замкнув свои контакты, подает команды на отключение выключателя и $АГП$.

Для предотвращения срабатывания РЗ при форсировке возбуждения, когда увеличивается ток статора, цепь обмотки реле времени размыкается контактом $KL4.1$. На синхронных двигателях большой мощности в качестве защиты от асинхронного режима возможно применение реле сопротивления, как на генераторах. Защита минимального напряжения выполняется так же, как на асинхронных электродвигателях.

Уставка по току такой комбинированной защиты выбирается так же как обычная защита от перегрузки: ток срабатывания по формуле (9.28), выдержка времени отстраивается от времени пуска двигателя с учетом времени возврата реле $KL1$.

$$t_{с.з.} = t_{сам} + t_{возKL1} + t \quad (9.29)$$

Учитывая возможность затягивания процесса разворота, время запаса (t_3) принимается равным 2-3 с.

Время возврата реле $KL1$ должно перекрывать время возврата токового реле в период асинхронного режима: $t_{возKL1} > \Delta t$

Можно принять $t_{возKL1}$ равным 0,5-0,7с.

В устройстве MiCOM P241 имеется защита, предназначенная для выявления асинхронного режима, действующая по величине $\cos \varphi$. Эта защита способна четко выявить отключение возбуждения и переход двигателя в асинхронный режим без возбуждения. При асинхронном режиме с возбуждением эта защита может не действовать из-за колебаний мощности и периодического возврата измерительного органа. Для того чтобы она действовала и в этом режиме требуется уменьшить выдержку времени защиты таким образом, чтобы при асинхронном режиме она успевала срабатывать в зоне пониженного $\cos \varphi$. Пока отсутствуют результаты испытаний такой защиты на реальных двигателях. Поэтому, при внедрении такой защиты, необходимо провести испытания и уточнить уставки. Для начала можно принять уставки равными: $\cos \varphi = 0,7$; $t = 0,5$ с.

Выбор защиты минимального напряжения для отделения синхронных двигателей

Как правило, синхронный двигатель, не допускает подачи несинхронного напряжения в случае, если возбуждение его включено. Поэтому при исчезновении напряжения или его посадке, синхронные двигатели должны отключаться от сети, а после восстановления напряжения могут включаться вновь, если их включение необходимо, и они имеют схему автоматического пуска. Возможен также их перевод в асинхронный режим отключением возбуждения, и подачей возбуждения после появления напряжения.

С целью предотвращения подачи напряжения на возбужденные синхронные двигатели, автомата, которая подает напряжение на шины, должна выполняться с контролем отсутствия напряжения. Недопустимо, например, выполнение АВР только по признаку отключения питающего ввода.

Защита минимального напряжения для синхронного двигателя выбирается как 1 ступень минимального напряжения для асинхронных двигателей.

$$U \leq 0,7 \cdot U_{ном} \quad (9.30)$$

$$t = 0,5 \text{ с}$$

Примечание. Для обеспечения устойчивой работы двигателя и связанного с ним механизма, необходимо не допускать подключения к секции шин, откуда питаются синхронные двигатели, посторонней нагрузки. Если это невозможно, то посторонние фидера должны

иметь отсечку без выдержки времени. В ряде случаев применяется специальная отсечка по напряжению, с уставкой, равной уставке защиты минимального напряжения, без выдержки времени. Уставка по напряжению отсечки и защиты минимального напряжения в этом случае обычно принимается равной $0,6 U_{ном}$.

Отключение синхронных двигателей при понижении частоты

Для ускорения подачи напряжения, работой АВР или АПВ целесообразно отключать двигатели также автоматикой понижения частоты. После отключения питающего напряжения двигатель быстро тормозится, и частота напряжения, которое синхронный двигатель генерирует на шины, быстро падает. При быстром его отключении, сразу исчезает напряжение подпитки и пускается схема АВР (АПВ).

При выборе уставки по частоте, следует иметь в виду другую автоматику, которая установлена в питающей системе – автоматическая частотная разгрузка (АЧР). Поэтому уставка отключения СД по частоте должна быть отстроена от самой низкой уставки быстродействующей АЧР, которая в настоящее время равна 46,5Гц и 0.5с. Если двигатель сам подключен к какой то очереди АЧР, в качестве уставки можно принять уставку этой очереди. Если нет, можно принять уставку по частоте равной: 46 Гц и 0,5с.

9.10. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НЕКОТОРЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ФИРМ

Фирма GE.

MIG - содержит токовую отсечку, максимальную защиту, защиту от замыканий на землю с выдержкой и без выдержки времени, защиту от перегрузки, от несимметрии по фазам, защиту от длительного пуска и застревания ротора.

M60 - содержит дифзащиту, токовую отсечку, защиту от замыканий на землю с выдержкой и без выдержки времени, защиту от перегрузки, по току обратной последовательности, защиту от повышения и понижения напряжения. повышения напряжения обратной последовательности.

Фирма ABB

REM 543 может включать в себя 3 ступени токовой защиты, 2 ступени токовой защиты с блокировкой по напряжению, 3 ступени направленной или ненаправленной токовой защиты от замыканий на землю, дифференциальную защиту, защиту от перегрузки и несимметричного режима, 2 ступенчатую защиту от повышения и понижения напряжения, 2 ступенчатую защиту от повышения напряжения обратной последовательности, защиту пусковых режимов двигателя, защиту от реверса фаз. Перечень функций, входящих в конкретное устройство выбирается в каждом случае, т.к. вместить их одновременно все невозможно по загрузке процессора.

SPAC 802 содержит токовую отсечку, максимальную защиту, защиту от замыканий на землю с выдержкой времени, защиту от перегрузки, от несимметрии по фазам, сброса нагрузки, защиту пусковых режимов двигателя, защиту от реверса фаз. Имеется модификация SPAC 802-104 для защиты двухскоростного двигателя.

Фирма SIEMENS

7SJ551 содержит токовую отсечку, максимальную защиту, защиту от замыканий на землю с выдержкой и без выдержки времени, защиту от перегрузки, от сброса нагрузки, по току обратной последовательности, защиту пусковых режимов двигателя, защиту от повышения и понижения напряжения.

7SJ60 содержит токовую отсечку, максимальную защиту, защиту от замыканий на землю с выдержкой и без выдержки времени, защиту от перегрузки, от сброса нагрузки, по току обратной последовательности, защиту пусковых режимов двигателя.

7UT512 / 513 - содержит дифзащиту, токовую отсечку, защиту от замыканий на землю с выдержкой и без выдержки времени, защиту от перегрузки, 7UT513 имеет также чувствительную защиту от замыканий на землю на принципе сравнения токов нулевой последовательности.

SEL

SEL 501 - содержит токовую защиту, защиту от замыканий на землю, защиту от перегрузки симметричным током и током обратной последовательности, защиту обратной последовательности.

SEL 387A содержит дифзащиту, токовую защиту, защиту от замыканий на землю, защиту от по току обратной последовательности.

Введение

В данный раздел введены некоторые виды электроавтоматики широко распространенные в электросетях. К ним относятся устройства автоматического повторного включения (АПВ), автоматического ввода резервного питания (АВР), автоматической частотной разгрузки (АЧР), автоматического повторного включения после работы АЧР (ЧАПВ), автоматики регулирования напряжения трансформаторов (АРН), схема которых выполнена на электромеханических реле, в связи с их широкой распространенностью в настоящее время и, еще в связи с тем, что на примере этих схем легко разобраться к предъявляемой к схемам автоматики требованиям и путях ее реализации. Затем приведены принципы выполнения автоматики на современных микроэлектронных и микропроцессорных устройствах изготовления фирмы “Энергомашвин” и зарубежных фирм.

10.1 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АПВ)

10.1.1 Назначение АПВ

Многолетний опыт эксплуатации линий электропередачи показал, что значительная часть коротких замыканий (КЗ), вызванных перекрытием изоляции, схлестыванием проводов и другими причинами, при достаточно быстром отключении линий релейной защитой самоустраняется. При этом электрическая дуга, возникшая в месте КЗ, гаснет, не успев вызвать существенных разрушений, препятствующих обратному включению линий под напряжение. Такие самоустраняющиеся повреждения принято называть неустойчивыми.

Статистические данные о повреждаемости линий электропередачи за длительный период эксплуатации показывают, что доля неустойчивых повреждений весьма высока и составляет 50–90%.

Учитывая, что отыскание места повреждения на линии электропередачи путем ее обхода требует длительного времени и, что многие повреждения носят неустойчивый характер, обычно при ликвидации аварий оперативный персонал производит опробование линии путем ее обратного включения под напряжение. Операцию обратного включения под напряжение отключившейся линии называют повторным включением. Линия, на которой произошло неустойчивое повреждение, при повторном включении остается в работе. Поэтому повторные включения при неустойчивых повреждениях принято называть успешными.

Реже на линиях возникают такие повреждения, как обрывы проводов, тросов или гирлянд изоляторов, падение или поломка опор и т. д. Такие повреждения не могут самоустраниться, и поэтому их называют устойчивыми. При повторном включении линии, на которой произошло устойчивое повреждение с коротким замыканием, линия вновь отключается защитой. Поэтому повторные включения линий при устойчивых повреждениях называют неуспешными.

Повторное неавтоматическое включение линий на подстанциях с постоянным оперативным персоналом или на телеуправляемых объектах занимает несколько минут, а на подстанциях нетелемеханизированных и без постоянного оперативного персонала 0,5–1 час и более. Поэтому для ускорения повторного включения линий и уменьшения времени перерыва электроснабжения потребителей широко используются специальные устройства автоматического повторного включения (АПВ). Время действия АПВ обычно не превышает нескольких секунд. Поэтому они при успешном включении быстро подают напряжение потребителям, что не в состоянии обеспечить оперативный персонал.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) обязательно применение АПВ – на всех воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линиях напряжением 1000 В и выше. Автоматическое повторное включение восстанавливает нормальную схему также и в тех случаях, когда отключение выключателя происходит вследствие ошибки персонала или ложного действия релейной защиты.

Наиболее эффективно применение АПВ на линиях с односторонним питанием, так как в этих случаях каждое успешное действие АПВ восстанавливает питание потребителей и предотвращает аварию.

В кольцевых сетях отключение одной из линий не приводит к перерыву питания потребителей. Однако и в этом случае применение АПВ целесообразно, так как ускоряет ликвидацию ненормального режима и восстановление нормальной схемы сети, при которой обеспечивается наиболее надежная и экономичная работа.

Опыт эксплуатации показал, что неустойчивые КЗ часто бывают не только на воздушных линиях, но и на шинах подстанций. Поэтому на подстанциях, оборудованных быстродействующей защитой шин, также применяются АПВ, которые производят повторную подачу напряжения на шины в случае их отключения релейной защитой. Автоматическое повторное включение шин имеет высокую успешность и эффективность, поскольку каждый случай успешного действия предотвращает аварийное отключение целой подстанции или ее части.

Устройствами АПВ оснащаются также все одиночно работающие трансформаторы мощностью 1000 кВА и более и трансформаторы меньшей мощности, питающие ответственную нагрузку. Автоматическое повторное включение трансформаторов выполняется так, что их действие происходит при отключении трансформатора от максимальной токовой защиты. Повторное включение при повреждении самого трансформатора, когда он отключается защитой от внутренних повреждений, как правило, не производится. Успешность действия АПВ трансформаторов и шин так же высока, как воздушных линий, и составляет 70–90%.

В ряде случаев АПВ успешно используются на кабельных и на смешанных кабельно-воздушных тупиковых линиях 6–10 кВ. При этом, несмотря на то, что повреждения кабелей бывают, как правило, устойчивыми, успешность действия АПВ составляет 40–60%. Это объясняется тем, что АПВ восстанавливает питание потребителей при неустойчивых повреждениях на шинах, при отключении линий вследствие перегрузки, при ложных и неселективных действиях защиты. Применение АПВ позволяет в ряде случаев упростить схемы релейной защиты и ускорить отключение КЗ в сетях высокого напряжения, что также является положительным качеством этого вида автоматики.

10.1.2 Классификация АПВ. Основные требования к схемам АПВ

В эксплуатации получили применение следующие виды АПВ:

- трехфазные, осуществляющие включение трех фаз выключателя после их отключения релейной защитой;
- однофазные, осуществляющие включение одной фазы выключателя, отключенной релейной защитой при однофазном КЗ;
- комбинированные, осуществляющие включение трех фаз (при междуфазных повреждениях) или одной фазы (при однофазных КЗ).

Трехфазные АПВ в свою очередь подразделяются на несколько типов: простые (ТАПВ), быстродействующие (БАПВ), с проверкой наличия напряжения (АПВНН), отсутствия напряжения (АПВОН), с ожиданием синхронизма (АПВОС), с улавливанием синхронизма (АПВУС) и др.

По виду оборудования, на которое действием АПВ повторно подается напряжение, различают: АПВ линий, АПВ шин, АПВ трансформаторов, АПВ двигателей.

По числу циклов (кратности действия) различают: АПВ однократного действия и АПВ многократного действия.

Устройства АПВ, которые осуществляются с помощью специальных релейных схем, называются электрическими, а встроенные в грузовые или пружинные приводы – механическими.

Схемы АПВ, применяемые на линиях и другом оборудовании, в зависимости от конкретных условий могут существенно отличаться одна от другой. Однако все они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Схемы АПВ должны приходить в действие при аварийном отключении выключателя (или выключателей), находившегося в работе. В некоторых случаях схемы АПВ должны отвечать дополнительным требованиям, при выполнении которых разрешается пуск АПВ: например, при наличии или, наоборот, при отсутствии напряжения, при наличии синхронизма, после восстановления частоты и т. д.
2. Схемы АПВ не должны приходить в действие при оперативном отключении выключателя персоналом, а также в случаях, когда выключатель отключается релейной защитой сразу же после его включения персоналом, т. е. при включении выключателя на КЗ, поскольку повреждения в таких случаях обычно бывают устойчивыми. В схемах АПВ должна также предусматриваться возможность запрета действия АПВ при срабатывании отдельных защит. Так, например, как правило, не допускается действие АПВ трансформаторов при внутренних повреждениях в них. В отдельных случаях не допускается действие АПВ линий при срабатывании дифференциальной защиты шин.
3. Схемы АПВ должны обеспечивать определенное количество повторных включений, т. е. действие с заданной кратностью. Наибольшее распространение получили АПВ однократного действия. Применяются также АПВ двукратного, а в некоторых случаях и трехкратного действия.
4. Время действия АПВ должно быть минимально возможным, для того чтобы обеспечить быструю подачу напряжения потребителям и восстановить нормальный режим работы. Наименьшая выдержка времени, с которой производится АПВ на линиях с односторонним питанием, принимается 0,3–0,5 с. Вместе с тем, в некоторых случаях, когда наиболее вероятны повреждения, вызванные набросами и касаниями проводов, передвижными механизмами, целесообразно для повышения успешности АПВ принимать увеличенные выдержки времени.
5. Схемы АПВ должны автоматически обеспечивать готовность выключателя, на который действует АПВ, к новому действию после его включения.

10.1.3 Электрическое АПВ однократного действия

Электрические АПВ однократного действия с автоматическим возвратом получили наиболее широкое распространение. Наиболее часто такие АПВ выполняются с помощью комплектных устройств типа РПВ-58 (рис.10.1). В этом реле однократность АПВ обеспечивается за счет конденсатора C , который заряжается только при включенном положении выключателя.

В рассматриваемой схеме дистанционное управление выключателем производится ключом управления КУ типа МКВФ, у которого предусмотрена фиксация положения последней операции. Поэтому после операции включения ключ остается в положении «Включено» (B_2), а после операции отключения – в положении «Отключено» (O_2). Когда выключатель включен и ключ управления находится в положении «Включено», к конденсатору C подводится плюс оперативного тока через контакты ключа, а минус через зарядный резистор R_2 . При этом конденсатор заряжен и схема АПВ находится в состоянии готовности к действию, как показано на рис. 10.1.

При включенном выключателе реле положения «Отключено» РПО, осуществляющее контроль исправности цепей включения, током не обтекается и контакт его в цепи пуска АПВ разомкнут.

Пуск АПВ происходит при отключении выключателя под действием релейной защиты в результате возникновения несоответствия между положением ключа, которое не изменилось, и положением выключателя, который теперь отключен. Несоответствие положений ключа управления и выключателя характеризуется тем, что через контакты ключа 1–3 на схему АПВ по-прежнему подается плюс оперативного тока, а ранее разомкнутый вспомогательный кон-

[illegible]

При срабатывании реле времени размыкается его мгновенный размыкающий контакт *PB1.1*, вводя в цепь обмотки реле дополнительное сопротивление (резистор *R1*). Это приводит к уменьшению тока в обмотке реле, благодаря чему обеспечивается его термическая стойкость при длительном прохождении тока.

Если повреждение на линии было неустойчивым, то она остается в работе. После размыкания контакта реле времени конденсатор C начнет заряжаться через зарядный резистор R_2 . Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы время заряда составляло 20–25 с. Таким образом, спустя указанное время схема АПВ будет, автоматически подготовлена к новому действию.

При оперативном отключении выключателя ключом управления *КУ* несоответствия не возникает и АПВ не действует, так как одновременно с подачей импульса на отключение выключателя контактами ключа 6–8 размыкаются контакты 1–3, чем снимается плюс оперативного тока со схемы АПВ. Поэтому сработает только реле *РПО*, а реле *РВ1* и *РП1* не сработают. Одновременно со снятием оперативного тока контактами 1–3 *КУ* замыкаются контакты 2–4 и конденсатор *С* разряжается через сопротивление *РЗ*. При оперативном включении выключателя ключом управления готовность АПВ к действию наступает после заряда конденсатора *С* через 20–25 с.

При отключении линии защитой *РЗ*, когда действие АПВ не требуется, через резистор *РЗ* производится разряд конденсатора *С*.

Для предотвращения многократного включения выключателя на устойчивое КЗ, что могло бы иметь место в случае застревания контактов реле *РП1* в замкнутом состоянии, в схеме управления (рис. 2-1) устанавливается специальное промежуточное реле *РБМ* типа РП-232 с двумя обмотками: рабочей последовательной и удерживающей параллельной. Реле *РБМ* срабатывает при прохождении тока по катушке отключения выключателя и удерживается в сработавшем положении до снятия команды на включение. При этом цепь обмотки *КП* размыкается размыкающим контактом *РБМ*, предотвращая включение выключателя.

На телемеханизированных подстанциях для управления выключателями используются ключи управления без фиксации положения типа ПМОВ или МКВ, а для запоминания предыдущей команды управления предусматриваются специальные реле фиксации команды. Указанные выше ключи управления имеют три положения: «Включить», «Отключить» и «Нейтральное», причем после операций включения и отключения ключ возвращается в нейтральное положение.

В качестве реле фиксации используются двухпозиционные промежуточные реле типов РП8 и РП11. Схема включения обмоток и контактной системы реле РП11 приведена на рис. 10.2.

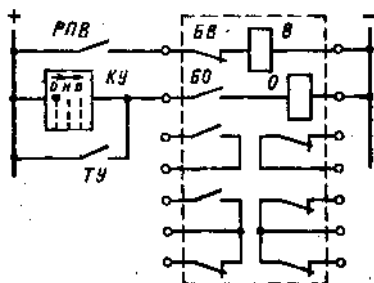


Рис. 10.2 Схема включения обмоток двухпозиционного промежуточного реле типа РП11

Промежуточное реле РП11 (РП8) имеет два электромагнита с обмотками *В* и *О*, между которыми расположен якорь, связанный с контактной системой. Когда ток в обмотках обоих электромагнитов отсутствует, якорь реле находится в правом или левом положении в зависимости от того, в обмотку какого электромагнита был подан последний импульс тока. Последовательно с обмотками электромагнитов включены вспомогательные контакты этого реле *БВ* и *БО*, поэтому напряжение может быть подано только на обмотку того электромагнита, который подготовлен к действию. При подаче напряжения на эту обмотку якорь реле перекидывается и, переходя через нейтральное положение, переключает как блокировочные, так и основные контакты. Контакты этого реле заменяют контакты ключа 1-3 в схеме АПВ. Ключ и устройство телемеханики действует на катушку реле РП-11.

Взамен электромеханического реле РПВ-58 ЧЭАЗ выпускает микроэлектронное реле РПВ-01. Характеристики реле РПВ-01 не отличаются существенно от РПВ-58, оно имеет меньшие габариты и вес. Схема включения реле показана на рис. 10.3.

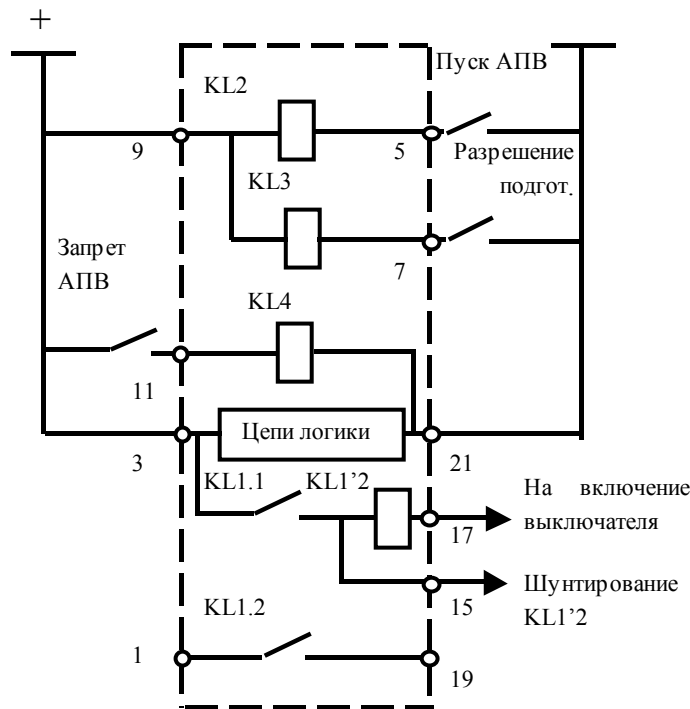


Рис. 10.3 Схема включения реле РПВ-01

“Энергомашвин” выпускает реле 2х кратного АПВ типа РПВ2. Это реле также выполнено на интегральных микросхемах и может использоваться в тех же схемах, что и реле РПВ-58, 258, 01 производства ЧЭАЗ. Схема включения реле показана на рис. 10.4.

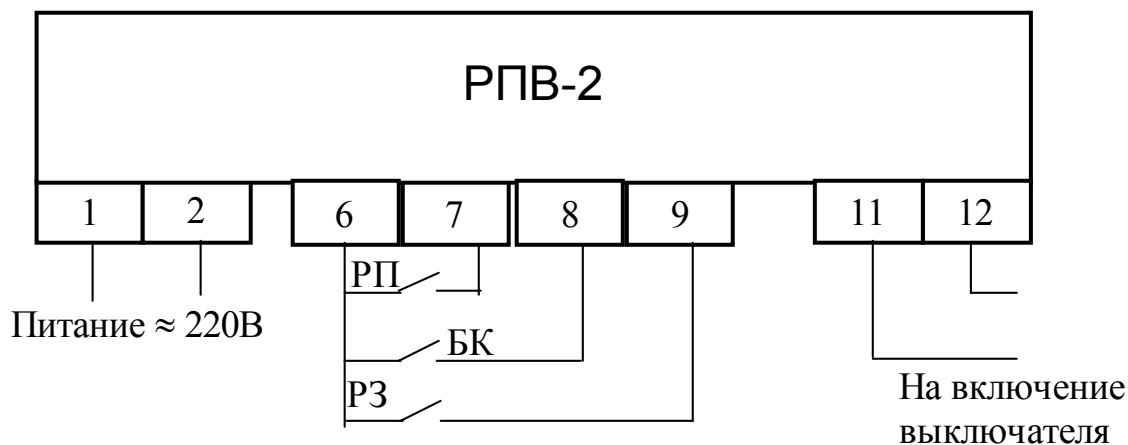


Рис. 10.4 Схема подключения реле АПВ типа РПВ2 производства Энергомашвин.

РП – реле пуска АПВ;

БК – начало подготовки (блок-контакт выключателя или реле РПВ);

РЗ – реле запрета АПВ или сброс подготовки

Схема внешних связей РПВ2 выполняется также, как и в реле РПВ-01 с таким отличием, что это реле не имеет входных промежуточных реле для управления логической схемой. Поэтому для управления используется внутренний источник питания (клемма 6) и управление должно выполняться «сухими» контактами. АПВ выполнено по схеме, аналогичной примененной в устройстве УЗА АТ (см. схему рис. 2.11 и описание п. 2.3.1). В выходных цепях отсутствует самоудерживание, как это принято в реле ЧЭАЗ, взамен этого выходные контакты АПВ задерживаются в сработавшем состоянии на время 0,25-0,4 с, что должно хватить для включения выключателя. Подготовка начинается после включения выключателя и замыкания контакта БКВ (РПВ). При отключении выключателя пускаются сразу обе кратности АПВ и при успешном АПВ первой кратности вторая все равно сработает, но поскольку выключатель включен, ничего не происходит.

Современные микропроцессорные защиты, а также некоторые комплектные микроэлектронные устройства пускают АПВ непосредственно от тех защит, при действии которых должно работать АПВ. Это несколько упрощает схему, так как отсутствуют цепи запрета АПВ. Однако такая схема имеет недостаток, заключающийся в том, что АПВ не работает при самопроизвольном отключении выключателя, например при механическом расцеплении привода.

Выбор уставок однократных АПВ для линии с односторонним питанием

Выдержка времени АПВ на повторное включение выключателя определяется двумя условиями:

- 1) Выдержка времени должна быть больше времени готовности привода выключателя, т.е.

$$t_{1-АПВ} = t_{zn} + t_{зан} \quad (10.1)$$

где

- t_{zn} — время готовности привода, которое может изменяться в пределах $0,2 \div 1$ с для разных типов приводов;
- $t_{зан}$ — время запаса, учитывающее непостоянство t_{zn} и погрешность реле времени АПВ; принимается равной $0,3-0,5$ сек.

- 2) Для того чтобы повторное включение было успешным, необходимо, чтобы за время от момента отключения линии до момента повторного включения и подачи напряжения не только погасла электрическая дуга в месте КЗ, но и восстановились изоляционные свойства воздуха. Процесс восстановления изоляционных свойств, называемый деионизацией, требует некоторого времени. Следовательно, выдержка времени АПВ на повторное включение должна быть больше времени деионизации, т. е.

$$t_{1-АПВ} = t_{\delta} + t_{зан} \quad (10.2)$$

где

- t_{δ} — время деионизации, составляющее $0,1 \div 0,3$ с.

При выборе уставок принимается большее значение $t_{1-АПВ}$ из полученных по выражениям (10.1) и (10.2).

Следует отметить, что второе условие, как правило, обеспечивается тем, что время включения выключателей составляет $0,3 \div 1$ с, т. е. больше времени, необходимого для деионизации. В некоторых случаях выдержки времени принимаются больше определенных по выражениям (10.1) и (10.2), около $2 \div 3$ с, что бывает целесообразно для повышения успешности действия АПВ на линиях, где наиболее часты повреждения вследствие набросов, падений деревьев и касаний проводов передвижными механизмами. Время автоматического возврата АПВ в исходное положение выбирается из условия обеспечения однократности действия. Для этого при повторном включении на устойчивое КЗ возврат АПВ в исходное положение должен происходить только после того, как выключатель, повторно включенный от АПВ, вновь отключится релейной защитой, причем имеющей наибольшую выдержку времени.

В рассмотренных выше схемах АПВ с использованием комплектных устройств типа РПВ-58, в которых время готовности реле АПВ к срабатыванию определяется временем заряда конденсатора, оно должно быть не меньше значения, определенного согласно выражению:

$$t_{2-АПВ} = t_{защ} + t_{отк} + t_{зан} \quad (10.3)$$

где

- $t_{защ}$ — наибольшая выдержка времени защиты;

$t_{отк}$ – время отключения выключателя.

Обычно время заряда конденсатора устройства РПВ-58 составляет 20–25 с и, как правило, удовлетворяет выражению (10.3), микропроцессорные и микроэлектронные реле, в которых имеется функция АПВ, имеют обычно регулируемое время готовности. Уставка по времени готовности может быть принята такой же – 30 с. При работе линии в зоне, где могут быть частые случаи коротких замыканий: сильный ветер, гололед – это время целесообразно увеличить до 60–90 с. Это позволит спасти от повреждения выключатель с ограниченным ресурсом отключения от выхода из строя при многократных КЗ.

10.1.4 Ускорение действия защиты при АПВ

Ускорение защиты после АПВ

Для повышения надежности работы энергосистемы и потребителей применяется автоматическое ускорение действия защиты при АПВ.

Ускорение защиты после АПВ предусматривается директивными материалами не только для линий, не имеющих быстродействующей защиты, но также для линий, имеющих сложные быстродействующие защиты, как мера повышения надежности защиты линии в целом.

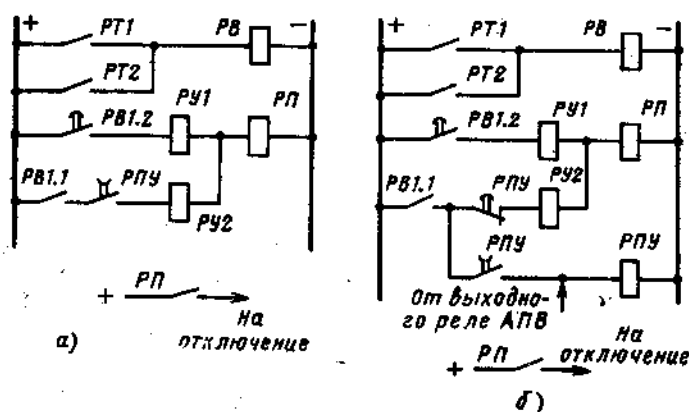


Рис. 10.5 Схемы ускорения действия защиты, а – после АПВ; б – до АПВ

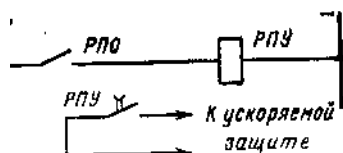


Рис. 10.6 Пуск реле ускорения от контактов реле положения «Отключено» РПО

На рис. 10.5, а показана схема выполнения ускорения защиты после АПВ. Цепь ускоренного действия нормально разомкнута контактом промежуточного реле ускорения РПУ (см. рис. 10.1), которое срабатывает перед повторным включением выключателя и, имея замедление на возврат, держит свой контакт замкнутым в течение $0,7 \div 1$ с. Поэтому, если повторное включение происходит на устойчивое КЗ, то защита второй раз действует без выдержки времени по цепи ускорения через контакт реле РПУ и мгновенный контакт РВ1.1 реле времени.

Для запуска промежуточного реле ускорения наряду со схемой, показанной на рис. 10.1, значительно более часто применяется схема, приведенная на рис. 10.6. При отключении выключателя реле положения «Отключено» РПО срабатывает и, кроме рассмотренных ранее действий, замыкает контакт в цепи обмотки реле РПУ, которое, сработав в свою очередь, замыкает цепь ускорения. При подаче команды на включение выключателя реле РПО возвращается и снимает плюс с обмотки реле РПУ. Однако последнее возвращается не сразу, а с замедлением $0,7 \div 1$ с, что является достаточным для срабатывания защиты по цепи ускорения при включении выключателя на устойчивое КЗ.

Для ускорения защиты могут использоваться и непосредственно контакты реле РПО. При этом специальное реле ускорения не устанавливается, а в качестве реле РПО используется замедленное на возврат реле.

Схема, приведенная на рис. 10.6, обеспечивает ускорение защиты при любом включении выключателя – как от АПВ, так и от ключа управления, что является преимуществом такой схемы.

Ускорение защиты до АПВ

Ускорение защиты до АПВ позволяет ускорить отключение КЗ и обеспечить селективную ликвидацию повреждений. В сети, приведенной на рис. 10.7, максимальная токовая защита *МТЗ1*, установленная на линии *Л1*, по условию селективности должна иметь выдержку времени больше, чем максимальные токовые защиты *МТЗ2* и *МТЗ3* линий *Л2* и *Л3*. Отключение КЗ с выдержкой времени приводит к нарушению работы потребителей из-за длительного воздействия пониженного напряжения и значительно снижает успешность действия АПВ.

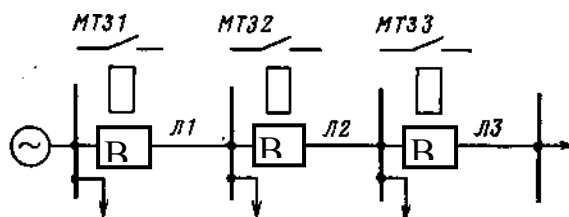


Рис. 10.7 Участок сети с односторонним питанием

Одним из способов, обеспечивающих быстрое отключение повреждений на линии *Л1* без применения сложных защит, является ускорение максимальной токовой защиты этой линии до АПВ. С этой целью защита *МТЗ1* выполняется так, что при возникновении КЗ на *Л1*, *Л2*, *Л3* она первый раз действует без выдержки времени независимо от того, на какой из линий произошло КЗ, а после АПВ действует с нормальной выдержкой времени. Действие защиты и АПВ происходит при этом следующим образом. В случае КЗ на линии *Л1* срабатывает защита *МТЗ1* по цепи ускорения и без выдержки времени отключает эту линию. После АПВ, если повреждение устранено, линия остается в работе, если же повреждение оказалось устойчивым, то линия вновь отключится, но уже с выдержкой времени.

При КЗ на линии *Л2* происходит неселективное отключение линии *Л1* защитой *МТЗ1* по цепи ускорения без выдержки времени. Затем линия *Л1* действием АПВ включается обратно. Если повреждение на линии *Л2* оказалось устойчивым, то эта линия отключается своей защитой *МТЗ2*, а линия *Л1* остается в работе, так как после АПВ защита *МТЗ1* действует с нормальной селективной выдержкой времени.

Ускорение защиты до АПВ выполняется аналогично ускорению после АПВ исключением выдержки времени основной защиты либо с помощью отдельного комплекта токовых реле. Пуск реле ускорения при осуществлении ускорения защиты до АПВ осуществляется при срабатывании выходного реле АПВ (см. рис. 10.5, б), У реле РПУ при этом используется размыкающий контакт.

В схеме на рис. 10.5, б цепь ускорения будет замкнута до АПВ и будет размыкаться при действии АПВ на включение выключателя. Реле РПУ при этом будет удерживаться в сработавшем положении до тех пор, пока не будет отключено КЗ и разомкнутся контакты реле защиты.

Поочередное АПВ

Еще более эффективным является применение поочередного АПВ. При таком принципе выполнения защиты, реле ускорения, непосредственно после включения выключателя остается подтянутым и обеспечивает ускорение защиты и после включения выключателя от АПВ. Затем ускорение выводится. АПВ последующего участка имеет выдержку большую, чем время АПВ и время, в течение которого вводится ускорение на предыдущем.

$$t_{АПВ2} = t_{АПВ1} + t_{рну} + t_3$$

$$t_{АПВ3} = t_{АПВ2} + t_{рну} + t_3$$

Ускорение защиты вводится снова через время работы АПВ и возврата реле ускорения последнего участка.

$$t_{ВВрну} = t_{АПВ3} + t_{рну} + t_3$$

Рассмотрим варианты КЗ, см. схему рис. 10.7.

Неуспешное КЗ на Л3:

- 1) работают ускоренные МТЗ1, МТЗ2, МТЗ3 и отключают свои выключатели;
- 2) включается от АПВ и с введенным ускорением МТЗ1 В1;
- 3) поскольку КЗ нет, выключатель В1 остается включенным, а ускорение МТЗ1 выводится;
- 4) включается от АПВ и с введенным ускорением МТЗ2 В2;
- 5) поскольку КЗ нет, выключатель В2 остается включенным а ускорение МТЗ2 выводится;
- 6) включается от АПВ и со введенным ускорением МТЗ3 В3;
- 7) возникшее КЗ отключается ускоренной защитой МТЗ3;
- 8) вводится обратно ускорение защиты МТЗ1 и МТЗ2.

Неуспешное КЗ на Л2:

- 1) работают ускоренные МТЗ1, МТЗ2 и отключают свои выключатели;
- 2) включается от АПВ и с введенным ускорением МТЗ1 В1;
- 3) поскольку КЗ нет, выключатель В1 остается включенным, а ускорение МТЗ1 выводится;
- 4) включается от АПВ и с введенным ускорением МТЗ2 В2;
- 5) возникшее КЗ отключается ускоренной защитой МТЗ2;
- 6) вводится обратно ускорение защиты МТЗ1.

Неуспешное КЗ на Л1:

- 1) Работает ускоренная МТЗ1, и отключает В1;
- 2) включается от АПВ и со введенным ускорением МТЗ1 В1;
- 3) возникшее КЗ отключается ускоренной защитой МТЗ1.

В данном случае все короткие замыкания отключаются без выдержки времени, однако сильно затягивается бестоковая пауза АПВ. Подобные схемы применяются на неответственных линиях отходящих от электростанций, где требуется быстродействующее отключение всех отходящих линий.

Для выполнения такой схемы достаточно добавить в схему 10.6 реле времени, см. рис. 10.8.

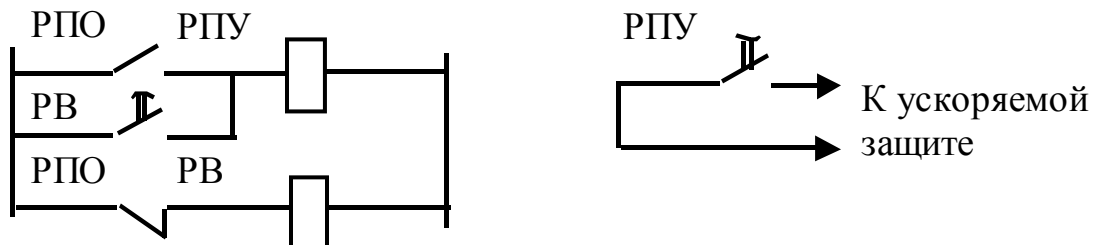


Рис. 10.8 Дополнение схемы ускорения для выполнения поочередного АПВ

10.1.5 Двукратное АПВ

Применение двукратного АПВ позволяет повысить эффективность этого вида автоматики. Как показывает опыт эксплуатации, успешность действия при втором включении составляет 10-20%, что повышает общий процент успешных действий АПВ до 75–95%. Двукратное АПВ применяют, как правило, на линиях с односторонним питанием и на головных участках кольцевых сетей, где возможна работа в режиме одностороннего питания. АПВ двукратного действия с комплектным устройством типа РПВ–258, в отличие от устройства РПВ-58, рассмотренного выше, содержит два конденсатора $C1$ и $C2$ и реле времени $PB1$ с двумя контактами, замыкающимися с разными выдержками времени соответствующими уставкам по времени АПВ 1 и 2 кратности.

Выдержка времени первого цикла АПВ определяется согласно выражениям (10.1) и (10.2) так же, как и для АПВ однократного действия. Второй цикл должен происходить спустя 10÷20 с после вторичного отключения выключателя. Такая большая выдержка времени АПВ во втором цикле диктуется необходимостью подготовки выключателя к отключению третьего КЗ в случае включения на устойчивое повреждение. За это время из камеры гашения удаляются разложившиеся и обугленные частицы. Камера вновь заполняется маслом и отключающая способность выключателя восстанавливается.

Для того чтобы предотвратить многократное действие АПВ, время заряда конденсаторов $C1$ и $C2$ (время готовности должно превышать выдержки времени обоих циклов АПВ. В заводском комплекте АПВ типа РПВ–258, время готовности к последующим действиям после второго цикла составляет 60÷100 с. Фирмой «Энергомашвин» выпускается реле РПВ2, с помощью которого можно выполняется двукратное АПВ.

10.1.6 Трехфазное АПВ на линиях с двухсторонним питанием

Общие сведения

Автоматическое повторное включение линий с двусторонним питанием имеет некоторые особенности, что определяется наличием напряжения по обоим концам линии. Первая особенность состоит в том, что АПВ линии должно производиться лишь после того, как она будет отключена с обеих сторон, что необходимо для деионизации воздушного промежутка в месте повреждения. Поэтому при выборе выдержки времени АПВ линии с двусторонним питанием необходимо кроме условий (10.1) и (10.2) учитывать еще и третье условие

$$t_{АПВ1} = t_{ЗАЩ2} - t_{ЗАЩ1} + t_{ОТК2} - t_{ОТК1} + t_{\theta} - t_{ВКЛ1} + t_{ЗАП} \quad (10.4)$$

где

- $t_{ЗАЩ1}, t_{ОТК1}, t_{ВКЛ1}$ — наименьшие выдержка времени защиты, время отключения и включения выключателя на своем конце (индекс 1) линии, на котором выбирается выдержка времени АПВ;
- $t_{ЗАЩ2}, t_{ОТК2}$ — выдержка времени второй ступени защиты и время отключения выключателя на противоположном конце (индекс 2) линии;
- t_{θ} — время деионизации среды;

$t_{ЗАП}$

– дополнительный запас по времени, учитывающий погрешности реле времени устройства АПВ и защиты, отличия времен действия выключателей от расчетных и т. д., принимается равным $0,5 \div 0,7$ с.

Принимая с целью упрощения $t_{ОТК2} = t_{ОТК1}$ и $t_{ЗАЩ1} = 0$, получаем более простое выражение для определения выдержки времени АПВ:

$$t_{АПВ1} = t_{ЗАЩ2} + t_{\delta} - t_{ВКЛ1} + t_{ЗАП} \quad (10.5)$$

Если вторая ступень защиты не обеспечивает достаточной надежности при повреждениях в конце рассматриваемой линии (коэффициент чувствительности $\leq 1,3 \div 1,4$), в выражения (10.4) и (10.5) необходимо подставлять выдержку времени третьей ступени защиты.

Выдержка времени АПВ для обоих концов линии подсчитывается по выражениям (10.1), (10.2), (10.4) [или (10.5)], принимается наибольшее из трех полученных значений.

Вторая особенность применения АПВ на линиях с двусторонним питанием определяется тем, что успешное включение линии (замыкание в транзит) может сопровождаться большими толчками тока и активной мощности, поскольку по обоим концам отключившейся линии имеется напряжение.

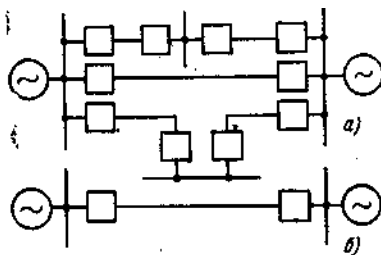


Рис. 10.9 Схема связи между двумя частями энергосистемы:

- а) – с тремя линиями;
- б) – с одной линией

В тех случаях, когда две электростанции или две части энергосистемы связаны несколькими линиями (рис. 10.9, а), отключение одной из них не приводит к нарушению синхронизма и значительному расхождению по углу и значению напряжений по концам отключившейся линии. Автоматическое повторное включение в этом случае не будет сопровождаться большим толчком уравнительного тока. Вследствие этого, на линиях с двусторонним питанием допускается применение простых АПВ, аналогичных рассмотренным выше, если две электростанции или две энергосистемы имеют три или более связей близкой пропускной способности.

В некоторых случаях простое АПВ, установленное с одного конца, дополняется устройством контроля наличия напряжения на линии. Благодаря этому включение от АПВ на устойчивое КЗ производится только 1 раз с той стороны, где отсутствует устройство контроля напряжения на линии. С той же стороны, где контролируется напряжение, включение выключателя будет происходить лишь в том случае, если повреждение устранилось и линия, включенная с противоположного конца, держит напряжение.

Поскольку действием АПВ с контролем наличия напряжения линия, стоящая под напряжением с противоположного конца, замыкается в транзит, при выборе выдержки времени $t_{АПВ1}$ можно не учитывать составляющие $(t_{\delta} - t_{ВКЛ1})$ и условия (10.4) и (10.5) приобретают следующий вид:

$$t_{АПВ1} = t_{ЗАЩ2} - t_{ЗАЩ1} + t_{ОТК2} - t_{ОТК1} + t_{ЗАП} \quad (10.4a)$$

$$t_{АПВ1} = t_{ЗАЩ2} + t_{ЗАП} \quad (10.5a)$$

При включении действием АПВ линии с двусторонним питанием, когда синхронизм между двумя частями энергосистемы не был нарушен, могут возникать синхронные качания, вызванные толчком активной мощности в момент включения. Синхронными качаниями называются периодические колебания угла между ЭДС, не превышающие 180° . Обычно синхронные качания не сопровождаются большими колебаниями угла и быстро затухают.

Если две электростанции или две части энергосистемы связаны единственной линией электропередачи, как показано на рис. 10.9, б по которой передается активная мощность, каждое отключение этой линии будет приводить к несинхронной работе разделившихся частей энергосистемы.

Для линий с двусторонним питанием разработано и эксплуатируется большое количество ТАПВ разных типов, которые можно объединить в три группы:

- устройства, допускающие несинхронное включение разделившихся частей энергосистемы, – несинхронное АПВ (НАПВ);
- устройства, допускающие АПВ, когда напряжения по концам отключившейся линии синхронны – АПВ с контролем синхронизма (АПВКС) или когда разность частот этих напряжений невелика, т. е. условия близки к синхронным, – быстродействующее АПВ (БАПВ), АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС) и др.;
- устройства, осуществляющие АПВ после отключения источников несинхронного напряжения или их возбуждения (генераторов или синхронных компенсаторов), с последующей их синхронизацией – АПВ с самосинхронизацией (АПВС). Если источники несинхронного напряжения отключаются с их остановом выполняется АПВ с контролем отсутствия напряжения (АПВОН)

Несинхронное АПВ

Несинхронное АПВ (НАПВ) является наиболее простым устройством, допускающим включение разделившихся частей энергосистемы независимо от разности частот их напряжений. Схема АПВ при этом выполняется так, как описано выше, без каких-либо дополнительных блокировок. Для предотвращения включения на устойчивое КЗ с обоих концов линии, а также для обеспечения при НАПВ правильной работы релейной защиты АПВ с одного конца линии иногда выполняется с контролем наличия напряжения на линии.

Включение линии при успешном НАПВ сопровождается сравнительно большими толчками тока и активной мощности, а также более или менее длительными качаниями.

Преимуществами схем НАПВ, обусловившими на определенном этапе их широкое распространение в энергосистемах, являются простота и возможность применения на выключателях всех типов. Обычно после НАПВ происходит успешная синхронизация двух частей энергосистемы или электростанции с энергосистемой. Вместе с тем следует иметь в виду, что, поскольку НАПВ сопровождается большими толчками тока и снижением напряжения, асинхронным ходом и синхронными качаниями, создаются условия для неправильной работы релейной защиты. Поэтому необходимо тщательно анализировать поведение защит, установленных на транзите, соединяющем две включаемые части энергосистемы. Применение НАПВ на линиях, несинхронное замыкание которых приводит к длительному асинхронному ходу, нецелесообразно, так как это может вызвать расстройство работы потребителей.

Быстродействующее АПВ

Как уже отмечалось выше, после отключения единственной линии, соединяющей две части энергосистемы, генераторы в одной из них начинают ускоряться, а в другой тормозиться. Вследствие этого все больше увеличивается угол между напряжениями по концам отключившейся линии. Процесс этот, однако, происходит не мгновенно, а в течение некоторого времени, тем большего, чем больше механическая инерция машин в разделившихся частях энергосистемы и чем меньше мощность, передававшаяся по линии до ее отключения.

Принцип быстродействующего АПВ (БАПВ) заключается в том, чтобы после отключения выключателей включить их с обеих сторон повторно возможно быстрее, чтобы за время, называемое бестоковой паузой, угол между напряжениями не успел увеличиться значительно. Включение линии при этом будет происходить без больших толчков тока и длительных качаний.

БАПВ применяется только на выключателях, которые обеспечивают необходимое быстродействие. Для того чтобы БАПВ было успешным, должны быть соблюдены условия (10.2) и (10.4). Поскольку время включения быстродействующих выключателей составляет 0,1–0,3 с, деионизация среды будет обеспечена при выполнении БАПВ без выдержки времени или с небольшой выдержкой времени 0,1–0,3 с.

Успешное БАПВ возможно лишь в том случае, если КЗ отключается за 0,1–0,2 с. Чем медленнее отключается повреждение, тем на больший угол успеют разойтись ЭДС. Поэтому БАПВ применяется только в тех случаях, когда линия оснащена быстродействующей защитой, обеспечивающей отключение повреждения без выдержки времени с обоих ее концов.

Достоинствами БАПВ являются простота схемы и высокая эффективность действия, что обеспечивает восстановление параллельной работы без длительных качаний и с меньшими толчками тока, чем при НАПВ.

При использовании БАПВ, так же как и при НАПВ, необходимо принимать меры, исключающие ложное срабатывание дистанционных и токовых защит в момент включения, а также при последующих качаниях.

Наиболее целесообразно применять БАПВ на одиночных линиях, связывающих две энергосистемы, когда изменение угла $\Delta\delta$ невелико, что будет иметь место при малых отношениях мощности $P_{\text{л}}$, передаваемой по линии, к суммарной мощности генераторов энергосистемы, т.е. на слабозагруженных линиях.

Разновидностью БАПВ, широко применяемой в энергосистемах Украины, является, так называемое, ускоренное ТАПВ (УТАПВ). От обычного БАПВ, УТАПВ отличается наличием контролей напряжения – со стороны включаемой первой – контроля отсутствия напряжения, а со второй – синхронизма. Как и в случае применения БАПВ, линия должна быть оснащена быстродействующей защитой, обеспечивающей отключение повреждения без выдержки времени с обоих ее концов. Выдержки времени АПВ остаются такими же, как и в случае БАПВ, однако время бестоковой паузы увеличиваются, так как АПВ со второго конца пускается после успешного включения с первого. При использовании такого АПВ бестоковая пауза равна примерно 0,7 с. Включение линии в этом случае происходит без толчка и не требуется блокировка защиты перед включением.

Автоматическое повторное включение с ожиданием синхронизма

Принцип действий АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС) заключается в том, что включение разделившихся частей энергосистемы разрешается, когда напряжения по концам отключившейся линии синхронны или близки к синхронным, а угол между напряжениями не превышает определенного значения. Когда напряжения по концам отключившейся линии синхронны, АПВОС контролирует угол между ними и осуществляет включение линии, если угол невелик и включение не будет сопровождаться большим толчком тока.

Когда напряжения несинхронны, АПВОС осуществляет замыкание линии в транзит в момент совпадения фаз, если разность частот невелика и включение не будет сопровождаться большим толчком тока и длительными качаниями.

Если напряжения по концам линии будут несинхронными и разность частот недопустимо велика, схема АПВОС будет ожидать, пока не восстановится синхронизм между разделившимися частями энергосистемы или когда разность частот будет столь незначительная, что замыкание линии в транзит не повлечет за собой, асинхронного хода и не будет сопровождаться большим толчком тока.

В данном случае линия включается с одной стороны с контролем отсутствия напряжения, а с другой стороны контроль синхронизма, дополненный контролем разности частот с 2 сторон выключателя. Если в данный момент разность частот велика, то АПВОС ожидает, пока сблизятся частоты, после чего в момент приближения к синхронизму произойдет включение выключателя.

В рассматриваемой схеме предусмотрено также использование АПВОС для оперативного замыкания транзита при наличии синхронизма. Для этого установлены специальные наклад-ки. При необходимости осуществить синхронизацию, отключением накладки снимается бло-кировка АПВ после перевода ключа управления в положение «Включено» При подаче им-пульса от ключа управления собираются цепи АПВ, которое срабатывая при условиях, допус-тимых для замыкания транзита, подает импульс на включение выключателя.

10.1.7 Автоматическое повторное включение шин

Выше уже говорилось о неустойчивости большинства повреждений на шинах, что позволяет успешно применять АПВ шин. Для подстанций с односторонним питанием, отключение по-вреждений на шинах которых обеспечивается защитами, установленными на противопо-ложных концах питающих линий или на трансформаторах, повторная подача напряжения на шины обеспечивается за счет действия устройств АПВ питающих элементов (линий и транс-форматоров).

При наличии на подстанции специальной защиты шин (обычно шины подстанций высокого напряжения в сетях с двусторонним питанием) повторное включение шин, так же как и в схе-мах с односторонним питанием, может быть осуществлено с помощью АПВ выключателей питающих присоединений. Схема АПВ при этом выполняется с пуском от несоответствия по-ложения выключателя и ключа управления (реле фиксации). В этом случае при срабатывании защиты шин не должно осуществляться блокирование действия АПВ линии. Если АПВ при-соединения пускается от защит, то защита шин должна пускать АПВ этого присоединения.

При наличии на подстанции не одной, а нескольких питающих линий целесообразно осущест-влять АПВ нескольких или всех линий, отключившихся при срабатывании защиты шин. Это следует делать как для большей автоматизации восстановления, нормальной схемы под-станции (автосборка), так и для обеспечения питания потребителей, когда одна питающая линия не может обеспечить всей нагрузки подстанции. С этой целью при срабатывании защи-ты шин запускаются АПВ всех питающих линий. В случае успешного АПВ первой линии, по-очередно включаются выключатели других линий. Если первая линия включится на устойчи-вое КЗ, снова сработает защита шин. При этом блокируется действие АПВ других линий, и их выключатели не включаются, благодаря чему обеспечивается однократность АПВ шин.

10.2 АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВА (АВР)

10.2.1 Назначение АВР

Схемы электрических соединений энергосистем и отдельных электроустановок должны обес-печивать надежность электроснабжения потребителей. Высокую степень надежности обеспе-чивают схемы питания одновременно от двух и более источников (линий, трансформаторов), поскольку аварийное отключение одного из них не приводит к нарушению питания потреби-телей.

Несмотря на эти очевидные преимущества многостороннего питания потребителей, большое количество подстанций, имеющих два источника питания и более, работает по схеме одно-стороннего питания. Одностороннее питание имеют также секции собственных нужд электро-станций.

Применение такой менее надежной, но более простой схемы электроснабжения во многих случаях оказывается целесообразным для снижения токов КЗ, уменьшения потерь электро-энергии в питающих трансформаторах, упрощения релейной защиты, создания необходимого режима по напряжению, перетокам мощности и т. п. При развитии электрической сети одно-стороннее питание часто является единственно возможным решением, так как ранее уста-

новленное оборудование и релейная защита не позволяют осуществить параллельную работу источников питания.

Используются две основные схемы одностороннего питания потребителей при наличии двух источников или более.

В первой схеме один источник включен и питает потребителей, а второй отключен и находится в резерве. Соответственно этому первый источник называется рабочим, а второй – резервным (рис. 10.8, а, б). Во второй схеме все источники включены, но работают раздельно на выделенных потребителях. Деление осуществляется на одном из выключателей (рис. 10.8, в, г).

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей. Этот недостаток может быть устранен быстрым автоматическим включением резервного источника или включением выключателя, на котором осуществлено деление сети. Для выполнения этой операции широко используется автоматическое включение резерва (АВР). При наличии АВР время перерыва питания потребителей в большинстве случаев определяется лишь временем включения выключателей резервного источника и составляет 0,3–0,8 с. Рассмотрим принципы использования АВР на примере схем, приведенных на рис. 10.8.

1. Питание подстанции А (рис. 10.8, а) осуществляется по рабочей линии Л1 от подстанции В. Вторая линия Л2, приходящая с подстанции В, является резервной и находится под напряжением (выключатель В3 нормально отключен). При отключении линии Л1 автоматически от АВР включается выключатель В3 линии Л2, и таким образом вновь подается питание потребителям подстанции А.

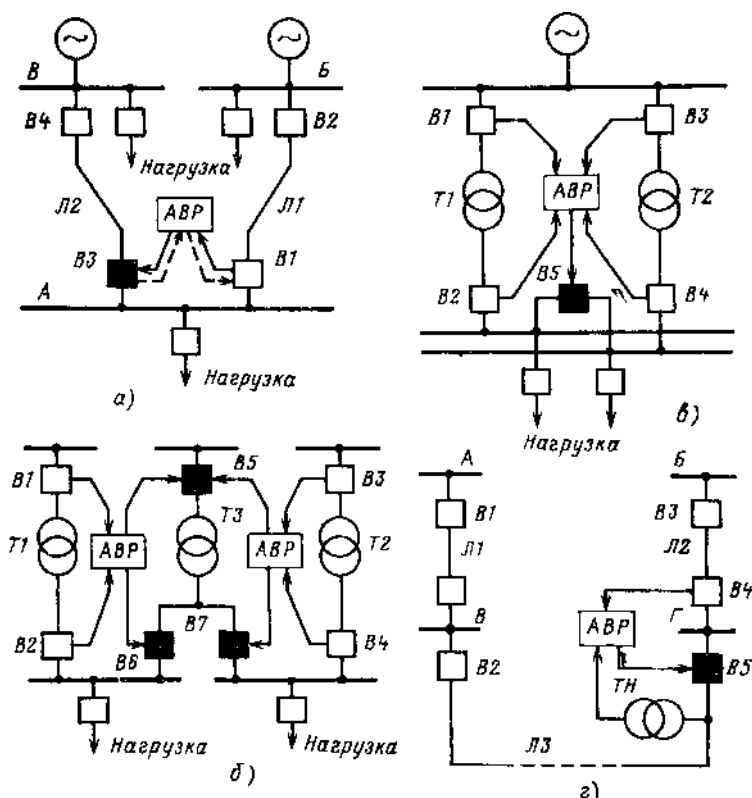


Рис. 10.10 Принципы осуществления АВР при разных схемах питания потребителей

Схемы АВР могут иметь одностороннее или двустороннее действие. При одностороннем АВР линия Л1 всегда должна быть рабочей, а линия Л2 – всегда резервной. При двустороннем АВР любая из этих линий может быть рабочей и резервной.

2. Питание электродвигателей и других потребителей собственных нужд каждого агрегата электростанции осуществляется обычно от отдельных рабочих трансформаторов

(*T1* и *T2* на рис. 10.8, б). При отключении рабочего трансформатора автоматически от АВР включаются выключатель *B5* и один из выключателей *B6* (при отключении *T1*) или *B7* (при отключении *T2*) резервного трансформатора *T3*.

3. Трансформаторы *T1* и *T2* являются рабочими, но параллельно работать не могут и поэтому со стороны низшего напряжения включены на разные системы шин (рис. 10.8, в). Шиносоединительный выключатель *B5* нормально отключен. При аварийном отключении любого из рабочих трансформаторов автоматически от АВР включается выключатель *B5*, подключая нагрузку шин, потерявших питание, к оставшемуся в работе трансформатору. Каждый трансформатор в рассматриваемом случае должен иметь мощность, достаточную для питания всей нагрузки подстанции. В случае, если мощность одного трансформатора недостаточна для питания всей нагрузки подстанции, при действии АВР должны приниматься меры для отключения части наименее ответственной нагрузки.
4. Подстанции *B* и *Г* (рис. 10.8, г) нормально питаются радиально от подстанций *A* и *Б* соответственно. Линия *Л3* находится под напряжением со стороны подстанции *B*, а выключатель *B5* нормально отключен. При аварийном отключении линии *Л2* устройство АВР, установленное на подстанции *Г*, включает выключатель *B5*, таким образом питание подстанции *Г* переводится на подстанцию *B* по линии *Л3*. При отключении линии *Л1* подстанция *B* и вместе с ней линия *Л3* остаются без напряжения. Исчезновение напряжения на трансформаторе напряжения *ТН* также приводит в действие устройство АВР на подстанции *Г*, которое включением выключателя *B5* подает напряжение на подстанцию *B* от подстанции *Г*.

Опыт эксплуатации энергосистем показывает, что АВР является весьма эффективным средством повышения надежности электроснабжения. Успешность действия АВР составляет 90-95%. Простота схем и высокая эффективность обусловили широкое применение АВР на электростанциях и в электрических сетях.

10.2.2 Основные требования к схемам АВР

Все устройства АВР должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Схема АВР должна приходить в действие в случае исчезновения напряжения на шинах потребителей по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении выключателей рабочего источника питания, а также при исчезновении напряжения на шинах, от которых осуществляется питание рабочего источника. Включение резервного источника питания иногда допускается также при КЗ на шинах потребителя. Однако очень часто схема АВР блокируется, например при работе дуговой защиты в комплектных распреустройствах. При работе максимальной защиты на питающих шинах НН трансформаторах работе АВР, предпочтительна работа АПВ. Поэтому на стороне НН (СН) понижающих трансформаторов подстанций принимается комбинация АПВ-АВР. При отключении трансформатора его защитой от внутренних повреждений, работает АВР, а при отключении ввода его защитой – АПВ. Такое распределение предотвращает посадку напряжения, а иногда и повреждение секции, от которой осуществляется резервирование.
2. Для того чтобы уменьшить длительность перерыва питания потребителей, включение резервного источника питания должно производиться возможно быстрее, сразу же после отключения рабочего источника.
3. Действие АВР должно быть однократным для того, чтобы не допускать нескольких включений резервного источника на неустранившееся КЗ.
4. Схема АВР не должна приходить в действие до отключения выключателя рабочего источника для того, чтобы избежать включения резервного источника на КЗ в неотключившемся рабочем источнике. Выполнение этого требования исключает также возможное в отдельных случаях несинхронное включение двух источников питания.

5. Для того чтобы схема АВР действовала при исчезновении напряжения на шинах, питающих рабочий источник, когда его выключатель остается включенным, схема АВР должна дополняться специальным пусковым органом минимального напряжения.
6. Для ускорения отключения резервного источника питания при его включении на неустранившееся КЗ должно предусматриваться ускорение действия защиты резервного источника после АВР. Это особенно важно в тех случаях, когда потребители, потерявшие питание, подключаются к другому источнику, несущему нагрузку. Быстрое отключение КЗ при этом необходимо, чтобы предотвратить нарушение нормальной работы потребителей, подключенных к резервному источнику питания. Ускоренная защита обычно действует по цепи ускорения без выдержки времени. В установках же собственных нужд, а также на подстанциях, питающих большое количество электродвигателей, ускорение осуществляется до 0.3-0,5 с. Такое замедление ускоренной защиты необходимо, чтобы предотвратить ее неправильное срабатывание в случае кратковременного замыкания контактов токовых реле в момент включения выключателя под действием толчка тока, обусловленного сдвигом по фазе между напряжением энергосистемы и затухающей ЭДС тормозящихся электродвигателей, который может достигать 180°.

10.2.3 Принципы действия АВР

Рассмотрим принцип действия АВР на примере двухтрансформаторной подстанции, приведенной на рис. 10.11. Питание потребителей нормально осуществляется от рабочего трансформатора *T1*, Резервный трансформатор *T2* отключен и находится в автоматическом резерве.

При отключении по любой причине выключателя *B1* трансформатора *T1* его вспомогательный контакт *БК1-2* разрывает цепь обмотки промежуточного реле *РП1*. В результате якорь реле *РП1*, подтянутый при включенном положении выключателя, при снятии напряжения отпадает с некоторой выдержкой времени и размыкает контакты.

Второй вспомогательный контакт *БК1.3* выключателя *B1* замкнувшись, подает плюс через еще замкнутый контакт *РП1.1* на обмотку промежуточного реле *РП2*, которое своими контактами производит включение выключателей *B3* и *B4* резервного трансформатора, воздействуя на контакторы включения *КВ3* и *КВ4*. По истечении установленной выдержки времени реле *РП1* размыкает контакты и разрывает цепь обмотки промежуточного реле *РП2*. Если резервный трансформатор будет включен действием АВР на неустранившееся КЗ и отключится релейной защитой, то его повторного включения не произойдет. Таким образом, реле *РП1* обеспечивает однократность действия АВР и поэтому называется реле однократности включения. Реле *РП1* вновь замкнет свои контакты и подготовит схему АВР к новому действию лишь после того, как будет восстановлена нормальная схема питания подстанции и включен выключатель *B1*. Выдержка времени на размыкание контакта реле *РП1* должна быть больше времени включения выключателей *B3* и *B4*, для того чтобы они успели надежно включиться.

С целью обеспечения действия АВР при отключении выключателя *B2* от его вспомогательного контакта *БК2.2* подается импульс на катушку отключения *К01* выключателя *B1*. После отключения выключателя *B1* АВР запускается и действует, как рассмотрено выше. Кроме рассмотренных случаев отключения рабочего трансформатора потребители также потеряют питание, если по какой-либо причине останутся без напряжения шины высшего напряжения подстанции *Б*. Схема АВР при этом не подействует, так как оба выключателя рабочего трансформатора остались включенными.

Для того чтобы обеспечить действие АВР и в этом случае, предусмотрен специальный пусковой орган минимального напряжения, включающий в себя реле *РН1*, *РН2*, *РВ1* и *РП3*. При исчезновении напряжения на шинах 5, а следовательно, и на шинах *В* подстанции реле минимального напряжения, подключенные к трансформатору напряжения *ТН1*, замкнут свои контакты и подадут плюс оперативного тока на обмотку реле времени *РВ1* через контакт реле *РН3*. Реле *РВ1* при этом запустится и по истечении установленной выдержки времени подаст плюс на обмотку выходного промежуточного реле *РП3*, которое производит отключение вы-

ключателей *B1* и *B2* рабочего трансформатора. После отключения выключателя *B1*, АВР действует, как рассмотрено выше.

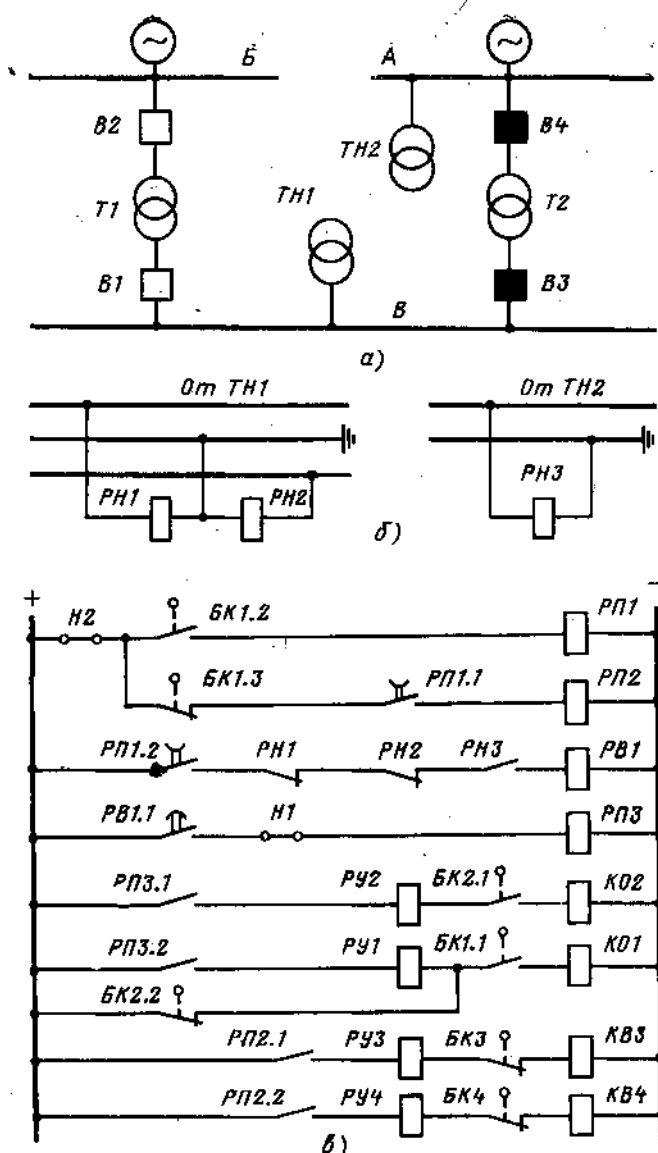


Рис. 10.11. Схема АВР трансформатора одностороннего действия:

- а) схема первичных соединений;
- б) цепи переменного напряжения;
- в) цепи оперативного тока

Реле напряжения *РН3* предусмотрено для того, чтобы предотвратить отключение трансформатора *T1* от пускового органа минимального напряжения в случае отсутствия на шинах высшего напряжения *A* резервного трансформатора *T2*, когда действие АВР будет заведомо бесполезным. Реле напряжения *РН3*, подключенное к трансформатору напряжения *ТН2* шин *A*, при отсутствии напряжения размыкает свой контакт и разрывает цепь от контактов реле *РН1* и *РН2* к обмотке реле времени *РВ1*.

В схеме АВР предусмотрены две накладки: *Н1* – для отключения пускового органа минимального напряжения и *Н2* — для вывода из работы всей схемы АВР. Действие АВР и пускового органа минимального напряжения сигнализируется указательными реле *РУ*.

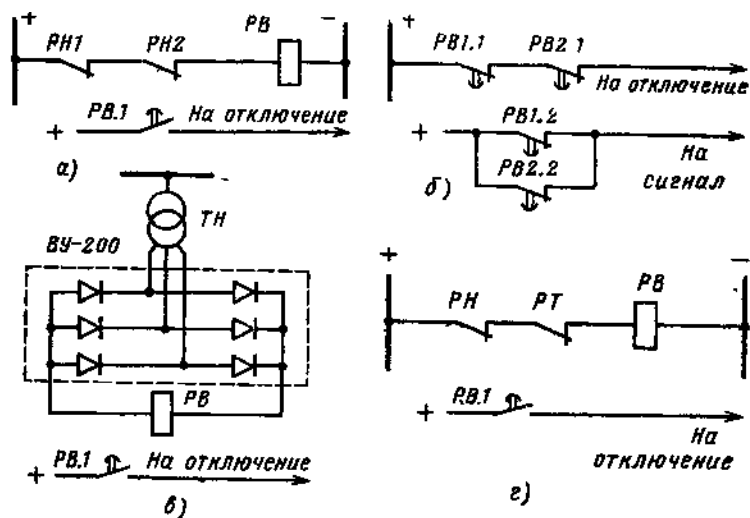


Рис. 10.12 Принципы выполнения пусковых органов АВР:

а, б, в – минимального напряжения;

г – минимального тока и напряжения

Пусковые органы минимального напряжения

Пусковые органы минимального напряжения должны выполняться таким образом, чтобы они действовали только при исчезновении напряжения и не действовали при неисправностях в цепях напряжения.

Так, в рассмотренной схеме на рис. 10.11 и в схеме на рис. 10.12 контакты двух реле минимального напряжения $PH1$ и $PH2$ включены последовательно, что предотвращает отключение рабочего трансформатора $T1$ при отключении одного из автоматических выключателей (предохранителей) в цепях напряжения. Однако ложное отключение трансформатора все же может произойти, если повредится трансформатор напряжения $TH1$ или отключатся оба автоматических выключателя в цепях напряжения. Для повышения надежности используются два реле минимального напряжения, включенные на разные трансформаторы напряжения.

Рассмотренные схемы пусковых органов минимального напряжения могут быть выполнены также с помощью двух реле времени (типа ЭВ-235) переменного напряжения, как показано на рис. 10.12, б. Эти реле, подключаемые непосредственно к трансформаторам напряжения, выполняют одновременно функции двух реле: реле минимального напряжения и реле времени. При исчезновении напряжения реле начинают работать и с установленной выдержкой времени замыкают цепь отключения выключателей рабочего источника питания.

Пусковой орган минимального напряжения может быть выполнен с одним реле времени PB типа ЭВ-235К, которое включается через вспомогательное устройство типа ВУ-200, представляющее собой трехфазный выпрямительный мост (рис. 10.10, в). Это реле времени начинает работать лишь в том случае, если напряжение исчезнет одновременно на трех фазах. При отключении одного из автоматических выключателей в цепях напряжения реле не работает, так как на его обмотке остается напряжение от двух других фаз.

В схеме, приведенной на рис. 10.12, г, блокировка от нарушения цепей напряжения осуществляется с помощью реле минимального тока PT , включенного в цепь трансформаторов тока рабочего источника питания. В нормальных условиях, когда рабочий источник питает нагрузку, по обмотке реле PT проходит ток, и оно держит свои контакты разомкнутыми. В случае отключения рабочего источника или при исчезновении напряжения на питающих шинах, когда исчезает ток нагрузки, реле PT замыкает свои контакты и совместно с реле минимального напряжения PH производит отключение рабочего источника питания.

При отключении источника, питающего шины высшего напряжения рабочего трансформатора или линии (например, шины B на рис. 10.11), пусковой орган минимального напряжения мо-

жет прийти в действие не сразу, так как в течение примерно 0,5—1,5 синхронные и асинхронные, электродвигатели будут поддерживать на шинах остаточное напряжение, превышающее напряжение срабатывания реле минимального напряжения. Это обстоятельство задерживает работу АВР, поскольку вначале должно затухнуть остаточное напряжение до напряжения срабатывания пускового органа, а затем должен сработать пусковой орган, который всегда имеет выдержку времени, затем должен отключиться рабочий источник и только после этого произойдет включение резервного источника.

Для ускорения действия АВР в указанных условиях пусковой орган целесообразно дополнять реле понижения частоты, который выявляет прекращение питания раньше, чем реле минимального напряжения. В самом деле, после отключения источника питания электродвигатели начинают резко снижать частоту вращения, благодаря чему частота остаточного напряжения также быстро снижается. При уставке срабатывания реле понижения частоты 48 Гц оно срабатывает при снижении частоты вращения электродвигателя и синхронных компенсаторов всего на 4%, что происходит уже через 0,1–0,2 с.

Схема пускового органа АВР с двумя реле понижения частоты приведена на рис. 10.13, а.

Пусковой орган включает в себя два реле понижения частоты $PЧ1$ и $PЧ2$ и одно промежуточное реле P (рис. 10.13, б). Реле $PЧ1$ подключено к трансформатору напряжения $ТН1$ шин низшего напряжения, к которому подключены также реле напряжения $РН1$ и реле времени $PВ1$ и $PВ2$. Реле $PЧ2$ подключено к трансформатору напряжения $ТН2$ шин резервного источника питания, к которому подключено также реле $РН2$.

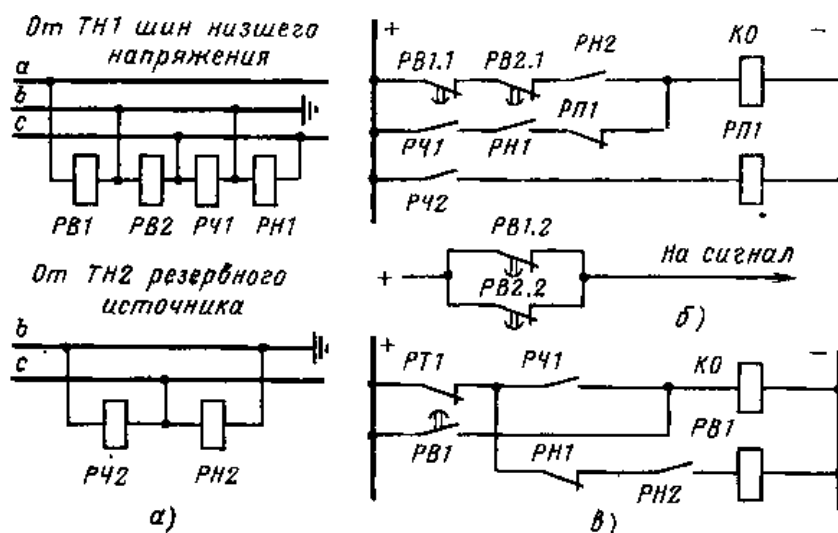


Рис. 10.13 Принципы выполнения пусковых органов АВР, реагирующих на понижение частоты

- а — цепи переменного напряжения для схемы с двумя реле частоты;
- б — цепи оперативного тока для схемы с двумя реле частоты;
- в — цепи оперативного тока для схемы с одним реле частоты в сочетании с пусковым органом минимального тока и напряжения.

Рассматриваемый пусковой орган работает следующим образом. При отключении источника, питающего шины высшего напряжения $Б$ (см. рис. 10.11, а), электродвигатели, питающиеся от шин $В$, поддерживают на этих шинах остаточное напряжение, частота которого быстро снижается. При снижении частоты до уставки реле $PЧ1$ оно срабатывает и через контакт реле $РН1$, замкнутый вследствие наличия остаточного напряжения, и размыкающий контакт промежуточного реле $РП1$ воздействует на отключение выключателей рабочего источника питания. Благодаря наличию контакта реле напряжения $РН1$ предотвращается ложное срабатывание пускового органа при кратковременном снятии напряжения с обмотки реле частоты $PЧ1$, когда могут замкнуться его контакты.

В рассмотренном случае, когда срабатывание (замыкание контакта) реле *РЧ1* происходит вследствие отключения рабочего источника питания, реле *РЧ2* не замыкает контакт, так как на шинах подстанции *А* сохраняется нормальное напряжение. Реле *РЧ2* предназначено для того, чтобы предотвратить отключение рабочего источника питания при общесистемном понижении частоты. В этом случае частота напряжения будет снижаться одинаково на всех шинах (*А*, *Б*, *В*), но первым сработает реле *РЧ2*, которое настраивается на более высокую уставку, чем реле *РЧ1*. Сработав, реле *РЧ2* воздействует на промежуточное реле *РП1*, которое своим контактом размыкает цепь от контакта реле *РЧ1*, предотвращая отключение рабочего источника питания при срабатывании реле *РЧ1*.

На рис. 10.11, в изображена более простая схема пускового органа с одним реле понижения частоты в сочетании с пусковым органом минимального тока. В случае отключения источника, питающего шины высшего напряжения *Б*, исчезнет ток в рабочем трансформаторе и понизится частота остаточного напряжения на шинах *В*. При этом сработают и замкнут контакты реле минимального тока *РТ1* и реле частоты *РЧ1*, что приведет к созданию цепи на отключение рабочего трансформатора. Реле частоты *РЧ1* может сработать, и при общесистемном снижении частоты, но цепи на отключение рабочего источника при этом не создастся, так как по рабочему трансформатору будет проходить ток нагрузки, и поэтому контакт реле *РТ1* останется разомкнутым.

С помощью реле напряжения *РН1*, *РН2* и реле времени *РВ1* в рассматриваемой схеме осуществляется пусковой орган минимального напряжения.

10.2.4 Автоматическое включение резерва на подстанциях

На подстанциях высокого напряжения находят широкое применение АВР разных типов. Наряду с АВР трансформаторов применяются АВР секционных и шиносоединительных выключателей и АВР линий.

Схема АВР секционного выключателя, приведенная на рис. 10.14, отличается от рассмотренных выше некоторыми особенностями. Питание секций шин подстанции, к одной из которых подключен синхронный электродвигатель *СД* большой мощности, производится от двух рабочих трансформаторов *Т1* и *Т2*. При отключении любого из них происходит автоматическое включение секционного выключателя *В5*. Однократность действия АВР в схеме на рис. 10.14 обеспечивается так же, как и в схемах, рассмотренных выше, с помощью реле *РПВ1* и *РПВ3* (реле положения «Включено» в схеме управления соответствующими выключателями).

В случае отключения выключателя *В1* трансформатора *Т1*, питающего первую секцию, замыкается вспомогательный контакт этого выключателя *БК1.2* и через замкнутый в рабочем состоянии схемы контакт *РПВ1.1* реле *РПВ1* подает импульс на катушку включения выключателя *В5* *КВ5*. Из-за наличия на 2-й секции синхронного электродвигателя (или синхронного компенсатора) действие АВР при отключении выключателя *В3* будет происходить по-другому. После отключения трансформатора *Т2*, питающего 2-ю секцию, частота вращения синхронного электродвигателя (синхронного компенсатора) будет уменьшаться постепенно, вследствие чего при действии АВР он может быть включен несинхронно через трансформатор *Т1*. Если толчок тока при несинхронном включении превышает величину, допустимую для синхронного электродвигателя (компенсатора) или трансформатора, синхронный электродвигатель необходимо предварительно отключить и лишь затем включить секционный выключатель.

Отключение выключателя *В6* синхронного электродвигателя в схеме на рис. 10.14 производится от вспомогательного контакта *БК3.2* выключателя *В3* при его отключении. В цепи отключения предусмотрена накладка *Н1* для вывода цепи отключения из действия, что необходимо на случай питания обеих секций от трансформатора *Т1* при замкнутом секционном выключателе. После отключения выключателя синхронного электродвигателя его вспомогательным контактом *БК6.2* будет замкнута цепь на включение секционного выключателя *В5*.

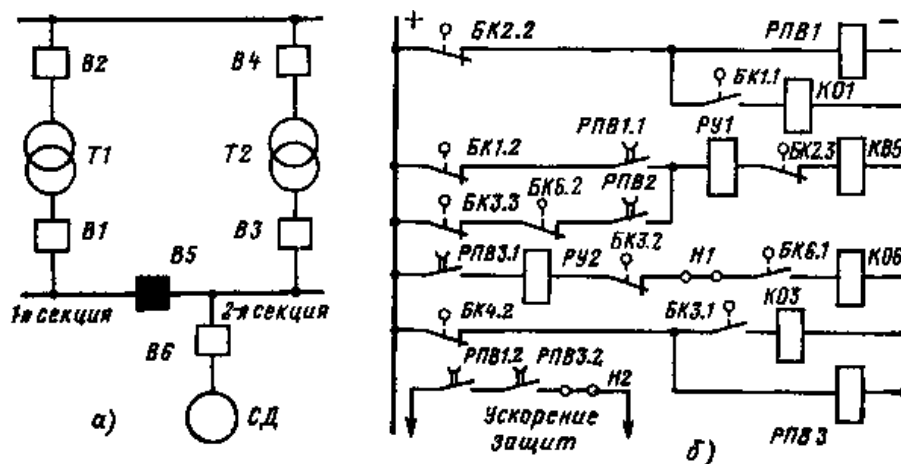


Рис. 10.14 Схема АВР секционного выключателя подстанции с синхронным двигателем

а — поясняющая схема;

б — оперативные цепи

Допускается вместо отключения выключателя синхронного электродвигателя (компенсатора) кратковременно отключать автомат гашения поля (АГП) и включать его вновь после, включения секционного выключателя. Толчок тока при этом будет меньше, чем при несинхронном включении, а после обратного включения АГП синхронный электродвигатель (компенсатор) втянется в синхронизм, т. е. произойдет его самосинхронизация. При наличии на подстанции нескольких синхронных электродвигателей контроль допустимости включения секционного выключателя от АВР обычно осуществляется с помощью реле минимального напряжения, т.е. АВР осуществляется с ожиданием снижения напряжения до 0,5–0,6 номинального.

Для быстрого отключения секционного выключателя в случае включения на неустранившееся КЗ на шинах подстанции в схеме предусмотрено ускорение защиты секционного выключателя после АВР. Ускорение осуществляется контактами РПВ1.2 и РПВ3.2 реле РПВ1 и РПВ3.

В отличие от схем АВР, рассмотренных выше, в схеме на рис. 10.14 отсутствует пусковой орган минимального напряжения, который в данном случае не нужен, так как оба источника питаются от одних общих шин высшего напряжения; При исчезновении напряжения на этих шинах действие АВР будет бесполезным.

Действие АВР должно согласовываться с действием других устройств автоматики и, в частности, с действием автоматики частотной разгрузки АЧР (см. раздел 10.4), отключающей потребителей при аварийном снижении частоты в энергосистеме. Для предотвращения снижения эффективности АЧР действие АВР на восстановление питания потребителей, отключенных от АЧР, должно запрещаться.

Наряду с устройствами АВР, работающими на постоянном оперативном токе, большое распространение на подстанциях получили АВР на переменном оперативном токе. На рис. 10.15 приведена схема АВР секционного выключателя на переменном оперативном токе для подстанции с двумя трансформаторами, питающимися ответвлениями от двух линий без выключателей на стороне высшего напряжения трансформаторов. Секционный выключатель ВЗ нормально отключен. Оперативный ток для питания схемы автоматики подается от трансформаторов собственных нужд ТСН1 и ТСН2. Особенностью схемы является то, что при исчезновении напряжения на одной из линий (Л1 или Л2) АВР включает секционный выключатель, а при восстановлении напряжения на линии автоматически собирает нормальную схему подстанции.

Пусковым органом схемы являются реле времени РВ1 и РВ2 типа ЭВ-235, контакты которых РВ1.2 и РВ2.2 включены последовательно в цепи КО1. Последовательно с контактами этих реле включен мгновенный контакт реле времени РВ1 трансформатора Т2, которое контролирует наличие напряжения на этом трансформаторе. Обмотки реле РВ1 и РВ2 включены на разные трансформаторы (ТСН1 и ТН1), что исключает возможность ложного действия пуско-

вого органа в случае неисправности в цепях напряжения. Реле *PВ1*, подключенное к трансформатору собственных нужд *ТСН1*, установленному до выключателя трансформатора *T1*, используется также для контроля за появлением напряжения на трансформаторе *T1* при включении линии *Л1*.

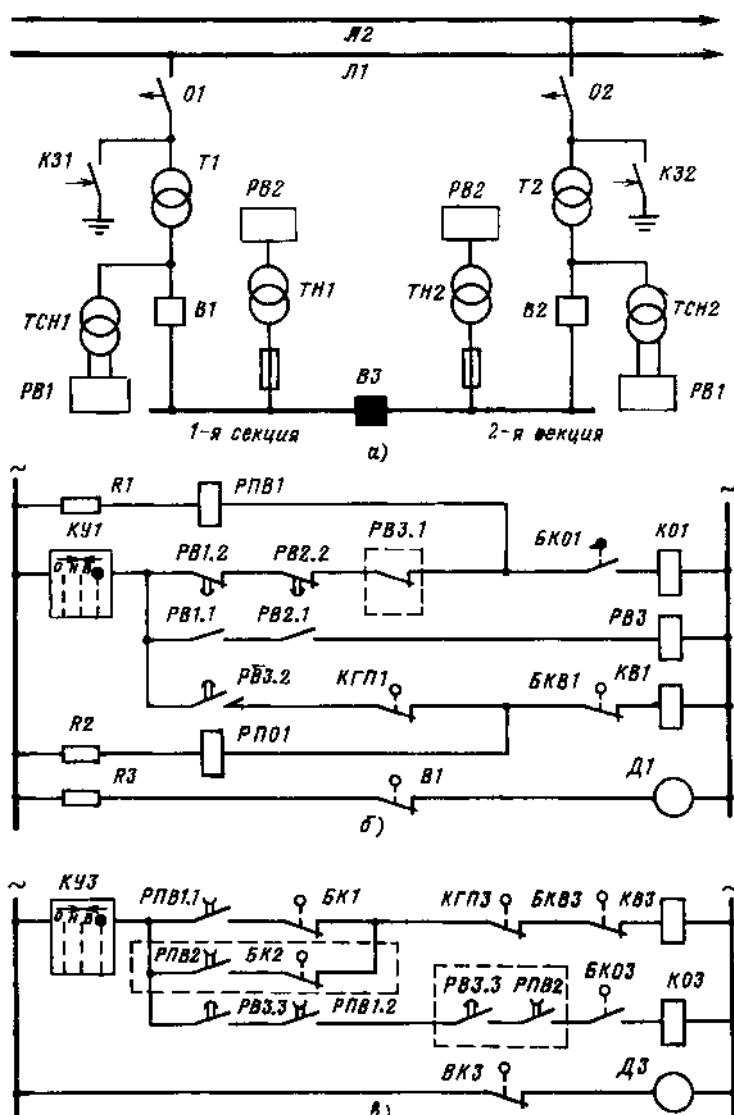


Рис. 10.15 Схема АВР секционного выключателя на переменном оперативном токе для двухтрансформаторной подстанции, подключенной к линиям электропередачи ответвлениями без выключателей:

- а — схема подстанции;
- б — цепи управления и АВР выключателя *B1* выключателя *B1*;
- в — цепи управления и АВР выключателя *B3*.

Пунктиром обведены цепи, относящиеся к трансформатору *T1*. В случае исчезновения напряжения в результате отключения линии *Л1* запускаются реле времени *PВ1* и *PВ2* и размыкают свои мгновенные контакты *PВ1.1* и *PВ2.1*, снимая напряжение с обмотки реле времени *PВ3* типа ЭВ-248. Это реле при снятии напряжения мгновенно возвращается в исходное положение, а при подаче напряжения срабатывает с установленной выдержкой времени. Если действием АПВ линии напряжение не будет восстановлено, то с установленной выдержкой времени (большей времени АПВ линии) замкнутся контакты реле времени *PВ1.2* к *PВ2.2* и создадут цепь на катушку отключения *K01* выключателя *B1* трансформатора *T1*. При отключении выключателя *B1* замкнется его вспомогательный контакт *БК1* (рис. 10.15, в) в цепи катушки включения *КВ3* секционного выключателя *B3* через еще замкнутый контакт *РПВ1.1* ре-

ле однократности включения. Секционный выключатель включится и подаст напряжение на 1-ю секцию подстанции. При этом подтянется реле времени *PB2*, замкнет контакт *PB2.1* и разомкнет *PB2.2*. Реле *PB1* останется без напряжения. Поэтому его контакт *PB1.1* останется разомкнутым, а реле времени *PB3* будет по-прежнему находиться в исходном положении, держа разомкнутыми все свои контакты.

При восстановлении напряжения на линии *Л1* напряжение появится и на трансформаторе *T1*, поскольку его отделитель оставался включенным. Получив напряжение, реле *PB1* подтянется, замкнет контакт *PB1.1* и разомкнет *PB1.2*. При замыкании контакта *PB1.1* начнет работать реле времени *PB3*, которое своим проскальзывающим контактом *PB3.2* создаст цепь на включение выключателя *B1*, а конечным контактом *PB3.3* на отключение секционного выключателя *B3*, при этом автоматически восстанавливается исходная схема подстанции. При этом цепь на отключение секционного выключателя создастся при условии, что включен выключатель *B2* трансформатора *T2*. Если АВР выключателя *B3* будет неуспешным вследствие наличия устойчивого повреждения на 1-й секции, она должна быть выведена в ремонт. После окончания ремонта питание 1-й секции восстанавливается от *T1* или от 2-й секции и автоматика вводится в работу. Схема, аналогичная схеме на рис. 10.15, обеспечивает действие АВР *T2*.

Для действия автоматики в рассмотренной схеме, все выключатели должны быть оборудованы грузовыми или пружинными приводами.

10.2.5 Сетевые АВР

В распределительных сетях находят широкое применение АВР, обеспечивающие при своем срабатывании восстановление питания нескольких подстанций сети, так насыпаемые сетевые АВР. Схема такого АВР приведена на рис. 10.16. Устройство АВР двустороннего действия обеспечивает восстановление питания участков сети, расположенных слева и справа от подстанции *B*, в случае нарушения питания от подстанций *A* и *Д* соответственно. Пуск АВР осуществляется контактами реле напряжения *РН1* или *РН2*, подключенными к трансформаторам напряжения *ТН1* и *ТН2* соответственно. В цепи обмотки реле времени *PB1* пускового органа АВР включены замыкающие контакты автоматических выключателей *A1* и *A2*, предотвращающие ложное срабатывание пускового органа в случае неисправности цепей напряжения, а также замыкающие контакты реле напряжения *РН3* и *РН4*, контролирующие наличие напряжения со стороны резервного источника.

В схеме пускового органа АВР предусмотрено второе реле времени *PB2* для возможности осуществления двух различных уставок по времени в случае отключения источников питания от подстанций *A* и *Д*. Однократность действия рассматриваемой схемы АВР обеспечивается двухпозиционным реле переменного тока *РПФ1* типа РП-9.

В нормальном режиме замкнуты контакты реле *РПФ1.1* и подготовлена цепь обмотки выходного промежуточного реле *РП*. После срабатывания *РП*, подающего импульс на включение *B1*, и замыкания контактов реле положения «Включено» *РПВ1*, фиксирующего завершение процесса включения *B1*, реле *РПФ1* срабатывает и переключает свои контакты, размыкая *РПФ1.1* в цепи обмотки *РП*. Возврат реле *РПФ1* и подготовка схемы АВР к новому действию осуществляются нажатием кнопки *К*. Эту операцию выполняет персонал оперативно-выездной бригады, отправляющийся на подстанцию при поступлении сигнала о срабатывании АВР. Действие сетевого АВР увязывается с АПВ линий, что обеспечивает наибольшую эффективность действия автоматики. Релейная защита в рассматриваемой сети должна выполняться с учетом возможности питания промежуточных подстанций как от одного, так и от другого источника.

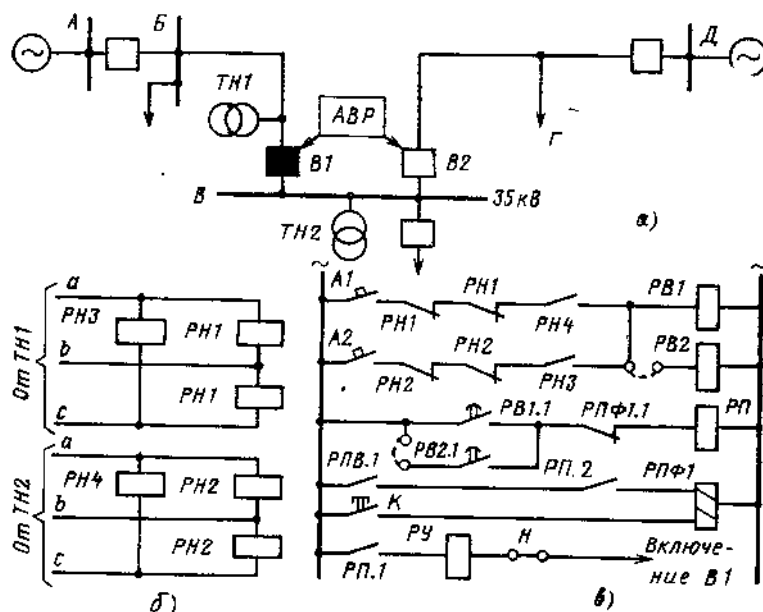


Рис. 10.16 Схема сетевого АВР.

а – схема сети; б – цепи напряжения;
в – оперативные цепи.

10.2.6 Быстродействующее АВР

Быстродействующее АВР (БАВР) предназначено для повышения надежности электроснабжения синхронных двигателей 6-10 кВ и обеспечения их устойчивости при кратковременных нарушениях электроснабжения. Для этого требуется быстро выявить факт исчезновения напряжения со стороны основного питания, проверить отсутствие повреждения на шинах отключить основной ввод питания и включить выключатель резервного источника. Включение можно произвести либо до того, как вектора напряжения двигателей и резервного источника разойдутся на недопустимый угол, или после окончания первого цикла проворота, когда напряжения опять совпадут по фазе. Основой такого АВР являются быстродействующие устройства защиты и автоматики, а также быстродействующие выключатели. В качестве таких выключателей можно применить вакуумные выключатели, имеющие время отключения порядка 0,015 с, а включения 0,02 с.

Комплекс устройств БАВР производства научно-исследовательский центра ВЭИ – (ВНИЦВЭИ г. Москва) включает в себя быстродействующие вакуумные выключатели типа ВБТЭ-М, ВВЭМ, ВБЧЭ и другие с электродинамическим устройством управления приводом и быстродействующее пусковое устройство АВР (ПУ АВР) типа БЭ8302, размещаемые в шкафах КРУ серий К-104м, К-113, КРУ2-10 и т.п., в шкафах КСО или других типах ячеек распределительного устройства 6-10 кВ.

Пусковое устройство (ПУ) АВР представляет собой многоэлементное устройство релейной защиты и противоаварийной автоматики и может обеспечить двухстороннее действие на отключение выключателей двух вводов и на включение секционного выключателя резервного питания. Логика ПУ АВР обеспечивает адаптируемое АВР: в зависимости от вида аварии обеспечивается или опережающее АВР (при потерях питания вызванных неоперативными отключениями питающих фидеров), или одновременное АВР или АВР с контролем от блок-контактов отключаемого вводного выключателя (при потерях питания вызванных КЗ в питающей линии).

В ПУ АВР предусмотрена возможность синфазного включения аварийной секции (в конце первого проворота векторов напряжения аварийной секции относительно резервной).

Блок пускового устройства включает следующие органы:

- блоки минимального напряжения (реагирует на КЗ);

- блок контроля угла между одноименными напряжениями прямой последовательности первой и второй секций шин (реагирует на потери питания, связанные с неоперативными отключениями питающих фидеров);
- блоки направления активной мощности прямой последовательности (определяет место КЗ: до вводного выключателя секции или после него).

Основные технические характеристики ПУ АВР

Номинальное напряжение переменного тока, В	100
оперативного постоянного (или выпрямленного) тока, В	220
Номинальный ток, А	5
Номинальная частота, Гц	50-60
Время срабатывания пускового устройства, с, не более	0,06
органа минимального напряжения, с, не более	0,045
органа контроля угла, с, не более	0,02
реле направления активной мощности, с, не более	0,035

Быстродействующие коммутационные аппараты выполнены на базе серийных вакуумных выключателей с электромагнитным приводом типа ВБТЭ-М (г. Уфа), ВВЭМ, ВБЧЭ (г. Минусинск) или других и специальным электродинамическим устройством управления приводом (г. Истра). Использование электродинамического устройства управления приводом выключателя (ЭДУУ) позволило уменьшить время отключения и сократить в 2,5-3 раза время включения выключателей по сравнению со временами серийных вакуумных выключателей. Увеличение быстродействия срабатывания привода не уменьшает механический и коммутационный ресурс аппарата, так как быстродействие достигается только за счет сокращения времени трогания сердечников электромагнитов включения и отключения выключателя.

10.2.7 Выполнение схем АВР с помощью микроэлектронной аппаратуры

Фирма “Энергомашвин” выпускает комплектное устройство напряжения УЗА АН, с помощью которого можно выполнить АВР.

Защита минимального напряжения (ЗМН) для схемы АВР

В качестве пусковых органов ЗМН используются органы минимального напряжения реле УЗА АН. Органы минимального напряжения используются для 2 целей:

- Пуск АВР при исчезновении напряжения – действует на отключение питающего ввода потерявшего питание;
- Проверка отсутствия напряжения на секции при включении СВ от АВР.

Схема ЗМН отключения ввода 6(10) кВ с реле УЗ АН показана на рис. 10.17.

В цепь выходного реле ЗМН (KL3) включается размыкающий контакт реле КНН органа максимального напряжения смежной секции 6(10) кВ (контроль наличия напряжения на резервной секции) и контакт переключателя SA2 вывода ЗМН – АВР. Переключатель целесообразно разместить в ячейке СВ 6(10) кВ и тогда им выводится действие ЗМН – АВР по двум секциям одновременно. Если его устанавливать в ячейках ТН–6(10) кВ или вводах 6(10) кВ каждой секции, то тогда возможен вывод ЗМН – АВР по каждой секции отдельно.

Для исключения ложного срабатывания ЗМН при отключении автомата трансформатора на-пряжения напряжение на вход *KL3* подается через замыкающий блок-контакт.

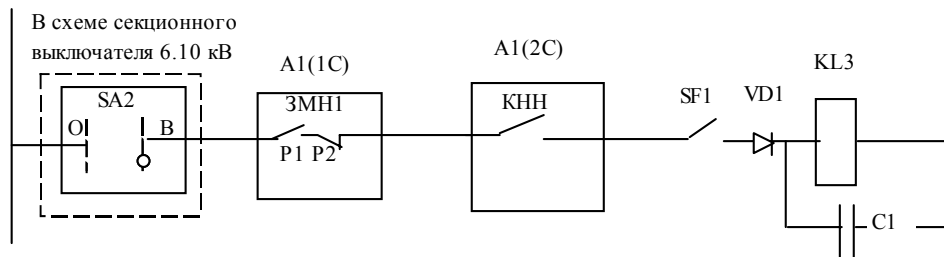


Рис. 10.17 Схема ЗМН с использованием УЗА АН

Выход ЗМН состоит из 2 последовательно включенных контактов: по истечении выдержки времени АВР срабатывает реле P1 и замыкается его контакт в цепи выходного реле ЗМН. Если напряжение не восстановится то через 0.25-0.4 с срабатывает реле P2 и его контакт в цепи пуска ЗМН размыкается. За счет этого после отпадания реле KL3 снимается отключающий импульс, препятствующий включению ввода, например от АПВ при его совместном использовании с АВР. Если подобная взаимоблокировка не нужна, то можно ограничиться одним контактом P1 в схеме ЗМН1. В этом случае импульс ЗМН, препятствующий ручному или дистанционному от ТУ отключению снимется через 4-5 с после разряда конденсатора в блоке питания УЗА-АН (цепи ТН являются одновременно источником оперативного напряжения для реле.

Цепочка *VD1–C1* обеспечивает задержку отпадания реле *KL3* защиты минимального напряжения на время включения выключателя от АВР.

Контроль наличия напряжения на резервном вводе выполняется пусковым органом максимального напряжения (КНН). Это позволяет выполнить действие АВР только при наличии напряжения на секции резервного питания.

На рис. 10.18 показаны цепи действия АВР на секционный выключатель и выключатель ввода.

ЗМН действует на отключение ввода 6(10) кВ без блокировки АВР. Для этого служит разделительный диод *VD1*. Если же отключение ввода происходит от защит, запрещающих АВР, оперативно или по локальной сети, то срабатывает реле блокировки АВР *KL* с задержкой при возврате (РП252 или реле *R4* с конденсатором). При отключении же питающего трансформатора от защит АВР выполняется.

Команда на включение секционного выключателя подается после отключения выключателя ввода через его размыкающий блок-контакт, замыкающий контакт реле положения «включено» *KQC1* и размыкающий контакт реле блокировки. Если отключение ввода происходит без блокировки АВР, то реле *KL* не срабатывает, а реле *KQC1* возвращается после отключения выключателя с задержкой, достаточной для надежного включения секционного выключателя.

В ряде случаев перед включением секционного выключателя от АВР требуется проверить отсутствие напряжения на рабочей секции. Дело в том, что выключатель ввода может отключиться не только от ЗМН, но и от других защит трансформатора.

В этом случае АВР действует немедленно после отключения ввода и может быть подано напряжение на секцию без контроля напряжения, например работающие синхронные двигатели. Для того чтобы избежать такой возможности подачи напряжения в цепи включения *CB* от АВР можно установить входящий в состав УЗА АН второй комплект ЗМН использовав его для контроля отсутствия напряжения на секции см. рис. 10.19.

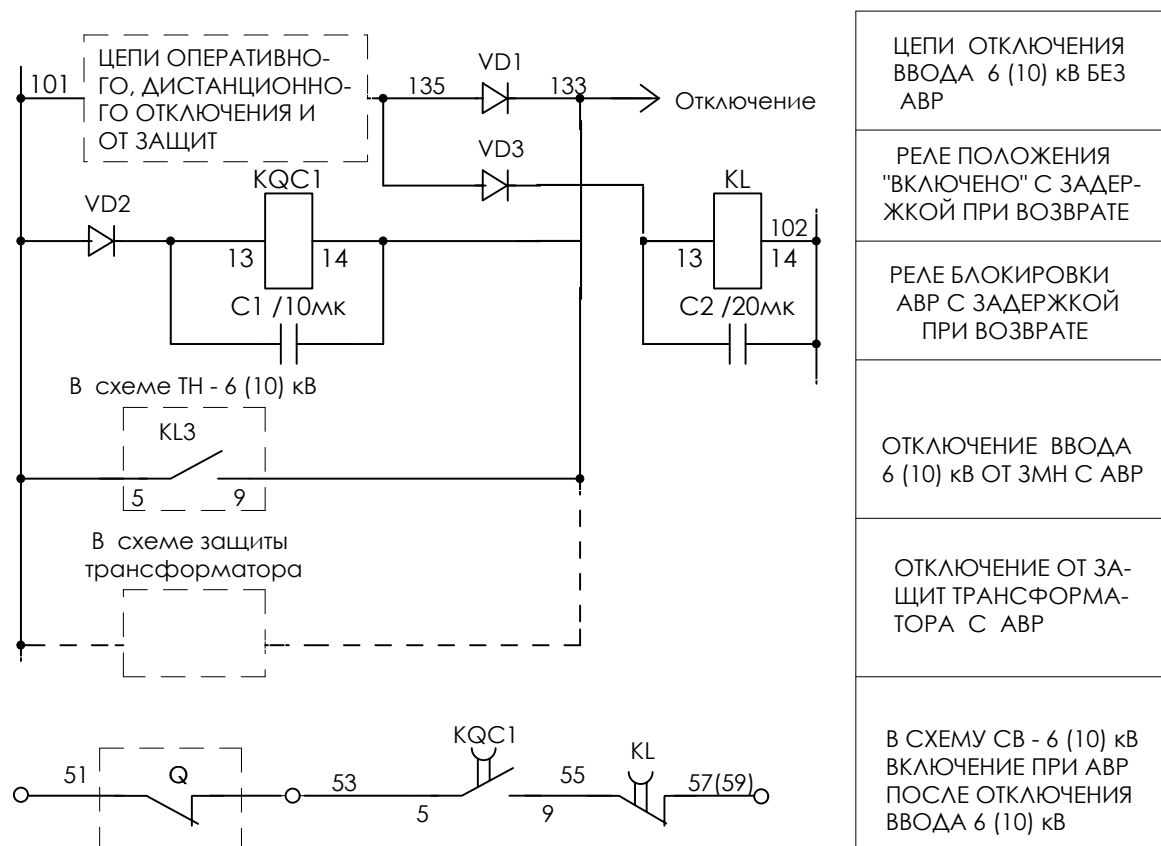


Рис. 10.18 Схема цепей АВР с применением реле УЗА АН

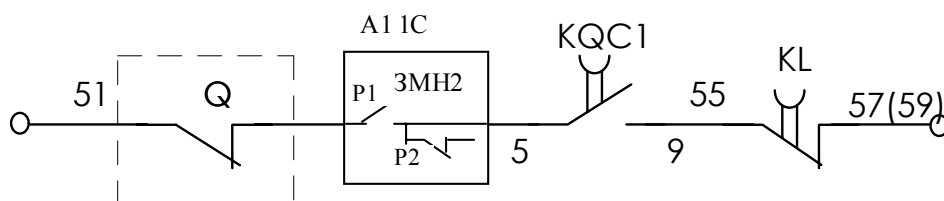


Рис. 10.19 Вариант включения СВ от АВР с применением реле УЗА АН и с контролем отсутствия напряжения на шинах.

Для выполнения АВР может быть использовано микропроцессорные реле напряжения фирма ALSTOM. Схема ЗМН для такого АВР показана на рис. 10.20.

ЗМН используется для отключения линий 6(10) кВ к электродвигателям при снижении напряжения питания, а также для отключения ввода 6(10) кВ перед выполнением АВР.

В качестве пусковых органов ЗМН используются органы минимального напряжения реле MICOM P921(P922) или MX3VIC30A, контролирующего напряжение на шинах 6(10) кВ.

Возможно выполнение двух ступеней защиты минимального напряжения ЗМН I и ЗМН II с различными уставками по напряжению и по времени. Однако в этом случае из-за ограниченного количества выходных реле MICOM P922 нельзя будет выполнить две очереди АЧР. Если АЧР не требуется, то используется реле MICOM P921.

Схема ЗМН отключения ввода 6(10) кВ с реле MICOM P921 выполняется по рис. 10.20.

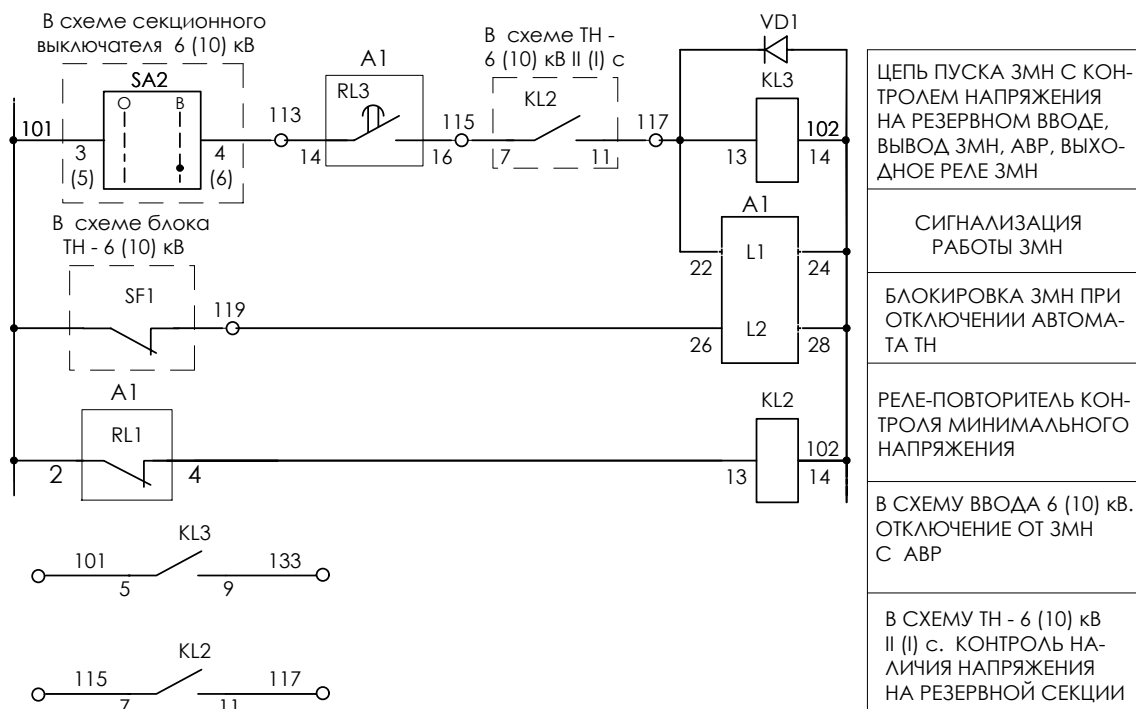


Рис. 10.20 Схема цепей ЗМН на микропроцессорном реле фирмы ALSTOM

В цепь выходного реле ЗМН включается размыкающий контакт реле-повторителя *KL2* органа минимального напряжения смежной секции 6(10) кВ (контроль наличия напряжения на резервной секции) и контакт переключателя *SA2* вывода ЗМН–АВР. Переключатель целесообразно разместить в ячейке 6(10) кВ и тогда им выводится действие ЗМН–АВР по двум секциям одновременно. Если его устанавливать в ячейках ТН–6(10) кВ или вводах 6(10) кВ каждой секции, то тогда возможен вывод ЗМН – АВР по каждой секции отдельно.

Для исключения ложного срабатывания ЗМН при отключении автомата трансформатора напряжения через его размыкающий блок-контакт подается напряжение на вход *L2*, который блокирует все ступени минимального напряжения.

Контроль наличия напряжения на резервном вводе выполняется пусковым органом минимального напряжения ЗМН отключения ввода через реле-повторитель *KL2*. Одновременно этот же орган обеспечивает пуск МТЗ ввода 6(10) кВ и трансформатора по напряжению, а также контроль отсутствия напряжения на шинах резервируемой секции 6(10) кВ в схеме АВР СВ-6(10) кВ.

Фиксация срабатывания ЗМН контролируется оптовходом *L1*, включенным параллельно катушке выходного реле *KL3*.

Если возникает необходимость передачи через оптовыходы дополнительных сигналов, то блокировка ЗМН при отключении автомата ТН выполняется путем включения в цепь реле *KL3* и реле ЗМН отключения электродвигателей замыкающего блок-контакта автомата ТН *SF1* и оптовход *L2* освобождается. Схема АВР с применением микропроцессорных устройств остается прежним (см. рис. 10.18).

10.2.8 Расчет уставок АВР

а) Реле однократности включения;

Выдержка времени промежуточного реле однократности включения $t_{ов}$ от момента снятия напряжения с его обмотки до размыкания контакта должна с некоторым запасом превышать время включения выключателя резервного источника питания:

$$t_{ов} = t_{вкл} + t_{зан} \quad (10.6)$$

где

$t_{вкл}$ – время включения выключателя резервного источника питания; если выключателей два, то выключателя, имеющего большее время включения;

$t_{зан}$ – время запаса, принимаемое равным $0,3 \div 0,5$ с.

б) Пусковой орган минимального напряжения

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения при выполнении пускового органа по схеме на рис. 10.11, а выбирается так, чтобы пусковой орган срабатывал только при полном исчезновении напряжения и не приходил в действие при понижениях напряжения, вызванных КЗ или самозапуском электродвигателей.

Для выполнения этого условия напряжение срабатывания реле минимального напряжения (напряжение, при котором возвращается якорь реле) должно быть равным:

$$U_{ср} = U_{ост.н} / (k_n \cdot k_U) \quad (10.7)$$

$$U_{ср} = U_{зан} / (k_n \cdot k_U) \quad (10.8)$$

где

$U_{ост.н}$ – наименьшее расчетное значение остаточного напряжения при к. з.;

$U_{зан}$ – наименьшее напряжение при самозапуске электродвигателей;

k_n – коэффициент надежности, принимаемый 1,25;

k_U – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Для определения наименьшего остаточного напряжения производятся расчеты при трехфазных КЗ за реакторами и трансформаторами (точки 1, 2, 3 на рис. 10.15) и расчет самозапуска электродвигателей. Принимается меньшее значение напряжения срабатывания из полученных по формулам (10.7) и (10.8).

В большинстве случаев обоим условиям удовлетворяет напряжение срабатывания, равное:

$$U_{ср} = (0,25 \div 0,4) U_{ном} \quad (10.9)$$

где

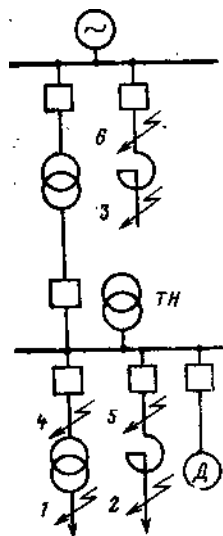
$U_{ост.н}$ – номинальное напряжение электроустановки.

Следовательно, практически можно принимать напряжение срабатывания согласно формуле (10.9).

При выполнении пускового органа минимального напряжения с помощью реле времени переменного напряжения по схемам на рис. 10.12, б и в необходимо иметь в виду следующее. Напряжение срабатывания реле времени типов ЭВ-215 – ЭВ-245 не регулируется и по данным завода составляет $(0,25 - 0,55) U_{ном,р}$, где $U_{ном,р}$ – номинальное напряжение реле. Поэтому при использовании этих реле в схемах пусковых органов минимального напряжения нужно отбирать реле с напряжением срабатывания не выше предусмотренного по (10.9).

Напряжение срабатывания реле времени типов ЭВ-215К—ЭВ245К также не регулируется, но по данным завода не превышает $0,35 U_{ном,р}$. Поэтому в схемах пусковых органов можно применять любые реле этих типов.

Выдержка времени пускового органа минимального напряжения должна быть на ступень селективности больше выдержек времени защит, в зоне действия которых остаточное напряжение при КЗ оказывается ниже напряжения срабатывания реле минимального напряжения или реле времени. Такой зоной являются участки до реакторов (точки 5, б) и до трансформаторов (точка 4) на рис. 10.21.



Таким образом, выдержка времени пускового органа минимального напряжения должна быть равна:

$$t_{no} = t_1 + \Delta t \quad (10.10)$$

$$t_{no} = t_2 + \Delta t \quad (10.11)$$

где

t_1 – наибольшая выдержка времени защиты присоединений, отходящих от шин высшего напряжения подстанции;

t_2 – наибольшая выдержка времени защиты присоединений, отходящих от шин низшего напряжения подстанции;

Δt – ступень селективности, равная 0,4- 0,5 с.

Рис. 10.21 К выбору уставок пусковых органов АВР

Чем меньше выдержка времени пускового органа АВР, тем меньше перерыв питания потребителей. Поэтому при выборе уставок пускового органа следует стремиться к тому, чтобы выдержка времени была по возможности меньше.

с) Пусковой орган минимального тока и напряжения

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения пускового органа минимального тока и напряжения (см. рис.10.12, а) выбирается, как рассмотрено выше, по формулам (10.7) - (10.8). При этом отстраиваться следует только от коротких замыканий в точке 3 (рис. 10.21), так как при коротком замыкании в точках 4 и 5 через трансформатор проходит большой ток КЗ и реле Т держит контакт разомкнутым.

Ток срабатывания реле минимального тока должен быть меньше минимального тока нагрузки и определяется по формуле:

$$I_{cp} = I_{наг\ min} / (k_n \cdot k_I) \quad (10.12)$$

где

$I_{наг\ min}$ – минимальный ток нагрузки трансформатора;

k_n – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;

k_I – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Выдержка времени определяется только по формуле (10.10) из условия согласования с защитой, действующей при КЗ в точке 6 (рис. 10.15). Согласования с защитами присоединений шин низшего напряжения не требуется.

д) Реле контроля наличия напряжения на резервном источнике питания

Напряжение срабатывания этого реле определяется из условия отстройки от минимального рабочего напряжения по формуле

$$U_{cp} = U_{раб.min} / (k_n \cdot k_e \cdot k_U) \quad (10.13)$$

где

$U_{раб.min}$ – минимальное рабочее напряжение;

k_n – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;

k_e – коэффициент возврата реле.

10.3 АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОНАЯ РАЗГРУЗКА (АЧР)

10.3.1 Назначение и основные принципы выполнения АЧР

Пока в энергосистеме имеется вращающийся резерв активной мощности, системы регулирования частоты и мощности должны поддерживать заданный уровень частоты. После того как вращающийся резерв будет исчерпан, дефицит активной мощности, вызванный отключением части генераторов или включением новых потребителей, повлечет за собой снижение частоты в энергосистеме. Современные мощные тепловые и атомные энергоблоки, которые составляют основу энергетики Украины, имеют малый диапазон регулирования активной мощности, что не позволяет выполнить надежное регулирование частоты и активной мощности в необходимом диапазоне. Поэтому зачастую применяют ручное регулирование частоты, такое регулирование часто заключается в пуске и останове блоков и поэтому мощность меняется ступенчато, образуя либо дефицит либо избыток мощности. При параллельной работе с Россией и другими странами СНГ, удастся удержать частоту близкой к номинальной за счет того, что по линиям электропередачи протекает уравнивающий переток мощности, покрывающий ее избыток или дефицит. Однако в случаях отделения Украины от России или отделении отдельного узла в энергосистеме Украины возникает дефицит мощности, который не может быть покрыт за счет вращающегося резерва.

Небольшое снижение частоты, на несколько десятых герца, не представляет опасности для нормальной работы энергосистемы, хотя и влечет за собой ухудшение экономических показателей. Снижение же частоты более чем на 1–2 Гц – представляет серьезную опасность и может привести к полному расстройству работы энергосистемы.

Это в первую очередь определяется тем, что при понижении частоты снижается скорость вращения электродвигателей, а следовательно, снижается и производительность приводимых ими механизмов собственного расхода хода тепловых электростанций. Вследствие снижения производительности механизмов собственного расхода резко уменьшается располагаемая мощность тепловых электростанций, особенно электростанций высокого давления, что влечет за собой дальнейшее снижение частоты в энергосистеме. Это касается также и атомных электростанций. Таким образом, происходит лавинообразный процесс – «лавина частоты», который может привести к полному расстройству работы энергосистемы.

Следует также отметить, что современные крупные паровые турбины не могут длительно работать при низкой частоте из-за опасности повреждения их рабочих, лопаток. Дело в том, что каждый ряд лопаток имеет собственную частоту резонанса, все группы лопаток имеют разные различные размеры и конструкторам турбин приходится долго заниматься тем, чтобы вывести все группы лопаток из резонанса при частоте вращения близкой к номинальной. Если та или другая группа лопаток турбины попадет в резонанс, она может быть через некоторое время повреждена. Зона, свободная от резонансов составляет 1-2 Гц и недопустима длительная работа системы при частотах выходящих за этот диапазон.

Процесс снижения частоты в энергосистеме сопровождается также снижением напряжения, что происходит вследствие уменьшения частоты вращения возбудителей, расположенных на одном валу с основными генераторами. Если регуляторы возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов не смогут удержать напряжение, то также может возникнуть лавинообразный процесс – «лавина напряжения», так как снижение напряжения сопровождается увеличением потребления реактивной мощности, что еще более осложнит положение энергосистеме.

Аварийное снижение частоты в энергосистеме, вызванное внезапным возникновением значительного дефицита активной мощности, протекает очень быстро, в течение нескольких секунд. Поэтому дежурный персонал не успевает принять каких-либо мер, вследствие чего ликвидация аварийного режима должна возлагаться на устройства автоматики.

Для предотвращения развития аварии должны быть немедленно мобилизованы все резервы активной мощности, имеющиеся на электростанциях. Все вращающиеся агрегаты загружаются до предела с учетом допустимых кратковременных перегрузок.

Поскольку вращающийся резерв невелик, он не может покрыть большой дефицит мощности, возникший в узле.

При отсутствии вращающегося резерва единственным способом восстановления частоты является отключение части наименее ответственных потребителей. Это и осуществляется с помощью специальных устройств – автоматов частотной разгрузки (АЧР), срабатывающих при опасном снижении частоты.

Следует отметить, что действие АЧР всегда связано с определенным ущербом, поскольку отключение линий, питающих электроэнергией промышленные предприятия, сельскохозяйственных и других потребителей, влечет за собой недопроизводство продукции, появление брака и т. п. Несмотря на это, АЧР широко используется в энергосистеме как средство предотвращения значительно больших убытков из-за полного расстройств работы энергосистемы, если не будут приняты срочные меры по ликвидации дефицита активной мощности.

Глубина снижения частоты зависит не только от дефицита мощности в первый момент аварии, но и от характера нагрузки. Потребление мощности одной группой потребителей, к которой относятся электроосветительные приборы и другие установки, имеющие чисто активную нагрузку, не зависит от частоты и при ее снижении остается постоянным. Потребление же другой группы потребителей – электродвигателей переменного тока при уменьшении частоты снижается. Чем больше в энергосистеме доля нагрузки первой группы, тем больше понизится частота при возникновении одинакового дефицита активной мощности. Нагрузка потребителей второй группы будет в некоторой степени сглаживать эффект снижения частоты, поскольку одновременно будет уменьшаться потребление мощности электродвигателями.

Уменьшение мощности, потребляемой нагрузкой при снижении частоты, или, как говорят, регулирующий эффект нагрузки, характеризуется коэффициентом $k_{нагр}$, равным отношению

$$k = \frac{\Delta P\%}{\Delta f\%} \quad (10.14)$$

Коэффициент регулирующего эффекта нагрузки показывает, на сколько процентов уменьшается потребление нагрузки активной мощности на каждый процент снижения частоты. Значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки должно определяться специальными испытаниями и принимается при расчетах равным 2,5–4.

Устройства АЧР должны устанавливаться там, где возможно возникновение значительного дефицита активной мощности во всей энергосистеме или в отдельных ее районах, а мощность потребителей, отключаемых при срабатывании АЧР, должна быть достаточной для предотвращения снижения частоты, угрожающего нарушением работы механизмов собственного расхода электростанций, что может повлечь за собой лавину частоты. Устройства АЧР должны выполняться с таким расчетом, чтобы была полностью исключена возможность даже

кратковременного снижения частоты ниже 45 Гц, время работы с частотой ниже 47 Гц не превышало 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц – 60 с. Допустимое время снижения частоты ниже 49 Гц по условиям работы АЭС равно 2 минуты.

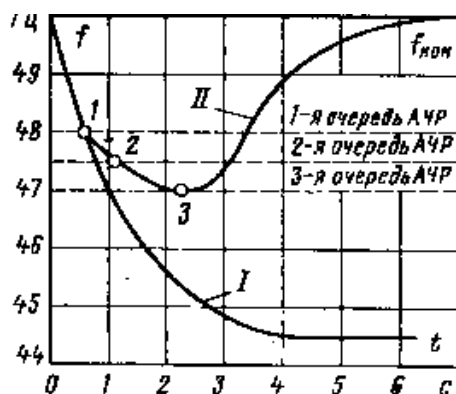


Рис. 10.22 Изменение частоты при возникновении дефицита активной мощности

I – при отсутствии АЧР;

II – при наличии АЧР.

При выполнении АЧР необходимо учитывать все реально возможные случаи аварийных отключений генерирующей мощности и разделения энергосистемы или энергообъединения на части, в которых может возникнуть дефицит активной мощности. Чем больший дефицит мощности может возникнуть, тем на большую мощность должно быть отключено потребителей. Для того, чтобы суммарная мощность нагрузки потребителей, отключаемых действием АЧР, хотя бы примерно соответствовала дефициту активной мощности, возникшему при данной аварии, АЧР, как правило, выполняется многоступенчатой, в несколько очередей, отличающихся уставками до частоте срабатывания.

На рис. 10.22 приведены кривые, характеризующие процесс изменения частоты в энергосистеме при внезапном возникновении дефицита активной мощности. Если в энергосистеме отсутствует АЧР, то снижение частоты, вызванное дефицитом активной мощности, будет продолжаться до такого установившегося значения, при котором за счет регулирующего эффекта нагрузки и действия регуляторов частоты вращения турбин вновь восстановится баланс генерируемой и потребляемой мощности при новом сниженном значении частоты – (кривая *I*). Для восстановления в энергосистеме нормальной частоты в этом случае необходимо вручную отключить часть нагрузки потребителей, суммарное потребление мощности которыми при частоте 50 Гц равно дефициту мощности, вызвавшему аварийное снижение частоты. Учитывая возможные аварийные режимы, доля нагрузки, подключенной к АЧР, в энергосистемах Украины составляет порядка 60%.

Иначе будет протекать процесс изменения частоты при наличии АЧР (кривая *II*). Пусть, например, автоматическая частотная разгрузка состоит из трех очередей с уставками срабатывания 48; 47,5 и 47 Гц. Когда частота снизится до 48 Гц (точка 1), сработают АЧР 1-й очереди и отключат часть потребителей, дефицит активной мощности уменьшится, благодаря чему уменьшится и скорость снижения частоты. При частоте 47,5 Гц (точка 2) сработают АЧР 2-й очереди и, отключая дополнительно часть потребителей, еще больше уменьшат дефицит активной мощности и скорость снижения частоты. При частоте 47 Гц (точка 3) сработают АЧР 3-й очереди и отключат еще часть потребителей. Снижение частоты остановится. Однако, как уже говорилось, для сохранения надежной работы системы частоту необходимо поднять выше 49,0 Гц. Таким образом, работа АЧР должна быть продолжена другими устройствами АЧР. Устройства АЧР, используемые для ликвидации аварийного дефицита активной мощности в энергосистемах, подразделяются на три основные категории.

Первая категория автоматической частотной разгрузки АЧР1 быстродействующая ($t=0,3\div0,5$ с) с уставками срабатывания от 48,5 Гц (в отдельных случаях от 49,2÷49,3 Гц) до 46,5 Гц. Назначение очередей АЧР1 – не допустить глубокого снижения частоты в первое время развития

аварии. Уставки срабатывания отдельных очередей АЧРІ отличаются одна от другой на 0,1 Гц.

Мощность, подключаемая к АЧРІ, примерно равномерно распределяется между очередями.

Вторая категория автоматической частотной разгрузки—АЧРІІ предназначена для восстановления частоты до длительно допустимого значения – выше 49,0 Гц. Вторая категория АЧР ІІ работает после отключения части потребителей от АЧРІ, когда снижение частоты прекращается, и она устанавливается на уровне 47,5÷48,5 Гц.

Уставки срабатывания всех АЧРІІ принимаются близкими по частоте в диапазоне 48,5÷48,8 Гц. Выдержки времени АЧРІІ отличаются друг от друга на 3 с и принимаются равными 5÷90 с. Большие выдержки времени АЧРІІ принимаются для того, чтобы постепенно довести частоту до нужной величины, не допустив повышения ее до величины существенно выше 49 Гц. Считается, что энергосистема может устойчиво и длительно работать при частоте превышающей 49,2 Гц и доведение ее до номинальной, означает, что будет отключена дополнительная часть потребителей, которая могла бы остаться в работе.

Совмещенная АЧР состоит из двух устройств АЧРІ - АЧРІІ действующих на ту же нагрузку.

Кроме двух категорий автоматической частотной разгрузки – АЧРІ и АЧРІІ в эксплуатации применяются некоторые другие очереди АЧР. Спецочередь АЧР – имеющая уставки 49,2 Гц, 0,3–0,5 с должна препятствовать понижению частоты ниже 49,2 Гц, а защитная очередь АЧР 49,1Гц 0,3–0,5 с. не должна допустить снижения частоты ниже 49 Гц, опасной вследствие возможной разгрузки атомных электростанций и дальнейшего снижения частоты. АС вырабатывают около 40% энергии на Украине, поэтому и приходится удерживать частоту на необходимом уровне. Мощность нагрузки, подключенная к двум последним очередям АЧР недостаточна для того, чтобы обеспечить подъем частоты при тяжелых авариях, связанных с выделением узла со значительным дефицитом мощности. Эта задача возлагается на мощность, подключенную к АЧРІ и АЧРІІ.

Таким образом, в современных условиях имеется 2 системы АЧР. Одна – спецочередь и защитная очередь удерживает частоту на длительно допустимом уровне и нужна для работы системы при недостатке генерирующей мощности, когда не представляется возможным удерживать номинальную частоту, так как для этого требуется отключить добавочное количество потребителей. Вторая система АЧР нужна для работы при аварийно возникших больших дефицитах мощности, отключает значительно больший объем нагрузки и также доводит частоту до длительно допустимого уровня превышающего 49,0 Гц. Может применяться также дополнительная разгрузка по другим факторам, например при отключении линий связи или генератора, в результате которого внезапно возникает дефицит мощности. Такая автоматика не дожидается снижения частоты и отключает нагрузку немедленно. Все эти виды автоматики имеют название – противоаварийная режимная автоматика. Нетрудно заметить изменение приоритетов в этой противоаварийной автоматике – она предназначена удерживать нормальную работу системы за счет отключения потребителей. В конечном счете, пожертвовав частью потребителей, мы сохраняем в работе остальных. Нетрудно понять, что ни один из потребителей не хочет стать жертвой, за счет которой сохраняются остальные. Поэтому при выборе потребителей подключаемых оценивается его значение – возникающий ущерб, снижение выпуска продукции, повреждение оборудования, опасность для жизни людей и т.д. Важен также порядок подключения потребителей к очередям АЧР: потребители, подключенные к очередям АЧР, имеющим более высокие уставки по частоте и меньшие выдержки времени, отключаются чаще.

У ответственных потребителей нагрузка разделяются на несколько категорий. Наиболее ответственная нагрузка 1 категории обычно отключению не подлежит. Для того чтобы иметь возможность избежать отключения ответственных потребителей 1 категории при работе АЧР и все таки отключить остальную нагрузку, стремятся приблизить места установки АЧР к потребителю, что означает, что АЧР необходимо выполнять на каждой подстанции.

Еще одной причиной распределения АЧР по многим объектам является то, что в таком случае АЧР становится самонастраиваемой: вследствие разброса уставок реле частоты в разных устройствах АЧР отключение происходит мелкими дозами, соответствующими уставке АЧР на данном объекте и поэтому обеспечивающими баланс между частотой и отключаемой нагрузкой для ее восстановления. Директивные материалы допускают неселективную работу смежных очередей АЧР, так как энергосистеме безразлично, на какой именно подстанции отключается необходимая нагрузка.

Совершенно очевидно, что такой разброс уставок не выгоден потребителю, так как он не хочет быть отключенным взамен другого с более высокими уставками. Особенно это характерно для регулирующих частоту АЧР – спецочереди и защитной очереди АЧР с разницей частот в 0,1 Гц. Работа таких АЧР в условиях дефицита мощности может происходить неоднократно в течение дня, что практически парализует работу предприятия. Поэтому для этих АЧР применяются реле высокой точности, погрешность которых не превышает 0,01 Гц.

10.3.2 Предотвращение ложных отключений потребителей от АЧР при кратковременных понижениях частоты в энергосистеме

При отключении связи с энергосистемой питание обесточенных потребителей может быть восстановлено спустя небольшое время действием АПВ линий или трансформатора, а также АВР секционного выключателя. Однако за время, пока будет нарушена связь с энергосистемой, потребители подстанций могут быть отключены ложным действием АЧР. Это происходит потому, что, после отключения источника питания, напряжение на шинах подстанции с синхронными компенсаторами или мощными синхронными а также и асинхронными электродвигателями сразу не исчезает, а некоторое время поддерживается. Величина напряжения может быть достаточной для срабатывания АЧР, а частота снижается за счет уменьшения скорости вращения электродвигателя. Это в первую очередь относится к быстродействующим очередям АЧР: АЧР I, спецочереди и защитной очереди АЧР. АЧР II сработать не успевает, так как имеет значительные выдержки времени. При разработке аппаратуры АЧР напряжение, при котором реле АЧР еще работает, стремятся сделать по возможности более низким для предотвращения его отказа при больших дефицитах мощности сопровождающихся “лавиной напряжения”. Это еще более увеличивает опасность ложной работы АЧР.

В практике эксплуатации применяются специальные блокировки, предотвращающие ложное срабатывание АЧР в рассматриваемом режиме. На рис. 10.23,б показана одна из таких схем, в которой плюс на контакт РЧ реле частоты АЧР подается через контакт блокирующего реле направления мощности РМ. Реле направления мощности, включенное в цепи трансформатора связи с энергосистемой (рис. 10.23, а), реагирует на направление активной мощности. При наличии связи с энергосистемой, когда подстанция потребляет активную мощность, реле направления мощности держит свой контакт замкнутым, как показано на рис. 10.23, б, разрешая действовать АЧР. После отделения подстанции от питающей сети активная мощность по трансформатору проходить не будет или будет направлена в сторону шин высшего напряжения. При этом реле направления мощности разомкнет свой контакт и снимет плюс с контакта реле частоты, предотвращая ложное срабатывание АЧР. При наличии на подстанции значительной нагрузки, мало изменяющейся в зависимости от времени суток и дня недели реле мощности может быть заменено токовым реле.

Применяются и другие способы блокировки АЧР от неправильной работы при снижении напряжения. К ним относится блокировка по скорости снижения частоты, широко применяемая в “Киевэнерго”. Дело в том, что при самых тяжелых авариях частота в системе снижается медленнее, чем это происходит при снятии напряжения с двигателей. На устройствах совмещенной АЧР I – АЧР II для блокировки используются сами измерительные органы АЧР: Уставка по частоте АЧР II больше чем АЧР I. Реле времени пускается при срабатывании измерительного органа АЧР II и останавливается при срабатывании ИО АЧР I. Зависимость между скоростью снижения частоты и уставками АЧР выглядит следующим образом:

$$dF = \frac{f_{II} - f_I}{t}$$

В этой формуле dF – скорость изменения частоты, f_{II} – уставка по частоте АЧРII, f_I – уставка по частоте АЧРI, t – время между срабатыванием ИО АЧРII и АЧРI.

Выдержка времени на реле определяется по формуле:

$$t_{от} = \frac{f_{II} - f_I}{dF} \quad (10.14)$$

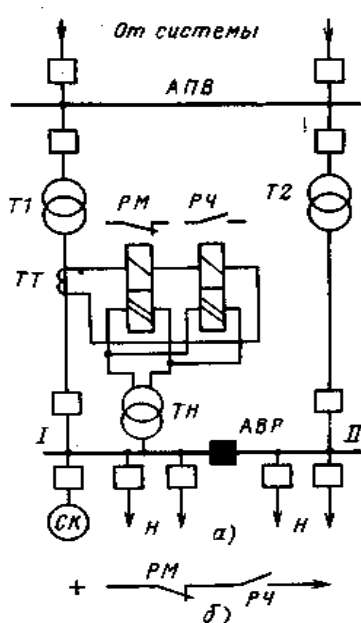


Рис. 10.23 Предотвращение срабатывания АЧР при отключении подстанции с синхронным компенсатором или синхронными электродвигателями:

а – схема подстанции;

б – блокировка АЧР

Уставки АЧРII и АЧРI заданы исходя из режимных соображений, уставка по времени блокировки определяется по формуле 10.14 исходя из скорости снижения частоты 4 Гц в с.

В Донбасской и Днепровской энергосистемах, имеющих значительное количество заводов, оснащенных крупными электродвигателями, такое решение оказалось неприемлемым ввиду низкой скорости снижения частоты. Поэтому там широко применяется метод взаимной блокировки между АЧР разных секций: АЧР двух секций сработает, если сработали оба ИО АЧР.

При отсутствии блокировки для исправления ложного действия АЧР можно применить АПВ после АЧР (см. п 10.3.3). Такой метод рекомендуется директивными материалами. Однако он не всегда эффективен, так как в условиях длительной работы при пониженной частоте частота в сети может быть ниже уставки ЧАПВ.

10.3.3 Автоматическое включение потребителей после АЧР

Для ускорения восстановления питания потребителей, отключенных при срабатывании АЧР, применяется специальный вид автоматики – АПВ после АЧР (или ЧАПВ). Устройство ЧАПВ

срабатывает после восстановления частоты в энергосистеме и дает импульс на включение отключенных потребителей.

Устройство ЧАПВ является весьма эффективным средством автоматики, ускоряющим восстановление питания потребителей, отключавшихся действием АЧР. Поэтому ЧАПВ целесообразно применять везде, где установлена АЧР. В первую очередь ЧАПВ следует выполнять на подстанциях с ответственными потребителями, на подстанциях без постоянного обслуживающего персонала, с дежурством на дому, далеко расположенных от места размещения оперативно-выездных бригад.

Действие ЧАПВ должно осуществляться при частоте 49,5–50 Гц. Начальная уставка по времени ЧАПВ принимается равной 10–20 с, конечная – в зависимости от конкретных условий. Минимальный интервал по времени между смежными очередями ЧАПВ в пределах энергосистемы или отдельного узла – 5 с. Мощности нагрузки по очередям ЧАПВ обычно распределяются равномерно. Очередность подключения потребителей к ЧАПВ – обратная очередности АЧР, т. е. к последним очередям АЧР подключаются первые очереди ЧАПВ.

Доля нагрузки, подключаемой к ЧАПВ, в каждом конкретном случае должна определяться с учетом местных условий: возможности повторного снижения частоты в отделившиеся на изолированную работу районах, перегрузки линий электропередачи, замедления восстановления параллельной работы действием АПВ с улавливанием синхронизма, автоматическому запуску гидрогенераторов, запуску газовых турбин и т. д.

Не следует забывать также о необходимости корректировки неправильной работы быстродействующих очередей АЧР.

ЧАПВ имеет существенное отличие от обычного АПВ, заключающееся в том, что оно не пускается сразу после отключения, а должно работать после восстановления частоты до величины называемой уставкой ЧАПВ по частоте. Это происходит при частоте 49,5–50 Гц, когда в энергосистеме образовался резерв мощности, позволяющий включить дополнительную нагрузку. В некоторых случаях принимается решение о работе с пониженной частотой, и фидера включаются вручную или посредством средств телемеханики.

10.3.4 Аппаратура, применяемая для АЧР

Реле частоты РЧ–1 производство ЧЭАЗ. Общая погрешность реле АЧР может достигать 0,25 Гц, диапазон напряжений при котором работает реле составляет $0,2 \div 1,3 U_{ном}$. С помощью специальных методов настройки погрешность реле можно довести до 0,1 Гц и менее при условии сохранения внешних условий: температура, влажность, форма кривой напряжения. Уход частоты срабатывания возможен также из-за старения деталей. На указанном реле в настоящее время выполнена большая часть устройств АЧР. На одном реле может быть выполнено АЧР и ЧАПВ, для чего имеется два входа, переключая которые можно включить либо одну либо другую уставку реле.

Комплектное устройство АЧР – АЧРМ. Производство ЧП «ИВА» г. Одесса. Реле выполнено на цифровых микросхемах и имеет высокую точность. Общая погрешность не хуже 0,02 Гц, диапазон напряжений $5 \div 300$ В. На одном реле можно выполнить до 3 различных очередей АЧР и 2 ЧАПВ. Поэтому на одном реле можно выполнить АЧРI, АЧРII, спецочередь (защитную очередь) АЧР и ЧАПВ.

Комплектное устройство АЧР: УАЧР производства СКБ «РИТМ» г. Киев. Микропроцессорное реле имеет 2 входа по напряжению и 10 ступеней на которых можно выполнить АЧР, ЧАПВ, реле скорости изменения частоты, реле разности частот. Точность реле 0,01 Гц, величина подаваемого напряжения 20–130 В. Может быть выполнено до 8 наборов уставок, которые можно изменить дистанционно или с места. Срабатывание отдельных органов регистрируется в памяти реле с указанием времени срабатывания. На одном устройстве может быть выполнен комплекс АЧР для двух секций крупной подстанции. Имеется двухстрочный дисплей на котором можно видеть текущее значение частоты, уставки ступеней, время срабатывания каждой ступени (до 40 срабатываний). Реле не нашло широкого применения в основном из-за своих чрезмерных возможностей и соответственно высокой стоимости. Для простых схем СКБ

разработало и выпускает упрощенное микропроцессорное реле с тремя уставками по частоте и одним входом по напряжению.

Выпускаются модификации:

- УРЧ 1 – 3 ступени понижения частоты;
- УРЧ 2 – 3 ступени повышения частоты;
- УРЧ 3 – 3 ступени понижения или повышения частоты.

Характеристики реле остались прежними.

Комплектное микропроцессорное устройство ЧРЧ-2 производство НВП “Технософт” г. Черновцы. Устройство выполнено на микропроцессоре и также имеет высокую точность работы. Погрешность по частоте 0,012 Гц, диапазон напряжений 25÷300 В. Устройство имеет 2 схемы АЧР и 2 – ЧАПВ в одном комплекте. Устройство имеет информационное табло, на котором указывается частота, положение выходных реле, можно вызвать и проконтролировать значение уставок.

Из комплектных микропроцессорных устройств фирмы ALSTOM можно отметить комплектное устройство MiCOM P922, Устройство имеет точность по частоте 0,01 Гц и диапазон напряжений 10÷130 В.

10.3.5 Схемы АЧР и ЧАПВ

На рис. 10.24, а приведена схема совмещенных АЧР I и АЧР II. Действие АЧР осуществляется с помощью реле частоты *РЧ1*, промежуточного реле *РП1* и выходного реле *РП2*.

Устройство АЧР II выполняется с помощью реле частоты *РЧ2* и реле времени *РВ1*. Сигнализация срабатывания АЧР I и АЧР II выполняется с помощью указательных реле *РУ1* и *РУ2* соответственно. При выполнении АЧР только одного вида (АЧР I или АЧР II) соответствующая часть реле исключается из схемы.

С целью экономии реле частоты во многих случаях для осуществления совмещенной АЧР используются специальные схемы, в которых предусматривается переключение уставки одного реле частоты.

Одна из таких схем приведена на рис. 10.24, б. В схеме АЧР используется одно реле частоты *РЧ* типа *РЧ1*, на измерительных элементах которого настроены уставки, соответствующие АЧР I и АЧР II. В нормальном режиме до срабатывания *РЧ* замкнут контакт *РП2.1* двухпозиционного реле типа *РП8*, чем обеспечивается готовность к действию обоих измерительных элементов.

После изменения частоты до уставки АЧР II замкнется контакт *РЧ* и реле *РП1* контактом *РП1.1* подаст плюс на верхнюю обмотку *РП2*, которое, переключив свои контакты, выведет из действия измерительный элемент с уставкой АЧР II. Если частота понизилась до уставки АЧР I, контакт *РЧ* при этом не разомкнется или, разомкнувшись кратковременно, замкнется вновь, после чего с небольшим замедлением сработает промежуточное реле *РП3* и подаст импульс через указательное реле *РУ1* на выходное промежуточное реле *РП5*. На этом закончится работа схемы.

Если частота не снизится до уставки АЧР I, схема будет продолжать работать. Реле времени *РВ1*, сработав “при замыкании контакта *РП2.3*, будет самоудерживаться через свой мгновенный замыкающий контакт *РВ1.1*. Спустя выдержку времени, установленную на проскальзывающем контакте *РВ1.2*, будет подан плюс на нижнюю обмотку реле *РП2*, и оно переключит свои контакты, вновь вводя в действие измерительный элемент с уставкой АЧР II. В течение всего времени, пока не замкнется проскальзывающий контакт *РВ1.2*, схема будет готова к действию на отключение без выдержки времени в случае снижения частоты до уставки АЧР I.

После замыкания проскальзывающего контакта *PВ1.2* и переключения реле *РП2* цепь отключения от АЧРІ будет выведена и в работе останется только АЧРІІ. После переключения *РП2* сработают вновь *РЧ* (если частота будет ниже уставки срабатывания АЧРІІ) и *РП1* и запустится реле времени *РВ2*, которое, доработав, через указательное реле *РУ2* подаст плюс на выходное реле схемы *РП5*. Промежуточное реле *РП4*, обмотка которого включена параллельно обмотке реле *РВ1*, будет держать своим контактом *РП4.1* разомкнутой цепь верхней обмотки реле *РП2*, предотвращая его повторное срабатывание.

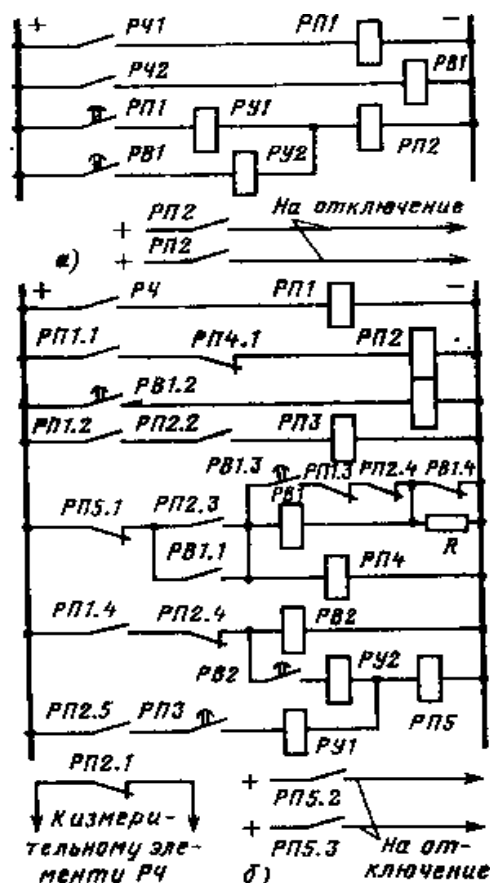


Рис. 10.24 Схемы АЧРІ и АЧРІІ: а – с двумя реле частоты; б – с одним реле частоты и с переключением уставки

Возврат схемы в исходное положение осуществляется после срабатывания выходного реле *РП5*, которое разомкнет контакт *РП5.1* в цепи обмоток реле *РВ1* и *РП4*. В случае, если схема не подействует на отключение вследствие восстановления частоты в энергосистеме выше уставки АЧРІІ и возврата реле *РЧ*, возврат схемы будет осуществлен шунтированием обмотки *РВ1* по цепи: упорный контакт *РВ1.3* – размыкающий контакт *РП1.3* – размыкающий контакт *РП2.4*. Выдержка времени АЧРІІ в рассматриваемой схеме определяется суммой выдержек времени, установленных на *РВ2* и на проскальзывающем контакте *РВ1.2*.

На рис. 10.25. приведена схема одной очереди АЧР с ЧАПВ. В схеме используется одно реле частоты, уставка срабатывания которого автоматически переключается.

При снижении частоты до уставки срабатывания соответствующей очереди АЧР сработает реле частоты *РЧ* и запустит реле времени *РВ1*. После того как замкнется контакт реле времени, сработают промежуточные реле *РП1* и *РП2* и отключат группу потребителей. Одновременно замыкающий контакт *РП1.2* введет в работу измерительный элемент реле частоты типа *РЧ1* с уставкой, соответствующей уставке ЧАПВ. Теперь, после ввода в работу указанного измерительного элемента, контакт реле частоты разомкнется лишь после того, как частота в энергосистеме восстановится до значения новой уставки, равной 49,5–50 Гц.

Реле *РП1* при срабатывании замыкает также своим контактом *РП1.2* цепь обмотки промежуточного реле *РП3*, которое срабатывает и самоудерживается.

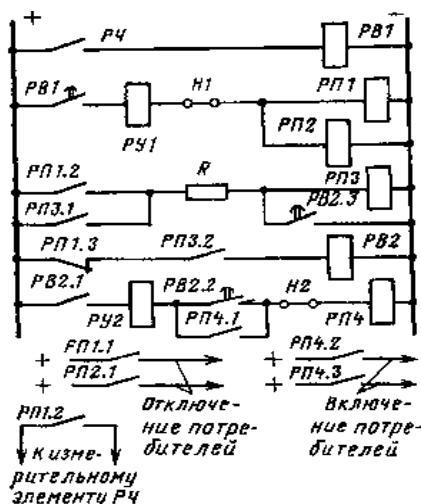


Рис.10.25. Схема АЧР с ЧАПВ

После восстановления нормальной или близкой к нормальной частоте реле *РЧ* и *РВ1* разомкнут свои контакты. При этом реле *РП1* возвратится и замкнет контакт *РП1.3* в цепи обмотки реле времени *РВ2*. Поскольку контакт *РП3.2* уже замкнут, реле *РВ2* начинает работать и, спустя выдержку времени, установленную на проскальзывающем контакте *РВ2.2*, замкнет цепь обмотки промежуточного реле *РП4*. Последнее, сработав, самоудерживается через свой замыкающий контакт *РП4.1* и подает импульсы на включение выключателей потребителей, отключавшихся действием АЧР. Возврат схемы осуществляется после замыкания упорного контакта реле времени *РВ2.3*, выдержка времени на котором отличается от выдержки проскальзывающего контакта *РВ2.2* примерно на 1 с. После замыкания упорного контакта *РВ2.3* реле *РП3* возвратится и разомкнет контактом *РП3.2* цепь обмотки реле времени *РВ2*. Указательные реле *РУ1* и *РУ2*, установленные в рассматриваемой схеме, предназначены для сигнализации срабатывания АЧР и ЧАПВ. С помощью накладки *Н1* рассматриваемая автоматика может быть выведена из действия полностью, а с помощью накладки *Н2* – только ЧАПВ.

По схемам, приведенным на рис. 10.24,б и 10.25, может быть также выполнена схема совмещенного АЧР с ЧАПВ. При этом на реле частоты должно быть выполнено три уставки по частоте, соответствующие АЧРІ, АЧРІІ и ЧАПВ.

На линиях, оснащенных устройствами электрического АПВ, они могут быть использованы для осуществления ЧАПВ, при этом пуск АПВ должен осуществляться после восстановления частоты до величины, соответствующей уставке ЧАПВ.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и частотное АПВ (ЧАПВ) на микропроцессорных устройствах серии MiCOM и УЗА-10

При использовании на отходящих линиях 6–10 кВ, 35 кВ устройства защиты MiCOM P123 (УЗА-10) возможно выполнение функций АЧР и ЧАПВ без использования дополнительной аппаратуры на фидере. Для реле УЗА10 используется вход 2.

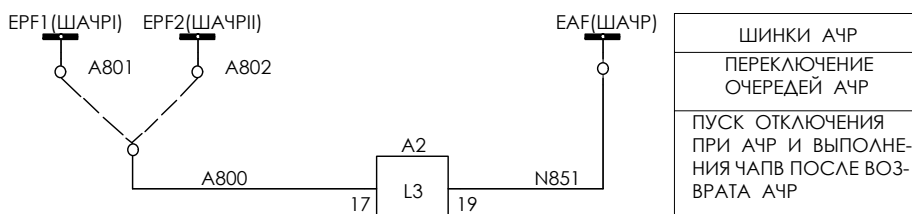


Рис. 10.26. Входная цепь АЧР

При необходимости оперативного вывода АЧР (ЧАПВ) в цепь оптовхода $L3$ (входа 2 для УЗА10) реле защиты А2 включается переключатель, например ПЕ-011 УЗ.

Вход $L3$ (Вх. 2) программируется для внешнего пуска АПВ с действием на реле отключения. Выдержка времени ЧАПВ равна времени первого цикла АПВ фидера. Работа ЧАПВ будет происходить после возврата АЧР и снятия напряжения с оптовхода $L3$ (Вх. 2). Если это время недопустимо мало (выдержка времени ЧАПВ велика), применяется схема с дополнительной выдержкой времени (рис. 10.29).

Промежуточное реле включения от АПВ (ЧАПВ), по локальной сети, вывод АПВ (ЧАПВ), дистанционного включения

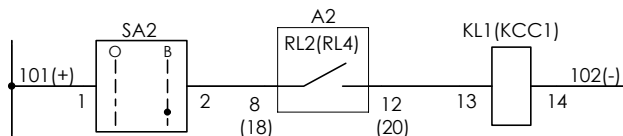


Рис.10.27 Выходная цепь АПВ (ЧАПВ)

Включение от АПВ (ЧАПВ) и по локальной сети программируется на реле RL2 (RL4) с действием через промежуточное реле KL1 (KCC1). Вывод из действия АПВ (ЧАПВ) и включения по локальной сети производится переключателем SA2. В реле УЗА 10 используется реле RL2 (X1:8, X1:9). Возможен вывод из действия АПВ (ЧАПВ) путем блокировки по оптовходу этой функции. При этом задействуется лишний оптовход реле, однако сохраняется функция включения по локальной сети (только для реле MICOM P123).

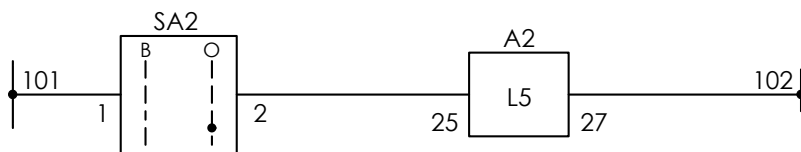


Рис.10. 28 Вывод АПВ (ЧАПВ)

При использовании устройства защиты MICOM P122 (MICOM P220) возможно выполнение только функции АЧР (отсутствует устройство АПВ). Входная цепь выполняется по Рис. 10.26 с действием на реле отключения RL1.

Для организации цепей ЧАПВ с дополнительной выдержкой времени необходима установка двух промежуточных реле (рис.4, 5), например R4-20-14-23-1220 (Relpol),

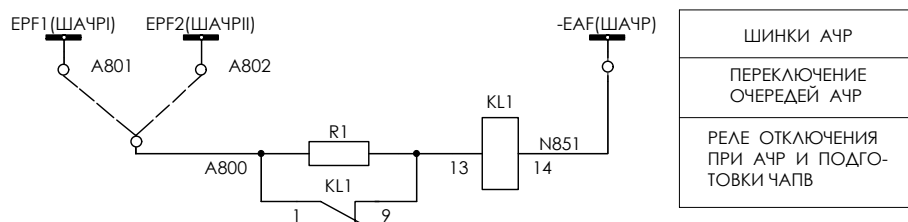


Рис.10.29 Входная цепь АЧР



Организация шинок АЧР

Выходные реле RL3 и RL5 (рис.10.31.) программируются соответственно на срабатывание от органов снижения частоты $tf << (AЧPI)$ и $tf <<< (AЧPII)$. Уставка органа снижения частоты $f <$, действующего на реле возврата АЧР, принимается выше уставок $ff <<$ и $tf <<<$. При понижении частоты до уставки $f <$ срабатывает реле RL4 и подготавливает цепи самоблокировки реле АЧР. Дальнейшее снижение частоты приводит к срабатыванию органов $tf <<$ и $tf <<<$ и соответственно реле KL1 и KL2, которые самоудерживаются через выходное реле RL4. Только восстановление частоты до уставки $f <$ приводит к возврату этих реле, снятию напряжения с шин АЧР и, следовательно, к запуску ЧАПВ.

Для исключения ложного срабатывания АЧР при отключении напряжения на секции шин 6(10) кВ с синхронными электродвигателями или асинхронными электродвигателями с компенсирующими конденсаторами пуск АЧР выполняется только при одновременном снижении частоты на обеих секциях.

Повышение помехоустойчивости по оптовходам АЧР L3 достигается за счет снятия напряжения с шинок АЧР по обоим полюсам и включением дополнительных шунтирующих входы резисторов R1и R2. В схемах с реле KL1 на шинках АЧР (рис. 10.29) резисторы R1 и R2 могут не устанавливаться.

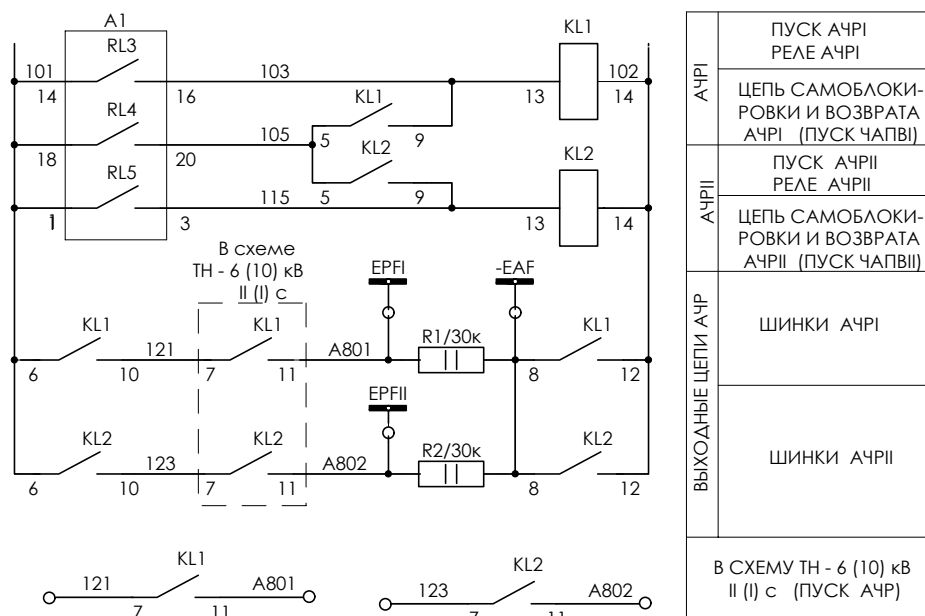


Рис. 10.31 Организация шинок АЧР

10.4 АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

10.4.1 Назначение регулирования напряжения

Работа всех потребителей электроэнергии зависит от напряжения. Наиболее экономично и надежно потребитель работает при определенном оптимальном значении напряжения. Отклонение напряжения от нормального значения, как в сторону понижения, так и повышения приводит к ухудшению условий работы, снижению производительности механизмов, сокращению срока службы электрооборудования, браку продукции.

Так, например, при снижении напряжения на 10% вращающий момент асинхронных электродвигателей уменьшается на 19%, соответственно уменьшается и производительность приводимого механизма. Резко снижается производительность электропечей, время плавки в которых увеличивается в 1,5—2 раза при снижении напряжения на 5%. В осветительных установках снижение напряжения на 5% вызывает снижение на 17,5% световой отдачи.

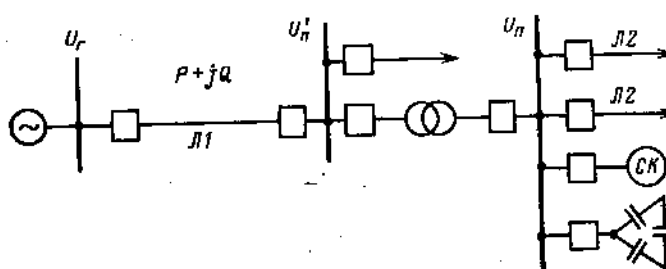


Рис. 10.32 Схема сети, поясняющая принципы регулирования напряжения

Не менее вредные последствия имеет и чрезмерное повышение напряжения, следствием чего является ускоренный выход из строя осветительных ламп, нагревательных установок и другого электрооборудования. Так, например, срок службы осветительных ламп накаливания сокращается на 15% при повышении напряжения на 1% и в 3 раза при повышении напряжения на 10%.

Согласно Правилам устройства электроустановок, за исключением наиболее ответственных установок, допускается отклонение напряжения у потребителей не более чем на $\pm 5\%$.

Напряжение на шинах низшего напряжения приемной подстанции (рис. 6-1) равно

$$U_n \approx \left(U_z - \frac{PR + QX}{U'_n} \right) \frac{1}{n_T} \quad (10.15)$$

где

- U_n – напряжение на шинах высшего напряжения приемной подстанции;
- U_z – напряжение на шинах генератора;
- R, X – активное и реактивное сопротивления питающей линии и трансформатора;
- P, Q – активная и реактивная мощности, передаваемые по линии;
- n_T – коэффициент трансформации силового трансформатора.

На основании выражения (10.15) можно сделать заключение, что изменить напряжение у потребителя U_n можно следующими способами: изменением напряжения на шинах генератора; изменением коэффициента трансформации n_T трансформатора, установленного на подстанции; изменением реактивной мощности Q , передаваемой по линии, что может осуществляться регулированием возбуждения синхронных компенсаторов или электродвигателей, а также включением и отключением батарей конденсаторов, установленных на подстанции.

В настоящей главе рассматривается регулирование напряжения с помощью трансформаторов и батарей конденсаторов, установленных на приемной подстанции.

10.4.2 Автоматические регуляторы коэффициента трансформации трансформаторов

Схемы автоматического регулирования напряжения на подстанциях изменением коэффициента трансформации трансформаторов применяются практически на всех трансформаторах, оснащенных устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН). ПТЭ требует, чтобы все трансформаторы работали с введенной автоматикой РПН, а отказ от применения автоматики должен быть обоснован. Причиной отказа может быть неисправность РПН, толчковая нагрузка, приводящая к недопустимо частому переключению РПН, исчерпание ресурса переключателя, необходимость его ревизии или замены масла.

С 1974 г. отечественные заводы, выпускающие трансформаторы, комплектуют их автоматическими регуляторами напряжения (АРНТ) типов АРТ-1Н, а затем АРТ-1М.

Устройство типа АРТ-1Н осуществляет автоматическое управление электроприводами переключателя отпаек на обмотках силового трансформатора РПН импульсным или непрерывным сигналом. Устройство имеет возможность введения внешнего изменения уставки по напряжению, контроля, блокировки и сигнализации при неисправности тракта регулирования и электроприводов РПН, группового регулирования, контроля и блокировки при рассогласовании РПН параллельно работающих трансформаторов. Структурная схема устройства представлена на рис. 10.33. Она содержит три основных функциональных звена: тракт регулирования с двумя каналами управления (*Убавить* — на понижение напряжения, *Прибавить* — на повышение напряжения); блок управления и контроля БУК, генератор тактовых импульсов ГТИ с элементом изменения периода следования тактовых импульсов.

В состав тракта регулирования входят следующие элементы: сумматор 1, датчик тока 2, элементы формирования и изменения зоны нечувствительности и уставки АРНТ, измерения и разделения каналов с преобразователями 3; элементы времени 4 и 5; элементы запрета 6 и 7, исполнительные элементы 5 и 9.

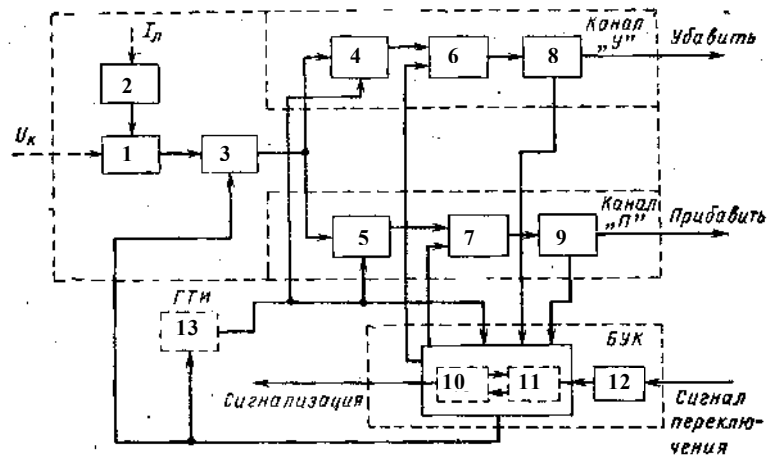


Рис. 10.33 Структурная схема автоматического регулятора напряжения, устанавливаемого на трансформаторах

Контролируемое напряжение U_k вырабатывается в сумматоре 1, входное напряжение U_n суммируется с напряжением U_{mk} от датчика тока 2 (осуществляется токовая компенсация). Благодаря токовой компенсации обеспечивается так называемое «встречное регулирование», необходимое для поддержания напряжения на шинах у потребителя. Без токовой компенсации АРНТ поддерживал бы постоянным напряжение в том месте, где он установлен, т. е. на шинах питающей подстанции. Напряжение на шинах потребителя $U_{номр}$ отличается от напряжения на шинах низшего напряжения питающей подстанции U_n на величину падения напряжения в линии и будет изменяться при изменении тока нагрузки, проходящего по линии – $I_{нагр}$. (см. рис.10.34).

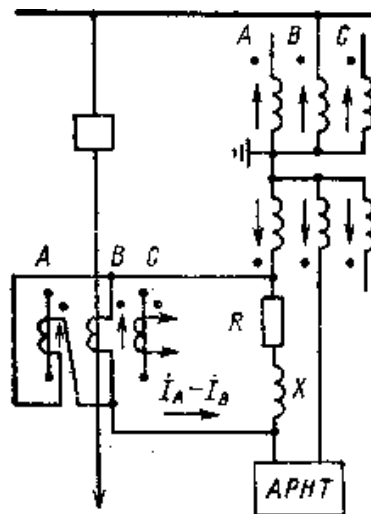


Рис. 10.34 Схема подключения токовой компенсации к измерительному органу АРНТ

$$U_{номр} = U_n - I_{нагр} \cdot Z_n \quad (10.16)$$

где

Z_n – сопротивление линии Л2.

Чем больше ток нагрузки, проходящий по линии Л2, тем ниже окажется напряжение у потребителя. Для того чтобы поддерживать постоянным напряжение у потребителя, измерительный орган АРНТ и дополняется токовой компенсацией (см. рис. 10.34).

При включенной токовой компенсации (сопротивления R и X на рис. 10.34) к измерительному органу АРНТ будет подаваться напряжение $f/рег$, равное:

$$\dot{U}_{пер} = \frac{\dot{U}_n}{k_U} - \frac{\dot{I}_{нагр}}{k_I} Z_{мк} \quad (10.17)$$

где

$Z_{мк}$ – сопротивление токовой компенсации;

k_I, k_U – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения соответственно.

Если с учетом коэффициентов трансформации тока и напряжения выбрать сопротивление $Z_{мк}$ таким, чтобы удовлетворялось соотношение

$$Z_{л} = Z_{мк} \frac{k_U}{k_I}$$

можно записать, что напряжение, подаваемое на регулятор равно:

$$U_{рег} \cdot k_U = U_n - I_{нагр} \cdot Z_n \quad (10.18)$$

Следовательно, на измерительный орган АРНТ будет подаваться напряжение, пропорциональное напряжению на шинах потребителя $U_{номр}$, и автоматика будет поддерживать постоянное напряжение на шинах именно у потребителя. При этом напряжение на шинах подстанции будет изменяться в зависимости от тока нагрузки, как показано на рис.10.35. Наклон характеристики $U_n = f(I_{нагр})$ будет тем больше, чем больше сопротивление $Z_{лк}$.

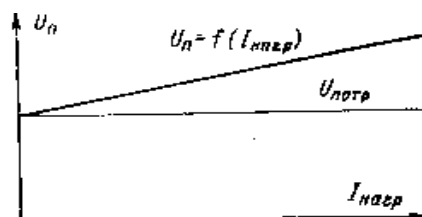


Рис. 10.35 Характеристика АРНТ с токовой компенсацией

Элемент 3 (см. рис. 10.33) обеспечивает преобразование сигналов, поступающих от сумматора, формирование зоны нечувствительности, изменение уставки АРНТ и выдачу сигналов на элементы времени 4 и 5. Уставка регулятора по напряжению регулируется ступенями от 85 до 110% номинального через 1%. Регулятор имеет зону нечувствительности, необходимую для предотвращения излишних переключений РПН при небольших колебаниях напряжения. Уставки по зоне нечувствительности регулируются от 0 до 4% номинального напряжения.

С помощью элементов 4 и 5 создается выдержка времени на срабатывание (пределы регулирования 60–180 с для АРТ-1Н или 20–160 для АРТ-1М) и осуществляется задержка сброса накопленного времени для отстройки от кратковременных бросков контролируемого напряжения. В цепи каждого исполнительного элемента 8 и 9, отрабатывающих команды *Убавить* и *Прибавить*, включены соответственно элементы запрета 6 и 7. Действие АРНТ прекращается элементами запрета при достижении приводными механизмами конечных положений, а также при неисправностях электроприводов и элементов схемы регулятора.

Управляющие команды на элементы запрета подаются от БУК, в состав которого входят три элемента: исправности регулятора 10, исправности электропривода 11 и фиксации сигнала “Переключение” электропривода 12. Одновременно с командами на запрет действия АРНТ БУК дает сигнал о наличии неисправности. Исправность электроприводов контролируется по результату выполнения команды управления (“Пошел” или “Не пошел”) или по времени (“Закончил” или “Застрял”).

Блок управления и контроля управляет измерительным органом 3 и генератором тактовых импульсов (ГТИ) 13. При переключении электропривода РПН через элемент 3 БУК дает сигнал проверки и через исправный тракт регулирования выключает исполнительные элементы и одновременно дает команду на изменение периода следования тактовых импульсов ГТИ. По завершении цикла переключения электроприводами БУК, получающий сигнал через элемент 12, восстанавливает исходный период следования импульсов ГТИ и возвращает элемент 3 в исходное положение.

Генератор тактовых импульсов выдает в разные точки схемы АРНТ импульсы с определенной частотой, обеспечивая работу отдельных элементов схемы и задавая масштаб времени для оценки правильности последовательности и длительности действия разных элементов устройства. При снижении напряжения ниже границы зоны нечувствительности элемент времени 5 запускается и с установленной выдержкой времени срабатывает, выдавая сигнал на исполнительный элемент АРНТ. Аналогично будет работать АРНТ при повышении напряжения через элемент времени 4.

Если переключение электропривода задержится и произойдет лишь после определенного такта, выдаваемого ГТИ или совсем не произойдет, фиксируется его неисправность – “Застревание”. Как уже отмечалось выше, с запуском электроприводов изменяется частота следования импульсов. Сохранение прежней частоты свидетельствует о неисправности в системе регулирования.

В случае параллельной работы двух и более трансформаторов АРНТ должен воздействовать одновременно на переключение всех РПН.

Для предотвращения прохождения больших уравнивающих токов в случае различия коэффициентов трансформации параллельно работающих трансформаторов предусматривается блокировка, отключающая действие АРНТ при рассогласовании РПН на одну ступень.

При исчезновении напряжения или его посадке ниже уровня 0,5–0,7 номинального напряжения блокируется сигнал “прибавить” регулятора АРН-1М.

10.4.3 Порядок выбора уставок АРН

Выбор уставок приводится применительно к устройству АРТ 1М. Для других устройств основные уставки выбираются аналогично.

1. Выбор уставки регулирования по напряжению. Производится исходя из режимных соображений. При этом исходят из режима минимальных нагрузок, при которых величина напряжения на шинах, а значит и у вблизи расположенных потребителей не должна превысить $1,05 U_{ном}$.
2. Выбор уставки токовой коррекции уровня регулируемого напряжения.

Как сказано выше, токовая коррекция необходима в случае работы регулятора в режиме встречного регулирования, когда требуется коррекция уровня регулируемого напряжения по току нагрузки одной или группы линий.

Выбор уставки токовой коррекции осуществляется по требуемой величине напряжения токовой коррекции, которая, в свою очередь, зависит от падения напряжения в линии при протекании по ней тока нагрузки.

Для выбора уставки токовой коррекции необходимо:

- при заданном токе нагрузки определить падение напряжения в линии между точкой подключения измерительного трансформатора напряжения, питающего вход регулятора, и точкой подключения потребителя электрической энергии (нагрузки), напряжение у которого должно поддерживаться в заданных пределах;
- разделить это напряжение на коэффициент трансформации измерительного трансформатора напряжения и полученное значение V установить по шкале

“1 КОМПЕНС, V” – для первой уставки напряжения и по шкале “2 КОМПЕНС, V” – для второй уставки напряжения.

Проверяется напряжение на шинах, которое при использовании токовой коррекции не должно превышать $1,05 U_{ном}$ исходя из уровня напряжения у близко расположенных потребителей. При невыполнении такого условия изменяют уставку по п. 1. и опять проверяют напряжение с учетом коррекции. Необходимо добиться, чтобы напряжение у удаленных потребителей не снижалось ниже -5% а у ближайших повышалось выше 5%. Не следует забывать, что напряжение у потребителей можно корректировать путем изменения положения переключателей без РПН на трансформаторах потребителей.

Оперативное изменение уставки регулирования с одного заранее выбранного значения на другое внешним релейным сигналом позволяет ввести программное регулирование напряжения по двухступенчатому графику, в частности, суточный график с уставками соответствующими режимам минимальной и максимальной нагрузки или недельный график с уставками рабочего и выходного дня. Это может позволить избежать применения токовой коррекции, выбор уставок которой представляет значительные сложности.

3. Выбор ширины зоны нечувствительности.

Зона нечувствительности определяет величину отклонения напряжения от уставки, при которой регулятор не выдает команду на регулирование напряжения. Минимальная ширина зоны определяется необходимостью устранить возможность колебательного режима при регулировании напряжения. После изменения положения РПН на одно положение регулятор не должен выдать команду на регулирование напряжения в обратную сторону. Поэтому после регулирования РПН на 1 ступень напряжение должно попасть в зону нечувствительности регулятора. Необходимо устанавливать ширину зоны нечувствительности больше значения ступени регулирования трансформатора с РПН. Рекомендуемый коэффициент запаса 1,3.

4. Выбор выдержки времени не появления команд управления.

Выдержка времени выбирается исходя из возможности и длительности кратковременных изменений напряжения при переменном характере нагрузки. Чем больше выдержка времени, тем меньше вероятность излишнего действия РПН а значит сокращается количество операций РПН которое ограничено. Довольно часто устанавливают максимальное значение уставки по времени (160–180 с).

5. Выбор выдержки времени контроля исправности РПН1.

Регулятор АРТ-1М поставляется с перемычкой на плате формирователя, запаянной в положении 2–3, что соответствует времени контроля длительности цикла переключения 15 с. Эта величина вполне пригодна для большинства регуляторов. Если возможная длительность цикла больше этой величины. можно задать время контроля 30 с запаяв перемычку в положение 1–3.

Время контроля исправности цепей запуска электроприводов РПН в регуляторе неизменно и составляет величину 0,6 с независимо от типов применяемых РПН.

10.4.4 Управление батареями конденсаторов

В практике эксплуатации применяются различные схемы автоматики, управляющие, батареями конденсаторов в зависимости от значения напряжения на шинах подстанции, тока нагрузки или направления реактивной мощности в линии. Все эти схемы по тому или иному признаку обеспечивают поддержание определенного, экономически выгодного напряжения на шинах подстанции.

Применяются также схемы управления батареями конденсаторов по заранее заданной программе, например с помощью электрических часов ЭЧ. Как показано на рис.10.36, при замыкании контакта электрических часов ЭЧ, что происходит в установленное время, срабатывает

реле времени *PВ1*, контакты которого замыкают цепь на включение выключателя конденсаторной батареи.

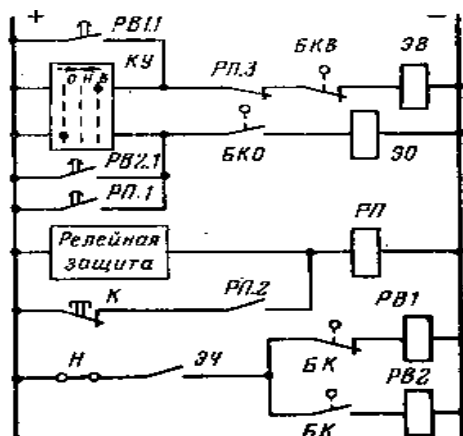


Рис. 10.36 Схема автоматики отключения и включения батареи конденсаторов с помощью электрических часов

При включении выключателя переключается его блок-контакт *БК*, размыкая цепь обмотки реле *PВ1* и замыкая цепь обмотки реле времени *PВ2*. Теперь уже при новом замыкании контакта *ЭЧ*, что должно произойти к тому времени суток, когда уменьшится потребление реактивной мощности с шин подстанции, сработает реле времени *PВ2* и подаст импульс на отключение конденсаторной батареи. Поскольку контакт *ЭЧ* держится в замкнутом состоянии около 15 с, в схеме рассматриваемой автоматики использовано два реле, времени – *PВ1* и *PВ2* с уставками 9–10 с.

Очевидно, что при таких выдержках времени каждое замыкание контакта *ЭЧ* будет сопровождаться только одной операцией включения или отключения конденсаторной батареи. Второе же реле времени, которое начнет работать после переключения вспомогательных контактов выключателя, не успеет доработать за время, оставшееся до размыкания контакта *ЭЧ*.

Цепь включения батареи конденсаторов размыкается контактом *РП.3* промежуточного реле РП, которое срабатывает при действии релейной защиты конденсаторной установки и самодержживается. Питание автоматики оперативным током осуществляется от трансформатора собственных нужд, установленного на шинах подстанции.

11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА.

11.1 ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Надежность энергоснабжения в значительной степени зависит от быстрого устранения возникших повреждений на линиях электропередачи. В то же время до устранения повреждения это место нужно еще разыскать. Это представляет трудную задачу для работников, обслуживающих электрические сети. До места повреждения нужно добраться часто по бездорожью, в то же время длина линии может измеряться сотнями километров. Поэтому наличие средств определения места повреждения является обязательным для любой электросети. Директивными материалами наличие дистанционных средств определения места повреждения требуется обязательно для линий 110 кВ и выше длиной более 20 км. Однако эти средства желательно иметь для линий любой протяженности и любого напряжения. Поэтому имеется множество разработок приспособлений и программ для определения места повреждения.

Часть из этих средств не относятся к компетенции служб релейной защиты и устройств, которые они эксплуатируют.

К ним относятся указатели протекания тока короткого замыкания (УТКЗ), которые расставляются вдоль линии. Они срабатывают при протекании тока КЗ на данном участке линии. Они устанавливаются вблизи проводов и на жилах силовых кабелей. При обходе устанавливают место, где сработал последний указатель. Место КЗ расположено между последним сработавшим и первым не работавшим указателями. Широко применяются указатели “УКЗ”, бывшего Рижского завода “Энергоавтоматика”. Кроме того, подобные указатели изготавливаются различными предприятиями Украины, в том числе электросетями.

К ним относятся также специальные переносные измерительные приборы, например “Волна” и “Радиус” производящиеся в России. Имеются также специальные генераторы для поиска МП в силовых кабелях, позволяющие без раскопки кабелей определить место повреждения специальными приборами, фиксирующими наличие поля генератора. Местом повреждения считается место, где сигнал исчезает.

Однако самая значительная часть средств ОМП эксплуатируется службами РЗА. Для определения места повреждения они используют параметры короткого замыкания ток, напряжение, сопротивление. Место повреждения по этим данным должно быть вычислено по соответствующим программам или же определено по специальным, предварительно рассчитанным таблицам.

Параметры, необходимые для расчета, должны быть измерены в момент короткого замыкания и зафиксированы в памяти прибора или устройства защиты. Для этого могут быть использованы автоматические осциллографы, пока еще применяемые в сетях, микропроцессорные регистраторы, например “Регина”, РАЦ, РЕКОН, фиксирующие приборы, предназначенные специально для ОМП – ФИП, ЛИФП, ФИС, ФВП-01, а также микропроцессорные защиты, в состав функций большинства которых входит запоминание параметров короткого замыкания.

Разработаны методики расчета по параметрам аварийного режима, которые можно разделить на 2 группы: по одностороннему и двухстороннему измерению. Методы двухстороннего измерения считаются более точными, но для их использования необходимо собрать результаты измерений в одно место, где и выполнить расчеты. Результаты одностороннего измерения находятся в одном месте, и, поскольку все данные на месте, расчет просто автоматизировать, вплоть до того, что можно получить уже рассчитанный результат в км.

Камнем преткновения для расчетов является получение точных данных, необходимых для расчетов – длина, сечение, расстояние между проводами, между ними и землей, между ними и проводами соседних линий, влияющих на ток короткого замыкания. Эти данные всегда приблизительные, следовательно, появляется погрешность в расчетах, зависящая от точности

предварительно введенных данных для расчетов. Считается приемлемой точность 7% для линий 110–150 кВ, и 5% для ВЛ 330 кВ. Это совсем не мало, т. к. место, где нужно искать повреждение (зона обхода), для линии 110 кВ длиной 100 км, составляет ± 7 км или всего 14 км. При расхождении данных расчетов с действительной величиной расстояния более чем на 7% необходимо установить и устранить причину расхождения. Контроль за точностью ОМП возлагается на службы электросетей, которые должны обеспечить регистрацию случаев определения места повреждения и точности их определения. За счет корректировки параметров, входящих в формулу, часто удается достигнуть погрешности менее 1%.

Чем меньше длина линии электропередачи, тем меньше точность определения места повреждения. Директивными материалами [Л16] требуется оснащение средствами ОМП линий 110–750 кВ. На линиях более низкого напряжения 6–35 кВ так же целесообразно использование средств ОМП. Несмотря на более низкую точность средств ОМП на линиях такого напряжения, эти средства все равно позволяют сократить зону обхода и ускорить определение места повреждения на линии.

11.2 ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КЗ ПО ДВУХСТОРОННЕМУ ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА

Двухсторонние измерения позволяют определить только место несимметричного КЗ с большим током. Место трехфазных КЗ, обрыва проводов и замыканий одной фазы на землю в сети с изолированной нейтралью рассматриваемыми методами определить невозможно. Теоретически можно было бы определить место двухфазного КЗ в сети 6–35 кВ, но практически это используется редко из экономических соображений.

Теорию двухстороннего ОМКЗ можно пояснить с помощью рис. 3, на котором приведена поясняющая схема одиночной ЛЭП (рис. 11.1, а), схема замещения обратной (ОП) или нулевой (НП) последовательности (рис. 11.1, б) и эпюра напряжений этой последовательности (рис. 11.1, в). Максимум напряжения находится в точке КЗ (источник ОП и НП находится в точке несимметрии). Отметим, что под U и I ниже понимаются модули (абсолютные значения) электрических величин, безотносительно к их фазе и направлению.

Предположим, что еще во время КЗ приборы зафиксировали (запомнили) четыре величины: U' , I' , U'' , I'' . Непосредственно из эпюры рис. 11.1, в можно записать выражения для напряжения в точке КЗ при движении слева и справа (от шин левого и правого концов ЛЭП) к точке КЗ:

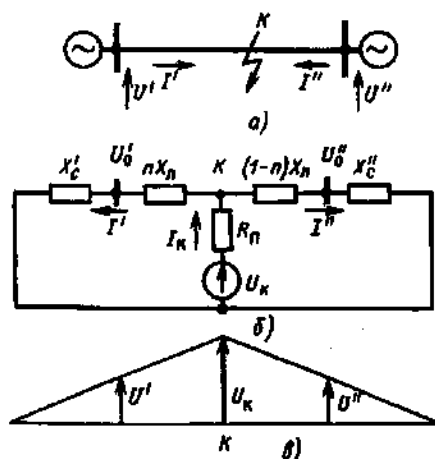


Рис. 11.1 К пояснению принципа двухстороннего ОМКЗ

$$U_K = U' + I'nX_L \quad (11.1)$$

$$U_K = U'' + I''(1-n) \cdot X_L$$

где

X_L – сопротивление ЛЭП в схеме данной последовательности;

nX_L – сопротивление от левого конца ЛЭП до места КЗ.

Обращаем внимание, что выражения записаны для модулей, но не для комплексов – в них не учтен сдвиг по фазе между током и напряжением.

Приравнивая правые части выражений и решая полученное уравнение относительно nX_L , получаем:

$$nX_L = \frac{U'' - U' + I'X_L}{I' + I''} \quad (11.2)$$

Практически производится измерение величин НП или ОП, а решение ищется относительно расстояния до места КЗ:

$$I' = nL = \frac{nX_L}{X_{y0}} \quad (11.3)$$

где

X_{y0} – сопротивление 1 км ЛЭП в схеме данной последовательности;

L – полная длина ЛЭП.

Расчетные формулы имеют вид:

$$I' = \frac{3U_0'' - 3U_0' + 3I_0''X_{0y0}L}{(3I_0'' + 3I_0')X_{0y0}} \quad (11.4)$$

$$I' = \frac{U_2'' - U_2' + I_2''X_{1y0}L}{(I_2' + I_2'')X_{1y0}}$$

Отметим ряд особенностей формул и самого метода расчета по двухстороннему измерению:

1. В формулах участвуют модули токов и напряжений. Фаза и направление токов не имеют значения. Это предопределяет относительную простоту выполнения фиксирующих приборов.
2. При выводе не учитывался вид КЗ: одной или двух фаз на землю при расчете по составляющим НП, и дополнительно двухфазного без земли при расчете по составляющим ОП. Схема на рис. 11.1, б и эпюра на рис. 11.1, в не зависят от вида замыкания. Для расчетов не требуется знать вид КЗ, что позволяет приступить к расчетам немедленно после считывания показаний приборов.
3. В расчете не участвует переходное сопротивление в месте КЗ. Теоретически двухстороннее измерение полностью исключает влияние переходного сопротивления. Практически это верно до тех пор, пока из-за переходных сопротивлений значения токов и напряжений при КЗ не станут так малы, что приборы выйдут за пределы необходимой точности измерения. В частности, приборы плохо работают в районах вечной мерзлоты и в районах со скальным фундаментом, где значительные переходные сопротивления при КЗ на землю затрудняют работу как РЗ ЛЭП, так и фиксирующих приборов.
4. На расчет не влияют составляющие токов нагрузочного режима. Объясняется это тем, что ведется фиксация величин ОП или НП, отсутствующих в нагрузочном режиме. Если бы фиксировались составляющие прямой последовательности, избавиться от влияния нагрузок было бы невозможно.
5. Относительно несложные расчеты.

Все перечисленные особенности носят положительный характер, что и предопределило внедрение методов двухстороннего измерения. Отрицательна сама необходимость получения

данных с двух концов ЛЭП, необходимость передачи данных с одного конца ЛЭП на другой или вышестоящему диспетчеру. Имеются системы с телепередачей данных и автоматическим проведением расчетов. Однако они относительно сложны и не получили широкого распространения. Все формулы выведены без учета активных сопротивлений ЛЭП, что само по себе вносит некоторую погрешность.

Для расчетов требуются фиксирующие амперметры на каждой ЛЭП и фиксирующие вольтметры на системах шин.

В ЭЭС преимущественное распространение получили методы определения места КЗ, основанные на измерении параметров НП, несмотря на то, что при этом невозможно определить место междуфазного КЗ. Подобное положение определяется следующими причинами:

- высоким удельным весом КЗ на землю (однофазных и двухфазных), составляющих на ВЛ 80–90% всех случаев КЗ;
- независимостью сопротивления НП сетей, примыкающих к контролируемой ЛЭП, от токов нагрузки, что существенно при расчетах по показаниям двух или трех приборов;
- простотой обеспечения измерений токов и напряжений НП (нет необходимости в использовании специальных фильтров ОП);
- меньшей погрешностью фильтров НП по сравнению с фильтрами ОП (1,5–2% против 4–6%).

Необходимо, однако, отметить, что на ЛЭП, имеющих сложную электромагнитную связь между собой, а также на ЛЭП с большой долей междуфазных КЗ целесообразно использовать параметры ОП.

11.3 ДВУХСТОРОННЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ НА ЛЭП СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Параллельные ЛЭП с взаимной индукцией по всей длине. Поясняющая схема для двух параллельных ЛЭП и схема замещения НП приведены на рис.11.2. На этих схемах обозначены: $X_{y\partial m}$ – удельное сопротивление взаимной индукции; I'_n, I''_n – токи НП в поврежденной ЛЭП; I'_n, I''_n – токи НП в неповрежденной ЛЭП. Участки ЛЭП, имеющие взаимную индукцию, заменены в схеме замещения эквивалентными трехлучевыми звездами с выносом взаимной индукции в одну из ветвей звезды. Для этой схемы относительно напряжения U_K можно записать два уравнения:

$$\left. \begin{aligned} U_K &= U' + X_{y\partial m} L' (I'_n + I''_n) + (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) \cdot L' I'_n \\ U_K &= U'' + X_{y\partial m} (L - L') (I''_n + I'_n) + (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) (L - L') I''_n \end{aligned} \right\} \quad (11.5)$$

Токи на двух концах неповрежденной ЛЭП имеют одинаковые значения: $I_n = I''_n$. Для исключения этого тока из уравнений можно записать уравнение на основе обхода контура, образованного на схеме замещения двумя ЛЭП:

$$\left. \begin{aligned} (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) L' I'_n - (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) L I''_n - (X_{y\partial} - X_{y\partial m}) (L - L') I'_n &= 0 \\ L I''_n &= L' (I'_n + I''_n) - L I'_n \end{aligned} \right\} \quad (11.6)$$

Путем преобразования формул 11.5 и 11.6 получаем решение для расстояния L' до места КЗ.

$$L' = \frac{3U''_0 - 3U'_0 + (X_{0y\partial} - X_{y\partial m}) 3I''_{0n} L}{(X_{0y\partial} + X_{y\partial m}) (3I'_{0n} + 3I''_{0n})} \quad (11.7)$$

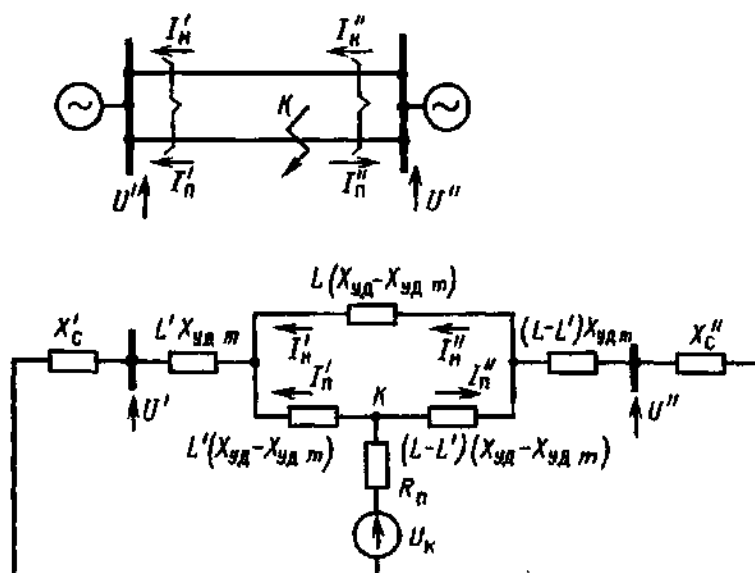


Рис. 11.2 Параллельные ВЛ с взаимной индукцией и их схема замещения НП

Для расчета по этому выражению требуются показания четырех фиксирующих приборов. В приборах на неповрежденной ЛЭП нет необходимости. Однако следует помнить, что при выводе выражения (14) исключение тока неповрежденной ЛЭП произведено после записи уравнения обхода замкнутого контура из двух ЛЭП. То есть выражение верно лишь при параллельной работе двух ЛЭП. Если вторая ЛЭП отключена, то следует принимать $X_{yd.m} = 0$, и (11.7) совпадет с аналогичным выражением (11.5) для одиночной ЛЭП. Если параллельная ЛЭП отключена и заземлена с двух сторон или две ЛЭП находятся в режиме раздельной работы по концам, или одна из ЛЭП включается на КЗ при опробовании ее напряжением, следует пользоваться другими формулами выведенными специально для этого режима. Вывод указанных формул не входит в объем данной книги. Сведения о порядке расчета в сложных случаях можно почерпнуть из Л17. Добавление нескольких линий резко усложняет расчеты до такой степени, что их нецелесообразно проводить вручную. В этом случае следует переходить на расчет по составляющим обратной последовательности, т. к. в этом случае не требуется учитывать влияние смежных линий, или использовать специальные программы. Так например, в комплекс программ института электродинамики V-VI-50 упоминавшемся в п. 1.6. входит программа определения места повреждения для линий любой сложности. Эти программы не исключают величину переходного сопротивления в месте КЗ, как делалось в ранее приведенных формулах, а учитывают его величину при расчете. Сопротивление подбирается таким образом, чтобы совпали замеры приборов с расчетными данными. Программа выдает таблицы спадов, т. е. линия разбивается на заданное число точек и производится расчет показаний приборов в каждой точке, для каждой величины переходного сопротивления в месте КЗ. Указанные таблицы удобны для оперативного персонала, который, не владея сложными программами, может по ним определить расчетное место короткого замыкания.

Из вышеприведенных данных можно сделать вывод о сложности расчетов места повреждения по показаниям приборов с двух сторон линии. Даже выше рассмотренные случаи трудно доступны оперативному персоналу, который, находясь на смене, должен собрать данные, выполнить расчеты и отправить бригаду на поиски рассчитанного места повреждения. Поэтому непосредственно персонал использует таблицы, специальные программы расчета адаптированные к нуждам диспетчера. Такие программы или таблицы имеют обычно все диспетчера энергосистем и предприятий сетей.

Учитывая техническую и организационную сложность определения места повреждения по двухсторонним показаниям, параллельно разрабатывались и методы одностороннего определения повреждения. В этом случае не требуется сбор сведений, расчет проводится на месте работы защиты, возможен прямой расчет и выдача данных непосредственно в километрах.

11.4 УПРОЩЕННЫЕ СПОСОБЫ ОДНОСТОРОННЕГО ИЗМЕРЕНИЯ

Упрощенные способы одностороннего измерения используются в сетях 6–35 кВ, в которых на первый план выходят простота оборудования и малые затраты на приобретение и обслуживание приборов. Для примера рассмотрим три упрощенных способа.

Определение места повреждения по уровню тока КЗ. Способ применяется в сетях 6–10 кВ, в основном при наличии ВЛ, питающих сельскохозяйственную нагрузку. Отличительная особенность таких ВЛ сравнительно большая протяженность при малом сечении проводов (иногда даже стальных). Это приводит к резкому падению уровня тока КЗ по мере удаления места повреждения от питающей ПС.

Для приближенной оценки расстояния на питающей ПС на вводе от трансформатора устанавливаются приборы, фиксирующие при КЗ значения фазных токов. Показания приборов сравниваются с заранее рассчитанными ожидаемыми токами при КЗ в различных точках ВЛ, на основании чего и делается вывод о расстоянии до точки замыкания. Очевидно, точность подобного способа ОМКЗ невелика (значение тока КЗ зависит от напряжения нагрузочного режима, от наличия переходного сопротивления, а при стальных проводах – и от нагрева провода), но какие-то выводы о расстоянии сделать можно.

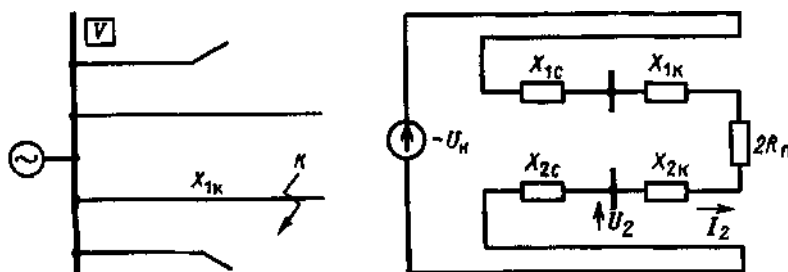


Рис. 11.3 Поясняющая схема и схема замещения аварийного режима при двухфазном КЗ на одной из ВЛ

Измерение напряжения обратной последовательности на питающей подстанции

Способ применяется в сетях 6–35 кВ на ВЛ с односторонним питанием. На питающей ПС ставится один фиксирующий вольтметр, измеряющий при КЗ напряжение ОП.

Схема замещения аварийного режима при двухфазном КЗ на ВЛ показана на рис. 11.3. В схеме имеется один источник ЭДС, равной напряжению предшествующего нагрузочного режима в точке КЗ. Если все сопротивления в схемах ОП равны соответствующим сопротивлениям в схеме прямой последовательности (ПП), то в месте КЗ напряжение ОП равно половине приложенной ЭДС, а ток ОП связан и известным напряжением U через сопротивление системы:

$$U_{2K} = \frac{U_n}{2} \quad (11.8)$$

$$I_2 = \frac{U_2}{X_{2c}}$$

Соотношения записаны для модулей величин, без учета знаков. Учитывая сказанное, можно записать выражение для неизвестного сопротивления до места КЗ:

$$X_{2K} = \frac{0,5U_n - U_2}{U_2} \cdot X_{2c} \quad (11.9)$$

Обычно сопротивление ОП ЭЭС известно с достаточной точностью, и расчет можно производить. Очевидно, скудость исходной информации приводит к погрешностям из-за наличия переходного сопротивления в месте КЗ, неточности в определении напряжения нагрузочного режима, неучета в расчетной схеме нагрузок смежных ЛЭП.

Зато используется минимум оборудования (один вольтметр позволяет определять расстояние до КЗ на всех ЛЭП, отходящих от ПС). К тому же есть вероятность, что измерение произойдет даже при трехфазных КЗ, поскольку обычно трехфазное КЗ начинается с двухфазного, а приборы действуют достаточно быстро.

Наиболее эффективным для одностороннего ОМП является использование дистанционного принципа, так как дистанционные реле замеряют непосредственно сопротивление от места установки до места КЗ.

11.5 НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ

Измерительные органы ДЗ – реле сопротивления реагируют на комплекс отношения напряжения к току: $Z = \frac{U}{I}$. При трехфазном металлическом КЗ на одиночной ЛЭП (см. рис. 2) очевидно соотношение:

$$U' = I'Z_{1K} = I'Z_{1\gamma\delta}X \tag{11.10}$$

где

- x – расстояние до места КЗ;
- $Z_{1\gamma\delta}$ – удельное сопротивление ВЛ в схеме ПП;
- Z_{1K} – сопротивление ВЛ до места КЗ.

Поделив напряжение на ток, получаем $Z_{1\gamma\delta}X$, т. е. замер дистанционного устройства пропорционален расстоянию до места КЗ, Принято анализировать поведение дистанционных устройств в комплексной плоскости сопротивления “на зажимах”. Такая плоскость с осями R и jX показана на рис. 11.4. Сопротивления “на зажимах” при металлических КЗ лежат на “оси сопротивления ВЛ”, расположенной под углом $\varphi_{Л}$ к оси R . Угол $\varphi_{Л}$ определяется соотношением активной и индуктивной составляющей удельного сопротивления ВЛ. Например, угол $\varphi_{Л}$ для ВЛ 110 кВ лежит в пределах от 35° (провод марки АС-50) до 78° (провод марки АСО-400), для ВЛ 220 кВ от 73° (провод марки АСО-240) до 84° (провод марки АСО-500), для ВЛ 500 кВ от 84° до 87°. Среднее значение $\varphi_{Л}$ для 110 кВ равно 65°, для 220 кВ – 75°.

При КЗ в направлении срабатывания ДЗ вектор сопротивления на рис. 11.4 лежит в первом квадранте плоскости, при КЗ “за спиной” – в третьем квадранте плоскости; при переходе КЗ на смежные ЛЭП сопротивление уходит вверх за точку $Z_{1Л}$.

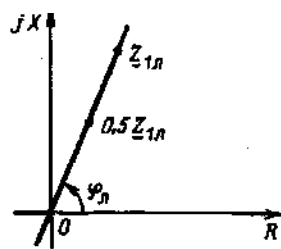


Рис. 11.4 Сопротивления на зажимах дистанционного устройства при металлических КЗ на ВЛ

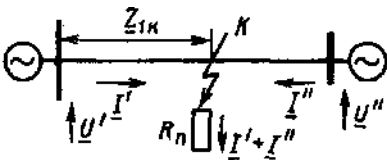


Рис. 11.5 Короткое замыкание через переходное сопротивление

На дистанционном принципе работают дистанционные защиты (ДЗ) ВЛ. Измерительный орган такой защиты от междуфазных КЗ содержит три реле сопротивления, включенные на три петли междуфазных КЗ: первое на напряжение U_{AB} и ток $(I_A - I_B)$ второе на U_{BC} и $(I_B - I_C)$, третье на U_{CA} и $(I_C - I_A)$. Измерительный орган ДЗ от КЗ на землю содержит три реле, включенных на три петли: фаза–земля (U_{ϕ} и $(I_{\phi} + kI_0)$). Такой метод обеспечивает при металличе-

ском замыкании на землю замер, равный сопротивлению ВЛ до места КЗ в схеме ПП Z_{JK} , следовательно, дистанционный принцип сам по себе обеспечивает одностороннее измерение расстояния до места КЗ, но только при металлических замыканиях.

При КЗ через переходное сопротивление пропорциональность между сопротивлением на зажимах и расстоянием исчезает. Напряжение U'' в схеме рис. 11.5 можно получить сложением напряжения в точке K с падением напряжения в сопротивлении ВЛ Z_{1K} : $U'' = (I' + I'')R_n + I'Z_{1K}$. Сопротивление, измеренное дистанционным устройством, равно:

$$\dot{Z} = \dot{U}'' / \dot{I}' = \dot{Z}_{1K} + \frac{\dot{I}' + \dot{I}''}{\dot{I}'} R_n = \dot{Z}_{1K} + \Delta \dot{Z}$$

Как видим, из-за переходного сопротивления появляется вектор ΔZ , значение которого определяется не только током своего конца ВЛ, но и током противоположного конца ВЛ. Однозначная зависимость между результатами измерения устройства и расстоянием до КЗ исчезает.

Направление вектора ΔZ зависит от фазных соотношений между протекающими в R_{II} токами (само R_{II} имеет активный характер). Общая закономерность следующая (рис. 11.6). Если отсутствуют составляющие токов нагрузочного режима (например, КЗ на ВЛ с односторонним питанием), то вектор ΔZ горизонтален (вектор $\Delta Z'$ на рис. 11.6). На передающем конце ВЛ (например ВЛ отходит от ЭС) вектор уходит вниз (вектор $\Delta Z''$ на рис. 11.6). На приемном конце ВЛ вектор уходит вверх ($\Delta Z'''$ на рис. 11.6).

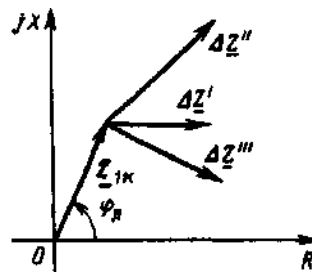


Рис. 11.6 Положение вектора ΔZ на плоскости

Величину вектора ΔZ можно определить по следующим формулам:

$$\Delta \dot{Z}^{(1)} = \frac{3\dot{I}_{0K} R_{II}}{\dot{I}_\phi + k\dot{I}_0}; \quad (11.11)$$

$$\Delta \dot{Z}^{(2)} = \frac{j\sqrt{3}\dot{I}_{2KA} R_{II}}{\dot{I}_R - \dot{I}_C} \quad (11.12)$$

Исключение влияния переходных сопротивлений и является основной трудностью при одностороннем измерении.

11.6 ТЕОРИЯ ОДНОСТОРОННЕГО ИЗМЕРЕНИЯ НА ЛИНИИ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

Первым из приборов одностороннего измерения, работающих на дистанционном принципе, был прибор ФИС, выпускавшийся в небольших количествах в начале 80-х годов. Проблема устранения влияния переходного сопротивления в нем решалась тем, что прибор реагировал на реактивную составляющую сопротивления "на зажимах": $X = U_\phi / (I_\phi + kI_0)$. Непосредственно из рис. 11.5 можно заключить, что влияние переходного сопротивления исключалось

только либо на ненагруженных ВЛ, либо на ВЛ с односторонним питанием. Для расширения области применения делались попытки осуществлять измерение в режиме каскадного включения ВЛ при неуспешном АПВ. Однако это не являлось полноценным решением проблемы.

Положение изменилось только после появления разработки Рижского политехнического института (А.С. Саухатас) прибора МФИ, реализовавшего новые принципы. Рассмотрим теоретические основы действия прибора.

Замер дистанционного устройства Z складывается из сопротивления ВЛ до места КЗ Z_{1K} и вектора ΔZ . Длины двух указанных векторов неизвестны. Но известны их направления: вектор Z_{1K} направлен вдоль оси сопротивления ВЛ; направление вектора ΔZ можно найти почти точно используя формулы (11.10) или (11.11). Например: для однофазного КЗ, если считать переходное сопротивление чисто активным, то направление ΔZ определяется соотношением токов I_{0K} и $(I_\phi + kI_0)$ – Токи I_ϕ и I_0 можно измерить на данном конце ВЛ. Ток I_{0K} существует только в месте замыкания. Однако к этому току весьма близок по фазе ток НП I_0 , поскольку токораспределение по схеме НП мало меняет фазу токов в отдельных элементах.

Для угла, под которым вектор ΔZ наклонен к горизонтали, можно написать формулу:

$$\begin{aligned} \text{arc} \Delta Z &= \text{arc} [I_{0K} / (I_\phi + kI_0)] = \\ &= \text{arc} [I_0 / (I_\phi + kI_0)] - \text{arc} [I_0 / I_{0K}] = \alpha - \beta \end{aligned}$$

где $\alpha = \text{arc} [I_0 / (I_\phi + kI_0)]$; $\beta = \text{arc} [I_0 / I_{0K}]$

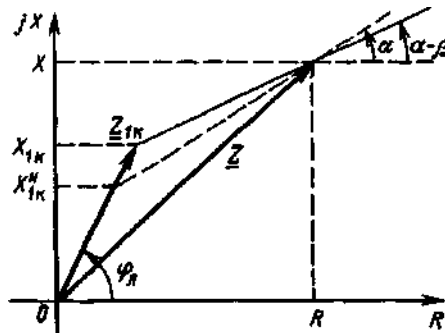


Рис. 11.7. К пояснению принципа одностороннего ОМКЗ

Угол α может быть сосчитан по измерениям на одном конце. Угол β очень мал, им иногда можно пренебречь.

Графическое решение задачи определения Z_{1K} пояснено на рис. 11.7. На комплексной плоскости построены вектор Z и ось сопротивления ВЛ. Затем через точку конца вектора ΔZ проведена прямая под углом $(\alpha - \beta)$ к горизонтали. Пересечение прямой с осью Z_{1K} сопротивления дает точку конца вектора Z_{1K} в частности, реактивное сопротивление до места КЗ X_{1K} .

Возможно получение аналитической формулы для X_{1K} путем решения треугольника.

Расчетная формула имеет вид:

$$X_{1K} = \frac{X - R \cdot \text{tg}(\alpha - \beta)}{\text{tg} \varphi_n - \text{tg}(\alpha - \beta)} \cdot \text{tg} \varphi_n \quad (11.13)$$

В формуле известно все, кроме угла β , который нельзя измерить на одном конце ВЛ. Приближенное решение предполагает пренебрежение углом. Тогда аналитическая формула приобретает вид:

$$X''_{1k} = \frac{X - R \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \varphi_{\pi} - \operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\pi} \quad (11.14)$$

Графическая интерпретация приближенного решения показана на рис. 16: если через конец вектора Z провести прямую не под углом $(\alpha - \beta)$, а под углом α , то получим не точное решение X_{1k} , а приближенное X'' . Следовательно, одностороннее измерение оказалось возможным потому, что направление тока I_{0k} приняли совпадающим с направлением тока I_0 .

Определение места по мгновенным значениям токов и напряжений. Способы одностороннего ОМКЗ, рассмотренные выше, основаны на расчетах по интегральным параметрам электрических величин (токов, напряжений). Термин интегральные параметры появился с внедрением ЭВМ в технику РЗ для того, чтобы отличить мгновенные значения синусоидальных электрических величин I, U от характеризующих эти величины в любой момент времени параметров I, U . Употребляется термин в том смысле, что ЭВМ получает интегральные параметры путем измерения и обработки ряда мгновенных значений, т. е. после суммирования-интегрирования информации о мгновенных значениях.

Однако известны и способы ОМКЗ на основе операций с мгновенными значениями токов и напряжений. Первый из них предложен во Франции. Основы его следующие:

Пусть однофазное КЗ через сопротивление R_n произошло на расстоянии l на ВЛ с удельными параметрами R_{y0}, L_{y0} . Мгновенное значение напряжения на данном конце ВЛ равно:

$$u = l \left(R_{y0} i + L_{y0} \frac{di}{dt} \right) + R_{\pi} i_k$$

удельное падение напряжения на 1 км ВЛ равно:

$$\Delta u = R_{y0} i + L_{y0} \frac{di}{dt} = (i_{\phi} + k I_0) Z_{1y0}$$

Если выбрать момент, когда ток в месте КЗ I_k равен нулю, то в формуле для напряжения исчезнет слагаемое, содержащее R_{π} . Тогда получим простую формулу:

$$l = \frac{u}{\Delta u} \text{ при } i_k = 0 \quad (11.15)$$

т. е. для определения расстояния достаточно измерить напряжение U и ток $i = (i_{\phi} + k i_0)$ в момент перехода тока I_k через нулевое мгновенное значение. Поскольку ток I_k неизвестен, достаточно взять почти совпадающий с ним по фазе ток I_0 .

Подобный принцип ОМП заложен в микропроцессорном устройстве MiCOM P142-143.

Микропроцессорные фиксирующие приборы МИР, ФПМ, ИМФ производят замер мгновенного значения сопротивления в момент перехода через 0 по формуле:

$$l = \frac{\operatorname{Im} \left[\frac{\dot{U}_{\phi}}{\dot{I}_0} \right]}{\operatorname{Im} \left[\frac{(\dot{I}_{\phi} + k \dot{I}_0) \dot{Z}_{y0}}{\dot{I}_0} \right]} \quad (11.16)$$

В формуле измерение мгновенных значений u и Δu в момент перехода тока I_0 через нулевое мгновенное значение заменено на расчет проекции на мнимую ось, перпендикулярную вектору I_0 , интегральных величин U_ϕ и ΔU_ϕ .

Все перечисленные способы применимы и при двухфазных КЗ без земли при замене параметров петли фаза–земля на параметры петли фаза–фаза.

11.7. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕГИСТРАЦИИ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА

При расследовании случаев нарушения нормального режима очень важно иметь информацию о том, как началось и как развивалось нарушение. Информацию о том, какие устройства защиты и автоматики сработали, персонал получает по электромеханическим указателям (блинкерам), которые, согласно требованиям ПУЭ, устанавливаются на каждом устройстве защиты и автоматики. Указательное реле (ЭС-21, РУ-21, РЭУ-11) имеет флажок, который выпадает после подачи тока (напряжения) на катушку реле и остается в этом положении до его возврата вручную. После записи выпавших флажков их поднимают в исходное положение. Реле снабжены контактами, которые замыкают цепь сигнализации в выпавшем положении и выдают сигнал на щит управления.

На микроинтегральных и некоторых простых микропроцессорных устройствах защиты для целей информации используются светодиоды. Загорающиеся при срабатывании соответствующих им устройств защиты и остаются гореть до их квитирования кнопкой на передней панели или дистанционно, подачей напряжения на дискретный вход.

Более сложные микропроцессорные устройства, которые имеют много функций, используют внутреннюю память (ППЗУ) в которую записывается событие с точной (до 1мс) регистрацией времени события. Эта информация сохраняется длительно, так как память может сохранить множество событий - 100, 1000 и более. Если эта память переполняется обычно последняя информация вытесняет первую.

Информация с помощью блинкеров (светодиодов) не привязана ко времени и фактором времени является время записи события в оперативном журнале. Это не дает возможности оценивать последовательность, что затрудняет анализ произошедших нарушений. Зная точное время каждого события, можно представить в каком порядке работали те или другие устройства и, таким образом, выявить последовательность событий, что очень важно для анализа аварии.

Существенным дополнением к информации о происшествии являются осциллограммы, с помощью которых можно установить порядок развития повреждения, величину тока и напряжения, фазу, длительность протекания тока, переход короткого замыкания из одного вида в другой. Для этого уже длительное время используются регистрирующие приборы и автоматические осциллографы.

Регистрирующие приборы в состоянии записать только относительно медленно протекающие процессы, но они беспомощны в случае, если необходимо записать, например короткое замыкание, отключенное быстродействующими защитами. Поэтому регистрирующие приборы дают в основном статистические сведения, и записывают процессы, длящиеся минутами. Один час времени на ленте регистратора обычно занимает 60 мм, т.е. скорость протяжки равна 1 мм в минуту. Зато такой ленты хватает на 1 неделю, после чего ее нужно заменить на новую. Существовали регистрирующие приборы с ускорением, при аварии происходило ускорение записи в несколько десятков раз. Удавалось даже записывать синусоидальный ток и напряжение.

На смену регистрирующим приборам пришли автоматические осциллографы, записывающие непосредственно синусоидальный ток и напряжение, а также переходные процессы, проходящие в электрических цепях. В основу осциллографа был положен светолучевой принцип: в магнитном поле находилась катушка через которую протекал исследуемый ток. К катушке было прикреплено зеркальце, которое отбрасывало луч света на специальный фотоматериал, который протягивался перед зеркалами. Это изделие называлось вибратором. Автоматический осциллограф Н-11 использовал 35 мм фотопленку и имел 8 шлейфов (вибраторов). В

настоящее время такие осциллографы уже не используются. Автоматический осциллограф Н-13 использует фотобумагу шириной 120мм и имеет 12 шлейфов (вибраторов). Такие осциллографы широко применяются и в настоящее время совместно с электромеханическими защитами.

Осциллограф управляется специальным пусковым устройством, например УПО1. Это устройство пускает осциллограф при появлении несимметрии или глубокой посадке напряжения. Осциллограф оснащен часами, которые под управлением того же пускового устройства фотографируются на бумаге.

Процесс записи осциллограммы происходит следующим образом: Вибраторы постоянно находятся под током и напряжением, однако бумага остановлена, и лампа осциллографа не горит. При появлении пускового сигнала или несимметрии напряжения загорается лампа и разворачивается механизм протяжки; для преодоления инерции, а значит и задержки в отображении сигнала, лентопротяжный механизм и электролампа форсируется за счет кратковременной подачи повышенного напряжения. С помощью таких мер обеспечивается начало записи через 20-40мс после начала процесса. Фотобумага протягивается со скоростью 200-400мм в сек. После окончания процесса фотобумага останавливается, гаснет лампа осциллографа, происходит короткая протяжка, после чего включается освещение часов, часы фотографируются, еще одна короткая протяжка подводит под шлейфы осциллографа незасвеченный участок фотобумаги. Осциллограф готов к следующей записи. после этого кассету с фотобумагой вынимают, и после проявления и высыхания, осциллограмма готова для анализа. Изображение представляет собой синусоиды, размах которых измеряется, умножается на коэффициент, после чего определяются величины токов и напряжений. Осциллограф также фиксирует переходные процессы в токах и напряжениях, что иногда бывает очень важно для анализа. В состав пускового устройства входит 2 реле времени; одно из них ограничивает время записи аварийного процесса, а второе - послеаварийного. Первое реле времени обеспечивает экономию бумаги в случае если пуск осциллографа длительный и достаточно более короткой записи. Второе реле обеспечивает запись паузы между событиями, например: паузы АПВ. В кассету входит 20м фотобумаги, что дает возможность записи до 100сек при скорости записи 200мм/сек.

Как уже говорилось, несмотря на принятые меры по форсировке пуска начало записи задерживается на 20-40мсек, Таким образом, само начало процесса не видно, оно часто очень важно для представления как началось повреждение, что позволяет судить о его причинах. Было бы очень важно судить о состоянии сети и режиме, предшествовавшем аварии. Поэтому были разработаны специальные приставки для предварительной записи аварийного процесса. Чаще всего для этого использовался магнитный барабан вращавшийся непрерывно, на который записывался процесс. Пока место с записью на барабане проходило от записывающей до воспроизводящей головки, проходило время, которое и являлось временем задержки записи на осциллограф. С воспроизводящей головки запись происходила уже на осциллограф. Барабан вращался непрерывно, и на вход осциллографа постоянно подавались задержанные во времени токи и напряжения. При возникновении аварии пускался осциллограф и производил запись, задержанную во времени. затем запись на барабане стиралась и снова место записи подавалось под записывающую головку. На таком принципе работал специально выпущенный для этой цели осциллограф с предварительной записью Н 22. По мере развития электронной техники для этой цели начали применять специальные линии задержки, которые делали то же самое, но без участия сложного механизма.

Автоматические светолучевые осциллографы имеют очевидные недостатки, связанные со сложной механикой, оптикой. От момента события до его анализа проходит время нужное для доставки экспонированного фотоматериала в лабораторию, его проявки и просушки. после чего, через несколько часов, можно приступить к анализу события. Фотобумага стоит достаточно дорого, и большая часть ее расходуется зря, т.к. только некоторые записи нужны для анализа. Поэтом с появлением микропроцессорной техникой появились и цифровые регистраторы. Развитие регистраторов шло по 2 направлениям.

Первое и самое главное касается микропроцессорных защит, которые, как правило, имеют встроенные функции регистраторов дискретных сигналов и осциллографов. Все события записываются в память и могут быть в любой получены из устройства либо непосредственно от

реле, либо дистанционно через локальную сеть, модем или даже интернет. Поэтому анализ происшествия может быть начат немедленно из любого места. Событие четко привязывается по времени, что облегчает сопоставление данных, взятых из разных устройств и объектов. Исключается необходимость замера величин, их пересчет. Это все делает компьютер, выдавая на экран уже рассчитанные данные. После заполнения памяти первое событие замещается последующим поэтому исчезает возможность потери информации из-за переполнения памяти а ее достаточный объем позволяет записать нужные процессы полностью. Само собой разумеется, осциллографы оснащены предварительной записью.

Электромеханические и аналоговые устройства таких возможностей не имели и поэтому для них разработаны и выпускаются цифровые регистраторы, имеющие все перечисленные преимущества цифровых устройств. В настоящее время ведется целенаправленная работа по замене светолучевых осциллографов цифровыми регистраторами.

11.8. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Регистрация события – это запись какого-то дискретного сигнала, появляющегося в виде замыкания контакта (сухой контакт) или появления напряжения определенного уровня на дискретном входе. В цифровом устройстве сигналы событий кроме этого могут быть сформированы внутри устройства, или получены через интерфейс локальной сети. Каждый сигнал должен получить свой код, по которому его можно будет распознать в последующем. Код в конце концов представляет собой цифру, которая записывается в память устройства. Однако получив из регистратора цифру, по которой при анализе нужно получить сведения, что означает данный сигнал. Понятно, что каждый раз лазить в список неудобно, и эту задачу выполняет программное обеспечение компьютера, в который должно быть занесено соответствие каждого кода, конкретной функции. Появляется задача программирования этих названий, которые часто являются индивидуальными для каждого объекта и устройства. Это должно производиться в процессе его наладки непосредственно на объекте.

Отметка времени события тоже исключительно важна для последующего анализа. Поэтому цифровые регистраторы, входящие в состав микропроцессорного реле и отдельные регистраторы фиксируют время события с точностью до 1 мс. Поэтому не представляет никакой трудности сопоставить время события, записанные внутри одного реле или регистратора. Однако в случае сопоставления данных, находящихся в разных реле или регистраторах возникают сложности. Дело в том что часы, встроенные в устройства хотя и очень точные но все таки имеют точность для нашей цели недостаточную. Даже точность одна секунда в сутки приводит к тому, что показания часов через месяц расползутся на 1 минуту, а за год - на 12. Где уж тут сопоставить с точностью до 1 мсек. Поскольку часы могут корректироваться и через локальную сеть, необходимо чтобы такая функция была возложена на верхний уровень управления. Существуют спутниковые системы точного времени, с помощью которых можно синхронизировать указанные устройства с очень большой точностью. И они иногда используются для синхронизации часов в микропроцессорной релейной аппаратуре. Ну а мы, не имеющие такой возможности, пытаемся синхронизировать события по предполагаемому течению событий, считая, например, что короткое замыкание приводит к одновременному росту тока и посадке напряжения во всей прилегающей сети.

Точность воспроизведения осциллограммы или регистрации величины зависит от двух элементов: входных преобразователей и аналого-цифрового преобразователя. С достаточной точностью должны регистрироваться как малые, так и большие токи, а диапазон токов, с которой имеет дело аппаратура РЗА, колеблется от 100 до 20000-40000А. Входной преобразователь должен точно передавать величин во всем этом диапазоне токов. Характеризуя АЦП, говорят о его разрядности и частоте выборок. Применительно к защите, эти вопросы рассматривались ранее в главе 3, и они полностью относятся и регистраторам аналоговых сигналов и цифровым осциллографам.

В устройствах РЗА применяют АЦП с частотой выборок от 600 до 2000 Гц. Для осциллографирования требуется еще большая частота выборок, которая у высокочастотных устройств защиты доходит до 5000 Гц. Цифровое устройство с частотой выборок 2000 Гц эквивалентно осциллографу с полосой пропускания 0—1000 Гц. Оно имеет 40 выборок за период. Ограничившись 10 гармоникой, мы можем сказать, что минимально допустимая частота выборок составляет 1000 Гц или 20 выборок за период.

Второй важной характеристикой АЦП является разрядность формируемого им двоичного числа. Ток при нормальном режиме работы электроустановки находится в пределах $0 - I_{ном}$, а в аварийных — достигает $(10+30)I_{ном}$. Для преобразования с погрешностью не более 2—5 % требуемое число ступеней квантования m должно быть $2000 \div 4000$, т. е. требуется АЦП с разрядностью $p = 11+12$.

11.9. ЦИФРОВЫЕ РЕГИСТРАТОРЫ СИГНАЛОВ

Ниже приводятся описание трех комплексов регистраторов украинского производства наиболее распространенных на Украине. Все комплексы используются совместно с электромеханическими или аналоговыми устройствами защиты не имеющими встроенных средств регистрации и осциллографирования. Они разрабатывались отдельно для разных целей, хотя постепенно их возможности сближались.

КРАС разрабатывался для распределенных объектов с небольшим объемом информации в каждом. Он состоит из блоков регистрации распределенных по объектам, концентратора и персонального компьютера на который передаются данные и, с помощью которого они обрабатываются. Компьютер может одновременно использоваться для других целей, быть отключенным. Данные накапливаются в самом регистраторе и после включения компьютера через концентратор передаются в него, где записываются и обрабатываются и оттуда могут быть переданы в другое место по телефонному модему. Память в самих регистраторах невелика и ее может не хватить при многочисленных событиях в течении выходных или праздничных дней, когда нет возможности ее передать на верхний уровень.

РЕКОН разрабатывался как совершенно автономное устройство для установки на необслуживаемых объектах и предназначался в первую очередь для замены светолучевых осциллографов Н13. РЕКОН оснащается символьным дисплеем, и дисководом для дискеты, на нее можно записать накопившуюся информацию, которую затем можно обработать на компьютере. Само собой разумеется, что эта информация может быть передана по локальной сети или коммутируемому телефонному каналу. РЕКОН оснащен «флеш» памятью, которая позволяет сохранить значительный объем информации (до 1500сек). Встроенный дисплей позволяет получить на месте всю необходимую информацию за исключением осциллограммы. РЕКОН имеет развитое программное обеспечение.

РЕГИНА с самого начала разрабатывалась как групповое устройство для крупных объектов. Это обеспечивалось большим количеством аналоговых (32) и дискретных (256-512) входов. в качестве устройства памяти применен винчестер, объем которого настолько велик, что полностью снял вопрос о количестве записей и их длительности. Его хватит на многие годы. В качестве дискретного сигнала используется сухой контакт, но разработаны специальные блочки, содержащие герконовые реле, которые могут подключаться на напряжение или ток. Для передачи большого количества дискретных сигналов по малому количеству жил кабеля разработаны диодные матрицы. Для анализа полученных данных может быть использован стационарный или переносной компьютер. В последующем был разработан упрощенный вариант с меньшим количеством регистрируемых данных для небольших объектов. Данные могут быть переданы по локальной сети или телефонному модему. Программное обеспечение для анализа полученных данных очень развито.

При использовании перечисленных устройств отпадает необходимость в установке дополнительных фиксирующих приборов для определения места повреждения, ОМП является стандартной функцией программного обеспечения.

КОМПЛЕКС РЕГИСТРАЦИИ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ КРАС

Комплекс представляет собой распределенную систему сбора информации о состоянии технологического оборудования и состоит из подсистемы центрального уровня и локальных подсистем, число которых определяется количеством обслуживаемых объектов.

Локальная подсистема включает модули регистраторов, накапливающие информацию о состоянии, как правило, одного - двух присоединений.

Подсистема центрального уровня - концентратор, осуществляет, в автоматическом режиме, сбор данных зафиксированных регистраторами, обработку, диагностику, визуализацию информации о зарегистрированных событиях, а также ее каталогизацию, архивацию на H^{\wedge} или РОВ, вывод на печать и при необходимости передачу через модем (или другое сетевое устройство) на удаленный сервер (уровень ГПЭО, ПЭО, ПЭС/РЭС).

Последовательный интерфейс между подсистемами центрального и локального уровня - общая для всех регистраторов трехпроводная магистраль.

Блоки питания регистраторов подключаются к аккумуляторной батарее и цепям переменного напряжения, с гальваническим разделением цепей и автоматическим переключением.

Основные технические данные

Количество аналоговых каналов каждого из Регистраторов 16;

датчики для сигналов переменного и постоянного тока, ВЧ сигналов, тока приёма, тока ротора, напряжения ротора, напряжения аккумуляторной батареи;

количество дискретных каналов "сухой контакт" синхронно записываемых с аналоговыми сигналами для регистратора 16А/32Д-1М и регистратора 16А/64Д-1М - 32 и 64 соответственно; отдельно производится запись и хранение последних 4000 дискретных событий;

возможно увеличение записываемых дискретных сигналов блоками по 128;

частота дискретизации, Гц 900 - 1800;

длительность записи регистратора - около 34 - 40с (по 14-15 событий длительностью 2,2-2,6 с, каждое);

автоматическая передача регистраторами зафиксированных событий в концентратор позволяет фиксировать практически не ограниченное число аварийных событий.

продолжительность до аварийной записи, не менее 5-и периодов;

относительная погрешность измерения аналоговых сигналов <3% в динамическом диапазоне токов до 50 дБ.

Условия пуска регистратора:

по любой несимметрии на контролируемой системе шин, $3U_0$, $3I_0$, U_2 ;

по внешнему сигналу устройства пуска;

возможен пуск по любым контролируемым аналоговым и дискретным сигналам.

Удаленность по каналу связи, не более 3,0 км;

Время хранения информации при полном исчезновении основного и резервного питания 7 суток;

встроенные календарь и часы.

Наиболее подходящая область применения использование на распределенной системе объектов с большим расстоянием между ними.

ПРОГРАММНО_АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ «РЕКОН»

Комплексы "РЕКОН" состоят из автономных регистраторов, связанных с объектами сигнальными цепями, и программного обеспечения для подробного анализа и документирования процессов в среде персональных компьютеров, удаленных от объектов наблюдения на произвольные расстояния. Особенности изделия являются:

- универсальность его аналоговых каналов (АК), т.е. способность обрабатывать ток или напряжение (пост./перем.) одним и тем же каналом по выбору пользователя;

- фиксация текущей промышленной частоты входных сигналов, измеренной встроенным быстродействующим частотомером;



- способность выполнять прикладную обработку данных: определять место повреждения для линий электропередачи, выполнять анализ аварийной ситуации и генерировать сообщение оперативному персоналу, идентифицирующее аварийное нарушение с указанием поврежденного элемента, работавших устройств релейной

защиты и противоаварийной автоматики (РЗА);

Все перечисленные функции выполняются автоматически без применения внешних ПЭВМ и т.н. концентраторов, однако предусмотрено использование регистраторов в автоматизированных информационно-управляющих системах, реализованных в виде локальной вычислительной сети промышленных объектов.

Аппаратная часть комплекса - регистратор "РЕКОН-07БС" - выполнен в моноблочном корпусе (190*480*400) и стационарно размещается на щитах подстанций, блоков электростанций и др. в том числе и на необслуживаемых объектах.

Регистратор оснащен символьным ЖК дисплеем, клавиатурой оперативного управления и встроенным дисководом. Для сбора информации об объекте регистратор подключается непосредственно к вторичным сигналам напряжения, тока, аналоговым и дискретным цепям аппаратуры РЗА и т.п. Для связи с удаленными получателями информации к регистратору подключают: телефонную "пару", локальную сеть и т.д. Возможна автономная эксплуатация, когда информация снимается при помощи дисковода или считывается с ЖК дисплея: текущие уровни сигналов, состояние пусковых факторов, файл экспресс-информации и т.п. На объекте несколько регистраторов могут объединяться локальной сетью в автономную группу без ПЭВМ и осуществлять информационный обмен с удаленными пользователями через телефонный канал одного из регистраторов.

Технические данные:

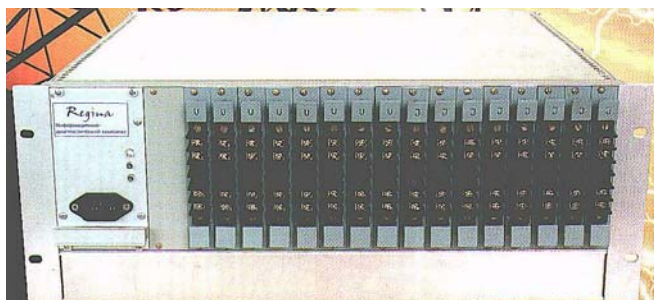
- пуск фиксации аномального режима по трем группам пусковых факторов симметричных составляющих с индивидуальными уставками для каждой, по повышению или снижению частоты и изменению дискретных сигналов;
- к-во каналов: аналоговых - 32 (28, 24, 20, 16), дискретных - 96 (128, 160, 192, 224);
- приведенная погрешность регистрации/восстановления сигналов АК не более 1%;
- входной ток дискретных каналов - 10 мА;
- частота дискретизации (Рд) 900, 1800, 2400 Гц;
- суммарное время сохраняемых в постоянной памяти процессов не менее 1500 сек;
- тип постоянной памяти - "флеш";
- определение аварийной ЛЭП, места повреждения, а также ФИП всех ЛЭП;
- создание файла экспресс-информации с данными о событии, месте повреждения, и работе РЗА;
- питание регистратора осуществляется от сети пост./персм. тока -220/110 В;
- диапазон рабочих температур: 5-45°С.
- Информация в регистраторе защищена от уничтожения, а гарантированный срок ее хранения, даже при обесточенном регистраторе, не менее 10-ти лет.

ПО комплекса позволяет:

- при работе по каналам связи: настроить регистраторы, в произвольный момент времени выполнить фиксацию данных текущего режима, осуществить выбор информационных файлов из «архива регистратора» и принять данные;
- проанализировать данные: измерить сигналы и временные интервалы, выполнить векторный анализ, построить графики симметричных составляющих 3-фазных систем, произвольных функций от сигналов, мощностей, отфильтровать ВЧ и постоянные составляющие, проанализировать спектральную плотность сигналов и их гармонический состав, прокомментировать осциллограммы и распечатать их на бумаге;
- экспортировать данные в формат «COMTRADE».

ИНФОРМАЦИОННО ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «РЕГИНА»

Предназначен для регистрации аналоговых и дискретных сигналов, анализа развития аварийных ситуаций, оценки функционирования устройств релейной защиты и автоматики, определения места повреждения при коротких замыканиях на линиях электропередачи, определения остаточного ресурса высоковольтных выключателей, построения суточной ведомости режимов, проведения фазового и гармонического анализа синусоидальных сигналов, выделения симметричных составляющих в трехфазных сетях переменного напряжения, вывода информации в виде текстовых сообщений, графиков и таблиц на экран дисплея и на печать, а также передачи зарегистрированной и обработанной информации на любые высшие уровни управления.



Базовым элементом комплекса являются распределенные по объекту регистраторы аналоговых и дискретных сигналов. Число регистраторов определяется количеством аналоговых и дискретных сигналов, подлежащих обработке. Регистраторы фиксируют электрические сигналы переменного и постоянного тока и напряжения, а также дискретные сигналы типа "сухой контакт" или потенциальные.

Технические характеристики регистратора:

- количество аналоговых входов: 16 — 32;
- количество дискретных входов: 224, 448, 672;
- частота дискретизации: 1000 - 5000 Гц;
- длительность регистрации одного события: не ограничена;
- количество регистрируемых событий не ограничено;
- продолжительность регистрации доаварийного режима: 200 мс;
- режим регистрации дискретных сигналов: непрерывный;
- переход на регистрацию аварийного режима:
 - при изменении состояния любых (выбранных заказчиком) дискретных сигналов;
 - при выходе за пределы уставок любых (выбранных заказчиком) аналоговых сигналов;
 - при внешнем пуске.

Программное обеспечение ИДК "РЕГИНА" выполняет следующие функции:

- формирование массивов аварийной информации;
- фиксация начала аварийной ситуации;
- привязка файла аварийной информации к энергосистеме, объекту, присоединению;
- формирование библиотеки аварийных событий;
- быстрый поиск в архиве необходимого файла аварийной информации;
- просмотр в сжатом виде всего файла аварийного процесса в виде осциллограммы на экране дисплея;
- оперативный доступ к любому участку осциллограммы для детального его рассмотрения;
- ступенчатое изменение масштаба по амплитуде и по времени рассматриваемого участка осциллограммы (до представления на экране одного периода синусоидального сигнала частотой 50 Гц);
- вывод на печать рассматриваемого в заданном масштабе участка осциллограммы;
- измерение мгновенных и действующих величин аналоговых сигналов на любом участке осциллограммы с отображением измеренных значений на экране дисплея и на печати;
- измерение углов между синусоидальными величинами;
- гармонический анализ аналоговых сигналов;
- измерение временных интервалов между любыми точками осциллограммы с отображением измеренных значений на экране дисплея и на печати;
- формирование произвольно выбранной группы аналоговых и дискретных сигналов для совмещения их на экране дисплея и вывода на печать;
- выбор произвольного числа графиков для совмещения на одной временной оси (до 4);
- использование цветности для выделения графиков аналоговых сигналов;
- определение места повреждения при коротких замыканиях на линиях электропередачи;
- определение остаточного ресурса высоковольтных выключателей;
- автоматическое формирование экспресс-информации по результатам регистрации аварийной ситуации;
- представление записей аварийной информации в формате COMTPADE;
- передача экспресс-информации на высшие уровни управления;

12. ШКАФЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

12.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Современные комплектные микропроцессорные устройства обеспечивают выполнение всех функций требуемых для присоединения. Они обеспечивают кроме непосредственно функций основной и резервной защиты также контроль за состоянием выключателя, телеуправление, местное управление из шкафа или дистанционное управление по локальной сети, регистрацию событий, осциллографирование аварийных процессов, измерение текущих электрических величин, передачу этой информации на верхний уровень управления. Все это входит в функциональный объем одного или двух микропроцессорных устройств РЗА. Для того чтобы обеспечить связи устройства с оборудованием своего и смежных присоединений, требуется еще некоторое количество промежуточных реле, автоматы оперативного тока, резисторы, диоды и некоторые другие элементы. Для подключения внешних контрольных кабелей, локальной сети и прочих элементов требуется клеммник на значительное количество клемм.

Раньше все эти элементы располагались на нескольких панелях: основная защита, резервная защита, автоматика линии и выключателя, панель управления, измерения с измерительными преобразователями для телемеханики. Итого: четыре панели для линии 110 кВ, пять панелей для трехобмоточного трансформатора, семь панелей для линии 330 кВ.

Используя микропроцессорные устройства, все эти функции удастся поместить в одном шкафу, и только для линий напряжением 330 кВ и выше, а также мощных энергоблоков, в которых для надежности, требуется выполнить две самостоятельные системы защиты: группы “А” и “В”, питающиеся от отдельных аккумуляторных батарей, трансформаторов тока и напряжения, действующих на разные соленоиды отключения, требуется два отдельных шкафа. В один шкаф возможно поместить защиту и автоматику двух линий 110–220 кВ, два трансформатора, пять присоединений 35 кВ и ниже.

Такое размещение дает значительную экономию труда и материалов, не требуются контрольные кабели для связи между панелями и необходимые им клеммы, остаются только связи со своим и чужими присоединениями. Сокращается объем монтажных работ и ошибки монтажа. Монтаж шкафа и большая часть его наладки могут быть выполнены в заводских условиях. Сокращается объем наладки на месте монтажа. Экономится площадь для размещения аппаратуры.

Ранее применявшиеся панели решено заменить шкафами, что также улучшает условия работы устройств. Уменьшается доступ пыли, аппаратура размещается на нескольких уровнях, с сохранением к ней доступа, запирающиеся дверцы шкафа улучшают ее сохранность. Может быть выполнено одностороннее обслуживание, что позволяет придвинуть шкаф к стене и сэкономить место.

Еще более эффективно применение типовых шкафов защиты. Шкафы выполняются по стандартным схемам, проверенным в эксплуатации, а значит, уменьшается вероятность ошибки, сокращаются трудозатраты по монтажу шкафа. Проекты выполняются по типовым схемам, что сокращает трудозатраты на проектирование, и опять-таки уменьшает вероятность ошибки. Персонал, обслуживающий устройства защиты, лучше знает типовое оборудование, что, в свою очередь, сокращает его трудозатраты и снижает вероятность его ошибок. В эпоху широкого внедрения электромеханических устройств РЗА более 95% устройств РЗА выполнялось на типовых панелях по типовым проектам. Существовал даже официальный запрет на применение нетиповых решений. По этой причине при внедрении микропроцессорных устройств защиты также задан и решается вопрос применения типовых схем и решений.

Фирма “Энергомашвин” разработала и предлагает к применению серию типовых шкафов релейной защиты и автоматики.

Шкафы защиты и автоматики предназначены для защиты, автоматики и управления выключателем линии (РЗАЛ) или трансформатора (РЗАТ) напряжением 35–220 кВ. Шкафы предназначены для установки на щитах управления электростанций и подстанций. Кроме указанных шкафов фирма изготавливает малые шкафы для присоединений 35 кВ: линий и трансформаторов, которые изготавливаются как для внутренней, так и для наружной установки. Внешний вид шкафов показан на рис.12.1.



Шкаф РЗА (большой)



Шкаф РЗА (малый)



Шкаф релейный (наружной установки)

Рис.12.1. Внешний вид шкафов производства компании «Энергомашвин»

12.2 КОНСТРУКЦИЯ ШКАФОВ

Конструкция шкафов показана на рисунке 12.2:

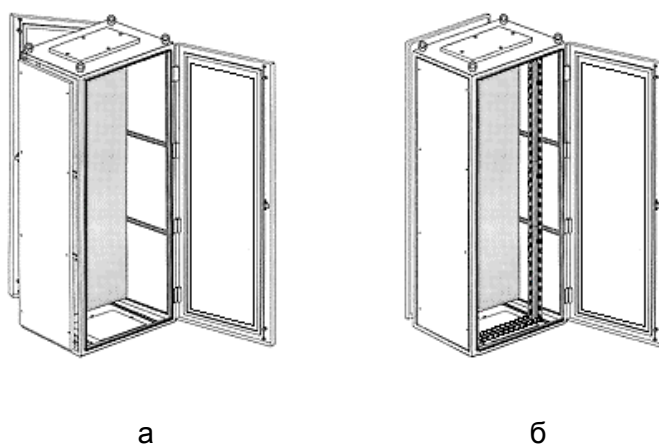


Рис 12.2. Внешний вид шкафов а – шкаф с двумя дверями, б– шкаф с одной дверью

Шкафы выполнены из листовой холоднокатаной стали толщиной 2 мм. К цельносварной раме из гнутого профиля крепятся боковые и задние стенки, двери, нижние и верхние люки с возможностью герметичного ввода кабелей, подставка, а также дополнительные конструкции. Защита от пыли достигается путем точного исполнения поверхностей рамы и крепящихся к ней конструкций, установкой между стыкующимися поверхностями резиновых уплотнителей. По заказу шкафы могут иметь прозрачную переднюю дверь, она может открываться в любую сторону, дверь имеет фиксатор для удержания двери в открытом положении с углом открытия до 120° . Для разделения зон обслуживания передняя дверь может быть двухстворчатой. По заказу шкаф может иметь заднюю непрозрачную дверь – при двухстороннем обслуживании, или не иметь ее – при одностороннем.

Монтаж оборудования в шкафы осуществляется при помощи перфорированных по всему периметру рамы прямоугольных отверстий 10×12 мм. Для удобства монтажа шкафы могут иметь внутреннюю поворотную раму, которая обеспечивает одностороннее обслуживание.

Для запираения дверей в шкафах используется замок ЗС-2. Конструкция замка ЗС-2 обеспечивает надежное закрытие двери, при необходимости без использования ключа, а также возможность опломбирования.

Покрытие поверхности шкафов выполнено порошковой термореактивной полиэстер-эпоксидной краской RAL-7032, которая наносится на предварительно обработанную антикоррозийным составом поверхность металла.

Используемые комплектующие – зажимы, автоматы, переключатели – евростандарт. Испытательные блоки из серии БИ.

Приемопередатчик для высокочастотной защиты устанавливается на шкаф сверху.

Общие технические данные шкафов:

Номинальный ток	5(1) А 50 Гц
Номинальное напряжение	100 В 50 Гц
Оперативные цепи	220 В (=)
Степень защиты, по ГОСТ14254-80	IP45
Температурный диапазон	-25 - +55
Срок службы	25 лет

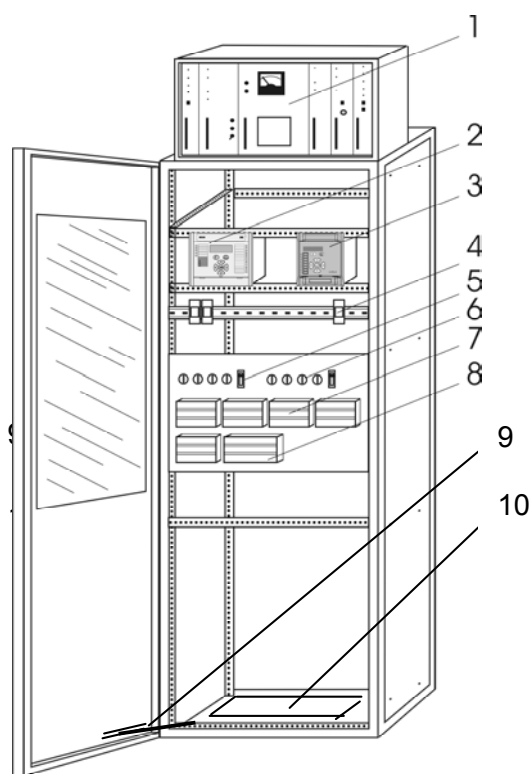
Устройства защиты оснащены портами передачи информации RS485 для их интегрирования в систему управления (например, MiCOM S10 фирмы ALSTOM), а в схеме шкафа предусмотрены цепи телеуправления по локальной сети.

В зависимости от назначения выпускаются шкафы ШЗАЛ-01 – ШЗАЛ-05 для линий 110-220 кВ. ШЗАЛ-35 для ВЛ-35 кВ, ШЗАТ для защиты двухобмоточных или трехобмоточных трансформаторов 35–220 кВ. Типовые схемы разрабатывались для аппаратуры фирмы ALSTOM и фирмы GE, однако взамен них может быть применена аналогичная аппаратура других фирм : ABB, SIEMENS, Sel.

Всего производится семь типов шкафов, которые предусматриваются для стандартных случаев применения. В этих шкафах по заказу могут быть выполнены изменения, необходимые для данного конкретного случая применения. По заказу может быть разработана другая конструкция шкафа или схема привязки шкафа к оборудованию подстанции (электростанции).

12.3 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ШКАФОВ

Шкаф ШЗАЛ-01 предназначен для защиты транзитных линий 110–220 кВ.



- 1 – ВЧ приемопередатчик ПВЗ и т. п.
- 2 – основная защита MiCOM P435, P441 ALSTOM; D30, D60 GE.
- 3 – резервная защита MiCOM P126, P127 или MiCOM P435, P441 ALSTOM; F650, F60 или D30, D60 GE.
- 4 – реле малогабаритные схемы управления
- 5 – автоматы оперативного тока малогабаритные
- 6 – переключатели (накладки)
- 7 – блоки испытательные БИ-4
- 8 – блоки испытательные БИ-6
- 9 – фиксатор двери
- 10 – раздвижное окно с уплотнением для кабеля

Габариты шкафа без приемопередатчика
1600 × 600 × 600

Рис. 12.3. Шкаф ШЗАЛ 01,02

Защиты, установленные в шкафу, разделены на два независимых комплекта: основной и резервный.

В качестве основного комплекта используется дистанционная защита от всех видов коротких замыканий с высокочастотной блокировкой, в качестве резервной – токовая направленная защита. Внешний вид шкафа показан на рис. 12.3

Два комплекта защиты разделены по цепям оперативного тока и токовым цепям, подключены к разным клеммникам и могут обслуживаться отдельно. При наличии на выключателе

2 соленоидов отключения основной и резервный комплект действуют на разные соленоиды. Предусмотрен перевод основного комплекта с ВЧ каналом на обходной выключатель. По заказу может быть выполнено действие защиты на два выключателя, подключение защиты на сумму двух комплектов трансформаторов тока.

Для основной защиты используются реле MiCOM P435 или MiCOM P441 фирмы ALSTOM, D30, D60 фирмы GE, REL 511, REL 521 фирмы ABB. 7SA513 фирмы SIEMENS или SEL 511 фирмы SEL.

В состав основной защиты входит 3-6 ступенчатая дистанционная защита от междуфазных коротких замыканий и замыканий на землю; 3-4 ступенчатая направленная защита от замыканий на землю; резервная максимальная токовая защита; защиты от повышения (понижения) напряжения; УРОВ; АПВ с контролем синхронизма или напряжения на линии и шинах, ускорение при включении, определение обрыва фазы и расстояния до места повреждения.

С помощью устройства выполняется направленная защита с ВЧ блокировкой, с использованием высокочастотного приемопередатчика типа ПВЗ или ему подобному.

В реле реализован также ряд дополнительных функций защиты, автоматики и мониторинга согласно техническому описанию на реле MiCOM P435 (D30, D60, SEL-311, REL-511, 7SA513).

Резервная защита может быть реализована на реле MiCOM P126, P127 фирмы ALSTOM, F60, F650, GE\$ REF 543 фирмы ABB\$ 7SJ531 фирмы SIEMENS или SEL 351 фирмы SEL.

Они содержат трехступенчатую токовую направленную защиту от междуфазных замыканий и замыканий на землю, токовую защиту обратной последовательности, АПВ и УРОВ.

Все комплекты защиты осуществляют измерения, осциллографирование, запись аварийных параметров.

Шкаф защиты и автоматики ШЗАЛ-02 предназначен для защиты транзитных линий 110-220 кВ.

Он состоит из 2 одинаковых комплектов защиты. Основной комплект использует высокочастотный канал для ВЧ блокировки. Конструкция шкафа и расположение аппаратуры такое же, как и у ШЗАЛ-1 (см. рис. 12.3).

Два комплекта защиты разделены по цепям оперативного тока и токовым цепям, подключены к разным клеммникам и могут обслуживаться отдельно. При наличии на выключателе 2 соленоидов отключения основной и резервный комплект действуют на разные соленоиды. Предусмотрен перевод основного комплекта с ВЧ каналом на обходной выключатель. Предусмотрена возможность переключения ВЧ приемопередатчика на резервный комплект защиты. По заказу может быть выполнено действие защиты на два выключателя, подключение защиты на сумму двух комплектов трансформаторов тока.

Для основной и резервной защиты используются реле одинаковые реле MiCOM P435 или MiCOM P441 фирмы ALSTOM; D30, D60 GE; REL 511, REL 521 фирмы ABB; 7SA513 фирмы SIEMENS или SEL: 511 фирмы SEL.

Шкаф защиты и автоматики ШЗАЛ-03

Предназначен для защиты транзитных линий 110-220 кВ. Защиты, установленные в шкафу, разделены на два независимых комплекта: основной и резервный. В качестве основного комплекта используется дифференциально-фазная защита MiCOM P547 ALSTOM или L60 GE, в

качестве резервного дистанционная защита от всех видов коротких замыканий MiCOM P435, P441 фирмы ALSTOM; D30, D60 фирмы GE, REL 511, REL 521 фирмы ABB; 7SA513 фирмы SIEMENS или SEL 511 фирмы SEL. Эти защиты разделены по цепям оперативного тока и токовым цепям, подключены к разным клеммникам и могут обслуживаться отдельно. При наличии на выключателе 2 соленоидов отключения основной и резервный комплект действуют на разные соленоиды. Предусмотрена возможность перевода основной защиты MiCOM P547? L60 на обходной выключатель. Может быть организовано трехфазное и однофазное отключение и АПВ. По заказу может быть предусмотрена возможность действия защиты на два выключателя, подключение защиты на сумму двух комплектов трансформаторов тока. Внешний вид шкафа показан на рис. 12.4.

Основная дифференциально-фазная защита MiCOM P547, L60 использует в качестве каналов связи ВЧ связь по линиям электропередачи. Реле может быть подключено к любому высокочастотному приемо-передатчику защиты российского, украинского и белорусского производства. При неисправности ВЧ канала автоматически вводится токовая ненаправленная защита.

В качестве резервной защиты используются реле MiCOM P435 или MiCOM P441 фирмы ALSTOM, D30, D60 фирмы GE REL 511, фирмы ABB. 7SA513 фирмы SIEMENS или Sel 511 фирмы Sel.

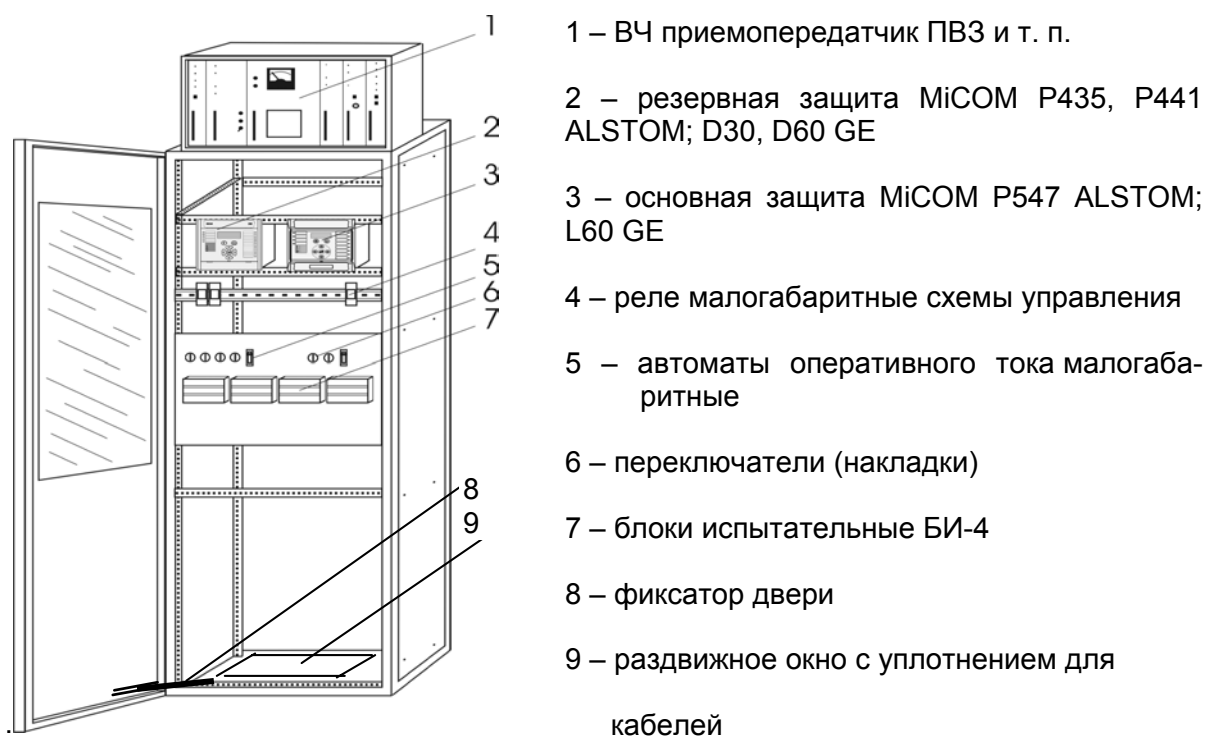


Рис. 12.4 Внешний вид шкафа ШЗАЛ-03

Габариты шкафа без приемопередатчика
1600 × 600 × 600

Шкаф релейной защиты и автоматики ШЗАЛ-04 предназначен для установки на подстанциях, выполненных по схеме мостика: 2 ВЛ 110–220 кВ подключены через общий (секционный выключатель). Вид шкафа показан на рис.12.4:



Рис 12.5 Внешний вид шкафа ШЗАЛ-04, ШЗАЛ-05

В шкафу ШЗАЛ-04 установлены два отдельных комплекта аппаратуры MiCOM P441 (MiCOM P435) фирмы ALSTOM, D30, D60 GE, REL 511 фирмы ABB. 7SA513 фирмы SIEMENS или SEL 511 фирмы SEL для защиты двух линий 110–220 кВ, действующие на один выключатель. Комплекты не дублируются, так как в схемах, где применяются подстанции с мостиком, всегда обеспечено дальнейшее резервирование. Комплекты подключаются на сумму токов выключателя и трансформатора, подключенного к соответствующей линии. По заказу может быть выполнена ВЧ блокировка на прилегающих ВЛ-110–220 кВ, при этом высокочастотные приемопередатчики ПВЗ и т. п. должны устанавливаться отдельно. При включении ремонтной перемычки, шунтирующей обходной выключатель, оба комплекта выводятся из работы. По заказу, для сохранения в транзите быстродействующей защиты в режиме включения ремонтной перемычки – при наличии ВЧ каналов – может быть выполнено переключение обоих комплектов на трансформаторы тока ремонтной перемычки и переприем между полукомплектами ВЧ защиты.

В реле реализован также ряд дополнительных функций защиты, автоматики и мониторинга согласно техническому описанию на перечисленные реле.

Шкаф релейной защиты и автоматики ШЗАЛ-05 предназначен для двух ВЛ 110–220 кВ.

В шкафу ШЗАЛ-05 установлены два отдельных комплекта аппаратуры для защиты двух линий 110–220 кВ. Защиты могут использоваться как в качестве единственной защиты, так и в качестве резервной защиты линий 110–220 кВ (в последнем случае, в сочетании с основными защитами, установленными в других шкафах или панелях). Вид шкафа показан на рис. 12.4.

Защита может применяться как на тупиковых, так и на транзитных ВЛ-110–220 кВ. В зависимости от условий применения, может использоваться устройство: MiCOM P433 фирмы ALSTOM, D30, D60 фирмы GE, REL 511, фирмы ABB. 7SA513 фирмы SIEMENS или SEL 511 фирмы SEL. Можно также использовать при нормально разрезанных транзитах.

По заказу для ответственных объектов, может быть дополнительно установлена ненаправленная или направленная резервная токовая защита MiCOM P121, P122, P123 или P126 в случае, если требуется направленность для защиты от замыкания на землю. Могут быть применены устройства F60, F650 фирмы GE, REF 543, фирмы ABB. 7SJ531 фирмы SIEMENS или Sel 351 фирмы Sel.

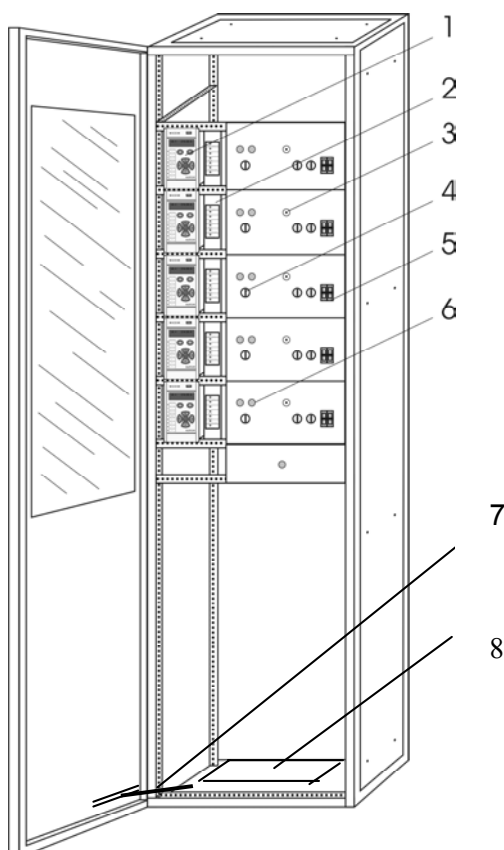
Шкаф релейной защиты и автоматики ШЗАЛ-35 предназначен для организации РЗА двух-пяти присоединений 35 кВ.

В шкафу размещается до пяти независимых блоков, каждый из которых может иметь следующие назначения:

- РЗА линии – 35 кВ – 2шт.;
- РЗА СВ – 35кВ – 1шт.;
- блок ТН – 35кВ. – 2шт.

По заказу может быть выполнен другой набор присоединений например: четыре линии и секционный выключатель; два трансформаторных ввода, СВ и 2 ТН 35 кВ. Может быть выполнено количество присоединений менее пяти. Схемы управления могут быть адаптированы под любой тип выключателя.

Внешний вид шкафа представлен на рис. 12.6:



- 1 - устройство УЗА-10А.23, УЗА-10В2
- 2 - блок БСП-4,
- 3 - реле указательное,
- 4 - переключатель,
- 5 - автомат малогабаритный,
- 6 - лампа указательная,
- 7 - фиксатор двери
- 8 - раздвижное окно с уплотнением для кабелей

Габариты шкафа 2200х600х600

Рис. 12.6. Внешний вид шкафа ШЗАЛ-35

Блок P3A линии 35 кВ

Защита - реле УЗА-10А.23 состоит из:

- трехфазной трехступенчатой МТЗ;
- АПВ
- дистанционное управление.

Может быть применено устройство MiCOM P121 совместно с блоком БСП-2.

При применении реле MiCOM P122 появляются дополнительные функции:

- защита от перегрузки;
- обнаружение обрыва провода;
- 2 группы уставок;
- запись событий, повреждений и переходных процессов (осциллограммы).

Порт связи RS 232 на лицевой панели реле позволяет подключить к реле переносной компьютер для настройки реле и снятия показаний.

При применении реле MiCOM P123 появляется дополнительно:

- защита по току обратной последовательности;
- контроль и управление выключателем;
- дистанционное управление;
- четырехкратное АПВ.

В блоке P3A 35 могут быть применены также реле F650, F60 фирмы GE, RE541, 543, 545 фирмы ABB, 7SJ 531 фирмы SIEMENS SEL 551 фирмы SEL.

Краткие технические данные устройств приводятся в приложениях.

В ряде случаев для линии 35 кВ необходима направленная защита (на кольцевых и параллельных ВЛ). В таком случае целесообразно применить устройство MiCOM P127 фирмы ALSTOM, F650, F60 фирмы GE, SEL 351 фирмы SEL или соответствующие модификации REF 541, 543, 545 фирмы ABB, 7SJ 531 фирмы SIEMENS

Блок ввода 35 кВ

Он использует те же устройства что и блок линии, с добавлением нужных для устройства ввода от силового трансформатора элементов: АБР, сигнализации перегрузки, блокировки РПН и т. д.

Блок СВ-35 кВ

По функциональному и аппаратному исполнению этот блок аналогичен блоку линии 35кВ. Дополнительно предусматриваются цепи АБР. Может быть применено любое из вышеперечисленных реле.

Блок ТН-35кВ

Используется реле УЗА-10 В.2. Могут быть использованы реле MiCOM P922 (921) ALSTOM, MIV GE, модификации REF 543 (multi) ABB, SEL 353 фирмы SEL.

В блоке ТН-35 кВ реализуются защита минимального напряжения, сигнализация однофазных замыканий на землю, может быть выполнена блокировка по напряжению максимальной защиты ввода 35 кВ трансформатора. При применении MiCOM P922 дополнительно могут быть выполнены две очереди АЧР. Наличие АЧР в аппаратуре REF 543 (multi) и SEL 353 определяется заказанной модификацией. При использовании для защиты ввода устройств MiCOM P127 фирмы ALSTOM, F650, F60 фирмы GE, SEL 351 фирмы SEL или соответствующей модификации REF 541, 543, 545 фирмы ABB, 7SJ 531 фирмы SIEMENS можно обойтись без блока ТН, выполнив его функции в органах напряжения защиты ввода.

Предусматриваются цепи АВР. Дополнительная аппаратура схемы автоматики установлена в блоке БСП-3.

Краткие технические данные устройств приведены в приложениях. Полные технические данные на все реле приведены в соответствующих технических описаниях на устройства.

Шкаф релейной защиты и автоматики ШЗАТ

Предназначен для организации РЗА двух-трехобмоточного трансформатора напряжением 35–220 кВ.

В шкафу ШЗАТ установлена аппаратура защиты и автоматики двух – трехобмоточного трансформатора, включая аппаратуру РЗА вводов СН и НН.

В качестве реле дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора могут быть применены реле MiCOM P633 (или R3IPT) фирмы ALSTOM, T35 или T60 фирмы GE, RET 521- ABB, 7UT513 - SIEMENS, Sel 387E - Sel.

Для дифзащиты двухобмоточного трансформатора применяется реле MiCOM P631 (или MX3DPT3A) фирмы ALSTOM, RET 521- ABB, 7UT512 - SIEMENS, SEL 387A - SEL.

В качестве резервной МТЗ на стороне высокого напряжения и для схемы автоматики выключателя этой стороны применяется реле MiCOM P123 фирмы ALSTOM, F650, F60 фирмы GE, REF 543 - ABB, 7SJ531 - SIEMENS, SEL 351 - SEL. На стороне СН или НН могут быть применены те же реле или более простые реле и их модификации. Применяется реле MiCOM P121 или P122 с блоком БСП2, MIF или MIG фирмы GE или более простые модификации REF 543 - ABB, 7SJ531 - SIEMENS, Sel 551 - Sel. Дополнительно предусматривается место для установки устройства автоматического переключения РПН трансформатора, которое поставляется обычно с трансформатором.

В шкафу реализованы все необходимые функции защиты и автоматики трансформатора включающие автоматику РПН, охлаждения контроль температуры и уровня масла в трансформаторе.

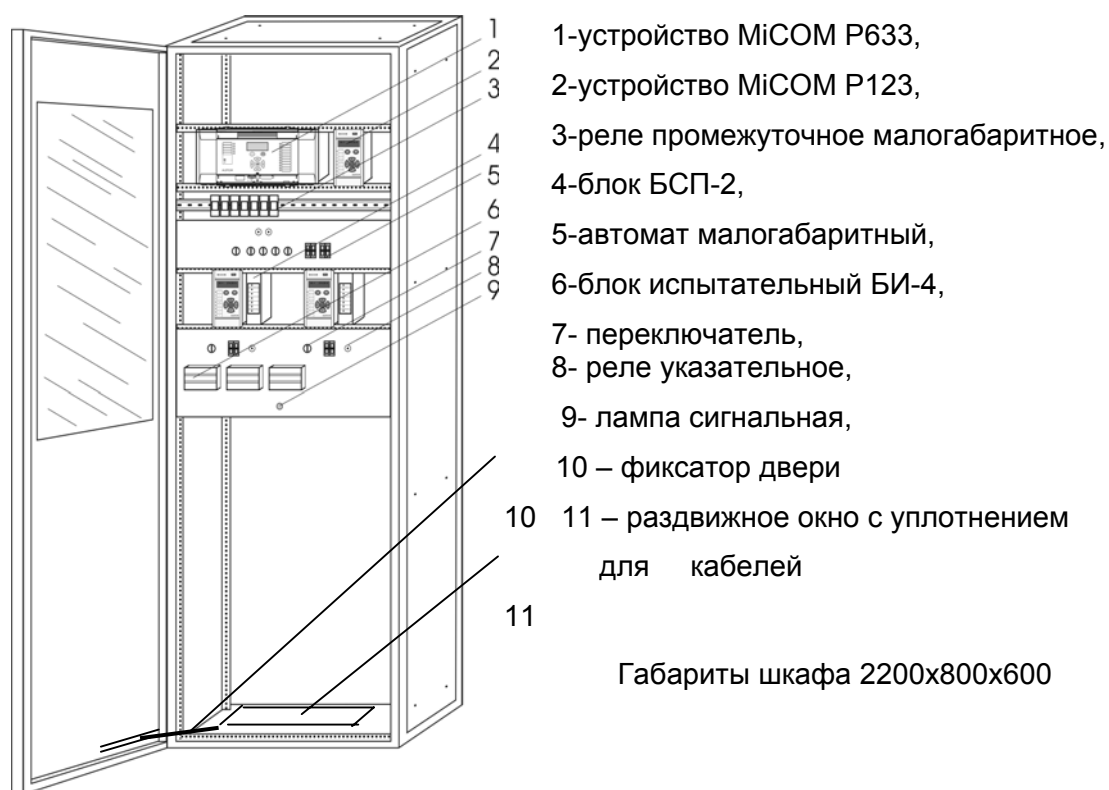


Рис.12.7. Внешний вид шкафа ШЗАТ

В реле реализован также ряд дополнительных функций защиты, автоматики и мониторинга согласно техническому описанию на используемые реле.

Внешний вид шкафа ШЗАТ показан на рис.12. 7:

По заказу для резервной защиты трансформатора связи электростанций, для которой требуется направленная защита на стороне НН, может быть установлено реле MiCOM P127 или аналогичные фирм GE, ABB, SIEMENS, SEL:

Для трансформатора напряжением 35/10 кВ Энергомашвин выпускает малый шкаф защиты трансформатора см. рис.12.1. Он состоит из двух реле РНТ565 или ДЗТ11 ЧЭАЗ, и трехступенчатого токового реле УЗА-АТ-Т фирмы «Энергомашвин». Защита может быть использована как на переменном так и на постоянном токе, в последнем случае используется дешунтирование на семисторах, входящее в состав реле УЗА-10 АТ-Т. Дифзащита действует на дешунтирование через то же реле. Может быть применен шкаф как внутренней, так и наружной установки.

13 УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕРКИ УСТРОЙСТВ РЗА

13.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК

Для выполнения проверки устройств РЗА необходимо регулировать в широких пределах и измерять величину тока и напряжения, измерять время срабатывания и возврата устройств, в более сложных случаях необходимо регулировать и измерять величину мощности и сопротивления, частоту, угол между током и напряжением.

Все эти величины можно регулировать, собирая для каждого случая схему из различных приборов: реостатов, ЛАТРов, промежуточных трансформаторов, измерительных приборов. Однако значительно удобнее иметь уже собранную испытательную установку, где вся эта аппаратура находится вместе.

Некоторые разновидности установок:

- установки для проверки простых защит включают в себя устройство регулирования постоянного и переменного тока и напряжения, универсальный измерительный прибор, секундомер для измерения времени срабатывания и возврата защиты. В состав установок входит ЛАТР для регулировки напряжения и трансформатор для создания тока необходимой величины. Установки выполняются однофазными. К таким установкам можно отнести устройства, УППЗ М-1 производства фирмы “Энергомашвин”, У-5052 или ЭУ-5000 – “Киевэлектроточприбор”, Ретом 11 – “Динамика” Чебоксары и др.;
- установки для проверки сложных защит. Эти установки дополнительно имеют возможность создавать одновременно однофазный (или трехфазный) ток и трехфазное напряжение; имеют возможность регулировать угол между током и напряжением, что позволяет им проверять реле сопротивления, мощности. В эти установки дополнительно входит фазорегулятор и фазометр для измерения фазы. К таким установкам относится устройство У-5053 ил ЭУ 5001 “Киевэлектроточприбора” и др.

Автоматизированные микропроцессорные установки. Эти установки построены на совершенно новых принципах: взамен трансформации питающего напряжения для получения нужной величины тока и напряжения, они содержат управляемые генераторы тока и напряжения. С учетом микропроцессорного управления они могут выдавать на реле точно заданную величину тока и напряжения. При этом отпадает необходимость в измерительном приборе для проверки получившейся величины. У первых двух групп установок выдаваемая величина зависела от величины нагрузки на установку и входного напряжения питания. Генераторы могут изменять частоту, что позволяет проверять реле частоты или исследовать работу реле при частотах отличающихся от номинальной. Они могут вводить в ток или напряжение высшие гармоники или апериодическую составляющую. Они позволяют по заданной программе производить изменение параметров и анализировать работу защиты, что дает возможность автоматизировать процесс проверки устройства защиты. Некоторые установки позволяют имитировать по осциллограмме, записанной цифровым осциллографом или микропроцессорным реле процесс аварии, что дает возможность проанализировать работу защиты при аварии. Управлять установкой можно с места или с помощью подключенного к ней переносного или персонального компьютера. Совместно с установкой поставляется минимальный объем программ, которых достаточно для стандартных проверок. Дополнительные программы можно составить самостоятельно, пользуясь программным обеспечением установки, или приобрести дополнительно. Следует иметь в виду, что некоторые фирмы поставляют закрытое программное обеспечение, с помощью которого нельзя составить и ввести новую программу самостоятельно. Можно только купить дополнительный пакет программ. Поэтому, перед приобретением такой установки, следует поинтересоваться объемом поставляемого программного обеспечения, а также возможностями составления новых программ, которое оно предоставляет. Такие устройства обычно ориентируются на аналоговые или цифровые устройства с малым потреблением так как имеют малую мощность: выходной ток 10–20 А при напряжении на нагрузке 10–15 В, напряжение 120 В, при токе нагрузки 0,5 А. Исключение составляет установка фирмы DOBLE, которая обеспечивает ток до 150 А. Количество таких устройств, предоставляемых разными фирмами достаточно велико; Это РЕТОМ – 41 НП “Динамика”, TS фирмы NNT – Харьков, “ФРЕЯ”-300 или SVERKER-760 фирмы “Programma”, используются также проверочные установки фирмы OMICRON, например СМС-156.

Для получения очень больших токов которые нужны для “прогрузки” защиты первичным током требуются источники тока большой величины: 1000–4000 А. В состав такой установки входит мощный трансформатор, имеющий значительные габариты и вес, что затрудняет его транспортировку. Сделаны попытки (например ЦНИЭЛ, Донбассэнерго) выполнить портативные устройства которые включаются на короткое время а затем автоматически отключаются. Для фиксации величины тока применяются специальные фиксирующие приборы запоминающие эту величину.

Для проверки реле частоты применяются генераторы технической частоты, например ГТЧ-1 фирмы “Энергоэлектроника” (Киев). однако они имеют недостаточную точность (0,1 Гц) и пригодны только для настройки реле старых типов: например РЧ-1. Новые микропроцессорные реле имеющие точность 0,01 Гц, проверять такими устройствами нельзя. Правда, они и не нуждаются в такой проверке; исправное реле имеет точность достаточную, чтобы ее не нужно было проверять, а исправность реле можно проверить и менее точным прибором. Уже упоминавшиеся микропроцессорные проверочные устройства РЕТОМ – 41, TS-NNT, ФРЕЯ 300 или SVERKER-760 позволяют тестировать цифровые реле частоты с достаточной точностью.

Для проверки высокочастотной аппаратуры, необходимо иметь ВЧ генераторы достаточной мощности и диапазоном частот 30–500 кГц. Фирма “Динамика” выпускает микропроцессорное испытательное устройство типа РЕТОМ-ВЧ. Ранее выпускались и использовались более простые устройства: генераторы высокой частоты.

Одной из важных функций, выполняемых при проверках, является испытание изоляции и измерение его сопротивления. Сопротивление изоляции для цепей вторичной коммутации в сборе, измеряется мегомметром напряжением 1000 В. Испытание изоляции в условиях эксплуатации производят либо переменным напряжением 1000 В, либо мегомметром напряжением 2500 В. Есть отдельные цепи, не рассчитанные на указанный уровень изоляции, и их приходится испытывать пониженным напряжением – например, мегомметром напряжением 500 и даже 100 В. Для испытания переменным напряжением обычно используют самодельные испытательные установки, собранные, в частности, по схеме рис.13.1.

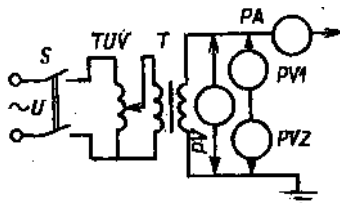


Рис. 13.1 Схема испытания изоляции повышенным напряжением

Испытательный трансформатор T должен иметь мощность не менее 200–300 ВА, для регулирования напряжения используют потенциометры или регулировочные трансформаторы TUV , контроль напряжения производят вольтметрам прямого включения на стороне испытательного напряжения. При отсутствии вольтметра с пределом измерения 1000 В (PV) допустимо проводить измерение двумя однотипными вольтметрами (PV1 + PV2) при последовательном их включении. Амперметром PA контролируется ток утечки или наличие пробоя изоляции. ЦЛЭМ Тулэнерго ранее изготовляло специальные установки ИУ-65. Имеются установки, изготовляемые другими организациями.

Главной характеристикой установки является ее мощность или ток (напряжение), которую можно выдать на нагрузку определенной величины. Так, установка, выдающая ток 100 А, на нагрузку 1 Ом, должна развить мощность $100^2 \cdot 1 = 10000$ ВА, или 10 кВт. При нагрузке 0,2 Ом мощность установки должна составить 2 кВт. Поскольку в эту установку входит промежуточный трансформатор, он и должен иметь требуемую мощность. Собственно, он в значительной степени определяет габариты и вес устройства.

Еще одной важной характеристикой устройства является форма кривой тока или напряжения, подаваемая на защиту. Некоторые устройства – индукционные, фильтровые, реле с насыщенными трансформаторами – очень чувствительны к форме кривой. Эта форма сильно искажается при регулировке величины тока ЛАТРами, и для ее приведения к нормальному

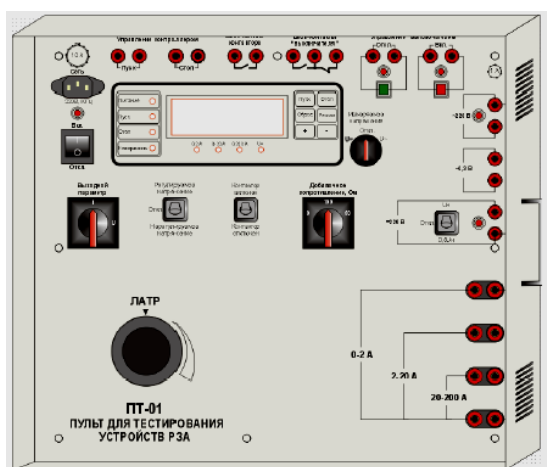
виду приходится включать в цепь тока добавочное сопротивление, сильно снижающее допускаемую разгрузку.

Измерительные приборы, входящие в установку должны иметь класс точности 1,5. Для того чтобы обеспечить такую точность в большом диапазоне токов, приходится в состав устройства включать промежуточный трансформатор тока, имеющий переключение коэффициента трансформации. Обычно это трансформатор тока типа ЛТТ. Следует иметь в виду, что если измерительные приборы встраиваются внутрь устройства, то само устройство становится подлежащим ведомственной метрологической поверке. Поэтому в некоторых случаях приборы укрепляются полустационарно, т. е. имеется возможность извлечь их из установки и отдать на поверку отдельно. В ряде случаев, для исключения необходимости ведомственной поверки, измерительные приборы вводят в класс «индикаторов», и тогда они не подлежат ведомственной поверке

Мощные установки представляют серьезную опасность для обслуживающего персонала и для оборудования, так как выдают токи и напряжения значительной величины. Поэтому требуется включить в состав устройства промежуточный трансформатор, разделяющий цепи питания и выходные цепи, а также заземлять корпус устройства. Не допускается подключать или переключать выходные цепи при включенной установке. Для быстрого отключения установки требуется иметь выключатель, рвущий цепи питания непосредственно на установке, а также индикатор, горящий при включенной установке. При подаче напряжения на схему защиты следует иметь в виду, что любая схема имеет емкость, которая останется после подачи напряжения, поэтому после испытания необходимо разрядить заряженные при испытаниях конденсаторы или кабели.

13.2 ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПРОСТЫХ ЗАЩИТ

13.2.1 Пульт для тестирования защит ПТ-01 фирмы “Энергомашвин”



НАЗНАЧЕНИЕ

Пульт для тестирования устройств РЗА (далее – пульт) предназначен для наладки и проверки простых релейных защит, трансформаторов тока и элементов автоматики на месте их установки или в лабораториях.

Пульт изготавливается в прямоугольном металлическом корпусе размерами 410х135х460 мм и массой не более 25 кг. На боковых стенках имеются ручки для переноса. Все органы управления, измерения и подключения испытываемых устройств расположены на передней панели.

Подключение к сети предусматривается шнуром с трехконтактной вилкой, обеспечивающей заземление установки при питании от евrorозетки с подключенным заземлением.

При отсутствии такой розетки питание может осуществляться от обычной розетки с дополнительным подключением заземлителя к корпусу устройства через специально предусмотренный болт.

Пульт предназначен для эксплуатации в условиях умеренного климата в закрытых сухих отапливаемых помещениях при температуре окружающего воздуха от 0 до 40° С и относительной влажности до 80% при температуре 25° С, а также может использоваться при работе на открытом воздухе при условии исключения попадания на нее водяных брызг и капель влаги.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Пульт обеспечивает:

- получение регулируемого однофазного переменного тока или напряжения;
- получение регулируемого или фиксированного выпрямленного со сглаживанием напряжения;

- получение фиксированного дополнительного пониженного напряжения переменного тока;
- измерение с фиксацией установленных значений переменного тока, переменного и постоянного напряжения;
- измерение временных характеристик проверяемых устройств;
- проверку работы защит и автоматики с действием на двухпозиционное реле, имитирующее выключатель.

Электрическое питание пульта осуществляется от сети переменного тока частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц с напряжением 220 В. Максимальная потребляемая мощность по цепям питания не более 2 кВА.

При номинальном напряжении питающей сети 220 В пульт позволяет получать следующие плавно-регулируемые величины тока или напряжения:

- переменный ток от 0,1 до 200 А;
- переменное напряжение от 0 до 250 В при токе нагрузки до 8 А;
- переменное напряжение от 0 до 6,3 В при токе нагрузки до 0,5 А;
- выпрямленное сглаженное напряжение от 0 до 250 В при токе нагрузки до 0,25 А;

Пульт обеспечивает получение фиксированных значений напряжения (при номинальном напряжении питания и номинальной нагрузке цепи):

- выпрямленное сглаженное напряжение 215-220В при токе нагрузки 0,25 А;
- переменное напряжение $6,3 \pm 0,5$ В при токе нагрузки до 0,5 А (имитация 3U₀ при проверке направленных защит от однофазных замыканий на землю);

Для улучшения формы кривой тока в нагрузке имеется возможность включения в первичную обмотку нагрузочного трансформатора резисторов сопротивлением 50 или 100 Ом. Эти же резисторы используются для обеспечения более плавного регулирования тока на диапазонах с малым током.

Обеспечивается проверка устройства РЗА при пониженном фиксированном выпрямленном напряжении питания, равном 0,8 номинального.

Включение нагрузки обеспечивается встроенным контактором. Предусмотрена возможность включения контактора от двухпозиционного реле, для проверки действия защит в цикле АПВ. Пульт обеспечивает измерения в цифровом виде:

- переменного тока в диапазонах до 2, до 20 и 200 А;
- переменного напряжения в диапазоне до 300 В;
- постоянного напряжения в диапазоне до 300 В;
- времени от 0,05 до 999 с.

Погрешность измерения тока и напряжения не превышает $\pm 2,5\%$, времени $\pm 0,01$ с.

Возможно подключение внешних измерительных приборов.

Измеряемые величины отображаются на цифровом дисплее. Измеренные значения тока, напряжения и времени фиксируются с последующим ручным или автоматическим сбросом при следующем измерении.

Индیکیруется наличие выпрямленного и переменного напряжений.

Для отображения информации используется жидкокристаллический алфавитно-цифровой дисплей, имеющий 2 строки по 16 знаков каждая.

Выбор измеряемой величины осуществляется кнопками «Режим», «+», «-». Может быть выбран диапазон токов 0-2А; 0-20А; 0-200А; постоянное напряжение, переменное напряжение. Выбранный режим индیکیруется горящим светодиодом, расположенным ниже экрана дисплея.

13.2.2 Установка У5052 завода “Киевэлектроточприбор”

Установка состоит из двух блоков:

блок К513 – источник с плавно-ступенчатым регулированием переменного напряжения до 380 В, переменного тока до 10 А, выпрямленного напряжения до 240 В, выпрямленного тока до 4,5 А, при этом он обеспечивает и измерение временных параметров реле;

блок К514 – источник однофазного переменного тока до 200 А со ступенчатым регулированием.

Установка предназначена для проверки простых релейных защит и элементов электроавтоматики.

Устройство У5052 позволяет выполнить следующие работы:

1. проверку и настройку заданных уставок реле переменного тока, реагирующих на одну из величин (ток, напряжение), при токе срабатывания до 200 А или напряжении срабатывания до 380 В, значения тока при этом – не более 10 А. Устройство предусматривает проверку защит и с $I_{ном}=1$ А, обладающих значительно большим сопротивлением цепей тока, чем защиты с $I_{ном} = 5$ А; предел регулировки тока в этом режиме – до 10 А при существенном увеличении выходного напряжения цепи тока.
2. Прогрузку первичным током защит, проверку коэффициента трансформации трансформаторов тока при, первичном токе, не превышающем 200 А.

При проверке реле типов РНТ, ДЗТ, РТ-80 и других реле, у которых форма кривой тока влияет на значение уставки срабатывания, необходимо использовать встроенные, предварительно включенные активные резисторы, которые существенно улучшают форму кривой выходного тока. Величина их может составлять 20, 70 или 200 Ом.

Проверку промежуточных реле, реле времени, контакторов постоянного тока на напряжение до 220 В или ток до 5 А в соответствии с пределами плавно-ступенчатого регулирования.

Дополнительно устройство позволяет производить определение однополярных выводов параллельных и последовательных обмоток промежуточных реле постоянного тока, времени срабатывания (возврата) проверяемых аппаратов (реле, контактов, выключателей и т. д.) на замыкающих, размыкающих или временно замыкающих контактах. Измерение времени осуществляется с помощью встроенного электрического секундомера или внешнего миллисекундомера, для присоединения которого на задней панели предусмотрены специальные зажимы.

Устройство У5052 позволяет проверять защиты по переменному току с одновременным питанием их оперативных цепей нерегулируемым выпрямленным напряжением 220 В, создаваемым в регулировочном блоке К513, без подачи в этом случае на защиту оперативного тока от аккумуляторной батареи.

На регулировочном блоке К513 установлены электроизмерительные приборы: измеритель тока и напряжения с диапазоном измерения по току 0,01; 0,05; 0,25; 1,0; 5,0 А, по напряжению 7,5; 30; 75; 150; 300; 450 В, электрический секундомер типа ПВ-53Щ; на блоке К514 – измерительный трансформатор тока класса точностью 0,5.

Питание устройства У5052 – однофазное от сети переменного тока частоты $50 \pm 0,5$ Гц напряжением 220 или 380 В мощностью не менее 6 кВА. Питающий кабель сечением не менее 4 мм² от силовой сборки подключают на входные зажимы “Сеть” блока К513 с обозначением “*” – “220” или “*” – “380”. При работе с установкой У5052 без блок-приставки К515 в колодку разъема Х5 блока К513 должна устанавливаться специальная колодка – крышка разъема Х5, предотвращающая доступ к выводам, который находится под напряжением, и замыкающая цепь тока.

Все переключения в цепях защиты, подключение и отключение соединительных шлангов между блоками производятся только при отключенном главном выключателе S10 блока К513. Наличие напряжения на блоке при включении S10 контролируется по сигнальной лампе HI.

13.2.3 Установка РЕТОМ 11

НПП “Динамика”, Чебоксары.

Выход “=U”

Регулируемое напряжение постоянного тока.

Диапазон регулировки выходного напряжения = 0÷300 В.

Номинальный выходной ток 1 А.

Номинальная выходная мощность 220 Вт.

Дискретность выставления выходного напряжения 0,3 В. Защита: плавкий предохранитель, сетевой терморезистор.

Выход “~U1”.

Регулируемое переменное напряжение.

Диапазон регулировки выходного напряжения $0 \div 220$ В.

Номинальный выходной ток 1 А.

Номинальная выходная мощность 220 ВА.

Дискретность выставления выходного напряжения 0,25 В. Защита: плавкий предохранитель, сетевой терморезистор.

Выход “~U2”.

Регулируемое переменное напряжение.

Диапазон регулировки выходного напряжения $0 \div 250$ В.

Номинальный выходной ток 4 А.

Номинальная выходная мощность 1000 ВА.

Дискретность выставления выходного напряжения 0,5 В. Защита: плавкий предохранитель, сетевой терморезистор.

Выход “~ U3, ~ I”.

Регулируемый переменный ток или напряжение.

Диапазоны регулировки выходного тока $0 \div 10$ А, $0 \div 200$ А.

Диапазоны регулировки выходного напряжения $0 \div 100$ В.

Возможность выбора одного из шести режимов по номинальному току и напряжению, с помощью силового штифтового коммутатора:

Режим	1	2	3	4	5	6
$U_{\text{вых.ном.}}$, В	250	100	50	20	10	5
$I_{\text{вых.ном.}}$, А	4	1	10	50	100	200

Дискретность выставления тока-напряжения 0,2% $U_{\text{вых.ном.}}$.

Защита: плавкий предохранитель, сетевой терморезистор.

Встроенный цифровой мультиметр.

Пределы измерения напряжения: 2; 20; 200; 200; ... 500 В.

Пределы измерения тока: 0,2; 2; 20; 200 А.

Точность измерения на переменном токе при температуре 0 ... 50°C 1,5% от измеряемой величины ± 5 ед. мл разряда при температуре -20÷0°C не хуже 4% ± 9 ед. мл. разряда.

Указанная точность обеспечивается для сильно искаженных кривых токов и напряжения с отношением пикового значения к действующему до 6.

Точность измерения на постоянном токе 0,5% от измеряемой величины ± 3 ед. мл. разряда.

Встроенный цифровой секундомер.

Обеспечивается измерение следующих временных параметров (для контактов типа НО или НЗ):

- время срабатывания;
- время возврата;
- длительность замкнутого состояния двух контактов;

- длительность разомкнутого состояния двух контактов;
- разновременность срабатывания двух контактов;
- разновременность отпускания двух контактов.

Диапазон измерения 0,001÷100 с

Точность не хуже единицы счета мл разряда.

Вид входных сигналов сухой контакт.

Контакт с потенциалом до = 250 В.

Питание сеть 220 В, 45÷65 Гц.

Потребляемая мощность не более 1400 ВА.

Весогабаритные показатели:

Масса – не более 22 кг

габариты 430 × 350 × 200 мм.

13.2.4 Комплектные испытательные устройства для проверки простых защит “Нептун”, “Нептун-2”, НПФ «Радиус» (Москва)

Устройство “Нептун” размещается в переносном корпусе с ручкой и весит не более 16 кг. Габаритные размеры устройства – 170 × 290 × 480 мм. Устройство “Нептун-2” весит около 20 кг и имеет размеры 220 × 350 × 500 мм.

Устройства питаются от однофазной сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 В и выполняют следующие основные функции:

- формирование синусоидального тока регулируемой силы;
- формирование синусоидального или постоянного выходного напряжения регулируемой величины;
- измерение формируемых значений тока и напряжения;
- измерение временных параметров.

Устройство «Нептун» выдает следующие выходные сигналы:

- переменное напряжение частотой 50 Гц от 0 до 240 В или от 0 до 25 В при токе до 2 А с плавной регулировкой (кратковременно – до 5 А);
- постоянное (выпрямленное со сглаживанием) напряжение от 0 до 320 В или от 0 до 35 В при токе до 2 А с плавной регулировкой (кратковременно – до 5 А);
- переменный ток частотой 50 Гц от 0 до 10 А (25 В макс.), от 0 до 20 А (12 В макс.) или от 0 до 40 А (6 В макс.) с плавной регулировкой.

Устройство измеряет выдаваемое выходное напряжение с классом точности 2,5. Предусмотрена разбивка всей шкалы на два диапазона 0–25 (=0–35) В и 0–250 (=0–350) В для повышения точности регулировки и измерения при малых значениях.

Устройство измеряет выдаваемый выходной ток с классом точности 2,5. Предусмотрена разбивка всей шкалы на три диапазона 0–10, 0–20 и 0–40 А для повышения плавности регулировки и точности измерения.

Устройство “Нептун” позволяет измерять выдаваемую активную мощность. Диапазон измерения мощности от 0 до 1000 Вт.

Устройство “Нептун-2” отличается большей выходной мощностью – максимальный длительный ток канала напряжения увеличен до 5 А, а канал переменного тока имеет следующие субдиапазоны: 0–25 А (50 В макс.), 0–50 А (25 В макс.) и 0–100 А (12 В макс.). Диапазон из-

мерения выходной мощности также расширен до 2000 Вт. Дополнительно для работы на малых токах введен диапазон тока с верхним значением 5 А.

Оба устройства позволяют измерять время срабатывания реле от момента включения нагрузки тумблером до срабатывания контактов проверяемого реле. При этом на обмотку реле подается предварительно установленное значение тока или напряжения. Контакты проверяемого реле запитываются отдельным постоянным напряжением около 150 В, вырабатываемым устройством и изолированным от всех других цепей. Устройство измеряет время срабатывания контактов с дискретностью порядка 2 мс и относительной погрешностью не хуже 1%. Максимальное время, отображаемое на индикаторе – 99,999 с. При больших временах переключения счет снова начинается с 0.

От замыканий в цепи нагрузки подвод сети и выходные цепи напряжения защищены плавкими предохранителями.

В обоих устройствах предусмотрено введение последовательных резисторов, позволяющих улучшить форму и увеличить плавность регулирования выходного тока. Эти резисторы также позволяют несколько стабилизировать значение выходного тока при изменяющейся нагрузке, например, при проверке реле прямого действия, работающим по схеме с дешунтированием.

Встроенные средства измерения устройств имеют цифровой отсчет показаний. При измерении напряжения или тока срабатывания дополнительно рассчитывается коэффициент возврата проверяемого реле с возможностью усреднения по нескольким замерам. На индикаторе одновременно отображаются текущие выдаваемые значения тока и напряжения выбранного выходного канала, в зависимости от нажатой кнопки “Канал U ” или “Канал I ”.

При включенном тумблере “Фиксация” можно при регулировке “заморозить” текущие показания тока, напряжения или мощности на индикаторе в момент срабатывания контактов проверяемого реле.

Момент переключения контактов проверяемого реле сопровождается кратковременным звуковым сигналом для облегчения считывания значений с индикатора.

В устройствах применена клавиатура из 6 кнопок и двухстрочный жидкокристаллический индикатор с подсветкой для отображения всех измеряемых величин.

13.3 УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПРОСТЫХ И СЛОЖНЫХ ЗАЩИТ

13.3.1 Комплектная переносная установка У5053

Установка выполнена по блочному принципу и состоит из трех блоков, электрически связанных между собой при помощи штатных кабелей с разъёмными соединениями: К513 – блока регулировочного, К514 – блока нагрузочного; К515 – блока-приставки для имитации аварийных режимов и проверки защит с фазозависимыми характеристиками.

Установка состоящая из 2 блоков К513 и К514 имеет название У5052 и описывалась ранее (см. п. 13.2.2).

Каждый из перечисленных блоков может в некоторых случаях использоваться отдельно, как самостоятельное проверочное устройство:

- блок К513 – как источник с плавно-ступенчатым регулированием переменного напряжения до 380 В, переменного тока до 10 А, выпрямленного напряжения до 240 В, выпрямленного тока до 4,5 А, при этом он обеспечивает и измерение временных параметров реле;
- блок К514 – как источник однофазного переменного тока до 200 А со ступенчатым регулированием;
- блок К515 – как источник однофазного плавно-регулируемого переменного напряжения или как источник симметричной системы трехфазных напряжений 100 В, например для подключения приборов.

Комплектное устройство У5053 в дополнение к функциям У5052 указанным в п. 13.2.2. обеспечивает:

- определение правильности чередования фаз трехфазной питающей сети;
- имитацию нормального режима при проверке защит, когда на защиту подается симметричное трехфазное нерегулируемое напряжение 100 В. Встроенный вольтметр блока К515 в этом режиме напряжения на выходе не контролирует, на выходе блока К513 ток отсутствует;
- имитацию двухфазного КЗ со сбросом напряжения между поврежденными фазами до заданного значения при одновременной подаче на защиту предварительно отрегулированного, аварийного тока. В этом режиме имеется возможность регулирования напряжения между поврежденными фазами от 0 до 100 В при сохранении симметричности. Регулируемого напряжения по отношению к напряжению неповрежденной фазы и возможность плавного регулирования угла между аварийным током и напряжением;
- имитацию трехфазного КЗ со сбросом напряжения трех фаз до нуля или другой расчетной величины. Допускаемая длительность имитации трехфазного КЗ со сбросом напряжения до нуля – не более 5 с. На блоке К514 установлены электроизмерительные приборы: измеритель напряжения с диапазоном измерения 1,5; 3; 7,5; 30; 75; 150 В и измеритель фазы с рабочими шкалами 0–90°, 0–360° и допустимыми погрешностями $\pm 5^\circ$, $\pm 10^\circ$ соответственно. Предусмотрена возможность изменения угла сдвига фаз между током, получаемым от блока К513, и внешним напряжением до 150 В (например, при проверке тока манипуляции дифференциально-фазных защит).

Напряжение питания устройства У5053 трехфазное, симметричное 220 и 380 В, частотой $50 \pm 0,5$ Гц от источника мощностью не менее 6 кВА.

13.3.2 Установка для проверки средств РЗА Уран-1 и Уран-2 НПФ “Радиус” Москва

Установки предназначены для проверки электрических и временных характеристик простых (“Уран-1”) и сложных (“Уран-2”) средств релейной защиты и автоматики. Они позволяют заменить установки ЭУ5000 и ЭУ5001 и их модификации.

Установка “Уран-1” состоит из двух блоков: регулировочного и нагрузочного. Установка “Уран-2” состоит из трех блоков: регулировочного, нагрузочного и блока трехфазного напряжения.

Блок регулировочный предназначен для формирования регулируемого переменного напряжения в диапазоне 0,1–410 В с максимальным выходным током до 10 А или регулируемого постоянного (выпрямленного со сглаживанием) напряжения с диапазоном регулировки 0,1–240 В и максимальным выходным током 5 А.

Для проверки однополярных выводов последовательной и параллельной обмоток реле постоянного тока блок формирует выпрямленный (без сглаживания) ток I_d с плавной регулировкой в диапазоне 0,01–5 А. Значения формируемого тока, напряжения и тока I_d одновременно выводятся на жидкокристаллический индикатор.

Для питания оперативных цепей проверяемого устройства защиты блок имеет дополнительный выход переменного или постоянного напряжения 220 (110) В с максимальным выходным током 1 А.

Блок позволяет измерять время срабатывания, возврата или длительность проскальзывающего импульса в диапазоне 0,001–100 с.

Предусмотрены следующие сервисные функции:

- расчет средних значений тока, напряжения, мощности, времени срабатывания и отпущения, полного сопротивления и коэффициента возврата;
- циклический режим работы при измерении временных характеристик с возможностью задания количества циклов 1–99, длительности включения 0–99 с и паузы 0–99 с;

- хранение и возможность просмотра значений десяти последних измерений;
- ветровое и звуковое сопровождение момента срабатывания проверяемого устройства. Максимальная потребляемая мощность по цепям питания не более 5500 ВА. Габаритные размеры блока составляют 480 × 240 × 510 мм, масса – не более 32 кг.

Блок нагрузочный предназначен для формирования переменного тока с диапазоном регулировки 0,5–200 А или переменного напряжения с диапазоном регулировки 0,1–500 В. Измерение и отображение значений формируемых выходных величин осуществляется измерительной схемой блока регулировочного.

Габаритные размеры блока составляют 480 × 200 × 510 мм, масса – не более 25 кг.

Блок трехфазного напряжения предназначен для формирования трехфазного переменного напряжения с плавной регулировкой в диапазоне 0,1–63,5 В и максимальным током 0,5 А в каждой фазе.

Блок позволяет осуществлять плавную регулировку угла сдвига фаз между опорным сигналом и фазным или линейным напряжением формируемой системы в диапазоне 0–360°.

В качестве опорного сигнала могут выступать: внешнее напряжение 4–400 В; напряжение, формируемое блоком регулировочным; ток, формируемый блоком нагрузочным; напряжение одной из фаз формируемой системы.

Блок можно использовать как источник однофазного переменного напряжения с плавной регулировкой выходного сигнала в диапазонах: 0,1–200 В и максимальным током 0,5 А или 0,1–65 В с максимальным током 1,5 А, а также как источник однофазного переменного тока с плавной регулировкой сигнала в диапазоне 0,1–15 А.

При формировании блоком однофазного сигнала (напряжения или тока) имеется возможность регулировки угла сдвига фаз между опорным и формируемым сигналами в диапазоне 0–360° или же регулировки частоты: плавной регулировки в диапазоне 40–60 Гц с дискретностью 0,1 Гц или ступенчатой в диапазоне 50–550 Гц с дискретностью 50 Гц.

Блок позволяет имитировать однофазные, двухфазные и трехфазные короткие замыкания со сбросом напряжения в аварийных фазах до значения напряжения уставки с сохранением симметричности относительно неповрежденных фаз.

Дополнительно блок может выполнять функции следующих приборов:

- вольтметра для измерения внешнего напряжения в диапазоне 0,1–400 В;
- амперметра для измерения внешнего тока в диапазоне 0,1–25 А;
- фазометра для измерения угла сдвига фаз между двумя внешними напряжениями или внешним напряжением и внешним током в диапазоне 0–360°;
- омметра для измерения внешнего сопротивления в диапазоне 0,01–10 Ом. Максимальная потребляемая мощность по цепям питания не более 200 ВА. Габаритные размеры блока – 480 × 200 × 510 мм, масса блока – не более 20 кг.

13.4 МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СРЕДСТВ РЗА

13.4.1 Испытательная система TS NTT (Харьков)

Испытательная система TS NTT предназначена для выполнения проверок реле и устройств РЗА по порогу и времени срабатывания, по коэффициенту и времени возврата и т. п.

Система позволяет выполнить ручной или автоматизированный контроль параметров реле, сформировать и сохранить в памяти ПЭВМ протокол испытаний, а при необходимости распечатать результаты проверки.

Кроме того, система дает возможность провести испытания релейной защиты и автоматики в условиях, которые были зафиксированы цифровыми осциллографами при реальных авариях. Это облегчает разбор причин возникновения и процесс развития аварии, позволяет правильно оценить результаты работы устройств РЗА в этих условиях. Результаты таких испытаний так же протоколируются и могут быть выведены на печать.

Система позволяет проверить характеристики устройств РЗА при возникновении одно- и многофазных КЗ. в том числе и на соседней ЛЭП, обрывах фазного провода, качаниях в энергосистеме и изменении частоты в сети.

Система обеспечивает проверку поведения различных реле при наличии в сети высших гармоник, вплоть до 10-й, аperiodических составляющих и затухающих гармонических сигналов, а так же при скачкообразном изменении частоты.

Система состоит из двух основных частей – программной и аппаратной. Аппаратная часть включает в себя собственно испытательное устройство (**TU**), выполненного в виде конструктивно законченного прибора, и персональную ЭВМ.

Используемая в составе системы ПЭВМ должна отвечать следующим требованиям:

- процессор I-86 или выше с ОЗУ не менее 8 мБ;
- жесткий диск со свободным пространством не менее 40 мБ;
- один, а лучше два порта LPT;
- цветной или монохромный монитор SVGA;
- стандартная клавиатура и координатное устройство типа “мышь”.

Если планируется использовать систему в основном на выездях, то желательно чтобы ПЭВМ была переносной.

Программное обеспечение ПЭВМ включает в себя программы проверки реле тока, напряжения и сопротивления, а так же программу имитации различных режимов работы энергосистемы для проверки работы релейной защиты и автоматики в этих режимах.

Кроме того, программное обеспечение содержит модуль воспроизведения сигналов тока и напряжения, записанных цифровым осциллографом в файлах формата COMTRADE (редакция от 21.10.1991 г.), и программный модуль генерации сигналов, содержащие экспоненциальные составляющие и высшие гармоники.

Испытательный прибор **TU** содержит три источника тока и три источника напряжения. Каждый источник под управлением ПЭВМ может быть независимо от других источников настроен пользователем по амплитуде и угловому положению в фазовой плоскости, составу высших гармоник и аperiodических составляющих. Программное обеспечение ПЭВМ позволяет превратить источники трехфазных сигналов в однофазный повышенной мощности или в источники постоянного тока (напряжения) с плавной и независимой регулировкой их уровня. Кроме того, в приборе имеется 8 приемных реле для контроля реакции проверяемого устройства на сигналы тока и напряжения, а так же 2 выходных, программно управляемых реле. Структура испытательной системы приведена на рис. 13.2.

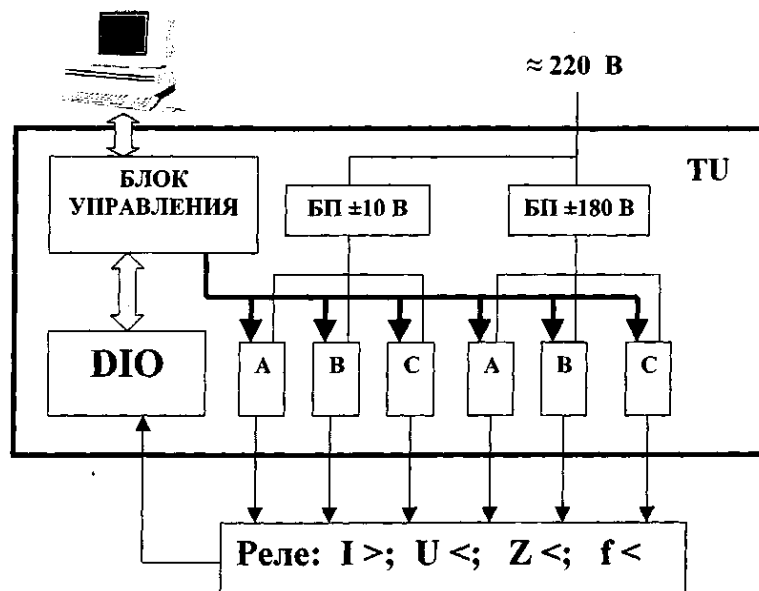


Рис. 13.2 Структура испытательной установки TS NNT

На передней панели прибора **TU** находятся выходные клеммы источников тока и напряжения, светодиодная сигнализация перегрузки источников и включенного состояния прибора, а также разъем приемных и выходных реле прибора. Размещение этих элементов на передней панели прибора **TU** показано на рис.13.3.

На задней панели прибора **TU** находятся розетка, предохранитель и выключатель сетевого питания прибора. Кроме того, с той же стороны установлен разъем для подключения прибора через интерфейсный кабель к LPT-порту ПЭВМ. После включения выключателя, при наличии напряжения в сети 220 В, его клавиша подсвечивается.

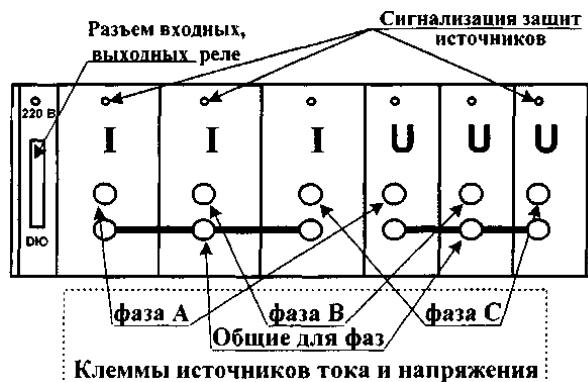


Рис.13.3 Размещение элементов сигнализации и электросоединителей прибора **TU**

Технические характеристики

Питание прибора **TU**

Напряжение – (150÷250) В

Потребляемая мощность – 1200 ВА

Габариты, мм: 190 × 440 × 360

Масса, кг – до 12.

Общие характеристики источников тока и напряжения:

- частотный диапазон – 0÷500 Гц;

- минимальный шаг изменения частоты – 0,01 Гц;
- приведенная погрешность реализации частоты – не хуже 0,2%;
- диапазон изменения фазового угла 0÷360 электрических градуса;
- минимальный шаг изменения фазового угла 0,1 электрических градуса;
- приведенная погрешность реализации фазового угла – 0,2%;
- гальваническая изоляция относительно корпуса прибора – 1000 В.

Характеристика источников тока:

- действующее значение трехфазного тока – до 10 А на фазу;
- однофазный ток (три источника на общую нагрузку) – до 30 А;
- постоянный ток – до 15 А;
- выходная мощность в 3-фазном режиме – до 50 ВА на фазу;
- выходная мощность в однофазном режиме – 150 ВА;
- выходная мощность в режиме постоянного тока – 100 Вт;
- минимальный шаг изменения величины тока – 10 мА;
- приведенная точность – не хуже 0,5%;
- максимальное сопротивление нагрузки – не более 0,7 Ом;
- имеется контроль обрыва в цепи нагрузки;
- встроенная защита от перегрузки источника;
- подключение нагрузки через Ø 4 мм клеммные гнезда.

Характеристика источников напряжения:

- действующее значение трехфазного напряжения – до 100 В на фазу;
- однофазное напряжение (два источника в противофазе) – до 200 В;
- постоянное напряжение – до 300 В;
- выходная мощность в 3-фазном режиме – до 100 ВА на фазу;
- выходная мощность (на нагрузке) в однофазном режиме – 200 ВА;
- выходная мощность в режиме постоянного напряжения – 100 Вт;
- минимальный шаг изменения величины тока – 0,1 В;
- приведенная точность – не хуже 0,5%;
- минимальное сопротивление нагрузки – не менее 150 Ом;
- встроенная защита от перегрузки источника и КЗ в цепи нагрузки;
- подключение нагрузки через Ø 4 мм клеммные гнезда.

Дискретные выходы:

- количество: два выходных реле;
- тип программно-управляемые контакты;
- коммутируемое переменное напряжение – 250 В;
- максимальный коммутируемый ток – 5 А;
- коммутационная способность – до 100 тысяч циклов;
- время на замыкание контакта – до 6 мс;
- время на размыкание контакта – до 10 мс;

- подключение нагрузки – через разъем DB25;
- гальваническая изоляция относительно корпуса прибора – 2000 В.

Дискретные входы:

- количество – 8 входных реле;
- тип подключаемого сигнала “сухой” контакт или транзисторный ключ (открытый коллектор, сток);
- разрешающая способность между двумя состояниями сигнала – 200 мкс;
- подключение через разъем DB25;
- гальваническая изоляция относительно корпуса прибора – 2000 В.

13.4.2 Микропроцессорная система РЕТОМ 41 НПП “Динамика” (Чебоксары)

Реле – томограф –41М, универсальная компьютерная система для проверки сложных устройств релейной защиты и автоматики в электроэнергетике, энергоемких промышленных предприятиях.

Технические данные Ретом-41М

Источники тока

количество	3	
трехфазный режим	3×0÷20 А	3×250 ВА
однофазный режим	1×0÷60 А	1×750 ВА
режим постоянного тока	1×0÷20 А	1×250 Вт
шаг изменения тока	0,25 мА	в диапазоне 0÷2 А
	2,5 мА	в диапазоне 2÷20 А
погрешность	0,3%	

Источники тока в комплекте с трансформаторными блоками РЕТ-10

с 3 блоками РЕТ-10	3×0÷200 А	3×250 ВА
	1×0÷600 А	1×750 ВА
с 1 блоком РЕТ-10	1×200 А	1×250 Вт
	1×0÷20 А	2×250 ВА
шаг изменения тока при $k_T = 10$	2,5 мА в диапазоне до 20 А	
	25 мА в диапазоне до 200 А	
при $k_T = 0,1$	0,025 мА в диапазоне до 0,2 А	
	0,25 мА в диапазоне до 2 А	
погрешность	0,3%	

Источники напряжения

количество	3	
трехфазный режим	3×0÷120 А	3×60 ВА
однофазный режим	1×0÷240 А	1×120 ВА
режим постоянного тока	1×0÷320 А	1×40 Вт
шаг изменения тока	12,5 мА	
погрешность от измеряемого значения	0,3%	

Диапазон изменения фазы:

- фаза в каналах тока и напряжения – 0÷360°;
- количество – 3;
- трехфазный режим – 3×0÷120 В; 3×60 ВА;
- однофазный режим – 1×0÷240 В; 1×120 ВА;
- режим постоянного тока – 1×0÷320 В; 1×40 Вт;
- шаг изменения напряжения – 12,5 мВ;
- погрешность от измеряемого значения – 0,3%;
- минимальный шаг изменения фазы – 0,1°;
- погрешность установки фазы – ± 0,05%.
-

Диапазон изменения частоты:

- общий диапазон частот, выдаваемых сигналов тока и напряжения – 0÷500 Гц;
- шаг изменения частоты – 0,2 Гц;
- погрешность – ± 0,1 Гц;
- диапазон изменения промышленной частоты – 20÷70 Гц;
- шаг изменения частоты – 0,01 Гц;
- погрешность – ± 0,005 Гц.

Аналоговые измерительные входы:

- количество – 2;
- пределы измерения по току = 20 мА; = 20 А; -20 А;
- пределы измерения по напряжению = 20 В; ~10 В; = 300 В; ~300 В;
- погрешность измерения в режиме постоянного тока и напряжения 0,5%;
- погрешность измерения в режиме переменного тока и напряжения 1,5%.

Дискретные входы:

- количество – 8;
- тип входов: “сухой” контакт, 220 В, транзисторный ключ.

Контактные выходы:

- количество – 3;
- коммутационная способность – 220 В/1 А;

Уровень акустического шума – до 40 дБ (на расстоянии 1 м);

Питание – сеть 220 В, 45÷65 Гц;

-Потребляемая мощность – не более 1250 Вт.

Весогабаритные показатели:

масса – не более 18 кг.

13.4.3 Устройство для тестирования реле ФРЕЯ 300 «Пергам» Москва

Компьютеризованная система для проверки реле и моделирования различных режимов. Функционирует как совместно с персональным компьютером, так и без него в автономном режиме. В сочетании с возможностями интеллектуального программного обеспечения система обеспечивает выполнение быстрой проверки, моделирования и анализа работы защиты энергосистемы. Генерируемые значения выводятся на встроенный дисплей. Очень точные аналоговые входы (0,01%), низкого и высокого уровня. Можно выполнять как статическое, так и динамическое тестирование, предаварийное и аварийное генерирование, одновременное линейное изменение нескольких величин произвольной формы. Для питания тестируемой защиты предусмотрен встроенный источник постоянного тока (220 В). В ручном режиме пользователь имеет возможность изменить любую выходную величину с помощью удобной ручки на панели управления. Полуавтоматический режим предназначен для наиболее общих типов реле, которым требуется много проверочных точек. Полностью автоматическая проверка может основываться на контрольной проверке, выполненной, например, во время пуско-наладочных работ, когда редактор планов проверки создает план проверки.

Устройство ФРЕЯ 300 может проверить следующие виды защит:

- | | |
|--|---|
| 1. Дистанционное защитное оборудование | 11. Реле баланса напряжения и тока |
| 2. Синхронизированные реле | 12. Направленные реле максимального тока |
| 3. Реле минимального напряжения | 13. Реле постоянного максимального тока |
| 4. Направленные реле мощности | 14. Реле реагирующие на сдвиг фаз |
| 5. Реле минимального тока и минимальной мощности | 15. Устройства АПВ |
| 6. Реле реагирующие на появление составляющих | 16. Реле максим, тока с обратозависимой токов обратной последовательности временной характеристикой |
| 7. Реле защиты от замыканий на землю | 17. Дифференциальные защиты |
| 8. Частотные реле | 18. Направленные реле напряжения |
| 9. Реле определяющие коэф. мощности | 19. Направленные реле мощности |
| 10. Реле максимального напряжения | |

Технические характеристики

Выходы напряжения

Диапазон:

4-фазное переменное – 4×150 В

Таймер, измерительный сектор

Дискретные входы: 10 входов (2 группы по 5 независимых контактов)

Постоянное напряжение – 275 В
375

1-фазное переменное – 2×300 В

постоянное напряжение – 180 В

Мощность:

3-фазное перемен. – 3×82 ВА при 150 В

1-фазное перемен. – 1×140 ВА при 300 В

Постоянное – 87 Вт

Разрешение:

Программное обеспечение – 10 мВ

Аппаратная часть – 6,5 мВ

Точность: ± 0,01% от диапазона

Погрешность – 0,02%

Разрешение:

Выходы тока

Диапазон

3-фазный переменный - 3×15 А

1-фазный переменный – 1×45 А

постоянный ток – 15 А

Мощность

3-фазный переменный – 3×87 ВА

1-фазный переменный – 1×250 ВА

Постоянный ток – 3×87 Вт

Разрешение

Программное обеспечение – 1 мА

Аппаратная часть – 0,65 мА

Точность: ± 0,01% от диапазона

Погрешность – 0,1%

Генераторы, общие сведения

Диапазон частоты

Длительный сигнал – 2000 Гц

Промежуточный сигнал - 3,5 кГц

Точность – 1 мГц

Погрешность – 0,01%

Диапазон фазового угла: от 0 до 360°

Фазовая точность – 0,1°

переменное напряжение – 240 В

Внутреннее разрешение – 50 мкс

Гальванически развязаны от сектора усилителя

Максимальное время измерения: 15264 часа
(636 дней)

Точность – 0,1мс

Измерительные входы:

постоянного тока:

Диапазон: ±20 мА

Программное обеспечение – 0,1мкА

Аппаратная часть – 0,6 мкА

Погрешность: + 0,01% от диапазона

постоянного напряжения:

Диапазон: ± 10В

Разрешение

Программное обеспечение – 0,1 мВ

Аппаратная часть – 0,3 мВ

Погрешность: ± 0,01% от диапазона

Переменного/постоянного тока:

Диапазон: + 14 А

Точность: 0,1% – постоянного

0,3% – переменного

Переменного/постоянного напряжения:

Диапазон: ±220 В

Точность 0,05% – постоянного

0,20% – переменного

Дискретные выходы:

Количество: 2×4 (нормально разомкнутые и нормально замкнутые)

Тип: контакты с нулевым потенциалом, с управлением через программное обеспечение

Отключающая способность

Переменное напряжение 240 В, макс. 8 А, макс.

Нагрузка – 2000 ВА

Постоянное напряжение 275 В, макс. 8 А, макс.,
нагрузка – 240 Вт

Другое:

Все семь генераторов независимо друг от друга регулируются по амплитуде и фазе

Никакого переключения диапазонов не требуется. Все выходы тока и напряжения полностью защищены от внешних сигналов и повышения температуры

Цепи генератор – усилитель и цепи сетевого питания гальванически развязаны

Выход постоянного напряжения:

Диапазон: от 20 до 210 В

Питание – 85–264 В

Частота – 47–63 Гц

Мощность – 600 ВА

Габариты: 450×160×410 мм

13.4.4 Блок тестирования реле SVERKER 760 фирма Programme Electric ABB

SVERKER 760 – устройство комплексного тестирования реле. SVERKER 760 имеет множество функций, которые обеспечивают более высокую эффективность тестирования реле. В частности, его функция измерений обеспечивает определение и отображение следующих параметров (дополнительно к измерению времени, напряжения и тока): Z, R, X, S, P, Q, фазового угла и $\cos \varphi$. Вольтметр также может быть использован как амперметр 2 (например, при тестировании дифференциальных реле). Все результаты измерений представляются на отдельном дисплее, который позволяет легко считывать данные. Благодаря встроенному регулируемому источнику напряжения (амплитуда и фазовый угол), SVERKER 760 также обеспечивает возможность высокоэффективного тестирования защитного оборудования. Также просто может выполняться тестирование автоматов повторного включения. Тонкая регулировка тока осуществляется легко благодаря встроенному магазину сопротивлений.

SVERKER 760, также имеет последовательный порт для связи с PC и соответствующее программное обеспечение в среде Windows. Прибор имеет компактное исполнение и небольшой вес 18 кг, что обеспечивает легкость его перемещения с объекта на объект.

Работа двух или более блоков SVERKER 760 может быть синхронизирована, что, например, позволяет пользователю объединить три блока SVERKER 760 в один базовый комплект для тестирования трехфазных цепей.

Тестирование реле:

SVERKER 760 главным образом предназначен для вторичного тестирования защитного релейного оборудования. При этом, может быть выполнено тестирование практических всех типов однофазной защиты.

SVERKER 760 позволяет тестировать пофазно трехфазные системы защиты, а также релейные системы защиты, которые требуют сдвига фаз. Более того, с помощью SVERKER 760 может выполняться тестирование автоматов повторного включения.

Примеры оборудования, тестируемого с помощью блоков SVERKER 750/760:

Реле максимального тока	50/76
-------------------------	-------

Реле максимального тока с обратной зависимой выдержкой времени	51
--	----

Реле минимального тока	37
------------------------	----

Реле замыкания на землю	50
-------------------------	----

Направленное реле максимального тока	67
--------------------------------------	----

Направленное реле неисправности заземления 67N

Реле максимального напряжения 27

Реле минимального напряжения 91

Направленное реле напряжения 32

Реле направления мощности 55

Реле коэффициента мощности

Дифференциальная защита

Дифференциальные цепи 87

Оборудование дистанционной защиты (пофазно) 21

Последовательность реле максимального тока 46N

Защита двигателей от перегрузки 51/86

Автоматы повторного включения 79

Реле обрыва 94

Реле регулирования напряжения

Реле минимального импеданса, $Z >$

Реле максимального импеданса, Z

Тепловые реле

Реле времени

ДРУГИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- построение кривых возбуждения;
- тестирование коэффициентов передачи трансформаторов тока и напряжения;
- измерение нагрузки при тестировании защитного релейного оборудования;
- измерение импеданса;
- тесты на КПД;
- тесты на определение полярности (направления).

Технические характеристики

Выходы переменного тока				
Пределы	Напряжение без нагрузки (min)	Напряжение полной нагрузки (max)	Полная нагрузка по току (max)	Время нагрузки On (max) Off (min)

0-10 А	90В	75В	10 А	2/15 минут
0-40 А	25В	20В	40 А	1/15 минут
0-100 А	10В	8В	100 А	1/15 минут
0-100 А	10В	-	250 А	1 сек/5 минут
Выходной трансформатор оборудован встроенной термозащитой. Первичная обмотка защищена с помощью миниатюрного автоматического выключателя				
Выходы постоянного / переменного тока				
0-250 В перем. ток	290 В	250 В	3 А	10/45 минут
0-300 В пост, ток	320 В	250 В	2 А	10/45 минут
Отдельный выход напряжения переменного тока.				
Пределы	Напряжение без нагрузки (min)	Напряжение полной нагрузки (max)	Нагрузка по току (max)	
0-140 В перем	165	140	0–20 А – непрерывная 0–30А 1 минута	
Фазовый угол		разрешение		
0-359 ⁰		1 ⁰	±2 ⁰	
Дополнительный выход постоянного тока				
Пределы		напряжение	максимальный ток	
20–140 В пост. ток		130 В	0,4 А	
130–220 В пост. ток		220 В	0,4 А	

Таймер

Отображение	В секундах или периодах напряжения сети
Секунды	Пределы: 0,000-99999,9 с Точность: 1 мс
Периоды	Пределы: 0,0-4999995 циклов при 50 Гц или 0,054999994 циклов при 60 Гц. Точность – 0,1 цикла
Макс, входное напряжение	250 В переменного тока или 275 В постоянного тока

Амперметр

Пределы измерения	Внутренний диапазон: 0,00-250,0 А Внешний диапазон: 0,000-6,000 А
Точность	Внутренний диапазон: 1% Внешний диапазон: 1% для переменного тока и 0,5% для постоянного тока
Метод измерения	Эффективное значение для переменного тока или среднее значение для постоянного тока.
Отображение	Значения могут быть отображены в процентах от номинального значения, если требуется вольтметр также может быть использован как второй амперметр.

Макс. ток, внешний вход 600 В переменного тока или 275 В постоянного тока

Вольтметр

Диапазон 0,00-600,0 В

Точность 1% для переменного тока и 0,5% для постоянного тока

Метод измерения Эффективное значение для переменного тока или среднее значение для постоянного тока

Отображение Значения могут быть отображены в процентах от номинального значения, если требуется, вольтметр также может быть использован как второй амперметр.

Макс, входное напряжение 600 В переменного тока или 275 В постоянного тока

Измеряемые параметры

Переменный ток $Z (\Omega_\phi)$, $Z (\Omega)$, R , $X (\Omega, \Omega)$, $S (VA)$, $Q (Var)$, $\cos \phi$, $\phi (^\circ)$, I_{ref} и $\phi (^\circ, U_{ref})$

Постоянный ток $R (\Omega)$ и $P (W)$

Параметры	Диапазон	Точность
$\cos \phi$ (емк., инд.)	От -0,99 до +0,99	
Фазовый угол	000-359°	$\pm 2^\circ$
Другие параметры	До 999·kX (X=единица)	

13.4.5 Компьютерная испытательная система для комплексных проверок различного высокочастотного оборудования в электроэнергетике

РЕЛЕ-ТОМОГРАФ-ВЧ НПП «Динамика» Чебоксары

Технические данные РЕТОМ-ВЧ

ВЧ-генератор

Диапазон частот 24 ÷ 630 кГц

Наибольшее выходное напряжение (КНИ < 0,5%) 20 В

Номинальное внутреннее сопротивление $R_{вн}$ (переключаемое) 0; 75; 150 Ом

Максимальная выходная мощность($R_H=75$ Ом, $R_{вн}=75$ Ом) 1300 мВт

Возможные типы выхода симметричный, несимметричный

Основная относительная погрешность воспроизведения частоты ± 210

Основная относительная погрешность воспроизведения уровня выходного напряжения¹ $\pm[2,5+0,3(X_{N\text{в}} - 1)]\%$

НЧ-генератор

Диапазон частот	20 Гц÷24 кГц
Наибольшее выходное напряжение	75 В
Возможные типы выхода	симметричный, несимметричный
Максимальная выходная мощность	3 Вт
Наибольший допустимый выходной ток	50 мА Эфф
Основная относительная погрешность воспроизведения частоты	$\pm 2 \cdot 10^{-6}$
Основная относительная погрешность воспроизведения уровня выходного напряжения ¹	$\pm[2,5+0,3(X_{\text{кд}} - 1)]\%$

Миллисекундомер

Предел измерения	99 с
Абсолютная погрешность измерения интервала времени	$\pm 0,2$ мс

Контактные выходы

Количество	2
------------	---

Дискретные входы

Количество	16
------------	----

Селективный вольтметр

Пределы измерения	10 мВ, 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В
Диапазон частот	24÷630 кГц
Ширина полосы селективного приема (А)	25,400,1740,3100 Гц
Избирательность (при отстройке от края полосы на Л кГц),	не менее 45 дБ
Основная относительная погрешность частоты настройки	$\pm 2 \cdot 10^{-6}$
Основная относительная погрешность измерения уровня синусоидального сигнала в выбранной полосе ¹	$\pm[2,5+0,3(X_{\text{клг}} - 1)]\%$
Входное сопротивление, не менее	10 кОм

НЧ-мультиметр (45 Гц...5 кГц,,..24 кГц, постоянный ток)

Пределы измерения	100 мА, 1 А, 300 мВ 3 В, 30 В, 300 В
Длительность цикла измерения (обновление показаний)	не более 0,5 с
Основная относительная погрешность измерения уровня синусоидальных сигналов ¹	$\pm[2,5+0,3(X_{к/х} - 1)]\%$
Входное сопротивление входа напряжения, не менее	100 кОм
Внутреннее сопротивление входа тока, не более	2,5 Ом

НЧ-частотомер (в НЧ-мультиметре)

Диапазон частот	300 Гц÷24 кГц
Абсолютная погрешность измерения при уровне входного сигнала НЧ-мультиметра 0,6÷1,1 полной шкалы	± 1 Гц

ВЧ-мультиметр (24 кГц, 630 кГц)

Пределы измерения	100 мА, 1 А, 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В
Длительность цикла измерения (обновление показаний) ²	не более 0,5 с
Основная относительная погрешность измерения уровня синусоидальных сигналов тока и напряжения ¹	$\pm[2,5+0,3(X_{к/х} - 1)]\%$
Импеданс входа напряжения	10 кОм/25 пФ
Внутреннее сопротивление входа тока, не более	2,5 Ом

ВЧ-частотомер (в ВЧ-мультиметре)

Диапазон частот	24÷630 кГц
Абсолютная погрешность измерения при уровне входного сигнала ВЧ мультиметра 0,6÷1,1 полной шкалы	± 20 Гц

Источник оперативного тока

Наибольшее постоянное напряжение (полная шкала)	250 В
Наибольший допустимый выходной ток	50 мА
Основная относительная погрешность воспроизведения уровня напряжения	$\pm[2,5+0,3(X_{кд} - 1)]\%$

произведения уровня напряжения

Масса, не более

6 кг

Габариты, не более

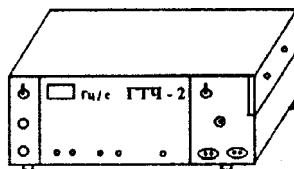
256×324×103 мм

¹ Основная относительная погрешность регламентируется для температуры окр. среды +23°C. В формулах для относительной погрешности приняты следующие обозначения: X_k – конечное значение диапазона измерения или диапазона воспроизведения; x – измеренное (для генератора – воспроизведенное) значение.

² Регламентируется для случая, когда активен только оговариваемый прибор.

Генератор технической частоты ГТЧ-2 ГП “Энергоэлектроника” (Киев)

Прибор предназначен для настройки и изменения уставок реле частоты от бросков понижения частоты в системах автоматической частотной нагрузки.



Техническая характеристика:

Напряжение питающей сети, В 220 (+20%, -10%)

Частота питающей сети, Гц 50

Диапазон генерируемых частот, Гц 45÷55

Диапазон скорости изменения частоты, Гц/с 0,1÷6,3

Выходное напряжение, В 100 (+10%, -10%)

Коэффициент нелинейных искажений, % не более 0,5

Номинальная выходная мощность, ВА 30

Потребляемая мощность, ВА не более 70

Порог срабатывания защиты генератора, mA 320

Дискретность выходной частоты генератора, Гц 0,01

Дискретность регулирования скорости изменения частоты, Гц/с 0,1

Гальваническая развязка выходной цепи генератора от питающей сети	не менее 1 МОм
Конструктивное исполнение	переносной вариант
Габаритные размеры, мм	290×220×100
Масса, кг	4,0
Время непрерывной работы, ч	8 (Рн = 20 ВА)
Режим работы	ручной/автоматический
Наличие индикации скорости изменения выходной частоты генератора.	

Микропроцессорный генератор технической частоты ГТЧ-3У

Техническая характеристика:

Напряжение питания	230 В, 50Гц;
Потребляемая мощность	до 100 ВА;
Выходная мощность	до 50 ВА С непрерывно в течение 8 часов);
Выходное напряжение регулируется плавно	от 0 до 150В;
Частота регулируется с дискретностью	от 11 до 99 Гц; 0,01 Гц;
Стабильность частоты	+/-Ю ⁻⁵ Гц
Скорость изменения частоты регулируется с дискретностью	от 0,07 до 100 с; 0,01 Гц/с;
Диапазон измерения времени изменения частоты с точностью +/- 0,005 с	от 0,001 до 100 с;
Точность установки скорости изменения частоты	+/-0,01 Гц/с;
коэффициент нелинейных искажений	не более 0,5%;
Режим работы	ручной/автоматический;

Частота изменяется с заданной скоростью в любую сторону от любого значения частоты. Возможна установка разных скоростей при изменении частоты в одну и другую стороны.

Точность установки частоты $\pm 0,005$ Гц;

Габаритные размеры 270×200×87 мм;

Масса 3 кг

Все частотные параметры, временные интервалы и напряжение индицируется на цифровом индикаторе. Генератор защищен от перегрузки и неправильных действий оператора; имеет звуковую и световую сигнализацию при перегрузке.

Генератор имеет вход для автоматического останова частоты при срабатывании внешнего устройства (реле частоты).

Генератор может работать в вертикальном и горизонтальном положениях; имеет удобную ручку для переноски, служащую одновременно подставкой при работе в горизонтальном положении; имеет специальный отсек для шнура питания и других рабочих принадлежностей.

Примечание:

- 1) по специальному заказу может быть изготовлен генератор, который кроме синусоиды без искажений будет генерировать напряжения, содержащее помимо 1-й гармоники, 3-ю, 5-ю, 7-ю либо 9-ю гармоники с величинами их амплитуд от 5 до 20% от 1-й гармоники;
- 2) по специальному заказу генератор может иметь выход нерегулируемого напряжения $U_{\text{вых.}} = 100$ В. для подключения контрольного частотомера и др.

Глава 14. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ИНФОРМАЦИИ.

Для своего функционирования микропроцессорные устройства релейной защиты производят измерения и аналого-цифровое преобразование контролируемых сигналов-токов и напряжений. Кроме того, они производят контроль положения коммутационных аппаратов, фиксируют значения аварийных параметров в виде файлов событий и цифровых осциллограмм.

Поэтому микропроцессорные устройства РЗА снабженные интерфейсом связи для передачи информации могут служить источником информации для систем управления.

Для передачи информации от устройств РЗА обычно используются интерфейсы трех типов:

- RS232,
- RS485,
- ST коннектор для подключения опто кабеля.

Интерфейс RS232 обеспечивает дальность передачи информации до 20 метров. RS485 – до 1200 метров по витой экранированной паре без дополнительного усиления. С дополнительным промежуточным усилителем дальность связи может быть увеличена вдвое. При применении кабеля соответствующего типа дальность связи по опто кабелю составляет до 15 км. Кроме того, дальность связи по интерфейсу RS232 может быть увеличена за счет применения схемы передачи RS232/опто - опто кабель - опто/RS232.

Применение интерфейсов RS232 и опто предполагает построение системы сбора информации от каждого устройства (по выделенной линии) к центральному устройству (концентратору). Тогда как применение интерфейса RS485 позволяет осуществить параллельное подключение до 32 устройств к одной ветви. Правда при этом скорость передачи информации особенно по опто кабелю существенно больше, чем по витой паре. Так скорость передачи информации по интерфейсу RS485 обычно не превышает 38,4 Кбит с, хотя некоторые протоколы (например, K-Bus) обеспечивают и более высокую скорость передачи – до 64 Кбит с.

Информация для передачи на верхний уровень управления в устройствах РЗА хранится обычно в оперативной памяти и считывается по запросу с верхнего уровня управления – контроллером или рабочей станцией объекта.

Кроме типа интерфейса существенную роль на возможность получения информации от устройства РЗА является протокол связи. Т.е. вышестоящее устройство должно «уметь разговаривать» с устройством РЗА на одном языке.

Наиболее распространенные протоколы для связи с микропроцессорными устройствами РЗА это:

- Modbus,
- Profibus,
- SPA bus,
- DNP 3.0,
- IEC (МЭК) 60870-5-103.

Наиболее распространенные схемы соединения устройств в локальную сеть объекта приведены на 14.1-14.4.

Полученная от устройств РЗА информация может представляться на экране рабочей станции объекта в виде соответствующего набора экранов. Число экранов, их графическое исполнение и функциональное наполнение определяются конкретным типом системы управления, используемой на данном объекте. Кроме того, часть информации может передаваться на верхний уровень управления – диспетчеру соответствующего уровня. Для передачи информации на верхний уровень управления рекомендуется использовать протокол IEC (МЭК) 60870-5-101, хотя могут быть использованы и другие протоколы связи.

Основными экранами отображения информации на объекте являются экраны мнемосхем с отображением на них положения коммутационных аппаратов.

Пример мнемосхемы подстанции приведен на рис.14.5. При этом экраны мнемосхем могут уточняться (листаться как страницы в книге) вплоть до экрана конкретного присоединения, если это надо.

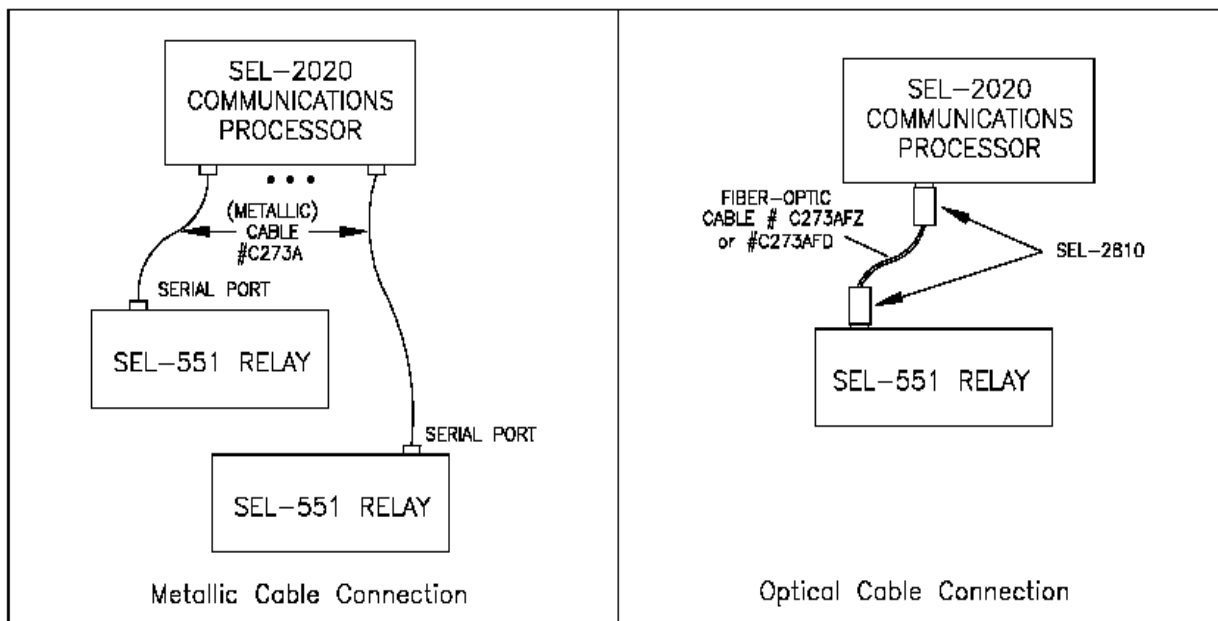


Рис. 14.1

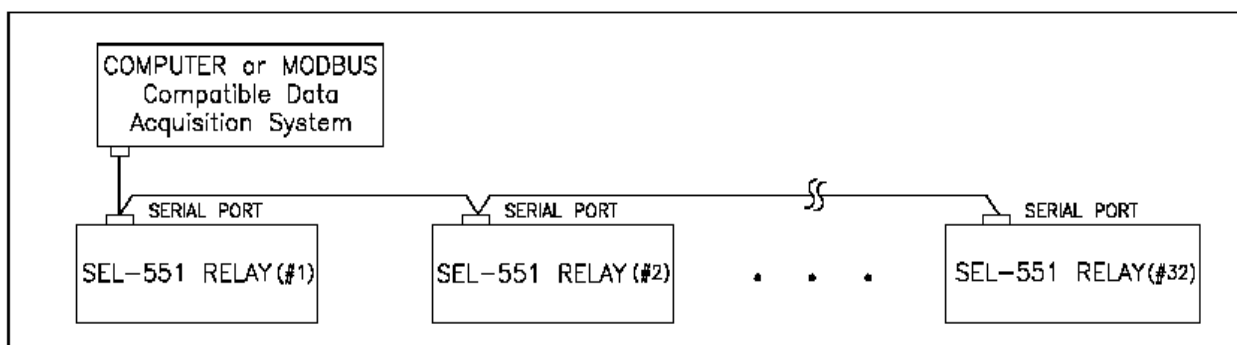


Рис. 14.2

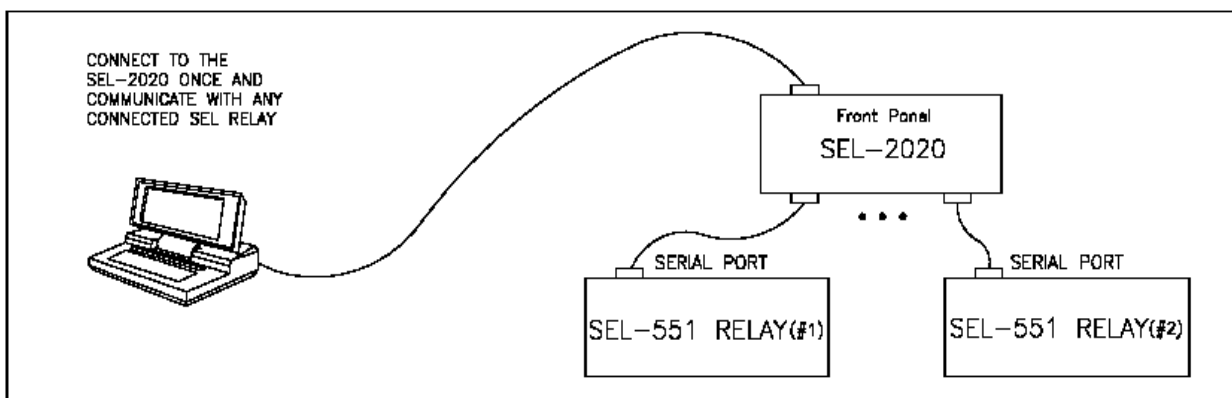


Рис. 14.3

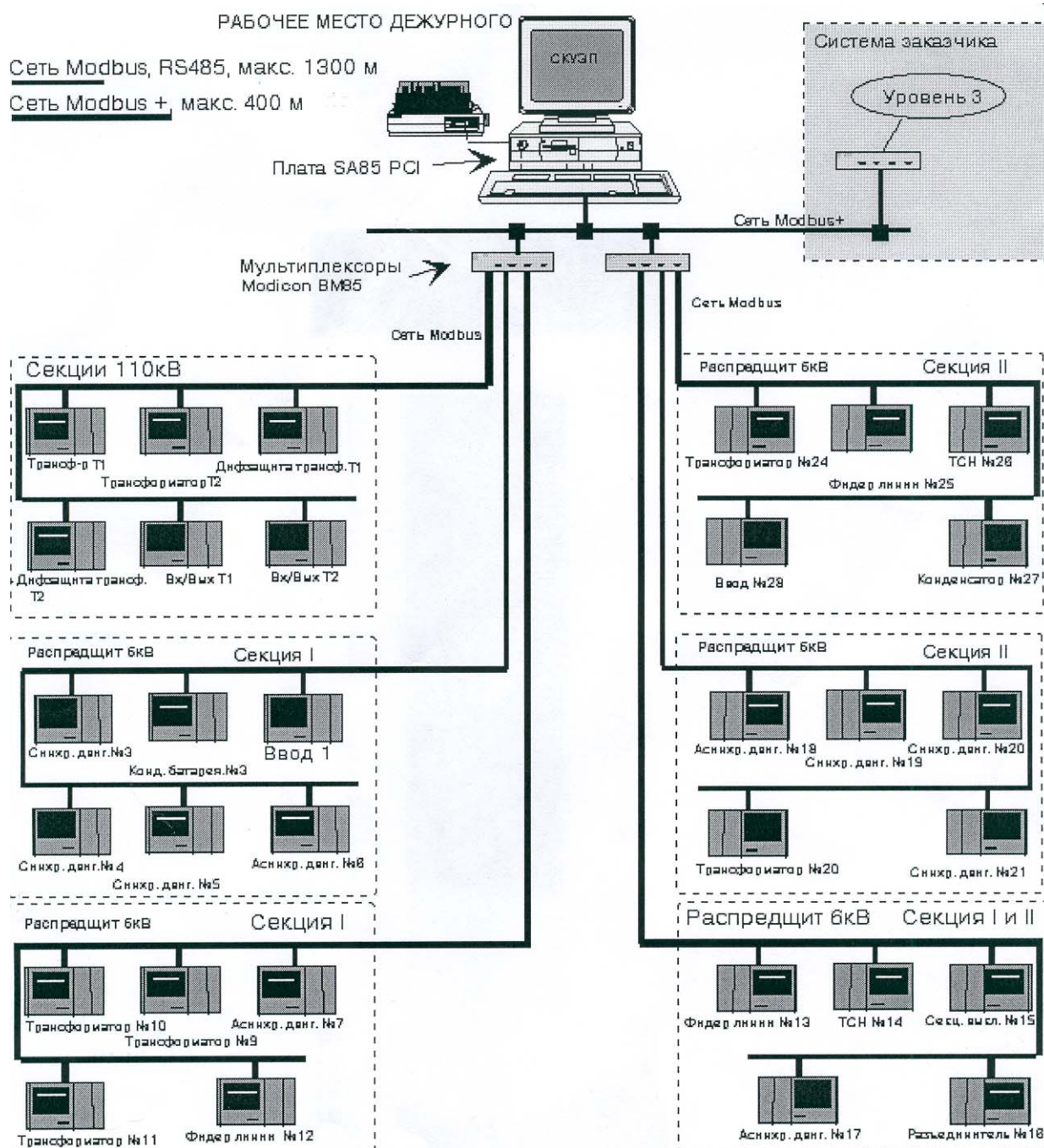


Рис. 14.4

Кроме того, в памяти компьютера рабочей станции объекта накапливаются аварийные сообщения. Пример экрана с отображением аварийного сообщения приведен на рис.14.6. Параметры нормального режима (токи, напряжения, мощности) измеренные через заданный промежуток времени также накапливаются в памяти компьютера рабочей станции и могут отображаться в виде графиков. Эти графики позволяют оперативному персоналу эффективнее вести режим работы объекта. Сбор значений нормального от устройств РЗА может производиться не на одном объекте(подстанции), а во всей сети. Тогда с помощью микропроцессорных РЗА может быть собрана и накоплена информация о работе всей сети. И таким образом существенно повышена эффективность ее работы. Однако, основным сдерживающим фактором широкого внедрения систем сбора информации на основе микропроцессорных РЗА являются каналы связи (их отсутствие или низкая пропускная способность).

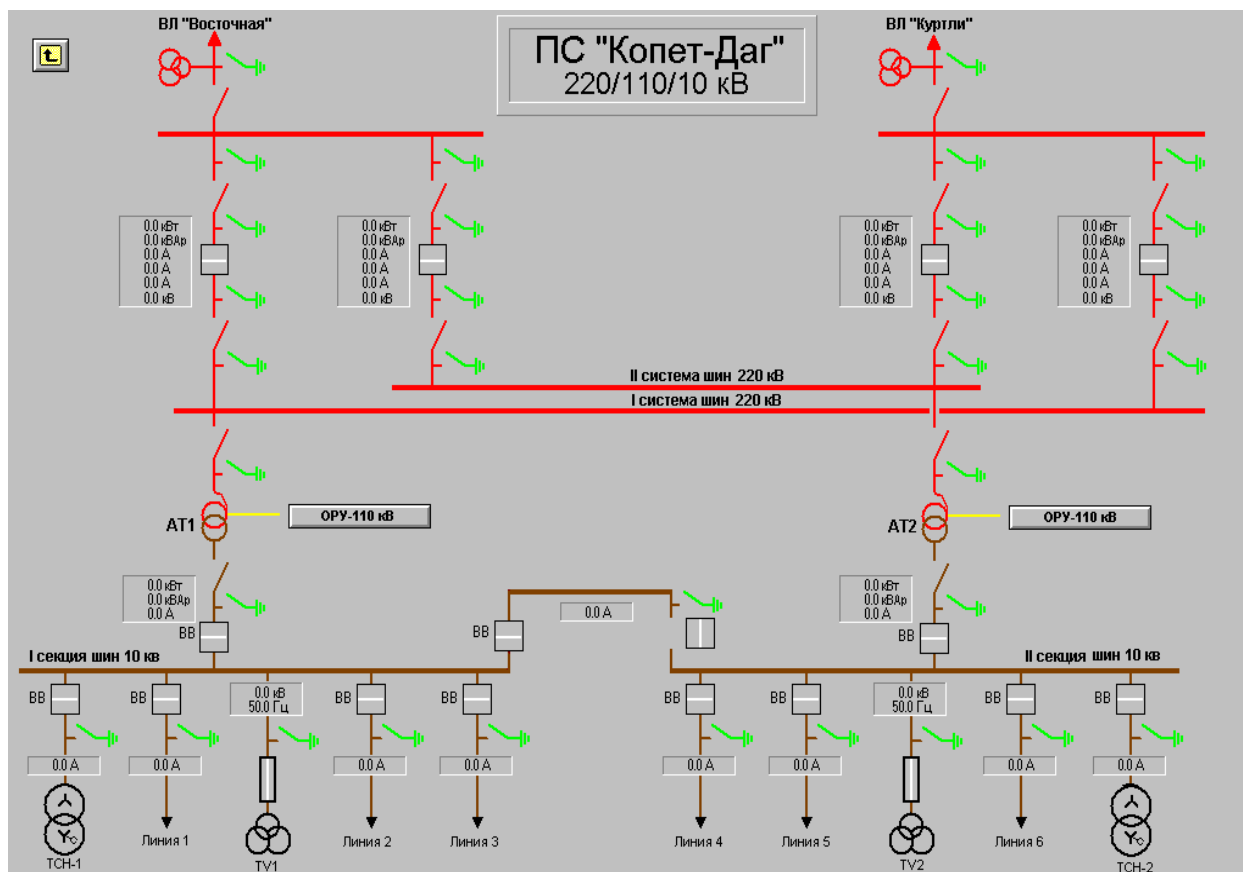


Рис. 14.5

04 Mai 2001	08:47:02	UNACK_F	500	SUB_20 FDR_4 P123_008	OK
04 Mai 2001	08:47:01	UNACK_F	500	SUB_20 MTR_2 P220_007	OK
04 Mai 2001	08:46:59	UNACK_F	500	SUB_20 FDR_3 P123_006	OK
04 Mai 2001	08:46:59	UNACK_F	500	SUB_20 CPL/20 P120_005	OK
04 Mai 2001	08:46:59	UNACK_F	500	SUB_63 FDR_2 BM9200_004	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_63 FDR_1 BM9200_003	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_63 INC_2 BM9200_002	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_63 INC_1 BM9200_001	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_20 MTR_1 P241_019	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_20 TR_3 P141_018	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_20 TR_2/20 M301_017	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_20 TR_2/20 P141_016	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_20 TR_1/20 M301_015	OK
04 Mai 2001	08:46:58	UNACK_F	500	SUB_20 TR_1/20 P141_014	OK
04 Mai 2001	08:46:57	UNACK_F	500	SUB_63 FDR_2 P441_013	OK
04 Mai 2001	08:46:57	UNACK_F	500	SUB_63 TR_2/63 KYTL101_012	OK
04 Mai 2001	08:46:57	UNACK_F	500	SUB_63 TR_2/63 KVGC102_011	OK
04 Mai 2001	08:46:57	UNACK_F	I	State of ACQ function	ACQ Alive
04 Mai 2001	08:46:57	UNACK_F	500	SUB_63 TR_2/63 KBCH120_010	OK
04 Mai 2001	08:46:57	UNACK_F	500	SUB_63 TR_2/63 P141_009	OK
04 Mai 2001	08:46:57	UNACK_F	500	SUB_63 TR_1/63 KYTL101_008	OK
04 Mai 2001	08:46:57	UNACK_F	500	SUB_63 TR_1/63 KVGC102_007	OK
04 Mai 2001	08:46:56	UNACK_F	500	SUB_63 TR_1/63 KBCH120_006	OK
04 Mai 2001	08:46:56	UNACK_F	500	SUB_63 TR_1/63 P141_005	OK
04 Mai 2001	08:46:56	UNACK_F	500	SUB_63 FDR_1 P441_004	OK
04 Mai 2001	08:46:56	UNACK_F	500	SUB_63 CPL/63 P141_003	OK
04 Mai 2001	08:46:56	UNACK	500	SUB_20 FDR_4 CB POSITION	ABNORMAL
04 Mai 2001	08:46:56	UNACK	500	SUB_20 FDR_3 CB POSITION	ABNORMAL
04 Mai 2001	08:46:56	UNACK	500	SUB_20 CPL/20 CB POSITION	ABNORMAL
04 Mai 2001	08:46:55	UNACK_F	500	SUB_63 INC_2 P441_002	OK
04 Mai 2001	08:46:55	UNACK	200	SUB_63 FDR_2 ES POSITION	OPEN
04 Mai 2001	08:46:55	UNACK	200	SUB_63 FDR_2 ES2 POSITION	OPEN
04 Mai 2001	08:46:55	UNACK	500	SUB_63 TR_2/63 CB POSITION	OPEN

Итого: 51

Приоритет: От 1 До 999

Список: Сигналы История

Показ: Все Подтвержд Неподтвержд

Группа: ALL#SYSTEMS

Рис. 14.6

Глава 15. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ШУНТОВЫХ БАТАРЕЙ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ*

15.1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Батареи статических конденсаторов (БСК) в основном используются для следующих целей:

- компенсация реактивной мощности в сети;
- регулирование уровня напряжения на шинах;
- выравнивание формы кривой напряжения в схемах управления с тиристорным регулированием.

Передача реактивной мощности по линии электропередачи приводит к снижению напряжения, особенно заметному на воздушных линиях электропередачи, имеющих большое реактивное сопротивление. Кроме того, дополнительный ток, протекающий по линии, приводит к росту потерь электроэнергии. Если активную мощность нужно передавать именно такой величины, которая требуется потребителю, то реактивную можно сгенерировать на месте. Для этого и служат конденсаторные батареи. Наибольшее потребление реактивной мощности имеют асинхронные двигатели. Поэтому при выдаче технических условий потребителю, имеющему значительную долю асинхронных двигателей в составе нагрузки, обычно предлагается довести $\cos \varphi$ до величины 0.95. При этом снижаются потери активной мощности в сети и падение напряжения на линии электропередачи. В ряде случаев вопрос можно решить применением синхронных двигателей. Однако наиболее простым способом получения такого результата является применение батареи статических конденсаторов

При минимальных нагрузках системы, может создаться положение, когда конденсаторная батарея создает избыток реактивной мощности. В этом случае излишняя реактивная мощность направляется обратно к источнику питания, при этом линия опять загружается дополнительным реактивным током, увеличивающем потери активной мощности. Напряжение на шинах растет и может оказаться опасным для оборудования. Поэтому очень важно иметь возможность регулирования мощности батареи конденсаторов. В простейшем случае в минимальных режимах нагрузки можно отключить БСК – регулирование скачком. Иногда этого недостаточно и батарею делают состоящей из нескольких меньших БСК, каждую из которых можно включить или отключить отдельно - ступенчатое регулирование. Наконец существуют системы плавного регулирования, например: Параллельно батарее включается реактор, ток в котором плавно регулируется тиристорной схемой. Во всех случаях для этого применяется специальная автоматика регулирования БСК.

Широко применяемые схемы тиристорного регулирования нагрузки основаны на том, что тиристоры открываются схемой управления в определенный момент периода и чем меньшую часть периода они открыты, тем меньше действующее значение тока протекающего через нагрузку. При этом появляются высшие гармоники тока в составе тока нагрузки и соответствующие им гармоники напряжения на питающем источнике. БСК способствуют снижению уровня гармоник в напряжении, так как их сопротивление с ростом частоты падает, а значит растет величина потребляемого батареей тока. Это приводит к сглаживанию формы напряжения. При этом появляется опасность перегрузки конденсаторов токами высших гармоник, и требуется специальная защита от перегрузки.

Конденсаторные батареи могут применяться на напряжение 0.4кВ, 6-10кВ, 35кВ, существуют также батареи напряжением 110кВ.

Конденсаторная батарея состоит обычно не из одного конденсатора в фазе, а сразу из нескольких, которые и образуют батарею. Количество конденсаторов в батарее зависит от необходимой мощности БСК и мощности (пропорциональной емкости) одного конденсатора, от его номинального напряжения. Существуют конденсаторы, рассчитанные на полное напряжение сети 6 или 10кВ. Такие конденсаторы включаются обычно по схеме треугольника, так как напряжение на них определяется линейным напряжением и не зависит от смещения нейтрали батареи. Таковы, например установки компенсации реактивной мощности КРМ-6, КРМ-10 производства фирмы «Электротехника» г. Санкт-Петербург. Они собираются из конденсаторов напряжением 6-10 кВ, включенных в треугольник.

Примечание: при написании данной главы использованы типовые материалы Белорусского отделения Энергосетьпроект: «Шунтовые конденсаторные батареи 6-110кВ» 1984 год.*

Каждая ячейка представляет шкаф с конденсаторами мощностью 450 кВАр имеющий предохранитель ПКТ-102 в цепи каждой фазы. Из таких шкафов может быть набрана батарея общей мощностью до 3150 кВАр. Схема шкафа показана на рис.15.1.

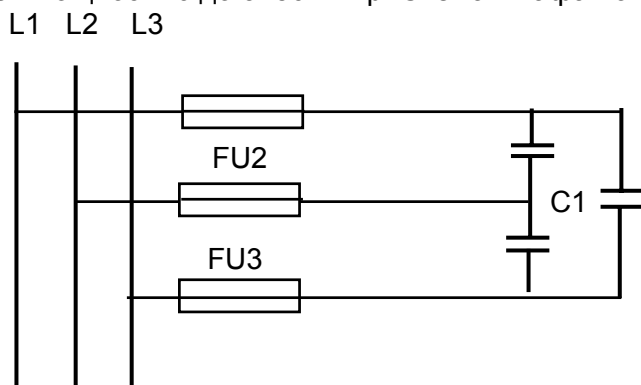


Рис. 15.1. Схема одной ячейки конденсаторной батареи КРМ-6 (КРМ-10).

FU1 –FU3 – предохранители ПКТ 102.

C- конденсатор СРАКС2 –6(10)

Внутри конденсаторов имеется разрядное сопротивление для его разряда после снятия напряжения.

Набор из одного или нескольких шкафов подключается к секции через выключатель.

БСК может быть создана из конденсаторов, не рассчитанных на полное рабочее напряжение. Так, например, широко распространены конденсаторы наружной установки КС-2-1.05-60. Их номинальное напряжение 1.05 кВ. Поэтому батарею необходимо собирать из группы последовательно соединенных конденсаторов. Для уменьшения количества последовательных элементов батарея соединяется в звезду и на каждую группу, таким образом, приходится фазное напряжение. Конденсаторы соединяются параллельно в ряды из одинакового количества конденсаторов, ряды собираются последовательно таким образом, чтобы на каждый конденсатор приходилось допустимое напряжение. Каждый конденсатор отдельно имеет собственный предохранитель, который перегорает при замыкании внутри конденсатора. Количество конденсаторов в ряду выбираются для получения необходимой мощности. Минимальное количество конденсаторов в ряду определяется не только мощностью батареи, но и величиной напряжения, которое может прийти на один конденсатор. Нейтраль батареи конденсаторов 6-35 кВ изолирована и может смещаться при неравенстве сопротивлений конденсаторов подключенных к фазам. Существуют батареи конденсаторов 110кВ, нейтраль у которых заземлена, и смещения нейтрали которых происходить не может.

Рассмотрим более подробно вопросы выбора количества конденсаторов и напряжения на них. Количество рядов конденсаторов определяется величиной фазного напряжения и допустимым напряжением на конденсатор. В каждом ряду находится одинаковое количество конденсаторов, поэтому одинаково сопротивление каждого ряда, напряжение, приходящееся на каждый ряд, также одинаково и не должно превышать номинальное напряжение конденсатора.

$$U_{\text{кон}} = U_{\text{ф.макс}} / n < U_{\text{ном.}} \quad (15.1)$$

Расчетное максимальное напряжение составляет 1.1 U ном. Максимальное линейное напряжение: 6.6 для сети 6кВ, 11 для сети 10кВ, 38.5 для сети 35 кВ. Им соответствуют фазные напряжения 3.8, 6.35, 22.2 кВ.

Таким образом, если использовать конденсаторы с номинальным напряжением 1.05кВ, то необходимо выполнить не менее 4 рядов для сети 6 кВ, 7 рядов для сети 10кВ, 22 рядов для сети 35 кВ. Если в каком то ряду отключился один из конденсаторов после перегорания его предохранителя, то сопротивление этого ряда возрастает. Если предположить в ряду по 2 конденсатора, то сопротивление этого ряда вырастет вдвое и соответственно на конденсаторе появится напряжение примерно вдвое большее. Это напряжение может превысить допустимое, и повредится другой конденсатор этого ряда. Если предположить что в ряду было 4 конденсатора, то в ряду останется 3 и сопротивление, а также напряжение может повысится примерно на 1/3. В принципе конденсаторы такое повышение напряжения допускают. Однако ПУЭ требуют, чтобы количество конденсаторов в ряду было таким, чтобы при от-

ключении одного конденсатора, напряжение на оставшихся в ряду не превысило 110% $U_{ном}$.

Схема такой батареи показана на рис.15.2.

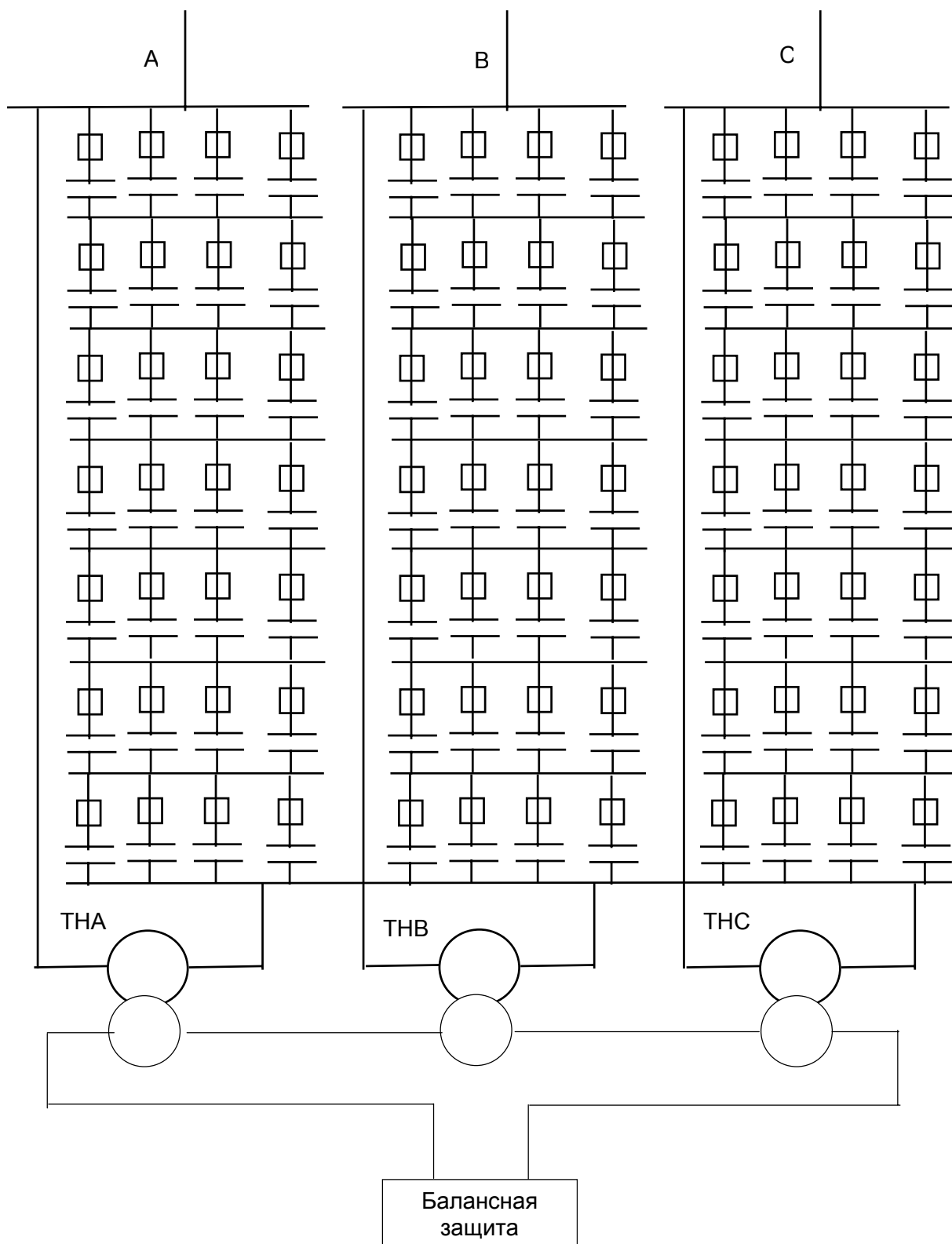


Рис. 15.2. Схема включения БСК напряжением 10кВ из конденсаторов КС-2-1.05-60.

На рисунке представлена схема включения БСК 10кВ составленная из конденсаторов КС-2-1.05-60. В каждой фазе батареи имеется 7 рядов конденсаторов на напряжение 1.05 кВ

по 4 конденсатора в каждом ряду. Каждый конденсатор включается через собственный предохранитель. Расчетная мощность БСК 4.9 мВАр. Каждая фаза батареи шунтирована однофазным трансформатором ОМ-1.25/10 (ТНА, ТНВ, ТНС), вторичные обмотки которых соединены в разомкнутый треугольник. На выходе треугольника выделяется напряжение пропорциональное напряжению смещения нейтрали ($3U_0$), на которое включена балансная защита, специфическая для такой схемы БСК. При одинаковых сопротивлениях фаз батареи – все конденсаторы исправны – напряжение нейтрали равно нулю. Если повредится один из конденсаторов, сопротивление этой фазы возрастает, нарушается баланс фазных напряжений, и на выходе схемы появляется напряжение небаланса, на которое реагирует балансная защита.

Шунтирующие фазы трансформаторы являются также разрядными сопротивлениями, разряжающими конденсаторы при снятии напряжения с батареи.

На напряжении 6 кВ могут быть использованы 4 ряда таких конденсаторов и шунтирующий фазу и измерительный трансформатор ОМ-1.25/6.

Батарея конденсаторов 35 кВ имеет 24 ряда конденсаторов КС-2-1.05-60. Параллельно фазе включается трансформатор напряжения НОМ-35, который используется для подключения балансной защиты.

Из конденсаторов КС-2-1.05-60 может быть набрана и батарея напряжением 110кВ. Такая батарея работает с глухозаземленной нейтралью и имеет 72 ряда конденсаторов КС-2-1.05-60. Фаза шунтируется трансформатором напряжения НКФ-110. Поскольку нейтраль заземлена наглухо, выполнить балансную защиту по старому принципу невозможно. Взамен этого выполняется дифференциальная защита по напряжению. Для этой цели ряды конденсаторов делятся пополам, и к середине подключается трансформатор напряжения НОМ-35, см. рис.15.3.

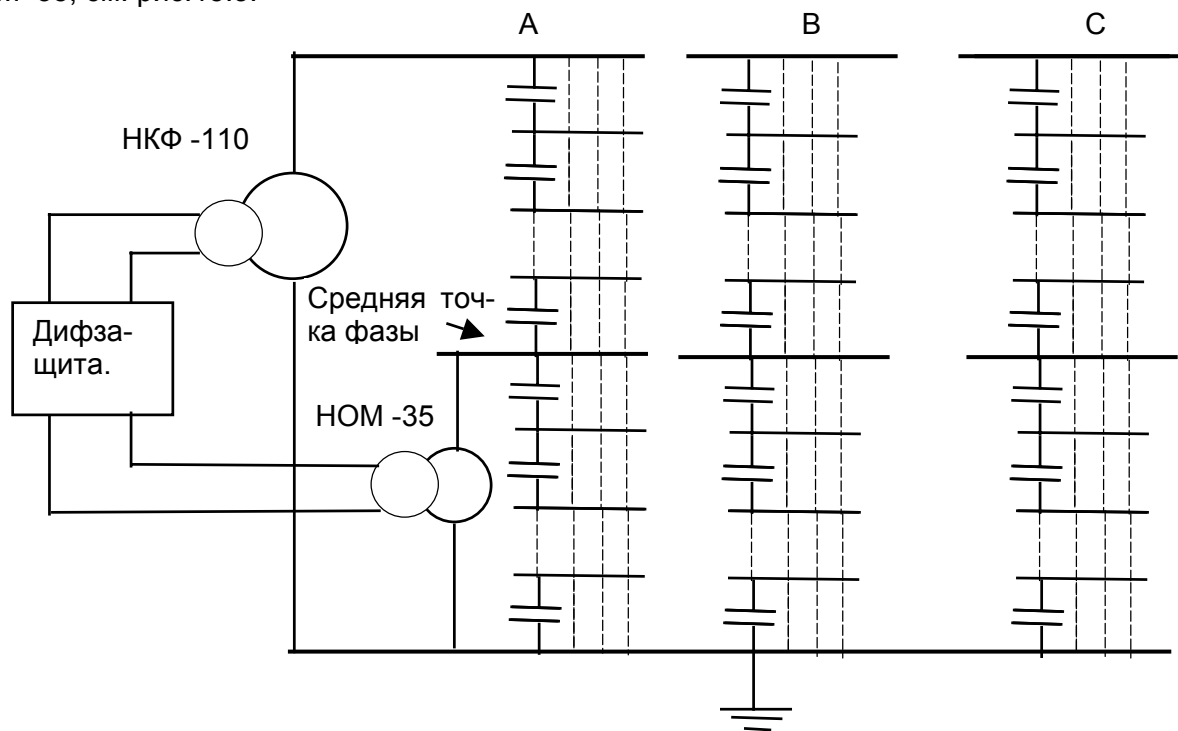


Рис 15.3. Схема подключения ТН 110 и 35 кВ в БСК 110 для выполнения дифференциальной защиты.

Дифференциальная защита включается на разность напряжений двух ТН. Напряжения балансируются с помощью потенциометра, установленного со стороны НКФ-110, таким образом, чтобы при нормальном режиме напряжения, подаваемые от обеих ТН, были равны, а их разность была равна нулю. При повреждении конденсатора в верхней или нижней части схемы распределение напряжений изменяется и в реле дифзащиты появляется напряжение небаланса.

При подаче напряжения на батарею возникает ток включения, зависящий от емкости батареи и сопротивления сети. Ориентировочно ток включения батареи определяется по формуле:

$$I_{\text{вкл.бск}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.бск}} \cdot \left(K_u + \sqrt{\frac{W_{\text{кз}}}{Q_{\text{н.бск}}}} \right) \quad (15.2)$$

Где $I_{\text{вкл.бск}}$ - амплитудное значение тока включения БСК,

$I_{\text{ном.бск}}$ - номинальный ток БСК,

$W_{\text{кз}}$ - мощность КЗ на шинах, в месте установки БСК,

$Q_{\text{н.бск}}$ - номинальный ток БСК,

K_u - коэффициент загрузки конденсаторов по напряжению.

$$K_u = \frac{U_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{н.к.}}} \quad (15.3)$$

Где; $U_{\text{расч}}$ – расчетное напряжение конденсаторной батареи: 6.6, 11, 38.5 кВ,
 n – количество рядов,

$U_{\text{н.к.}}$ – номинальное напряжение конденсатора.

Используя для примера изображенную на рис. 2 батарею мощностью 4.9 мВАр и приняв мощность КЗ на шинах 10кВ, куда подключена батарея 300мВА, можем определить:

Номинальный ток батареи:

$$I_{\text{ном.бск}} = 4.9 / (\sqrt{3} \cdot 11) = 0.257 \text{ кА.}$$

Коэффициент загрузки конденсаторов по формуле 15.2:

$$K_u = 11 / (\sqrt{3} \cdot n \cdot 1.05) = 0.864.$$

При выборе выключателя для БСК действительный коэффициент загрузки по напряжению в формуле 15.2 не учитывается, он принимается равным 1.

Амплитудное значение тока включения для выбора релейной защиты:

$$I_{\text{вкл.бск}} = \sqrt{2} \cdot 0.257 \cdot [0.864 + \sqrt{(300/4.9)}] = 3.16 \text{ кА}$$

Если принять K_u равным 1, то ток включения будет равным **3.20кА**. Таким образом, без вычисления K_u можно обойтись.

При наличии двух батарей, каждая из которых со своим выключателем могут возникнуть большие токи, чем в первом случае. Расчетным режимом является режим, когда одна батарея уже включена и включается другая. В этом случае ток определяется по формуле:

$$I_{\text{вкл}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_p \cdot C_1}{\sqrt{3} \cdot X_0 \cdot (C_0 + C_1)} \sqrt{\frac{1}{314^2 (L_0 + L_p) C}} \quad (15.4)$$

$$C = \frac{C_0 \cdot C_1}{C_0 + C_1} \quad (15.5)$$

В этих формулах

U_p – расчетное напряжение батареи,

X_0 – расчетное сопротивление раннее включенной батареи Ом,

C_0 – емкость ранее включенной батареи Ф.

C_1 – емкость включаемой батареи Ф,

L_0 – индуктивность ошиновки между включаемыми батареями Г (удельную индуктивность ошиновки можно принять равной 1.27×10^{-6} Г/м).

L_p – индуктивность дополнительного токоограничивающего реактора в цепях батарей.

Для примера предположим, что устанавливаются 2 батареи одинаковой величины из предыдущего примера $Q=4.9$ мВАр 10кВ, каждая фаза из которых состоит из 7 рядов конденсаторов по четыре в ряду, и подсчитаем ток включения. Длину ошиновки между батареями примем равной 200м. Емкость одиночного конденсатора - 362 мкф.

Емкость фазы батареи

$$C_0 = C_1 = C_k \cdot 4 / 7 = 302 \cdot 4 / 7 = 207 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Соответственно емкость двух параллельных батарей:

$$C = 207 / 2 = 103.5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Реактивное сопротивление фазы батареи:

$$X_o = 1 / (\omega * C_o) = 1 / (314 * 207 * 10^{-6}) = 15.4 \text{ Ом.}$$

Индуктивность связи между батареями

$$L_o = 1/27 * 10^{-6} * 200 = 254 * 10^{-4} \text{ Г.}$$

Подставив найденные величины в формулу 15.4 получим амплитудную величину тока включения.

$$I_{вкл} = \frac{\sqrt{2} * 11}{\sqrt{3} * 15.4 * 2} \sqrt{\frac{1}{314^2 * 2.54 * 10^{-4} * 103.5 * 10^{-6}}} = 5.72 \text{ кА}$$

Ток включения второй батареи получился значительно больше, чем первой (3.2кА).

Для уменьшения тока включения в цепь питания БСК включают токоограничивающие реакторы, в качестве которых часто применяются катушки высокочастотных заградителей. Например, включив в фазы одного из БСК реакторы РЗ-1000-0.6, получим ток:

$$I_{вкл} = \frac{\sqrt{2} * 11}{\sqrt{3} * 15.4 * 2} \sqrt{\frac{1}{314^2 * (2.54 * 10^{-4} + 0.6 * 10^{-3}) * 103.5 * 10^{-6}}} = 3.13 \text{ кА}$$

Операции с выключателем при включении батареи часто являются определяющими при выборе выключателя. Выбор выключателя определяется по режиму повторного зажигания выключателя, когда между контактами выключателя может возникнуть удвоенное напряжение – напряжение заряда конденсатора с одной стороны и напряжение в сети в противофазе с другой стороны. Ток повторного зажигания для выключателя получается умножением тока включения на коэффициент перенапряжения «К». Если используется выключатель того же напряжения, что и БСК, коэффициент К равняется 2.5. Часто для включения батареи 6-10кВ используют выключатель повышенного напряжения 35 кВ. В этом случае коэффициент К равняется 1.25.

$$I_{пз} = K * I_{вкл. макс} \quad (15.6)$$

При выборе выключателя, его номинальный ток (амплитудное значение) должен быть равен или больше расчетного отключаемого тока при повторном зажигании. Расчетный отключающий ток зависит от типа выключателя и равен:

$$I_{откл. расч.} = I_{пз} \quad \text{для воздушных выключателей;} \quad (15.7)$$

$$I_{откл. расч.} = I_{пз} / 0.3 \quad \text{для масляных выключателей.} \quad (15.8)$$

Сведения о таких же параметрах для вакуумных или элегазовых выключателей у авторов отсутствуют и их необходимо получать у фирмы – изготовителя выключателя.

Для примера произведем проверку параметров выключателя для токов включения, рассчитанных ранее, при применении масляного выключателя 10кВ с током отключения 20кА в действующих величинах или 28.3кА в амплитудных (ВМП-10-630-20).

а) Одна батарея 4.9 мВАр.

Ток повторного зажигания:

$$I_{пз} = 2.5 * 3.20 = 8.00 \text{ кА}$$

Расчетный ток отключения:

$$I_{откл. расч.} = 8.00 / 0.3 = 26.7 \text{ кА}$$

Может быть использован масляный выключатель напряжением 10кВ.

б) Две батареи по 4.9 мВАр.

Ток повторного зажигания:

$$I_{пз} = 2.5 * 5.72 = 14.3 \text{ кА}$$

Расчетный ток отключения:

$$I_{откл. расч.} = 14.3 / 0.3 = 47.6 \text{ кА}$$

Выключатель не может быть использован для включения БСК.

Можно использовать масляный выключатель напряжением 35 кВ, у которого расчетный ток отключения будет в 2 раза меньше (K=1.25 вместо 2.5)

$$I_{пз} = 1.25 * 5.72 = 7.15 \text{ кА}$$

$$I_{откл. расч.} = 7.15 / 0.3 = 23.8 \text{ кА}$$

Можно в цепи одной из батарей установить реактор. При установке реактора РЗ-1000-0.6 ток включения будет 3.13кА:

$$I_{пз} = 2.5 * 3.13 = 7.82 \text{ кА}$$

$$I_{откл. \text{ расч.}} = 7.82 / 0.3 = 26 \text{ кА}$$

Таким образом, выбор выключателя для батареи иногда представляет собой сложную задачу. Следует иметь в виду, что таким требованиям должен соответствовать вводной и секционный выключатель, которыми также может быть подано напряжение на включенную конденсаторную батарею.

В ряде случаев, особенно при установке БСК на действующей подстанции, для того, чтобы избежать замены этих выключателей выполняют блокировку, отключающую выключатель БСК перед включением или отключением СВ или ввода.

15.2. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА БСК

15.2.1. Токовая отсечка

Токовая отсечка является основной защитой от замыканий между выводами батареи. Ток срабатывания токовой отсечки для быстродействующих защит (например на РТ-40 без дополнительной задержки) выбирается по условию отстройки от амплитудного тока включения.

$$I_{сз} = K_H * I_{вкл} \quad (15.9)$$

$K_H = 1.5$ – коэффициент надежности

$I_{вкл}$ – ток включения определенный по формуле 15.2 или 15.4.√

Для микропроцессорных защит, в которых вычисляется действующее значение за период и имеющих время срабатывания 0.05 сек или более, можно определить ток срабатывания по действующему значению тока

$$I_{вкл. \text{ действ.}} = I_{вкл} / \sqrt{2}$$

Проверяется чувствительность отсечки по току двухфазного короткого замыкания на выводах при КЗ в минимальном режиме:

$$Kч = I_{(2) \text{ КЗ мин.}} / I_{сз} \quad (15.10)$$

Коэффициент чувствительности должен быть равен 2.

Если требуемая чувствительность не обеспечивается, то дополнительно к токовой отсечке выполняется вторая ступень с выдержкой времени 0.3-0.5 сек. Ток срабатывания выбирается исходя из условия обеспечения необходимой чувствительности $Kч=2$.

$$I_{сз} = I_{(2) \text{ КЗ мин.}} / 2 \quad (15.11)$$

15.2.2. Максимальная защита

Ток срабатывания максимальной защиты выбирается по условию отстройки от номинального тока батареи.

$$I_{сз} = K_H * I_{ном.бск} / K_v.$$

K_H - Коэффициент надежности принимается равным 1.2.

Коэффициент возврата соответствует примененной аппаратуре.

Для реле РТ 40

$$I_{сз} = 1.2 K_H * I_{ном.бск} / 0.8 = 1.5 I_{ном.бск}$$

Для микропроцессорных защит с $K_v = 0.95$

$$I_{сз} = 1.25 I_{ном.бск}$$

Еще одним условием выбора уставки максимальной защиты, является требование выполнения защиты от перегрузки токами высших гармоник с током равным $1.3 I_{ном.бск}$. Максимальная защита вполне может выполнить эту функцию, если на ней можно установить соответствующую уставку. Реле, применяемое для этой цели, должно реагировать на токи высших гармоник, например: УЗА-10 и большинство других микропроцессорных защит.

Токовые защиты выполняются в трехфазном трехрелейном исполнении для БСК 35-110 кВ и в двухфазном двухрелейном для БСК 6-10кВ.

15.2.3. Защита от замыканий на землю

Защита от замыканий на землю выполняется по току нулевой последовательности, так же как и защита других фидеров. Реально ее можно выполнить на трансформаторе тока нулевой последовательности при наличии кабельного вывода на батарею.

15.2.4. Защита от повышения напряжения

Защита от повышения напряжения действует при повышении напряжения свыше допустимого 110% номинального. Отключение батареи производится с выдержкой времени 3-5 минут. Фактически защита от повышения напряжения имеет функции защиты батареи от перегрузки по напряжению. Поэтому, после срабатывания защиты от повышения напряжения, повторное включение батареи разрешается после снижения напряжения в сети до номинального, но не ранее чем через 5 минут.

$$U_{сз} = 1.1 U_{ном} \quad t_{сз} = 3-5 \text{ мин.} \quad (15.12)$$

В данном случае за номинальное напряжение принимается номинальное напряжение конденсаторов. Защита от повышения напряжения не требуется, если при повышении напряжения к единичному конденсатору не может быть приложено напряжение, превышающее 110% $U_{ном}$.

15.2.5. Балансная защита

Балансная защита используется для БСК напряжением 6-35 кВ, если батарея собрана из нескольких рядов единичных конденсаторов см. рис 15.2. Эта защита предназначена для защиты от внутренних повреждений, когда замыкается 1 ряд или в ряду повреждается конденсатор. В последнем случае на оставшихся в ряду конденсаторах возникает повышенное напряжение и балансная защита не должна допустить повышения этого напряжения свыше допустимого. Как уже говорилось, балансная защита представляет собой фильтр напряжения нулевой последовательности представляющий собой вторичные обмотки трех трансформаторов напряжения шунтирующих фазы, собранные в разомкнутый треугольник см. рис. 15.4.

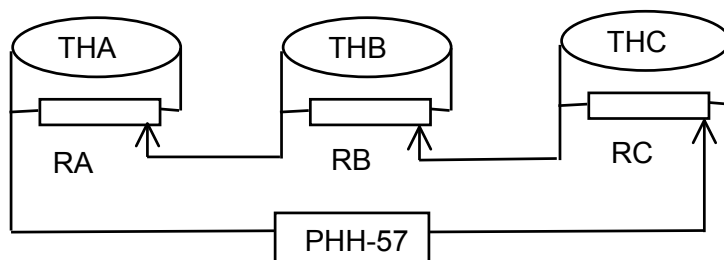


Рис. 15.4. Схема включения балансной защиты для БСК-10кВ.

Для БСК 35 кВ, подключаемой через НОМ 35 кВ, выравнивающие резистора не применяются.

На выходе схемы получается сумма напряжений трех фаз, которая при симметричной системе равно 0. Потенциометры RA, RB, RC, служат для компенсации исходной несимметрии напряжений. На выходе устанавливается реле оснащенное фильтром первой гармоники, так как на выходе фильтра 3U₀ выделяются кратные 3 гармоники, которые не должны попасть на реле, так как отстройка от них недопустимо заглубляет защиту. В данной схеме применено реле РНН-57 ЧЭАЗ. Защита должна срабатывать, если перегрузка по напряжению единичного конденсатора в ряду превышает допустимую. Для этого напряжение срабатывания реле должно быть равно:

$$U_p = K_n \cdot (\beta - K_u) \cdot U_{нк} / K_{тв}. \quad (15.13)$$

Где:

K_n - Коэффициент надежности принимается равным 0.9 – 0.95.

β - Коэффициент допустимой перегрузки конденсатора по напряжению, принимается для БСК-10 равной 1.15, а для БСК-35 - 1.4. Большая цифра для БСК 35 определяется тем, что при значительном количестве рядов повышается вероятность того, что будут одновременно повреждены конденсаторы в разных рядах.

Ku – коэффициент загрузки конденсатора по напряжению определяется по формуле 15.3.

Unк – номинальное напряжение единичного конденсатора.

Kтв – Коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Например, для БСК 10кВ выполненной из конденсаторов КГ-2-1/05-60 и содержащей 7 рядов конденсаторов в фазе, с защитой, включенной через трансформаторы ОМ –1.25/10 имеющей коэффициент трансформации 10/ 0.23, напряжение срабатывания будут равно:

$$U_p = 0.9 * \left(1.15 - \frac{11}{\sqrt{3} * 7 * 1.05} \right) * \frac{1050}{10/0.23} = 6.3B$$

Если такую защиту выполнить для БСК-35 кВ и подключить реле через НОМ 35 кВ с коэффициентом 35/ 01 получим напряжение:

$$U_p = 0.95 * \left(1.4 - \frac{38.5}{\sqrt{3} * 24 * 1.05} \right) * \frac{1050}{35/0.1} = 1.49B$$

Реле РНН-57 имеет минимальную уставку 4В, поэтому его нужно включить через промежуточный трансформатор 110 / 380.

Тогда получится уставка:

$$U_p = 0.95 * \left(1.4 - \frac{38.5}{\sqrt{3} * 24 * 1.05} \right) * \frac{1050 * 380 / 110}{35/0.1} = 5.15B$$

Такую уставку уже можно выполнить на реле.

15.2.6. Дифференциальная защита для БСК-110кВ

Упрощенная схема подключения защиты показана на рис.15.5.

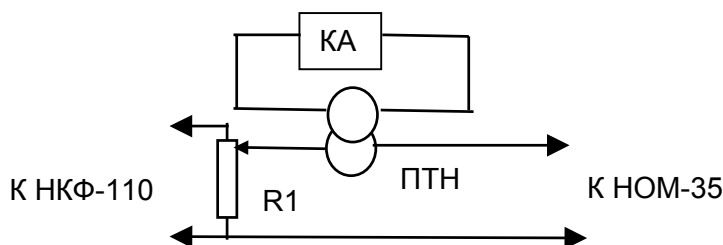


Рис. 15.5. Схема включения дифференциальной защиты одной фазы БСК 110.

R1 – потенциометр для выравнивания величин напряжения,

ПТН – промежуточный трансформатор с коэффициентом трансформации 1/2,

КА – токовое реле типа РТЗ -51.

На схему подается напряжение от ТН 110 кВ, подключенного на фазу БСК. В принципе может быть использован и шинный ТН, однако в этом случае не обеспечивается быстрый разряд батареи и понижается надежность работы защиты. При номинальном напряжении на шинах 110кВ на схему поступает 100 В.

С другой стороны на схему подается напряжение от трансформатора НОМ-35, подключенного точно к середине фазы. На вход НОМ 35 подается половина фазного напряжения, при номинальном напряжении на шинах напряжение на ТН будет равно:

$$U_{вх} = 110 / (2 * \sqrt{3}) = 31.8 \text{ кВ первичн.}$$

Вторичное напряжение при этом будет $31.8 / 350 = 90.8 \text{ В}$.

Напряжения уравниваются с помощью потенциометра R1, подключенного на сторону ТН-110 на котором вторичное напряжение выше.

Трансформатор ПТН используется для увеличения в 2 раза напряжения, подаваемого на реле. Взамен реле напряжения применено токовое реле РТЗ-51, так как отсутствует реле напряжения с нужной уставкой.

При повреждении конденсатора в верхней или нижней части батареи баланс батареи нарушается и на реле защиты появляется напряжение.

Необходимая уставка на реле по напряжению определяется по формуле:

$$U_p = K_n * K_{мп} * (\beta - K_u) * \frac{U_{нк}}{2 * K_{тв}^{35}} \quad (15.14)$$

Где: K_n - Коэффициент надежности принимается равным 0.95.

β - Коэффициент допустимой перегрузки конденсатора по напряжению, Принимается равным 1.4 для уменьшения вероятности ложной работы защиты при одновременном повреждении конденсаторов в разных рядах одной из половин фазы батареи.

K_u – коэффициент загрузки конденсатора по напряжению определяется по формуле 15.3.

$U_{нк}$ – номинальное напряжение единичного конденсатора.

$K_{тв}^{35}$ - Коэффициент трансформации трансформатора напряжения НОМ-35.

Определим уставку реле по напряжению.

$$U_p = 0.95 * \left(1.4 - \frac{121000}{\sqrt{3} * 72 * 1050} \right) * \frac{1050}{2 * 35000 / 100} = 1.35В$$

Уставка получилась 1.35В. Реле напряжения с такой уставкой выполнено быть не может, поэтому пришлось использовать взамен реле напряжения токовое реле. Это реле должно иметь в своей схеме фильтр основной гармоники для исключения высших гармонических составляющих в токе небаланса.

Следует обратить внимание на некоторые недостатки такой схемы защиты:

При исчезновении одного из напряжений на реле выделяется полное напряжение, которое вызовет его перегорание. Поэтому цепи напряжения подключаются через автомат, по которому проходят одновременно цепи обоих ТН одной фазы. При использовании для этой защиты шинных ТН требуется специальная схема реле повторителей, обеспечивающая одновременное снятие напряжения от ТН-110 и ТН-35 при оперативных переключениях. Цепи от шинного ТН должны проходить через отдельные автоматы для каждой фазы, минуя основной автомат, совместно с фазой от ТН-35кВ подключенного к средней точке фазы батареи. Подробная схема защиты может быть взята из ранее упомянутой работы Белорусского отделения Энергосетьпроект: «Шунтовые конденсаторные батареи 6-110кВ» 1984 год.

15.3. Выбор аппаратуры для защиты БСК

Из сказанного в предыдущих разделах можно сформулировать следующие требования к аппаратуре релейной защиты для БСК:

- Токовая отсечка может реагировать на амплитудное или действующее значение тока, необходимо только знать, на что именно реагирует аппаратура, для того чтобы правильно выбрать уставки.
- Максимальная защита должна реагировать на сумму основной и высших гармоник, это позволит использовать ее как защиту от перегрузки токами высших гармоник.
- Защита от повышения напряжения реагирует на повышение линейного напряжения.
- Защита от замыкания на землю выполняется при выполнении такой же защиты на отходящих фидерах по принципам, принятым для всей подстанции.

Этими требованиями заканчиваются требования к защите БСК 6-10кВ, выполненной с конденсаторами, рассчитанными на полное рабочее напряжение и собранные по схеме треугольника.

Если батарея собирается из отдельных конденсаторов соединенных в ряды, которые соединяются последовательно, то возникает еще одна задача: защита БСК от внутренних повреждений. Для таких защит используется балансная защита для БСК напряжением до 35кВ, или дифференциальная защита для БСК напряжением 110кВ.

Выполнение такой защиты возможно на специально разработанных реле, которые имеют высокую чувствительность и фильтр основной гармоники, который устраняет из тока небаланса составляющие высших гармоник. В проекте применены реле РНН-57 и РТЗ-50(51) которые обладают необходимыми свойствами.

Схема защиты БСК может быть собрана на отдельных реле или применено комплектное устройство, содержащее необходимые защиты. Минимальный набор защит максимальная защита, и токовая отсечка в двухфазном исполнении - для БСК-6-10кВ. Это может быть микроэлектронная УЗА АТ или РС-80, микропроцессорные УЗА –10, УЗА 10А.2 производства Энергомашвин. Микропроцессорный вариант предпочтительней для конденсаторных батарей, которые нужно защищать от перегрузки токами высших гармоник, так как они реагируют на суммарную величину основной и высокочастотных гармонических составляющих. Можно применить более дорогую аппаратуру других производителей.

Если требуется защита от повышения напряжения, Энергомашвин предлагает микроэлектронную УЗА АН или микропроцессорную УЗА-10В.2, на которых такая защита может быть выполнена, учитывая наличие вариантов с различной модификацией. Можно также выбрать наиболее дешевый, если другие функции не нужны.

Если необходимо защитить БСК 35-110кВ, то требуется трехфазное реле тока, Энергомашвин может предложить трехфазное микропроцессорное реле тока УЗА-10А.2. и микропроцессорное реле УЗА-10В.2 для защиты от повышения напряжения. Для балансной или дифференциальной защиты можно предусмотреть предлагаемые проектом реле РНН-57 или РТЗ-51. При выборе аппаратуры других производителей, необходимо проверить, что это устройство реагирует только на первую гармонику тока или напряжения и имеет нужную минимальную уставку.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение П1

Условные обозначения, применяемые на электрических схемах

Обозначение	Наименование элемента
AV	Устройство регулирования напряжения
AC	Устройство АВР
AK	Устройство (комплект) реле токовых защит
AKБ	Устройство блокировки типа КРБ
AKS	Устройство АПВ
AKV	Устройство комплектное продольной дифзащиты ЛЭП
AKZ	Устройство комплектное реле сопротивления
AR	Устройство комплектное реле УРОВ
C	Конденсатор
EA1	Шинка вспомогательная (711)
EA2	Шинка вспомогательная (713)
EAH	Шинка вспомогательная собирательная
EAA	Шинка вспомогательная напряжения (A790)
EAC	Шинка вспомогательная напряжения (C790)
EB	Шинка блокировки
+EC	Шинка управления «+»
-EC	Шинка управления «-»
ECS1	Шинка синхронизации (721)
ECS2	Шинка синхронизации (722)
ECS3	Шинка синхронизации (723)
ECS4	Шинка синхронизации (724)
+EN	Шинка сигнализации «+»
-EN	Шинка сигнализации «—»
EHA	Шинка сигнализации аварийной
ENP	Шинка сигнализации предупредительной
ENT	Шинка сигнализации технологической
(+)EP	Шинка мигания
EPD	Шинка съема мигания
ESI.A	Шинка напряжения синхронизации (A610)
ES1.C	Шинка напряжения синхронизации (B610)
ES2.A	Шинка напряжения синхронизации (A620)
ES2.C	Шинка напряжения синхронизации (C620)
ESD	Шинка напряжения синхронизации (A780)
EV1A	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в звезду)
EVI.B	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в звезду, B600)
EV1.C	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в звезду, C600)
EV1.N	Шинка напряжения нейтрали (IT с обмотками, соединенными в звезду, C600)
EVLH	Шинка напряжения нейтрали (IT с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник, H600)
EV1.U	Шинка напряжения нейтрали (IT с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник, I606)
EV1.K	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник)
EVL.F	Шинка напряжения (IT с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник)
EVM.1	Шинка защиты минимального напряжения (011)
EVM.2	Шинка защиты минимального напряжения (013)
EY	Шинка питания приводов выключателей
HL	Прибор световой сигнализации
HLA	Световое табло
HLG	Лампа с линзой зеленой
HLR	Лампа с линзой красной
HLW	Лампа с линзой белой
HV	Ионный полупроводниковый сигнализатор
FU	Плавкий предохранитель
FV	Разрядник
K	Реле
KA	Реле тока
KAT	Реле тока с насыщающимся трансформатором

Обозначение	Наименование элемента
<i>KAW</i>	Реле тока с торможением
<i>KAZ</i>	Реле тока фильтровое
<i>KB</i>	Реле блокировки
<i>KN</i>	Реле указательное
<i>KNA</i>	Реле импульсной сигнализации
<i>KL</i>	Реле промежуточное, исполнительный орган
<i>KM</i>	Контактор, пускатель
<i>KQC</i>	Реле положения «Включено»
<i>KQT</i>	Реле положения «Отключено»
<i>KSG</i>	Реле газовое
<i>KSV</i>	Реле контроля цепей напряжения
<i>KT</i>	Реле времени
<i>KV</i>	Реле напряжения
<i>KW</i>	Реле мощности
<i>KZ</i>	Реле сопротивления
<i>L</i>	Реактор, дроссель, дугогасящая катушка
<i>M</i>	Двигатель
<i>PA</i>	Амперметр
<i>PC</i>	Счетчик импульсов
<i>PF</i>	Частотомер
<i>PHE</i>	Указатель положения
<i>PO</i>	Осциллограф
<i>PQ</i>	Указатель РПН
<i>PS</i>	Синхроскоп
<i>PT</i>	Секундомер, часы
<i>PTY</i>	Секундомер электрический (с электромагнитным приводом)
<i>PTY</i>	Секундомер электронный
<i>PV</i>	Вольтметр
<i>PW</i>	Ваттметр
<i>R</i>	Резистор
<i>RP</i>	Потенциометр
<i>RR</i>	Реостат
<i>Q</i>	Рубильник, выключатель силовых цепей
<i>S</i>	Рубильник, выключатель вспомогательных цепей, коммутационное устройство
<i>SA</i>	Переключатель, ключ вторичных цепей
<i>SAB</i>	Переключатель, ключ в цепях блокировки
<i>SB</i>	Кнопка
<i>SF</i>	Автоматический выключатель
<i>SX</i>	Накладка оперативная
<i>T</i>	Трансформатор
<i>TA</i>	Трансформатор тока
<i>TAN</i>	Трансформатор тока нулевой последовательности
<i>TAV</i>	Трансреактор
<i>TL</i>	Трансформатор промежуточный, нагрузочный, безопасности
<i>TUV</i>	Трансформатор регулировочный
<i>TV</i>	Трансформатор напряжения
<i>UV</i>	Фазорегулятор, преобразователь напряжения
<i>UVM</i>	Фазорегулятор моторный
<i>V</i>	Электронный прибор
<i>VC</i>	Выпрямитель
<i>VD</i>	Диод, стабилитрон
<i>VL</i>	Электровакуумный прибор
<i>VS</i>	Тиристор
<i>VT</i>	Транзистор
<i>X</i>	Устройство соединительное
<i>XA</i>	Испытательный блок
<i>XG</i>	Испытательный зажим
<i>XN</i>	Соединение неразборное
<i>XP</i>	Соединение контактное, штырь
<i>-KS</i>	Соединение контактное, гнездо
<i>SG</i>	Блок испытательный
<i>SQ</i>	Путевой выключатель конечный
<i>XT</i>	Соединение разборное
<i>XW</i>	Соединение ВЧ
<i>YAC</i>	Электромагнит включения
<i>YAT</i>	Электромагнит отключения

Приложение П2.

Латинские и старые русские обозначения элементов первичных и вторичных схем

Наименование оборудования, аппаратуры	Латинское обозначение	Русское обозначение
Трансформатор, автотрансформатор	<i>T</i>	Т, АТ
Линия электропередачи	<i>W</i>	ВЛ
Двигатель	<i>M</i>	Д
Выключатель	<i>Q</i>	В
Магнитный пускатель, контактор	<i>QYA</i>	ПМ
Разъединитель заземляющий (стационарный)	<i>QSG</i>	ЗН
Разрядник	<i>FV</i>	Разр., Р
Трансформатор напряжения	<i>TU</i>	ТН
Трансформатор отбора напряжения	<i>TL V</i>	ТОН
Электромагнит включения (в приводе масляного выключателя)	<i>YMC</i>	ЭВ
Контактор включения (электромагнит включения в приводе воздушного выключателя)	<i>YAC</i>	КП, ЭВ
Электромагнит отключения	<i>YAT</i>	ЭО, КО
Автоматический электродвигательный редуктор	<i>ABM</i>	АМР, АДР
Рубильник	<i>S</i>	Руб., Р
Рубильник заземляющий	<i>SG</i>	ЗР
Ключ управления	<i>SA</i>	КУ
Кнопка управления	<i>SB</i>	КН
Накладка оперативная, отключающее устройство	<i>SX</i>	Н, ОУ
Вспомогательный контакт; выключатель, срабатывающий при достижении заданного положения (концевой, путевой)	<i>SQ</i>	БК, ВК
Вспомогательный контакт в цепи электромагнита включения	<i>SQC</i>	БКВ
Вспомогательный контакт в цепи электромагнита отключения	<i>SQT</i>	БКО
Вспомогательный контакт готовности пружин, управляемый электродвигателем завода пружин АВМ	<i>SQY</i>	КГП
Вспомогательный контакт, фиксирующий аварийное отключение выключателя замыкается при любом включении выключателя, а размыкается только от ключа управления или ТУ)	<i>SQA</i>	БКА
Вспомогательный контакт, замыкающийся при отключении выключателя	<i>SQK</i>	БКД
Вспомогательный контакт, замыкающийся при включении выключателя; осуществляет пуск двигателя АВМ	<i>SQM</i>	ВК
Блок питания	<i>UG</i>	БП
Устройство зарядное	<i>AU</i>	УЗ
Блок конденсаторный зарядный	<i>CG</i>	БК
Выпрямительный мост	<i>VS</i>	В
Плавкий предохранитель	<i>F</i>	ПП
Реле промежуточное	<i>KL</i>	РП
Реле времени	<i>KT</i>	РВ
Реле фиксации положения выключателя	<i>KQ</i>	РФ
Реле указательное	<i>KH</i>	РУ
Реле команды ВКЛЮЧИТЬ	<i>KCC</i>	РКВ
Реле команды ОТКЛЮЧИТЬ	<i>KCT</i>	РКО
Реле положения ВКЛЮЧЕНО	<i>KQC</i>	РПВ
Реле положения ОТКЛЮЧЕНО	<i>KQT</i>	РПО
Реле контроля напряжения на шинах	<i>KVA</i>	РНШ
Реле контроля синхронизма	<i>KSS</i>	РКС
Реле контроля напряжения на линии	<i>KVW</i>	РНЛ
Электротепловое реле (термореле)	<i>KST</i>	РТ°
Контактный манометр	<i>BP</i>	КМ
Счетчик	<i>PC</i>	Сч
Диод	<i>VD</i>	Д
Устройство АПВ	<i>AKS</i>	АПВ
Вольтметр	<i>PV</i>	V
Амперметр, миллиамперметр	<i>PA, PmA</i>	A, mA
Секундомер	<i>PT</i>	C

Электрические характеристики линий электропередачи, трансформаторов и некоторых видов аппаратуры защиты применяемой в СНГ.

ПЗ.1. Справочные данные проводов ВЛ и кабелей

Марка	U	R _{ом}	X _{ом}	I _{доп.}	I _с
A-35	6.30	0.850	0.366	175	0.025
A-50	6.30	0.588	0.355	210	0.025
A-70	6.30	0.420	0.345	265	0.025
АС-120	6.30	0.249	0.327	380	0.025
АС-150	6.30	0.198	0.319	445	0.025
АС-35	6.30	0.790	0.366	175	0.025
АС-50	6.30	0.603	0.355	210	0.025
АСБ-120	6.30	0.270	0.081	240	1.100
АСБ-150	6.30	0.210	0.079	275	1.300
АСБ-16	6.30	1.980	0.133	70	0.520
АСБ-25	6.30	1.280	0.099	95	0.620
АСБ-35	6.30	0.920	0.095	120	0.690
АСБ-50	6.30	0.640	0.090	140	0.770
АСБ-70	6.30	0.460	0.086	175	0.900
АСБ-95	6.30	0.340	0.083	210	1.000
ОСБ-120	6.30	0.158	0.081	310	1.100
ОСБ-150	6.30	0.123	0.079	355	1.300
ОСБ-16	6.30	1.200	0.113	90	0.520
ОСБ-25	6.30	0.740	0.099	125	0.620
ОСБ-35	6.30	0.540	0.095	155	0.690
ОСБ-50	6.30	0.390	0.090	185	0.770
ОСБ-70	6.30	0.280	0.086	225	0.900
ОСБ-95	6.30	0.200	0.083	270	1.000
ПС-25	6.30	6.850	2.430	100	0.025
ПС-35	6.30	5.200	2.070	100	0.025
ПС-50	6.30	3.700	1.490	90	0.025
A-120	10.50	0.251	0.327	380	0.025
A-150	10.50	0.198	0.319	445	0.025
A-16	10.50	1.960	0.377	105	0.025
A-185	10.50	0.161	0.311	510	0.025
A-25	10.50	1.165	0.377	130	0.025
A-35	10.50	0.850	0.366	175	0.025
A-50	10.50	0.588	0.355	210	0.025
A-70	10.50	0.420	0.345	265	0.025
A-95	10.50	0.315	0.334	330	0.025
ААШВ-120	10.50	0.000	0.000	0	0.000
ААШВ-70	10.50	0.000	0.000	0	0.000
ААШВ-95	10.50	0.000	0.000	0	0.000
АЖ-120	10.50	0.288	0.327	380	0.025
АЖ-150	10.50	0.229	0.319	445	0.025
АЖ-16	10.50	2.113	0.391	105	0.025
АЖ-185	10.50	0.185	0.311	510	0.025
АЖ-25	10.50	1.340	0.377	130	0.025
АЖ-35	10.50	0.978	0.366	175	0.025
АЖ-50	10.50	0.676	0.355	210	0.025
АЖ-70	10.50	0.475	0.345	265	0.025
АЖ-95	10.50	0.353	0.334	330	0.025
АН-120	10.50	0.266	0.327	380	0.025
АН-150	10.50	0.211	0.319	445	0.025
АН-16	10.50	1.950	0.391	105	0.025
АН-185	10.50	0.171	0.311	510	0.000
АН-25	10.50	1.236	0.377	130	0.025
АН-35	10.50	0.902	0.366	175	0.025
АН-50	10.50	0.624	0.355	210	0.025
АН-70	10.50	0.434	0.345	270	0.025
АН-95	10.50	0.326	0.334	330	0.025
АС-120	10.50	0.249	0.327	380	0.025
АС-150	10.50	0.199	0.319	445	0.025

П3.1. Справочные данные проводов ВЛ и кабелей продолжение

Марка	U	R_{ом}	X ом	I_{доп.}	I_с
АС-16	10.50	1.960	0.400	105	0.025
АС-185	10.50	0.157	0.311	510	0.025
АС-240	10.50	0.124	0.369	610	0.025
АС-25	10.50	1.176	0.377	130	0.025
АС-35	10.50	0.790	0.366	175	0.025
АС-50	10.50	0.603	0.355	210	0.025
АС-70	10.50	0.429	0.345	265	0.025
АС-95	10.50	0.306	0.334	330	0.025
АСБ-120	10.50	0.245	0.081	310	1.100
АСБ-150	10.50	0.191	0.079	355	1.300
АСБ-16	10.50	1.940	0.133	95	0.520
АСБ-185	10.50	0.159	0.077	400	1.400
АСБ-240	10.50	0.122	0.075	460	1.600
АСБ-25	10.50	1.240	0.099	120	0.620
АСБ-35	10.50	0.890	0.095	150	0.690
АСБ-50	10.50	0.588	0.090	180	0.770
АСБ-70	10.50	0.420	0.086	215	0.900
АСБ-95	10.50	0.310	0.083	265	1.000
Ж-35	10.50	4.670	2.770	75	0.000
Ж-4	10.50	15.200	13.100	30	0.000
Ж-5	10.50	11.500	9.000	35	0.000
Ж-6	10.50	8.700	5.000	40	0.000
М-10	10.50	1.790	0.381	95	0.000
М-120	10.50	0.154	0.292	485	0.000
М-150	10.50	0.122	0.287	570	0.000
М-16	10.50	1.130	0.358	110	0.000
М-185	10.50	0.099	0.280	650	0.000
М-25	10.50	0.720	0.345	180	0.000
М-35	10.50	0.515	0.336	220	0.000
М-50	10.50	0.361	0.325	270	0.000
М-6	10.50	3.060	0.397	70	0.000
М-70	10.50	0.267	0.309	340	0.000
М-95	10.50	0.191	0.300	415	0.000
ПС-25	10.50	6.850	2.430	100	0.025
ПС-35	10.50	5.200	2.070	100	0.025
ПС-50	10.50	3.700	1.490	90	0.025
ПС-70	10.50	2.330	1.130	125	0.025
ПС-95	10.50	1.870	0.740	150	0.025
ПСО-4	10.50	17.300	13.659	15	0.025
ПСО-5	10.50	11.000	5.600	20	0.025
СБ-120	10.50	0.153	0.081	240	1.100
СБ-150	10.50	0.122	0.079	275	1.300
СБ-16	10.50	1.150	0.113	75	0.520
СБ-185	10.50	0.099	0.077	310	1.400
СБ-240	10.50	0.077	0.075	315	1.600
СБ-25	10.50	0.740	0.099	90	0.620
СБ-35	10.50	0.520	0.095	115	0.690
СБ-50	10.50	0.370	0.090	140	0.770
СБ-70	10.50	0.260	0.086	165	0.900
СБ-95	10.50	0.194	0.083	205	1.000
АЖ-150	35.00	0.229	0.319	445	0.025
АОСБ-120	35.00-	-0.261	0.120	200	4.400
АОСБ-150	35.00	0.208	0.116	220	4.800
АОСБ-70	35.00	0.447	0.137	140	3.700
АОСБ-95	35.00	0.329	0.126	175	4.100
АС-120	35.00	0.249	0.327	380	0.110
АС-150	35.00	0.199	0.319	445	0.110
АС-185	35.00	0.157	0.311	510	0.110
АС-240	35.00	0.124	0.369	610	0.110
АС-300	35.00	0.105	0.399	690	0.000
АС-35	35.00	0.790	0.366	175	0.025
АС-50	35.00	0.603	0.355	210	0.025

П3.1. Справочные данные проводов ВЛ и кабелей продолжение

Марка	U	R _{ом}	X _{ом}	I _{доп.}	I _с
АС-70	35.00	0.429	0.345	265	0.110
АС-95	35.00	0.306	0.334	330	0.110
ОСБ-120	35.00	0.149	0.081	260	4.400
ОСБ-150	35.00	0.142	0.079	510	4.800
ОСБ-185	35.00	0.097	0.077	600	5.200
ОСБ-240	35.00	0.077	0.075	650	6.300
ОСБ-70	35.00	0.265	0.137	180	3.700
ОСБ-95	35.00	0.189	0.083	230	4.100
ЦААШВ-240	35.00	0.129	0.075	460	1.760
ЦСП-150	35.00	0.206	0.079	355	1.430
АС-120	110.00	0.249	0.327	380	0.025
АС-150	110.00	0.249	0.327	380	0.110
АС-185	110.00	0.157	0.311	510	0.110
АС-400	110.00	0.078	0.391	835	0.000
АС-500	110.00	0.065	0.366	975	0.000
АСО-300	110.00	0.108	0.367	690	0.000

П3.2. Справочные данные трансформаторов с высшим напряжением 6-35 кВ

Тип.	U _{вн}	U _{нн}	S _{ном}	P _{хх}	P _{кз}	Ек%	I _{хх}
ТД-10	6.30	0.40	10	0.105	0.335	5.50	10.00
ТД-100	6.30	0.40	100	0.600	2.400	5.50	6.50
ТД-180	6.30	0.40	180	1.000	4.000	5.50	6.00
ТД-20	6.30	0.40	20	0.180	0.600	5.50	9.00
ТД-30	6.30	0.40	30	0.250	0.850	5.50	8.00
ТД-320	6.30	0.40	320	1.600	6.070	5.50	6.00
ТД-5	6.30	0.40	5	0.060	0.185	5.50	10.00
ТД-50	6.30	0.40	50	0.350	1.325	5.50	7.00
ТМ-10	6.30	0.40	10	0.105	0.335	5.50	10.00
ТМ-100	6.30	0.40	100	0.310	1.970	4.50	2.60
ТМ-160	6.30	0.40	160	0.000	0.000	0.00	0.00
ТМ-180	6.30	0.40	180	1.000	4.000	5.50	6.00
ТМ-20	6.30	0.40	20	0.180	0.600	5.50	9.00
ТМ-250	6.30	0.40	250	0.000	0.000	0.00	0.00
ТМ-320	6.30	0.40	320	1.600	6.070	5.50	6.00
ТМ-5	6.30	0.40	5	0.060	0.185	5.50	10.00
ТМ-50	6.30	0.40	50	0.350	1.330	5.50	7.00
ТСМ-100	6.30	0.40	100	0.500	2.070	4.50	6.50
ТСМ-180	6.30	0.40	180	0.800	3.200	4.50	6.00
ТСМ-20	6.30	0.40	20	0.155	0.515	4.50	9.50
ТСМ-320	6.30	0.40	320	1.350	4.850	4.50	5.50
ТСМ-35	6.30	0.40	35	2.300	0.830	4.50	8.50
ТСМ-560	6.30	0.40	560	2.000	7.200	4.50	5.00
ТСМ-60	6.30	0.40	60	0.350	1.300	4.50	7.50
НТ-200	10.50	0.40	200	0.856	3.400	5.30	5.70
ТЕ-315	10.50	0.40	315	1.150	5.450	5.80	5.60
ТМ-315	10.50	0.40	315	1.600	6.200	5.50	7.00
ТОН-160	10.50	0.40	160	0.389	2.540	4.90	2.60
ТОН-200	10.50	0.40	200	0.590	3.860	5.30	5.70
ТТУ-200	10.50	0.40	200	0.856	3.400	5.30	1.50
ТТУ-250	10.50	0.40	250	0.660	3.700	4.50	2.30
ТТУ-315	10.50	0.40	315	0.840	4.900	5.50	1.10
ТТУ-400	10.50	0.40	400	0.920	5.500	4.50	2.10
ТТУ-630	10.50	0.40	630	1.260	7.480	5.60	2.00
ТЗ-200	10.50	0.40	200	0.688	3.865	5.20	5.80
УТИ-200	10.50	0.40	200	0.870	3.800	5.00	5.80
ТМ-10	10.50	0.40	10	0.140	0.335	5.50	10.00
ТМ-100	10.50	0.40	100	0.730	2.400	5.50	6.50
ТМ-1000	10.50	0.40	1000	4.900	15.000	.50	5.00
ТМ-1385	10.50	0.40	1385	3.600	14.500	.30	3.10
ТМ-145	10.50	0.40	145	0.540	2.650	5.50	2.40
ТМ-160	10.50	0.40	160	0.540	3.100	4.70	2.40
ТМ-1600	10.50	0.40	1600	3.300	18.000	.50	1.30
ТМ-170	10.50	0.40	170	0.540	2.650	5.50	2.40

П3.2. Продолжение.

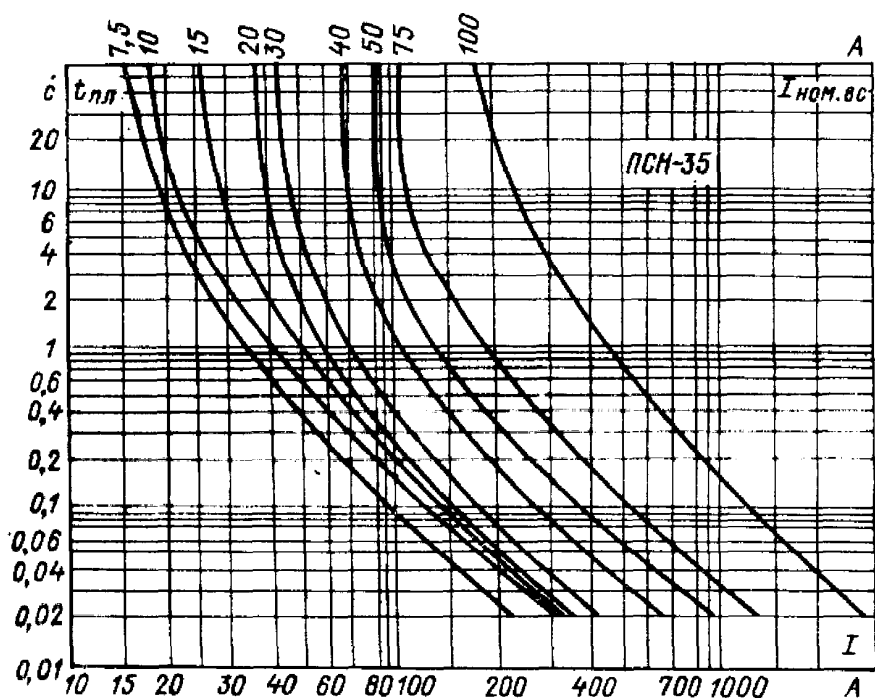
Тип.	Увн	Унн	Сном	Рхх	Ркз	Ек%	Іхх
ТМ-180	10.50	0.40	180	1.200	4.100	5.50	7.00
ТМ-1800	10.50	0.40	1800	8.000	24.000	.50	4.50
ТМ-20	10.50	0.40	20	0.220	0.600	5.50	10.00
ТМ-200	10.50	0.40	200	1.200	4.100	5.50	7.00
ТМ-25	10.50	0.40	25	0.125	0.690	4.70	3.20
ТМ-250	10.50	0.40	250	1.050	3.700	4.50	2.30
ТМ-2500	10.50	0.40	2500	6.200	25.000	5.50	3.50
ТМ-30	10.50	0.40	30	0.300	0.850	5.50	9.00
ТМ-300	10.50	0.40	300	1.500	5.000	5.50	6.00
ТМ-315	10.50	6.30	315	0.000	0.000	0.00	0.00
ТМ-320	10.50	0.40	320	1.900	6.200	5.50	7.00
ТМ-380	10.50	0.40	380	0.920	5.500	4.50	2.10
ТМ-40	10.50	0.40	40	0.180	1.000	4.70	3.00
ТМ-400	10.50	0.40	400	1.080	5.900	4.50	2.10
ТМ-4000	10.50	0.40	4000	6.400	33.500	6.50	0.90
ТМ-50	10.50	0.40	50	0.440	1.320	5.50	8.00
ТМ-560	10.50	0.40	560	2.500	9.400	5.50	6.00
ТМ-5600	10.50	0.40	5600	6.100	38.000	6.50	1.10
ТМ-60	10.50	0.40	60	0.260	1.280	5.50	2.90
ТМ-63	10.50	0.40	63	0.220	1.280	4.50	2.80
ТМ-630	10.50	0.40	630	1.680	8.500	5.50	2.00
ТМ-6300	10.50	0.40	6300	9.400	46.500	7.50	0.90
ТМ-75	10.50	0.40	75	0.290	1.400	5.50	7.50
ТМ-800	10.50	0.40	800	4.100	12.000	5.50	6.00
ТМ3-1000	10.50	0.40	1000	3.100	11.700	5.50	2.50
ТМ3-1385	10.50	0.40	1385	2.600	15.000	5.50	2.50
ТМ3-400	10.50	0.40	400	1.460	5.500	5.50	3.00
ТМ3-630	10.50	0.40	630	2.300	5.800	5.50	3.00
ТМ3-750	10.50	0.40	750	2.700	7.600	5.50	6.00
ТМН-1000	10.50	0.40	1000	2.450	12.200	.50	2.80
ТМН-1600	10.50	0.40	1600	3.300	18.000	.50	2.60
ТМН-1800	10.50	0.40	1800	3.650	18.000	.50	1.20
ТМН-2500	10.50	0.40	2500	6.200	25.000	.50	3.50
ТН3-25	10.50	0.40	25	0.120	0.490	4.50	3.00
ТН3-40	10.50	0.40	40	0.150	0.850	4.50	3.00
ТР-160	10.50	0.40	160	0.490	2.966	4.50	2.40
ТР-250	10.50	0.40	250	0.660	3.700	4.50	2.30
ТР-315	10.50	0.40	315	1.150	5.450	5.80	5.60
ТС-180	10.50	0.40	180	1.600	3.000	5.50	4.00
ТС-320	10.50	0.40	320	2.600	4.900	5.50	3.50
ТС-560	10.50	0.40	560	3.500	7.400	5.50	3.00
ТС-560	10.50	0.40	560	3.500	7.400	5.50	3.00
ТС-750	10.50	0.40	750	4.000	8.800	5.50	2.50
ТС3-1000	10.50	0.40	1000	3.000	11.200	.50	2.50
ТС3-160	10.50	0.40	160	0.700	2.700	5.50	4.00
ТС3-1600	10.50	0.40	1600	4.200	16.000	.50	2.50
ТС3-250	10.50	0.40	250	1.000	3.800	5.50	3.50
ТС3-400	10.50	0.40	400	1.300	5.400	5.50	3.00
ТС3-630	10.50	0.40	630	2.000	7.300	5.50	3.00
ТСМ-100	10.50	0.40	100	0.500	2.070	4.50	6.50
ТСМ-1000	10.50	0.40	1000	2.450	12.200	.50	1.40
ТСМ-160	10.50	0.40	160	0.540	2.650	4.50	2.40
ТСМ-180	10.50	0.40	180	1.200	4.100	5.50	7.00
ТСМ-20	10.50	0.40	20	0.150	0.530	4.50	9.50
ТСМ-200	10.50	0.40	200	1.200	4.100	5.50	7.00
ТСМ-250	10.50	0.40	250	0.780	3.700	5.50	3.50
ТСМ-30	10.50	0.40	30	0.160	0.520	4.50	9.50
ТСМ-315	10.50	0.40	315	1.500	6.200	5.50	7.00
ТСМ-320	10.50	0.40	320	1.400	4.900	.50	5.50
ТСМ-35	10.50	0.40	35	0.230	0.830	4.50	8.50
ТСМ-400	10.50	0.40	400	1.100	5.500	4.50	5.50
ТСМ-50	10.50	0.40	50	0.350	1.300	5.50	2.90
ТСМ-560	10.50	0.40	560	2.000	7.200	4.50	5.00
ТСМ-60	10.50	0.40	60	0.350	1.300	4.50	7.50
ТСМ-63	10.50	0.40	63	0.350	1.300	4.50	7.50
ТСМ-630	10.50	0.40	630	1.680	7.600	5.50	6.00
ТСМ-750	10.50	0.40	750	4.100	12.000	5.50	6.00
ТСМА-100	10.50	0.40	100	0.400	2.000	5.50	7.50

Тип.	Uвн	Uнн	Sном	П3.2. Продолжение.			
				Rхх	Rкз	Ек%	Iхх
ТСМА-160	10.50	0.40	160	0.800	3.200	4.50	6.00
ТСМА-180	10.50	0.40	180	1.000	3.200	4.50	6.00
ТСМА-20	10.50	0.40	20	0.300	0.700	5.50	8.00
ТСМА-200	10.50	0.40	200	1.200	4.100	5.50	7.00
ТСМА-250	10.50	0.40	250	0.700	3.700	5.50	3.50
ТСМА-30	10.50	0.40	30	0.400	1.000	5.50	9.00
ТСМА-315	10.50	0.40	315	4.900	1.600	5.50	3.50
ТСМА-40	10.50	0.40	40	0.500	1.200	4.50	7.00
ТСМА-50	10.50	0.40	50	0.500	1.200	5.50	8.00
ТСМА-560	10.50	0.40	560	2.500	9.400	5.50	6.00
ТСМА-63	10.50	0.40	63	0.570	1.300	4.50	2.80
ТСМА-630	10.50	0.40	630	1.700	7.600	5.50	2.00
ТСМА-750	10.50	0.40	750	4.100	12.000	5.50	6.00
ТМ-10000	35.00	10.50	10000	14.500	65.000	8.00	0.80
ТМ-15000	35.00	10.50	15000	21.000	90.000	8.00	0.80
ТМ-16000	35.00	10.50	16000	21.000	90.000	7.50	0.80
ТМ-16300	35.00	10.50	16300	21.000	5.000	10.00	0.80
ТМ-2500	35.00	10.50	2500	5.100	25.000	5.50	1.10
ТМ-25000	35.00	10.50	25000	29.000	45.000	9.50	0.70
ТМ-32000	35.00	10.50	32000	33.000	65.000	11.50	0.70
ТМ-40000	35.00	10.50	40000	39.000	80.000	8.50	0.60

П3.3. Номинальные токи плавких вставок I_{вс. ном.} для защиты трансформаторов 10/0.4 кВ согласно ГОСТ 2213-70

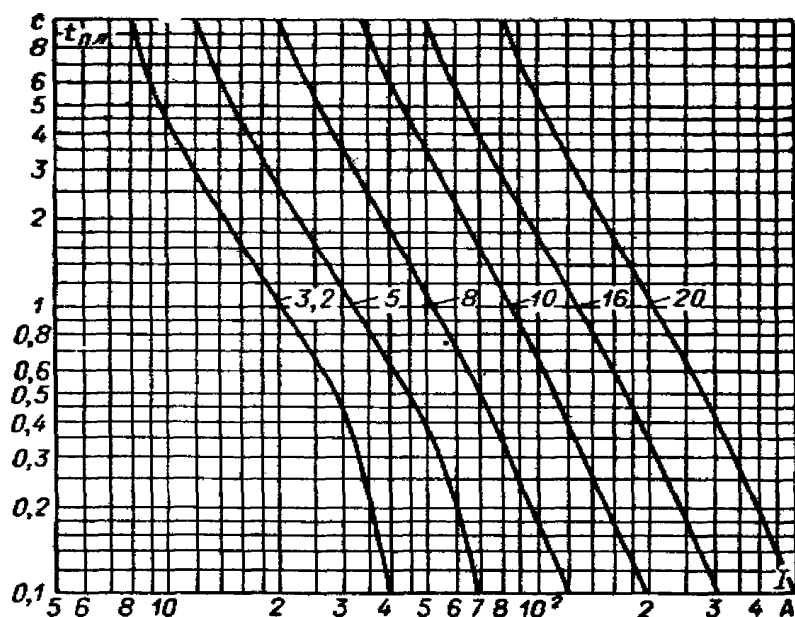
Мощность трансформатора, кВ-А	Номинальный ток плавкой вставки предохранителей, А	
	ПК-10	ПКИ-10
25	3,2	3,2
40	5	5
63	8	8
100	16	10
160	20	16
250	32	25
400	50	40
630	80	—

П3.4. Защитные характеристики предохранителей типа ПСН-35



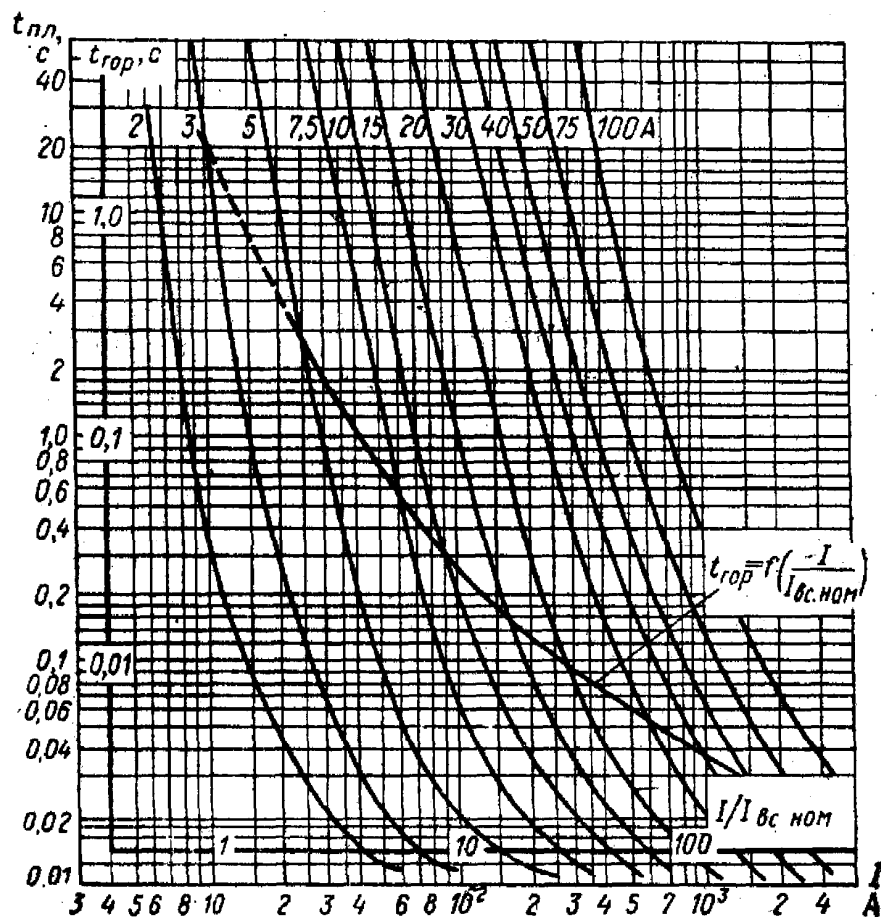
П 3.5. Защитные характеристики предохранителей типа ПКИ-10:

зависимость времени плавления от тока $t_{пл} = f(I)$, по данным НПО Электроаппарат 1973г.



П3.6. Защитные характеристики предохранителя типа ПК -10:

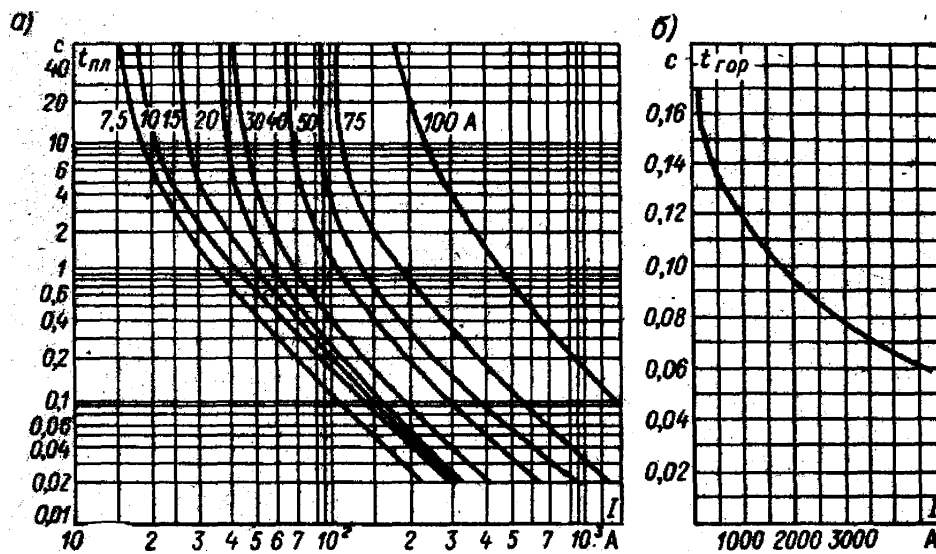
$t_{пл} = f(I)$ и $t_{роп} = f(I/I_{вс. ном})$



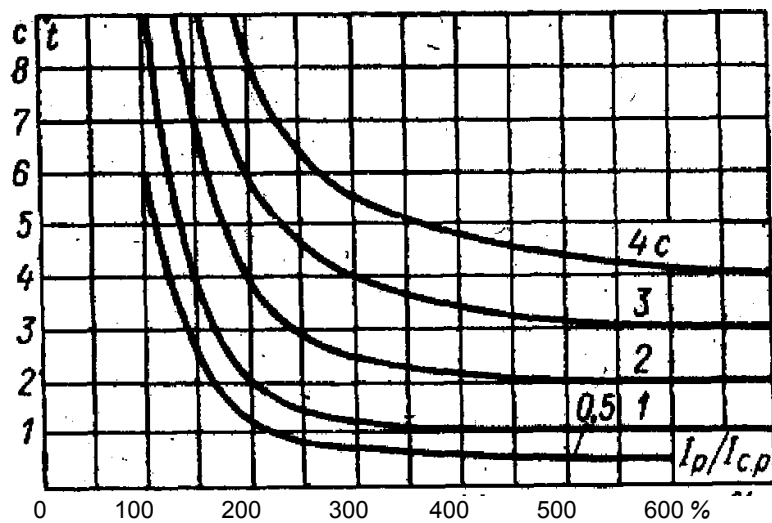
ПЗ.7. Защитные характеристики предохранителей типа ПСН-10:

а - зависимость времени плавления от тока: $t_{пл} = f(I)$;

б - зависимость времени дуги $t_{гор} = f(I_{гор})$



ПЗ.8. Характеристики $t_p = f(I_p/I_{ср})$ реле типа РТ.80, ИТ-80

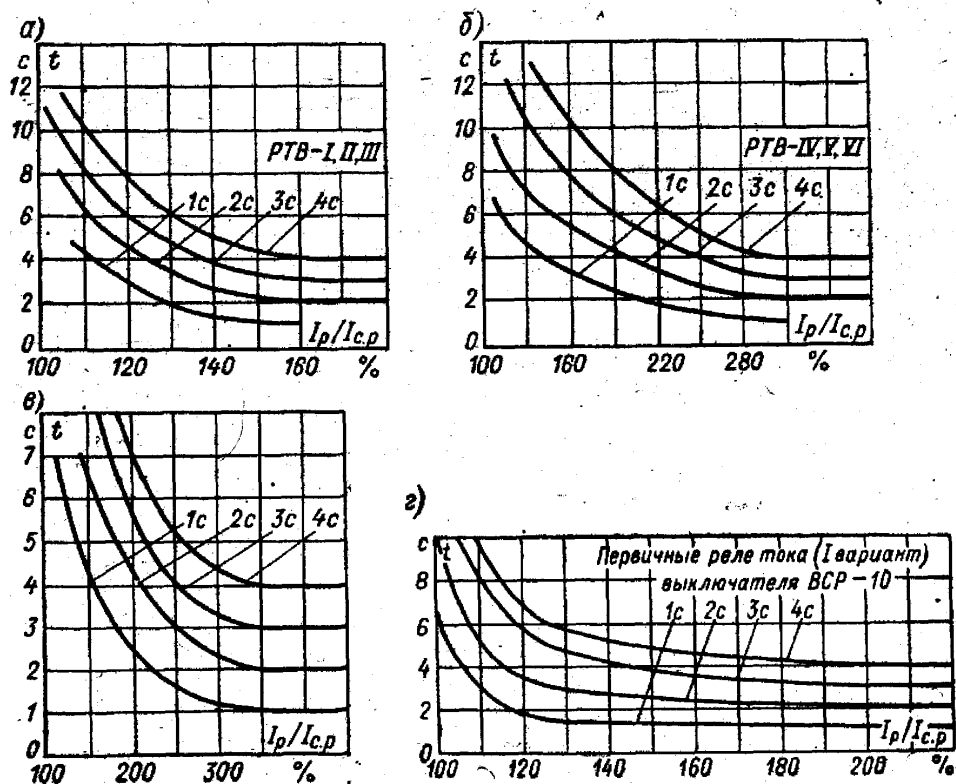


П 3.9. Характеристики токовых реле $t_p = f(I_p/I_{c.p})$

а и б — вторичные реле типа РТВ рижского завода Латвэнерго (приводы типа ПП-61, ПП-67);

в — вторичные реле типа РТВ объединения «Электроаппарат»;

г — первичные реле тока (I вариант) выключателя типа ВСП-10 (по информации завода-изготовителя); характеристики аналогичных реле по II варианту проходят несколько выше, но независимая часть начинается при той же кратности 200% $I_{c.p}$



Данные взяты из электротехнических справочников, приложений к книге Шабада М.А. «Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей».

П3.10. Параметры силовых двухобмоточных трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой

Тип трансформатора	Номинальные напряжения обмоток, кВ		Напряжения U_k для различных значений регулируемого напряжения, %		
	ВН	НН	мин.	среднее	макс.
ТДН-10000/110	115	6,6; 11,0	8,70	10,5	12,36
ТДН-16000/110	115	6,6; 11,0	9,80	10,5	11,71
ТРДН-25000/110	115	6,3-6,3; 10,5—10,5; 6,3—10,5	9,84	10,5	11,72
ТРДН-32000/110	115	6,3—6,3; 10,5—10,5; 6,3—10,5	9,77	10,5	11,58
ТРДН-40000/110	115	6,3—6,3; 10,5—10,5; 6,3—10,5	9,59	10,5	11,46
ТРДЦН-63000/110	115	6,3—6,3; 10,5—10,5; 6,3—10,5	10,84	10,5	11,90

ПЗ. 10. Продолжение					
ТРДЦН-80000/110	115	6,3—6,3; 10,5—10,5; 6,3—10,5	9,76	10.5	11,60
ТДЦН-80000/110	115	38,5	9.76	10.5	11.60
Тип трансформатора	Номинальные напряжения обмоток, кВ		Напряжения Uк для различных значений регулируемого напряжения, %		
	В Н	НН	мин.	среднее	макс.
ТРДЦН-125000/110	115	10.5—10,5	10.5	10.5	11.9
ТДН-16000/150	158	6,6; 11,0	11.5	11.0	10.8
ТРДН-32000/150	158	6,3—6,3; 10,5—10,5; 10,5—6,3	10,86	10.5	10.14
ТРДН-63000/150	158	6,3—6,3; 10,5—10,5; 10,5~6,3	10.66	10.5	10.0
ТРДН-32000/220	230	6,6—6,6; 11—11; 6,6—11	11.6	12,0	12.7
ТРДН-32000/220	230	38.5	11.6	12.0	12.7
ТРДЦН-63000/220	230	6,6—6,6; 11—11; 6.6—11	11.6	12.0	12.7
ТРДЦН-63000/220	230	38,5	11,6	12.0	12.7
ТРДЦН-100000/220	230	11—11	11.6	12.0	12.7
ТРДЦН-100000/220	230	38,5	11.6	12.0	12.7
ТРДЦН-160000/220	230	11—11	11.3	12.0	13.2
ТРДЦН-160000/220	230	38.5	11.3	12,0	13.2
ТРДН-63000/330	330	6,3—6,3; 6,3—10,5; 10,5—10,5	14.3	11.0	8.8
ТДН-63000/330	330	38,5	14.3	11.0	8.8

Примечания: Составлено по данным ГОСТ, действительным на 1 июня 1978 г:
 трансформаторы с высшим напряжением-110 кВ соответствуют ГОСТ 12965-74,
 150 кВ — ГОСТ 17546-72, 220 кВ — ГОСТ 15957-70, 330 кВ — ГОСТ 17545-72.
 Регулирование осуществляется с помощью РПН в нейтрали ВН
 на трансформаторах с ВН 110 кВ в пределах $\pm 16\%$ (± 9 ступеней); на трансформаторах с
 ВН 150, 220 и 330 кВ в пределах $\pm 12\%$ (не менее ± 8 ступеней).

ПЗ.11. Параметры силовых трехобмоточных трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой

Тип трансформатора	Номинальные напряжения обмоток, кВ			Напряжения Uk для различных значений регулируемого напряжения. %						
	ВН	СН	НН	ВН—НН			СН—НН	ВН—СН		
				мин.	среднее	макс.		мин.	среднее	макс.
ТДТН-10000/110/35	115	38,5	6,6; 11,0	16,66	17,0	19,50	6,0	9,99	10,5	12,69
ТДТН-16000/110/35	115	38,5	6,6; 11,0	16,4	17,0	18,5	6,0	9,5	10,5	11,69
ТДТН-16000/110/35*	115	33,5	6,6; 11,0	9,58	10,5	11,79	6,0	16,48	17,0	18,58
ТДТН-25000/110/10	115	11,0	6,6	17,47	17,5	19,5	6,5	9,99	10,5	11,86
ТДТН-25000/110/35	115	38,5	6,6; 11,0	17,47	17,5	19,5	6,5	9,99	10,5	11,86
ТДТН-40000/110/10	115	11,0	6,6	17,04	17,5	19,29	6,5	9,52	10,5	11,56
ТДТН-40000/110/35	115	38,5	6,6; 11,0	17,04	17,5	19,29	6,5	9,52	10,5	11,56
ТДТН-40000/110/10*	115	11,0	6,6	9,5	10,5	11,6	6,5	17,03	17,5	19,30
ТДТН-40000/110/35*	115	38,5	6,6; 11,0	9,5	10,5	11,6	6,5	17,03	17,5	19,30
ТДТН-63000/110/10	115	11,0	6,6	17,14	17,5	19,20	7,0	10,1	10,5	10,9
ТД1Н-63000/110/35	115	38,5	6,6; 11,0	17,14	17,5	19,20	7,0	10,1	10,5	10,9
ТДТН-63000/110/10*	115	11,0	6,6	10,1	10,5	11,9	7,0	17,2	17,5	19,3
ТДТН-63000/110/35*	115	38,5	6,6; 11,0	10,1	10,5	11,9	7,0	17,2	17,5	19,3
ТДТН-80000/110/10	115	11,0	6,6	18,25	13,5	20,47	7,0	10,28	11,0	12,33
ТДТН-80000/110/35	115	38,5	6,6; 11,0	18,25	18,5	20,47	7,0	10,28	11,0	12,33
ТДТН-80000/110/10*	115	11,0	6,6	10,22	11,0	12,13	7,0	18,15	18,5	20,27
ТДТН-80000/110/35*	115	38,5	6,6; 11,0	10,22	11,0	12,13	7,0	18,15	18,5	20,27
ТДТН-16000/150/35	158	38,5	6,6; 11,0	18,27	18,0	17,23	6,0	11,41	10,5	10,38
ТДТН-25000/150/35	158	38,5	6,6; 11,0	18,50	18,0	17,42	6,0	11,42	10,5	10,4
ТДТН-40000/150/35	158	38,5	6,6; 11,0	18,57	18,0	17,77	6,0	11,12	10,5	10,25
ТДТН-63000/150/35	158	38,5	6,6; 11,0	18,3	18,0	17,3	6,0	10,99	10,5	10,13
ТДТН-25000/220/35	230	22; 38,5	6,6; 11,0	19,5	20,0	20,4	6,5	12,4	12,5	13,4
ТДТН-40000/220/35	230	22; 38,5	6,6; 11,0	29,3	22,0	19,0	9,5	16,8	12,5	9,8
ТДТН-40000/220/35**	230	22; 38,5	6,6; 11,0	18,6	12,5	9,9	9,5	28,2	22	19,2
ТДЦТН-63000/220/35	230	22; 38,5	6,6; 11,0	30,4	24	19,7	10,5	17,9	12,5	10,5
ТДЦТН-63000/220/35**	230	22; 38,5	6,6; 11,0	17,7	12,5	10,4	10,5	29,6	24,0	20,0

Примечания: Составлено по данным ГОСТ. действительным на 1 июня 1978 г.: Трансформаторы с ВН 110 кВ соответствуют ГОСТ 12965-74, 150 кВ - ГОСТ 17546-72, 220 кВ - ГОСТ 15957-70, 330 кВ - ГОСТ 17545-72.

2. Звездочкой обозначены трансформаторы, выполненные по варианту п. 4 примечания к табл. 5 ГОСТ 12965-74.

3. Двумя звездочками обозначены трансформаторы - выполненные по варианту п. 2 примечания к табл. 7 ГОСТ 15957-70.

4. Регулирование осуществляется с помощью РПН в нейтрали ВН:
на трансформаторах с ВН 110 кВ (пп. 1—17) в пределах $\pm 16\%$ (± 9 ступеней) и ПБВ на стороне СН $\pm 2 \times 2,5\%$;
на трансформаторах с ВН 150 и 220 кВ (пп. 18—26) в пределах $\pm 12\%$ (не менее ± 8 ступеней) и ПБВ на стороне СН.

ПЗ-12. Расчетные сопротивления ($\text{Ом} \cdot 10^{-3}$) трансформаторов 6-10 кВ со схемой соединения Y/Y_0-0 при вторичном напряжении 400/230 В

Тип трансформатора	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
ТМ180; ТМА-180	19,8	44,7	134	326
ТМ-320; ТМА-320	9,5	25,8	69,4	186
ТМ-560; ТМА-560	4,8	15,0	34,0	108
ТМ-750/6; ТМА-750/10	3,4	11,2	25,4	80,7
ТМ-1000/6; ТМ-1000/10-10А	2,4	8,5	19,1	60,6

ПЗ-13. Расчетные сопротивления ($\text{Ом} \cdot 10^{-3}$) масляных трансформаторов 6-10 кВ по ГОСТ 11920-73 и ГОСТ 12022-76 со вторичным напряжением 400/230 В

Мощность трансформатора кВА	Схема соединения	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	X_0
160	Д/Уо-11	16,9	52,4	16,9	52,4
250	Y/Yo-0	9,4	27,2	96,5	235
400	Y/Yo-0	5,5	17,1	55,6	149
	Д/Уо-11	5,9	21,2	5,9	21,2
630	Y/Yo-0	3,1	13,6	30,3	96,2
	Д/Уо-11	3,4	13,5	3,4	13,5
1000 ($U_k\% = 5,5$)	Y/Yo-0	2,0	8,5	19,1	60,6
	Д/Уо-11	2,0	8,5	2,0	8,5
1000 ($U_k\% = 8\%$)	Д/Уо-11	1,92	12,7	1,92	12,7

ПЗ-14. Расчетное сопротивление ($\text{Ом} \cdot 10^{-3}$) сухих трансформаторов 6-10 кВ со вторичным напряжением 400/230 В

Мощность трансформатора, кВА	Схема соединения	r_1	x_1	r_0	x_0
320	Y/Y -0	7,7	26,4	19,4	186
400	Д/Уо-11	5,4	21,3		21,3
560	Y/Yo-0	3,8	15,3	34	108

ПЗ-15. Сопротивление 1/3 ZT⁽¹⁾ масляных трансформаторов с низшим напряжением 400/230 В

Мощность трансформатора, кВА	Высшее напряжение, кВ	1/3 ZT ⁽¹⁾ приведенное к напряжению 400В, Ом	Мощность трансформатора, кВА	Высшее напряжение, кВ	1/3 ZT ⁽¹⁾ приведенное к напряжению 400 В, Ом
1. Схема соединений звезда - звезда с выведенной нейтралью			2. Схема соединений треугольник -		
25	6 и 10		400	6 и 10	0,019
40	6 и 10	0,65	630	6 и 10	0,014
	6 и 10	0,41		6 и 10	0,009
	20	0,38	1600	6 и 10	0,006
100	6-35	0,26	3. Схема соединений звезда -зигзаг с выведенной нейтралью		
160	6-35	0,16			
	6-35	0,1			
400	6-35	0,065	25	6 и 10	0,3
630	6-35	0,042	40	6 и 10	0,19
1000	6 и 10	0,027	63	6 и 10	0,12
	35	0,0255	100	6 и 10	0,075
1600	6 и 10	0,018	160	6 и 10	0,05
	35	0,017	250	6 и 10	0,03
				20 и 35	0,043

Примечание. Для трансформатора с низшим напряжением 230/127В, указанное в таблице сопротивление должно быть уменьшено в 3 раза.

Приложение П4.

Коды ANSI применяемые для обозначения функций входящих в состав микропроцессорных устройств РЗА.

№ по ANSI / IEEE C37.2	Функция устройства защиты
14	Снижение скорости вращения (торможение) ротора
21	Дистанционная защита (фаза)
21N	Дистанционная защита (земля)
24	Перевозбуждение
25	Контроль синхронизма Синхронизация
27	Снижение напряжения
27/59/81	Частотнозависимая защита напряжения U/f (напр. от недовозбуждения)
32	Направление мощности генератора
32F	Контроль мощности генератора в прямом направлении
32R	Реверс мощности
37	Снижение тока нагрузки / мощности
40	Потеря возбуждения
46	Несимметричная нагрузка, токовая защита обратной последовательности
47	Обратная последовательность напряжения
48	Неполнофазный режим, защита пусковых режимов двигателя
49	Тепловая перегрузка
49R	Тепловая перегрузка ротора
49S	Тепловая перегрузка статора
50	Токовая отсечка или ступенчатая защита
50N	Токовая отсечка (земля)
50G	Токовая отсечка (двигатель)
50NS	Токовая защита статора от замыканий на землю
50NR	Токовая защита ротора от замыканий на землю
51	Токовая защита с выдержкой времени
51N	Токовая защита от коротких замыканий на землю с выдержкой времени
51G	Токовая защита от замыканий на землю с выдержкой времени (эл. машина)
51GN	Защита обмотки статора от замыканий на землю
53	Защита от недовозбуждения
59	Защита от повышения напряжения
59N	Защита напряжения нулевой последовательности
64R	Защита обмотки ротора от замыканий на землю
67	Токовая направленная защита
67N	Токовая направленная защита от замыканий на землю
67G	Токовая направленная защита от замыканий на землю обмотки статора
68/78	Защита от асинхронного режима, потери синхронизма
79	АПВ
81	Частотная защита
81R	Защита от перевозбуждения генератора U/f с моделированием тепловой характеристики
81V	Частотная защита комбинированная по напряжению
85	Логика приема/передачи телесигналов
86	Защита пусковых режимов двигателя (торможение ротора, интегральная тепловая характеристика)
87	Продольная дифференциальная защита линии (с проводными каналами)
87L	Дифференциальная защита линии с цифровыми /оптоволоконными каналами
87T	Дифференциальная защита трансформатора
87G	Дифференциальная защита генератора
87M	Дифференциальная защита двигателя
87N	Чувствительная дифзащита от КЗ на землю (сравнение токов нулевой последовательности)
87B	Дифференциальная защита шин
BF	УРОВ

Характеристики микропроцессорных устройств защиты и автоматики фирмы ALSTOM

Токовые ненаправленные защиты серии MiCOM P120



MiCOM P120 – эффективная однофазная защита

MiCOM P121 – универсальная токовая защита и устройство управления 6-35 кВ

MiCOM P122 – универсальное устройство токовой защиты и управления 6-35 кВ

MiCOM P123 – универсальное устройство токовой защиты, автоматики и управления 6-35 кВ

Применение

Промышленные электрические сети

Распределительные электросети

Подстанции высокого и среднего напряжения

Трансформаторы высокого, среднего и низкого напряжения

Дополнительно (по заказу), устройства комплектуются комбинированным блоком питания от цепей переменного тока ($I_n = 5A$) и напряжения 110 или 220 В.

Функции	P 120	P 121	P 122	P 123
Однофазная МТЗ или ЗНЗ (50/51 или 50N/51N) - 3ст .	X			
Трёхфазная МТЗ и ЗНЗ (50/51 и 50N/51N) - 3 ст .		X	X	X
Защита от перегрузки (49)			X	X
Минимального тока (37)			X	X
Защита по току обратной последовательности (46)			2 ст .	2 ст .
Две группы уставок			X	X
Обнаружение обрыва провода			X	X
Обнаружение неисправности выключателя (50BF)			X	X
Контроль и управление выключателем			X	X
Датчик начальной нагрузки (пуск -наброс)			X	X
Селективная логика			X	X
Защелкивание выходных реле (86)	X	X	X	X
Четырехкратное АПВ (79)				X
Дополнительный блок расширения функций с реле и АПВ - по заказу	X	X		
Кол -во групп уставок	1	1	2	2
Кол -во дискретных входов	2	2	3	5
Кол -во программируемых выходов	4	4	6	8
Выходное реле контроля исправности	X	X	X	X
Измерение действующих значений (до 10-ой гармоники)	X	X	X	X
Регистрация событий			X	X
Регистрация и переходных процессов			X	X
Порт RS485 для подключения локальной сети связи X		X	X	X
Порт RS232 на лицевой панели для загрузки уставок			X	X
Протоколы связи MODBUS, Courier или МЭК 60870-5-103	X	X	X	X
8 светодиодов, включая 4 программируемых	X	X	X	X
32-х знаковый текстовый дисплей	X	X	X	X
Выдвижной корпус	X	X	X	X

Универсальная токовая защита с питанием от токовых цепей или/и от цепей тока и напряжения MiCOM P124

Применение

- Электрические сети высокого и среднего напряжения (трансформаторы, кабели, вводы мощных распределительных подстанций промышленных предприятий).
- Основное и резервное устройство защиты.



Коды ANSI	Функция	с питанием	
		от токовых цепей	от цепей тока и напряжения
50/51	Трехфазная ненаправленная МТЗ (3 ст .)	X	X
50N/51N	Трехфазная ненаправленная 3НЗ (3 ст .)	X	X
49	Защита от перегрузки (2 ст .)	X	X
37	Защита минимального тока		X (прим . 1)
46	МТЗ обратной последовательности		X
	Обнаружение обрыва провода (I2/I1)		X
	Блокирующая логика		X (прим . 1)
	Селективная схема логики реле		X (прим . 1)
	Сброс -наброс нагрузки		X (прим . 1)
	Кол -во групп уставок	1	2
	Назначаемые входы /выходы		X (прим . 1)
79	АПВ (четырёхкратное)		X (прим . 1)
	Отключение от конденсатора	X	X
	Переключающийся контакт для катушки отключения	X	X
	Бистабильный магнитный указатель для индикации отключения	X	X
	4 магнитных указателя (по заказу)		X
86	Защелкивание выходных реле		X (прим . 1)
50 BF	УРОВ		X
	Контроль выключателя		X
	Измерения (действующие значения)	X	X
	и максимальные значения	X	X
	Записи событий		X (прим . 1)
	Записи повреждений	X	X
	Записи осциллограмм		X (прим . 1)
	Порт связи RS485 на задней стенке реле		X (прим . 1)
	Порт связи RS232 на лицевой панели	X	X

Примечание 1: Если отсутствует напряжение питания – функция недоступна.

Серия направленных токовых реле MiCOM P125, P126, P127

MiCOM P125 – Направленная ЗНЗ с элементом измерения мощности

MiCOM P126 – Трехфазная МТЗ и направленная ЗНЗ с АПВ

MiCOM P127 – Направленная МТЗ и направленная ЗНЗ с элементом измерения мощности, защита от повышения/снижения напряжения и АПВ

Применение

Промышленные электрические сети
Распределительные электросети
Подстанции высокого и среднего напряжения
Трансформаторы высокого, среднего и низкого напряжения



Коды ANSI	Функции	MiCOM P125	MiCOM P126	MiCOM P127
67N/50N/51N	Направленная /ненаправленная ЗНЗ (3 ст .)	x	x	x
67/50/51	Направленная /ненаправленная МТЗ (3 ст .)	-	-	x
50/51	Трехфазная МТЗ (3 ст .)	-	x	-
32N	Защита по мощности (Po или Io с os) – 2 ст .	x	x	x
	Обнаружение обрыва провода	-	x	x
37/37N	Защита минимального тока	-	x	x
46	МТЗ обратной последовательности	-	x	x
49	Защита от термической перегрузки	-	x	x
27	Защита от снижения напряжения (2 ст .)	-	-	x
59	Защита от повышения напряжения (2 ст .)	-	-	x
59N	Защита от повышения напряжения нулевой последовательности (4 ст .)	x	x	x
79	Трехфазное АПВ (4 цикла)	-	x	x
50BF	УРОВ	-	x	x
	Контроль и управление выключателем	-	x	x
	Логика блокировки	x	x	x
	Датчик начальной нагрузки	-	x	x
	Селективная логика	-	x	x
	Мгновенный выход	x	x	x
	Программируемая логика "И "	-	x	x
	Кол-во групп уставок	1	2	2
	Измерения	x	x	x
	Регистрация повреждений	-	x	x
	Регистрация событий	-	x	x
	Регистрация осциллограмм	-	x	x
	Средства тестирования	x	x	x
	Самодиагностика	x	x	x
	к сети передачи информации	x	x	x
	Порт на лицевой панели RS232	x	x	x
	Программная поддержка (MiCOM S1)	X	x	x
	Число выходных реле	6	8	8
	Число дискретных входов	4	7	7
		102x	154,2x	154,2x
	Габаритные размеры (ШxВxГ), мм	177x	177x	177x
		247,1	247,1	247,1
	Вес , кг	3,0	4,0	4,2

Серия устройств автоматического управления вводами и отходящими присоединениями MiCOM P140



Устройства автоматического управления отходящими присоединениями MiCOM включают функции защиты, контроля, диспетчерского управления и измерений.

Широкий диапазон функциональных возможностей позволяет обеспечивать комплексную защиту и управление воздушными и кабельными линиями различных классов напряжений.

Все устройства на передней панели имеют порт RS232 для загрузки уставок и схемы логики с помощью программного обеспечения MiCOM S1, а на задней стенке порт RS485 для внедрения устройств в цифровую систему управления, используя протоколы Courier, Modbus и МЭК 60870-5-103.

Коды ANSI	Функции	P141	P142	P143
67/50/51P	Направленная или ненаправленная МТЗ (4 ст.)	•	•	•
67/50/51N	Направленная или ненаправленная ЗНЗ (4 ст.)	•	•	•
50/51N	Высокочувствительная ЗНЗ (4 ст.)	•	•	•
37P	Фазная защита минимального тока	•	•	•
37N	Защита минимального тока нулевой последовательности	•	•	•
67W	ЗНЗ по мощности нулевой последовательности •		•	•
64N	Дифференциальная ЗНЗ	•	•	•
	Селективная логика МТЗ	•	•	•
	Загрубление /чувствление защиты при включении	•	•	•
51V	МТЗ с контролем напряжения	•	•	•
67/46	Направленная или ненаправленная МТЗ обратной последовательности	•	•	•
49	Защита от перегрузки	•	•	•
59/27	Защита от повышения /понижения напряжения (2 ст.)	•	•	•
59N	Защита повышения напряжения нулевой последовательности (2 ст.)	•	•	•
47	Защита от повышения напряжения обратной последовательности	•	•	•
25	Контроль синхронизма			•
81U	Защита от понижения (4 ст.)	•	•	•
81O	Защита от повышения (2 ст.)	•	•	•
BC	Защита от обрыва провода	•	•	•
50BF	УРОВ (2 ст.)	•	•	•
VTS	Контроль цепей напряжения	•	•	•
CTS	Контроль цепей тока	•	•	•
79	Трехфазное четырехкратное АПВ с вычислением суммы отключённых токов КЗ		•	•
	Управление выключателем	•	•	•
	Программируемая схема логики	•	•	•
	Кол -во групп уставок	4	4	4
	Кол -во дискретных входов , не более	8	16	24
	Кол -во выходных реле , не более	7	15	23
		206x	206x	309,6x
	Габаритные размеры (ШхВхГ)	177x	177x	177x
		270	270	270
	Вес, кг	7,3	9,2	9,2

Устройства защиты и автоматики для электродвигателей MiCOM P211, P220, P241

Цифровые устройства защиты и автоматики обеспечивают более эффективную и надежную защиту и управление электродвигателем по сравнению с традиционными электромеханическими реле, благодаря следующим своим преимуществам:

- высокое быстродействие,
- гибкая конфигурация,
- наличие логических функций,
- высокая точность измерений и чувствительность,
- точное определение температуры электродвигателя независимо от содержания гармоник в токе,
- возможность работы с локальной сетью и ПК, а также возможность дистанционного управления,
- снижение стоимости технического обслуживания,
- регистрация событий, аварий и осциллограмм,
- малые габариты, высокая надежность, которая обеспечивается постоянным и циклическим самотестированием, и т.д.



P211



P220



P241

Коды ANSI	Функции	MiCOM P 211	MiCOM P 220	MiCOM P 241
67N	Направленная ЗНЗ	-	-	X
50N/51N	ЗНЗ	-	2 ст.	X
67	Направленная МТЗ	-	-	X
50	Токвая отсечка	-	X	X
51	Трехфазная МТЗ	1 ст.	-	2 ст.
32N/64N	Защита по мощности нулевой последовательности	-	-	X
	Обнаружение обрыва провода	X	-	X
37	Защита минимального тока	1 ст.	X	X
46	МТЗ обратной последовательности	-	2 ст.	2 ст.
49	Защита от термической перегрузки	1 ст.	2 ст.	X
27	Защита от снижения напряжения	-	-	2 ст.
59	Защита от повышения напряжения	-	-	2 ст.
59N	Защита от повышения напряжения нулевой последовательности	-	-	2 ст.
81	Защита от понижения /повышения частоты	-	-	2 ст.
	УРОВ	-	-	X
	Контроль ресурса и управление выключателем	-	X	X
55	Защита от «выпадения» из синхронизма	-	-	X
	Датчик начальной нагрузки (пуск - наброс)	-	-	X
	Логика	-	X	X
	Мгновенный выход	-	X	X
	Группы уставок	1	2	4
50S/51LR	Защита от заклинивания ротора	-	X	X
66	Ограничение числа пусков	-	X	X
48/51	Длительный пуск	-	X	X
27LV	Аварийный перезапуск	-	X	X
47	Контроль наличия напряжения	-	-	X
86	Защелкивание выходных реле	-	X	X
	Регистрация событий и осциллограмм	-	X	X
	Запоминание максимальных значений	-	X	-
	к сети передачи информации	X	X	X
26	Кол -во температурных датчиков (ТД)	1	6	10
	Кол -во выходных реле	2	6	8
	Кол -во дискретных входов	2	5	8
		100,0x	155,0x	206,0x
		75,0x	177,0x	177,0x
		116,0	164,9	270,0
	Габаритные размеры (ШхВхГ), мм			

Цифровая дистанционная защита с дополнительными функциями серии MiCOM P430

Применение

Устройства дистанционной защиты P433, P435, P437 и P439 используются для селективной защиты от междуфазных коротких замыканий, замыканий на землю и защиты от перегрузок энергосистем среднего, высокого и сверхвысокого напряжения. Устройства могут эффективно использоваться в системах с глухозаземленной нейтралью, заземленной через низкоомный резистор, дугогасящую катушку или с изолированной нейтралью. Комплексные измерения и средства регистрации легко настраиваются, проверяются и точно определяют повреждение.



MiCOM P430



MiCOM P433-P439

Устройства серии MiCOM P430 полностью конфигурируются с помощью клавиш на лицевой панели или с помощью программного обеспечения MiCOM S1.

Используя интерфейс передачи информации, устройства серии MiCOM P430 могут быть интегрированы в подстанционные системы управления и системы диспетчерского управления, путем выбора протокола.

Коды ANSI	Функции	P 430	P433	P435	P437	P439
21N	Дистанционная ЗНЗ (6 зон + расширение зоны 1)	•	•	•	•	•
21P	Дистанционная МТЗ (6 зон + расширение зоны 1)	•	•	•	•	•
	Прямоугольные или круговые характеристики отключения	•	•	•	•	•
	Возможность контроля и управления шестью выключателями	•	•	•	•	•
	Работа «по памяти»	•	•	•	•	•
	Компенсация влияния параллельной линии				•	
85	защита с передачей информации	•	•	•	•	•
50	МТЗ (4 ст.)	•	•	•	•	•
	Только трехполюсное отключение	•	•			•
	Одно и трехполюсное отключение			•	•	
81	Защита от повышения /снижения напряжения (4 ст.)	•	•	•	•	•
49	Тепловая защита	•	•	•	•	•
50/27	Ускорение при включении на КЗ	•	•	•	•	•
50/51	МТЗ с зависимой и с независимой характеристикой срабатывания	•	•	•	•	•
50/51N	Резервная ЗНЗ с зависимой и с независимой характеристикой срабатывания	•	•	•	•	•
	Определение направления при замыканиях на землю в сети с изолированной /компенсированной нейтралью	•	•	•		•
	Защита и сигнализация от замыканий на землю в системах с глухозаземленной нейтралью			•	•	•
78	Блокировка при качаниях мощности	•		•	•	
VTS	Контроль исправности цепей напряжения	•	•	•	•	•
CTS	Контроль исправности цепей тока	•	•	•	•	•
50BF	УРОВ	•	•	•	•	•
32	Направленная защита по мощности	•	•	•	•	•
25	Контроль синхронизма			•	•	
79	Только трехполюсное АПВ (четырёхкратное)	•	•			•
79	Одно и трехполюсное АПВ (четырёхкратное)			•	•	
59/27	Защита от повышения /понижения напряжения (2 ст.)	•	•	•	•	•
59/27N	Защита от повышения /понижения напряжения нулевой последовательности (2 ст.)	•	•	•	•	•
	Программируемая схема логики	•	•	•	•	•
	Кол -во групп уставок	4	4	4	4	4
	Кол -во дискретных входов (макс.)	2	16	28	28	40
	Кол -во выходных реле (макс.)	3	24	40	40	20
	Габаритные размеры (ШхВхГ), не более	140х270х90	481.6х184.5х257.1	481.6х184.5х257.1	481.6х184.5х257.1	481.6х184.5х257.1
	Вес, кг, не более	3	7	11	11	8

Реле дистанционной и токовой защиты, а также автоматики для сетей 110 – 500кВ серии MiCOM P440

Применение

Реле MiCOM производит быстрое и надежное выявление повреждения любого вида. Направленная дистанционная защита обеспечивает оптимальное сочетание скорости, селективности и надежности при сложных видах повреждений. В дополнение к сказанному, реле обладает следующими преимуществами:

- Всеобъемлющий набор защит.
- Токовые входы на два номинальных тока – 1 и 5 А.
- Отсутствие необходимости применения дополнительных шкафов.
- Простая система интеграции благодаря выбору протоколов (Courier, Modbus и МЭК 60870-5-103).
- Синхронизация всех защитных устройств.
- Ускоренная диагностика повреждений с записью информации о повреждениях, осциллографированием и записью событий.
- Безотказность защиты обеспечивается обширным самоконтролем и самотестированием, системой контроля (цепей тока, напряжения, отключения).
- Надежность работы при всех повреждениях благодаря использованию двух различных измерительных устройств.



Коды ANSI	Функции	P441	P442	P444
21N	Дистанционная ЗНЗ (5 независ . зон + схема расширения зоны 1)	•	•	•
21P	Дистанционная МТЗ (5 независ . зон + схема расширения зоны 1)	•	•	•
	Прямоугольные характеристики отключения	•	•	•
85	защита с использованием телесигнала	•	•	•
	Защита от сброса нагрузки	•	•	•
	Компенсация влияния параллельной линии	•	•	•
	Только трехполюсное отключение	•		
	Одно и трехполюсное отключение		•	•
67/46	МТЗ обратной последовательности	•	•	•
50/27	Ускорение при на КЗ и работе АПВ	•	•	•
50/51	МТЗ с зависимой и с независимой характеристикой срабатывания	•	•	•
50/51N	Резервная ЗНЗ с зависимой и с независимой характеристикой срабатывания (2 ст .)	•	•	•
51FF	МТЗ с характеристикой срабатывания идентичной характеристике срабатывания плавкого предохранителя	•	•	•
67	Направленная МТЗ (4 ст .)	•	•	•
67	Направленная ЗНЗ с передачей информации		•	•
78	Блокировка при качаниях мощности	•	•	•
VTs	Контроль исправности цепей напряжения	•	•	•
CTs	Контроль исправности цепей тока	•	•	•
50BF	УРОВ	•	•	•
46BC	Обнаружение обрыва провода	•	•	•
25	Контроль синхронизма (по заказу)	•	•	•
79	Только трехполюсное АПВ (четырёхкратное)	•		
79	Одно и трехполюсное АПВ (четырёхкратное)		•	•
59/27	Защита от повышения /понижения напряжения (2 ст .)	•	•	•
	Программируемая схема логики	•	•	•
	Кол -во групп уставок	4	4	4
	Кол -во дискретных входов	8	16	24
	Кол -во выходных реле	14	21	32
	Габаритные размеры (ШхВхГ)	206x 177x 270	309,6x 177x 270	413,2x 177x 270
	Вес , кг	7,7	9,4	10,9

Устройства дифференциальной токовой защиты линий 10-500 кВ серии MiCOM P540

Применение

Реле дифференциальной токовой защиты MiCOM является многофункциональным реле, выполняющим защитные функции при неблагоприятных режимах работы сети. Реле может применяться для защиты воздушных и кабельных линий и линий с отпайкой, а также для защиты линий с трансформатором. Сочетание многих функций позволяет использовать реле в различных энергосистемах, обеспечивая ближнее и дальнее резервирование.



Коды ANSI	Функции	P541	P542	P543	P544	P545	P546	P547
	2 и 3 тупиковых линий /кабелей	.	.	.	.	.	.	.
	Защита фидеров с трансформаторами в зоне конфигурация из двух выключателей	.			.		.	
87P	Дифференциальная токовая защита	.	.	.	.	.	.	.
	Прямое отключение и пуск от дальнего полукомплекта	.	.	.	.	.	.	.
	Оптоволоконные каналы сигнализации	.	.	.	.	.	.
	Канал ВЧ связи							.
	Компенсация времени прохождения сигнала	.	.	.	.	.	.	.
	Только трехполюсное отключение	.	.					.
	Одно и трехполюсное отключение			.	.	.	.
79	Четырехкратное трехфазное АПВ		.	.		.		
79	Четырехкратное одно /трехфазное АПВ			.		.		
25	Контроль синхронизма			.		.		
50/51	Ненаправленная МТЗ	.	.	.	.	.	.	.
50/51N	Ненаправленная ЗНЗ	.	.	.	.	.	.	.
50/51N	Чувствительная ЗНЗ							.
67/50/51	Направленная МТЗ (4 ст .)			.	.	.	.
67/50/51N	Направленная ЗНЗ (4 ст .)			.	.	.	.
67/50/51N	Направленная чувствительная ЗНЗ			.	.	.	.
32N/64N	Направленная ЗНЗ по мощности			.	.	.	.
37	Фазная защита минимального тока							.
37N	Защита минимального тока нулевой последовательности							.
21	Дистанционная защита (прямоугольные характеристики срабатывания , 3 зоны )			.	.	.	.
78	Блокировка при качаниях			.	.	.	.
49	Защита от тепловой перегрузки	.	.	.	.	.	.	.
	Обнаружение местоположения КЗ			.	.	.	.
46BC	Обнаружение обрыва провода	.	.	.	.	.	.	.
	Контроль цепей напряжения			.	.	.	.
	Контроль и управление выключателем	.	.	.	.	.	.	.
	УРОВ	.	.	.	.	.	.	.
	Контроль цепи отключения	.	.	.	.	.	.	.
	Программируемая схема логики	.	.	.	.	.	.	.
	Кол-во групп уставок	4	4	4	4	4	4	4
	Кол-во дискретных входов	8	16	16	16	24	24	8
	Кол-во выходных реле	7	14	14	14	32	32	7
	Габаритные размеры (ШхВхГ)	206x177x270	309,6x177x270	309,6x177x270	309,6x177x270	309,6x177x270	413,2x177x270	206x177x270
	Вес, кг	6,8	8,3	9,4	11,5	11	13,1	6,8

Все устройства на передней панели имеют порт RS232 для загрузки уставок и схемы логики с помощью программного обеспечения MiCOM S1, а на задней стенке порт RS485 для внедрения устройств в цифровую систему управления, используя протоколы Courier, Modbus и МЭК 60870-5-103.

Серия микропроцессорных устройств дифференциальной защиты трансформаторов, автотрансформаторов и ошиновок MiCOM P630

Применение

Устройства дифференциальной защиты MiCOM P631 - P634 предназначены для быстрой и селективной защиты от коротких замыканий трансформаторов, двигателей и генераторов, а также других устройств с несколькими обмотками.



Коды ANSI	Функции	P631	P632	P633	P634
87	Дифференциальная защита (3 участка с различными углами наклона)	2 обмот	2 обмот	3 обмот	4 обмот
87G	Дифференциальная защита от замыканий на землю (3 участка с различными углами наклона)	—	2	3	3
50P, 50Q, 50N/G	MTЗ с независимой характеристикой (3ст)	2	2	3	3
51P, 51Q, 51N/G	MTЗ с обратозависимой характеристикой(3 ст .)	2	2	3	3
49	Защита от тепловой перегрузки (2 ст .)	1	1	2	2
81O, 81U, 81U-R	Защита от повышения /понижения частоты (4 ст .)	—	1	1	1
59	Защита от повышения напряжения (2 ст .)	—	1	1	1
27	Защита от понижения напряжения (2 ст .)	—	1	1	1
	Контроль максимальных значений	2	2	3	3
	Программируемая схема логики	1	1	1	1
	Габаритные размеры (ШхВхГ), не более	260,2х 184,5х 257,1	481,6х 184,5х 257,1	481,6х 184,5х 257,1	481,6х 184,5х 257,1
	Вес , кг	7	11	11	11
Измерительные входы					
	Фазного тока	2х3	2х3	3х3	4х3
	Остаточного тока или тока нейтрали	—	2	3	3
	Напряжения	—	1	1	1
Дискретные входы или выходы					
	Входы с гальванической развязкой (по заказу)	4	4 - 34	4 - 40	4 - 34
	Выходные реле (по заказу)	8 - 14	8 - 22	8 - 30	8 - 22
Аналоговые входы и выходы (дополнительно)					
	Вход от 0 до 20 м А	—	1	1	1
	Вход РТ 100	—	1	1	1
	Выход от 0 до 20 м А	—	2	2	2

Все устройства на передней панели имеют порт RS232 для загрузки уставок и схемы логики с помощью программного обеспечения S1, а на задней стенке порт RS485 для внедрения устройств в цифровую систему управления, используя протоколы Courier, Modbus и МЭК 60870-5-103.

Универсальная защита по напряжению и частоте серии MiCOM P920

Представители новой серии MiCOM, реле P921, P922 и P923 обеспечивают надежную защиту по напряжению и частоте с улучшенными характеристиками. Универсальность их применения и связь защитных функций с функциями автоматики, управления и измерений, а также простота обслуживания обеспечивают оптимальное и прогрессивное решение. В дополнение к сказанному, реле обладает следующими преимуществами:

- Всеобъемлющий набор защит.
- Отсутствие необходимости применения дополнительных шкафов.
- Простая система интеграции благодаря выбору протоколов (Courier, Modbus и МЭК 60870-5-103).
- Ускоренная диагностика повреждений с записью информации о повреждениях, осциллографированием и записью событий.
- Безотказность защиты обеспечивается обширным самоконтролем и самотестированием, системой контроля (цепей напряжения и отключения).



Код ANSI	Функции	MiCOM P921	MiCOM P922 Версия S	MiCOM P922 Версия G	MiCOM P923
	Конфигурация в зависимости от количества и типа трансформаторов напряжения	X	X	X	X
	Защита по фазному или линейному напряжению	X	X	X	X
27	Понижение фазного напряжения (логика И /ИЛИ) – 3 ст	X	X	Логика ИЛИ	X
59	Повышение фазного напряжения (логика И /ИЛИ) – 3 ст	X	X	Логика ИЛИ	X
	Устанавливаемый гистерезис (запаздывание)		X		X
59N	Защита от повышения напряжения нулевой последовательности (3 ст.)	X	X	X	X
47	Защита от повышения напряжения обратной последовательности(2 ст.)		X		X
27D	Защита от понижения напряжения прямой последовательности (2 ст.)		X		X
81U/81O	Защита от понижения /повышения частоты (6 ст .)		X	X	X
81R	Контроль скорости изменения частоты (6 ст .)				X
	Номинальная частота : 50/60 Гц	X	X	X	X
	Блокировка защит по напряжению и частоте			X	
	Блокировка таймеров (мгновенное срабатывание)			X	
	Программируемые логические уравнения	X	X	X	X
30	Программируемые входы и выходы	X	X	X	X
	Защита от сбоев			X	
	Блокирующая логика	X	X		X
	Блокировка при понижении напряжения				X
	Контроль выключателя	X	X	X	X
86	Фиксирование выходных реле	X	X	X	X
	Количество групп уставок	1	2	2	2
	Возможность блокировки дистанционного управления			X	
	Габаритные размеры (ШхВхГ)	103х 177х 251,1	103х 177х 251,1	103х 177х 251,1	103х 177х 251,1
	Вес, кг	2,1	2,1	2,1	2,1
	Измерения				
	Действующих значений фазного или линейного напряжения	X	X	X	X
	Действующего значения напряжения нулевой последовательности	X	X	X	X
	Частоты	X	X	X	X
	Напряжений прямой и обратной последовательностей		X		X
	и максимальных значений		X		X
	Регистрация				
	Событий		X	X	X
	Аварий		X	X	X
	Осциллограмм		X	X	X
	Осциллограмм частоты				X
	Контроль				
	Положения выключателя	X	X	X	X
	Данных для механического обслуживания выключателя		X	X	X
	Связь				
	Дистанционная связь (порт RS485)	X	X	X	X
	Локальная связь (порт RS232)	X	X	X	X
	Интерфейс пользователя				
	ЖКД с подсветкой	X	X	X	X
	Программируемые светодиоды	X	X	X	X
	Защита доступа паролем (по заказу , дополнительный прозрачный кожух)	X	X	X	X
	Совместимость с программным обеспечением MiCOM S1 (Windows)	X	X	X	X

Устройства дифференциальной защиты сборных шин MiCOM P740



Построение

Соединение модулей выполнено через оптоволоконный кабель.

Пригодность для централизованной или децентрализованной схемы.

Каждое периферийное устройство имеет один кабель для передачи, и один для получения информации.

К каждому главному устройству могут быть подключены до 32 пар оптоволоконных кабелей от периферийных устройств.

Каждое главное устройство имеет связь с цифровой системой управления по протоколам – Courier, Modbus, МЭК 60870-5-103, DNP3.0, UCA2.0

Используется оптоволоконный кабель – 850 нм.

Расстояние от главного устройства к периферийному устройству, в случае их децентрализованного расположения, не должно превышать 1 км.

MiCOM P740 обеспечивает:

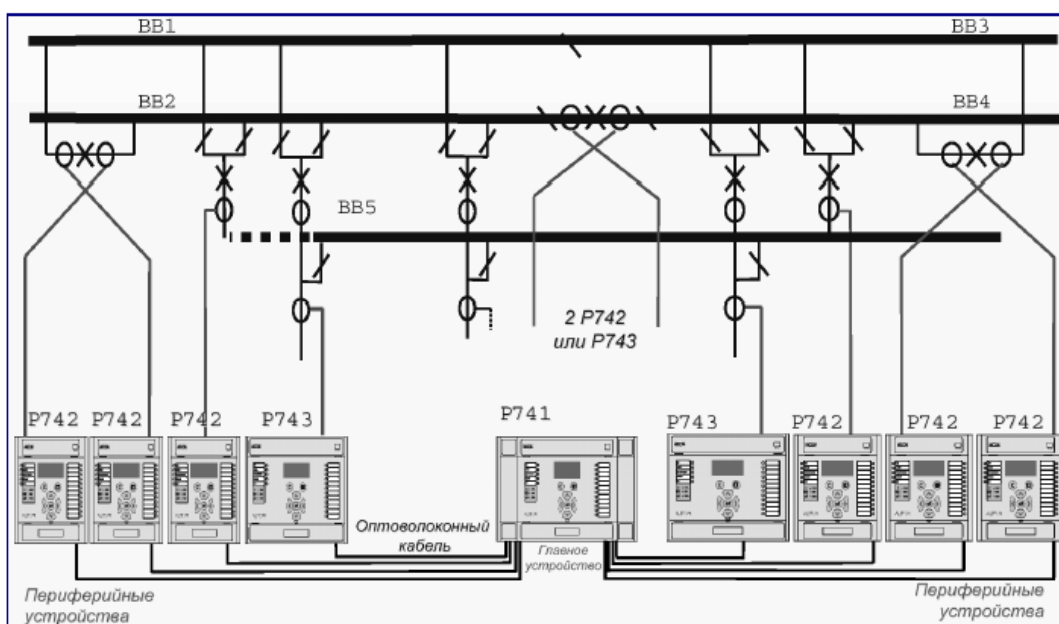
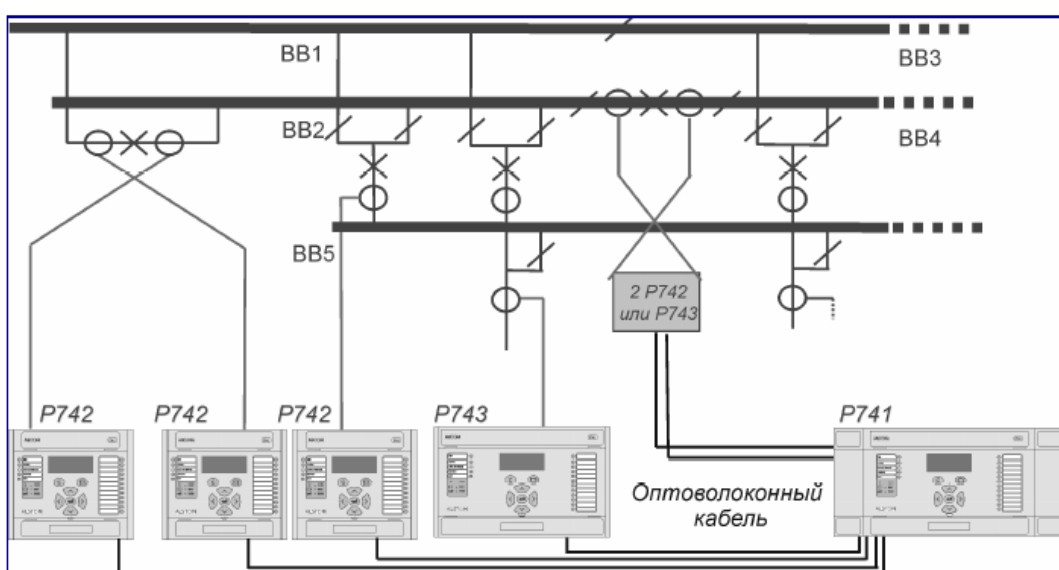
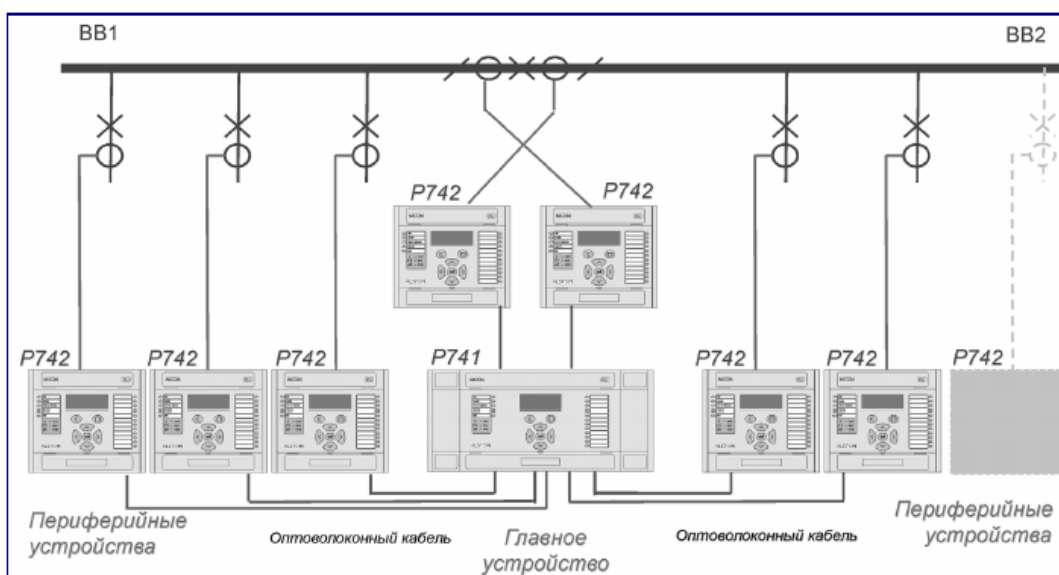
- Защиту сборных шин
- Максимальную токовую защиту
- Защита в «мертвой зоне»
- УРОВ
- Программируемую логику
- Контроль цепей ТТ
- Контроль и своевременное техническое обслуживание выключателя
- Непрерывный мониторинг выключателя
- Измерения
- Регистрацию событий и повреждений
- Регистрацию осциллограмм

Аппаратное обеспечение главного устройства - размер 19 дюймов - 4U

- 8 дискретных входов
- 8 выходных реле
- 8 плат передачи информации
- 4 периферийных устройства на каждую плату передачи информации
- 1 плата основного МП
- 1 плата сопроцессора
- 12 светодиодов
- ЖКД с подсветкой

Аппаратное обеспечение главного устройства - размер 8 дюймов - 4U

- Дискретные входы: 16 для P742 и 24 для P743
- Универсальные дискретные входы – программируемое напряжение аккумулятора
- Выходных реле: 8 для P742 и 16 для P743
- Токвые входы: 3 фазных + 1 тока нулевой последовательности
- Входы измерительных ТТ имеют два номинала (1/5А)
- 1 плата основного МП
- 1 плата сопроцессора
- 12 светодиодов
- ЖКД с подсветкой
- Аккумулятор: запоминается точная копия схемы



Примеры расстановки модулей P740 ДЗШ в зависимости от схемы ПС.

Характеристики микропроцессорных устройств защиты и автоматики фирмы ABB

ФИДЕРНЫЕ ТЕРМИНАЛЫ СЕРИИ REF54_



Назначение

Терминалы серии REF 541, REF 543 и REF 545 предназначены для выполнения функций управления, защиты, сигнализации, измерения и мониторинга (контроля) в сетях среднего напряжения. Устройства могут использоваться на ПС среднего и высокого класса напряжения, а также в распределительных устройствах собственных нужд станций в качестве основной или резервной защиты присоединений.

Устройства имеют встроенные библиотеки:

- Функций защит
- Функций управления
- Функций измерения
- Функций мониторинга состояния
- Функций связи
- Стандартных функций,

которые используются для подготовки функциональных схем (конфигурации) терминалов, что позволяет использовать их в качестве унифицированной платформы для реализации схем защиты и управления различных видов присоединений.

Устройства имеют широкий набор функций защит: направленные/ненаправленные МТЗ и защиты от замыканий на землю, защиты максимального/минимального напряжения, защиты по частоте и др., которые обеспечивают защиту различных присоединений.

Терминалы имеют порты последовательной связи для передачи данных в систему АСУ ТП предприятия. Связь осуществляется по SPA или LON - шине. Имеется поддержка стандартных международных протоколов (например, IEC 870-5-103).

Терминалы совместимы и входят в состав комплексной системы защиты и управления концерна ABB.

Применение

Терминалы применяются на электростанциях и подстанциях для комплексного решения задач управления, защиты, сигнализации, измерения и мониторинга различных присоединений: кабельных и воздушных линий, трансформаторов собственных нужд, асинхронных двигателей средней и большой мощности, реакторов, конденсаторных батарей и т.д.

Выбор необходимого типоразмера устройства производится с учетом конкретных требований для защищаемого энергообъекта и реализуется путем подбора соответствующего аппаратного обеспечения (количества трансформаторов тока, напряжения, входных/выходных цепей), а также набора требуемых функций защиты, автоматики, управления, сигнализации, измерений. Привязка защит, управления, автоматики и других функций к входным/выходным цепям устройства, реализация логики функциональной схемы, а также параметризация (задание уставок) производится с помощью программного обеспечения типа CAP501 и CAP505.

Рекомендуется применение терминалов на вновь вводимых и реконструируемых объектах с постоянным оперативным током.

Функциональные показатели терминалов REF541, REF543, REF545

			Функциональный уровень		
ANSI Code	IEC Symbol	Функции программного обеспечения, реализуемые на указанной аппаратной платформе (по выбору). Загрузку процессора необходимо проверить.	REF54_ CONTROL	REF54_ BASIC	REF54_ MULTI
51 50/51/51B 50/51B	3I > 3I >> 3I >>>	<u>Защита от междупазных коротких замыканий (МТЗ)</u>			
		Трехфазная ненаправленная МТЗ, третья ступень		X	X
		Трехфазная ненаправленная МТЗ, вторая ступень		X	X
		Трехфазная ненаправленная МТЗ, первая ступень (отсечка)		X	X
67	3I > →	Трехфазная направленная МТЗ, третья ступень		X	X
67	3I >> →	Трехфазная направленная МТЗ, вторая ступень		X	X
67	3I >>> →	Трехфазная направленная МТЗ, первая ступень		X	X
51N 50N/51N 50N	I ₀ >/SEF I ₀ >> I ₀ >>>/ I ₀₋₀ >	<u>Защита от замыканий на землю</u>			
		Ненаправленная защита от замыканий на землю, третья (чувствительная) ступень		X	X
		Ненаправленная защита от замыканий на землю, вторая ступень		X	X
		Ненаправленная защита от замыканий на землю, первая ступень		X	X
67N/51N 67N 67N	I ₀ >/SEF → I ₀ >> → I ₀ >>> →	Направленная защита от замыканий на землю, третья ступень Направленная защита от замыканий на землю, вторая ступень Направленная защита от замыканий на землю, первая ступень		X X X	X X X
59N 59N 59N	U ₀ > U ₀ >> U ₀ >>>	Защита максимального напряжения нулевой последовательности, третья ступень Защита максимального напряжения нулевой последовательности, вторая ступень Защита максимального напряжения нулевой последовательности, первая ступень		X X X	X X X
49F	3 ^h	<u>Защита от перегрузки</u>			
		Трехфазная тепловая защита от перегрузки кабеля ("псевдотепловая" защита)		X	X
59 59	3U > 3U >>	<u>Защита от повышения/понижения напряжения</u> Трехфазная защита максимального напряжения, вторая ступень Трехфазная защита максимального напряжения, первая ступень			X X
27 27	3U < 3U <<	Трехфазная защита минимального напряжения, вторая ступень Трехфазная защита минимального напряжения, первая ступень			X X

		<u>Защита от повышения/понижения или скорости изменения частоты</u>			
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения частоты, ступень 1			X
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения частоты, ступень 2			X
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения частоты, ступень 3			X
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения частоты, ступень 4			X
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения частоты, ступень 5			X
		<u>Дополнительные функции</u>			
79	$O \rightarrow I$	АПВ, 5 ступеней	X	X	X
25	SYNC	Функция контроля синхронизма/напряжения, ступень 1			X
25	SYNC	Функция контроля синхронизма/напряжения, ступень 2			X
68	3I2f >	МТЗ с отстройкой от броска тока намагничивания трансформатора		X	X
46	$I\Delta >$	Защита от несимметричного режима работы (обрыва фаз)		X	X
62BF	CBFP	УРОВ	X	X	X
49M/49G/49T	3	Трехфазная защита от перегрузки устройств ("псевдотепловая" защита)			X
48/14/66	$I_{st}, n <$	Защита пусковых режимов двигателя			X
47	$U1 < \&U2 >$	Трехфазная защита контроля чередования фаз по напряжению, ступень 1			X
47	$U1 < \&U2 >$	Трехфазная защита контроля чередования фаз по напряжению, ступень 2			X
	IEC Symbol	Функции измерения			
		<u>Измерение тока</u>			
	3I	Измерение трехфазного тока	X	X	X
	3I	Измерение трехфазного тока, ступень В	X	X	X
	I_0	Измерение тока нейтрали	X	X	X
	I_0	Измерение тока нейтрали, ступень В	X	X	X
		<u>Измерение напряжения</u>			
	3U	Измерение трехфазного напряжения	X	X	X
	3U	Измерение трехфазного напряжения, ступень В	X	X	X
	U_0	Измерение напряжения нулевой последовательности	X	X	X
	U_0	Измерение напряжения нулевой последовательности, ступень В	X	X	X
		<u>Измерение энергии/мощности</u>			
	E/P/Q/pf	Трехфазное измерение мощности и энергии (в том числе коэффициента мощности)	X	X	X
		<u>Измерение частоты</u>			
	f	Измерение частоты системы	X	X	X

		<u>Регистрация</u>			
		Регистратор аварийных режимов (16 аналоговых + 16 дискретных каналов)	X	X	X
		<u>Измерение токов, напряжений, сопротивлений, температуры (Модуль RTD mA, mV)</u>			
		Измерения/Аналоговые входы/измерения токов, напряжений, сопротивлений, температуры Измерения/ аналоговые выходы (Примечание! Только для исполнений с RTD-платой)	X X	X X	X X
	Symbol	Функции мониторинга состояния			
		<u>Выключатель</u>			
	SBCM	Электрический износ выключателя 1	X	X	X
	SBCM	Электрический износ выключателя 2	X	X	X
	SBCM	Счетчик времени работы 1	X	X	X
	SBCM	Счетчик времени работы 2	X	X	X
	SBCM	Контроль давления элегаза	X	X	X
	SBCM	Контроль давления элегаза для трех полюсов	X	X	X
	SBCM	Контроль взвода пружины	X	X	X
	SBCM	Время срабатывания выключателя	X	X	X
	SBCM	Контроль периодичности технического обслуживания	X	X	X
		Цепь отключения			
	TCS				
	TCS	Контроль цепей отключения 1	X	X	X
		Контроль цепей отключения 2	X	X	X
		Цепь измерения			
	MCS				
	MCS	Контроль входных цепей измерения тока	X	X	X
		Контроль входных цепей измерения напряжения	X	X	X
	Symbol	Функции управления			
		Выключатели/разъединители/заземляющие ножи			
		Управление и контроль выключателями 1, 2	X	X	X
		Управление и контроль разъединителями 1...5	X	X	X
		Прямое отключение выключателя через MMI	X	X	X
		Логическое управление позицией селектора	X	X	X
	Symbol	Функции динамического отображения объектов, данных и сигнализации			
		Выключатели/разъединители/заземляющие ножи			
		Выключатели 1, 2 (2 входа состояния / 2 выхода управления)	X	X	X
		Разъединители 1...5 (2 входа состояния / 2 выхода управления)	X	X	X
		Разъединители с тремя состояниями 1, 2 (3 входа состояния, 4 выхода управления)	X	X	X
		Индикация объектов 1...8 (2 входа состояния)	X	X	X
		Количество динамических данных, отображаемых на MMI 1...5	X	X	X
		Сигнализация 1...8 (отображается на MMI)	X	X	X
		Ключ (накладка) ВКЛ/ОТКЛ 1...4 (1 выход)	X	X	X

		<u>Дополнительные функции</u>			
		Оперативные блокировки	X	X	X
	Symbol	Стандартные функции			
		Группа программных переключателей SWGRP1...SWGRP20	X	X	X
		Программируемая логика, элементы (И, ИЛИ, таймеры и т.д.) согласно IEC 61131-3	X	X	X
	Symbol	Передача данных			
		События, определяемые Заказчиком, E0...E63	X	X	X
		Шина SPA	X	X	X
		Шина LON	X	X	X
	Symbol	Общие функции			
		Две группы уставок	X	X	X
		Дистанционное задание уставок	X	X	X
		Самоконтроль	X	X	X
		Визуальная сигнализация, формирование событий и регистрация значений	X	X	X
		Вывод на экран измерений, параметров и состояния коммутационных аппаратов	X	X	X
		Передача дискретных сигналов на удаленный конец линии	X	X	X
		Обмен двоичными данными между терминалами	X	X	X

Терминал защиты линий электропередачи REL 511R*2.3

Особенности

Открытая структура, расширенные возможности конфигурирования и улучшенное аппаратное обеспечение. Терминал спроектирован с учетом специфических требований российских пользователей.



- Терминал защиты линий электропередачи включает:
Дистанционную защиту от всех видов замыканий с общим критерием повреждения и пятью независимыми степенями для отключения многофазных замыканий и замыканий на землю,

Четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности для отключения замыканий на землю,

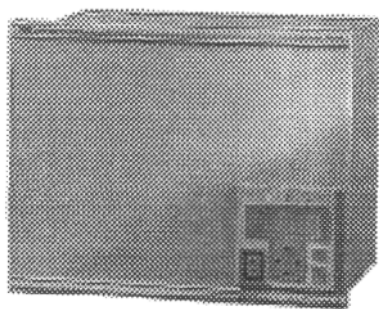
- Библиотеку дополнительных базовых функций защиты, автоматики, блокировок и конфигурируемых логических схем

- Наличие регистратора аномальных режимов, обеспечивающего исчерпывающий отчет об аномальных режимах; память - на 10 осциллограмм; емкость памяти – 40 секунд.
- Наличие функций определения места повреждения
- Набор функций управления.
- Возможность заказа дополнительных функций, (в том числе функций АПВ и контроля синхронизма для схем с двумя выключателями) и аппаратных средств (в том числе дополнительного блока сигнализации, включающего 18 программируемых светодиодов).
- Многоцелевой интерфейс человек-машина.
- Возможность использования нескольких протоколов связи (одновременно можно использовать три порта связи).
- Улучшенный самоконтроль и регистратор событий.
- Синхронизация времени с точностью 1 мс.
- Четыре независимые группы уставок.
- Мощное специализированное программное обеспечение для контроля, мониторинга и конфигурирования пользователем.

Примечания:

1) номинальное напряжение модуля дискретных входов, параметры входных трансформаторов указываются в спецификации терминала.

2) дополнительные функции и аппаратные средства заказываются в соответствии с приведенной ниже формой заказа.



Характеристики

- Дистанционная защита:
 - одновременное измерение сопротивления различных контуров фаза-фаза и фаза-земля с использованием цифровых измерительных элементов, индивидуально для каждого типа повреждения и для каждой зоны, что обеспечивает быстрое и надежное определение повреждения.
 - до пяти зон защиты с полностью индивидуальными уставками;
 - выбор поврежденной фазы

- логика ускорения по ВЧ каналу с опциями логики конца со слабым питанием и логики изменения направления тока
- определение качаний мощности с дополнительной логикой

• Дополнительные функции защиты:

- 4-х ступенчатая токовая защита от замыканий на землю, междуфазная токовая защита с выдержкой времени, и защита от замыканий на землю с функциями по напряжению

• УРОВ

- контроль цепей тока и напряжения
- междутерминальный цифровой обмен информацией
- однофазное или трехфазное отключение

• Функции управления: передача команд управления

- АПВ и контроль синхронизма с опцией фазировки и постановки под напряжение
- Мониторинг
- запись событий
- запись аварий
- определение расстояния до места повреждения
- запись аварийных параметров
- индикация статуса состояния всех входов и внутренних сигналов
- представление измеренных параметров линии: тока, напряжения, активной мощности, реактивной мощности, и частоты с точностью до 0.25%

- Измерения:

- логика измерения количества импульсов
- Обмен сигналами с удаленным терминалом:
 - мультиплексорный с выделенным гальваническим и оптическим каналом
 - передача цифровой информации проверка канала Последовательная связь: SPA или IEC 870-5-103 порт (мониторинг) LON порт (управление)

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕРМИНАЛ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (ДВИГАТЕЛЕЙ, ГЕНЕРАТОРОВ) СЕРИИ REM 54_



Назначение

Терминалы серии REM 543, REM 545 предназначены для использования в качестве основной защиты синхронных и асинхронных двигателей малой, средней и большой мощности, генераторов и блоков генератор-трансформатор дизельных станций малой и средней мощности, ГЭС, ТЭС, а также для выполнения функций управления, сигнализации, измерения и контроля. Устройства имеют встроенные библиотеки:

- Функций защит
- Функций управления
- Функций измерения
- Функций мониторинга состояния
- Функций связи
- Стандартных функций,

которые используются для подготовки функциональных схем (конфигурации) терминалов, что позволяет использовать их в качестве унифицированной платформы для реализации схем вторичной коммутации различных видов объектов.

Устройства имеют широкий набор традиционных и специальных

функций защит: дифференциальную токовую защиту статора, направленные/ненаправленные МТЗ и защиты от замыканий на землю, защиты максимального/минимального напряжения, защиты по частоте и др., которые обеспечивают защиту широкого класса энергообъектов.

Терминалы имеют порты последовательной связи для передачи данных в систему АСУ ТП предприятия. Связь осуществляется по SPA или LON - шине. Имеется поддержка стандартных международных протоколов (например, IEC 870-5 -103). Терминалы входят в состав комплексной системы защиты и управления концерна ABB.

Применение

Терминалы применяются на объектах, где необходимо комплексно решить задачи защиты, управления, измерения и мониторинга параметров синхронных машин (генераторов, двигателей) и асинхронных двигателей средней и большой мощности.

Выбор необходимого типоразмера устройства производится с учетом конкретных требований для защищаемого энергообъекта и реализуется путем подбора соответствующего аппаратного обеспечения (количества трансформаторов тока, напряжения, входных/выходных цепей), а также набора требуемых функций защиты, автоматики, управления, сигнализации, измерений. Привязка защит, управления, автоматики и других функций к входным/выходным цепям устройства, реализация логики функциональной схемы, а также параметризация (задание уставок) производится с помощью программного обеспечения типа CAP501 и CAP505. Рекомендуется применение терминалов на вновь вводимых и реконструируемых объектах с постоянным оперативным током.

Функциональные показатели терминалов

				Функциональный уровень	
ANSI Code	IEC Symbol	Функции программного обеспечения, реализуемые на указанной аппаратной платформе (по выбору). Загрузку процессора необходимо проверить.	Код	REM54 3/5 Двигатель	REM54 3/5 Генератор
51 50/51/51B 50/51B	3I > 3I >> 3I >>>	Защита от междуфазных коротких замыканий (МТЗ)			
		Трехфазная ненаправленная МТЗ, третья ступень	NOC3Low	X	X
		Трехфазная ненаправленная МТЗ, вторая ступень	NOC3High	X	X
		Трехфазная ненаправленная МТЗ, первая ступень (отсечка)	NOC3Inst	X	X
51V 51V	I(U)> I (U) >>	Трехфазная ненаправленная МТЗ зависимая от напряжения, вторая ступень	VOC6Low	X	X
		Трехфазная ненаправленная МТЗ зависимая от напряжения, первая ступень	VOC6High	X	X
87G 87G/87M	3ΔI > 3ΔI >	Дифференциальная токовая защита			
		Трехфазная дифференциальная токовая защита с торможением для генераторов	Diff6G		X
51N 50N/51N 50N	I ₀ >/SEF I ₀ >> I ₀ >>>	Высоко-импедансная дифференциальная защита для генераторов и двигателей	Diff3	X	X
		Защита от замыканий на землю			
		Ненаправленная защита от замыканий на землю, третья (чувствительная) ступень	NEF1Low	X	X
67N/51N 67N 67N	I ₀ >/SEF --> I ₀ >> --> I ₀ >>>/ -->	Ненаправленная защита от замыканий на землю, вторая ступень	NEF1High	X	X
		Ненаправленная защита от замыканий на землю, первая ступень	NEF1Inst	X	X
		Направленная защита от замыканий на землю, третья (чувствительная) ступень	DEF2Low	X	X
59N 59N 59N	U ₀ > U ₀ >> U ₀ >>>	Направленная защита от замыканий на землю, вторая ступень	DEF2High	X	X
		Направленная защита от замыканий на землю, первая ступень	DEF2Inst	X	X
		Защита максимального напряжения нулевой последовательности, третья ступень	ROV1Low	X	X
59N 59N	U ₀ > U ₀ >>	Защита максимального напряжения нулевой последовательности, вторая ступень	ROV1High	X	X

59N	$U_0 >>>$	Защита максимального напряжения нулевой последовательности, первая ступень	ROV1Inst	X	X
87N	$\Delta I_0 >, REF$	Высоко-импедансная продольная дифференциальная защита от замыканий на землю	REF1A		X
49M/49G/ 49T	$3I_0$	Защита от перегрузки и несимметричного режима работы нагрузки			
		Трехфазная тепловая защита от перегрузки устройств ("псевдотепловая" защита)	TOL3DEV	X	X
46	$I_2 >$	Защита по току обратной последовательности, вторая ступень	NPS3Low	X	X
46	$I_2 >>$	Защита по току обратной последовательности, первая ступень	NPS3High	X	X
Защита от повышения/понижения напряжения					
59	$3U >$	Трехфазная защита максимального напряжения, вторая ступень	OV3Low	X	X
59	$3U >>$	Трехфазная защита максимального напряжения, первая ступень	OV3High	X	X
27	$3U <$	Трехфазная защита минимального напряжения, вторая ступень	UV3Low	X	X
27	$3U <<$	Трехфазная защита минимального напряжения, первая ступень	UV3High	X	X
27/47/59	$U_1 <, U_2 >, U_1 >$	Защита по напряжению обратной последовательности, первая ступень	PSV3St1	X	X
27/47/59	$U_1 <, U_2 >, U_1 >$	Защита по напряжению обратной последовательности, вторая ступень	PSV3St2	X	X
Защита от повышения/понижения или скорости изменения частоты					
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения (скорости изменения) частоты, ступень 1	Freq1St1		X
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения (скорости изменения) частоты, ступень 2	Freq1St2		X
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения (скорости изменения) частоты, ступень 3	Freq1St3		X
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения (скорости изменения) частоты, ступень 4	Freq1St4		X
81U/81O	$f < / f > / df/dt$	Защита от понижения/повышения (скорости изменения) частоты, ступень 5	Freq1St5		X
Защита от недо возбуждения/перевозбуждения					
40	$X <$	Трехфазная защита от недо возбуждения, вторая ступень	UE6Low		X
40	$X <<$	Трехфазная защита от недо возбуждения, первая ступень	UE6High		X
24	$U/f >$	Защита от перевозбуждения, вторая ступень	OE1Low		X
24	$U/f >>$	Защита от перевозбуждения, первая ступень	OE1High		X
Защита от снижения сопротивления					
21G	$Z <$	Трехфазная защита от снижения сопротивления, вторая ступень	UI6Low		X
21G	$Z <<$	Трехфазная защита от снижения сопротивления, первая ступень	UI6High		X
Защита от повышения/понижения мощности					
32P/32Q	$P > \rightarrow / Q > \rightarrow$	Трехфазная направленная защита от повышения мощности, ступень 1	OPOW6St1		X
32P/32Q	$P > \rightarrow / Q > \rightarrow$	Трехфазная направленная защита от повышения мощности, ступень 2	OPOW6St2		X
32P/32Q	$P > \rightarrow / Q > \rightarrow$	Трехфазная направленная защита от повышения мощности, ступень 3	OPOW6St3		X

32	$P</P>\leftarrow$	Трехфазная направленная защита от понижения или реверса мощности, ступень 1	UPOW6St 1		X X
32	$P</P>\leftarrow$	Трехфазная направленная защита от понижения или реверса мощности, ступень 2	UPOW6St 2		X
32	$P</P>\leftarrow$	Трехфазная направленная защита от понижения или реверса мощности, ступень 3	UPOW6St 3		
48, 14, 66	$I_s^2t, n<$	Дополнительные функции			
		Защита пусковых режимов двигателя	MotStart	X	X
37	$3I<$	Трехфазная ненаправленная защита от снижения тока нагрузки, ступень 1	NUC3St1	X	X
37	$3I<$	Трехфазная ненаправленная защита от снижения тока нагрузки, ступень 2	NUC3St2	X	X
46R	$3I\leftarrow, 3I\rightarrow$	Защита от реверса фаз	PREV3	X	X
68	$3I_{2r}>$	МТЗ с отстройкой от броска тока намагничивания трансформатора	Inrush3	X	X
62BF	CBFP	УРОВ	-	X	X
60	FUSEF	Контроль повреждения измерительных цепей тока и напряжения	FuseFail		X
		ФУНКЦИИ ИЗМЕРЕНИЯ			
		Измерение тока			
	$3I$	Измерение трехфазного тока	MECU3A	X	X
	I_0	Измерение тока нейтрали, ступень А	MECU1A	X	X
	I_0	Измерение тока нейтрали, ступень В (сторона НН)	MECU1B	X	X
		Измерение напряжения			
	$3U$	Измерение трехфазного напряжения	MEVO3A	X	X
	U_0	Измерение напряжения нулевой последовательности	MEVO1A	X	X
		Измерение энергии/мощности			
	$E/P/Q/pf$	Трехфазное измерение мощности и энергии (в том числе коэффициента мощности)	MEPE7	X	X
		Измерение частоты			
	f	Измерение частоты системы	MEFR1	X	X
		Регистрация			
		Регистратор аварийных режимов (16 аналоговых + 16 дискретных каналов)	ME-DREC16	X	X
		<u>Измерение токов, напряжений, сопротивлений, температуры (Модуль RTD mA, mV)</u> (Примечание! Только для исполнений с RTD-платой)			
	$mA/V/^{\circ}C/\Omega$	Измерения/Аналоговые входы/измерения токов, напряжений, сопротивлений, температуры	MEA1...8	X	X
	mA	Измерения/Аналоговые выходы	MEAO1...4	X	X

	IECSymbol	Функции мониторинга состояния			
		<u>Выключатель</u>			
	CBCM	Электрический износ выключателя 1	CMBWEA	X	X
	CBCM	Электрический износ выключателя 2	R1	X	X
	CBCM	Счетчик времени работы 1	CMBWEA	X	X
	CBCM	Счетчик времени работы 2	R2	X	X
	CBCM	Контроль давления элегаза	CMTIME1	X	X
	CBCM	Контроль давления элегаза для трех полюсов	CMTIME2	X	X
	CBCM	Контроль взвода пружины	CMGAS1	X	X
	CBCM	Время срабатывания выключателя	CMGAS3	X	X
	CBCM	Контроль периодичности технического обслуживания	CMSPRC1	X	X
			CMTRAV1		
			CMSCHED		
		<u>Цепь отключения</u>			
	TCS	Контроль цепей отключения 1	CMTCS1	X	X
	TCS	Контроль цепей отключения 2	CMTCS2	X	X
		<u>Цепь измерения</u>			
	MCS	Контроль входных цепей измерения тока	CMCU3	X	X
	MCS	Контроль входных цепей измерения напряжения	CMVO3	X	X
	Symbol	Функции управления			
		<u>Выключатели/разъединители/заземляющие ножи</u>			
	0←→1	Управление и контроль выключателями 1, 2	COCB1...2	X	X
	0←→1	Управление и контроль разъединителями 1...5	CODC1...5	X	X
	0←→1	Прямое отключение выключателя через MMI	COCBDIR	X	X
	0←→1	Логическое управление позицией селектора	COLOCAT	X	X
	Symbol	Функции динамического отображения объектов, данных и сигнализации			
		<u>Выключатели/разъединители/заземляющие ножи</u>			
		Выключатели 1, 2 (2 входа состояния / 2 выхода управления)		X	X
		Разъединители 1...5 (2 входа состояния / 2 выхода управления)		X	X
		Разъединители с тремя состояниями 1, 2 (3 входа состояния, 4 выхода управления)		X	X
		Индикация объектов 1...8 (2 входа состояния)			
		Количество динамических данных, отображаемых на MMI 1...5	COIND1...8	X	X
		Сигнализация 1...8 (отображается на MMI)	MMI-DATA1...5	X	X
		Ключ (накладка) ВКЛ/ОТКЛ 1...4 (1 выход)	MMIA-LAR1...8	X	X
			COSW1...4		
		Дополнительные функции			
		Оперативные блокировки		X	X
	Symbol	Стандартные функции			
		Группа переключателей SWGRP1...SWGP20	SWGRP1..20	X	X
		Программируемая логика, элементы (И, ИЛИ, таймеры и т.д.) согласно IEC 61131-3	-	X	X
	Symbol	Передача данных			
		События, определяемые Заказчиком, E0...E63	EVENT230	X	X

		Шина SPA	-	X	X
		Шина LON	-	X	X
	Symbol	Общие функции			
		Две группы уставок		X	X
		Дистанционное задание уставок		X	X
		Самоконтроль		X	X
		Визуальная сигнализация, формирование событий и регистрация значений		X	X
		Вывод на экран измерений, параметров и состояния коммутационных аппаратов		X	X
		Передача дискретных сигналов на удаленный конец линии		X	X
		Обмен двоичными данными между терминалами		X	X

Терминал защит трансформатора RET 521



Цифровой терминал защит трансформатора RET 521 предназначен для быстрого и селективного отключения повреждений, а так же для выполнения функций управления двухмоточных и трехмоточных трансформаторов, автотрансформаторов, блоков генератор трансформатор и шунтирующих реакторов.

Гибкость защиты обеспечивает ее применение в любых условиях. Мощные и ответственные трансформаторы такие, как блочные или сетевые, могут защищаться двумя комплектами RET 521 и включать одинаковые функции защит для обеспечения резервирования.

RET 521 обеспечивает адаптацию уставок к номинальным параметрам как самого трансформатора так и измерительных трансформаторов благодаря возможности выбора уставок в процентном отношении (%) от номинальных значений трансформатора

- Открытая структура, расширенные возможности конфигурирования и улучшенное аппаратное обеспечение.
- Терминал включает функции:
 - дифференциальную защиту трансформатора;
 - трехфазную максимальную токовую защиту;
 - ограниченную защиту от замыканий на землю,
 - максимальную токовую защиту от замыканий на землю с выдержкой времени;
 - одно-/трехфазную защиту максимального напряжения с выдержкой времени;
 - одно-/трехфазную защиту минимального напряжения с выдержкой времени,
 - защиту от повышения напряжения нейтрали,
 - защиту от термической перегрузки,
 - защиту от перевозбуждения (V/Hz),
 регулирование напряжения одного трансформатора или нескольких параллельно работающих трансформаторов;
 - матрицу входных отключающих сигналов;
 - матрица отключающих сигналов;
 - дополнительную логику.
- Варианты применения:
 - двухмоточный трансформатор
 - трехмоточный трансформатор
- Терминал RET 521 имеет низкие требования по отношению к основным трансформаторам тока
 - Не требуется применение промежуточных выравнивающих трансформаторов тока
 - Расширенный диапазон частот благодаря применению адаптивных фильтров
 - Наличие регистратора аномальных режимов, обеспечивающего исчерпывающий отчет об аномальных режимах:
 - память на 10 осциллограмм;
 - емкость памяти – 40 секунд.
 - Отображение рабочих параметров системы
 - Набор функций управления.
 - Возможность использования нескольких протоколов связи (одновременно можно использовать три порта связи).
 - Улучшенный самоконтроль и регистратор событий.
 - Синхронизация времени с точностью 1 мс.
 - Мощное специализированное программное обеспечение для контроля, мониторинга и конфигурирования пользователем.
 - Последовательная связь с терминалом осуществляется через оптические порты связи, которые не восприимчивы к помехам во вторичных цепях.

Дифференциальная защита трансформатора

Функция	Параметр	Диапазон значений
Наклон характеристики	CharactNo	По выбору
Уставка стабилизации по броску тока намагничивания	StabByOption	По форме кривой и по второй гармонике
Торможение по броску тока намагничивания	12/I1коэф.	10-25%
торможение по пятой гармонике	15/I1коэф.	10-50%
Базовый диф. ток, % от I _n трансформатора	Idmin	10-50%
Диф. токовая отсечка без торможения, % от I _n трансформатора	Idunre	500-2500%
Время работы при диф. токе 1 = 2х 1ц при диф. токе 1 = 10 х 1ц при диф. токе 1 = 2 х Idunre		33 ms, типовое 30 ms, типовое 20 ms, типовое

Микропроцессорные реле защиты серий SPA_100, SPA_300

Микропроцессорные реле защиты серий SPA_100, SPA_300 применяются в схемах вторичной коммутации для использования в качестве основных и резервных защит энергообъектов напряжением 0,4 кВ и выше.

Реле используются для защиты кабельных и воздушных линий, трансформаторов малой и средней мощности, синхронных и асинхронных двигателей малой, средней и большой мощности, реакторов, конденсаторных батарей и других присоединений на вновь вводимых и реконструируемых объектах.

Типоисполнения реле

Тип реле	Функции защит	Краткая характеристика реле	Назначение
SPAJ110	Io>, Io>>	Две ненаправленные ступени защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Диапазон уставок Io>=(0,1...0,8) I _N , Io>>=(1,0...4,0) I _N , t ₀ >, t ₀ >> до 100с	Реле тока
SPAJ 111	Io _s >, Io>>	Две ненаправленные ступени защиты (одна чувствительная) от ОЗЗ. Диапазон уставок Io>=(0,002...0,5) I _N , Io>>=(0,01...2,0) I _N , t ₀ >, t ₀ >> до 10,0с	Реле тока
SPAJ 131	3I>, 3I>>	Трехфазная двухступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ). Диапазон уставок I>=(0,5...2,5) I _N , I>>=(0,5...20) I _N , t>, t>> до 100с	Реле тока
SPAJ 135	2I>, 2I>>, Io>	Двухфазная двухступенчатая МТЗ, ступень защиты от ОЗЗ. Диапазон уставок I>=(0,5...2,5) I _N , I>>=(0,5...17,5) I _N , Io>=(0,1...0,8) I _N , t>, t>>, t ₀ > до 100с	Комбинированное реле тока
SPAS 120	Io>напр, Io>>напр	Две направленные ступени защиты от ОЗЗ Io>=(0,01...0,1) I _N , Диапазон уставок Io>>=(0,01...0,4) I _N , U ₀ >(2...20%) U _N , t ₀ > до 10,0 с, t ₀ >> до 1,0 с	Реле тока
SPAU 110	Uo>, Uo>>	Двухступенчатая защита нулевой последовательности от ОЗЗ. Диапазон уставок Uo>=(0,02...1,0) U _N , Uo>>=(0,02...0,8) U _N , t>, t>> до 100с	Реле напряжения
SPAU 121	U>, U<	Три однофазных реле максимального/минимального напряжения. Диапазон уставок U>=(0,8...1,6) U _N , U<=(0,4...1,2) U _N , t> до 10с, t< до 100с	Реле напряжения
SPAU 130	3U>, 3U<	Трехфазное реле максимального/минимального напряжения. Диапазон уставок 3U>=(0,8...1,6) U _N , 3U<=(0,4...1,2) U _N , t> до 100с, t< до 120с	Реле напряжения
SPAA 120 SPAA 121	2I>, 2I>>, Io>напр, Io>>напр, Uo>	Двухфазная (А,С) двухступенчатая МТЗ, двухступенчатая (одна направленная) защита от ОЗЗ. Диапазон уставок I>=(0,5...5,0) I _N , I>>=(0,5...40) I _N , t>, t>> до 300с, Io>=(0,01...0,25) I _N , Io>>=(0,02...1,5) I _N , U ₀ >(2...80%) U _N , t ₀ > до 300с	Комбинированное реле тока
SPAJ 140 SPAJ 142	3I>, 3I>>, Io>, Io>>	Трехфазная двухступенчатая МТЗ, двухступенчатая защита от ОЗЗ. Диапазон уставок I>=(0,5...5,0) I _N , I>>=(0,5...40) I _N , t>, t>> до 300с, Io>=(0,1...0,8) I _N , Io>>=(0,1...10) I _N , t ₀ > до 300с	Комбинированное реле тока
SPAJ 141	3I>, 3I>>, Io _s >, Io _s >>	Трехфазная двухступенчатая МТЗ, двухступенчатая (одна ступень чувствительная) защита от ОЗЗ. Диапазон уставок I>=(0,5...5,0) I _N , I>>=(0,5...40) I _N , t>, t>> до 300с, Io>=(0,1...0,25) I _N , Io>>=(0,2...2,0) I _N , t ₀ > до 300с	Комбинированное реле тока
SPAJ 144	3I>, 3I>>, 3I>>>, Io>, Io>>, ΔI	Трехфазная трехступенчатая МТЗ, двухступенчатая защита от ОЗЗ, защита от несимметричной работы. I>=(0,5...5,0) I _N , I>>, I>>>=(0,5...40) I _N , t> до 300с, Io>=(0,1...0,8) I _N , Io>>=(0,1...10) I _N , ΔI=(0,1...1,0) I _N , t ₀ > до 300с	Комбинированное реле тока
SPAJ 160	3I>, 3I>>, 3I<, ΔI>, ΔI>>	Трехфазная двухступенчатая МТЗ, минимальная токовая защита, двухступенчатая защита от несимметричной работы. Диапазон уставок I>=(0,4...1,4) I _N , I>>=(0,8...1,2) I _N , ΔI>=(0,01...1,0) I _N , ΔI>>=(0,02...0,8) I _N .	Защита батарей конденсаторов
SPAM 150	I ₀ , I ₀ ² xt ₀ , 3I>>, Io>, ΔI>, 3I<, Σt _{вкл}	Защита тепловой перегрузки, защита пусковых режимов, трехфазная отсечка, защита от несимметричной работы, минимальная токовая защита, защита от ОЗЗ. Диапазон уставок I ₀ =(0,5-5,0) I _N , 3I>>=(0,5...20,0) I _N , Io>=(0,1...1,0) I _N , ΔI=(0,1...0,4) I _N , I ₀ = (1,0...10,0) ΔI=(0,1...1,0) I _N	Защита электро-двигателей
SPAU 140	U>, U<, ΔU<, Δf<, Δφ<	Однофазное реле максимального/минимального напряжения, контроль разности напряжений, частот и фаз. Диапазон уставок U>=(0,5...1,0) U _N , U<=(0,1...0,8) U _N , ΔU<=(0,02...0,4) U _N , Δf<=(0,02...0,5) Гц, Δφ<=(5...50) ⁰	Реле контроля синхронизма
SPAJ 320 SPAJ 321	3I>, 3I>>, Io>, Io>>, I _{2f}	Трехфазная двухступенчатая МТЗ, двухступенчатая защита от ОЗЗ, блокирование по второй гармонике. I>=(0,5...2,5) I _N , I>>=(0,5...20) I _N , t>, t>> до 100с, Io>=(0,002...0,5) I _N , Io>>=(0,01...2,0) I _N , t ₀ > до 10,0с, I _{2f} =5...25%,	Комбинированное реле тока

SPAA 341	3I>, 3I>>, 3I>>>, Io>, Io>>, ΔI, Io>напр, Io>>напр, Uo>, управление, АПВ	Трехфазная трехступенчатая МТЗ, двухступенчатая защита от ОЗЗ, защита от несимметричной работы, двухступенчатая направленная защита от ОЗЗ. Диапазон уставок I>=(0,5...5,0)I _N , I>>, I>>>=(0,5...40)I _N , t до 300с, Io>=(0,1...0,8)I _N , Io>>=(0,1...1,0)I _N , ΔI =(0,1...1,0) I _N , t _о > до 300с, Ion>, Ion>>=(0,01...1,0) I _N , U _о >(2...80%) U _N , t _о > до 300 с, пятикратное АПВ	Терминал защиты фидера
SPAA 348	Uo>, Io>напр, Io>>напр, 2I>напр. 2I>>напр, АПВ 2I>>>, управление	Двухфазная трехступенчатая МТЗ (две ступени направленные), двухступенчатая направленная защита от ОЗЗ, пятикратное АПВ. Диапазон уставок I>=(0,3...5,0)I _N , I>>=(0,5...40)I _N , I>>>=(2,0...40)I _N , t до 300с, Io>, Io>>=(0,01...1,0) I _N , U _о >(2...80%)U _N , t _о > до 300 с, пятикратное АПВ	Терминал защиты фидера
SPAS 348	3I>напр, 3I>>напр, 3I>>>, Io>напр, Io>>напр, Uo>, Io>>напр, Uo>, Io>>>	Трехфазная трехступенчатая МТЗ (две ступени направленные), двухступенчатая направленная защита от ОЗЗ. I>=(0,3...5,0)I _N , I>>=(0,5...40)I _N , I>>>=(2,0...40)I _N , t до 300с, Io>, Io>>=(0,01...1,0) I _N , U _о >(2...80%)U _N , t _о >до 300с,	Комбинированное реле МТЗ и ОЗЗ
SPAУ 320	U<, U<<, U>, U>>, Uo>, Uo>>	Три однофазных реле максимального/минимального напряжения (по две ступени), двухступенчатая защита нулевой последовательности от ОЗЗ. Диапазон уставок U>, U>>=(0,8...1,6) U _N , U<, U<<=(0,4...1,2) U _N , t> до 10с, t<до100с Uo>=(0,02...1,0) U _N , Uo>>=(0,02...0,8) U _N , t>, t>> до 100с	Комбинированное реле напряжения
SPAУ 330	Uo>, Uo>>, 3U>, 3U<, осциллограф (по заказу)	Двухступенчатая защита нулевой последовательности от ОЗЗ, трехфазное одноступенчатое реле максимального/минимального напряжения. Диапазон уставок 3U>=(0,8...1,6) U _N , 3U<=(0,4...1,2) U _N , t>, t< до 100с Uo>=(0,02...1,0) U _N , Uo>>=(0,02...0,8) U _N , t>, t>> до 100с	Комбинированное реле напряжения
SPAУ 331	Uo>, Uo>>, 3U<<, U<, осциллограф (по заказу)	Двухступенчатая защита нулевой последовательности от ОЗЗ, трехфазное одноступенчатое реле минимального напряжения, три однофазных реле минимального напряжения. Диапазон уставок 3U<<=(0,1...1,2) U _N , U<=(0,4...1,2)U _N , t>, t< до10,0с, Uo>=(0,02...1,0) U _N , Uo>>=(0,02...0,8) U _N , t>, t>> до 100с	Комбинированное реле напряжения
SPAУ 341	U _s /U _n , ΔU _s , I>/I _n , U</U _n , U>/U _n	Автoreгулирование в диапазоне, блокирование по максимальному току и макс/минимальному напряжению, указание положения РПН, Диапазон уставок U _s =(0,85...1,15)U _N , ΔU _s =(0,65...9,0)% , I>=(1,0...2,0)I _N , U<=(0,7...0,95)U _N , U>=(1,05...1,25)U _N	Регулятор напряжения РПН
Тип реле	Функции защит	Краткая характеристика реле	Назначение
SPAD 346	3I>d, 3I>>d, 3I>, 3I>>, 3I>>>, Io>, Io>>, ΔI	Двухступенчатая дифференциальная защита, двухступенчатая дифференциальная защита от ОЗЗ, трехфазная трехступенчатая МТЗ, защита от несимметричной работы. Диапазон уставок I>=(0,5...5,0)I _N , I>>, I>>>=(0,5...40)I _N , t до 300с, Io>=(0,1...0,8)I _N , Io>>=(0,1...1,0)I _N , ΔI=(0,1...1,0) I _N ,t _о > до 300с, 3I>d=(5...50)%, 3I>>d=(5...30)I _N ,	Реле защиты 2° обмоточного трансформат., двигателя
SPAF 140 SPAF 340	f<, U</U _N , df/dt, Δf>, по заказу осцилло- граф в SPAF 340	Четырехступенчатая защита от снижения частоты (в т.ч. по скорости снижения), функция восстановления частоты, блокирование по минимальному напряжению. Диапазон уставок f<=25...70 Гц, U<=(0,3...0,9)U _N , df/dt=(0,0...10,0) Гц/с, Δf>=(0,1...10)Гц	Реле частоты

Типоисполнения терминалов серии SPAC 800

Исполнения терминалов	Применяемые модули и функции защит									Функции блока управления L2210						
	SPCS 4D11	SPCJ 4D44	T001	SPCJ 4D28	SPCJ 4D34	SPCD 3D53	SPCU 1C6	SPCU 3C15	SPCR 8C27	М/Д управление	УРОВ	МТЗ с ускорением	АПВ	Защита шин	АВР	Дуговая защита
Терминал каб., воздушной линии SPAC 801-01				×						×	×	×	×			×
Терминал линии к КТП, ТЧН SPAC 801-011(012)				×						×	×	×	×			×
Терминал каб., воздушной линии SPAC 801-013			×	×						×	×	×	×			×
Терминал секционного выкл. (CB) SPAC 801-02				×						×	×	×		×	×	×
Терминал секционного выкл. (CB) SPAC 801-021				×					×	×	×	×		×	×	×
Терминал вводного выключателя SPAC 801-03				×						×	×	×	×	×		×
Терминал вводного выключателя SPAC 801-031				×					×	×	×	×	×	×		×
Терминал вводного выключателя SPAC 801-032				×						×	×	×	×	×		×
Терминал вводного выключателя SPAC 801-033				×					×	×	×	×	×	×		×
Терминал асинхр. двигателя (до 5 МВТ) SPAC 802-01					×					×	×		×			×
Терминал асинхр. двигателя (до 5 МВТ) SPAC 802-02		×			×					×	×		×			×
Терминал асинхр. двигателя (до 5 МВТ) SPAC 802-03					×				×	×	×		×			×

Исполнения терминалов	Применяемые модули и функции защит									Функции блока управления L2210						
	SPCS 4D11	SPCJ 4D44	T001	SPCJ 4D28	SPCJ 4D34	SPCD 3D53	SPCU 1C6	SPCU 3C15	SPCR 8C27	М/Д управление	УРОВ	МТЗ с ускорением	АПВ	Защита шин	АВР	Дуговая защита
Терминал двухскоростного асинхр. двигателя (до 5 МВТ) SPAC 802-104 (в состав входит SPAM150 для защиты второй скорости)					(два модуля)				× (по заказу - на первой скорости)	×	×		×			×
Терминал синхр., асинхр. двигателя (> 5 МВТ) SPAC 803-01					×	×				×	×		×			×
Терминал синхронного двигателя (до 5 МВТ) SPAC 803-02					×					×	×		×			×
Терминал трансформатора напряжения SPAC 804							×	× (два модуля)								×
Терминал каб., воздушной линии SPAC 805		×								×	×	×	× 2 кр.			×
Терминал вводного выключателя SPAC806	×								(по заказу)	×	×	×	×	×		×

Примечание: * - без защиты от замыканий на землю

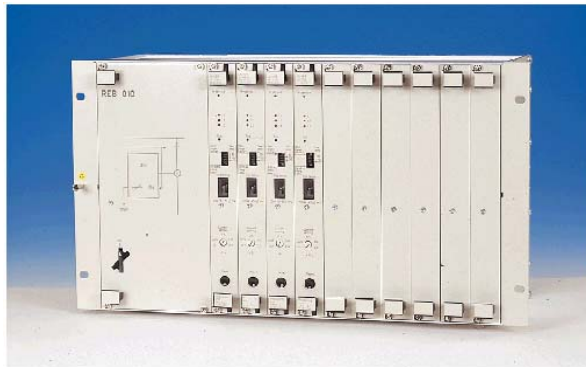
Дифференциальное реле защиты шин типа REB 103



Характеристики:

- Дифференциальное реле защиты шин с процентным торможением при междуфазных КЗ и КЗ на землю.
- Низкая максимальная уставка по дифференциальному току, приблизительно 1% от номинального тока наиболее нагруженного фидера.
- Время действия около 6-9 мс с момента возникновения КЗ в зоне до срабатывания выходного отключающего импульса реле.
- Хорошая отстройка от токов небаланса при КЗ вне зоны защиты с током КЗ, содержащим максимальную апериодическую слагающую, вызывающую глубокое насыщение ТТ линии.
- Могут быть использованы ТТ различных конструкций с разными характеристиками и с различными коэффициентами трансформации.
- Для ТТ могут быть использованы обычные провода.
- К главным ТТ могут быть подключены другие реле.

Устройство резервирования отказа выключателя типа REB 010

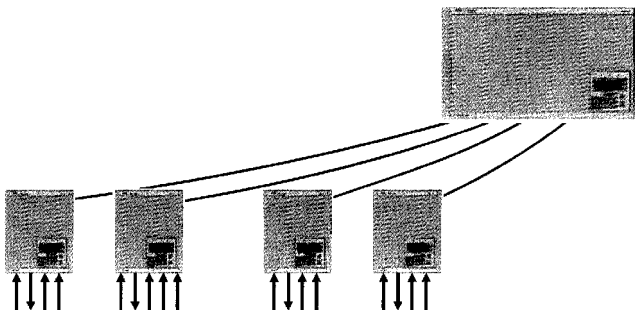


Характеристики

Ближнее резервирование отказов выключателя.

- Иницирует отключение примыкающих выключателей с целью отключения повреждения и обеспечения устойчивости системы.
- Высокая перегрузочная способность.
- Возможность обнаружения и отключения развивающихся КЗ.
- Компактная конструкция.
- Полное время действия при отказе выключателя может составлять 135 мс.
- Нечувствительность к постоянной составляющей тока КЗ.
- Использование микропроцессорной техники обеспечивает возможность различного использования REB 010.
- REB 010 может использоваться как с защитой линии, так и с защитой шин.

Цифровая защита шин с резервированием отказа выключателей типа REB 500



Главные характеристики

- Децентрализованное размещение
 - Система децентрализованных блоков ячеек присоединений
 - Обработка данных центральным устройством (процессором)
 - Обмен данными между ячейками и центральным устройством посредством волоконно-оптических кабелей
- Волоконно-оптическая связь позволяет прокладывать кабели управления вблизи кабелей высокого напряжения (HV)
 - Допустимое расстояние между ячейками и центральным устройством - до 1200 м
 - Редуцированная монтажная схема процесса
- Централизованное размещение
 - Установка аппаратуры обеспечения в одном или нескольких шкафах
 - Особенно пригодно для использования на модернизируемых объектах
- Быстродействие

- Высокая устойчивость к сквозному току повреждения, несмотря на насыщение трансформатора тока
- Два независимых критерия измерений:
 - алгоритм сравнения дифференциального тока с током торможения
 - алгоритм сравнения фаз токов
- Пофазное исполнение
- Отдельное измерение тока I_0 при заземлении нейтрали через сопротивление (по требованию)
- Снижены требования к функционированию трансформаторов тока
- Входные трансформаторы тока имеют ответвления для токов 1 и 5 А; коэффициенты трансформации трансформаторов тока изменяются программным путем с помощью интерфейса - HMI
- Альтернативные возможности для достижения избыточности
- Удобный пользователю интерфейс HMI (ИЧМ)
- Простота расширения
- Замер токов присоединений
- Полностью цифровая обработка информации
- Полноценный самоконтроль
- Отображение системы шин без механических переключений
- Встроенный регистратор событий
- Встроенный осциллограф
- В связи с высоким уровнем стандартизации требуется небольшое количество запасных частей
- Защита “мертвой зоны” (по требованию)
- Резервирование отказов выключателей (по требованию)
- Максимальная токовая защита присоединений (по требованию)
- Осциллографирование токов повреждений и (по требованию) напряжений
- Порты связи с системами контроля и управления подстанций
- Возможность дистанционного управления интерфейсом (HMI)

Цифровая защита REB 500 разработана для быстродействующей селективной защиты шин сетей 50 или 60 Гц, среднего, высокого и сверхвысокого напряжений. Гибкая, модульная структура программного и аппаратного обеспечения, позволяет легко адаптировать конфигурацию защиты к конфигурации главной схемы.

Гибкость системы позволяет создавать схемы защиты всех конфигураций, шин от одиночных систем шин до сложных четверных с обходной системой шин. Также можно осуществлять защиту кольцевых систем шин и полуторных схем. Емкость 59 фидеров (блоков ячеек) при 7 разъединителях на присоединение в четверной системе шин соответствует 32 зонам защиты шин.

Цифровая защита шин REB 500 действует при всех видах междуфазных КЗ и КЗ на землю в сетях с глухим заземлением нейтралей или их заземлением через токоограничивающие сопротивление. В сетях с изолированной нейтралью защита действует только при многофазных КЗ.

Главные трансформаторы тока, питающие защиту, должны удовлетворять минимальным требованиям. (При этом гарантируется селективность, всех внутренних и внешних КЗ.

Система защиты REB 500 снабжена следующими функциями:

- защита шин
- УРОВ
- защита “мертвой зоны”
- максимальная токовая защита присоединений
- осциллограф

Кроме этого, имеется интерфейс связи с системой управления (SCS) или системой контроля подстанций (SMS).

Принципы размещения

Существует несколько способов размещения цифровой защиты шин REB 500:

Децентрализованное размещение

В этом случае блоки ячеек защиты шин размещаются в шкафах или на панелях устройств релейной защиты присоединений и подсоединяются к центральному процессору при помощи волоконно-оптических кабелей. Центральный блок, как правило, устанавливается в шкафу на центральном релейном щите.

Централизованное размещение

В зависимости от количества присоединений системы шин, устройства защиты шин размещаются в одном или нескольких шкафах. Блоки отдельных ячеек установлены на стойках, размером 19" вместе с центральным блоком. Централизованное размещение является идеальным для существующих станций при их модернизации, т. к. не требует большого объема монтажных работ, а также обладает гораздо большими функциональными возможностями по сравнению с другими типами защит.

Комбинация централизованного и децентрализованного размещения

Объединения двух способов, централизованного и децентрализованного, может оказаться нецелесообразным, когда при нейтральном размещении на действующей подстанции возникает необходимость ввода новых присоединений, при этом блоки новых ячеек могут размещаться децентрализованно.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ФИРМЫ SIEMENS

Программно-технический комплекс (ПТК) для построения АСУТП электрической части станций / подстанций **SINAUT LSA** - последняя модификация широко известной системы **LSA - 678** фирмы **SIEMENS**. Система предназначена для управления станцией / подстанцией в нормальном и аварийном режимах, для коммуникаций с верхними уровнями иерархии в энергосистеме, а также обработки, документирования и архивирования режимных параметров и данных технологического процесса. Эта система представляет собой двухуровневую распределенную иерархическую систему с развитым человеко - машинным интерфейсом и возможностью передачи необходимой информации на вышестоящий уровень.

Основу ПТК составляют микропроцессорные локальные устройства, работающие на присоединениях и являющиеся элементами нижнего уровня децентрализованной системы, решающими следующие задачи:

- релейная защита и автоматика (РЗА);
- измерения аналоговых параметров режима (непосредственно от трансформаторов тока 1 или 5 А и трансформаторов напряжения 100 В с расчетом активных и реактивных мощностей, $\cos \varphi$, частоты f , прямой и обратной последовательности, а также измерения сигналов от стандартных станционных преобразователей);
- сбор дискретной информации (положения коммутационных аппаратов, сигнализация от внешних защит, сигнализация от устройств автоматики и т.п.);
- выдача команд оперативного и автоматического управления непосредственно на исполнительные органы коммутационных аппаратов (длительным рабочим током до 5А, длительно - 30А);
- цифровое осциллографирование аварийных процессов в устройствах защиты с одновременной записью последовательности всех дискретных входных и выходных сигналов по каждому устройству защиты с автоматической синхронизацией
- местная индикация;
- технический учет электроэнергии;
- коммерческий учет электроэнергии (при соединении с импульсными счетчиками);

Микропроцессорные устройства нижнего уровня по назначению делятся на две группы:

- устройства защиты, обеспечивающие на присоединении (ячейке РУ) собственно функции защиты и ряд функций автоматики (УРОВ, ОАПВ, ТАПВ, АВР и др.) с осциллографированием аварийных процессов и событий на присоединении;
- устройства сопряжения с объектом (УСО)

Все устройства защиты одновременно с основной функцией могут решать также и задачу измерения аналоговых параметров соответствующего присоединения, а устройство токовой ступенчатой защиты 7SJ531 может применяться как комбинированное устройство ЗАЩИТА / УСО, т.к. оно разработано с обеспечением функции оперативного управления выключателем. В большинстве случаев, однако, для решения всего комплекса задач на присоединении целесообразным является использование пары: устройство защиты / устройство сопряжения с объектом.

Устройства нижнего уровня в состоянии выполнять свои основные функции автономно и автоматически с индикацией и отображением информации на собственных лицевых панелях (светодиоды, ЖК-дисплей). При этом, каждое такое устройство (защита и УСО) аппаратно и программно разработано еще и как стандартный элемент большой системы, что обеспечивает удаленное чтение данных каждого устройства нижнего уровня и дистанционное управление им.

Каждое устройство нижнего уровня через собственный последовательный канал может соединяться с единым вычислительным устройством, выполняющим функцию центрального общесистемного координатора АСУТП – серия устройств 6MB51, 6MB55.

ТИП ЗАЩИТЫ		ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА		Диф. продольная защита линии		Диф. продольная защита линии		ТОКОВАЯ СТУПЕНЧАТАЯ ЗАЩИТА				ЗАЩИТА ДВИГАТЕЛЯ		Диф. защита с торможением					ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА				АПВ, Контроль синхронизма	Синхронизация	УРОВ	Напряжение частота
№ по ANSI / IEEE C37.2	Тип устройства Функция устройства РЗА	7SA511	7SA513	7SD502	7SD503	7SD511	7SD512	7SJ60	7SJ511	7SJ512	7SJ531	7SJ551	7SJ60	7VH80	7UT512	7UT513	7SS50/51/52	7VH83	7UM511	7UM512	7UM515	7UM516	7VK512	7VE51	7SV512	7RW600
14	Снижение скорости вращения (торможение) ротора										■	■														
21	Дистанционная защита (фаза)	■	■																			■				
21N	Дистанционная защита (земля)	■	■																							
24	Перевозбуждение																				■					■
25	Контроль синхронизма Синхронизация	■	■																				■	■		
27	Снижение напряжения									●	■	■							■	■	■					■
27/59/81	Частотнозависимая защита напряжения U/f (напр. от недовозбуждения)																			■	■					■
32	Направление мощности генератора																		■	■		■				
32F	Контроль мощности генератора в прямом направлении																		■	■		■				
32R	Реверс мощности																		■		■	■				
37	Снижение тока нагрузки / мощности										■	■								■						
40	Потеря возбуждения																		■							
46	Несимметричная нагрузка, токовая защита обратной последовательности							■		●	■	■	■						■	■		■				
47	Обратная последовательность напряжения	■	■																							

48	Неполнофазный режим, защита пусковых режимов двигателя										■	■	■													
49	Тепловая перегрузка	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■			■							
49R	Тепловая перегрузка ротора										■	■	■													
49S	Тепловая перегрузка статора										■	■	■						■							
50	Токовая отсечка или ступенчатая защита			■	■			■	■	■	■	■	■		■	■			■						■	
50N	Токовая отсечка (земля)							■	■	■	■	■	■													
50G	Токовая отсечка (двигатель)										■	■														
50NS	Токовая защита статора от замыканий на землю									●										■	■					
50NR	Токовая защита ротора от замыканий на землю									●										■	■					
51	Токовая защита с выдержкой времени	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			■	■		■				
51N	Токовая защита от коротких замыканий на землю с выдержкой времени	■	■			■	■	■	■		■	■							■	■						
51G	Токовая защита от замыканий на землю с выдержкой времени (эл. машина)										■	■	■		■	■					■					
51GN	Защита обмотки статора от замыканий на землю										■	■						■	■	■						
53	Защита от недовозбуждения																		■							
№ по ANSI / IEEE C37.2	Функция устройства РЗА ТИП УСТРОЙСТВА	7SA511	7SA513	7SD502	7SD503	7SD511	7SD512	7SJ60	7SJ511	7SJ512	7SJ531	7SJ551	7SJ60	7VH80	7UT512	7UT513	7SS50/51/52	7VH83	7UM511	7UM512	7UM515	7UM516	7VK512	7VE51	7SV512	7RW600

ТИП ЗАЩИТЫ		ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА		Диф. продольная защита линии		Диф. продольная защита линии		ТОКОВАЯ СТУПЕНЧАТАЯ ЗАЩИТА				ЗАЩИТА ДВИГАТЕЛЯ		Диф. защита с торможением					ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА				АПВ, Контроль синхронизма	Синхронизация	УРОВ	Напряжение частота
№ по ANSI / IEEE C37.2	Тип устройства Функция устройства РЗА	7SA511	7SA513	7SD502	7SD503	7SD511	7SD512	7SJ60	7SJ511	7SJ512	7SJ531	7SJ551	7SJ60	7VH80	7UT512	7UT513	7SS50/51/52	7VH83	7UM511	7UM512	7UM515	7UM516	7VK512	7VE51	7SV512	7RW600
55	Снижение cos φ <									■	■															
59	Защита от повышения напряжения		■								■	■							■	■	■	■				■
59N	Защита напряжения нулевой последовательности									■	■								■		■	■				
64	Защита от замыканий на землю																		■	■	■	■				
64R	Защита обмотки ротора от замыканий на землю						■				■								■	■	■					
64S	100% обмотки статора от замыканий на землю																				■					
67	Токовая направленная защита						■			■	■															
67N	Токовая направленная защита от замыканий на землю	■	■				■			■	■	■														
67G	Токовая направленная защита от замыканий на землю обмотки статора																			■						
68/78	Защита от асинхронного режима, потери синхронизма	■	■																			■				
79	АПВ	■	■				■	■		■	■	■											■			
81	Частотная защита																		■	■	■					■
81R	Защита от перевозбуждения генератора U/f с моделированием тепловой характеристики																				■					■

81V	Частотная защита комбинированная по напряжению																			■						■
85	Логика приема/передачи телесигналов	■	■																							
86	Защита пусковых режимов двигателя (торможение ротора, интегральная тепловая характеристика)										■	■														
87	Продольная дифференциальная защита линии (с проводными каналами)			■	■																					
87L	Дифференциальная защита линии с цифровыми / оптоволоконными каналами					■	■																			
87T	Дифференциальная защита трансформатора														■	■										
87G	Дифференциальная защита генератора														■	■										
87M	Дифференциальная защита двигателя														■	■		■								
87N	Чувствительная дифзащита от КЗ на землю (сравнение $3I_0$)													■		■										
87B	Дифференциальная защита шин																■	■								
BF	УРОВ		■						■	■	■						■								■	
№ по ANSI / IEEE C37.2	<div> <div>Функция устройства РЗА</div> <div>Тип устройства</div> </div>	7SA511	7SA513	7SD502	7SD503	7SD511	7SD512	7SJ60	7SJ511	7SJ512	7SJ531	7SJ551	7SJ60	7VH80	7UT512	7UT513	7SS50/51/52	7VH83	7UM511	7UM512	7UM515	7UM516	7VK512	7VE51	7SV512	7RW600

Микропроцессорная защита линии / фидера, двигателя/генератора, трансформатора с интегрированными функциями контроля и оперативного управления 7SJ531.



Рис. 1. Устройство 7SJ531

Область применения

7SJ531 - полностью цифровое комбинированное устройство защиты, контроля и управления, которое предназначено для защиты радиальных линий электропередачи с одно-, двухсторонним питанием, кольцевых сетей среднего напряжения с глухозаземленной, изолированной или компенсированной нейтралью.

Устройство 7SJ531 может использоваться для защиты асинхронных машин любой мощности, а также, в качестве резервной защиты для основной защиты линии, трансформатора или двигателя/генератора.

Интегрированные функции позволяют реализовать местное и/или дистанционное оперативное управление силовым выключателем, контроль первичной схемы и режимных параметров.

Основные характеристики

Защита линии (фидера)

- Направленная / ненаправленная токовая защита от междуфазных коротких замыканий и коротких замыкания на землю, с независимыми и/или обратно-зависимыми характеристиками выдержки времени (стандарты *IEC* или *ANSI*).
- Обнаружение замыкания на землю в изолированных и компенсированных сетях с высокой чувствительностью, определение поврежденной фазы и селективное отключение.
- Защита от понижения / повышения напряжения
- Однократное или многократное (до 9) автоматическое повторное включение с программируемыми пользователем режимами работы.
- Защита от перегрузки (соответствие *IEC 255-8*)
- Защита от отказа силового выключателя (*УРОВ*)
- Защита на принципе каскадного отключения, основанная на логике блокировки защиты от телесигнала
- Защита от несимметричной нагрузки
- Защита от включения на короткое замыкание.

Защита двигателя/генератора

- Защита двигателя/генератора от всех видов коротких замыканий
- Защита статора от перегрузки с двумя задаваемыми постоянными времени
- Контроль времени запуска двигателя (защита при заторможенном роторе)
- Запрет повторного включения двигателя
- Защита от несимметричной нагрузки
- Контроль и определение снижения токов нагрузки.

Защита трансформатора

- Токсовая ступенчатая защита трансформатора от всех видов коротких замыканий
- Защита трансформатора от перегрузки (согласно *IEC 255-8*)
- Защита от несимметричной нагрузки.

Управление присоединением

- Местное и/или дистанционное управление силовым выключателем через интегрированную местную панель управления, дискретные входы, переносной/стационарный персональный компьютер с помощью программы *DIGSI* и/или систему управления *SINAUT LSA*
- Отображение на встроенном графическом дисплее и оперативный контроль состояния электрической схемы защищаемого присоединения (до пяти коммутационных аппаратов)
- До 22 возможных вариантов выбора первичной электрической схемы защищаемого оборудования (ячейки выключателей и разъединителей питающих и распределительных ли-

ний, одиночных или двойных сборных шин, секционных выключателей, ТН и т.д.)

Контроль режимных параметров

Расчет, отображение и передача текущих измеряемых величин:

- Действующие значения токов, напряжений, активной и реактивной мощности
- Показатели приема/отдачи активной и реактивной энергии: $-Wh_P, Wh_Q$
- Контроль выхода за пороговые величины $P >, Q >, \cos \varphi <$
- Счетчик времени оперативных часов.

Дополнительные функции

- Переключение / Изменение уставок (четыре независимые группы) и параметров конфигурации в "темпе процесса"
- Определяемые пользователем характеристики срабатывания для токовой, токовой направленной защиты от коротких замыканий и замыканий на землю
- Контроль состояния оперативных цепей отключения
- Процедура тестирования режима "Отключить" и цикла "Отключить"- "Включить": - проверка выходных контактов (реле) защиты
- Регистрация аварий (протоколы событий и записи аварийных процессов для восьми последних повреждений)

Микропроцессорная дифференциальная защита на принципе сравнения токов 7SD511/512

Область применения



Рис. 2. Устройство 7SD512

Устройства 7SD511/512 используются для выполнения полностью цифровой быстродействующей защиты с абсолютной селективностью от всех видов коротких замыканий воздушных и кабельных линий электропередачи сетей всех классов напряжений и режимов нейтрали.

Защита выполняется на принципе сравнения полных фазных токов по концам защищаемого участка.

Измерительные органы защиты сочетают статические и динамические (адаптивные) методы измерения, что обеспечивает, независимо от режима нагрузки и интенсивности переходных процессов, высокую чувствительность к повреждениям в зоне, в том числе с большими переходными сопротивлениями, и надежное несрабатывание при внешних КЗ.

Передача данных защиты осуществляется цифровыми методами, как правило, через ВОЛС. Интегрированные в устройство опто-электрические преобразователи позволяют организовать прямой канал с противоположным концом, удаленным на расстояние до 15 км. Кроме того, при необходимости передачи на большее расстояние, имеется оптический или электрический интерфейс (RS 232C, V.24/28) для подключения к усилителю оптосигналов или устройству импульсно-кодовой модуляции, например, специализированному устройству передачи данных защит 7VR50.

Устройство защиты может работать с традиционными системами управления подстанции или быть интегрированным в современную микропроцессорную систему управления подстанции SINAUT LSA.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Цифровая передача данных защиты через ВОЛС или другие типы линий связи
- Выдача сигнала на отключение своего конца и прием/передача сигнала телеотключения (четыре сигнала телеотключения)
- Непрерывный контроль исправности канала передачи данных защиты. Определение временной задержки передачи данных, автоматическая коррекция задержки
- Аварийная (резервная) токовая ступенчатая независимая / зависимая защита от междуфазных КЗ и замыканий на землю
- Автоматический перевод дифференциальной защиты в режим токовой ступенчатой при повреж-

дении канала передачи данных и наоборот

- Встроенный модуль (для 7SD512) однофазного и/или трехфазного одно-/ многократного параметрически программируемого автоматического повторного включения
- Защита от перегрузки с моделированием интегральной тепловой характеристики
- Оперативное измерение и индикация текущих параметров своего и противоположного конца
- Переключение / Изменение уставок (четыре независимые группы) и параметров конфигурации в "темпе процесса"
- Регистрация аварийных событий и процессов (до восьми последних повреждений)
- Программируемые дискретные входы, сигнальные реле и светодиоды, командные реле.
- Настройка, ввод в эксплуатацию, обслуживание осуществляется с помощью удобного пользовательского интерфейса и инструментального программного обеспечения
- Интерфейс с координатором защит или системой управления подстанции: Siemens-специфичный или стандартный согласно IEC 870-5-103.

Микропроцессорная дифференциальная защита шин 7SS50/51

Область применения



Рис. 3. Устройство 7SS50/51

Микропроцессорные (80486, 16 или 32 разр.) устройства защиты 7SS50/51 обеспечивают селективную быстродействующую надежную защиту шин от всех видов повреждений и резервирование отказов выключателей на подстанциях среднего, высокого и сверхвысокого напряжения с различными возможными схемами выполнения сборных шин, типами коммутационного оборудования, ферромагнитными и / или линеаризованными (с немагнитными зазорами) ТТ.

Благодаря малому времени срабатывания защита может использоваться в сетях с большим уровнем токов КЗ и при повышенных требованиях к времени ликвидации повреждений по условиям сохранения устойчивой работы энергосистемы.

Модульная аппаратная конструкция позволяет реализовать оптимальную конфигурацию защиты по отношению к схеме первичного оборудования.

Возможны два типа исполнения защиты:

- Устройство 7SS50 работает по принципу получения дифференциального тока на основе линейной комбинации фазных токов каждого присоединения, что позволяет использовать его в сетях среднего и высокого напряжения. Стандартный комплект выполняется максимально для 8 секций СШ и 32 измеряемых токов (присоединений) или для 3 секций СШ со своими шинными КА, обходной СШ и 4 секционными КА (две ячейки на один секционный КА). Сборная шина может включать до 16 шинных КА. Максимально на один стандартный комплект - 32 ячейки.

- Устройство 7SS51 работает по принципу сравнения фазных токов, что позволяет его использовать в сетях высокого и сверхвысокого напряжения, особенно при пофазной схеме выполнения распределительного устройства. Стандартный комплект защиты может охватить 3 СШ (до 9 измерительных систем), имеет 3 x 16 токовых входов, т.е. 16 ячеек (присоединений).

Основные характеристики

- Высокая функциональная и аппаратная надежность, которая достигается многократным резервированием измерительных органов защиты: - две независимые измерительные микропроцессорные группы и одна контрольная.
- Формирование команды на отключение шин строится на принципе мажорирования 2 из 3.
- Типичное время срабатывания защиты - менее 15 мс
- Возможность использования 1/5 А ТТ, с различными коэффициентами трансформации.
- Высокая устойчивость функционирования при насыщении ТТ
- Селективное отключение КЗ, в том числе повреждений на обходной СШ (передача команды отключения удаленной ячейки)
- Полный функциональный самоконтроль, включая измерительные каналы и цепи контроля состояния коммутационной аппаратуры
- Программно-настраиваемая ступенчатая защита от отказа выключателя(-ей) - УРОВ, с возмож-

ностью адаптации к состоянию схемы и взаимодействия с защитами присоединений и внешним УРОВ

- Регистрация аварийных процессов и событий, контроль параметров текущего режима
- Индикации режима работы состояния КА всех присоединений, дифференциального и тормозного тока и т.д
- Ввод в действие и эксплуатация: - удобные инструментальные и программные средства настройки, обслуживания, параметрирования и конфигурирования.

Микропроцессорная распределенная дифференциальная защита шин и УРОВ на опто-волоконных связях типа 7SS52

Область применения

Микропроцессорная 32 – разрядная распределенная система защиты шин 7SS52 обеспечивают селек-



Рис. 4.1. Центральное устройство защиты шин 7SS520



Рис. 4.2. Полевое устройство защиты шин 7SS521

тивную быстродействующую надежную защиту шин от всех видов КЗ и резервирование отказов выключателей на подстанциях среднего, высокого и сверхвысокого напряжения с различными возможными схемами выполнения сборных шин, типами коммутационного оборудования, ферромагнитными и/или линейаризованными (с немагнитными зазорами) ТТ.

Устройство 7SS52 работает по принципу сравнения фазных токов, что позволяет его использовать в сетях высокого и сверхвысокого напряжения, особенно при пофазной схеме выполнения распреустройства.

Благодаря малому времени срабатывания защита может использоваться в сетях с большим уровнем токов КЗ и при повышенных требованиях к времени

ликвидации повреждений по условиям сохранения устойчивой работы энергосистемы.

Модульный принцип построения программно-аппаратных средств позволяет реализовать оптимальную конфигурацию защиты по отношению к схеме и режиму работы первичного оборудования. Конструктивно защита состоит из двух типов устройств:

- полевое устройство - типа 7SS520
- центральное устройство - типа 7SS521

Передача данных между полевыми устройствами и центральным устройством осуществляется по опто-волоконным линиям связи.

Распределенная децентрализованная система позволяет радикально уменьшить затраты на создание цепей вторичной коммутации. Стандартный комплект защиты 7SS52 может использоваться для защиты одиночных, двойных или тройных систем сборных шин с обходной системой шин или четверной ССШ без обходной и может охватить до 12 секций (участков) сборной шины, 12 шиносоединительных элементов, до 24 секционных разъединителей(отделителей), максимально - 48 ячеек присоединений.

Основные характеристики

- Высокая функциональная и аппаратная надежность, которая достигается многократным резервированием измерительных органов защиты: - две независимые измерительные микропроцессорные группы и одна контрольная.
- Формирование команды на отключение шин строится на принципе мажорирования 2 из 3.
- Типичное время срабатывания защиты - ≤ 15 мс

- Возможность использования 1/5 А ТТ, с различными коэффициентами трансформации.
- Высокая устойчивость функционирования при насыщении ТТ
- Селективное отключение КЗ, в том числе повреждений на обходной СШ
- Программно-настраиваемая ступенчатая защита от отказа выключателя(-ей) - УРОВ, с возможностью адаптации к состоянию схемы и взаимодействия с защитами присоединений и внешними УРОВ
- Возможность выдачи команды отключения удаленной ячейки - противоположный конец линии
- Полный функциональный самоконтроль, включая измерительные каналы и цепи контроля состояния коммутационной аппаратуры
- Регистрация аварийных процессов и событий - цифровое осциллографирование, контроль параметров текущего режима
- Индикации режима работы состояния КА всех присоединений, дифференциального и тормозного тока и т.д

Ввод в действие и эксплуатация: - удобные инструментальные и программные (DIGSI) средства настройки, обслуживания, параметрирования и конфигурирования.

Микропроцессорная дистанционная защита линии электропередачи сетей высокого и сверхвысокого напряжения

Область применения

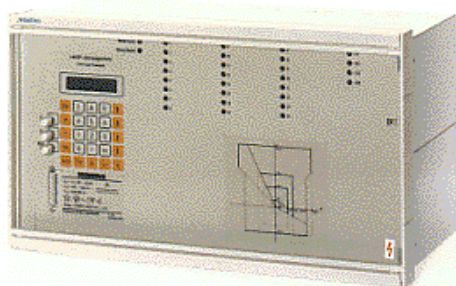


Рис. 5. Устройство 7SA513

Микропроцессорное устройство защиты 7SA513 обеспечивает селективную и быстродействующую защиту от всех видов коротких замыканий на воздушных и кабельных линиях электропередачи с односторонним или многосторонним питанием, любого класса напряжения и режима нейтрали (глухозаземленной, компенсированной или изолированной).

Базовая функция - быстродействующая дистанционная защита от междуфазных коротких замыканий и замыканий на землю с тремя основными и двумя дополнительными направленными/ненаправленными измерительными органами сопротивления с многоугольными

характеристиками срабатывания, логикой приема/передачи телесигналов.

Надежность действия защиты обеспечивается программно-настраиваемыми чувствительными пусковыми органами: токовыми, напряжения, полного сопротивления, комбинированными.

Устройство 7SA513 реализует различные дополнительные функции, обычно требуемые для выполнения защиты и автоматики присоединения (ступенчатая токовая защита от междуфазных КЗ и замыканий на землю, АПВ, ОМП, защита от перенапряжения и т.д.).

Устройство может работать независимо, а также быть свободно интегрировано с помощью последовательного интерфейса (ВОЛС, витая пара), работающего по стандартному протоколу обмена (IEC 870-5-103 или Siemens-специфичный) с системой контроля и управления подстанции SINAUT LSA, центральным координатором защит SZG, концентратором данных DAKON, что позволяет реализовать дистанционную настройку и эксплуатацию устройства.

Основные характеристики

- Быстродействующая направленная ("вперед" и/или "назад") дистанционная защита с временем срабатывания меньше чем один период основной частоты (< 20 мс, при 50 Гц; < 16 мс при 60 Гц).
- Пусковые органы: токовый ($I >$); комбинированный по току, напряжению и углу ($U <$, $I >$, φ); полного сопротивления, а также их сочетание, обеспечивают надежную идентификацию повреждения в сети.
- Высокая чувствительность и селективность защиты обеспечивается, даже при КЗ с высоким переходным сопротивлением на землю и наличии подпитки, высокой точностью измерения, адаптивными измерительными методами, компенсацией токов нагрузки
- Аварийная и резервная токовые ступенчатые защиты с независимой / зависимой выдержкой времени от всех видов повреждений
- Отдельная чувствительная токовая направленная / ненаправленная защита от высокоомных коротких замыканий на землю с логикой приема / передачи телесигналов
- Интегрированная функция определения места повреждения на линии электропередачи. Выдача результата ОМП в численной и/или аналоговой (опционально) форме
- Компенсация токов параллельной линии при выполнении дистанционных измерительных органов

и определении расстояния до места повреждения

- Логика приема/передачи телесигналов по каналу связи (нормально-присутствующих / отсутствующих, блокирующих / разрешающих)
- Эхо-функция и передача телесигнала для отключения стороны со слабым питанием (каскадное отключение)
- Блокировка от качаний и/или отключение неустойчивой электропередачи (два органа полного сопротивления: "чувствительный" и "грубый" для идентификации качаний, измерение и контроль скорости изменения сопротивления)
- Защита от повышения / понижения напряжения
- Однофазное и/или трехфазное автоматическое повторное включение (АПВ), одно- или многократное, свободно программируемое. Контроль синхронизма при АПВ и включении линии под нагрузку
- Защита от повреждения выключателя (УРОВ)
- Энергонезависимая память для регистрации аварийных процессов; максимальная длина записи 10 с для 50 Гц или 8.3 с для 60 Гц; протоколы событий нормального и аварийного режима; записи аварий для восьми последних повреждений
- Измерение, контроль и индикация текущих режимных параметров линии
- Встроенные функции самодиагностики, контроль состояния вторичных цепей, блокировка от неисправности цепей напряжения
- Переключение / Изменение уставок (четыре независимые группы) и параметров конфигурации в "темпе процесса"
- Свободно программируемые дискретные входы, сигнальные светодиоды и реле, реле отключения

Микропроцессорная дифзащита с торможением трансформатора, генератора/двигателя, коротких линий (ошиновок) 7UT512/513

Область применения.



Основное назначение устройств 7UT512/513 выполнение полностью цифровой быстродействующей абсолютноселективной дифференциальной защиты с торможением от всех видов коротких замыканий двух-трехобмоточных трансформаторов, генератора / двигателя, коротких двух- трехконцевых линий (ошиновок).

Устройства параметрически программируются (настраиваются) для каждого конкретного применения, чем достигается оптимальное согласование с защищаемым объектом. Возможно использование устройств как для трехфазных, так и группы однофазных элементов.

Наряду с перечисленными, устройства осуществляют ряд дополнительных функций (резервная токовая защита, защита от перегрузки и т.д. - см. ниже)

Рис. 6. Устройство 7UT513

Возможны два типа исполнения устройств:

- 7UT512 - компактное устройство для защиты двухобмоточных концевых элементов
- 7UT513 - компактное устройство для защиты двух-/трех- обмоточных/концевых элементов с дополнительной чувствительной защитой от замыканий на землю

Устройства защиты 7UT512/513 могут работать независимо в составе традиционной системы управления подстанции, а также быть интегрированными в современную систему управления *SINAUT LSA* с помощью оптоволоконного или электрического интерфейса по стандартному *IEC 870-5-103* или *SIEMENS*-специфичному протоколу обмена.

Основные характеристики

- Свободно программируемая кусочно-линейная характеристика дифференциального ИО с торможением (несколько зон с различными коэффициентами торможения), обеспечивающая высокую чувствительность и селективность защиты при различных видах КЗ
- Интегрированная функция учета группы соединения обмоток и согласования коэффициентов трансформации ТТ.
- Для отстройки от токов небаланса вызванных наличием интенсивных переходных составляющих, статическими и динамическими погрешностями ТТ, бросками тока намагничивания используется

торможение полными токами плеч, торможение составляющими 2 и 5 гармоник, 3 и 4 гармоник (опционально).

- Дифференциальная токовая отсечка для мгновенного отключения трансформатора при больших токах повреждения в зоне
- Контроль обрыва фаз защищаемого присоединения и вторичных цепей.
- Возможность блокирования дифференциальной защиты с помощью внешних дискретных сигналов.
- Защита от перегрузки отдельно для каждой из 2^х обмоток или 2^х линий с интегральными тепловыми характеристиками
- Резервная ступенчатая независимая / зависимая токовая защита от междуфазных замыканий и/или КЗ на землю и для одной из сторон (по выбору).
- Чувствительная защита от замыканий на землю на принципе амплитудно-фазного сравнения тока нейтрали и суммарного тока (3I₀) на одной из выбранных сторон
- Чувствительная токовая защита бака трансформатора
- Свободно программируемые дискретные входы, сигнальные светодиоды и реле, командные реле отключения.
- Измерение и индикация текущих нагрузочных, дифференциальных и тормозных токов
- Встроенный таймер и энергонезависимая память для хранения рабочих и аварийных параметров
- Регистрация аварийных событий и процессов

Комбинированные устройства РЗА и управления присоединением SIPROTEC 4.

SIPROTEC 4 - серия многофункциональных устройств РЗА и управления присоединением, в которых объединены функции РЗА и управления присоединением в одном многофункциональном устройстве с новой аппаратной платформой на базе микропроцессоров фирмы "Motorola", широкими коммуникационными возможностями и эргономичным унифицированным пользовательским интерфейсом (светодиодная сигнализация, четырёхстрочный или графический освещенный дисплей, функциональные клавиши), обеспечивающая гибкий выбор требуемого пользователю устройства с оптимальной по затратам аппаратной конфигурацией. С помощью данного дисплея возможен одновременный показ нескольких измерительных величин и мнемосхем. Предлагается конструктивное исполнение устройств как для навесного монтажа на релейной панели, так и для встраивания в шкаф/панель. Применение самой современной элементной базы, технологий разработки и производства позволило реализовать в новой серии МП РЗА повышенные требования по устойчивости к электромагнитным воздействиям и обеспечить более широкий температурный диапазон. При разработке серии заложены перспективные возможности использования нетрадиционных измерительных трансформаторов - оптоэлектронные ТТ и ТН.

Для реализации коммуникаций между устройствами МП РЗА и координирующим ядром системы контроля управления (АСУ ТП) используется стандартный протокол МЭК: IEC 60870-5-103, который поддерживается всеми ведущими производителями техники управления и позволяет использовать устройства МП РЗА различных производителей в составе единой системы управления.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ СЕТЕЙ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ 7SA522

Микропроцессорное устройство дистанционной защиты SIPROTEC® 7SA522 используется для выполнения селективной и быстродействующей защиты воздушных и кабельных линий с односторонним и многосторонним питанием в радиальных, кольцевых или сложных сетях с заземленной нейтралью.



Устройство обладает функциями, которые обычно требуются для реализации защиты линий электропередачи и может использоваться универсально.

Возможно применение устройства в качестве основной быстродействующей защиты и/или ступенчатой резервной защиты для всех типов дифференциальной защиты.

Основной функцией устройства является определение расстояния до места повреждения с помощью дистанционного измерения. Дистанционные измерительные органы

являются многосистемными, что позволяет идентифицировать сложные многофазные повреждения. Для реализации быстродействующего отключения повреждений на всем защищаемом участке (100%—длины линии) дистанционная защита может быть дополнена функцией телеуправления с помощью передачи сигналов. Наряду с дистанционной защитой от всех видов повреждений, устройство имеет токовую четырехступенчатую защиту от КЗ на землю (для отключения высокоомных замыканий

- вариант заказа с чувствительным токовым входом), ступени которой могут устанавливаться направленными или ненаправленными, а также дополняться функцией телеуправления с помощью сравнения сигналов (блокирующих или разрешающих). Для линий с отсутствующим или слабым питанием на одном конце существует возможность мгновенного отключения обоих концов линии с помощью приема/передачи телесигналов. Возможно быстросрабатывающее отключение при включении на КЗ на всей длине защищаемой линии.

При исчезновении измеряемого напряжения в случае неисправности во вторичных цепях (например, отключение защитного автомата трансформатора напряжения или предохранителя) устройство автоматически переводится в режим аварийной максимальной токовой ступенчатой защиты до тех пор, пока не будет восстановлено измеряемое напряжение. Имеется три независимых ступени максимального тока и одна зависимая ступень, характеристика срабатывания которой может выбираться в соответствии со стандартами ANSI/IEC. В качестве альтернативы максимальная токовая ступенчатая защита может устанавливаться как резервная, т.е. она функционирует независимо от состояния цепей напряжения и параллельно с дистанционной защитой.

В зависимости от варианта заказа, существует возможность выполнения однофазного отключения при КЗ на землю, что позволяет выполнять однофазное и/или трехфазное автоматическое повторное включение. Кроме упомянутых выше функций устройства существуют также и другие функции, например, защита от перенапряжения, обнаружение качаний мощности (действует также как блокировка от качаний для дистанционной защиты). Для оперативного определения места повреждения (ОМП) устройство располагает автоматической функцией ОМП, которая может выполняться с компенсацией влияния параллельной линии при КЗ на землю.

Микропроцессорное устройство дистанционной защиты SIPROTEC® 7SA522 реализует следующие функции:

- ☐ защита от всех видов КЗ в сетях с заземленной нейтралью;
- ☐ полигональные или круговые характеристики срабатывания;
- ☐ надежное распознавание между нагрузочным режимом и режимом КЗ, даже в случае длинных сильно нагруженных линий;
- ☐ шестисистемные дистанционные измерительные органы;
- ☐ 6 дистанционных ступеней, направленных “вперед” или “назад”, одна из ступеней используется в качестве управляемой ступени;
- ☐ 9 ступеней выдержки времени для дистанционных ступеней;
- ☐ оптимальное согласование с защищаемой линией с помощью характеристик срабатывания с гибкими параметрами и „сектором нагрузки“ (исключение возможной области сопротивления нагрузки);
- ☐ возможность определения направления для полигональных и/или круговых (поляризованных) характеристик срабатывания с использованием напряжений неповрежденных фаз и напряжения предшествующего режима (напряжения памяти), чем достигается практически неограниченная чувствительность функции определения направления и независимость от переходных процессов емкостных трансформаторов напряжения;
- ☐ устойчивость функционирования при насыщении трансформаторов тока;
- ☐ возможность выполнения компенсации влияния параллельной линии;
- ☐ минимальное время срабатывания ~ 17мс;
- ☐ пофазное отключение (при использовании однофазного или одно-/трехфазного АПВ);
- ☐ возможность выполнения отключения без выдержки времени при включении на КЗ.

Блокировка при качаниях

- ☐ обнаружение качаний с помощью контроля скорости изменения (dZ/dt) и анализа годографа сопротивления;
- ☐ обнаружение качаний с расхождением частот до 7 Гц;
- ☐ действует также в цикле однофазного АПВ;
- ☐ предотвращение нежелательных отключений от дистанционной защиты во время качаний в сети (блокировка от качаний);
- ☐ программирование действий блокировки при обнаружении качаний;
- ☐ возможность выполнения отключения при асинхронном режиме.

Телеотключение

- ☐ предлагаются различные способы телеотключения на выбор:
 - способ охвата защищаемого участка с помощью управляемой ступени или
 - способы сравнения с передачей разрешающих или блокирующих сигналов, с использованием отдельной управляемой ступени.

Защита от КЗ на землю (по выбору)

- ☐ максимальная токовая направленная ступенчатая защита с тремя независимыми ступенями (UMZ) и одной зависимой ступенью (AMZ) от КЗ на землю в сетях с заземленной нейтралью;
- ☐ возможность выбора характеристик срабатывания зависимой ступени MT3 в соответствии с различными стандартами (ANSI / IEC);
- ☐ высокая чувствительность (в зависимости от исполнения - от 3 мА);

- ☐ торможение по фазному току от тока небаланса при насыщении трансформаторов тока;
- ☐ блокировка от броска тока намагничивания при включении на основе оценки содержания второй гармоники;
- ☐ любая ступень может быть установлена как ненаправленная или как направленная — вперед или назад;
- ☐ определение направления по составляющим нулевой последовательности (I_0 , U_0), с помощью нулевого тока присоединения (линии) и тока нейтрали трансформатора (I_0 , I_Y) или по оставляющим обратной последовательности (I_2 , U_2);
- ☐ одна или несколько ступеней могут одновременно работать с функцией телеуправления с помощью передачи сигналов;
- ☐ возможность выполнения отключения без выдержки времени от любой ступени при включении на КЗ на землю.

Отключение от внешней команды; телеотключение

- ☐ отключение “своего” конца линии от внешней команды, подаваемой на дискретный вход устройства;
- ☐ формирование команды телеотключения удаленного конца линии от внутренней защитной функции или внешней команды, подаваемой на дискретный вход (при использовании телеуправления);

Аварийная резервная токовая ступенчатая защита

- ☐ используется как аварийная функция при исчезновении измеряемого напряжения или как резервная функция, действующая независимо от состояния цепей напряжения;
- ☐ две независимые ступени (UMZ) и одна токозависимая ступень (AMZ) для фазных токов и токов нулевой последовательности;
- ☐ возможность выбора время-токовых характеристик срабатывания МТЗ в соответствии с различными стандартами (ANSI / IEC);
- ☐ возможность блокировки любой ступени (например, блокировка при обратном направлении);
- ☐ возможность выполнения отключения без выдержки времени от любой ступени при включении на КЗ на землю;
- ☐ защита от повреждений на конце присоединения (ошиновке): дополнительная ступень для быстрого отключения повреждений между трансформатором тока и разъединителем линии (если возможен ввод информации о положении разъединителя); особенно актуально для распределителей с полуторной схемой (11/2).
- ☐ мгновенное отключение повреждений на 100 % длины линии;
- ☐ при ручном включении или при каждом включении силового выключателя (по выбору);
- ☐ с встроенной функцией идентификации включения.

АПВ

- ☐ выполнение автоматического повторного включения (АПВ) после однофазного отключения (ОАПВ), трехфазного отключения (ТАПВ), одно-/трехфазного отключения (ОАПВ/ТАПВ);
- ☐ одно- или многократное АПВ - максимально возможно до 8 попыток (циклов) АПВ;
- ☐ возможность автоматического изменения режима АПВ в зависимости от времени отключения повреждения - контроль времени действия. Возможна работа без контроля времени действия;
- ☐ возможность установки различной времени бестоковой паузы для ОАПВ и ТАПВ, а также независимые уставки для первых четырех циклов;
- ☐ возможность выбора режима ТАПВ с различными временами бестоковой паузы при одно-, двух-, трехфазных повреждениях.

Контроль напряжений и синхронизма

- ☐ контроль условий включения - наличия (отсутствия) напряжения и синхронизма при ТАПВ;
- ☐ быстрое измерение разности напряжений U_{diff} , разности фаз ϕ_{diff} и разности частот f_{diff} ;
- ☐ возможность включения при асинхронных условиях с улавливанием момента синхронизма;
- ☐ возможность установки верхней/нижней границы напряжения;
- ☐ контроль напряжений и синхронизма при ручном включении выключателя;
- ☐ возможно согласование фазных углов синхронизируемых напряжений - выравнивание фаз напряжений по сторонам силового трансформатора;
- ☐ выбор сочетания контролируемых напряжений фаза - фаза или фаза - земля.

Защита от повышения напряжения

- ☐ пофазные измерительные органы напряжения “фаза – земля” с общей выдержкой времени;
- ☐ измерительный орган нулевого напряжения или любого другого однофазного напряжения с отдельной выдержкой времени;
- ☐ устанавливаемые характеристики возврата ступени нулевого (однофазного) напряжения;
- ☐ формирование команд телеотключения удаленного конца линии.

Определение места повреждения

- ☐ запуск с помощью команды на отключение или при возврате устройства;

- расчет расстояния до места повреждения с использованием зарегистрированных мгновенных значений измеряемых величин;
- вывод результата ОМП в Омах, километрах или милях и % длины линии;
- компенсация влияния параллельной линии (по выбору).








УРОВ

- пофазные измерительные органы контроля тока;
- возможность независимой установки выдержек времени для однофазных и трехфазных повреждений;
- пуск УРОВ от интегрированных в устройство защитных функций;
- пуск УРОВ через дискретные входы от внешних устройств защиты;
- одно- или двухступенчатый режим функционирования;
- малые собственные времена срабатывания и возврата.

Определяемые пользователем функции

- свободно программируемые логические связи внутренних и внешних сигналов для реализации определяемых пользователем функций;
- возможна реализация быстрых логических функций;
- наряду с логическими элементами, имеются элементы выдержки времени (таймеры) и контроля граничных значений.

СЕРИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ СЕТЕЙ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ 7SA600.

 7SA610	 7SA611	 7SA612	7SA61 ⇒ защита ⇒ 4 - строчный дисплей ⇒ ≥ 110 кВ
	 7SA631	 7SA632	7SA63 ⇒ защита+местное управ. ⇒ графический дисплей ⇒ ≥ 110 кВ
	 7SA641	 7SA642	7SA64 ⇒ защита+местное управ. ⇒ подвиж. граф. дисплей ⇒ ≥ 110 кВ
7SA610 корпус 1/3	7SA6□1 корпус 1/2	7SA6□2 корпус 1/1	

Изображенная на рисунке серия микропроцессорных устройств состоит из 7 устройств разных габаритов и наборов функций.

Габарит реле в основном определяется количеством входов – выходов:

Количество двоичных входов

7SA610 * A/E/J 5

7SA610 * B/F/K 7

7SA6*1 * A/E/J 13

7SA6*1 * B/F/K 20

7SA6*2 * A/E/J 21

7SA6*2 * B/F/K 29

7SA6*2 * C/G/L 33

Выходные реле

Реле исправности устройства 1 нормально закрытый / нормально открытый контакт¹⁾

Командные / сигнальные реле

Количество

7SA610 * A/E/J 7 нормально открытых контактов, 1 нормально закрытый / нормально открытый контакт¹⁾

7SA610 * B/F/K 5 нормально открытых контактов,

7SA6*1 * A/E/J 14 нормально открытых контактов, 2 нормально закрытых / нормально открытых контактов¹⁾

7SA6*1 * B/F/K 8 нормально открытых контактов, 4 реле с мощными контактами²⁾

7SA6*2 * A/E/J 21 нормально открытых контактов, 3 нормально закрытых / нормально открытых контактов¹⁾
 7SA6*2 * B/F/K 28 нормально открытых контактов, 4 нормально закрытых / нормально открытых контактов¹⁾
 7SA6*2 * C/G/L 11 нормально открытых контактов, 8 реле с мощными контактами²⁾
 1) *Может быть установлено с помощью перемычки*
 2) *Каждая пара реле с мощными контактами механически заблокирована для предотвращения одновременного замыкания*

Устройства, кроме количества входов - выходов и связанных с ними размеров, различаются по виду дисплея – четырехстрочный знаковый – вторая цифра 1 или графический – вторая цифра 2 или графический подвижный – вторая цифра 4.
 В состав функций защиты входят.

- Дистанционная защита ANSI 21, 21N: : 6 зон дистанционной защиты одна из них управляемая. Для всех зон может быть задано направление вперед, назад, ненаправлено, выведена
- Блокировка от качаний ANSI 68, 68T. Регистрация качаний путем измерения скорости изменения вектора полного сопротивления и анализа годографа
- Резервная максимальная токовая защита ANSI 50 (N), 51 (N) Виды характеристики 2 ступени с независимой временной характеристикой / 1 ступень с инверсной временной характеристикой
- Максимальная токовая защита с независимой временной характеристикой ANSI 50, 50

• Токовая отсечка при включении на повреждение ANSI 50HS
 Действует только при включении силового выключателя; отключение после срабатывания без выдержки времени.

- Максимальная токовая защита с инверсной временной характеристикой (ступени 51 и 51N)
 Временная характеристика отключения в соответствии с IEC 60255-3
 Виды характеристики 3 ступени с независимой временной характеристикой / 1 ступень с инверсной временной характеристикой или 4 ступени с независимой временной характеристикой
 или 3 ступени с независимой временной характеристикой / 1 ступень U_0 инв

- Защита от повышения напряжения 2 ступени.
- Защита от понижения напряжения 2 ступени.
- Защита при отказе выключателя ANSI 50BF

Дополнительные функции

- Контроль синхронизма силового выключателя
- Сигнальная температурная ступень
- Защита от термической перегрузки ANSI 49

Автоматическое повторное включение Количество повторных включений до 8, вид: только 1-фазное, только 3-фазное, 1- или 3-фазное Программы с контролем напряжения на линии. Адаптивная бестоковая пауза (ADT). Ускоренная бестоковая пауза (RDT). Использование контроля синхронизма

Дополнительные функции

- 3-фазное телеотключение.
- Передача команды включения на противоположный конец линии.
- Контроль готовности выключателя.
- Блокировка АПВ при ручном включении.
- Определение замыкания на землю в компенсированных/ изолированных сетях Определение направления. Измерение активной / реактивной мощности

Многофункциональная дифференциальная защита линии с количеством терминалов от 2 до 6 - 7SD522/523



Устройство 7SD522/523 обеспечивает полносхемную дифференциальную защиту и включает в себя все функции, обычно необходимые для дифференциальной защиты линий электропередачи. Оно предназначено для защиты линий распределительных сетей с количеством терминалов от двух до шести. Устройство способно осуществлять быстрое и фазо-селективное отключение повреждений. Устройство использует оптоволоконные кабели или цифровые сети связи для обмена дифференциальными данными и включает в себя специальные свойства для применения в сетях связи. Это способствует повышению устойчивости и надежности работы электроэнергетической сети независимо от способа заземления нейтрали. 7SD522/523 может быть использовано для однофазного

и трехфазного отключения линий с количеством терминалов от двух до шести.

Устройство также может применяться при наличии внутри защищаемой зоны трансформаторов и компенсационных катушек, а также для последовательно компенсированных линий. Влияние задержки по времени в сетях связи учитывается в дифференциальном измерении так же, как и другие явления.

Дополнительные защитные функции

Устройство 7SD522/523 включает в себя несколько защитных функций, которые обычно необходимы для защиты передающих линий. К ним относятся:

- Фазная максимальная токовая защита (резервная или аварийная функция)
- Ступень максимальной токовой защиты шин STUB
- Фазо-селективное телеотключение
- Одно-/трехфазное автоматическое повторное включение
- Защита от перегрузки.
- Программируемая логика

Цифровая максимальная токовая защита с выдержкой времени с защитой от термической перегрузки и функцией АПВ SIPROTEC 7SJ600



Цифровое устройство SIPROTEC 7SJ600 может использоваться в качестве максимальной токовой защиты с независимой или инверсной выдержкой времени для односторонне и многосторонне питаемых воздушных линий, кабельных линий, трансформаторов и двигателей в распределительных сетях высокого напряжения. 7SJ600 может также найти применение в качестве резервной защиты с устройствами дифференциальной защиты линии, трансформатора, генератора, двигателя и сборных шин. При этом состояние нейтрали не имеет значения.

Кроме трехступенчатой максимальной защиты от междуфазных коротких замыканий и двухступенчатой защиты от замыканий на землю с выдержкой времени 7SJ600 также включает в себя защиту от термической перегрузки, защиту от несимметричной нагрузки, а также защиту пусковых режимов для двигателей. Таким образом, при использовании 7SJ600, например, кабельная линия может быть защищена от перегрузки, а двигатель может быть защищен от перегрузки, длительных пусковых режимов и повышенных токов обратной последовательности. При использовании устройства для защиты воздушной линии может быть применена модель со встроенной функцией

АПВ, которая позволяет выполнять до 9 циклов повторного включения. При повреждении в сети внутри устройства в течение 5 с запоминаются мгновенные значения измеренных величин, которые можно использовать для последующего анализа аварийной ситуации. Для этого устройство может быть снабжено последовательным интерфейсом. Таким образом, возможна полная и ясная оценка протекания повреждения, включая запись аварийных параметров, и удобная эксплуатация устройства с помощью персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения.

Этот интерфейс также может использоваться для связи через модем.

Многофункциональное реле защиты с функциями управления ячейкой 7SJ62



Цифровое многофункциональное реле SIPROTEC 4 7SJ62 может использоваться в качестве устройства защиты, контроля и управления для распределительных и питающих линий электропередачи любого класса напряжения в сетях с различными режимами работы нейтрали (заземненных, заземленных через низкоомное сопротивление, незаземленных, с компенсированной нейтралью). Устройство может найти применение в радиальных и кольцевых сетях, для линий с односторонним или многосторонним питанием. 7SJ62 содержит в себе также функции защиты двигателей применительно к асинхронным машинам любых размеров.

Защитные функции

Основной функцией 7SJ62 является ненаправленная максимальная токовая защита (50, 50N, 51, 51N). Защита состоит из четырех ступеней максимального тока с независимой временной характеристикой, две из которых предназначены для фазных токов и две (50 и 50N) для токов замыкания на землю. Если необходимо произвести быстрое отключение, то ступени могут использоваться в качестве токовой отсечки без выдержки времени. Также для двух фазных токов и для двух токов замыкания на землю (51 и 51N) могут использоваться ступени максимального тока с инверсной временной характеристикой. Кроме этого можно выбрать временную характеристику по ANSI или IEC, или задать определяемую пользователем характеристическую кривую.

В зависимости от заказанной модели устройства ненаправленная максимальная токовая защита может быть дополнена направленной максимальной токовой защитой (67, 67N), защитой от отказа выключателя (50 BF) и чувствительной защитой от высокоомных замыканий на землю для заземленных через сопротивление сетей (50Ns, 67Ns).

Чувствительная защита от замыканий на землю может быть направленной или ненаправленной.

Наличие в устройстве других защитных функций также зависит от заказанной модели. Эти дополнительные функции включают в себя токовую защиты обратной последовательности (46), автоматику повторного включения (79), защиту от термических перегрузок (49), защиту от повышения напряжения (59), защиту от понижения напряжения (27), защиту от повышения / понижения частоты (81O/U). В качестве защиты двигателей могут быть использованы защита пусковых режимов двигателя (48), блокировка от многократного включения двигателей (66/88) и контроль уменьшения тока (37). Кроме этого в устройство 7SJ62 включен локатор для определения места повреждения.

Устройство 7SJ62 содержит функции управления и контроля, требуемые для функционирования подстанций среднего и высшего напряжений. В основе применения лежит надежное управление выключателями или коммутационным оборудованием, которое может быть произведено с помощью встроенной панели управления, системного интерфейса, двоичных входов, последовательного порта для подключения персонального компьютера с программой DIGSI 4.

Информация о состоянии первичного оборудования или вторичных устройств может быть передана в 7SJ62 через подключение блок - контактов к двоичным входам. Текущее состояние (положение) первичного оборудования может быть отображено в устройстве 7SJ62 и использовано для задания блокировок или оценивания возможности управления. Количество первичных устройств, которыми может управлять 7SJ62, ограничивается только числом существующих в нем двоичных входов и выходов. Состояние первичного оборудования можно контролировать с помощью одного двоичного входа (одинарная индикация) или двух двоичных входов (двойная индикация).

1.4. Набор функций

Защитные функции SIPROTEC4 7SJ62 перечислены в расположенном ниже списке. Набор текущих свойств устройства зависит от заказанной модели.

- максимальная токовая защита;
- направленная максимальная токовая защита;
- функция загробления токовых защит при включении;
- чувствительная защита от замыканий на землю;
- токовая защита обратной последовательности;
- защита пусковых режимов двигателей;
- защита от термических перегрузок;
- блокировка от многократных пусков двигателя;
- защита по напряжению;
- частотная защита;
- защита от отказа выключателя (УРОВ);
- автоматическое повторного включения;
- определение места повреждения;
- чередование вращения фаз;
- определяемые пользователем функции;
- функции контроля;
- управление выключателем;
- Другие функции:
 - часы, с питанием от дополнительной батареи, которые могут быть синхронизированы с помощью сигнала IRIG-B (или DCF77), сигнала двоичного входа, или команды системного интерфейса;
 - запись и сохранение в хронологическом порядке данных о последних восьми повреждениях;
 - запись, сохранение и передача осциллограммы;
 - запись статистики выключателя, включая число выданных сигналов на отключение, отключенных токов по каждой фазе выключателя;
 - отслеживание времени работы, когда защищаемое оборудование находится под нагрузкой;
 - средства для помощи при наладке, такие как контроль соединения, определения направления, и запуск регистратора по требованию.

Многофункциональное реле защиты с функциями местного управления SIPRO-TEC 7SJ63



Цифровое многофункциональное реле SIPROTEC 4 7SJ63 может использоваться в качестве устройства защиты, контроля и управления для распределительных и питающих линий электропередачи любого класса напряжения в сетях с различными режимами работы нейтрали. Устройство может найти применение в радиальных и кольцевых сетях, для линий с односторонним или многосторонним питанием. 7SJ63 содержит в себе также функции защиты двигателей применительно к асинхронным машинам любых размеров.

Устройство включает в себя все необходимые функции для защиты, контроля положений выключателя, а также для управления выключателями при непосредственном подключении к шинам или по полуторной схеме; и, следовательно, 7SJ63 может использо-

ваться универсально. Оно может быть также использовано в качестве резервной защиты вместе с устройствами дифференциальной защиты линий, трансформаторов, генераторов, двигателей и систем шин всех классов напряжения.

Защитные функции

Основной функцией 7SJ63 является ненаправленная максимальная токовая защита (50, 50N, 51, 51N). Защита состоит из четырех ступеней максимального тока с независимой временной характеристикой, две из которых предназначены для фазных токов и две (50 и 50N) для токов замыкания на землю. Если необходимо произвести быстрое отключение, то ступени могут использоваться в качестве токовой отсечки без выдержки времени. Также для двух фазных токов и для двух токов замыкания на землю (51 и 51N) могут использоваться ступени максимального тока с инверсной временной характеристикой. Кроме этого, можно выбрать временную характеристику по ANSI или IEC, или задать определяемую пользователем характеристическую кривую.

В зависимости от заказанной модели устройства ненаправленная максимальная токовая защита может быть дополнена направленной максимальной токовой защитой (67, 67N), защитой от отказа выключателя (50 BF) и чувствительной защитой от высокоомных замыканий на землю для заземленных через сопротивление сетей (50Ns, 67Ns).

Чувствительная защита от замыканий на землю может быть направленной или ненаправленной. Наличие в устройстве других защитных функций также зависит от заказанной модели. Эти дополнительные функции включают в себя токовую защиты обратной последовательности (46), автоматику повторного включения (79), защиту от термических перегрузок (49), защиту от повышения напряжения (59), защиту от понижения напряжения (27), защиту от повышения / понижения частоты (81O/U). В качестве защиты двигателей могут быть использованы защита пусковых режимов двигателя (48), блокировка от многократного включения двигателей (66/88) и контроль уменьшения тока (37). Кроме этого в устройство 7SJ63 включен локатор для определения места повреждения.

Функции управления

Устройство 7SJ63 содержит функции управления и контроля, требуемые для функционирования подстанций среднего и высшего напряжений. В основе применения лежит надежное управление выключателями или коммутационным оборудованием, которое может быть произведено с помощью встроенной панели управления, системного интерфейса, двоичных входов, последовательного порта для подключения персонального компьютера с программой DIGSI 4.

Информация о состоянии первичного оборудования или вторичных устройств может быть передана в 7SJ63 через подключение блок - контактов к двоичным входам. Текущее состояние (положение) первичного оборудования может быть отображено в устройстве 7SJ63 и использовано для задания блокировок или оценивания возможности управления. Количество первичных устройств, которыми может управлять 7SJ63, ограничивается только числом существующих в нем двоичных входов и выходов. Состояние первичного оборудования можно контролировать с помощью одного двоичного входа (одинарная индикация) или двух двоичных входов (двойная индикация).

Многофункциональный терминал защиты 7UT513

- Основное назначение устройства 7UT513 – выполнение полностью цифровой быстродействующей дифференциальной токовой защиты с торможением от всех видов коротких замыканий трех/двухобмоточных трансформаторов, генераторов, электродвигателей и коротких линий.

- Устройство параметрически программируется (настраивается) для каждого конкретного применения, чем достигается оптимальное согласование с защищаемым объектом. Возможно использование устройства как для трехфазных, так и для группы однофазных элементов.



- Наряду с перечисленными, устройство осуществляет ряд дополнительных функций (резервная токовая защита, отсечка, защита от перегрузки, осциллографирование и т. п.
- Дифференциальная токовая защита двух/трехобмоточного трансформатора, генератора, электродвигателя
- Чувствительная дифференциальная защита от КЗ на землю
- Блокировка от броска тока намагничивания
- Максимальная токовая защита с независимыми и/или зависимыми характеристиками
- Токовая отсечка
- Интегральная защита от тепловой перегрузки
- Регистрация аварийных процессов (осциллограф), протоколов событий (до восьми последних повреждений) в энергонезависимой памяти устройства.
- Защита бака
- Четыре независимые группы наборов уставок
- Программируемые дискретные входы, сигнальные и отключающие реле, светодиоды.
- Возможность автономной работы, а также интеграции в систему контроля и управления подстанцией
- Измерение и вывод (на экран устройства или в систему контроля и управления подстанцией) в реальном масштабе времени измеряемых и вычисляемых параметров.
- Встроенные функции самоконтроля, сигнализация неисправностей
- Возможность задания уставок и параметров как местно (при помощи переносного ПК либо вручную клавиатурой лицевой панели), так и дистанционно.

Дифференциальная защита трансформаторов, генераторов, двигателей и сборных шин SIPROTEC 7UT61



Устройство дифференциальной защиты SIPROTEC 7UT612 используется для быстрого и селективного отключения коротких замыканий в двухобмоточных трансформаторах всех классов напряжения, а также во вращающихся электрических машинах, например, генераторах и двигателях, на коротких двухконцевых линиях сборных шин с числом присоединений не более 7.

Конкретное применение устройства может быть определено при его конфигурации. Это позволяет максимально адаптировать реле к защищаемому объекту.

Кроме функции дифференциальной защиты устройство включает резервную максимальную токовую защиту для 1 обмотки нейтральной точки звезды. Дополнительно возможно использовать ограниченную защиту от низко- или высокоомными замыканий на землю, защиту обратной последовательности и защиту при отказе выключателя. Устройство позволяет выполнять измерение и контроль до 12 различных температур с помощью внешних термо датчиков (RTD-boxes), поэтому возможно полностью контролировать термическое состояние трансформатора. Устройство

защиты может применяться для трехфазных и однофазных трансформаторов.

Кроме этого, встроенная тепловая модель позволяет контролировать уровень омических потерь в установке.

Обзор функций

- Дифференциальная защита двухобмоточных трансформаторов
- Дифференциальная защита двигателей и генераторов
- Дифференциальная защита коротких двухконцевых линий
- Дифференциальная защита сборных шин с числом присоединений не более 7 (пофазная или с суммирующим ТТ)

Защитные функции

- Дифференциальная защита с пофазным измерением
- Чувствительная измерительная ступень для определения повреждений с малыми по величине токами
- Ограничение при бросках тока в трансформаторе
- МТЗ от междофазных повреждений

- Защита от перегрузки с измерением или без измерения температуры
- Защита обратной последовательности
- Защита при отказе выключателя
- Ограниченная защита от низко- или высокоомных замыканий на землю (REF)

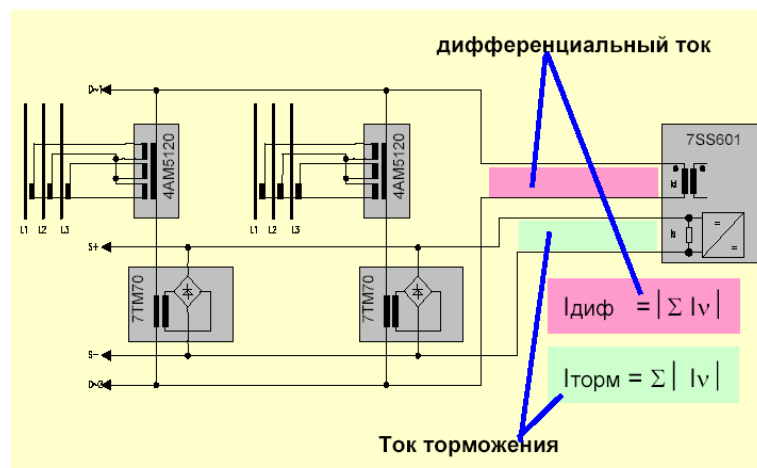
Функции управления

- Команды для управления силовым выключателем и разъединителями

Функции контроля

- Самоконтроль устройства
- Контроль цепи отключения
- Регистрация аварийных процессов
- Постоянное измерение дифференциального тока и тока ограничения

Цифровая защита сборных шин SIPROTEC 7SS60



Принцип измерения

Основной функцией защитной системы 7SS60 является защита сборных шин, действующая на принципе измерения дифференциального тока. Алгоритм 7SS60 основывается на законе Кирхгофа для токов, который определяет, что в нормальном режиме векторная сумма токов I , протекающих во включенной секции шин, должна быть равна нулю. Этот суммарный ток будет в этой главе именоваться как дифференциальный ток I_d .

Торможение

Отклонение от этого закона может быть вызвано погрешностями трансформаторов тока, неточностью измерений и согласующих коэффициентов трансформации. Другие погрешности, которые могут быть вызваны, например, насыщением трансформатора при внешних повреждениях с большими токами короткого замыкания, нейтрализуются дополнительным торможением, зависящим от нагрузки. Из нагрузочного режима извлекается тормозной ток I_R . Этот тормозной ток формируется как суммарная величина всех токов в периферийном модуле 7TM700.

Определение измеряемых величин

Дифференциальный и тормозной токи подводятся к измерительной системе 7SS601. В системе с несколькими сборными шинами или секционированными сборными шинами для каждой выбранной секции используется одна измерительная система 7SS601 (вариант с суммирующим трансформатором тока) или три измерительные системы (пофазное измерение). Правильное распределение токов присоединений в соответствующей измерительной системе 7SS601 обеспечивается периферийным модулем 7TR710 (приоритетной обработки / модели положения разъединителей).

Характеристика срабатывания

Характеристика может быть задана в параметрах для $I_d >$ (величина срабатывания) и для коэффициента k , который учитывает линейные или нелинейные погрешности трансформаторов тока. Уставка срабатывания должна быть выбрана с учетом наименьшего ожидаемого тока короткого замыкания. Дифференциальные токи, лежащие выше характеристики, приводят к отключению. Порог контроля дифференциального тока задается параметром ID_{thr} .



Селективное отключение, модель положения разъединителей

Если измерительная система 7SS601 распознает условие отключения, то должны быть отключены выключатели соответствующих присоединений. Это выполняется с помощью модели положения разъединителей, которая формируется в модуле 7TR710 (модели положения разъединителей приоритетной обработки) с учетом состояния разъединителей. На основании этой модели разъединителей измерительная система выдает команду отключения на выключатели.

Функциональные компоненты

Цифровая защита сборных шин состоит из двух отдельных функциональных частей. Одна часть, измерительная система, определяет и обрабатывает измеряемые величины. Она вычисляет тормозной ток I_R и дифференциальный ток I_d , и при необходимости выдает разрешение на отключение. Другая часть системы, которая будет именоваться как периферийная система, выполняет задачу суммирования токов присоединений и передачу суммы токов в систему регистрации измеряемых значений. Суммирование токов производится с учетом состояния коммутационного оборудования станции. Если необходимо выполнить пофазную селективную защиту, то для каждой фазы используется своя измерительная система. Иначе, три фазных тока объединяются в суммирующем трансформаторе тока, и затем происходит их дальнейшая обработка. В этом случае необходима только одна измерительная система. Если сборные шины делятся на две секции с помощью секционного разъединителя или шинно-соединительного выключателя, то каждая секция должна иметь свою собственную измерительную систему. Следовательно, для построения фазо-селективной защиты необходимо шесть измерительных систем.

Приложение П8

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО РЗА IPR XXI, НПФ ННТ г. Харьков.

Область применения: основная или резервная защита ЛЭП 110-220 кВ.

Основа алгоритмов защит IPR XXI: решения, апробированные в защитах панели ШДЭ2801. Это позволяет использовать существующие методики выбора уставок защит и обеспечить: правильную работу в широком диапазоне изменения входных сигналов по току и напряжению; отстройку от ложных действий направленной ступени при отсутствии одной из величин.

Концепция устройства на базе микропроцессорной техники позволяет Заказчику настраивать в одном конструктиве любую комбинацию из:

защит: дистанционной, земляной, максимально-токовой;

функций автоматики: АПВ, УРОВ, ОМП, автоматическое ускорение защит;

управления: местное и дистанционное выключателем и защитами;

диагностики оборудования: ресурс выключателя, контроль целостности цепей управления выключателем;

измерения: токов, напряжений, мощности, частоты сети;

встроенного цифрового осциллографа и регистратора событий,

а так же:

постоянный самоконтроль устройства;

высокую степень заводской готовности к работе.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Дистанционная защита от междофазных КЗ

количество зон

1...4 (5 по заказу)

вторичное $Z_{уст}$ ($I_{ном} = 5$ А)

0.2100 Ом/фазу;

угол максимальной чувствительности	
1-3 зоны	(60...85) эл. град.;
4, 5 зоны	(240...265) эл. град.;
1-я и 5-я зоны – окружности, проходящие через начало координат;	
2-я и 4-я зоны – четырехугольники, охватывающие начало координат;	
3-я зона – треугольник, опирающийся на начало координат;	
время срабатывания	не хуже 30 мс;
задержка на срабатывание	(0...10) с;
автоматическое ускорение зоны по внешней команде и при включении выключателя;	
блокировка при потере цепей переменного напряжения;	
блокировка зоны при качаниях в сети	
2. Земляная направленная защита (ТЗНП)	
количество ступеней	1...4
уставка по вторичному току ($I_{ном} = 5\text{ A}$)	0.5...140 A;
время срабатывания	не хуже 28 мс;
задержка на срабатывание	(0...10) с;
направленность	вкл / откл
автоматическое ускорение ступени по внешней команде и при включении выключателя;	
чувствительность ОНМ (разрешающее и блокирующее реле)	(0.5...140) Вт;
автоматический перевод направленной ступени в ненаправленную:	
- при потере 3U0 и <u>включенном блокирующем реле</u> ;	
автоматическая блокировка работы направленной ступени:	
- при потере 3U0 и <u>отключенном разрешающего реле</u>	
3. Максимально-токовая защита (одно- и многофазные КЗ)	
уставка по току ($I_{ном} = 5\text{ A}$)	0.5...140 A;
время срабатывания	не хуже 28 мс;
задержка на срабатывание	(0...10) с.
4. Трехфазное АПВ	
количество циклов	1 (по заказу до 3);
длительность бестоковой паузы	(0.1...60) с;
время готовности при ручном включении на КЗ	40 с;
варианты работы (по выбору):	
без контроля напряжения и синхронизма	
с контролем напряжения на шинах	
с контролем напряжения на ЛЭП	
с контролем синхронизма	
блокировка по внешней команде.	
5. УРОВ	
уставка по току ($I_{ном} = 5\text{ A}$)	0.5...140 A;
время срабатывания	не хуже 28 мс;
6. Цифровой осциллограф и регистратор событий	
разрешающая способность	0.5 мс;
глубина регистрации одной аварии:	
- до начала КЗ	500 мс;
- во время КЗ	до 10 с;
- после отключения КЗ	0.1 с;
суммарное время осциллограмм	до 40 с;
регистрируемое количество событий	до 250
7. Входные/выходные сигналы	
входные сигналы	
тока	4
напряжения	4
дискретные типа "сухой" контакт	8/16/24
дискретные выходные сигналы	8/16/24
8. Контроль и измерение	
контроль целостности цепей:	
переменного напряжения U_f , 3U0	
управления приводом выключателя	
точность измерения	
тока и напряжения	не хуже 3 %
мощности	не хуже 5 %

9. Габаритно-массовые характеристики

Размеры	280*270* 220мм
Масса	< 4 кг

10. Питание

Напряжение постоянного тока	(150...250) В
Потребляемая мощность	< 15 Вт

Реле выполнены в алюминиевом кожухе, внутри которого располагаются промежуточные трансформаторы, блок питания и выходных реле, блоки защиты. На лицевой панели располагаются индикаторы, светодиоды и кнопки управления для выставления уставок, считывания нормальных и аварийных параметров и сброса индикации.

Приложение П9.

Микропроцессорное устройство защиты и автоматики "ДИАМАНТ"

Производство фирмы ХАРТРОН – ИНКОР г. Харьков.



Микропроцессорное устройство, наряду с функциями защиты имеет следующие возможности:

- функциональные:
 - автоматическое формирование отчетной документации по работе энергообъекта, действиям защит и персонала;
 - встроенные цифровой осциллограф и регистратор аварийных событий;
 - измерение и контроль значений токов, напряжений, частоты и мощности;
 - простота наращивания и изменения введенных функций без изменения технических средств;
 - возможность ввода(вывода) защиты или ее ступени с обеспечением работы введенной защиты на отключение или на сигнал;
- эксплуатационные:
 - дружественный интерфейс контроля и управления;
 - дистанционный контроль и изменение уставок, ввода / вывода из работы защит;
- уменьшение номенклатуры и количества ЗИП за счет того что необходимые функции защиты выбираются потребителем из полного перечня; наращивание функций в будущем осуществляется без замены устройства введением дополнительного программного обеспечения;

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Основные

Переменный ток. In	1 А или 5 А	Переменное напряжение,
Uf	100 В	
Частота	50 Гц	

Напряжение питания	≈220 В (+10% - 20%)
Размеры: Ш/В/Г	400 мм/400 мм/220 мм

Погрешность измерения параметров:

- тока, напряжения,	< 1,5%
- активной мощности	< 2%
- реактивной мощности	< 6%
- частоты	< 0,01 Гц

Продольная дифференциальная защита

Количество плеч	2 или 3
Время срабатывания	<27 мс

Поперечная дифференциальная защита статора генератора с расщепленной обмоткой

Время срабатывания	<27 мс	Устав-
ка по току срабатывания	(0,1 -0,5)1ген	

Волновая защита

Направленность	вперед/назад
Время срабатывания	<8 мс

Дистанционная защита

Количество ступеней	4 (базовый вариант)	На-
правленность ступени	вперёд, назад или ненаправленная	

Уставка по модулю Z	(0,05-250) Ом или (0,01 -50) Ом
Уставка по аргументу Z	(0-360)°
Уставка по задержке срабатывания	(0-10) с
Время срабатывания	<27 мс
Автоматическое ускорение	имеется

Максимально-токовая защита. Отсечка

Уставка по току срабатывания(вторичному)	(0,2-25)* In	Устав-
ка по задержке срабатывания	(0-10) с	
Время срабатывания	<23 мс	

Земляная защита

Количество ступеней	4 (базовый вариант)	Ус-
ставка по току срабатывания	(0,2-20)*In	
Уставка по задержке срабатывания	(0-10) с	
Автоматическое ускорение	имеется	

Максимально - токовая защита от перегрузки

Уставка по рабочему току	(0,01 - 2,0)* In
Постоянная времени	(100 - 40000) с

Максимальная токовая защита от затяжного пуска электродвигателя

Уставка по рабочему току	(0,01 - 2,0) In
Время пуска двигателя	(0-120) с

Защита от частых пусков

Количество пусков	1-10
Окно контроля количества пусков	(0,25 - 120) час

Защита от замыканий на землю в цепях генераторного напряжения

Уставка по величине отношения напряжения основной и третьей гармоники	1 – 20
Уставка по задержке срабатывания	(0 - 30) с
Время срабатывания	<23 мс

Защита минимального напряжения

Уставка по напряжению	(0,25 - 1,1) Un
Количество ступеней	2
Уставка по задержке срабатывания	(0 - 30) с
Уставка по току	(0,05 - 1,0) In
Время срабатывания	<23 мс

Защита максимального напряжения

Уставка по напряжению	(0,3 - 2,0) Un
Уставка по задержке срабатывания	(0 - 30) с
Время срабатывания	<23 мс

Защита обратной мощности

Уставка по порогу срабатывания	(0,1 - 2,0) Pн
Уставка по задержке срабатывания	(0 - 30) с
Время срабатывания	<23 мс

Дуговая защита

Уставка по току срабатывания	(0,01 - 30) In
Уставка по задержке срабатывания	(0 30) с
Время срабатывания	< 10 мс

АПВ

Кратность циклов	до 3
Бестоковая пауза цикла № 1/2/3	(0,1 -60) с/(1-300) с/(1 -900)с
Длительность блокировки при включении	20 с
Синхронизм	да/нет (по заказу)

УРОВ

Интервал времени до повторной выдачи

сигнала на отключение

(0,05-0,1) с

Длительность сигнала "УРОВ"

0,1с

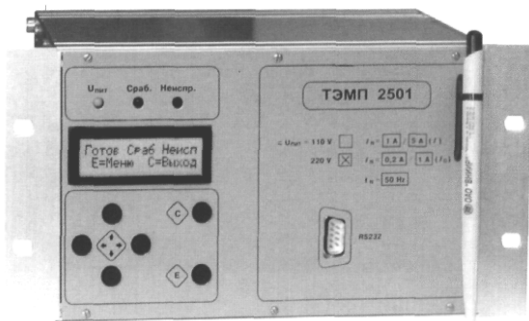
Приложение П10

Микропроцессорный терминал управления и защиты присоединений

0,4 - 35 кВ ТЭМП 2501

ОАО ВНИИР Чебоксары

Назначение



Терминалы ТЭМП 2501 предназначены для выполнения систем релейной защиты и автоматики различных присоединений на подстанциях напряжением 0,4 - 35 кВ с переменным, выпрямленным переменным и постоянным оперативным током. Терминалы выполняют необходимые функции защиты, автоматики, управления, измерений, регистрации и сигнализации.

Защищаемые объекты:

- воздушные и кабельные линии;
- секционные и вводные выключатели;
- линии КТСН 6/0,4 кВ.

Функции защит:

- трехступенчатая ненаправленная максимальная токовая защита (с ускорением 2 ступени при включении выключателя);
- одноступенчатая ненаправленная токовая защита от замыканий на землю;
- защита от несимметричного режима работы нагрузки (обрыва фаз);
- устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ) с тремя однофазными реле тока;
- защита минимального напряжения (ЗМН). *

Функции автоматики:

- двухступенчатое автоматическое повторное включение (АПВ);
- автоматическая частотная разгрузка (АЧР); *
- автоматическое включение резерва (АВР); *
- блокировка от многократных включений выключателя.

Функции управления:

- местное/дистанционное управление выключателем;
- контроль цепей управления (РПО, РПВ).

Измерение, регистрация, сигнализация:

- индикация текущих и аварийных параметров в первичных либо относительных величинах;
- регистрация аварийных параметров;
- встроенный аварийный осциллограф (оглашающие действующих значений тока);
- определение состояния дискретных входных сигналов и выходных реле;
- календарь и часы реального времени.

Связь с АСУ ТП, персональным компьютером:

- разъем для связи с АСУ ТП (задний порт – интерфейс токовая петля 20мА);
- разъем для связи с персональным компьютером (передний порт - интерфейс RS232);
- программное обеспечение, позволяющее дистанционно управлять терминалом.

Дискретные входные цепи и выходные реле:

- восемь изолированных дискретных входных цепей;
- три отключающих выходных реле с нормально разомкнутыми контактами;
- шесть сигнальных выходных реле с переключающими выходными контактами;
- двухпозиционное выходное реле фиксации команд с переключающими выходными контактами.

Основные преимущества:

- применение на подстанциях с переменным оперативным током (время отключения повреждения при одновременной подаче питания и возникновении повреждения не более 0,22 мс);

- малое время готовности, не более 0,2 с;
- реализация функции автоматики различных присоединений в одном устройстве;
- расширенный температурный диапазон (от минус 40 до 55°C);
- две группы уставок;
- программируемое пользователем назначение дискретных входных цепей и выходных реле;
- стоимость в 1,5 - 2 раза ниже большинства существующих аналогичных микропроцессорных защит.

Применение

Применение терминалов особенно оправдано при реконструкции ПС. Устройства обеспечивают работоспособность с вакуумными, элегазовыми, масляными выключателями.

Малые габаритные размеры и широкий температурный диапазон позволяют использовать устройство в камерах КСО, ячейках КРУ 6-10-35 кВ на ПС промышленных предприятий, коммунального хозяйства, небольших РП сетевых предприятий и т.п. с переменным оперативным током. В этом случае устройство применяется совместно с индивидуальным комбинированным блоком питания типа БП001 (или имеющимся БПТ, БПНС), обеспечивающим работоспособность устройства при близких коротких замыканиях на ПС.

Малое время готовности устройства обеспечивает селективное отключение присоединения при отсутствии оперативного тока или включении ПС с переменным оперативным током на повреждение.

Характеристики защит

функции защит	параметры уставок по току			параметры уставок по времени срабатывания		количество выдержек времени ступени
	диапазон $X_{\text{ном}}$	погрешность %		диапазон с.	погрешность %	
		$I_{\text{ср}} < 0,5 I_n$	$I_{\text{ср}} > 0,5 I_n$			
максимальная токовая защита						
3 ступень МТЗ	0.1-5.0	5	3	0.05 - 300	2	2
2 ступень МТЗ	0.25-40.0	5	3	0.05 - 300	2	3
1 ступень МТЗ	0.25-40.0	5	3	0.05 - 30,0	2	1
Защита от замыканий на землю	0.1-2,5	5	3	0.05 - 300	2	2
Защита от несимметрии (обрыва фаз) ΔI в % от $I_{\text{ф}}$	10 - 100	5		1 - 300	2	2
УРОВ	0.05 $I_{\text{ном}}$	5		0.1 – 1.0	2	1

Регистратор аномальных режимов

количество аналоговых каналов	4 (действующие значения I_A, J_s, J_c, I_Q)
количество дискретных сигналов	40 (8 входных + 10 выходных + 22 внутренних)
частота выборки, Гц	200
длительность записи	
• предаварийный режим, с	0,5
• аварийный режим, с	0,5 ... 5,0
количество осциллограмм	до 32
суммарное время записи, не менее, с	16 (максимум 35)

Приложение П11

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ, АВТОМАТИКИ, КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИСОЕДИНЕНИЙ

6-35 кВ МРЗС-05.

г. Киев ПО «Киевприбор»

Назначение. Микропроцессорное устройство защиты, автоматики, контроля и управления присоединений 6-35 кВ МРЗС-05 предназначено для применения на понижающих подстанциях 220-55/10/6 кВ.

Функции релейной защиты:

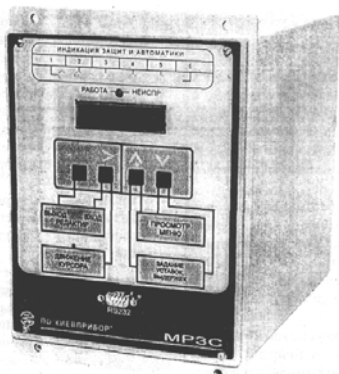
- трехступенчатая максимальная токовая защита;
- защита от замыканий на землю по току нулевой последовательности;
- защита максимального напряжения;
- защита минимального напряжения.

Функции автоматики:

- двукратное или однократное автоматическое повторное включение;
- резервирование отказа выключателя;
- автоматическая частотная разгрузка АЧР;
- автоматическое ускорение при включении выключателя.

Устройство обеспечивает контроль следующих величин:

- трех фазных или линейных напряжений; трех фазных токов;
 - тока нулевой последовательности;
 - напряжения $3U_0$;
 - частоты в сети.
- Кроме того, устройство обеспечивает контроль:
- нормальном режиме:
 - активной мощности;
 - реактивной мощности;
 - аварийном режиме:
 - максимального тока в поврежденной фазе;
 - минимального напряжения на поврежденной фазе.



Индикация и управление

Управление и конфигурирование MP3C производится с помощью встроенных кнопок управления и с помощью ПЭВМ подключаемой через интерфейс RS232. Оперативное изменение алгоритмов работы MP3C возможно через 8 дискретных оптронных входов. Их назначение программируется пользователем.

MP3C имеет 7 дискретных выходов для выдачи команд и сигнализации в виде "сухих" контактов реле (назначение 6-ти выходов программируется пользователем).

Возможен вариант исполнения MP3C с 16 дискретными входами и 13 дискретными выходами.

Кроме жидкокристаллического дисплея имеется индикация на 7-ми светодиодах (назначение 6-ти светодиодов программируется пользователем).

На жидкокристаллическом дисплее индицируется информация о срабатывании защит и автоматики, значениях параметров срабатывания, значениях уставок, конфигурации системы, назначении дискретных входов, выходов и светодиодных индикаторов. Доступ к информации на дисплее удобный и быстрый с помощью встроенных кнопок и разнообразных меню. Индикация на дисплее легко различима - имеется подсветка.

В устройстве используется автоматическая коррекция хода часов (цифровая настройка хода), повышающая точность привязки регистрации к текущему времени.

Конфигурирование MP3C

MP3C позволяет задавать или исключать функции MP3C, ранжировать дискретные входы, выходы, световые индикаторы, задавать длительность команд, задавать коэффициент трансформации трансформаторов тока и напряжения.

При задании параметров функций защиты и автоматики MP3C позволяет устанавливать: уставки срабатывания; выдержки времени;

- варианты МТЗ, варианты характеристик; включать, отключать ступени; включать, отключать отдельные виды защиты и автоматики.

Информация о конфигурации MP3C хранится в энергонезависимой памяти.

Самодиагностика

MP3C обеспечивает самодиагностику с выявлением неисправности с точностью до съемного блока. Формирование управляющих воздействий на включение и отключение коммутационных аппаратов производится только после проверки достоверности необходимости выполнения операции и исправности каналов управления. Обеспечивается непрерывная проверка исправности программного обеспечения (методом контрольных сумм). При включении MP3C производится контроль исправности MP3C с выдачей сообщения на минидисплей в случае неисправности

Регистрация

МРЗС осуществляет регистрацию событий:

- всех входных дискретных сигналов;
- срабатывания всех защит;
- срабатывания функций автоматики;
- всех выдаваемых дискретных сигналов.

Регистрация всех событий осуществляется с привязкой к текущему времени. Регистрируются последние 50 событий.

МРЗС осуществляет регистрацию аварийных ситуаций с записью мгновенных значений токов и напряжений при авариях с привязкой к текущему времени (хранится информация о пяти последних авариях) и с записью дискретных сигналов во время аварии. Существует возможность блокировки регистратора аварий при срабатывании отдельных (выбранных) функций защит и автоматики.

Информация регистраторов хранится в энергонезависимой памяти.

Устройство осуществляет контроль ресурса выключателя по количеству отключений.

Зарегистрированные события можно просмотреть на жидкокристаллическом дисплее. Информацию о событиях и авариях можно скопировать на ПЭВМ, подключаемую через интерфейс RS232.

Сводная таблица модификаций МРЗС-05

	МРЗС-05	МРЗС-05-01	МРЗС-05-02	МРЗС-05-03
Максимальная токовая защита (МТЗ)				
независимая	+	+	+	+
визисмая	+	+	+	+
ленная	-	-	-	+
МТЗ	+	+	+	Ускорение
по напряжению	-	-	-	+ Блокировка МТЗ
жению (ЗН)	+	-	+	Защита по напря-
Защита от замыкания на землю по току	+	+	-	ну.
левой последовательности (ЗЗ)				
Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) – спецочередь	+	+	-	-
Автоматическое повторное включение (АПВ)	+	+	-	-
автоматическое включение резерва (АВР)	-	-	+	-
Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ)	+	+	+	-
Определяемые функции	4, без таймеров	8, двух видов с двумя таймерами	4, без таймеров	8, двух видов с двумя таймерами
Контроль целостности цепей	-	+	-	-
.управления выключателем				
Контроль положения тележки	-	+	-	-
граммируемых входов (ДВ)				
Количество дискретных выходов / из них - программируемых	7/6	13/12	7/6	13/12
Количество светодиодных индикаторов / из них - программируемых	7/6	7/6	7/6	7/6
Контроль токов, напряжений, частоты, ности	+	+	+	+ мощ-
Регистратор аварий (аналоговых лов)	+	+	+	+ сигна-
Регистратор событий (дискретных налов)	+	+	+	+ сиг-
Регистратор состояния системы	+	+	+	+
Выборочный старт регистраторов				
Автоматическая коррекция хода часов	+	+	+	+
Сброс часов от ДВ	+	+	+	+ Ин-
терфейсы RS232/RS485	+	+	+	+

Устройства защиты и управления Merlin Gerin фирмы Schneider Electric

Семейство устройств защиты и управления Seram 1000+ разработано для защиты электрических машин и распределительных устройств в составе подстанций и производственных сетей любого класса напряжения.



Seram 1000+ разработаны на основе полных, простых и надежных технических решений, позволяющих реализовать следующие функции:

- защита подстанций (вводов и фидеров)
- защита трансформаторов
- защита двигателей
- защита генераторов
- защита шин.

Seram 1000+ серии 20

Наиболее подходящие для стандартных применений, устройства Seram серии 20 обеспечивают простейшие решения, основанные на измерении тока или напряжения.

- защита вводов и фидеров подстанции от междофазных КЗ и замыканий на землю;
- настраиваемая выдержка времени возврата для отстройки от повторных КЗ;
- переключение групп уставок для автоматической адаптации к изменениям конфигурации сети.
- защита воздушных линий со встроенным АПВ;
- защита трансформаторов от перегрузок, в том числе тепловая защита на основе математической модели с учетом температуры окружающей среды и 2 группами уставок для разных

режимов обдува;

- защита двигателей от перегрузок, в том числе термическая защита на основе математической модели с учетом 16 видов IDMT-кривых зависимости времени отключения; температуры окружающей среды и кривой холодного состояния, которую можно отрегулировать в соответствии с характеристиками двигателя;
- от внутренних повреждений и повреждений, зависящих от нагрузки;
- с контролем режима пуска и режима работы двигателя.

Устройства Seram серии 20 B21 и B22 с измерением напряжения применяют для решения следующих задач:

- контроль напряжения и частоты в сети;
- обнаружение потери питания при помощи органов скорости изменения частоты (для распределительных устройств с генераторами).

Seram 1000+ серии 40

Устройства Seram серии 40 одновременно измеряют ток и напряжение и предоставляют высокотехнологические решения для проектов с повышенными требованиями.

Помимо функций Seram серии 20, устройства Seram серии 40 позволяют также решать следующие задачи:

- защита кольцевых сетей или сетей с вводами, работающими параллельно, при помощи направленных защит;
- направленные защиты от замыканий на землю, настраиваемые для всех режимов заземления нейтрали: глухозаземленной, скомпенсированной или изолированной;
- защита сетей с переменной конфигурацией при помощи переключаемых групп уставок и логической селективности;
- все необходимые электрические измерения: токи в фазах и ток нулевой последовательности, линейные и фазные напряжения, напряжение нулевой последовательности, частота, мощность, энергия.
- функции контроля состояния сети: 20 секунд записи параметров сети, подробный журнал последних 200 аварийных состояний, запись последних 5 аварийных состояний;
- адаптация функций управления при помощи редактора логических формул;

- адаптация аварийных сообщений (индикации) в соответствии с применением и языком пользователя.

Выбор типа Sepam 1000+

Критерий выбора	Серия 20				Серия 40		Sepam 1000+
Измерения	I	U	U	I и U	I и U	I и U	поставляется с 2 вариантами интерфейса
Специфические функции			потеря питания (скорость изменения частоты)		направленная защита от замыканий на землю	направленные MTЗ и защита от замыканий на землю	
Применение				Тип			
Подстанция	S20			S40	S41	S42	
Трансформатор	T20			T40		T42	
Двигатель	M20				M41		
Генератор				G40			
Шины		B21	B22				
Пример: защита двигателя с измерением тока и напряжения подходит Sepam типа M41.							

фейса человек-машина

(ИЧМ, или UMI):

! расширенный интерфейс с кнопками и ЖКИ обеспечивает

- индикацию всех данных, необходимых для местной работы с устройством измерения, диагностическая информация, аварийные сигналы и пр.;
- настройку параметров Sepam и уставок защит;
- индикацию на языке пользователя.

Расширенный интерфейс может быть встроенным в основное устройство или представлять собой выносной модуль, который можно расположить в наиболее удобном для пользователя месте.

базовый интерфейс с сигнальными лампами

для установок с дистанционным управлением (посредством связи по сети) без необходимости работы в местном режиме; в случае же, если необходим местный доступ, можно использовать компьютер с программным обеспечением SFT2841.

Для адаптации к любой ситуации или с целью модернизации функции Sepam могут быть расширены путем подключения дополнительных модулей:

- модуля логических входов/выходов с настраиваемой логикой работы;
- модуля связи по сети
- модуля для подключения датчиков температуры;
- модуля аналогового выхода.

Связь по протоколу Modbus

Все данные, необходимые для централизованной диспетчеризации электросети, доступны через модуль связи (опция) по открытому международному протоколу Modbus:

- чтение измеряемых и диагностических параметров;
- дистанционная сигнализация и позиционирование событий во времени;!
- дистанционное управление оборудованием;
- дистанционная настройка защит;
- чтение записанных аварийных режимов.

Подключение к Ethernet и Webserver

Sepam может быть подключен к широкополосной сети Ethernet при помощи интерфейса

Ethernet/Modbus. С этим интерфейсом Sepam может быть интегрирован в любую систему автоматического управления и контроля, основанную на протоколах Modbus / TCP/IP multi-master. Возможно создание web-страниц, автоматически отображающих информацию, полученную с Sepam и доступную через web-browser.

Таблица выбора

Seram серии 20

Функции	Тип Seram					
	код ANSI	Подстанция	Трансформатор	Двигатель	Шины	
Защиты					B21 ⁽²⁾	B22
MT3 (фазные токи)	50/51	4	4	4		
Защита от замыканий на землю, в т. ч. для скомпенсированной нейтрали	50N/51N, 50G/51G	4	4	4		
Обратной последовательности (несимметрия токов)	46	1	1	1		
Тепловая защита от перегрузки (по математической модели)	49RMS		2	2		
Минимальная фазного тока	37			1		
От блокировки ротора и затяжного пуска	48/51LR/14			1		
Контроль количества пусков в час	66			1		
Минимального напряжения прямой последовательности	27D/47				2	2
Минимального остаточного напряжения	27R				1	1
Минимального линейного напряжения	27				2	2
Минимального фазного напряжения	27S				1	1
Максимального линейного напряжения	59				2	2
Максимального напряжения нулевой последовательности (смещение нейтрали / неисправность изоляции)	59N				2	2
Максимальной частоты	81H				1	1
Минимальной частоты	81L				2	2
Скорости изменения частоты	81R					1
АПВ (4 цикла)	79	□				
Термостат / газовое реле			□			
Контроль температуры (8 датчиков, 2 уставки на датчик)	38/49T		□	□		
Измерения						
Фазные токи I1, I2, I3 (действ.), ток нулевой последовательности Io		■	■	■		
Средние токи I1, I2, I3, пик потребления IM1, IM2, IM3		■	■	■		
Напряжение U21, U32, U13, V1, V2, V3, напряжение нулевой последовательности Vo					■	■
Напряжение прямой последовательности Vd (направление вращения)					■	■
Частота					■	■
Температура			□	□		
Диагностика электрической машины и сети						
Токи отключения TripI1, TripI2, TripI3, TripIo		■	■	■		
Коэффициент несимметрии (ток обратной последовательности Ii)		■	■	■		
Запись аварийного режима		■	■	■	■	■
Использованная тепловая емкость (степень нагрева)			■	■		
Остаток времени в работе до отключения по перегрузке			■	■		
Время ожидания перед повторным пуском после отключения по перегрузке			■	■		
Счетчик часов наработки машины (время работы)			■	■		
Время пуска и пусковой ток				■		
Время до разрешения пуска, количество разрешенных пусков до запрета пуска				■		
Диагностика коммутационного оборудования						
Накопительный измеритель тока отключения		■	■	■		
Контроль цепи отключения		□	□	□	□	□
Количество операций, время срабатывания, время взвода привода		□	□	□		
Управление и контроль						
Управление выключателем (контактором) ⁽¹⁾	94/69	□	□	□	□	□
Защелка (необходимость квитирования)	86	■	■	■	■	■
Логическая селективность	68	□	□	□		
Переключение групп уставок		■ ⁽²⁾	■ ⁽²⁾	■ ⁽²⁾		
Выносные дополнительные модули						
8 входов для датчиков температуры – модуль MET148-2			□	□		
1 низкоуровневый аналоговый выход – модуль MSA141		□	□	□	□	□
Логические входы/выходы – модуль MES108 (4I/4O) или MES114 (10I/4O)		□	□	□	□	□
Интерфейс RS485 – модуль ACE949-2 (2-проводной) или ACE959 (4-проводной)		□	□	□	□	□

■ стандартная функция, □ зависит от настройки параметров и наличия соответствующего модуля (MES108, MES114 или MET148-2).

⁽¹⁾ с катушкой отключения как на подачу напряжения, так и минимального напряжения (расцепителем).

⁽²⁾ устройство можно настроить на использование либо логической селективности, либо переключения групп уставок.

⁽³⁾ выполняет все функции устаревшего типа B20.

Функции		Тип Seram						
		Подстанция			Трансформатор		Двигатель	Генератор
Защиты	код ANSI	S40	S41	S42	T40	T42	M41	G40
MTЗ (фазные токи)	50/51	4	4	4	4	4	4	4
MTЗ с пуском по напряжению	50V/51V							1
Защита от замыканий на землю, в т. ч. для скомпенсированной нейтрали	50N/51N, 50G/51G	4	4	4	4	4	4	4
Резервирование отказа выключателя	50BF	1	1	1	1	1	1	1
Обратной последовательности (несимметрия токов)	46	2	2	2	2	2	2	2
Направленная MTЗ	67			2		2		
Направленная защита от замыканий на землю	67N/67NC		2	2		2	2	
Направленная защита максимальной активной мощности	32P		1	1			1	1
Направленная защита максимальной реактивной мощности	32Q/40						1	1
Тепловая защита от перегрузки (по математической модели)	49RMS				2	2	2	2
Минимальная фазного тока	37						1	
От блокировки ротора и затяжного пуска	48/51LR/14						1	
Контроль количества пусков в час	66						1	
Минимального напряжения прямой последовательности	27D						2	
Минимального остаточного напряжения	27R						1	
Минимального напряжения ⁽¹⁾	27/27S	2	2	2	2	2	2	2
Максимального напряжения ⁽²⁾	59/59S	2	2	2	2	2	2	2
Максимального напряжения нулевой последовательности (смещение нейтрали / неисправность изоляции)	59N	2	2	2	2	2	2	2
Максимального напряжения обратной последовательности	47	1	1	1	1	1	1	1
Максимальной частоты	81H	2	2	2	2	2	2	2
Минимальной частоты	81L	4	4	4	4	4	4	4
АПВ (4 цикла)	79	□	□	□				
Контроль температуры (8 или 16 датчиков, 2 уставки на датчик)	38/49T				□	□	□	□
Термостат / газовое реле					□	□		
Измерения								
Фазные токи I1, I2, I3 (действ.), ток нулевой последовательности Io		■	■	■	■	■	■	■
Средние токи I1, I2, I3, пик потребления IM1, IM2, IM3		■	■	■	■	■	■	■
Напряжение U21, U32, U13, V1, V2, V3, напряжение нулевой последовательности Vo		■	■	■	■	■	■	■
Напряжение прямой последовательности Vd (направление вращения)		■	■	■	■	■	■	■
Частота		■	■	■	■	■	■	■
Активная, реактивная и полная мощности P, Q, S		■	■	■	■	■	■	■
Пик потребления активной и реактивной мощностей PM, QM		■	■	■	■	■	■	■
Коэффициент мощности (cos φ)		■	■	■	■	■	■	■
Расчитанная активная и реактивная энергия (±Вт·ч, ±ВАр·ч)		■	■	■	■	■	■	■
Активная и реактивная энергия по импульсному входу (±Вт·ч, ±ВАр·ч)		□	□	□	□	□	□	□
Температура					□	□	□	□
Диагностика электрической машины и сети								
Параметры аварийного состояния		■	■	■	■	■	■	■
Токи отключения Tnpl1, Tnpl2, Tnpl3, Tnpl0		■	■	■	■	■	■	■
Коэффициент несимметрии (ток обратной последовательности Ii)		■	■	■	■	■	■	■
Смещение фазы φ0, φ1, φ2, φ3		■	■	■	■	■	■	■
Запись аварийного режима		■	■	■	■	■	■	■
Использованная теплоемкость (степень нагрева)					■	■	■	■
Остаток времени в работе до отключения по перегрузке					■	■	■	■
Время ожидания перед повторным пуском после отключения по перегрузке					■	■	■	■
Счетчик часов наработки машины (время работы)					■	■	■	■
Время пуска и пусковой ток							■	
Время до разрешения пуска, количество разрешенных пусков до запрета пуска							■	
Диагностика коммутационного оборудования код ANSI								
Накопительный измеритель тока отключения		■	■	■	■	■	■	■
Контроль цепи отключения		□	□	□	□	□	□	□
Количество операций, время срабатывания, время взвода привода		□	□	□	□	□	□	□
Контроль измерительных трансформаторов тока и напряжения	60FL	■	■	■	■	■	■	■
Управление и контроль код ANSI								
Управление выключателем (контактором) ⁽¹⁾	94/69	■	■	■	■	■	■	■
Защелка (необходимость квитирования)	86	■	■	■	■	■	■	■
Логическая селективность	68	□	□	□	□	□	□	□
Переключение групп уставок		■	■	■	■	■	■	■
Редактирование логических уравнений		■	■	■	■	■	■	■
Выносные дополнительные модули								
8 входов для датчиков температуры – модуль MET148-2 ⁽²⁾					□	□	□	□
1 низкоуровневый аналоговый выход – модуль MSA141		□	□	□	□	□	□	□
Логические входы/выходы – модуль MES108 (4I/O) или MES114 (10I/O)		□	□	□	□	□	□	□
Интерфейс RS485 – модуль ACE949-2 (2-проводной) или ACE959 (4-проводной)		□	□	□	□	□	□	□

■ стандартная функция, □ зависит от настройки параметров и наличия соответствующего модуля (MES108, MES114 или MET148-2).

⁽¹⁾ с катушкой отключения как на подачу напряжения, так и минимального напряжения (расцепителем).

⁽²⁾ возможно использование 2 модулей одновременно.

⁽³⁾ устройство можно настроить на работу либо по линейному, либо по фазному напряжению.

Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех. РД 34.20.116-93, РАО «ЕЭС России», Москва, 1993 Тэзисы.

Данные указания предусматривают мероприятия по защите вторичных цепей РЗА от импульсных помех и предназначены для инженерно-технического персонала проектных, строительно-монтажных и эксплуатационных организаций. Требования, изложенные в указаниях, распространяются на ЭС и ПС с ОРУ 110-1115 кВ.

При коммутации электрооборудования, КЗ, грозовых перенапряжениях возникают сильные электромагнитные поля воздействующие на вторичные цепи РЗА, ПА, АСУ ТП. Помехи носят импульсный характер и представляют серьезную опасность микроэлектронных устройств. Помехи - это переход энергии от источника помех во вторичные цепи, вследствие их индуктивной, емкостной или гальванической связей. Помехи могут подавляться: непосредственно в источнике, в приемнике, за счет уменьшения электромагнитной связи источника помех с цепями, подверженными влиянию.

Допустимые амплитудные значения помех в цепях РЗА, ПА, АСУ ТП третьего класса не должны превышать значений 1.5 кВ (помеха общего вида) и 0.7 кВ (помеха дифференциального типа), а для цепей второго класса - 0.6 кВ и 0.3 кВ, соответственно. Эти уровни помех не нарушают нормальную работу микроэлектронных устройств, удовлетворяющих международным нормам МЭК255-5, 255-22-1.

Эффективным средством подавления помех является применение RC-цепочек, диодов, варисторов и т.п., подключаемых параллельно источникам помех.

Подавление помех в приемнике достигается: применением фильтров, диодов, варисторов на входах и в цепях питания и включение оптронных развязок.

Рассматриваемые мероприятия по уменьшению электромагнитной связи между цепями предусматривают усиление требований ПУЭ в части заземление оборудования, прокладки кабельных линий и заземлению их экранов.

Заземление корпусов аппаратов должно выполняться кратчайшим путем с обеспечением растекания тока по магистралям заземляющего устройства не менее чем в четырех направлениях, а, при присоединении непосредственно к заземляющему устройству - не менее, чем в двух направлениях. Для снижения входного сопротивления растеканию токов высокой частоты целесообразно, в местах присоединения заземляющего спуска, применять дополнительные вертикальные электроды длиной 3-5 м или прокладывать горизонтальные заземлители.

Цепи от измерительных ТТ и ТН должны прокладываться в кабелях с металлической оболочкой, если невозможно обеспечить прокладку неэкранированных кабелей при расчетном уровне помех не превышающем допустимых значений.

В одном контрольном кабеле не допускается объединение цепей различных классов по уровню испытательного напряжения, измерительных и силовых цепей. Трассы с кабелями вторичных цепей должны быть удалены от трасс силовых кабелей, от фундаментов стоек с разрядниками и молниеотводами и располагаться по возможности вблизи от горизонтальных заземлителей. Металлические оболочки кабелей с цепями вторичной коммутации должны заземляться в ОРУ и ОПУ (РЩУ). При этом должна обеспечиваться термическая стойкость оболочки при КЗ в сети 110 кВ и выше. Для цепей межмашинного обмена должны применяться только экранированные симметричные кабели. Экраны типа фольги заземляются только в одной точке (в месте концевой разделки кабеля). Металлические короба, используемые для прокладки кабелей, заземляются по концам и в промежуточных точках с шагом 5-10 м.

Приложение П14

КОМПЛЕКТУЮЩИЕ ДЛЯ МОНТАЖА ШКАФОВ РЗА.

КНОПКИ, ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ, СВЕТОСИГНАЛЬНАЯ АРМАТУРА




ПРИМЕНЕНИЕ

Применяются для коммутации цепей управления.
Соответствуют нормам МЭК/EN 60947-1, IEC/EN 60947-5-1.
Сертификаты cUL, UL, RINA, LROS

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Толкателей кнопок	Контактных элементов
<ul style="list-style-type: none"> - усилие нажатия: 0,8 кг - материал: <ul style="list-style-type: none"> - металл - сплав алюминия и цинка; - пластик - полиамид и поликарбонат; - рабочее положение: любое; - рабочая температура: -40...+60°C; - степень защиты: IP65. 	<ul style="list-style-type: none"> - степень защиты: IP20; - ном. напряжение: 690 В (~); - ном. ток: 3 А (при 240 В (~)); - сопротивление контакта: < 20 мОм; - электрическая стойкость: 10⁶ циклов.

КНОПКИ

	Типоразмер D22 мм Серия "Металл"	Описание
Толкатели кнопок		
	8LM2TB10...	Кнопка черная
	8LM2TB103	Кнопка зеленая
	8LM2TB104	Кнопка красная
	8LM2TB105	Кнопка желтая
	8LM2TB106	Кнопка синяя
	8LM2TB108	Кнопка белая
	8LM2TB109	Кнопка серая
	8 LM2T B202	Кнопка выступающая черная
	8 LM2T B203	Кнопка выступающая красная
	8 LM2T B204	Кнопка выступающая зеленая
	8 LM2T B205	Кнопка выступающая желтая
	8 LM2T B206	Кнопка выступающая синяя
	8 LM2T B208	Кнопка выступающая белая
	8 LM2T B209	Кнопка выступающая серая
	8 LM2T BL103	Кнопка с подсветкой зеленая
	8 LM2T BL104	Кнопка с подсветкой красная
	8 LM2T BL105	Кнопка с подсветкой желтая
	8 LM2T BL106	Кнопка с подсветкой синяя
	8 LM2T BL107	Кнопка с подсветкой бесцветная
	8 LM2T BL108	Кнопка с подсветкой белая

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ


	Типораз- мер D22 мм Серия "Ме- талл"	Описание
Толкатели переключателей		
	8 LM2T S120	Кнопка поворотная 2-х позиционная стабильная
	8 LM2T S121	Кнопка поворотная 2-х позиционная нестабильная
	8 LM2T S130	Кнопка поворотная 3-х позиционная стабильная
	8 LM2T S131	Кнопка поворотная 3-х позиционная нестабильная
	8 LM2T S132	Кнопка поворотная 3-х позиционная нестабильная влево
	8 LM2T S133	Кнопка поворотная 3-х позиционная нестабильная вправо
	8 LM2T S220	Кнопка поворотная с удлиненной ручкой 2-х позиционная стабильная
	8 LM2T S221	Кнопка поворотная с удлиненной ручкой 2-х позиционная нестабильная
	8 LM2T S230	Кнопка поворотная с удлиненной ручкой 3-х позиционная стабильная
	8 LM2T S231	Кнопка поворотная с удлиненной ручкой 3-х позиционная нестабильная
	8 LM2T S232	Кнопка поворотная с удлиненной ручкой 3-х позиционная нестабильная влево
	8 LM2T S233	Кнопка поворотная с удлиненной ручкой 3-х позиционная нестабильная вправо

КОНТАКТЫ

	Тип	Описание
	8 LM2T AU120	Монтажная пластина металл
	8 LP2T AU120	Монтажная пластина пластик
	8 LM2T C10	Контакт нормально разомкнутый
	8 LM2T C01	Контакт нормально замкнутый
	8 LM2T C01D	Контакт нормально замкнутый позднего срабатывания
	8 LM2T C10A	Контакт нормально разомкнутый раннего срабатывания
	8 LM2T EL400	Ламподержатель на 415В
	8 LM2T ALA024	Лампочка накаливания 1,2Вт, 24В
	8 LM2T ALB024	Лампочка накаливания 2Вт, 24В
	8 LM2T ALB220	Лампочка накаливания 2Вт, 220В
	8 LM2T ALN250	Лампочка неоновая 250В универсальная
	DL1CS7220 SP	Лампочка неоновая 250В красная, желтая, прозрачная
	DL1CS3220 SP	Лампочка неоновая 250В зеленая
	DL1CS6220 SP	Лампочка неоновая 250В синяя
	8 LM2TAU100	Шильдик для маркировки
	8 LM2TA140	Адаптер для установки контактов по центру

СВЕТОСИГНАЛЬНАЯ АРМАТУРА

Применение Применяются для индикации режимов работы устройств. Соответствуют нормам IEC/EN 60947-1, IEC/EN 60947-5-1. Сертификаты cUL, UL, RINA, LROS	Характеристики - материал: полиамид и поликарбонат; - сигнальная лампа: 10*28 мм, цоколь 9S - максимальная мощность лампы: 2,6 Вт - рабочее положение: любое; - рабочая температура: -40...+60°C; - степень защиты: IP65.
---	--

	Типоразмер D22mm Серия "Пластик"	Описание
	8 LP2T IL223	Лампа-моноблок зеленый
	8 LP2T IL224	Лампа-моноблок красный
	8 LP2T IL225	Лампа-моноблок желтый
	8 LP2T IL226	Лампа-моноблок синий
	8 LP2T IL227	Лампа-моноблок белый прозрачный
	8 LP2T IL228	Лампа-моноблок белый матовый
	8 LM2T ALA024	Лампочка накаливания 1,2Вт, 24В
	8 LM2T ALB024	Лампочка накаливания 2Вт, 24В
	8 LM2T ALB220	Лампочка накаливания 2Вт, 220В
	8 LM2T ALN250	Лампочка неоновая 250В универсальная
	DL1CS7220 SP	Лампочка неоновая 250В красная, желтая, прозрачная
	DL1CS3220 SP	Лампочка неоновая 250В зеленая
	DL1CS6220 SP	Лампочка неоновая 250В синяя

КУЛАЧКОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Применение Применяются для коммутации цепей в качестве выключателя/переключателя цепей питания и управления; а также для включения / выключения двигателей. Соответствуют нормам IEC/EN 60947-1, IEC/EN 60947-5-1, VDE 0630, VDE0660 Сертификаты CSA, UL, KEMA, LROS	Характеристики - номинальный ток: 12...125 А; - номинальное напряжение: 690 В (~); - механическая жизнь: 3x10 ⁶ циклов; - Степень защиты по лицевой панели - IP 40; контактов - IP 00; - рабочая температура: -25...+55°C
--	---

		Размер передней панели	Число полюсов	Номинальный ток
	-	мм	-	А
	Выключатель Вкл./Откл., установка на переднюю панель			
	7 GN1290 U	48x48	1	12
	7 GN20 90 U	48x48		20
	7 GN2590 U	48x48		25
	7 GN32 90 U	65x65		32
	7 GN40 90 U	65x65		40
	7 GN63 90 U	65x65		63
	7 GN12 91 U	48x48	2	12
	7 GN20 91 U	48x48		20
	7 GN25 91 U	48x48		25
	7 GN32 91 U	65x65		32
	7 GN40 91 U	65x65		40
	7 GN63 91 U	65x65		63
	7 GN12 10 U	48x48	3	12
	7 GN20 10 U	48x48		20
	7 GN25 10 U	48x48		25
	7 GN32 10 U	65x65		32
	7 GN40 10 U	65x65		40
	7 GN63 10 U	65x65		63
	7 GN125 10 U	90x90	125	
	7 GN12 90 U	48x48	4	12
	7 GN20 90 U	48x48		20
	7 GN25 90 U	48x48		25
	7 GN32 90 U	65x65		32
	7 GN40 90 U	65x65		40
	7 GN63 90 U	65x65		63
	7 GN125 90 U	90x90	125	
	Выключатель Вкл./Откл., в корпусе IP40			
	7 GN12 10 C	65x65	3	12
	7 GN20 10 C	75x75		20
	7 GN25 10 C	75x75		25
	7 GN32 10 C	90x90		32
	7 GN40 10 C	90x90		40
	7 GN63 10 C	125x175		63
	Переключатель 1-0-2, установка на переднюю панель			
	7 GN12 53 U	48x48	3	12
	7 GN20 53 U	48x48		20
	7 GN25 53 U	48x48		25
	7 GN32 53 U	65x65		32
	7 GN40 53 U	65x65		40
	7 GN63 53 U	65x65		63
	7 GN125 53 U	90x90		125
	Переключатель 1 - 2, установка на переднюю панель			
	7 GN12 56 U	48x48	3	12
	7 GN20 56 U	48x48		20
	7 GN25 56 U	48x48		25
	Переключатель "Звезда" / "Треугольник", установка на переднюю панель			
	7 GN12 12 U	48x48	4	12
	7 GN20 12 U	48x48		20
	7 GN25 12 U	48x48		25
	7 GN32 12 U	65x65		32
	7 GN40 12 U	65x65		40
	7 GN63 12 U	65x65		63
	7 GN125 12 U	90x90		125
	Переключатель вольтметра, установка на переднюю панель			
	7 GN12 66 U	48x48	3	1 2
	7 GN20 66 U	48x48		2 0
	7 GN25 66 U	48x48		2 5

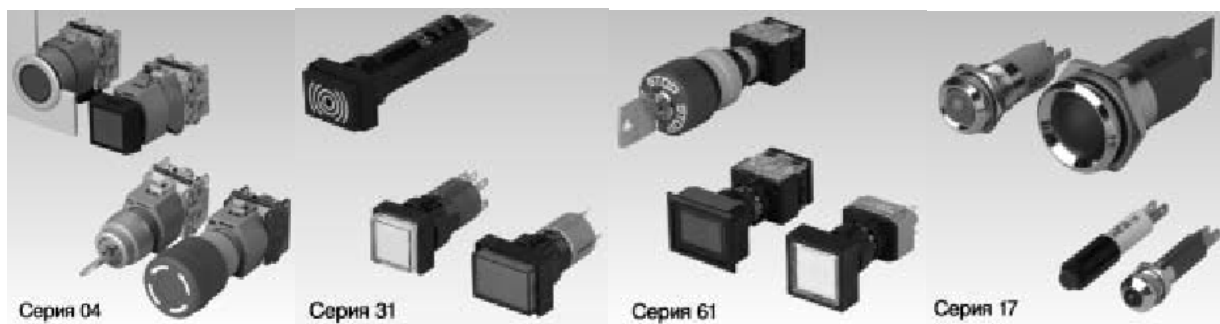
В настоящее время, растут требования к внешнему виду и эргономике приборов и панелей управления при сохранении высокого качества и надежности. В связи с этим представляют интерес установочные изделия различного назначения, отвечающие этим требованиям. Высочайшее качество и надежность продукции подтверждается сертификатом ISO 9001. Гамма производимых фирмой ЕАО изделий охватывает практически весь диапазон коммутационных и светосигнальных приборов: от миниатюрных переключателей и светодиодных держателей до мощных кнопок с подсветкой с высоким уровнем защиты.

Все серии кнопок и переключателей предусматривают:

- световую индикацию;
- бесшовную стыковку;
- возможность маркировки необходимыми надписями (термопечать или прозрачный вкладыш);
- высокую наработку и отличные электрические характеристики;
- малое время дребезга;
- все серии имеют мало-сигнальные исполнения (золоченные контакты);

Перечисленные особенности позволяют компоновать компактные панели управления и приборные панели различного назначения с высокими эстетическими и эргономическими характеристиками.

СЕРИЯ	ОПИСАНИЕ	ФРОНТАЛЬНЫЙ РАЗМЕР	УСТАНОВОЧНЫЙ РАЗМЕР	СТЕПЕНЬ ЗА- ЩИТЫ	КОММУТИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ
Кнопки для панельного монтажа					
01	Универсальные кнопки управления и сигнальные фонари	1Sx18;18x24;D1S	D16	IP40/IP67	250 V(~)/5 A
02	Промышленные кнопки и сигнальные фонари	24x36	22x30	IP40/IP67	250 V(~)/10 A
03	Промышленные кнопки и сигнальные фонари	24x48	22x42	IP40/IP67	250 V(~)/10 A
04	Стандартные промышленные кнопки управления и сигнальные фонари	D30;30x30	D22,5	IP65	380 V(~)/10 A
14	Экономичная серия промышленных кнопок	D30	D22,5	IP65	250 V(~)/5 A
17	Светодиодные индикаторы	D(7;9,5;13;16;18;25)	D(6;8;14;16;12,5)	IP40/IP65	
18	Серия малых кнопок с подсветкой	9x9;9x14;D9	D8	IP40	42 V(~)/0,1 A
19	Серия малых кнопок с подсветкой	9x9;D9	D8	IP40	42 V(~)/0,1 A
22	Промышленные кнопки и сигнальные фонари	24x36	22x30	IP65	250 V(~)/10 A
31	Универсальные кнопки управления и сигнальные фонари	18x18;18x24;D18	D16	IP40/IP67	250 V(~)/5 A
41	Приборные кнопки управления и сигнальные фонари	18x24	15x21	IP40/IP67	250 V(~)/5 A
51	Универсальные кнопки управления и сигнальные фонари	18x18;18x24;D18	D16	IP65	250 V(~)/5 A
56	Вандалоустойчивая серия кнопок для тяжелых условий. Подсветка, металлический толкатель, монтаж заподлицо			IP67	1 25 V(~)/1 A
61	Универсальные кнопки управления и сигнальные фонари	18x18;18x24;D18	D16;21x21;21x27,,,	IP65	250 V(~)/5 A
71	Универсальные кнопки управления и сигнальные фонари	18x18;18x24;D18	D16;21x21;21x27,,,	IP65	250 V(~)/5 A
84	Приборные кнопки управления и сигнальные фонари	D25;D40	D22,5	IP40;IP65;IP67	42 V(~)/0,1 A
Кнопки для печатного монтажа					
92	Приборные кнопки с подсветкой для печатного монтажа	18x18	D16	IP40/IP67	42 V(~)/0,1 A
96	Приборные кнопки с подсветкой для печатного монтажа			IP40	42 V(~)/0,1 A
97	Приборные кнопки с подсветкой для печатного монтажа			IP40	42 V(~)/0,1 A



АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ


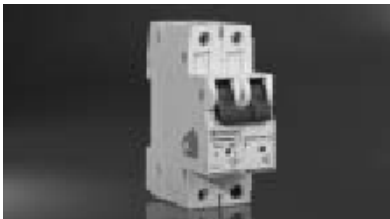
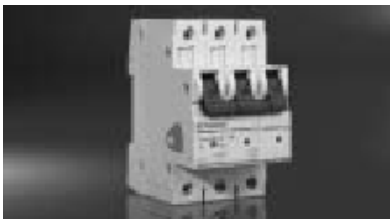
Автоматические выключатели TermDin 0,5...125А (серия Т6 - 6 кА)
и 80...125А (серия ТН-10 кА)

Применение

Управление и защита цепей от перегрузок и коротких замыканий в административных и промышленных зданиях.

Характеристики

- ном. ток: 0,5...125 А при 30°C;
- ном. напряжение: 240/415 В(~);
- ток отключения по МЭК 898: 6(10) кА;
- электрический ресурс: 30000 циклов;
- кривые отключения:
 - В - 3...5 кратная перегрузка;
 - С - 5...10 кратная перегрузка;
 - Д - 10...14 кратная перегрузка;
- рабочая температура: -25...+55°C;
- подключение: винтовая клемма 35 мм²;
- монтаж: 35мм DIN - рейка.

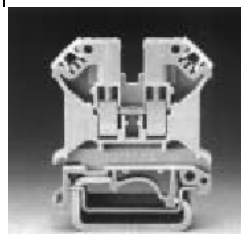
	Кол-во полюсов	Номинальный ток, А	Кривая В	Кривая С	Кривая D
	1	0,5	-	X	X
		1	-	X	X
		2	-	-	X
		3	-	X	X
		4	-	X	X
		6	X	X	X
		10	X	X	X
		16	X	X	X
		20	X	X	X
		25	X	X	X
		32	X	X	X
		40	X	X	X
		50	X	X	X
		63	X	X	X
	2	1	-	X	X
		2	-	-	X
		3	-	X	X
		4	-	X	X
		6	X	X	X
		10	X	X	X
		16	X	X	X
		20	X	X	X
		25	X	X	X
		32	X	X	X
		40	X	X	X
		50	X	X	X
		63	X	X	X
	3	0,5	-	X	X
		1	-	X	X
		2	-	-	X
		3	-	X	X
		4	-	X	X
		6	X	X	X
		10	X	X	X
		16	X	X	X
		20	X	X	X
		25	X	X	X
		32	X	X	X
		40	X	X	X
		50	X	X	X
		63	X	X	X



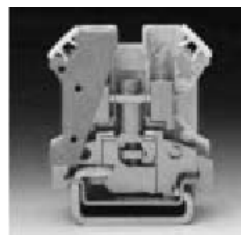
Тип	Назначение			
AUXTD A	Блок контакт состояния			
SHT	Независимый расцепитель 24...36 В (~/=)			
	Независимый расцепитель 48...72 В (~/=)			
	Независимый расцепитель 110...415 В (~/=)			
	Назначение			
	Номинальный ток, А	Кривая В	Кривая С	Кривая D
3	80	X	X	X
	100	X	X	X
	125	X	X	X
	Назначение			
AUXTH1	Блок контакт состояния 1 CA/CD			
AUXTH2	Блок контакт состояния 1CA+1CA/CO			
THSHT60	Независимый расцепитель 24/60 В(~) 24/48 В(=)			
THSHT415	Независимый расцепитель 110/415 В(~) 110/1125 В(=)			

КЛЕММЫ И СОЕДИНИТЕЛИ

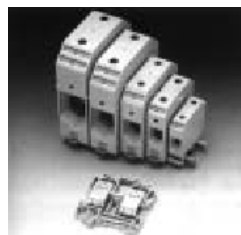
Винтовые клеммы



UK...



USLKG...

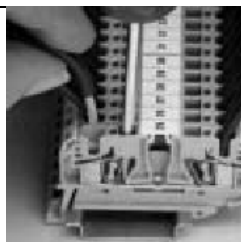


UKH...



UK-HESI...

Тип	Характеристика		
	Сечение, мм ²	Ток, А	Напряжение, В
Универсальные клеммы UK			
UK1,5N	0,14...1,5	17,5	500
UK2,5N	0,2...2,5	24	800
UK3N	0,2...2,5	32	800
UK5N	0,2...4,0	41	800
UK6N	0,2...6,0	57	800
UK10N	0,5...10,0	76	800
UK16N	2,5...25,0	101	800
UK35	0,75...35,0	150	1000
Универсальные заземляющие клеммы USLKG			
USLKG1,5N	0,14...1,5	-	-
USLKG2,5N	0,2...2,5	-	-
USLKG3	0,2...2,5	-	-
USLKG5	0,2...4,0	-	-
USLKG6N	0,2...6,0	-	-
USLKG10N	0,5...10,0	-	-
USLKG16N	2,5...25,0	-	-
USLKG35	0,75...35,0	-	-
Компактные мощные клеммы UKH			
UKH50	25...50	150	1000
UKH95	35...95	232	1000
UKH150	50...150	309	1000
UKH240	70...240	415	1000
USLKG50	0,2...6,0	150	-
USLKG95	0,5...10,0	232	-
Двухэтажные клеммы UKK			
UKK3	0,2...2,5	32	500
UKKB3	0,2...2,5	32	500
UKK5	0,2...4,0	32	500
UKKB5	0,2...4,0	32	500
UKKB10	0,5...10,0	76	500
UKKB10/2,5	0,5...10,0	76/32	500
UKK5-PE	0,2...4,0	34	-
UKKB5-PE	0,2...4,0	34	-
Клеммы с предохранителями			
Тип	Характеристика		
	Сечение, мм ²	Ток, А	Предохранитель
UK5-HESI	0,2...4,0	0,15...6,3	5*20 мм
UK6,3-HESI	0,5...16	0,15...10	6,3*22 мм
UK10,3-HESI	0,5...16	0,5...30	10,3*38 мм



ST...

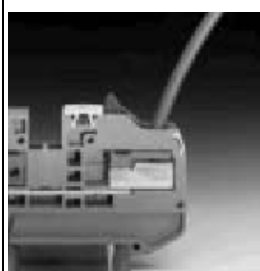


ST...

Пружинные клеммы			
Тип	Характеристика		
	Сечение, мм ²	Ток, А	Напряжение, В
ST1,5	0,14...1,5	17,5	500
ST2,5	0,2...2,5	31	800
ST4	0,5...4,0	41	800
ST6	0,5...6,0	57	800
ST1,5-PE	0,14...1,5	-	-
ST2,5-PE	0,2...2,5	-	-
ST4-PE	0,5...4,0	-	-
ST6-PE	0,5...6,0	-	-
Проходные клеммы на три проводника			
ST1,5-TWIN	0,14...1,5	17,5	500
ST2,5-TWIN	0,2...2,5	31	800
ST4-TWIN	0,5...4,0	41	800
ST1,5-TWIN-PE	0,14...1,5	-	-
ST2,5-TWIN-PE	0,2...2,5	-	-
ST4-TWIN-PE	0,5...4,0	-	-
Проходные клеммы на четыре проводника			
ST1,5-QUATTRO	0,14...1,5	17,5	500
ST2,5-QUATTRO	0,2...2,5	30	800
ST4-QUATTRO	0,5...4,0	40	800
ST1,5-QUATTRO-PE	0,14...1,5	-	-
ST2,5-QUATTRO-PE	0,2...2,5	-	-
ST4-QUATTRO-PE	0,5...4,0	-	-

КЛЕММЫ И СОЕДИНИТЕЛИ

Клеммы "QUIX"



QT...

Тип	Характеристика		
	Сечение, мм ²	Ток, А	Напряжение, В
Проходные клеммы на два проводника			
QT2,5	1,0...2,5	24	800
QT1,5-PE	0,14...1,5	-	-
QT2,5-PE	1,0...2,5	-	-
Проходные клеммы на три проводника			
QT1,5-TWIN	0,34...1,5	17,5	500
QT2,5-TWIN	1,0...2,5	24	800
QT1,5-TWIN-PE	0,14...1,5	-	-
QT2,5-TWIN-PE	1,0...2,5	-	-

Клеммы для токоведущих шин

Тип	Характеристика		
	Сечение, мм ²	Ток, А	Тип
AKG4BU	0,5...4	41	"Нейтраль"
AKG4GNYE	0,5...4	41	"Земля"
AKG4BK	0,5...4	41	"Фаза"
AKG16BU	1,5...16	76	"Нейтраль"
AKG16GNYE	1,5...16	76	"Земля"
AKG16BK	1,5...16	76	"Фаза"
AKG35BU	2,5...35	125	"Нейтраль"
AKG35GNYE	2,5...35	125	"Земля"
AKG35BK	2,5...35	125	"Фаза"

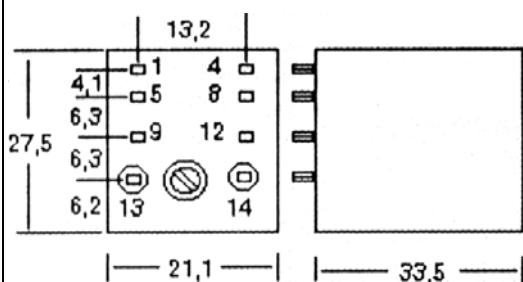
Кабельные наконечники

Тип	Характеристика		
	Сечение, мм ²	Длина, мм	Цвет
AI0,5-8WH	0,5	8	белый
AI0,75-8GY	0,75	8	серый
AI1-8RD	1	8	красный
AI1,5-8BK	1,5	8	черный
AI2,5-8BU	2,5	8	синий
AI4-10GY	4	10	серый
AI6-12YE	6	12	желтый
AI10-18RD	10	18	красный
AI16-18BU	16	18	синий
AI25-22YE	25	22	желтый
AI35-25RD	35	25	красный
AI50-25BU	50	25	синий
CRIMPFOXUD6-6	Клещи для опрессовки наконечников AL 0,5 - 6		
CRIMPFOX25	Клещи для опрессовки наконечников AL 10 - 25		
CRIMPFOX50	Клещи для опрессовки наконечников AL 35 - 50		

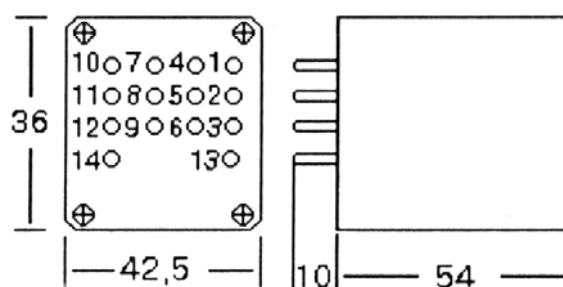
Маркировка для клемм и проводов

Тип	Характеристика
ZB4:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для клемм сечением до 1,5 мм. кв.
ZB5:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для клемм сечением до 3,0 мм. кв.
ZB6:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для клемм сечением до 5,0 мм. кв.
ZB8:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для клемм сечением до 6,0 мм. кв.
ZB10:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для клемм сечением до 240,0 мм. кв.
UBE/D+ES/KMK3	Маркер групповой чистый. Монтаж на DIN-рейку
KLM-A+ES/KLM2-GB	Маркер групповой чистый. Монтаж на фиксатор E/UK-NS35
PMHO:IINBEDRUCKT	Маркер чистый для проводов диаметром 1,4 - 2,5 мм. кв.
PMH1:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для проводов диаметром 1,9 - 3,8 мм. кв.
PMH2:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для проводов диаметром 3,0 - 6,0 мм. кв.
PMH3:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для проводов диаметром 5,0 - 9,0 мм. кв.
PMH4:UNBEDRUCKT	Маркер чистый для проводов диаметром 8,5 - 12,0 мм. кв.
B-STIFT	Фломастер для маркировки

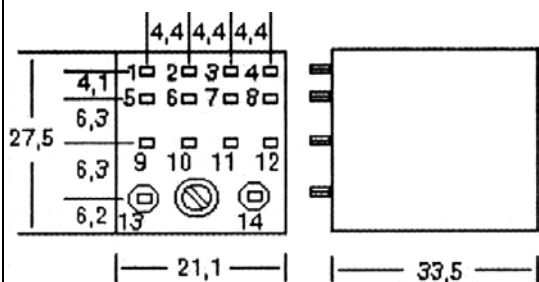
Габаритные и присоединительные размеры



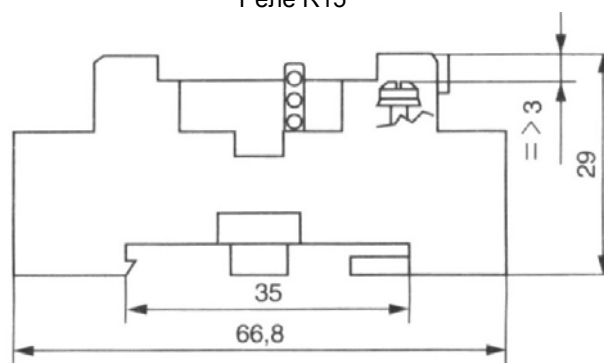
Реле R2



Реле R15



Реле R4



Колодка для крепления реле R4 *

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЛЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тип реле		R2	R4	R15
Габариты, мм		27,5x21,1x32,9	27,5x21,1x32,9	31x35x54,5
КОНТАКТЫ				
Количество и тип		2P	4P	1P, 2P, 3P, 4P
Максимальное напряжение, =В		250	250	250
		380	380	380
	~В			
Максимальная токовая нагрузка, ~А		10	5	10
Электрическая прочность изоляции катушка-контакт, ~В		2000	2000	2000
Время срабатывания/возврата, мс		15/10	10/8	20/15
КАТУШКА				
Номинальное напряжение, =В		6; 12; 24; 50; 100; 110; 115; 120; 220	6; 12; 24; 42; 48; 60; 80; 110; 120; 127; 220; 230/240	6...220 6...240
	~В	6; 12; 24; 48; 60; 80; 110	5; 6; 12; 24; 48; 60; 80; 110; 125; 220	
Номинальная мощность: Вт		1,1	1,1	1,5
		1,5	1,5	2,5
	ВА			
Рабочий диапазон напряжения питания		0,8...1,1 Ун	0,8...1,1 Ун	0,8...1,1 Ун
ОБЩИЕ ДАННЫЕ				
Коммутационная износостойкость		10 ⁷	5x10 ⁷	10 ⁷
Температура окружающей среды, °С		-40...+55	-40...+55	-40...+55
Масса, кг		0,032	0,035	0,08
Степень защиты корпуса		IP40	IP40	IP00/ IP40

Примечание: Р - переключающие контакты

*Аналогичные колодки существуют для всех типов реле

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЛЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тип реле	RM93	RM94	RM96
Габариты, мм	28x12x26	28x12,5x26	28(30)x16,2x10
КОНТАКТЫ			
Количество и тип	1P, 1Z, 1R	2P, 2Z, 2R	1P, 1Z, 1R
Максимальное напряжение,	250	250	250
	380	380	380
Максимальная токовая нагрузка, А	8	8	8
Электрическая прочность изоляции катушка-контакт, ~В	4000(8 мм)	4000(8 мм)	4000(8 мм)
Время срабатывания/возврата, мс	10/4	11/4	11/5
КАТУШКА			

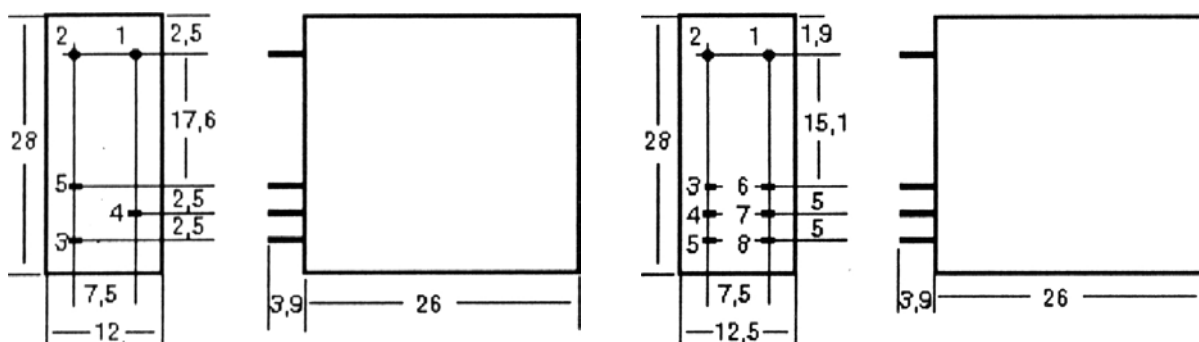
Номинальное напряжение,	6...80	6...96	5...48
Потребляемая мощность,	0,85	0,85	0,23
Рабочий диапазон напряжения питания	0,7...1,5 U _н	0,7...1,5 U _н	0,7...2,4 U _н

ОБЩИЕ ДАННЫЕ

Коммутационная износостойкость	3x10 ⁷	3x10 ⁷	2x10 ⁷
Температура окружающей среды, °C	-40...+70	-40...+70	-40...+70
Масса, кг	0,017	0,020	0,011
Степень защиты корпуса	IP40/IP67	IP40/IP67	IP40/IP67

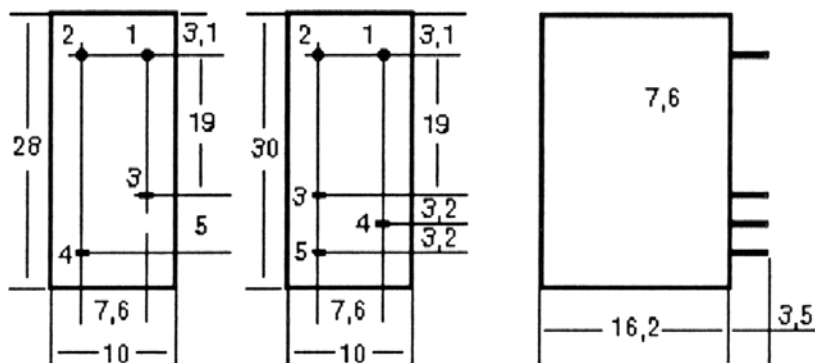
Примечание: P - переключающие контакты; Z - замыкающие контакты; R - размыкающие контакты

Габаритные и присоединительные размеры



Реле RM93

Реле RM94



Реле RM96

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЛЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тип реле	L1	P*	PS	M4	M4S
Габариты, мм	30x24x11,3	14x9x5	14,2x9,3x5,3	20x9,8x12	20x9,8x12

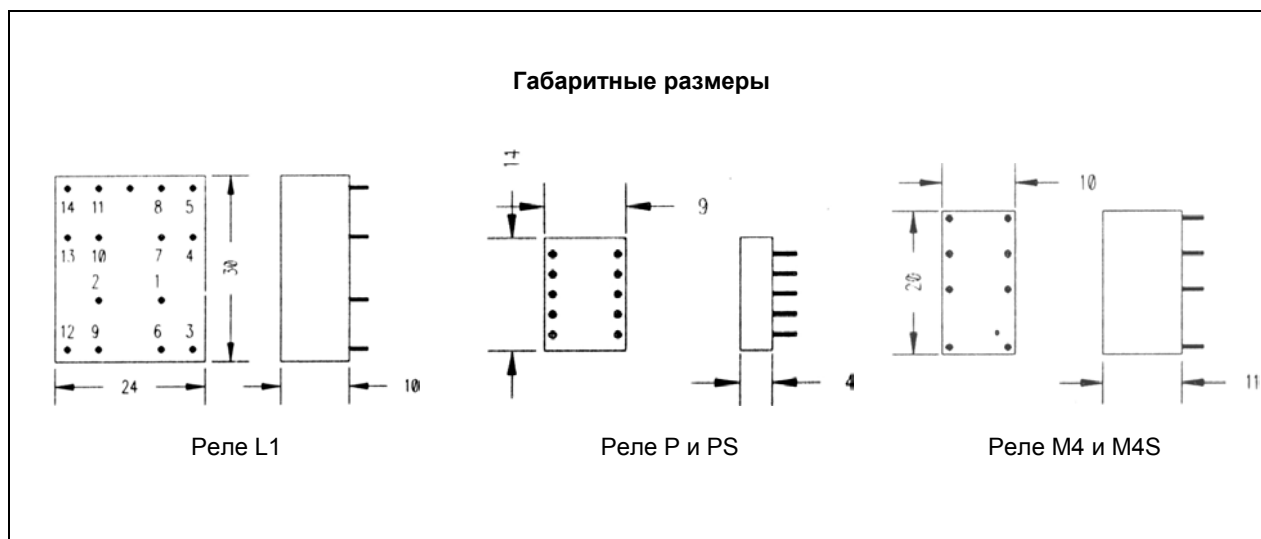
КОНТАКТЫ

Количество и тип	4P; 2P+2PB; 4PB	2P	2P	2P	2P
Максимальное напряжение, =В	250 220	250 220	250 220	250 220	250 220
Максимальная токовая нагрузка, А	0,5А (~125В) 1А (=30В)	0,5А (~125В) 1А (=30В)	0,5А (~125В) 1А (=30В)	0,5А (~120В) 1А(=24В)	0,6А (~125В) 2А(=30В)

Электрическая прочность изоляции катушка-контакт, ~В	1000	1000	1000	1000	1000
Максимальная токовая нагрузка и напряжение на контактах	2A =30В (P) 1A =30В (PB)	1A =30В	1A =30В	2A =30В	2A =30В
Минимальный ток и напряжение на контактах	0,1 мА =10 мВ	0,01 мА =10 мВ	0,01 мА =10 мВ	0,01 мА =10 мВ	1мА =1В
Время срабатывания/ возврата, мс	10/5	2/1	2/1	4,5/1,5	4,5/1,5
КАТУШКА					
Номинальное напряжение, =В	5...48	3...24	3...24	3...48	3...48
Потребляемая мощность, мВт	420...550	100...300	100...300	150...450	150...450
ОБЩИЕ ДАННЫЕ					
Коммутационная износостойкость	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸
Температура окружающей среды, °С	-40...+80	-40...+70	-40...+85	-40...+90	-40...+90
Масса, г	15	1,5	1,5	4,5	4,5
Степень защиты корпуса	IP67	IP67	IP67	IP67	IP67

Примечание: Р - переключающие контакты, PB - контакт переключающий беспрерывный.

- реле Р исполнения К - двухпозиционное.



Все реле могут быть смонтированы в корпусе реле R4 для установки на колодку

ТЕРМИНАЛЫ И ШКАФЫ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ ЭКРА - ЧЕБОКСАРЫ

ТЕРМИНАЛЫ СЕРИИ БЭ2704 ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИСОЕДИНЕНИЙ 110-220 кВ

СОСТАВ СЕРИИ



БЭ2704V010
 БЭ2704V020 - дистанционная и токовая направленная защиты;
 БЭ2704V030 - направленная высокочастотная защита линии;
 БЭ2704V040 - защиты трансформатора (автотрансформатора);
 БЭ2704V050 - защиты ошиновки;
 БЭ2704V060 - защиты шин;

БЭ2704V070 - резервные защиты трансформатора
 БЭ2704V080- дифференциально-фазная защита линии.

Кроме основных функций защит и автоматики, в терминалах реализуются дополнительные опции: осциллографирование аварийных событий, определение места повреждения, регистрация дискретных сигналов, связь с высшим уровнем наблюдения и управления, интерфейс пользователя.

При реализации конкретных исполнений терминалов учитывалось принятое в России для присоединений 110-220 кВ совмещение функций защит и управления.

ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМИНАЛОВ

Терминалы серии БЭ2704 могут использоваться как автономные устройства. При отсутствии связи с вышестоящим уровнем, терминалы полностью выполняют функции защит и управления. Съем дополнительной информации может осуществляться с помощью переносного портативного компьютера (Notebook).

Установленные на подстанции (станции) терминалы могут быть объединены в сеть с использованием последовательного интерфейса [RS485](#). Сеть терминалов может быть связана с локальной компьютерной сетью подстанции с использованием протокола TCP/IP. При использовании модема возможен удаленный доступ (из местной или центральной службы РЗА) к сети терминалов, установленных на подстанции.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОЙ ЧАСТИ ТЕРМИНАЛОВ

- выполнение алгоритмов работы измерительных органов защит и логики их взаимодействия с входными дискретными сигналами и выходными реле;
- определение расстояния до места повреждения на ВЛ;
- функция аварийного осциллографа, позволяющего фиксировать все аналоговые сигналы и 48 задаваемых дискретных сигналов (внешних и внутренних);
- регистрация 128 дискретных сигналов, позволяющая фиксировать и сохранять до 1024 событий с точностью привязки по времени - 1мс.
- регистрация аналоговых событий, соответствующих пускам ОМП. Информация из базы данных аналоговых событий может использоваться внешними программами ОМП.
- обеспечение связи с вышестоящим уровнем.

Уставки защит, база данных аварийного осциллографа хранятся в электронной памяти, информация в которой сохраняется при отсутствии напряжения питания терминала. Текущее состояние элементов световой индикации и база данных регистратора хранятся в энергонезависимой памяти, питаемой от автономного источника питания, информация в которой сохраняется на длительное время при отсутствии напряжения питания терминала.

Встроенный жидкокристаллический символьный дисплей и клавиатура обеспечивают удобный пользовательский интерфейс.

СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ «EKRASMS»

С помощью внешнего программного обеспечения «EKRASMS» имеется возможность производить мониторинг (наблюдение) текущих значений всех входных сигналов, анализировать базы данных ОМП, аварийных осциллограмм и регистратора дискретных сигналов, изменять уставки, синхронизировать время всех терминалов, работающих в сети. Просмотр и анализ аварийных осциллограмм осуществляется с использованием специализированной программы “WMDR32”

Внешнее программное обеспечение функционирует на платформе WINDOWS 95/98/2000/NT и выполнено с интерфейсом на русском языке.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕРСИЯХ ТЕРМИНАЛОВ

БЭ2704V010: резервные защиты и автоматика управления выключателем

Исполнения:

БЭ2704V011 - для линейного выключателя с трехфазным приводом;

БЭ2704V012 - для линейного выключателя с пофазным приводом;

БЭ2704V013 - для обходного выключателя с трехфазным приводом;

БЭ2704V014 - для обходного выключателя с пофазным приводом;

БЭ2704V015 - для шиносоединительного (секционного) выключателя.

Основные функции:

БЭ2704V011 - БЭ2704V014

- управление выключателем по традиционным российским схемам управления (с непрерывным контролем тока через электромагниты выключателя);
- выполнение двукратного АПВ (с возможностью контроля наличия напряжения на шинах и линии, синхронизма между этими напряжениями, АПВ шин при наличии напряжения на линии и отсутствия напряжения на шинах, АПВ линии при наличии напряжения на шинах и отсутствия напряжения на линии, «слепое» АПВ - без контроля напряжений);
- УРОВ с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- защита от рассогласования полюсов выключателя и защита от неполнофазного режима (для выключателей с пофазным приводом управления);
- защита электромагнитов управления от длительного протекания тока;
- трехступенчатая дистанционная защита с блокировками при качаниях и неисправностях в цепях напряжения;
- четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности;
- трехфазная токовая отсечка;
- ОМП.;

БЭ2704V015

- управление выключателем по традиционным российским схемам управления (с непрерывным контролем тока через электромагниты выключателя);
- выполнение двукратного АПВ (с возможностью контроля наличия напряжения на шинах и линии, синхронизма между этими напряжениями, АПВ шин при наличии напряжения на линии и отсутствия напряжения на шинах, АПВ линии при наличии напряжения на шинах и отсутствия напряжения на линии, «слепое» АПВ - без контроля напряжений);
- УРОВ с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- защита от рассогласования полюсов выключателя и защита от неполнофазного режима (для выключателей с пофазным приводом управления);
- защита электромагнитов управления от длительного протекания тока;
- двухступенчатая ненаправленная максимальная токовая защита;
- трехступенчатая ненаправленная максимальная токовая защита нулевой последовательности.

БЭ2704V020: дистанционная, токовая направленная защита, токовая отсечка и УРОВ

Исполнения:

БЭ2704V021 - для защиты линии;

БЭ2704V022 - для защиты присоединения обходного выключателя.

Основные функции:

- трехступенчатая дистанционная защита с блокировками при качаниях и неисправностях в цепях напряжения;
- четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности;
- ускорение дистанционной и токовой направленной защит по каналам ВЧТО;- трехфазная токовая отсечка;
- УРОВ с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- ОМП.

БЭ2704V030: направленная высокочастотная защита линии

Исполнения:

БЭ2704V031 - для линий с трехфазным АПВ;

БЭ2704V032 - для линий с однофазным АПВ.

Основные функции терминала:

- фильтровая направленная высокочастотная защита линии (аналог панели ПДЭ2802) ;
- имеется возможность работы на ВЛ с ответвлениями;
- УРОВ с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- ОМП.

БЭ2704V040: защита трансформатора (автотрансформатора)

Исполнения:

БЭ2704V041 - для трехобмоточного трансформатора со сдвоенным реактором на стороне НН;

БЭ2704V042 - для автотрансформатора 220/110/10(6) кВ;

БЭ2704V043 - для защиты стороны НН автотрансформатора 220/110/10(6) кВ;

БЭ2704V044 - для защиты трехобмоточного трансформатора собственных нужд.

Основные функции:

БЭ2704V041:

- дифференциальная токовая защита;
- токовая защита нулевой последовательности стороны ВН;
- максимальная токовая защита стороны ВН с пуском по напряжению;
- максимальная токовая защита стороны СН с пуском по напряжению;
- максимальная токовая защита первой секции стороны НН с пуском по напряжению;
- максимальная токовая защита второй секции стороны НН с пуском по напряжению;
- защита от перегрузки;
- токовые реле с трех сторон трансформатора для пуска автоматики охлаждения;
- токовые реле с трех сторон трансформатора для блокировки РПН при перегрузке;
- реле напряжения с трех сторон трансформатора, фиксирующие снижение напряжения ниже 85% для блокировки РПН;
- УРОВ ВН с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- цепи приема сигналов от газовых защит, технологических защит, дуговых защит двух секций стороны НН.

БЭ2704V042:

- дифференциальная токовая защита;
- максимальная токовая защита с пуском по напряжению стороны НН;
- защита от перегрузки;
- токовые реле с трех сторон автотрансформатора для пуска автоматики охлаждения;
- токовые реле с трех сторон автотрансформатора для пуска пожаротушения;
- токовые реле с трех сторон автотрансформатора для блокировки РПН при перегрузке;
- контроль изоляции на стороне НН;
- УРОВ ВН и СН с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- цепи приема сигналов от газовых защит, технологических защит, дуговых защит двух секций стороны НН.

БЭ2704V043:

- дифференциальная токовая защита цепей 6-10 кВ;
- максимальная токовая защита с пуском по напряжению первой секции 6-10 кВ;
- максимальная токовая защита с пуском по напряжению второй секции 6-10 кВ;
- логическая защита шин первой секции 6-10 кВ;
- логическая защита шин второй секции 6-10 кВ;
- защита от минимального напряжения первой секции 6 - 10 кВ;
- защита от минимального напряжения второй секции 6 - 10 кВ.

БЭ2704V044:

- дифференциальная токовая защита;
- токовая защита нулевой последовательности стороны ВН;
- максимальная токовая защита стороны ВН с пуском по напряжению;
- максимальная токовая защита первой секции стороны НН с пуском по напряжению;
- максимальная токовая защита второй секции стороны НН с пуском по напряжению;
- защита от перегрузки;
- токовые реле с трех сторон трансформатора для пуска автоматики охлаждения;
- токовые реле с трех сторон трансформатора для блокировки РПН при перегрузке;
- реле напряжения с двух сторон трансформатора, фиксирующее снижение напряжения ниже 85% для блокировки РПН;

- УРОВ ВН с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- две двухступенчатые дистанционные защиты;
- цепи приема сигналов от газовых защит, технологических защит, дуговых защит.

БЭ2704V050: защита ошиновки

Основные функции:

- дифференциальная токовая защита;
- реле минимального напряжения прямой последовательности для действия в логику очувствления и запрета АПВ;
- реле максимального напряжения обратной последовательности для действия в логику очувствления и запрета АПВ;
- токовые реле для контроля наличия тока в присоединениях;
- логика запрета АПВ;
- логика очувствления;
- логика опробования.

БЭ2704V070: резервные защиты трансформатора и управление выключателем

Исполнения:

БЭ2704V071 - для трансформатора (автотрансформатора) и выключателя с трехфазным приводом;

БЭ2704V072 - для трансформатора (автотрансформатора) и выключателя с пофазным приводом.

Основные функции:

- управление выключателем по традиционному российским схемам управления (с непрерывным контролем тока через электромагниты выключателя);
- АПВ (с контролем наличия напряжения на шинах и трансформаторе, синхронизма между этими напряжениями, АПВ шин при наличии напряжения на трансформаторе и отсутствия напряжения на шинах, АПВ трансформатора при наличии напряжения на шинах и отсутствия напряжения на трансформаторе, «слепое» АПВ - без контроля напряжений);
- УРОВ с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- защита от рассогласования полюсов выключателя и защита от неполнофазного режима (для выключателей с пофазным приводом управления);
- защита электромагнитов управления от длительного протекания тока;
- двухступенчатая дистанционная защита с блокировками при качаниях и неисправностях в цепях напряжения; трехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности;
- максимальная токовая защита с пусковым органом по напряжению.

БЭ2704V080: дифференциально-фазная защита линии

Основные функции:

- основная защита ВЛ на принципе сравнения фаз токов по концам линии;
- возможность работы в сети внешнего электроснабжения тяговой нагрузки и на ВЛ с ответвлениями;
- УРОВ с возможностью работы в режимах с автоматической проверкой исправности выключателя или с дублированным пуском с контролем от реле положения «включено»;
- ОМП.



ШКАФЫ СЕРИИ ШЭ2607

Комплект шкафов подстанционной релейной защиты и автоматики присоединений напряжением 110...220 кВ серии ШЭ2607, базирующихся на микропроцессорных терминалах серии БЭ2704, имеет связь с высшим уровнем АСУТП получения и распределения электроэнергии, являясь при этом ее нижним уровнем. В отличие от обычных оконечных устройств АСУТП, где допускается относительно большое время реакции на ситуацию (химическая промышленность, тепловая часть электростанций и т. д.), эти терминалы обладают высокой вычислительной производительностью и собственным «интеллектом», т.е. автономно полностью выполняют функции релейной защиты и автоматики энергетического оборудования с непосредственным воздействием на элементы коммутации. Минимальное время аналоговой и цифровой обработки входной информации от защищаемого объекта составляет 0,02...0,05с.

В тоже время эти терминалы в составе АСУТП используются для сбора текущей информации о электрических величинах защищаемого оборудования (токи, напряжения, мощность, частота) и состоянии оборудования (включенное и отключенное положение выключателей и т. д.). Кроме того, во внутренней базе данных терминалов сохраня-

ется информация о любых изменениях входных и внутренних логических сигналов, привязанных к меткам реального времени с дискретностью 0,001с. Дополнительно, во время повреждений в энергосистеме, производится цифровая запись аварийных осциллограмм аналоговых и дискретных сигналов в неразрушаемую память, образуя базу данных осциллограмм аварийных процессов. Эта база данных используется для анализа и разбора аварий, в том числе для определения места повреждения на линии с помощью как встроенной в терминал функции ОМП, так и внешними программами на ПЭВМ. К каждой осциллограмме прикрепляется файл всех параметров настройки терминала на момент записи осциллограммы (таких параметров около тысячи). Указанные базы данных доступны по локальной сети как верхнему уровню АСУТП, если он имеется, так и релейному и оперативному персоналу. Для этого поставляются специальные клиентские части программного обеспечения «Рабочее место релейщика» и «Рабочее место дежурного», входящие в программный пакет «EKASMS». Возможности доступа к информации и изменению параметров терминалов регламентируются администрированием прав каждого зарегистрированного пользователя.

Для всех терминалов, установленных на подстанции, время синхронизировано с точностью 0.001с. Повышение надежности терминалов по отношению к электромеханическим и полупроводниковым аналогам достигнуто непрерывным функциональным контролем и самодиагностикой аппаратной и программной части устройства, начиная от функции преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму и кончая обмотками выходных электромеханических реле. В случае обнаружения неисправности делается ряд попыток «реанимации» устройства и если все они оказываются неудачными, производится предупредительная сигнализация оперативному персоналу с регистрацией событий во внутренней базе данных терминала. Следует отметить, что в отличие от электромеханических аналогов, обнаружение неисправностей производится в момент их появления, а не при возникновении требования на срабатывание при повреждениях защищаемого энергетического оборудования.

В устройствах использованы малогабаритные закрытые неразборные выходные электромеханические реле с гарантированными механическими и электрическими параметрами, не требующие периодической регулировки и чистки контактов

Отображение и анализ получаемых осциллограмм производится поставляемым программным продуктом – WNDR32. Имеется возможность графического отображения векторных диаграмм сигналов переменного тока на экране компьютера в реальном времени.

С точки зрения функций устройств релейной защиты и автоматики, интегрированных в терминал, в основном, использованы традиционные, принятые в России принципы и решения, проверенные временем. Так, например, при реализации версии шкафа ШЭ2607 081 дифференциально-фазной защиты линии 110...220 кВ использован хорошо исследованный во ВНИИЭ и проверенный многолетней практикой принцип сравнение фаз токов по концам защищаемой линии с помощью одного высокочастотного канала связи. При этом используется ВЧ аппаратура связи, серийно выпускаемая в России и странах ближнего зарубежья. По сравнению с панелью защиты ДФЗ-201, шкаф ШЭ2607 081 имеет возможность работы в сети внешнего электроснабжения тяговой нагрузки, на линиях с ответвлениями, на линиях, оборудованных ОАПВ.

Дополнительно реализована функция индивидуального УРОВ.

ИСПОЛНЕНИЯ

Разработаны и

- ШЭ2607 011021 (ШЭ2607 012021) - защиты линии и управление линейным выключателем;
- ШЭ2607 013022 (ШЭ2607 014022) - защиты присоединения и управление обходным выключателем;
- ШЭ2607 011 (ШЭ2607 012) - управление линейным выключателем;
- ШЭ2607 013 (ШЭ2607 014) - управление обходным выключателем;
- ШЭ2607 011011 (ШЭ2607 012012) - управление двумя выключателями;
- ШЭ2607 021021 (ШЭ2607 021) - дистанционная и токовая защиты линии;
- ШЭ2607 022 - дистанционная и токовая защиты присоединения для обходного выключателя;
- ШЭ2607 031 - направленная высокочастотная защита линии;
- ШЭ2607 041 - защиты трансформатора;
- ШЭ2607 042043 - защиты автотрансформатора;
- ШЭ2607 051 (ШЭ2607 051051) - защиты ошиновки;
- ШЭ2607 061 - защита шин (до 18 присоединений);
- ШЭ2607 071071 - резервные защиты трансформатора; (автотрансформатора) и автоматики управления выключателями;
- ШЭ2607 072071 - резервные защиты трансформатора (автотранс-

форматора) и автоматики управления выключателем одной из сторон;



-ШЭ2607 072072 - резервные защиты трансформатора (автотрансформатора);
-ШЭ2607 081 - дифференциально - фазная защита линии.

ШКАФЫ ЗАЩИТ СТАНЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТИПОВ ШЭ1110

ШЭ1111, ШЭ1112, ШЭ1113

НАЗНАЧЕНИЕ

Шкафы типов ШЭ1110, ШЭ1111, ШЭ1112, ШЭ1113 предназначены для использования в качестве комплексной системы защит генераторов, в том числе и работающих на сборные шины, мощностью до 160 МВт, станционных трансформаторов и автотрансформаторов и блоков генератор-трансформатор мощностью до 800 МВт.

Комплекс защит выполняется в виде двух взаиморезервируемых автономных систем защит, для которых должны предусматриваться индивидуальные измерительные трансформаторы, отдельные цепи по постоянному оперативному току и отдельные цепи воздействия во внешние схемы.

Блочная конструкция устройств, встроенных в шкаф, позволяет адаптировать систему защиты к главной электрической схеме станции в зависимости от объема защищаемого оборудования и различных режимов его работы.

Комплекс, в зависимости от сложности каждой из систем защит, может быть выполнен на базе:

- одного или двух шкафов типа ШЭ1110;
- двух шкафов типа ШЭ1111 и ШЭ1112;
- одного шкафа типа ШЭ1113.

СОСТАВ ЗАЩИТ

- защита от замыканий на землю обмотки статора генератора, не связанной с сетью потребителей;
- защита от замыканий на землю обмотки статора генератора, работающего на сборные шины;
- продольная токовая дифференциальная защита генератора;
- поперечная токовая дифференциальная защита генератора;
- защита от повышения напряжения генератора;
- защита от потери возбуждения генератора;
- защита генератора от асинхронного режима с потерей и без потери возбуждения;
- УРОВ генератора;
- защита генератора от несимметричных перегрузок;
- защита генератора от симметричных перегрузок;
- защита обмотки ротора генератора от перегрузок;
- защита ротора генератора от замыкания на землю;
- защита от изменения частоты генератора;
- защита обратной (активной) мощности;
- дифференциальная токовая защита трансформатора;
- максимальная токовая защита трансформатора;
- максимальная токовая защита;
- защита от перевозбуждения;
- резервная дистанционная защита от междуфазных повреждений;
- резервная защита нулевой последовательности от замыканий на землю;
- направленная токовая защита нулевой последовательности;
- направленная токовая защита обратной последовательности;
- реле максимального, минимального тока и напряжения;
- устройство контроля синхронизма;
- устройство контроля исправности цепей напряжения переменного тока.

Доступный пользовательский интерфейс обеспечивает простоту подключения устройства и его конфигурирование. При этом осуществляется согласование параметров аналоговых входов переменного тока и напряжения с первичными ТТ и ТН, задаются уставки срабатывания защит и логика их взаимодействия.

Дискретные входные сигналы и выходные сигналы защит могут объединяться в любой логической комбинации.

Выходы на отключение и сигнализацию от каждой защиты или логической функции подключаются к выходным реле и светодиодным индикаторам через программируемую матрицу.

Наличие последовательных каналов передачи данных обеспечивает возможность передачи информации о текущем состоянии устройств в систему верхнего уровня. Предусмотрена регистрация событий и осциллографирование аномальных режимов.

Конструкция шкафа обеспечивает его удобное обслуживание и испытание. Входные цепи шкафа от измерительных трансформаторов тока и напряжения, а также цепи оперативного тока подсоединяют-

ся через испытательные блоки. Все выходные цепи шкафа могут оперативно отсоединяться от внешних схем с помощью специальных контрольных разъемов.

Сигнализация шкафа выполнена с помощью светодиодов на фасаде блоков, наблюдаемых через прозрачное окно на двери шкафа, а также с помощью лампы, установленной на передней двери шкафа.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Номинальное напряжение оперативного постоянного тока, В	220; 110
Номинальное напряжение переменного тока, В	100
Номинальный переменный ток, А	1; 2; 5; 10
Номинальная частота, Гц	50
Мощность, потребляемая по цепям питания, Вт	80
Коммутационная способность выходных контактов, Вт	50
Габаритные размеры, мм:	
ШЭ1110	2100x600x600
ШЭ1111, ШЭ1112, ШЭ1113	2000x800x600
Масса шкафа, не более, кг	300
Диапазон рабочих температур, гр. С	-10...+40.

СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ

Блок регистрирующего терминала	<u>БЭ2702М</u>
Шкафы защит блоков генератор-трансформатор	<u>ШЭ1111, ШЭ1112</u>
Шкафы защиты генератора;	<u>ШЭ1113</u>
Шкаф цифрового аварийного осциллографа	<u>ШЭ1114М</u>
Шкаф защиты линии и управления линейным выключателем	<u>ШЭ2607</u> 011021 (<u>ШЭ2607 012021</u>)
Шкаф защиты присоединения и управления обходным выключателем	<u>ШЭ2607</u> 013022 (<u>ШЭ2607 014022</u>)
Шкаф управления линейным выключателем	<u>ШЭ2607</u> 011 (<u>ШЭ2607 012</u>)
Шкаф управления обходным выключателем	<u>ШЭ2607</u> 013 (<u>ШЭ2607 014</u>)
Шкаф управления двумя выключателями	<u>ШЭ2607</u> 011011 (<u>ШЭ2607 012012</u>)
Шкаф дистанционной и токовой защиты линии	<u>ШЭ2607</u> 021021 (<u>ШЭ2607 021</u>)
Шкаф дистанционной и токовой защиты присоединения для обходного выключателя	<u>ШЭ2607 022</u>
Шкаф направленной высокочастотной защиты	<u>ШЭ2607 031</u>
Шкаф защиты трансформатора	<u>ШЭ2607 041</u>
Шкаф защиты автотрансформатора	<u>ШЭ2607 04204</u>
Шкаф защиты ошиновки	<u>ШЭ2607 051</u>

Шкаф защиты ошиновок	<u>ШЭ2607 051051</u>
Шкаф защиты шин (до 18 присоединений)	<u>ШЭ2607 061</u>
Шкаф резервных защит трансформатора (автотрансформатора) и управления выключателями	<u>ШЭ2607 071071</u>
Шкаф резервных защит трансформатора (автотрансформатора) и управления выключателем одной из сторон	<u>ШЭ2607 072071</u>
Шкаф резервных защит трансформатора (автотрансформатора)	<u>ШЭ2607 072072</u>
Шкаф дифференциально - фазной защиты линии (Микропроцессорный аналог ДФЗ - 201)	<u>ШЭ2607 081</u>

Приложение П16.
Терминалы фирмы Sel США

SEL351 Устройство направленной токовой защиты с АПВ

Защита и автоматика ввода и трансформатора напряжения

Программное обеспечение для построения свободно конфигурируемой схемы логики



Основные функции:

- Не менее чем по три ступени направленной МТЗ, МТЗ обратной последовательности и ЗНЗ;
- Времязависимые характеристики срабатывания по ANSI и МЭК;
- Две ступени защиты по напряжению прямой, обратной и нулевой последовательности (повышение/понижение);
- Шесть ступеней повышения/понижения частоты;
- Контроль синхронизма;
- Четырехкратное АПВ;
- Защита по мощности (повышение/понижение, направление) – SEL531-7;
- Программируемая схема логики;
- Шесть групп уставок;
- В энергонезависимой памяти сохраняется 11 осциллограмм по 0,6 с (или 23 осциллограммы по 0,3 с) и 512 событий;
- Устройства оборудованы четырьмя независимыми портами: один RS-232 на лицевой панели и два RS-232 и один RS-485 на задней стенке реле;
- Рабочий диапазон температур -40°C . +85°C;
- Контакты выходных реле установленных на дополнительной плате позволяют коммутировать ток 10 А (L/R = 40 мс) при 125 В постоянного тока;

- Программируемая логика и местное/дистанционное управление позволяют создавать традиционные или прогрессивные схемы защиты и управления;
- Изменение логики или конфигурации производится без перемонтажа.

SEL 551 Устройство токовой защиты с АПВ



Основные функции:

- Четыре ступени МТЗ, по три ступени МТЗ обратной последовательности и ЗНЗ;
- Времязависимые характеристики срабатывания по ANSI и МЭК
- Четырехкратное АПВ;
- В энергонезависимой памяти сохраняется 20 осциллограмм по 0,3 с (6 с) и 20 событий;
- Объединение в единую систему защиты и управления с помощью протокола Modbus RTU (по заказу RS-232 или RS-485);
- Рабочий диапазон температур -40°C . +85°C;
- Контакты выходных реле позволяют коммутировать ток 10 А (L/R = 40 мс) при 125 В постоянного тока;
- Токовые цепи внутри устройства имеют закорачивающий механизм, что позволяет легко устанавливать и заменять устройство;
- Программируемая логика и местное/дистанционное управление позволяют создавать традиционные или прогрессивные схемы защиты и управления;
- Изменение логики или конфигурации производится без перемонтажа.

SEL 311 Устройство защиты и автоматики ВЛ.



Три варианта защиты для ВЛ высокого напряжения.

<i>Все модели имеют виртуальный переключатель дистанционного и местного управления выключателем</i>			
Функция	SEL-311 A	SEL-311B	SEL-311C
Круговые характеристики срабатывания дистанционной защиты от междуфазных КЗ	2 FWD	2 FWD, 1 FWD/REV	2 FWD, 2 FWD/REV
Круговые характеристики срабатывания дистанционной защиты от однофазных КЗ на землю	2 FWD	2 FWD, 1 FWD/REV	2 FWD, 2 FWD/REV
Четырехугольные характеристики срабатывания дистанционной защиты от однофазных КЗ на землю			2 FWD, 2 FWD/REV
Расширение первой зоны дистанционной защиты		Да	Да
Определение расстояния до места КЗ	Да	Да	Да
Защита при переходных процессах в трансформаторах	Да	Да	Да
Передача информации MIRRORING BITS™	Да	Да	Да
Направленная МТЗ	1I1, 1Io	3I1, 3Io, 3I2	3I1, 4Io, 4I2
Направленная ЗНЗ	1 FWD	2 FWD, FWD/REV	2 FWD, 2 FWD/REV
Направленная МТЗ обратной последовательности		2 FWD, FWD/REV	2 FWD, 2 FWD/REV
АПВ		4-хкратное	4-хкратное
Контроль синхронизма		Да	Да
Защита от понижения/повышения фазного напряжения		Да	Да
Защита от повышения/понижения напряжения обратной и нулевой последовательностей			Да
Отключение при выпадении из синхронизма/Блокировка			Да
Программируемая схема логики			Да
Регистратор событий и осциллограмм	Да	Да	Да
Контроль износа полюсов выключателя	Да	Да	Да
Контроль аккумуляторной батареи	Да	Да	Да
Количество групп уставок	6	6	6
Рабочий диапазон температур -40°C ÷ +85°C		-40°C ÷ +85°C	

FWD – прямонаправленная ступень; REV – обратно направленная ступень

SEL 387 Серия устройств дифференциальной защиты

Дифференциальная защита многообмоточных машин



Функция	SEL-387A	SEL-387E	SEL-387
Трехступенчатая трехфазная дифференциальная защита (1 или 2 наклонных участка характеристики)	2 обм.	2÷3 обм.	2÷4 обм.
Блокировка по 2-ой, 4-ой и 5-ой гармонике (устанавливаются независимо) + отстройка от апериодической составляющей	Да	Да	Да
Дифференциальная ЗНЗ	По заказу	Да	Да
МТЗ с каждой стороны	5I1, 3Io, 3I2	5I1, 3Io, 3I2	5I1, 3Io, 3I2
Возможность подключения температурных датчиков	Да		Да
Защита от понижения линейного напряжения и напряжения прямой последовательности		Да	
Защита от повышения линейного напряжения, напряжения прямой обратной и нулевой последовательностей		Да	
Защита от понижения/повышения частоты		6 ст.	
Защита от перевозбуждения		Да	
Программируемая схема логики	Да	Да	Да
Регистратор событий и осциллограмм	Да	Да	Да
Контроль износа полюсов выключателя	Да	Да	Да
Контроль аккумуляторной батареи	Да	Да	Да
Количество групп уставок	6	6	6
Порт RS232	3 шт.	3 шт.	3 шт.
Порт RS485	1 шт.	1 шт.	1 шт.
Количество дискретных входов (DI) и выходных реле (DO)	6DI, 8DO + 8DI и 12DO или 16DI, 4DO		
Рабочий диапазон температур -40°C ÷ +85°C	-40°C ÷ +85°C		

Приложение П17.
АППАРАТУРА ФИРМЫ “ZEG ENERGETYKA” (Польша)



CZAZ-CR
ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ АВТОМАТИКИ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ШИНОСОЕДИНИТЕЛЬНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общая характеристика

Комплект CZAZ-CR представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающее комплексную защиту и автоматику секционного или шиносоединительного выключателя среднего (6-35кВ) напряжения. Обеспечивается измерение и регистрация электрических параметров присоединения.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- Максимальная защита с независимой или зависимой выдержкой времени.
- токовая защита от замыканий на землю с независимой выдержкой времени.
- токовая защита от перегрузки;
- ускорение защиты при включении на КЗ;
- защита шин;
- схема осуществления режима автоматики LRW (локального выключающего резерва, УРОВ);
- схема взаимодействия с автоматикой SZR (автоматического включения резерва);
- пять реле времени, возбуждаемых внешними защитами технологических процессов;

- возможность приспособления технологического входа ZT-1 к взаимодействию с датчиком вспышки VA 1 DA, входящего в состав противодуговой системы VAMP (только при специальном варианте устройства);
- схема контроля исправности цепей отключения;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- возможность управления от устройства телемеханики при соблюдении всех режимов блокировки.

CZAZ-KR

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ АВТОМАТИКИ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общая характеристика

Комплект CZAZ-KR представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающее как комплексную защиту и управление конденсаторной батареей среднего напряжения. Обеспечивается измерение и регистрация электрических параметров присоединения.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- максимальная защита без выдержки времени от коротких замыканий;
- максимальная защита с независимой выдержкой времени от коротких замыканий и перегрузок;
- максимальная защита с зависимой характеристикой от коротких замыканий и перегрузок;
- максимальная защита от внутренних коротких замыканий;
- максимальная защита от коротких замыканий на землю (для сетей, заземленных через сопротивление);
- защита от повышения напряжения;
- автоматика управления батареей, дающая возможность выбора одного из четырех вариантов управления:
при помощи внутренней схемы измерения реактивной мощности;
при помощи программируемых внутренних часов;
с использованием входа сигнала от внешних часов;
с использованием сигналов, поступающих от поля источника питания.
- пять реле времени, управляемых внешними защитами технологических процессов;
- возможность приспособления технологического входа ZT-1 к взаимодействию с датчиком вспышки VA 1 DA, входящего в состав противодуговой системы VAMP (только при специальном варианте устройства);
- схема контроля исправности цепей отключения;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- возможность управления от устройства телемеханики при соблюдении всех режимов блокировки.
- отработка сигналов системы защиты шин и УРОВ.

CZAZ-L / L+

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ АВТОМАТИКИ, ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЛИНИЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общая характеристика

Комплект CZAZ- L / L+ представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающее как комплексную защиту линий среднего напряжения. Обеспечивается измерение и регистрация электрических параметров присоединения.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- максимальная защита от сквозных коротких замыканий с дополнительной выдержкой времени и (направленная для варианта L+);
- максимальная защита от сквозных коротких замыканий (направленная для варианта L+); дающая возможность работы с зависимой или независимой характеристикой выдержки времени.
- защита от коротких замыканий на землю, дающая возможность выбора одного из четырех вариантов работы:

в качестве двухступенчатой замедленной защиты максимального тока с независимой характеристикой;

в качестве замедленной защиты с зависимой характеристикой;

в качестве направленной защиты с выдержкой времени;

в качестве защиты полной проводимости.

- пять реле времени, управляемых внешними защитами технологических процессов;
- возможность приспособления технологического входа ZT-1 к взаимодействию с датчиком вспышки VA 1 DA, входящего в состав противодуговой системы VAMP (только при специальном варианте устройства);
- автоматика АПВ, осуществляющая трижды рабочий цикл;
- возможность взаимодействия с автоматикой АЧР и АПВ после АЧР;

- схема контроля исправности цепей отключения;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- возможность управления от устройства телемеханики при соблюдении всех режимов блокировки.
- обработка сигналов системы защиты шин и УРОВ.

CZA2-PR

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ ЗАЩИТНОЙ АВТОМАТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПОЛЯ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общая характеристика

Комплект CZA2-PR представляет собой микропроцессорное устройство цепей напряжения, обеспечивающее выполнение защиты, автоматики и измерения, запись данных.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- двухфазная защита минимального напряжения;
- защита максимального напряжения от замыканий на землю с выдержкой времени, реагирующая на напряжение нулевой последовательности;
- двухступенчатая автоматика АЧР, состоящая из органов SCO I и SCO II;
- автоматика АПВ после АЧР;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- схема проверки работоспособности комплекта.

CZAZ-T1

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ АВТОМАТИКИ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА 6-35 / 0,4 кВ.

Общая характеристика

Комплект CZAZ-T1 представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающее как комплексную защиту и управление выключателем трансформатора 6-35/0,4 кВ. Обеспечивается измерение и регистрация электрических параметров присоединения.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- максимальная токовая защита без выдержки времени от внутренних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита с независимой характеристикой от внешних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита с зависимой характеристикой от внешних коротких замыканий,
- максимальная токовая защита с зависимой характеристикой от замыканий на землю, которая может блокироваться выходным сигналом внешнего реле U_0 или внутреннего реле, контролирующего напряжение U_0 ;
- максимально-токовая защита от перегрузок;
- схема взаимодействия с газовым реле и датчиком температуры;
- бистабильная входная схема U_0 , обеспечивающая блокировку защиты от замыканий на землю с помощью выходного сигнала внешнего реле, которое замеряет напряжение с открытого треугольника;
- пять реле времени, возбуждаемых внешними защитами технологических процессов;
- возможность приспособления технологического входа ZT-1 к взаимодействию с датчиком вспышки VA 1 DA. Входящего в состав противодуговой системы VAMP (только при специальном варианте устройства);

CZAZ-TRU0

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ АВТОМАТИКИ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА

Общая характеристика

Комплект CZAZ-TRU0 представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающее как комплексную защиту и управление выключателем заземляющего трансформатора среднего напряжения, работающего в компенсированной сети или в сети заземленной через резистор. Обеспечивается измерение и регистрация электрических параметров присоединения.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- максимальная токовая защита без выдержки времени от внутренних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита с независимой характеристикой от внешних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита с зависимой характеристикой от внешних коротких замыканий;
- максимально-токовая защита от замыкания на землю реагирующая на ток, проходящий через дугогасящий реактор или на сумму токов, в случае применения двух реакторов;

- реле времени, возбуждаемые внешними защитами технологических процессов, способные взаимодействовать с 1-й ступенью газового реле трансформатора BTQ, а также реакторов BD1Q и BD2Q; 2-й ступенью газового реле трансформатора BTV, а также реакторов BD1V и BD2V;
- возможность приспособления технологического входа ZT-1 к взаимодействию с датчиком вспышки VA 1 DA, входящего в состав противодуговой системы VAMP (только при специальном варианте устройства);
- схема контроля исправности цепей отключения;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- возможность управления от устройства телемеханики при соблюдении всех режимов блокировки.

CZAZ-M

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Общая характеристика

Комплект CZAZ-M представляет собой микропроцессорное устройство, предназначенное для комплексной защиты асинхронных двигателей высокого напряжения и управление выключателем. Обеспечивается измерение и регистрация электрических параметров присоединения.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- дифференциальная защита от внутренних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита с выдержкой времени от внешних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита без выдержки времени от внешних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита с выдержкой времени от замыканий на землю с зависимой характеристикой выдержки времени;
- максимальная токовая защита от несимметричного режима тока с зависимой характеристикой выдержки времени;
- температурная защита от перегрузок;
- энергетическая защита, защищающая двигатель от перегрузок, связанных с чересчур длительным пуском двигателя либо превышением допустимого количества последовательных пусков;
- максимальная защита тока с выдержкой времени от остановки двигателя под током;
- максимальная защита тока с выдержкой времени, передающая информацию о возмущениях технологического процесса, осуществляемого машиной, приводом которой является защищаемый двигатель;
- защита минимального тока с выдержкой времени от холостого хода двигателя;
- реле времени, возбуждаемое внешней технологической защитой;
- схема логики, возбуждаемая внешней групповой защитой минимального напряжения;
- схема контроля исправности цепей отключения;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- возможность управления от устройства телемеханики при соблюдении всех режимов блокировки.

CZAZ-M1 | M1 +

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ АВТОМАТИКИ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РЕЖИМОМ ДИАГНОСТИКИ КЛЕТКИ РОТОРА

Общая характеристика

Комплект CZAZ-M1+ представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающее как комплексную защиту асинхронных двигателей высокого напряжения и управление выключателем. Комплект варианта CZAZ-M1+ оснащается дополнительно схемой обнаружения повреждений клеток ротора. Обеспечивается измерение и регистрация электрических параметров присоединения.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- система проверки состояния клетки ротора;
- дифференциальная защита от внутренних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита с выдержкой времени;
- максимальная токовая защита без выдержки времени;
- максимальная токовая защита с выдержкой времени от замыканий на землю с зависимой характеристикой выдержки времени;
- максимальная токовая защита от несимметричного режима тока с зависимой характеристикой выдержки времени;
- температурная защита от перегрузок;
- энергетическая защита, защищающая двигатель от перегрузок, связанных с чересчур длительным пуском двигателя либо превышением допустимого количества последовательных пусков;

- максимальная защита тока с выдержкой времени от остановки двигателя под током;
- максимальная токовая защита с выдержкой времени, передающая информацию о возмущениях технологического процесса, осуществляемого машиной, приводом которой является защищаемый двигатель;
- защита минимального тока с выдержкой времени от холостого хода двигателя;
- пять реле времени, возбуждаемые внешними технологическими защитами;
- защита минимального напряжения;
- возможность приспособления технологического входа ZT-1 к взаимодействию с датчиком вспышки VA 1 DA, входящего в состав противодуговой системы VAMP (только при специальном варианте устройства);
- схема контроля исправности цепей отключения;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- возможность управления от устройства телемеханики при соблюдении всех режимов блокировки.

CZAZ-MS1

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ АВТОМАТИКИ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ

Общая характеристика

Комплект CZAZ-MS1 представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающее комплексную защиту синхронных двигателей высокого напряжения и управление выключателем. Обеспечивается измерение и регистрация электрических параметров присоединения.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- дифференциальная защита от внутренних коротких замыканий;
- максимальная токовая защита с выдержкой времени;
- максимальная токовая защита без выдержки времени;
- максимальная токовая защита с выдержкой времени от замыканий на землю с зависимой характеристикой выдержки времени;
- максимальная токовая защита от несимметричного режима тока с зависимой характеристикой выдержки времени;
- температурная защита от перегрузок;
- энергетическая защита, защищающая двигатель от перегрузок, связанных с чересчур длительным пуском двигателя либо превышением допускаемого количества последовательных пусков;
- максимальная защита тока с выдержкой времени от остановки двигателя под током;
- максимальная токовая защита с выдержкой времени, передающая информацию о возмущениях технологического процесса, осуществляемого машиной, приводом которой является защищаемый двигатель;
- защита минимального тока с выдержкой времени от холостого хода двигателя;
- максимальная защита тока с выдержкой времени от выпадения двигателя из синхронизма;
- пять реле времени, возбуждаемые внешними технологическими защитами;
- защита минимального напряжения;
- возможность приспособления технологического входа ZT-1 к взаимодействию с датчиком вспышки VA 1 DA, входящего в состав противодуговой системы VAMP (только при специальном варианте устройства);
- схема контроля исправности цепей отключения;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- возможность управления от устройства телемеханики при соблюдении всех режимов блокировки.

CZAZ-RL

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ

1.1.1.1.1 Общая характеристика

Комплект CZAZ-RL предназначен для защиты и автоматики линий электропередачи высокого напряжения, работающих в составе сетей с заземленной нейтралью и имеющих трехфазное отключение при всех видах коротких замыканий.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- Дистанционная защита PX, имеющая:
 - пятизонное реле сопротивления с токовым пуском;
 - орган направления с памятью напряжения;
 - схему блокировки дистанционной защиты при повреждениях вторичных цепей напряжения;
 - ступени выдержки времени (независимые для каждой зоны);
- направленная защита от замыканий на землю PloK, имеющей:
 - независимую или линейно-зависимую характеристику выдержки времени и тока с возможностью установки параметров;

- схему блокировки по направлению;
- порог напряжения;
- режимы работы: активный / останов;
- защита максимального тока PI:
 - независимая или линейно-зависимая характеристика по времени и току с возможностью установки параметров; режимы работы: активный / активный только при неисправной дистанционной защите / останов;
- автоматика АПВ:
 - однократная, трехфазная, без контроля синхронизма;
 - режимы срабатывания: внутренний (дистанционная защита, защита от замыкания на землю) или внешний (резервная защита, высокочастотная защита);
- схема взаимодействия с интерфейсом высокой частоты:
 - условный режим работы - срабатывание на команду, поступающую по интерфейсу, в зависимости от срабатывания дистанционной защиты;
 - безусловный режим работы - срабатывание на команду, поступающую по интерфейсу, независимо от срабатывания дистанционной защиты;
- ускорение защиты Zzw при включении на короткое замыкание;
- схема взаимодействия с выключателем;
- система программируемых бистабильных выходов;
- схема взаимодействия с центральной сигнализацией станции;
- операторский пульт связи РК;
- схема автопроверки и испытаний;
- регистратор возмущений RZ;
- регистратор событий ARZ;
- схема определения места короткого замыкания LZ;
- схема взаимодействия с системами связи высшего уровня;
- измерение текущих значений электрических величин;
- реле асимметрии токов и напряжений;
- фазные реле минимального напряжения.

RloK-40

РЕЛЕ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ.

Общая характеристика

Цифровое реле типа RloK-40 предназначается для защиты линий высокого напряжения от однофазных коротких замыканий на землю.

В состав устройства входят:

- реле защиты от замыкания на землю, дающее возможность работы в трех различных режимах (максимального тока, максимально-токовом с блокировкой по направлению и направленном): при этом в двух последних режимах возможна установка направления («вперед» и «назад») а также угла характеристики.
- реле времени, работающее в трех различных режимах (одноступенчатом, двухступенчатом и зависимом);
- схема проверки работоспособности;
- схема производства текущих измерений (тока, напряжения, угла сдвига фазы между напряжением и током);
- схема записи мгновенных измерительных значений, наличествующих в момент последнего возмущения;
- схема визуальной индикации (режимов запуска и срабатывания реле, работоспособности устройства);
- схема проверки работы выходов защиты;
- схема исполнительных (выходных) реле (запуск реле тока, срабатывание реле времени, возврат реле
- реле проверки работоспособности устройства.

Устройство размещается внутри корпуса типа BOPLA, на передней стенке которого находятся: упрощенная клавиатура вместе с жидкокристаллическим дисплеем 1х16 (делающая возможными производство уставок рабочих параметров устройства, проверку исполнительных реле, индикацию измерительных результатов и данных, хранимых в ЗУ устройства, а также три светодиода, индицирующих режимы: нормальной работы, срабатывания и возбуждения устройства.

CZAZ-TH

ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКТ АВТОМАТИКИ. ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ СТОРОНЫ ВН ТРАНСФОРМАТОРА

Общая характеристика

Комплект CZAZ-TH представляет собой микропроцессорное устройство, обеспечивающее как комплексную защиту стороны ВН так и управление выключателем. При этом для обеспечения полной защиты трансформатора требуется дополнительно применение внешней дифференциальной защиты.

Защиты и вспомогательные режимы работы комплекта:

- максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени от коротких замыканий и перегрузок;
- максимальная токовая защита с зависимой характеристикой выдержки времени от коротких замыканий и перегрузок;
- максимальная токовая защита с зависимой характеристикой от внутренних коротких замыканий
- замедленная максимально-токовая защита от замыканий на землю (для распределительных сетей, заземленных через сопротивление);
- четыре реле времени, возбуждаемых внешними защитами технологических процессов;
- две схемы, предназначенные к взаимодействию с 1-2 й ступенью газового реле;
- возможность приспособления технологического входа ZT-1 к взаимодействию с датчиком вспышки VA 1 DA, входящего в состав противодуговой системы VAMP (только при специальном варианте устройства);
- схема контроля исправности цепей отключения;
- схема внутренней и внешней индикации событий;
- возможность управления от устройства телемеханики при соблюдении всех режимов блокировки.
- сигналы для системы защиты шин и УРОВ.

ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЛЕ

Реле напряжения

REFT-430 Трехфазное реле напряжения с выдержкой времени для цепей инвертирования с частотой 5-400 Гц.

REN-30 - Реле асимметрии напряжения для электродвигателей

RET-325 -- Реле постоянного и переменного напряжения с выдержкой времени

REt-350 - Реле постоянного и переменного напряжения

REt-351 - Минимальное реле постоянного напряжения

RET-410A - Реле «окошка» напряжения с выдержкой времени (задается напряжение срабатывания и возврата реле отдельно) два выходных реле контролируют верхний и нижний уровень напряжения, третье срабатывает с выдержкой времени при выходе из «окна».

RET-411 - реле гистерезиса напряжения два выходных реле контролируют верхний и нижний уровень напряжения, и срабатывают с заданной выдержкой времени

RET-412 –Максимальное или минимальное реле напряжения с выдержкой времени

RET-425 - Максимальное или минимальное реле напряжения с выдержкой времени

RET-430A – Трехфазное максимальное и минимальное реле напряжения с выдержкой времени

Реле тока

ODR-2W – Двухфазное реле максимального тока с выдержкой времени, автономным режимом питания и емкостным накопителем для отключения выключателя.

RIFT-430 - Двухфазное реле максимального тока для инверторной сети 5-500Гц.

RIT-400A – Однофазное двухступенчатое реле тока с выдержкой времени

RIT-410 - Реле "окошка" тока с выдержкой времени (задается ток срабатывания и возврата реле отдельно) два выходных реле контролируют верхний и нижний уровень тока, третье срабатывает с выдержкой времени при выходе тока из «окна».

RIT-430A – Трехфазное реле максимального тока с выдержкой времени.

RIT-433A - Реле максимального тока трехфазное трехступенчатое

RITz-421 - Максимально-токовая защита от междофазных КЗ и замыканий на землю с выдержкой времени

RITz-430 - максимально-токовая защита с зависимой характеристикой работающая по фазным токам и току обратной последовательности.

Реле заземления

RloT-400- Реле защиты от замыкания на землю статора генератора (двигателя) от замыканий на землю

RTEst-4 - Реле защиты от замыкания на землю в компенсированной и заземленной через резистор сети.

1.1.1.1.2 Реле специального назначения

RCN-301 - Реле контроля исправности цепей напряжения счетчиков электроэнергии

RFT-50 - Реле частоты двухступенчатое.

RKP-220 - Вспомогательное реле промежуточное – быстродействующее для управления выключателем.

RPz-410 - Реле обратной мощности генератора.

RT-4 - Реле выдержки времени многовариантное

RTo-1 / RTo-2 - Реле выдержки времени

Приложение П18.

Устройства РЗА фирмы SEG, Германия

Выпускается несколько серий устройств, предназначенных для напряжения до 132кВ. Представляют практический интерес следующие устройства:

Серия ZYSTEM (CSP)



Устройства имеют графический ЖКИ дисплей для индикации мнемосхемы, встроенный осциллограф, регистратор событий, свободно программируемую логику и связь по протоколу MODBUS. Устройства CSP-F предназначены для защиты, автоматики, управления и контроля выключателей отходящих присоединений и вводов.

Устройство CSP-L представляет собой продольную дифзащиту линий длиной до 25 км с передачей информации по оптоволоконному кабелю.

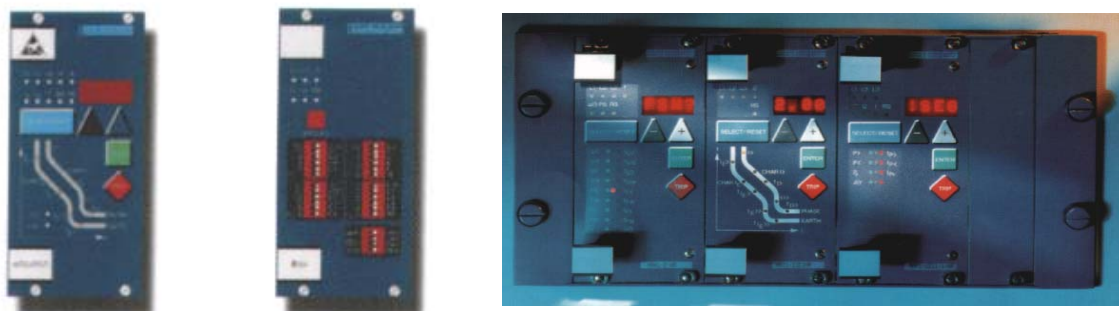
Устройство CSP-L представляет собой дифзащиту шин с числом присоединений до 18, числом входов до 33 и выходов до 21.

Перечень функций приведен в таблице 1.

Таблица 1.

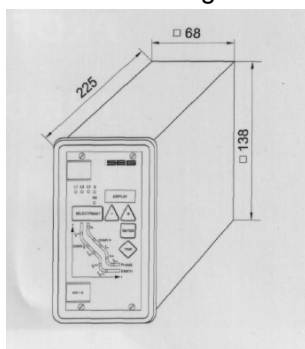
Защитные функции	ANSI	CSP-F1	CSP-F3	CSP-F5	CSP-L	CSP-B
		Фидер			Линия	Шины
Фазный ток количество ступеней	50/51	3	3	3	2	
Направленная по току фазы количество ступеней	50/51/67		3	3		
По току 33 количество ступеней	50N/51N	2	2	2	2	
Направленная по току 33 количество ступеней	67N		2	2		
По току обратной последовательности, количество ступеней	46	2	2	2		
Защита от перегрузки с тепловой характеристикой	49	x	x	x		
Понижение / повышение напряжения количество ступеней	27/59		2/2	2/2		
повышение напряжения нулевой последовательности количество ступеней	59N		2	2		
Контроль исправности цепей ТН			x	x		
Частота количество ступеней	81		4	4		
Мощность количество ступеней	32F/R		2/2	2/2		
Дифзащита	87				x	x
АПВ	79	x	x	x		
УРОВ	50	x	x	x	x	x
Количество выходных реле		6	6	10	6	11
Количество дискретных входов		8	12	16	8	7

Серия HIGH TECH

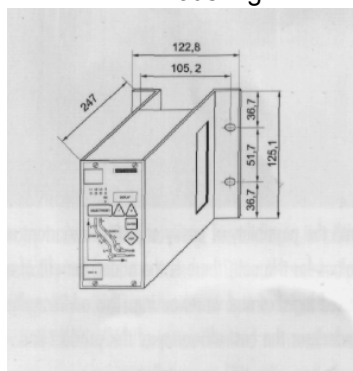


Устройства имеют 4х знаковый дисплей и 4 кнопки управления, отличаются малыми габаритами и невысокой степенью интеграции функций. Устройства имеют 4 выходных реле, 2-10 дискретных входов, встроенный осциллограф и выход на локальную сеть. Реле выполняются блочной конструкции: они могут устанавливаться в кассету, вмещающую 1, 3 или 7 реле.

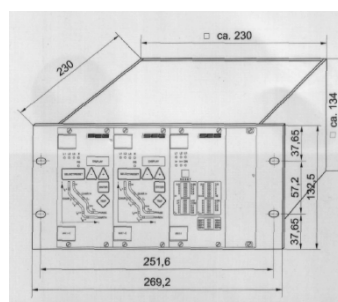
D-housing



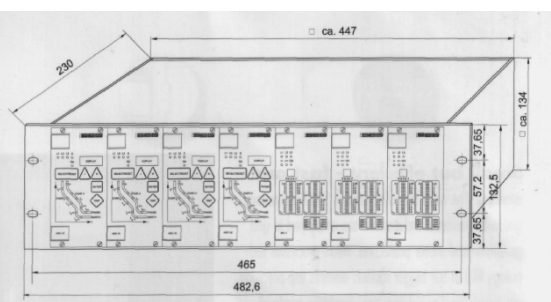
Конструкция
A-housing



HTL-3F42

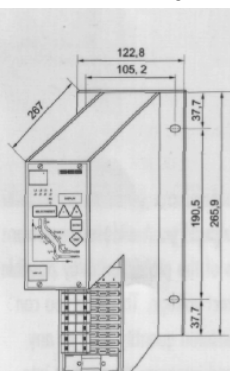


HTL-3F84

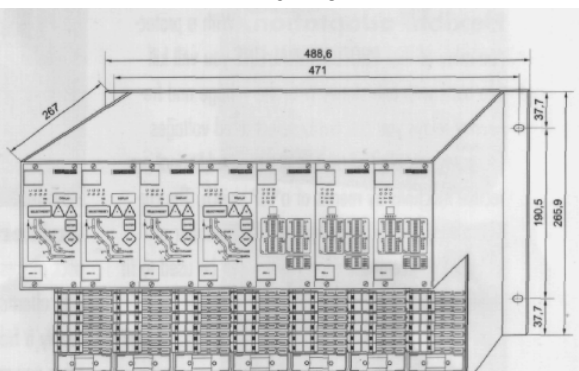


Кассеты для утопленного монтажа.

HTL-6M12



HTL – 6M48



Кассеты для переднего монтажа.

В состав серии входят:

Устройства MRI – двухступенчатая токовая защита (направленная и ненаправленная).

Устройства MRIK – двухступенчатая токовая защита (направленная и ненаправленная) и АПВ

Устройства MRU – защиты повышения и понижения напряжения ($U<$, $U<<$, $U>$, $U>>$, $U_0>$, $U_2>$)

Устройства MRF – четырехступенчатая защита по частоте.

Устройства MRD – дифференциальная защита трансформатора или генератора.

Устройства MRP – реле направления активной мощности.

Устройства MRS – реле тока обратной последовательности.

Устройства MRQ – защита от потери возбуждения.

Устройства MRR – защита ротора.

Устройства MRM – защита двигателя.

Серия Professional



Отличается небольшими габаритами. Предназначены для использования в установках среднего и низкого напряжения. Изменение уставок производится с помощью переключателей. Устройства предназначены для установки на стандартную DIN –рейку. Устройства имеют 2-4 выходных реле и 0-2 дискретных входа.

Устройства XI – реле токовые

Устройства XN, XU – реле напряжения

Устройства XD – дифференциальные реле.

	Токовые защиты							Защиты по напряжению														Защита двигателя				Дифза- щита			Дру- гие.	
	XI1-I	XI1-E	XI1-S	XI1-E-R	XI1-S-R	XRI1-I-R	XRI1-I-E	XN2-1	XN2-2	XRN2-1	XRN2-2	XRW1	XUF2	XUA1	XU2-AC	XU1-DC	XU1-E	XF2	XG2	XA1	XP2-R	XS2	XE2	XR1	XD1-T	XD1-G	XD1-L	XM	XR	
Токовые входы	3	1	1	1	1	3	4														1	3	1		6	6	7	3		
Входы по напряж.				1	1	3		3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3	3	1									
Дискретные входы					2	2			2	2																				10
Выходные реле	2	2	2	2	2	4	4	2	2	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	4	
Токовая 50/51	X					X	X																X					50		
Направл. токов. 67				X	X	X																	X						50	
НП станд. 50N/51N		X		X			X																					X		
НП через резистор 50N/51N			X		X																									
НП направлен. 67N				X	X																									
УРОВ 50BF						X	X																						X	
Защита по напряже- нию 27/59								X	X	X	X	X	X	X	X	X														
Напряж. 3Uo 59N																	X													
Симметрия фаз														X						X										
Частотная защита 810/U								X	X	X	X	X	X					X												
Градиент частоты 78									X		X	X																		
Фаза 78								X		X									X											
Направление мощно- сти 32/37																					X									
Замыкание ротора на землю 64																							X							
Защита обратной последовательности 46																					X							X		
Защита от перегруз- ки возбуждения 40																						X								
Защита двигателя 51/49/37																												X		
Дифзащита 87T, 87G, 87L																									X	X	X			

Устройства токовых защит серии WI



Устройства не требуют источника оперативного постоянного тока. Они питаются от цепей трансформатора тока и трансформатора СН. Устройства выполняют только функции токовых защит. Имеются 2 ступени токовых защит с зависимой или независимой характеристикой. Защиты могут иметь на выходе замыкающий контакт или предварительно заряженный конденсатор.

WI1-3 – одноступенчатая токовая защита с зависимой характеристикой выдержки времени, одним выходным реле и номинальным вторичным током 0.3 А.

WI2-3 - двухступенчатая токовая защита с независимой характеристикой выдержки времени, одним выходным реле и номинальным вторичным током 0.6 А.

WIM1- двухступенчатая токовая защита с различными характеристиками выдержки времени, двумя выходными реле и стандартным номинальным вторичным током 1/5 А.

WIM1-H отличается от предыдущего возможностью установки на DIN – рейку.

WIZ1 - двухступенчатая токовая защита с независимой характеристикой выдержки времени, двумя выходными реле и стандартным номинальным вторичным током 1/5 А.

WIP1 - - двухступенчатая токовая защита с различными характеристиками выдержки времени, двумя выходными реле и стандартным номинальным вторичным током 1 А. По заказу, в состав защиты может быть включена двухступенчатая защита от замыканий на землю. Устройство имеет 3 выходных контакта, регистратор событий. Интерфейс RS 485 может быть выполнен по заказу.

WIC1- двухступенчатая токовая защита с различными характеристиками выдержки времени, двумя выходными реле и широким диапазоном входных токов. По заказу, в состав защиты может быть включена двухступенчатая защита от замыканий на землю. Устройство имеет один выход от заряженного конденсатора, регистратор событий, и интерфейс.

Аппаратура фирмы GE Power Management (Канада, Испания)

Семейство универсальных микропроцессорных реле серии UR.



В состав семейства входят

Реле защиты шин **B30**
 Контроллер **C30**
 Контроль выключателя **C60**
 Дистанционная защита **D30**
 Дистанционная защита **D60**
 Групповая защита фидеров **F 35**
 Токовая защита линии **F60**
 Токовая защита линии **F650**
 Защита генератора **G60**
 Дифференциально - фазная защита линии **L60**
 Дифференциальная защита линии **L90**
 Защита двигателя **M60**
 Регистратор **R30**
 Защита трансформатора **T60**

Семейство универсальных реле является новым поколением реле построенных на общей платформе. Они размещаются в прямоугольных корпусах с габаритами: вертикальном - 178 X 350 X 277 мм или горизонтальном - 483X178 X277 мм.

Устройства могут работать в локальной сети, а также работать в сети интернет, р на скорости 10 мбит в сек.

Осциллограф обеспечивает замер аналоговой величины с дискретностью 64 раз за период промышленной частоты, может записать до 64 осциллограмм.

Регистратор может записать 1024 события с дискретностью 1 мс с указанием времени и даты.

В памяти устройства может храниться до 8 групп уставок, переключаемых дистанционно.

Устройства обеспечивают контроль выключателя.

Стандартная конфигурация устройства содержит 8 дискретных входов и 6 выходных реле.

Логика реле свободно конфигурируемая.

Основные характеристики устройств приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики устройств UR

	Код АНСИ	B30	C30	C60	D60	F35	F60	G60	L60	L90	M60	R60	T60
Дистанционная от замыканий на землю	21G				X				X	X			
Дистанционная от междуфазных замыканий	21P				X				X	X			
Понижение напряжения фазное	27	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X
Понижение напряжения третьей гармоники	27TN							X					
Обратной мощности	32							X					
Потери возбуждения	40							X					
Тока обратной последовательности	46							X			X		
Перегрузка с тепловой характеристикой	49										X		
Дифотсечка / дифзащита	50/87	X											X
УРОВ	50BF			X	X		X	X	X	X			
Фазная токовая отсечка	50P	X			X	X	X	X	X	X	X		X
Земляная отсечка по входу 3I ₀	50G				X	X	X	X	X	X	X		X
Отсечка по расчетному току в нейтрали ТТ	50N				X	X	X	X	X	X	X		X
Токовая отсечка обратной последовательности	50-2				X		X	X	X	X			
Фазная максимальная токовая защита	51P				X	X	X	X	X	X			X
Земляная максимальная токовая защита по входу 3I ₀	51G				X	X	X	X	X	X	X		X
Максимальная токовая защита по расчетному току в нейтрале ТТ	51N				X	X	X	X	X	X			X
Токовая защита обратной последовательности	51-2				X		X	X	X	X			
Повышение напряжения фазное	59P				X		X	X	X	X	X		X
Повышение напряжения обратной последовательности	59-2						X	X			X		
100% защита статора от замыканий на землю	64TN							X					
Фазная максимальная токовая защита направленная	67P				X		X	X		X			X
Направленная защита от замыканий на землю в нейтрале ТТ	67N				X		X	X		X			X
Направленная защита обратной последовательности	67-2				X		X						
Блокировка при качаниях	68				X			X	X	X			
АПВ	79			X	X	X	X		X				
Понижения частоты	81U					X	X	X					X
Повышения частоты	81O						X	X					
Дифзащита	87	X						X			X		
Продольная дифзащита линии	87L									X			
Дифференциально-фазная защита	87PC								X				

F60. Защита, контроль и измерения для линии электропередачи.



Устройство содержит:

- 8 элементов токовых защит с выдержкой времени по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 для каждого варианта тока)
- Характеристики выдержек времени зависимые по IEEE, IEC, IAC, $I^2 t$, независимая или характеристика, построенная пользователем.
- 8 элементов токовых защит без выдержки времени по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 - для каждого варианта тока)
- 6 элементов направления для токовых защит по фазному току, расчетному току в нейтрали току обратной последовательности (по 2 - для каждого варианта тока).
- Защиту от понижения напряжения (2 элемента)
- Защиту от повышения напряжения (1 элемент)
- Защиту от повышения напряжения обратной последовательности (1 элемент)
- 6 элементов понижения и 1 элемент повышения частоты.
- Элементы УРОВ для 2 выключателей.

- 2 элемента контроля синхронизма.
- 4 кратное трехфазное АПВ.
- 2 элемента контроля выключателя.
- Программируемая логика.
- Устройство может осуществлять трехфазное и однофазное отключение.
- По заказу в состав устройства может быть включена патентованная защита HI-Z от замыканий на землю через большое сопротивление для сетей с заземленной нейтралью.
- Имеется также более простая версия **F-650** с меньшим набором функций.
-

Цифровое устройство управления присоединением распределительного устройства F650

Защита

- МТЗ с выдержкой времени с ограничением по напряжению
- Мгновенная МТЗ фаз (два элемента)
- Мгновенная и с выдержкой времени защита нейтрали по току, вычисленному из фазных токов
- ТЗ от замыканий на землю с выдержкой времени и мгновенная
- ТЗ обратной последовательности с выдержкой времени
- Орган направления мощности для фаз, нейтрали и защиты от замыканий на землю
- Защита минимального и максимального напряжения фаз
- Защита максимального напряжения обратной последовательности
- Защита от перегрузок с помощью тепловой модели
- УРОВ
- Определение повреждений плавких предохранителей (контроль цепей напряжения)

Входы/выходы

- 5 токовых входов (3 для фаз, 1 для нейтрали, 1 для чувствительного органа от замыканий на землю)
- 4 входа напряжения (3 для фаз, 1 для шин или дополнительного напряжения)
- Программируемые цифровые входы и выходы
- Контроль катушек включения и отключения

F-35. Защита, контроль и измерения для группы фидеров



Устройство групповой защиты фидеров может быть использовано для одновременной защиты 5 фидеров и одновременном выполнении с его помощью защит по напряжению. Если органы напряжения не использовать, на данном устройстве можно выполнить защиту 6 фидеров.

Устройство содержит:

- 6 элементов токовых защит с выдержкой времени по фазному току, току нулевой последовательности, по расчетному току в нейтрали.
- Характеристики выдержек времени зависимые по IEEE, IEC, IAC, $I^2 t$, независимая или характеристика, построенная пользователем.
- 12 элементов токовых защит без выдержки времени по фазному току, току нулевой последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 - для каждого фидера)
- Защиту от понижения напряжения (2 элемента)
- 6 элементов понижения частоты.
- 4 кратное трехфазное АПВ.
- 2 элемента контроля выключателя.
- Программируемая логика.
- 16 дискретных элементов

Устройство дистанционной токовой защиты линии D30

Код ANSI	Наименование функции
Выполняемые функции защиты	
21P,21G	3-х ступенчатая дистанционная защита от междуфазных и однофазных КЗ. Круговая, четырехугольная или специальной формы с отстройкой от нагрузки характеристика срабатывания может быть выбрана для каждой ступени
68	Блокировка при качаниях
50P,51P, 50N,51N	Резервная ТО и МТЗ от междуфазных и однофазных КЗ (2 ступени)
67,67N	Резервная направленная МТЗ от междуфазных и однофазных КЗ (2 ступени)
78	Блокировка при качаниях мощности
50_2,51_2, 67_2	Резервная ТО, МТЗ, направленная МТЗ по току обратной последовательности (2 ступени)
50BF	УРОВ (2 ступени)
	Шесть групп уставок
Выполняемые функции автоматики	
79	АПВ трехфазное
78	Контроль сдвига фаз
	Контроль ресурса выключателя (I^2t)
	Определение расстояния до места КЗ
	Контроль исправности цепей ТТ и ТН

Входы/выходы

Число входов по переменному току от 4 до 16
Число входов по переменному напряжению от 0 до 8
Число дискретных входов от 8 до 96
Число дискретных выходов от 4 до 64
Свободная конфигурация входов/выходов
Свободная конфигурация входов/выходов

Интерфейс

Строчный ЖК дисплей
Клавиатура управления
Клавиатура для ввода уставок (опция)
RS 232
RS 485
RS 485+TCP/IP (EZERNET)/
Встроенный цифровой регистратор и осциллограф.
Регистратор отключенных токов КЗ (I^2t).

D60. Дистанционная защита линии



Устройство быстродействующей дистанционной защиты

для линий от среднего до сверхвысокого напряжения. Может быть использована для схемы с двумя выключателями на линию.

- Защита состоит из 4 фазных органов и органов замыкания на землю.
- Защита имеет круговую или многоугольную характеристику.
- Может работать на линии с продольной емкостной компенсацией (опция).
- Может быть выполнено трехфазное или однофазное отключение.
- Имеется блокировка от качаний.

- Имеется определение места короткого замыкания.
- Дистанционная защита может быть выполнена направленной.
- Все зоны ДЗ имеют независимые выдержки времени для междуфазного комплекта и комплекта от замыканий на землю.

Дополнительно устройство содержит

- 8 элементов токовых защит с выдержкой времени по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 для каждого варианта тока)
- Характеристики выдержек времени зависимые по IEEE, IEC, IAC, $I^2 t$, независимая и 2 характеристика построенные пользователем.
- 8 элементов токовых защит без выдержки времени по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 - для каждого варианта тока)
- 6 элементов направления для токовых защит по фазному току, току нейтрали, току обратной последовательности (по 2 - для каждого варианта тока).
- Защиту от понижения напряжения (2 элемента)
- Защиту от повышения напряжения (1 элемент)
- Защиту от повышения напряжения обратной последовательности (1 элемент)
- Элементы УРОВ для 2 выключателей.
- 2 элемента контроля синхронизма.
- 4 кратное трехфазное АПВ.
- 2 элемента контроля выключателя.
- Имеется более простая версия дистанционной защиты, содержащая 3 дистанционные ступени: D30.

L60. Дифференциально - фазная защита линии



Устройство дифференциально- фазной защиты для линий высокого и сверхвысокого напряжения с трех- фазным отключением. Для сравнения фаз используется либо комбинированный сигнал тока I_2-KI_1 либо ток $3I_0$. Имеется 2 пусковых органа разной чувствительности. Они также используют однофазный сигнал тока I_2-KI_1 либо ток $3I_0$.

В качестве канала связи может быть использован ВЧ канал по линии электропередачи, радиоканал либо мультимплексный оптический канал.

Кроме дифференциально-фазной защиты устройство содержит:

- Ступень дистанционной защиты от междуфазных и однофазных замыканий с блокировкой от качаний.
- 8 элементов токовых защит с выдержкой времени по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 для каждого варианта тока)
- Характеристики выдержек времени зависимые по IEEE, IEC, IAC, $I^2 t$, независимая и 2 характеристика построенные пользователем.
- 8 элементов токовых защит без выдержки времени по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 - для каждого варианта тока)
- 6 элементов направления для токовых защит по фазному току, току нейтрали, току обратной последовательности (по 2 - для каждого варианта тока).
- Защиту от понижения напряжения (2 элемента)
- Защиту от повышения напряжения (1 элемент)
- Защиту от повышения напряжения обратной последовательности (1 элемент)
- Элементы УРОВ для 2 выключателей.
- 2 элемента контроля синхронизма.
- 4 кратное трехфазное АПВ.
- 2 элемента контроля выключателя.
- Определение места повреждения на линии

L90. Продольная дифференциальная защита линии

Устройство представляет собой быстродействующую продольную дифференциальную защиту для линий электропередачи любого напряжения.



Реле может применяться для двухконцевых и трехконцевых линий.

Реле может использоваться на линиях с продольной емкостной компенсацией или без нее, с трехфазным или однофазным отключением выключателей.

Для связи может использоваться электрический или оптоволоконный кабель или мультиплексный оптоволоконный канал. При использовании оптоволоконного кабеля и лазерного эмиттера длина кабеля может достигать 64 км.

Кроме непосредственно дифзащиты в состав устройства входят:

- Ступень дистанционной защиты от междуфазных и однофазных замыканий с блокировкой от качаний.
- 8 элементов токовых защит с выдержкой времени по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 для каждого варианта тока)
- Характеристики выдержек времени зависимые по IEEE, IEC, IAC, $I^2 t$, независимая и 2 характеристика построенные пользователем.
- 8 элементов токовых защит без выдержки времени по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по расчетному току в нейтрали (по 2 - для каждого варианта тока)
- 4 элемента направления для токовых защит по фазному току, току нейтрали (по 2 - для каждого варианта тока).
- Защита от понижения напряжения (2 элемента)
- Защита от повышения напряжения (1 элемент)
- Элементы УРОВ для 2 выключателей.
- 2 элемента контроля синхронизма.
- 4 кратное трехфазное АПВ.

T60. Устройство защиты, измерений и управления для трансформаторов



Устройство используется для трансформаторов малой, средней и большой мощности; двух, трех и четырехстороннее измерение тока.

Обмотка трансформатора может подсоединяться к сети через 1 или 2 выключателя.

Дифференциальная защита трансформатора выполнена с процентным торможением. Тормозная характеристика двухступенчатая. Защита имеет блокировку по второй и пятой гармонике

Для улучшения отстройки от броска тока намагничивания блокировка по второй гармонике дополнена фазной блокировкой.

Кроме дифзащиты с торможением, имеется быстродейст-

вующая дифференциальная отсечка.

В состав устройства входят также следующие функции:

- Защита от перевозбуждения трансформатора - V / Hz функция.
- Защита от замыкания на землю
- Многосторонняя максимальная защита с выдержкой времени от КЗ по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по току в нейтрали.
- Характеристики выдержек времени зависимые по IEEE, IEC, IAC, $I^2 t$, независимая и 2 характеристика построенные пользователем.

Многосторонняя максимальная защита без выдержки времени от КЗ по фазному току, току нулевой и обратной последовательности, по току в нейтрали.

- Элементы направления для токовых защит по фазному току, току нейтрали,
- Защиту от понижения напряжения
- Защиту от повышения напряжения
- Защиту от понижения частоты)

М60. Устройство защиты, управления и измерения двигателей средней и большой мощности



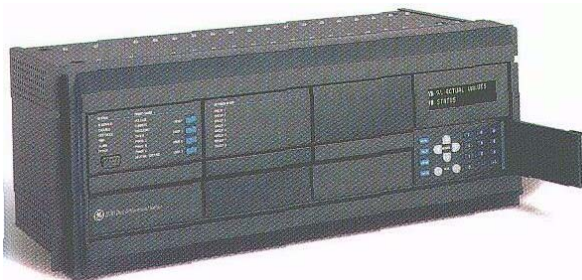
Устройство обеспечивает защиту, мониторинг, измерения для электродвигателей средней и большой мощности.

Устройство включает:

- Защиту от перегрузки с тепловой характеристикой и запоминанием текущего теплового состояния двигателя. Защита использует три постоянные времени, учитывает внешнюю температуру. Контролируется число пусков, и охлаждение двигателя после его останова.

- Защиту от несимметрии тока в фазах по току обратной последовательности.
- Дифференциальную защиту двигателя.
- Отсечку по току в фазах, нейтрали, току замыкания на землю.
- Защиту от замыкания на землю с зависимой выдержкой времени с характеристиками ANSI и IEC.
- Защиту от понижения напряжения.
- Защиту от повышения напряжения.
- Защиту обратного чередования фаз.

В30. Реле дифференциальной защиты шин

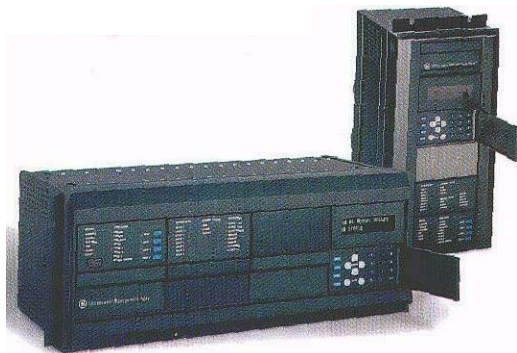


Устройство быстродействующей защиты шин для подстанций высокого и сверхвысокого напряжения.

Дифференциальная защита шин низкого сопротивления имеет ступень с торможением и без него – быстродействующая отсечка. В базовой конфигурации защита шин рассчитана на 6 присоединений. Имеется контроль исправности по току небаланса.

С60. Реле контроля и управления выключателями

Реле предназначено для контроля состояния и управления одним или двумя выключателями присоединения.



В состав устройства входит:

- 2 ступени пофазной защиты понижения напряжения
- Пофазный контроль отказа (УРОВ) 2 выключателей. Контроль осуществляется по току в фазах и по положению блокконтактов выключателя.
- Автоматическое включение 2 выключателей (АПВ) при его трехфазном и пофазном отключении.
- Контроль синхронизма – 2 элемента. Контроль может быть использован для блокировки АПВ и ручного включения выключателя.
- Контроль положения выключателя обеспечивает индикацию положения двух выключателей.

Данная информация включает последнее поколение защит фирмы GE. Кроме этих устройств фирмой выпускается и другие устройства для сетей:

Семейство M Family



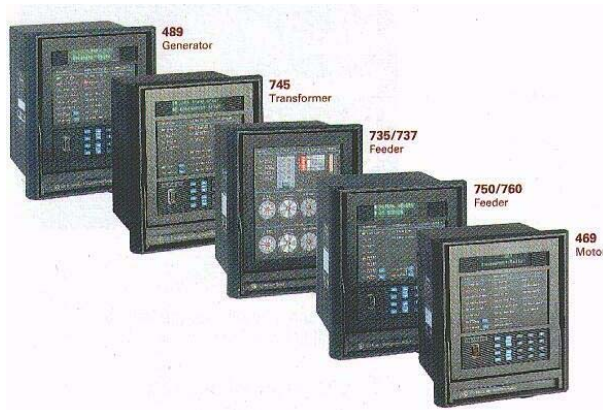
в него входят:

MIF – защита фидеров;
MIG – защита электрических машин;
MIN – защита от замыканий на землю;
MIV – защиты по напряжению и частоте;
MIW – реле мощности .

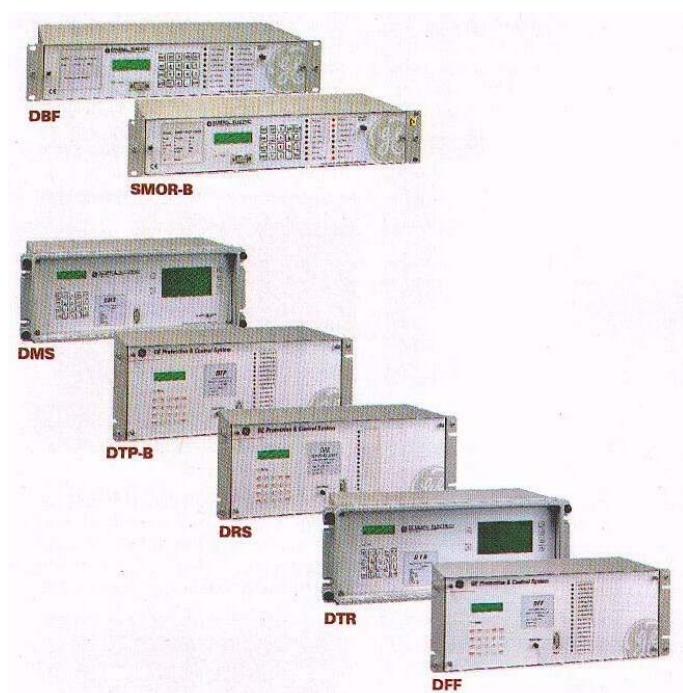
Перечень функций приведен ниже:

Перечень функций семейства «М»

	Код ANSI	MIF	MIG	MIN	MIP	MIV	MIW
Понижение напряжения фазное	27P				X	X	
Сброс мощности	32LF						X
Реверс мощности	32RP						X
Потери возбуждения	40						X
Тока обратной последовательности	46		X				
Несимметрия напряжений	47					X	
Перегрузка с тепловой характеристикой	49	X	X				
Повышения напряжения нулевой последовательности	59N				X	X	
Фазная токовая отсечка	50PH / 50PL	X	X				
Отсечка от замыканий на землю	50NH / 50NL	X	X	X			
Фазная максимальная токовая защита	51P	X	X				
Земляная максимальная токовая защита	51N	X	X	X			
Повышение напряжения фазное	59P				X	X	
Обрыв фазы	VTFF						X
Направленная защита от замыканий на землю	67N			X			
Контроль синхронизма	78				X		
Понижения частоты	81U				X	X	
Повышения частоты	81O				X	X	
Длительный пуск и застревание ротора			X				
Перегрузка по току			X				

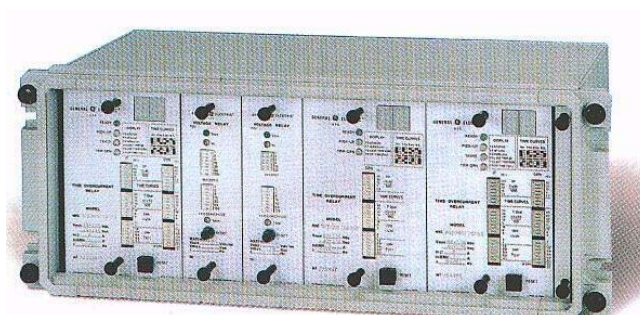


Семейство SR включает
489 – защита генератора;
745 – защита трансформатора;
735/737 – защита линии;
750/760 – защита линии;
469 – защита двигателя.



Семейство MID состоит из
MFF – реле частоты;
MGC – реле защиты генератора;
MIF – токовое реле;
MLJ – реле контроля синхронизма;
TSW – реле обратной мощности;
TOV – реле напряжения;

Семейство DDS состоит из
DMS – многоцелевая защита;
SMOR-B – многофункциональная защита линии;
DTR-B – защита трансформатора;
DBF – УРОВ;
DRS – АПВ;
DTR – защита трансформаторов;
DFF – реле частоты.



**Серия устройств микропроцессорной защиты в сетях напряжением 6-35 кВ
"Сириус" фирмы «Радиус» Россия.**



Серия микропроцессорных защит "Сириус" предназначена для организации комплексной релейной защиты энергообъектов напряжением 6-35 кВ. Серия содержит защиту кабельных и воздушных линий, трансформаторов мощностью до 1 МВА, синхронных двигателей, секционных и вводных выключателей. Все устройства серии имеют одинаковое конструктивное исполнение и различаются только программой их работы. Устройства могут применяться как совместно, так и по отдельности, в комплекте с традиционными защитами.

Во всех устройствах применен алфавитно-цифровой индикатор, отображающий две строки по 16 символов и клавиатура из 4-х кнопок. Имеются две кнопки ручного управления выключателем, а также кнопка сброса аварийной сигнализации.

При наличии аварии или неисправности включается подсветка индикатора, привлекающая внимание персонала.

Информация фиксируется в памяти устройства в порядке поступления и сохраняется о 9 последних отключениях. Информация о

каждой последующей аварии фиксируется, стирая из памяти информацию о самом "старом" КЗ. Командное отключение также фиксируется как отдельная авария. Ход часов и зафиксированные данные в памяти сохраняются в течение времени не менее 72 часов при пропадании оперативного питания.

Все уставки срабатывания защит и времена задержек регулируются в широком диапазоне значений и хранятся в энергонезависимой памяти устройства.

Предусмотрено выполнение всех функций защит при пропадании оперативного питания переменного или постоянного тока напряжением 220 В на время до 0,5 с.

Предусмотрен дистанционный ввод уставок и снятие информации о срабатываниях защиты (телесигнализация), измерение текущих токов фаз (телеизмерение), а также управление выключателем (телеуправление) по линии связи от персонального компьютера. Программа работает под управлением MS Windows. Возможна реализация удаленного доступа с помощью модемов.

Изменение уставок заблокировано паролем.

Устройства могут сопрягаться со стандартными каналами телемеханики, для чего предусмотрены соответствующие входные и выходные контакты.

Габаритные размеры устройств - 325х320х180 мм, масса - 9 кг. Оперативное питание осуществляется от сети переменного или постоянного тока напряжением 220 В. Возможна поставка устройств с напряжением питания =110 В по заказу.

Рабочий диапазон температур устройств от -20 до +55°С.

Устройство микропроцессорной защиты ввода в сетях напряжением 6-35 кВ "Сириус-В"

Устройство "Сириус-В" предназначено для работы в качестве защиты вводного выключателя в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью напряжением 6-35 кВ.

Устройство устанавливается в ячейке КРУ или КРУН и выдает сигнал на отключение высоковольтного выключателя. Устройство подключается к измерительным трансформаторам тока фаз А, (В) и С с номинальным вторичным током 5 А. Для реализации направленной защиты и некоторых других функций к устройству должны быть подведены цепи напряжения (звезда) с номинальным вторичным значением 100 В.

Устройство выполняет следующие функции защиты, автоматики и контроля:

- токовая отсечка с выдержкой времени и возможностью работы в качестве "ускоряющей отсечки";
- двухступенчатая МТЗ, первая и вторая ступень могут иметь одну из пяти зависимых время-токовых характеристик;
- токовая отсечка и обе ступени МТЗ могут быть запрограммированы как направленные;
- возможность комбинированного пуска по напряжению для токовой отсечки и МТЗ;
- защита от обрыва фазы по току обратной последовательности;
- защита минимального напряжения;
- однократное АПВ;
- автоматический ввод ускорения любой ступени МТЗ по включению выключателя;
- логическая защита шин, выполненная как дополнительная, четвертая ступень МТЗ;
- прием, исполнение и выдача сигнала УРОВ;
- формирование сигнала АВР;
- блокировка выключателя от "прыгания";

- контроль целостности катушек включения и отключения выключателя;
- контроль исправности цепей трансформатора напряжения (ТН);
- технический учет электроэнергии.

Уставки выбора функций, порогов срабатывания защиты и времена задержек регулируются в широком диапазоне и хранятся в энергонезависимой памяти устройства.

Любая аварийная ситуация, отключение или неисправность, сопровождается замыканием контактов независимого реле предупредительной сигнализации.

В устройстве имеется постоянное самотестирование с выдачей сигнала неисправности контактами реле "Неисправность".

В случае срабатывания токовой защиты дополнительно определяется вид повреждения.

Устройство имеет тумблеры оперативного управления "УРОВ", "АПВ", "АВР", "ЗМН", "ЛЗШ" и "Дист/Мест", позволяющие отказаться от накладок, используемых для оперативного переключения дежурным персоналом.

При срабатывании защиты устройство запоминает параметры срабатывания для последующего анализа обслуживающим персоналом. В число запоминаемых параметров аварии входят:

- причина отключения;
- вид повреждения при срабатывании отсечки или МТЗ;
- время и дата момента отключения;
- ток и длительность аварийной ситуации;
- ток обратной последовательности I_2 ;
- состояние тумблеров оперативного управления на момент отключения выключателя;
- векторная диаграмма напряжений и токов в линии в момент аварии.

Устройство имеет режим "Контроль", позволяющий выводить на встроенный индикатор текущие значения фазных токов и напряжений, ток I_2 , активную и полную мощности, состояние логических входных сигналов, а также контролировать ход встроенных часов. Функции защиты при этом полностью сохраняются.

При установке изделия на подстанции в него вводятся следующие уставки:

- значения токов срабатывания трех ступеней защиты (во вторичных значениях);
- значения выдержек времени при срабатывании всех трех ступеней МТЗ;
- напряжение вольтметровых блокировок токовых защит с комбинированным пуском;
- пороговая чувствительность по току I_2 для обнаружения обрыва провода;
- пороговая чувствительность по напряжению U_0 для обнаружения однофазных замыканий на землю;
- текущие дата и время.

Аналогично вводятся дискретные уставки конфигурации защиты, определяющие наличие или отсутствие какой-либо из защит или ее параметры.

Устройство микропроцессорной защиты секционного выключателя в сетях напряжением 6-35 кВ "Сириус-С"

Устройство "Сириус-С" предназначено для работы в качестве защиты секционного выключателя в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью напряжением 6-35 кВ. Устройство устанавливается в ячейке КРУ или КРУН и выдает сигнал на отключение высоковольтного выключателя. Устройство подключается к измерительным трансформаторам тока фаз А, В и С с номинальным вторичным током 5 А. Устройство выполняет функцию автоматического включения резерва (АВР) по входному внешнему сигналу.

Устройство выполняет следующие функции защиты, автоматики и контроля:

- токовая отсечка с выдержкой времени и возможностью работы в режиме "ускоряющей отсечки";
- двухступенчатая МТЗ, вторая ступень может иметь одну из пяти зависимых время-токовых характеристик;
- возможность комбинированного пуска по напряжению для ЛЗШ, токовой отсечки и МТЗ (от внешнего входного дискретного сигнала);
- защита от обрыва фазы по току обратной последовательности;
- автоматический ввод ускорения первых двух ступеней МТЗ по включению выключателя (при опробовании);
- логическая защита шин ЛЗШ, выполненная как отдельная ступень МТЗ;
- выдача сигнала УРОВ на вводные выключатели при отказе своего выключателя;
- входы отключения от дуговой защиты, УРОВ фидерных защит, защиты шин, внешнего отключения;
- управление выключателем с блокировкой от "прыгания";
- контроль целостности катушек включения и отключения выключателя;

Все уставки срабатывания защиты и времена задержек регулируются в широком диапазоне значений и хранятся в энергонезависимой памяти устройства.

Любая аварийная ситуация, отключение или неисправность, сопровождается замыканием контактов независимого реле предупредительной сигнализации.

В устройстве имеется постоянное самотестирование с выдачей сигнала неисправности самого устройства нормально замкнутыми контактами реле "Отказ". При отсутствии оперативного питания контакты этого реле также остаются замкнутыми для сигнализации пропадания питания.

В случае срабатывания токовой защиты дополнительно определяется вид повреждения.

Устройство имеет тумблеры оперативного управления "УРОВ", "АВР", "ЛЗШ", "Действие на смежный СВ" и "Дист/Мест", позволяющие отказаться от накладок, обычно используемых для оперативного переключения дежурным персоналом.

При срабатывании защиты устройство запоминает параметры срабатывания для последующего анализа обслуживающим персоналом. В число запоминаемых параметров аварии входят:

- причина отключения;
- вид повреждения при отключении от МТЗ;
- время и дата момента отключения;
- ток и длительность аварийной ситуации;
- ток обратной последовательности I₂;
- состояние тумблеров оперативного управления на момент отключения выключателя;
- векторная диаграмма токов в линии в момент аварии.

Устройство имеет режим "Контроль", позволяющий выводить на встроенный индикатор текущие значения фазных токов и напряжений, ток I₂, состояние логических входных сигналов, а также контролировать ход встроенных часов. Функции защиты при этом полностью сохраняются.

Предусмотрена выдача сигнала отключения смежного секционного выключателя, а также отключение своего при срабатывании МТЗ смежного.

Для упрощения эксплуатации устройства в энергосистемах с обратным чередованием фаз предусмотрена соответствующая уставка, изменяющая расчет тока обратной последовательности I₂.

При установке изделия на подстанции в него вводятся следующие уставки:

- значения токов срабатывания трех ступеней МТЗ и ЛЗШ (во вторичных значениях);
- значения выдержек времени при срабатывании всех трех ступеней МТЗ и ЛЗШ;
- значение выдержки времени выдачи сигнала УРОВ;
- значение выдержки времени включения при поступлении сигнала АВР;
- пороговая чувствительность по току I₂ для обнаружения обрыва провода;
- текущие дата и время.

Аналогично вводятся дискретные уставки конфигурации защиты, определяющие наличие или отсутствие какой-либо из защит или ее параметры.

Устройство микропроцессорной защиты присоединений в сетях напряжением 6-35 кВ "Сириус-Л"

Устройство "Сириус-Л" предназначено для работы в качестве защиты воздушных или кабельных линий с изолированной или компенсированной нейтралью напряжением 6-35 кВ. Устройство может также применяться для защиты трансформатора собственных нужд (ТСН) подстанций.

Устройство устанавливается в ячейке КРУ или КРУН и выдает сигнал на отключение выключателя линии. Устройство подключается к измерительным трансформаторам тока фаз А и С с номинальным вторичным током 5 А. Предусмотрено подключение трансформатора тока фазы В при его наличии.

Устройство обеспечивает трехступенчатую максимальную токовую ненаправленную защиту от трехфазных и междуфазных замыканий. Третья ступень МТЗ может иметь как независимую, так и одну из пяти зависимых характеристик. Предусмотрена возможность отключения линии или сигнализации при обрыве одного из фазных проводов по наличию тока обратной последовательности I₂. Защита от замыканий на землю выполнена с использованием высших гармоник, что позволяет избежать зависимости от наличия компенсации сети. В устройстве реализована функция резервирования отказа выключателя с выдачей сигнала отказа на выключатель ввода или секции. Любая аварийная ситуация, отключение или неисправность, сопровождается замыканием контактов независимого реле предупредительной сигнализации.

В устройстве имеются: программируемое двукратное АПВ, ускорение при включении, функция УРОВ, отработка сигналов АЧР с ЧАПВ, а также постоянное самотестирование с выдачей сигнала неисправности контактами реле "Отказ". В случае срабатывания токовой защиты дополнительно определяется вид и ориентировочное расстояние до места повреждения. Предусмотрена четвертая ступень МТЗ с большим временем выдержки для возможности реализации так называемого "адресного отключения" потребителей.

При срабатывании защиты устройство запоминает параметры срабатывания для последующего анализа обслуживающим персоналом. В число запоминаемых параметров аварии входят:

- причина отключения;
- вид повреждения и расстояние до места металлического КЗ;
- время и дата момента отключения;
- ток и длительность аварийной ситуации;
- ток обратной последовательности I₂;

- векторная диаграмма токов в линии в момент аварии.

Устройство имеет режим "Контроль", позволяющий выводить на встроенный индикатор текущие значения фазных токов, ток I_2 , ток высших гармоник $3I_{0г}$ арм, состояние логических входных сигналов, а также контролировать ход встроенных часов. Функции защиты при этом полностью сохраняются.

При установке изделия на подстанции в него вводятся следующие уставки:

- значения токов срабатывания трех ступеней защиты (во вторичных значениях);
- значения выдержек времени при срабатывании всех трех ступеней МТЗ;
- пороговая чувствительность по току I_2 для обнаружения обрыва провода;
- пороговая чувствительность по току $3I_0$ высших гармоник для обнаружения однофазных замыканий на землю;
- текущие дата и время.

Аналогично вводятся дискретные уставки конфигурации защиты, определяющие наличие или отсутствие какой-либо из защит.

Устройство микропроцессорной защиты вводов, присоединений и синхронных двигателей напряжением 6-35 кВ "Сириус-МВК"

Устройство обеспечивает четырехступенчатую максимальную токовую защиту от трехфазных и междуфазных замыканий. Любая ступень МТЗ может быть направленной, а также работать с комбинированным пуском по напряжению (вольтметровой блокировкой). Третья и четвертая ступень МТЗ могут иметь как независимую, так и одну из пяти зависимых характеристик.

Предусмотрена возможность отключения выключателя или сигнализации при обрыве одного из фазных проводов по наличию тока обратной последовательности I_2 .

Защита от замыканий на землю может быть выбрана или с использованием высших гармоник тока $3I_0$, что позволяет избежать зависимости от наличия компенсации сети, или по току первой гармоники, или по направлению мощности нулевой последовательности первой гармоники с порогом по току $3I_0$.

В устройстве реализована функция резервирования отказа выключателя УРОВ с выдачей сигнала отказа на выключатель ввода или секции. Реализована возможность использования функции логической защиты шин, а также функция защиты минимального напряжения ЗМН.

Третья и четвертая ступени МТЗ, "земляная" защита и защита от обрыва провода могут работать либо на отключение, либо на сигнализацию (задается уставками).

Дискретный вход от дуговой защиты может иметь контроль по току и/или дополнительную вольтметровую блокировку (комбинированный пуск по напряжению).

Ступень МТЗ-2 может быть запрограммирована в качестве защиты от асинхронного хода синхронных двигателей.

Любая аварийная ситуация, отключение или неисправность, сопровождается замыканием контактов независимого реле предупредительной сигнализации.

В устройстве имеются: ускорение при включении, технический учет электроэнергии, а также постоянное самотестирование с выдачей сигнала неисправности контактами реле "Отказ". В случае срабатывания токовой защиты дополнительно определяется вид и ориентировочное расстояние до места повреждения.

При срабатывании защиты устройство запоминает параметры срабатывания для последующего анализа обслуживающим персоналом. В число запоминаемых параметров аварии входят:

- причина отключения;
- вид повреждения и расстояние до места металлического КЗ;
- время и дата момента отключения;
- ток и длительность аварийной ситуации;
- ток обратной последовательности I_2 ;
- векторная диаграмма токов и напряжений в линии в момент аварии.

Устройство имеет режим "Контроль", позволяющий выводить на встроенный индикатор текущие значения фазных токов и напряжений, активную мощность, ток I_2 , ток высших гармоник $3I_{0г}$ арм или первой гармоники $3I_0$, состояние логических входных сигналов, а также контролировать ход встроенных часов. Функции защиты при этом полностью сохраняются.

При установке изделия на подстанции в него вводятся следующие уставки:

- значения токов срабатывания трех ступеней защиты (во вторичных значениях);
- значения выдержек времени при срабатывании всех четырех ступеней МТЗ;
- значения напряжений ВМ блокировки (во вторичных значениях);
- значения и размер секторов взаимного расположения тока фазы и междуфазного напряжения противоположных фаз при направленной защите;
- пороговая чувствительность по току I_2 для обнаружения обрыва провода;
- пороговая чувствительность по току $3I_0$ высших гармоник или первой гармоники для обнаружения однофазных замыканий на землю;
- текущие дата и время.

Аналогично вводятся дискретные уставки конфигурации защиты, определяющие наличие или отсутствие какой-либо из защит.

Устройство имеет два дискретных входа для подключения так называемых "технологических защит", а также вход блокировки направленности МТЗ. В устройстве заложена функция блокировки от включения, позволяющая при желании запрещать повторное включение выключателя при срабатывании некоторых видов защит (задается уставками) до дополнительной операции снятия блокировки - "де-блокировки".

В устройстве "Сириус-Мвк" не предусмотрены тумблеры оперативного управления, кнопки управления выключателем и разъем линии связи по RS232C с компьютером на передней панели устройства.

Устройство микропроцессорной защиты линий 6-35 кВ "Сириус-МЛ"

Устройство "Сириус-МЛ" предназначено для работы в качестве защиты воздушных или кабельных линий с изолированной или компенсированной нейтралью напряжением 6-35 кВ. Устройство может также применяться для защиты трансформатора собственных нужд подстанций (имеются входы для подключения газовой защиты и сигнала газовой защиты).

Устройство устанавливается в ячейке КРУ или КРУН и выдает сигналы на управление выключателем линии. Устройство подключается к измерительным трансформаторам тока фаз А и С с номинальным вторичным током 5 А, а также к измерительным трансформаторам напряжения с номинальным напряжением 100 В. Предусмотрено подключение трансформатора тока фазы В при его наличии.

Устройство обеспечивает четырехступенчатую максимальную токовую защиту от междуфазных замыканий. Вторая ступень может иметь защиту от асинхронного хода синхронных двигателей. Третья и четвертая ступени МТЗ может иметь как независимую, так и одну из пяти зависимых характеристик. Любая ступень МТЗ может быть сделана направленной. Предусмотрен комбинированный пуск по напряжению любой из ступеней МТЗ.

В ступени МТЗ-2 введена функция защиты синхронных двигателей от асинхронного хода.

Предусмотрена возможность отключения линии или сигнализации при обрыве одного из фазных проводов по наличию тока обратной последовательности I_2 . Защита от замыканий на землю выполнена с использованием высших гармоник, что позволяет избежать зависимости от наличия компенсации сети. Предусмотрен также вариант организации защиты от замыканий на землю по току первой гармоники, включая использование направленности.

В устройстве реализована функция резервирования отказа выключателя с выдачей сигнала отказа на выключатель ввода или секции. Любая аварийная ситуация, отключение или неисправность, сопровождается замыканием контактов независимого реле предупредительной сигнализации.

Все уставки срабатывания защиты и времена задержек регулируются в широком диапазоне значений и хранятся в энергонезависимой памяти устройства.

Предусмотрено выполнение всех функций защиты при пропадании оперативного питания переменного или постоянного тока напряжением 220 В на время до 0,5 с.

В устройстве имеются: программируемое двукратное АПВ, ускорение при включении, функция УРОВ, отработка внешних сигналов АЧР с ЧАПВ, а также постоянное самотестирование с выдачей сигнала неисправности контактами реле "Отказ". В случае срабатывания токовой защиты дополнительно определяется вид и ориентировочное расстояние до места повреждения.

При срабатывании защиты устройство запоминает параметры срабатывания для последующего анализа обслуживающим персоналом. В число запоминаемых параметров аварии входят:

- причина отключения;
- вид повреждения и расстояние до места металлического КЗ;
- время и дата момента отключения;
- ток и длительность аварийной ситуации;
- ток обратной последовательности I_2 ;
- ток нулевой последовательности $3I_0$;
- векторная диаграмма токов и напряжений в линии в момент аварии.

Информация фиксируется в памяти устройства в порядке поступления и сохраняется о 9 последних отключениях. Информация о каждой последующей аварии фиксируется, стирая из памяти информацию о самом "старом" КЗ. Отключение при неуспешном АПВ фиксируется как отдельная авария. Ход часов и зафиксированные данные в памяти сохраняются при пропадании оперативного питания на время не менее 72 часов.

Устройство имеет режим "Контроль", позволяющий выводить на встроенный индикатор текущие значения фазных токов и напряжений, ток I_2 , ток $3I_0$, ток высших гармоник $3I_0$ гarm, состояние логических входных сигналов, а также контролировать ход встроенных часов. Функции защиты при этом полностью сохраняются.

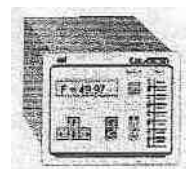
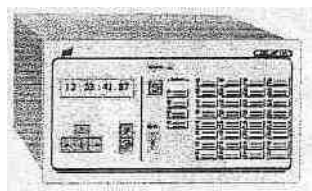
При установке изделия на подстанции в него вводятся следующие уставки:

- значения токов срабатывания трех ступеней защиты (во вторичных значениях);
- значения выдержек времени при срабатывании всех четырех ступеней МТЗ;
- значения напряжения комбинированного пуска, параметры направленной защиты;
- пороговая чувствительность по току I_2 для обнаружения обрыва провода;

- пороговая чувствительность по току 3I0 высших гармоник, а также по току 3I0 и напряжению 3U0 первой гармоники для обнаружения однофазных замыканий на землю;
 - текущие дата и время.
- Аналогично вводятся дискретные уставки конфигурации защиты, определяющие наличие или отсутствие какой-либо из защит или вид их действия.

Приложение П 21

Микропроцессорная аппаратура НТЦ “Механотроника” Россия



1. Блоки РЗА для защиты и автоматики сетей от 6 до 220 кВ

1.1. БМРЗ-ВЛ, БМРЗ-КЛ. Воздушная или кабельная линия 6(10) -35 кВ

16 модификаций.

Основные функции:

- Трехступенчатая направленная максимальная токовая защита с пуском по напряжению (МТЗ).
- Направленная защита от однофазных замыканий на землю (0ЗЗ).
- Защита от не симметрии и обрыва фазы питающего фидера (ЗОФ).
- Определение места повреждения (ОМ11).
- Логическая защита шин (ЛЗШ).
- Резервирование отказов выключателя (УРОВ).
- Двукратное автоматическое повторное включение (АПВ).
- Выполнение команд от внешних защит (дуговая защита) и автоматики (АЧР/ЧАПВ).
- Число дискретных входов/выходов до 16/16.

1.2. БМРЗ-ВВ. Ввод секции 6(10) - 35 кВ

26 модификаций.

Основные функции:

- Трехступенчатая МТЗ с комбинированным пуском по напряжению.
- Сигнализация однофазных замыканий на землю по 3U0.
- ЗОФ; ЛЗШ; УРОВ; АПВ; АВР.
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики.
- Число дискретных входов/выходов до 16/16.

1.3 БМРЗ-ВВ. Ввод секции 6(10) - 35 кВ

19 модификаций.

- Трехступенчатая МТЗ с комбинированным пуском по напряжению.
- Сигнализация однофазных замыканий на землю по 3I0.
- ЗОФ; ЛЗШ; УРОВ; АПВ; АВР.
- Дальнее резервирование при отказах выключателей и защит на отходящих присоединениях
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики.
- Число дискретных входов/выходов до 16/16.

1.4. БМРЗ-СВ Секционный выключатель 6(10)-35 кВ

12 модификации.

Основные функции:

- Трехступенчатая МТЗ
- Автоматическое включение резерва с восстановлением схемы нормального режима (АВР)
- ЗОФ; ЛЗШ; УРОВ; АПВ
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики
- Число дискретных входов/выходов 16/16

1.5. БМРЗ-ДА Защита синхронных и асинхронных двигателей мощностью до 4.5 МВт

7 модификаций

Основные функции:

- Трехступенчатая МТЗ
- Направленная защита от однофазных замыканий на землю.
- Защита от потери питания.
- Дифференциальная токовая отсечка.
- ЗОФ; ЗМН; АВР; УРОВ.
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики.
- Число дискретных входов/выходов 16/16.

1.6 БМРЗ-ДД Комплексная защита синхронных и асинхронных двигателей большой мощности 1 модификация.

- Двухступенчатая дифференциальная защита двигателя.
- Дифференциальная защита от замыканий на землю.
- Защита от замыканий на землю.
- Защита от несимметричного питания и неправильного чередования фаз.
- Минимальная токовая защита от потери нагрузки.
- Защита от блокировки ротора и затынутого пуска.
- Псевдотепловая модель двигателя.
- Защита пуска вычислением теплового импульса, ограничение количества импульсов.
- МТЗ; УРОР; ЛЗШ.
- Автоматическое повторное включение двигателя.

1.7. БМРЗ-ДС Специальная защита синхронных двигателей

Основные функции:

- Опережающее отключение синхронных двигателей при потере устойчивости.
- Защита от несимметричных режимов.
- Защита от повторного пуска перегретого двигателя.
- Защита от колебаний нагрузки.
- Учет количества пусков двигателя.

1.8. БМРЗ-ТР Защита трансформатора. Контроль напряжения на секции КГУ 6(10)кВ

4 модификации.

Основные функции:

- Двухступенчатая защита минимального напряжения.
- Сигнализация однофазных замыканий на землю.
- Регулирование напряжения трансформатора (РНТ).
- Сигнализация неисправности цепей напряжения.
- Контроль напряжения для АВР.
- Логическая защита шин от междуфазных коротких замыканий.
- Логическая защита шин от однофазных замыканий на землю.

1.9. Резервная защита трансформатора 110/220кВ

2 модификации.

2. Блоки РЗА для подстанций электрифицированных железных дорог

2.1. БМРЗ-ТП-СВ Секционный выключатель для тяговых подстанции

2 модификации.

Основные функции:

- Трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ).
- АВР; ЛЗШ; УРОВ.
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики.

2.2 БМРЗ-ТП-КЛ Кабельная (воздушная) линия

2 модификации

Основные функции:

- Трехступенчатая направленная максимальная токовая защита с пуском по напряжению (МТЗ)
- Направленная защита от однофазных замыканий на землю (0ЗЗ).
- Защита от несимметрии и обрыва фазы питающего фидера (ЗОФ).
- Логическая защита шин (ЛЗШ).
- Резервирование отказов выключателя (УРОВ).
- Двукратное автоматическое повторное включение (АПВ).
- Выполнение команд от внешних защит (дуговая защита) и автоматики (АЧР/ЧАПВ).
- Число дискретных входов/выходов до 23/23.

2.3БМРЗ-ФПЭ Фидер продольной электрификации тяговых под станций

2 модификации.

Основные функции:

- Трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ)
- 0ЗЗ;ЗОФ;ЗМН
- АПВ; АВР; ЛЗШ; УРОВ
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики (АЧР/ЧАПВ)

2.4 БМРЗ-ТСН Трансформатор собственных нужд тяговых подстанции

2 модификации

Основные функции:

- Трехступенчатая максимальная токовая защита(МТЗ).
- Защита от однофазных замыкании на землю (0ЗЗ).
- Защита от несимметрии и обрыва фазы питающего фидера (ЗОФ).
- Защита минимального напряжения (ЗМН).
- Логическая защита шин (ЛЗШ).
- Резервирование отказов выключателя (УРОВ).
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики.

2.5 БМРЗ-ПВА. Преобразовательно - выпрямительный агрегат тяговых подстанций

3 модификации.

Основные функции:

- Четырехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ).
- ЛЗШ; УРОВ.
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики (АЧР).

2.6 БМРЗ-ФКС. Фидеры тяговых подстанции, постов секционирования и пунктов параллельного присоединения

2 модификации.

Основные функции:

- Токовая отсечка (ТО) и токовая отсечка 2 (ТО2).
- Ненаправленная одноступенчатая дистанционная защита (НДЗ1).
- Четырехступенчатая направленная дистанционная защита (ДЗ1-4).
- Трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ).
- Защита минимального напряжения (ЗМН).
- Защита от прожигания контактного провода - квазитепловая защита (КвТЗ).
- Токовая отсечка смежного фидера (ТО Ф2).
- Одноступенчатая направленная дистанционная защита смежного фидера (ДЗ Ф2).
- АПВ; АВР; УРОВ; ЛЗШ.
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики.

2.7 БМРЗ-УПК Устройство поперечной компенсации тяговых подстанций

2 модификации.

Основные функции:

- Одноступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ).
- Продольная дифференциальная токовая защита (ПДТЗ).
- Защита от перегрузки высшими гармониками (ЗПВГ).
- Защита минимального напряжения (ЗМН).
- Дифференциальная защита по напряжению (ДЗН).
- Защита от превышения допустимого напряжения (ЗПДН).
- УРОВ;ЛЗШ.
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики.

2.8. БМРЗ-ДПР. Фидер типа «двойной провод - рельс»

2 модификации.

- Трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ).
- 03З; 3ОФ; 3М11 АПВ; АВР; ЛЗШ; УРОВ.
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики (АЧР/ЧАПВ).

2.9. БМРЗ-ФВВ Фидер вводного выключателя тяговых подстанций

2 модификации

Основные функции:

- Трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ).
- Защита от подпитки со стороны контактной сети (ЗП).
- Двухступенчатая направленная дистанционная защита (ДЗ).
- ЗМН УРОВ.
- Выполнение команд от внешних защит и автоматики (АЧР/ЧАПВ).

2.10 БМРЗ-СПН Фидер стороны питающего напряжения

2 модификации.

2.11. БМРЗ-ТП-ВВ Выключатель ввода 10 кВ

2 модификации.

2.12. БМРЗ-ТП-КН Защита трансформаторов с контролем напряжения и РПН

2.13 БМРЗ-ХХ Исполнение по Вашему заказу

- Количество и назначение входных и выходных сигналов.
- Любой набор перечисленных выше функций.

Все типовые блоки БМРЗ имеют следующие общие технические характеристики:

1. память: 9 аварийных событий;
2. осциллографирование аварий: 10с;
3. связь с ПЭВМ - RS/232;
4. связь с АСУ - RS/485 или ВОЛС, протокол обмена RP-BUS или MOD-BUS;
5. питание от переменного или постоянного оперативного тока;

При заказе возможны следующие дополнительные опции БМРЗ:

1. увеличение числа дискретных входов / выходов свыше 16/16;
2. нетиповые алгоритмы автоматики и сигнализации;
3. расширенный температурный диапазон (-40°С);
4. входные дискретные сигналы переменного тока;
5. для БМРЗ-КЛ (ВЛ) направленная МТЗ или МТЗ с пуском по напряжению;
6. подключение до 4-х счетчиков эл. энергии с импульсным выходом для передачи информации в систему технического учета эл. Энергии;

- 7. интерфейс связи с АСУ RS/485 с гальванической развязкой;
- 8. калибровка по всем измеряемым параметрам (характеристикам) с выдачей Сертификата о калибровке конкретного экземпляра ЦРЗА от имени Госстандарта РФ-Центра Сертификации и Испытаний - С-Петербурга: «Тест-С-Петербург».

3. Комплект устройств для КТП-СН электростанций б(10)/0,4кВ

3.1 БМРЗ-ВВ 0.4; 0.4 Рабочий ввод КТП-0,4 кВ

8 модификаций.

БМРЗ-АВ Аварийный ввод КТП-0,4 кВ

4 модификации

Основные функции:

- Двухступенчатая МТЗ.
- Дальнее резервирование при отказе защит и выключателей.
- Блокировка МТЗ от пусковых токов двигателя.
- Токовая защита нулевой последовательности.
- Определение места повреждения.
- Автоматическое включение резерва с восстановлением схемы нормального режима.
- Выполнение команд от внешних защит.
- Местное и дистанционное управление выключателями.
- Блокировка многократных включений.
- Память аварийных событий.
- Память аварийных событий, осциллографирование.
- Связь с ПЭВМ-RS/232.
- Связь с АСУ - RS/485 или ВОЛС, протокол обмена RP-BUS или MOD-BUS.

3.2 БМ ПА-0.4 Противоаварийная автоматика КТП-0,4кВ

4 модификации.

Основные функции:

- Управление секционным выключателем при выполнении АВР по командам от БМРЗ на вводах.
- Аварийная сигнализация.
- Регистрация аварийных событий.
- Местное и дистанционное управление выключателем.
- Связь с ПЭВМ-RS/232.
- Связь с АСУ - RS/485 или ВОЛС, протокол обмена RP-BUS или MOD-BUS.

4. Блоки частотной автоматики

4.1. БМАЧР. Блок автоматической частотной разгрузки

Основные функции:

АЧР-1, ЧАПВ-1; АЧР-2, ЧАПВ-2, АЧРС (3 ступени), ЧАПВ-С

4.2. БММРЧ Многофункциональное реле частоты

12 модификаций.

Основные функции:

- 8 свободно - программируемых каналов с алгоритмами из ряда по 3.1.
- Комбинированные алгоритмы.
- Предотвращение аварийного снижения частоты с контролем напряжения сети (АЧР-Н).
- Предотвращение аварийного повышения частоты с контролем скорости (АОПЧ).
- Автоматическое осциллографирование частотных аварий.
- Связь с ПЭВМ-RS/232.
- Связь с АСУ - RS/485 или ВОЛС, протокол обмена RP-BUS или MOD-BUS.

5. Блоки сигнализации

5.1 БМЦС. Блок центральной сигнализации

4 модификации

Основные функции:

- Присм и отображение аварийной и предупредительной сигнализации.
- 32 дискретных входа со световой индикацией от отдельных датчиков.
- Регистрация информации об изменении состояния сигнальных контактов (аналог РИС), 4 канала на 32 датчика.
- Выдача сигналов обобщенной сигнализации: "Авария", "Предупредительный". "Звонок". "Сирена", "Отказ".

- Журнал событий.
- Связь с ПЭВМ-RS/232.
- Связь с АСУ - RS/485 или ВОЛС, протокол обмена RP-BUS или MOD-BUS.

6. Блоки питания комбинированные

6.1. БПК-1;3. Блок питания комбинированный

- Бесперебойное питание РЗА (=220 В) на подстанциях без постоянного оперативного тока, нагрузка - 50 Вт

6.2. БПК-2;4. Блок питания комбинированный с зарядом БК

Бесперебойное питание РЗА (=220 В) на подстанциях без постоянного оперативного тока, нагрузка - 50 Вт.

=400 В для батареи конденсаторов, контроль заряда конденсатора

7. Сопутствующие изделия

7.1. Конденсатор с держателем

Устойчивость ЦРЗА к перерывам оперативного тока до 10с.

7.2. Приставка

Уменьшение монтажной глубины ЦРЗА.

8. Информационно - управляющий комплекс на базе ЦРЗА, производства НТЦ «Механотроника»

8.1 КИУ-РЗА(1)

В состав комплекса входит:

- Комплект цифровых РЗА
- Средства связи
- Системный блок: промышленная ЭВМ
- АРМ (диспетчера или релейщика)
- Программное обеспечение

Основные функции:

- Дистанционное управление защищаемым объектом.
- Дистанционное измерение электрических параметров.
- Передача информации от БМРЗ: параметры сети, состояние дискретных входов/выходов, об аварийных событиях, накопительная информация.
- Сигнализация о работе функций защит и автоматики.
- Вывод результатов осциллографирования сигналов (КИУ-РЗА(2)).
- Связь по последовательному каналу RS/485 или по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС).
- Скорость обмена информацией от 300 до 19200 бит/с.
- Возможность подключить в виде подсистемы нижнего уровня к различным АСУ.

8.2 КИУ - РЗА (2)

В состав комплекса входит:

- Комплект цифровых РЗА.
- Средства связи.
- Функциональный контроллер со встроенным осциллографом.
- Программное обеспечение.

Использованная литература.

1. Минэнерго. Правила устройства электроустановок. Шестое издание, переработанное и дополненное. Энергоатомиздат 1985 год.
2. Минэнерго. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Четырнадцатое издание. Энергоатомиздат 1989 год.
3. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 11. Энергия 1979 год.
4. Беркович М.А, Молчанов В.В, Семенов В.А. Основы техники релейной защиты. Шестое издание, переработанное и дополненное. Энергоатомиздат 1984 год.
5. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. Энергоатомиздат 1984 год.
6. Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. Релейная защита энергетических систем. Энергоатомиздат 1998 год.
7. Линт Г.Э. Серийные реле защиты, выполненные на интегральных микросхемах.
8. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Второе издание переработанное и дополненное. Энергия 1976 год.
9. Шабад М.А. Защита трансформаторов распределительных сетей. Энергоиздат 1981 год.
10. Александров А.М. Обзор руководящих материалов по релейной защите РАО «ЕЭС России» за 1990-1999 год. Учебное пособие. Санкт-Петербург 2000год.
11. В. Я. Шмурьев. Цифровые реле защиты.
12. Н.И. Овчаренко. Микропроцессорные комплексы релейной защиты и автоматики распределительных электрических сетей. Москва 1999 год.
13. Ю.А. Степанов. Д.Ю. Степанов. Повышение надежности работы электрооборудования на основе совершенствования теоретического материала. Самара 2002 год.
14. М. А. Беркович, В. А. Гладышев, В. А. Семенов. Автоматика энергосистем. Энергия 1980 г.
15. Е.А. Аржанников, А.М. Чухин. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи. Москва, НПФ «Энергопрогресс» 1998 год.
16. Воздушные линии электропередачи напряжением 6-750кВ. Инструкция по определению мест повреждения. ГКД 34.20.562-96. Киев. 1996 г.
17. Шалыт Г.М., Айзенфельд А.И., Малый А.С. Определение мест повреждения линий электропередачи по параметрам аварийного режима. Москва Энергоатомиздат 1983 г.
18. Рекомендации по выбору защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM. Киев 2000 год.
19. Цифровые устройства релейной защиты, автоматики и управления для станций и подстанций от дилера ALSTOM P&C. Номенклатурный каталог. Киев 2002 год.
20. Оборудование для реконструкции и модернизации РЗА распределительных сетей. Компания «Энергомашвин», каталог продукции. Киев 2002 год.
21. Каталоги и информационные материалы фирм – производителей аппаратуры: ABB, ALSTOM, GE, SIEMENS, Merlin Gerin и др.