

СПРАВОЧНИК
по наладке
вторичных цепей
электростанций
и подстанций

СПРАВОЧНИК по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций

Под редакцией Э. С. МУСАЭЛЯНА

2-е издание, переработанное
и дополненное



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1989

ББК 31.277.1

С 74

УДК 621.316.9.001.41(035.5)

Рецензент В. В. Балашов

Авторы: А. А. Антюшин, А. Е. Гомберг, В. П. Караваев,
А. А. Клочков, Л. Ф. Колесников, М. М. Мирумян.

С74 **Справочник по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций/А. А. Антюшин, А. Е. Гомберг, В. П. Караваев и др.; Под ред. Э. С. Мусаэляна. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 384 с.: ил.**

ISBN 5-283-01102-X

Приводятся сведения по проверке, наладке, испытаниям и включению в работу устройств релейной защиты. Первое издание справочника вышло в 1979 г. Во втором издании материал значительно обновлен и расширен за счет новых устройств, в том числе с полупроводниковыми реле.

Для инженеров, техников и квалифицированных электромонтеров монтажных и наладочных организаций; может быть полезен проектировщикам, эксплуатационному персоналу.

С 2302040000-413 165-88
051(01)-89

ББК 31.277.1

ISBN 5-283-01102-X

© Энергоатомиздат, 1979
© Энергоатомиздат, 1989,
с изменениями

Предисловие

Развитие энергетики, выполнение масштабных задач комплексной Энергетической программы в XII пятилетке сопровождается ростом единичных мощностей энергоблоков атомных и тепловых электростанций и повышением рабочего напряжения системных линий электропередачи (ЛЭП). Единая энергетическая система СССР (ЕЭС СССР) продолжает развиваться и в перспективе объединит все существующие и строящиеся электростанции страны. Все большее развитие получают ЛЭП 750—1150 кВ.

Важные и ответственные задачи в развитии энергетики, повышении надежности работы энергосистем решает релейная защита. Она постоянно совершенствуется и требует проведения качественных проверок при наладочных работах. Как и первое издание, выпущенное в 1979 г., настоящий справочник представляет собой практическое пособие по проверке, наладке и испытаниям устройств релейной защиты и электроавтоматики, а также элементов вторичных цепей управления электрооборудования электростанций и подстанций. В справочнике приводятся необходимые сведения по объемам, нормам, программам, а также методам проверки и испытаний основных устройств и реле защиты.

Объем и номенклатура работ, описываемых в справочнике, соответствуют требованиям ПУЭ, заводских и эксплуатационных инструкций.

Из второго издания справочника исключены описания устаревшего релейного оборудования, а также разделы, в которых рассматривались вопросы наладки общестанционной (общеподстанционной) автоматики и высокочастотных каналов защит. Эти вопросы предполагается осветить в последующих специальных изданиях этой же серии справочников. Вместо исключенных в данный справочник введен новый раздел по устройствам релейной защиты мощных энергоблоков.

В настоящем издании применены буквенные обозначения элементов схем в соответствии с разработками проектных институтов Минэнерго СССР, выполненных по ГОСТ 2.710—81. Таблица используемых обозначений приведена в приложении 1. Поскольку в заводской документации встречаются обозначения, не соответствующие новому ГОСТ,

в справочнике приведены данные, позволяющие ориентироваться в заводских схемах. Справочник составлен коллективом работников Наладочно-монтажного управления треста «Электроцентромонтаж» Минэнерго СССР (НМУ ЭЦМ).

Предисловие, разд. 1, 3, 8, 10, § 12.1—12.3 и приложение 2, 3 написаны Л. Ф. Колесниковым; разд. 2, 5 приложение 1 — А. Е. Гомбергом; разд. 4, 7, 12.4—12.5 — В. П. Караваевым; разд. 6, 9 — М. М. Мирумяном; разд. 11 — А. А. Клочковым; разд. 13 — А. А. Антюшиным.

Коллектив авторов справочника будет признателен читателям за пожелания и замечания, направленные на улучшение книги, которые просит высылать по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Авторы

Раздел первый

АППАРАТУРА, ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРОВЕРОК ПРИ НАЛАДКЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

1.1. Организация работ

В соответствии с действующими «Правилами технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и линий электропередачи 35—330 кВ» (М.: СПО Союзтехэнерго, 1979 г.) при новом включении наладочные работы рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

Подготовительные работы. Подбираются полный комплект проектной и заводской документации, необходимых инструкций и программ испытаний, утвержденные уставки для настройки устройств защиты и электроавтоматики (их получают в соответствующих службах эксплуатации). Производится анализ работы и выверка принципиальных схем. По выверенным принципиальным схемам проверяются монтажные схемы панелей и пультов, ряды зажимов, кабельные журналы и т. п. При анализе принципиальных схем проверяется возможность настройки заданных уставок на проектных устройствах, выявляются реле, подлежащие замене.

Организуется рабочее место, при этом подготавливаются необходимые испытательные устройства, измерительные приборы, инструменты и приспособления, паспорта-протоколы на все устройства наладживаемого присоединения, оформляется допуск к работе.

Чтобы ошибочно не подать напряжение на соседние панели и устройства, все кабели, подключенные к рядам зажимов проверяемой панели, должны быть отсоединены. При наличии испытательных зажимов можно разобрать мостики и перемычки, чтобы был видимый разрыв цепи, отсоединить все провода, идущие к шинкам управления и сигнализации.

Внешний и внутренний осмотр. Проверяется соответствие установленной аппаратуры проекту и заданным уставкам.

Визуально и прозвонкой цепей проверяется правильность выполнения маркировки кабелей, жил кабелей, проводов; место установки и выполнение заземления вторичных цепей; наличие необходимых надписей на панелях и аппаратуре, выполняемых как правило, силами эксплуатационного персонала.

На наладживаемом устройстве (панели, щите, пульте) проверяется

соответствие выполнения внешнего монтажа принципиальным и монтажным схемам, покачиванием и подергиванием пинцетом за провод контролируется надежность паяк, подтягиваются все контактные соединения на рядах зажимов и у аппаратов. Проверку правильности монтажа на серийных типовых панелях, как правило, не производят.

При внутреннем осмотре и проверке механической части аппаратуры проверяют отсутствие видимых повреждений, надежность болтовых соединений и паяк, состояние контактных поверхностей. Воздействуя рукой на реле, проверяют ход, перемещение и отсутствие заклинивания подвижных частей, наличие регламентируемых люфтов, зазоров, прогибов, провалов и т. д.

Предварительная проверка сопротивления изоляции проводится для контроля сопротивления изоляции отдельных узлов налаживаемого присоединения (пультов, панелей, контрольных кабелей, вторичных обмоток трансформаторов тока и напряжения и т. д.) перед подачей на них испытательного напряжения от проверочных устройств. Измерение производят мегаомметром на 1000—2500 В между отдельными группами электрически не связанных цепей (тока, напряжения, оперативного тока, сигнализации и т. д.) относительно земли и между собой. Для обеспечения повышенной надежности проверяется сопротивление изоляции между жилами кабеля газовой защиты и между жилами кабеля от трансформаторов напряжения до шкафа, где установлены защитные элементы — автоматические выключатели или предохранители. Аппаратура, не рассчитанная на испытательное напряжение 1000 В (например, магнитоэлектрические и поляризованные реле), исключается при проверках из схемы и испытывается в соответствии с заводскими нормами. Методика измерений при проверке описана в [2].

Проверка электрических характеристик и настройка заданных рабочих установок производится в соответствии с требованиями правил технического обслуживания, действующих инструкций, в том числе и заводских, для данного конкретного типа устройств.

Особое внимание уделяется использованию рекомендуемой испытательной аппаратуры и источников ее питания, выбору схем проверки. Постоянный оперативный ток подается со строгим соблюдением полярности. Работа по проверке электрических характеристик завершается настройкой заданных уставок, по окончании которой производят сборку всех вторичных цепей данного присоединения подключением жил кабеля на рядах зажимов, за исключением цепей связи с устройствами, находящимися в работе.

Измерение и испытание изоляции производится в полностью собранной схеме при установленных и закрытых кожухах, крышках, реле, дверцах и т. д. каждой группы электрически не связанных вторичных цепей. Электрическая прочность изоляции испытывается напряжением 1000 В переменного тока в течение 1 мин относительно земли. До и после подачи переменного испытательного напряжения мегаомметром 1000—2500 В измеряют сопротивление изоляции испытываемых цепей. Элементы и цепи с рабочим напряжением 60 В и ниже при данных проверках исключаются. Методика измерений и испытания описана в [2].

Проверка взаимодействия элементов устройства. При напряжении оперативного тока, равном $0,8 U_{ном}$, проверяется правильность взаи-

действия реле защиты, электроавтоматики, управления и сигнализации. Проверка взаимодействия производится в соответствии с принципиальной схемой, замыканием и размыканием вручную цепей контактов реле, при этом проверяется отсутствие обходных цепей, правильность работы схемы при переключении накладок, рубильников, испытательных блоков и т. д. На рядах зажимов проверяемого устройства контролируется наличие и отсутствие сигналов, предназначенных для воздействия на устройства, находящиеся в работе.

Комплексная проверка производится по согласованной и утвержденной программе имитацией различных аварийных режимов при номинальном напряжении оперативного тока, подаваемого по проектной схеме со щита постоянного тока. От проверочного устройства на испытуемое присоединение для этого подаются различные сочетания токов и напряжений, которые соответствуют параметрам аварийных режимов (данная проверка производится при закрытых крышках реле).

При имитации каждого режима измеряется время действия каждой из ступеней защиты на контактах выходных реле, проверяется правильность действия блокировок и сигнализации. Для исключения многократного воздействия на выключатели, разъединители, клапаны, задвижки и т. д. необходимо предусмотреть надежный вывод из работы выходных цепей защиты. После проверок в различных режимах восстанавливаются все связи с другими аппаратами и устройствами (особенно внимательно подключается аппаратура, находящаяся в работе). Комплексная проверка завершается опробованием действия на коммутирующую аппаратуру и контролем взаимодействия с устройствами других присоединений.

Результаты проверки оформляются соответствующей записью в журнале релейной защиты, после чего работы в оперативных цепях данного присоединения без специального допуска производиться не могут.

Подготовка устройства к включению в работу. Перед включением производится повторный осмотр панелей, рядов зажимов, контролируется положение соединительных мостиков и перемычек, положение накладок в цепях отключения, отсутствие отсоединенных и неизолированных проводов и жил кабелей, наличие заземления в соответствующих цепях.

При новом включении оборудования все защиты, в том числе и не проверенные рабочим током, вводятся в работу с действием на отключение, сразу после включения производится проверка устройств под нагрузкой совместно наладочным персоналом и специалистами местных служб, в том числе оперативным персоналом. Данная проверка устройства под нагрузкой рабочим током и напряжением является окончательной, подтверждающей правильность включения и поведения отдельных реле и устройства в целом. При проверке рабочим током и напряжением сначала проверяется правильность выполнения цепей напряжения, а затем снятием векторной диаграммы токов и оценкой ее по фактическому направлению мощности в первичной сети проверяется правильность выполнения токовых цепей. Для контроля целостности нулевого провода обязательно измеряется в нем ток небаланса, созданием соответствующих режимов контролируется протекание через нулевой провод фазного тока.

После завершения проверки под нагрузкой тщательно осматривают

и восстанавливают перемишки на всех реле, режим которых изменился при проверке их рабочим током. В журнале релейной защиты делается соответствующая запись о состоянии проверенных устройств и о возможности включения их в работу.

1.2. Измерительные приборы и устройства

Комплектиная переносная установка У5053. При наладке устройств релейной защиты и электроавтоматики используются различные устройства и приборы, обеспечивающие в широких пределах регулирование и измерение значения переменного и постоянного тока и напряжения, регулирование угла между векторами тока и напряжения (фазы тока, напряжения), имитацию различных аварийных режимов, измерение времени срабатывания реле или защиты и т. д.*

Наиболее полно перечисленным требованиям отвечает комплектиная переносная установка У5053, выпускаемая взамен устройства типа УПЗ-2 и предназначенная для наладки и проверки простых и сложных устройств с фазозависимыми характеристиками релейной защиты на месте их установки или в лабораториях.

Установка выполнена по блочному принципу и состоит из трех блоков, электрически связанных между собой при помощи штатных кабелей с разъемными соединениями: К513 — блока регулировочного, К514 — блока нагрузочного; К515 — блока-приставки для имитации аварийных режимов и проверки защит с фазозависимыми характеристиками.

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.

Блоки К513 и К514 образуют самостоятельное комплектиное основное устройство — установку У5052 — взамен устройства типа УПЗ-1; установка предназначена для проверки простых релейных защит и элементов электроавтоматики.

При проверках установкой У5053 сложных защит устройство У5052 используется как источник однофазного регулируемого тока, при проверке оперативных цепей — как источник регулируемого выпрямленного напряжения.

Устройство У5052 позволяет выполнить следующие работы:

1) проверку и настройку заданных уставок у реле переменного

* Здесь и далее для удобства пользования справочником при наладке устройств применяются заводские обозначения отдельных элементов проверочных устройств, приборов, типовых панелей релейных защит и отдельных реле.

тока, реагирующих на одну из величин (ток, напряжение), при токе срабатывания до 200 А или напряжении срабатывания до 380 В, значение тока при этом — не более 10 А. Устройство предусматривает проверку защит с $I_{ном}=1$ А, обладающих значительно большим сопротивлением цепей тока, чем защиты с $I_{ном}=5$ А; предел регулирования 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. Устройство обеспечивает возможность регулирования и измерения переменного тока в пределах, указанных в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Технические данные устройства У5052 при проверке реле переменного тока

Номинальный ток проверяемого реле защиты, А	Предел по току, А	Допустимые значения однофазного переменного тока нагрузки и получаемых напряжений при длительностях включения					
		до 30 мин		до 3 мин		до 30 с	
		Ток, А	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В
5	25	6,5	108	13	115	25	80
	50	13	54	26	58	50	40
	100	20	36	40	38	100	20
	200	40	18	80	19	200	10
1	10	2	350	4	375	10	250

При проверке реле типов РНТ, ДЗТ, РТ-80 и других реле, у которых форма кривой тока влияет на значение уставки срабатывания, необходимо использовать встроенные, предвключенные активные резисторы, которые существенно улучшают форму кривой выходного тока. При выборе сопротивления предвключенного резистора $R_{пр}$ следует исходить из допустимых токов нагрузки, приведенных в табл. 1.2, при

Таблица 1.2. Допустимые токи нагрузки при длительности включения различных $R_{пр}$ не более 3 мин

Предел по току, А	$R_{пр}$		
	20 Ом	70 Ом	200 Ом
25	19	9,5	4,5
50	36	20	9
100	65	32	14,5
200	112	66	28
10 (при $I_{ном}=1$ А)	4	2	1

длительности включения не более 3 мин, руководствуясь при этом соображениями: чем больше $R_{пр}$, тем меньше коэффициент нелинейных искажений у кривой переменного тока в нагрузке;

3) 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, указанными в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Технические данные устройства У5052 при проверке реле постоянного тока

Режим нагрузки		Длительность включения не более, мин	Коэффициент пульсаций тока на нагрузке, %	Положение переключателя «S12», мкФ*
Напряжение, В	Выпрямленный ток, А			
240	0,06	30	2	«100»
220	0,6	5	3	«500»
110	1	5	3	«1000»
—	4,5	1	20	«1000»

* Выбор емкостей переключателем «S12» производится при отключении установки.

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 времени 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 в отличие от установки УПЗ-1 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 электронизмерительные 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 точности 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 кВт·А. 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 Х6, предотвра-

щающая доступ к выводам, находящимся под напряжением, и замыкающая цепь тока.

Всякие переключения в цепях защиты, подключение и отключение соединительных шлангов между блоками производятся только при отключенном главном выключателе *S10* блока *K513*. Наличие напряжения на блоке при включении *S10* контролируется по сигнальной лампе *Н1*.

Комплектное устройство *У5053* в дополнение к указанным обеспечивает:

определение правильности чередования фаз трехфазной питающей цепи;

имитацию нормального режима при проверке защит, когда на защиту подается симметричное трехфазное нерегулируемое напряжение 100 В. Встроенный вольтметр блока *K515* в этом режиме напряжения на выходе не контролирует, на выходе блока *K513* ток отсутствует;

имитацию двухфазного *K3* 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 *K3* со сбросом напряжения трех фаз до нуля или другой расчетной величины. Допускаемая длительность имитации трехфазного *K3* со сбросом напряжения до нуля — не более 5 с. На блоке *K514* 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 измерения угла сдвига фаз между током, получаемым от блока *K513*, и внешним напряжением до 150 В (например, при проверке блока 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 кВт·А.

При работе в комплекте *У5053* питание на регулировочный и нагрузочный блоки *K513* и *K515* подается с блока *K514* по соединительным шлангам, поэтому дополнительно напряжение на зажимы «Сеть» блока *K513* подавать не следует. При работе все три блока (*K513*, *K514*, *K515*) должны быть надежно заземлены.

Электронный миллисекундомер *ЭМС-54* предназначен для измерения промежутков времени, начало и конец которых фиксируются замыканием или размыканием контактов проверяемых аппаратов (контакторов, реле, выключателей и др.). Прибор позволяет измерить:

время срабатывания реле с замыкающими (з.) и размыкающими (р.) контактами;

время возврата реле с з. и р. контактами;
разницу во времени срабатывания любой комбинации двух контактов;

время кратковременного замыкания или размыкания контактов

(методика и схемы данных измерений не указаны в заводских материалах).

Прибор имеет пять диапазонов измерений — 25, 50, 100, 250, 500 мс — с рабочей частью шкалы от 20 до 100 % ее длины и позволяет измерять промежутки времени от 5 до 500 мс, при этом основная погрешность не превышает $\pm 5\%$ номинального значения, дополнительная температурная погрешность $\pm 2,5\%$ на каждые 10°C отклонения от оптимальной температуры $+20^\circ\text{C}$.

Питание прибора — от сети переменного тока 50 Гц напряжением 110, 127 или 220 В (имеется модификация прибора с напряжением питания только 220 В), допускаемое отклонение питающего напряжения $\pm 15\%$. Пусковой ключ прибора допускает в цепи обмотки реле постоянного тока при 220 В размыкание 10 А, в цепи переменного тока при 380 В — 6 А.

Прибор после предварительного прогрева 3—5 мин может использоваться непрерывно в течение 8 ч в горизонтальном или вертикальном рабочем положении.

Принцип действия прибора состоит в следующем: в течение измеряемого промежутка времени конденсатор емкостью 4 мкФ заряжается стабилизированным током до некоторой величины. В процессе заряда значение тока поддерживается неизменным в течение всего измеряемого промежутка времени, поэтому напряжение на конденсаторе в конце заряда прямо пропорционально измеряемому отрезку времени:

$$U = \frac{It}{C} = kI,$$

где I — ток заряда; C — емкость конденсатора; t — время заряда; k — коэффициент пропорциональности.

Ламповым вольтметром с большим внутренним сопротивлением, во избежание шунтирующего действия прибора измеряется напряжение на конденсаторе. Поскольку напряжение U пропорционально времени t , шкала вольтметра градуируется непосредственно в миллисекундах.

В приборе использован метод стабильного тока заряда на каждом пределе, т. е. при переходе на другой предел измерений меняется абсолютное значение тока заряда, а емкость и шкала вольтметра остаются неизменными. Включение конденсатора на заряд и прекращение заряда может осуществляться любой комбинацией замыкания и размыкания контактов.

Подготовка прибора к работе и работа с ним. Переключатели и потенциометр, установленные на лицевой панели прибора, имеют заводские обозначения (рис. 1.1, а) и выполняют следующие функции.

Переключатель K_1 имеет три положения: *Установка предела* — головка измерительного прибора включена в цепь зарядного тока, регулировка тока осуществляется потенциометром P_1 ; *Установка нуля* — головка измерительного прибора подключена к схеме лампового вольтметра, основной зарядный конденсатор замкнут, потенциометром P_2 осуществляется установка нуля вольтметра; *Измерение* — головка измерительного прибора подключена к схеме лампового вольтметра, снята короткая с конденсатора, прибор готов к измерению. Переключатель K_2 *Пределы* выбирает предел измерения. Ключ K_3 — пусковой, имеет два положения — *Подготовка* и *Пуск*, служит для пуска схемы, через

его контакты осуществляются подача и снятие напряжения с обмоток проверяемых реле. Замыкающий контакт *а-д* ключа выведен на зажимы 4-6 (рис. 1.1, б) и служит для пуска схемы миллисекундомера. Два других контакта служат для подключения обмотки реле; замыкающий *в-е* выведен на зажимы 7-9, размыкающий *г-е* — на зажимы 7-8.

Переключатель K_1 — *Контроль* в положении *Вкл* — подключает параллельно емкости резистор, обеспечивая тем самым на первом пределе «X1» проверку вольтметра, так как при номинальном токе зарядка в этом случае стрелка прибора должна отклониться на всю шкалу. Ключ K_5 включает питание прибора. Потенциометром Π_3 осуществляется коррекция чувствительности лампового вольтметра при старении ламп.

Приступая к измерениям, следует произвести частичную проверку электрического режима схемы прибора и проверку одновременности замыкания контактов пускового ключа K_3 .

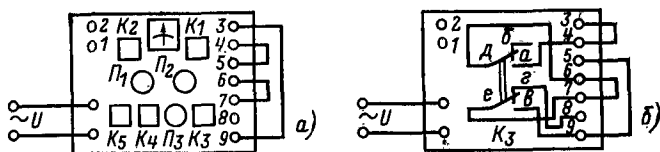


Рис. 1.1. Схема измерения разницы во времени замыкания контактов *а-д* и *в-е* ключа K_3 :

а — когда *в-е* замыкается ранее *а-д*; *б* — когда *а-д* замыкаются ранее *в-е*

Проверка лампового вольтметра производится в следующей последовательности:

- 1) закорачиваются зажимы 3 и 6;
- 2) переключатель K_1 переводится в положение *Установка предела*;
- 3) переключатель K_2 переводится в положение «X1»;
- 4) ключом K_5 подается питание;
- 5) после предварительного прогрева прибора потенциометром Π_1 стрелка вольтметра устанавливается на последнее деление шкалы;
- 6) переключатель K_4 переводится в положение *Вкл* (стрелка прибора должна остаться на месте);
- 7) переключатель K_1 переводится в положение *Установка нуля*, потенциометром Π_2 стрелка устанавливается на нуль;
- 8) переключатель K_1 переводится в положение *Измерение*, при правильной регулировке прибора стрелка устанавливается при этом на последнее деление шкалы. Если стрелка прибора занимает другое положение, значит, произошло изменение чувствительности вольтметра и необходимо произвести корректировку чувствительности.

Корректировка чувствительности производится по следующей методике:

а) убедившись, что стрелка прибора стоит не на последнем делении шкалы, и не делая никаких переключений отверткой, поворачивают ось переменного потенциометра Π_3 . Если стрелка не дошла до последнего

деления, то потенциометром Π_3 показания прибора несколько уменьшают, если стрелка вышла за шкалу, то потенциометром Π_3 показания прибора увеличивают;

б) переключатель K_1 переводят в положение *Установка нуля*, потенциометром Π_2 устанавливают стрелку на нуль;

в) переключатель K_1 переводят в положение *Измерение*; если стрелка установилась на последнем делении шкалы, то корректировка вольтметра на этом заканчивается, в противном случае необходимо последовательно повторять указанные в пп. а) и б) операции до окончания корректировки чувствительности вольтметра.

В том случае, когда необходимо измерять малые отрезки времени (до 5 мс), необходимо произвести проверку неодновременности замыкания двух пар $a-d$ и $z-e$ замыкающих контактов пускового ключа K_3 (зажимы 4-6, 7-9) по схеме рис. 1.1 и проверку неодновременности замыкания контакта $a-d$ (зажимы 4-6) и размыкания контакта $z-e$ (зажимы 7-8 по схеме рис. 1.2).

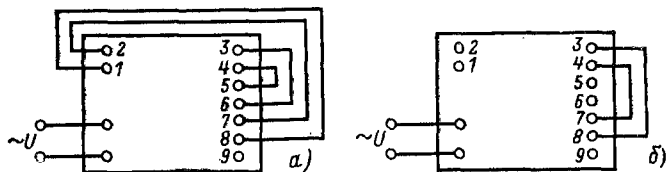


Рис. 1.2. Схема измерения разницы во времени между замыканием контактов $a-d$ и размыканием контактов $z-e$ ключа K_3 :

а — когда $z-e$ размыкается ранее замыкания $a-d$; б — когда $a-d$ замыкается ранее размыкания $z-e$

Типовые схемы измерения времени срабатывания и возврата реле с замыкающими (з.) и размыкающими (р.) контактами и порядок операций при измерениях указаны на крышке прибора. На рис. 1.3—1.5 приведены схемы для определения разницы во времени замыкания или размыкания контактов и разницы во времени между замыканием и размыканием контактов при срабатывании. Если при измерениях по схемам рис. 1.1, а, 1.2, а, 1.5, а прибор не дает показаний, необходимо собрать схему рис. 1.1, б, 1.2, б, 1.5, б. Если прибор не дает показаний при измерениях по схемам рис. 1.3 и 1.4, необходимо поменять местами контакты K_1 и K_2 . По схемам рис. 1.3—1.5 производят измерения, когда оперативное напряжение U подается на обмотку проверяемого реле KL внешним рубильником S , при измерениях по этим схемам ключ K_4 должен стоять в положении *Отключено*.

Измерение времени замкнутого состояния проскальзывающего (замыкающего) контакта при срабатывании реле производят по схеме рис. 1.6. В этом случае цепь заряда конденсатора создается только на время замкнутого состояния контактов.

Измерение времени разомкнутого состояния проскальзывающего (размыкающего) контакта при срабатывании производят по схеме

рис. 1.7, установку предела секундомера производят при разомкнутом состоянии контактов.

Измерение времени замкнутого состояния проскальзывающего (замыкающего) контакта при возврате реле производят по схеме рис. 1.8, измерение времени разомкнутого состояния проскальзывающего (размыкающего) контакта при возврате реле — по схеме рис. 1.9. Установку предела миллисекундомера производят при разомкнутом состоянии контактов.

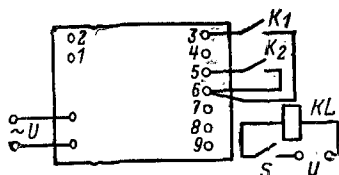


Рис. 1.3. Схема измерения разницы во времени замыкания контактов $K1$ и $K2$, когда $K1$ размыкается ранее $K2$

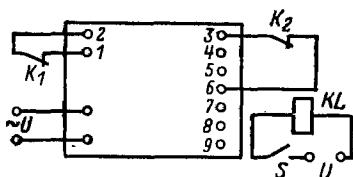


Рис. 1.4. Схема измерения разницы во времени размыкания контактов $K1$ и $K2$, когда $K1$ размыкается ранее $K2$

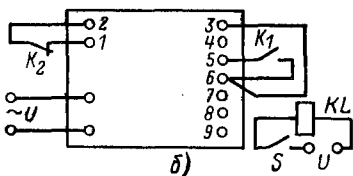
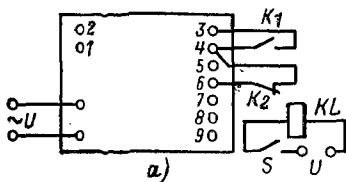


Рис. 1.5. Схема измерения разницы во времени между замыканием контактов $K1$ и размыканием $K2$:

а — когда $K1$ замыкается ранее размыкания $K2$; б — когда $K2$ размыкается ранее замыкания $K1$

Измеритель временных параметров реле типа $\Phi 738$ имеет то же назначение, что и миллисекундомер ЭМС-54, но обладает более широкими возможностями. Прибор позволяет измерить:

- 1) время срабатывания реле с з. и р. контактами;
- 2) время возврата реле с з. и р. контактами;
- 3) разность времени срабатывания любой комбинации двух пар з. и р. контактов при срабатывании или возврате реле;
- 4) время кратковременного замыкания или размыкания з. и р. контактов;
- 5) разность времени срабатывания и возврата любой комбинации з. и р. контактов реле при отсутствии соединения прибора с внешним источником питания обмоток реле.

Пределы измерения прибора — от 1 мс до 10 с на четырех диапа-

зонах: $(10 \div 99) \cdot 10^{-4}$ с, $(10 \div 99) \cdot 10^{-3}$ с, $(10 \div 99) \cdot 10^{-2}$ с, $(10 \div 99) \times 10^{-1}$ с.

Основная погрешность при нормальных условиях не превышает значения, определяемого по формуле

$$\nu = \pm \left(5 + 0,5 \frac{t_k}{t_x} \right),$$

где t_k — конечное значение интервала времени диапазона при измерении; t_x — показание прибора; 5 — наибольшая допустимая погрешность задающего генератора прибора; 0,5 — коэффициент, определяемый дискретностью системы отсчета прибора.

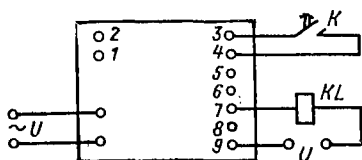


Рис. 1.6. Схема измерения времени замкнутого состояния проскальзывающего (замыкающего) контакта при срабатывании реле

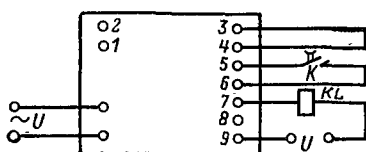


Рис. 1.7. Схема измерения времени разомкнутого состояния проскальзывающего (размыкающего) контакта при срабатывании реле

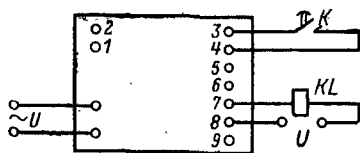


Рис. 1.8. Схема измерения времени замкнутого состояния проскальзывающего (замыкающего) контакта при возврате реле

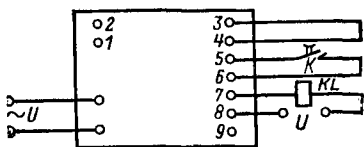


Рис. 1.9. Схема измерения времени разомкнутого состояния проскальзывающего (размыкающего) контакта при возврате реле

Дополнительная погрешность прибора при работе в условиях, отличных от номинальных, не превышает половины основной:

при отклонении напряжения питания на $\pm 10\%$ от номинального;
при отклонении температуры на каждые 10°C от оптимальной температуры $+20^\circ\text{C}$.

Пусковой ключ прибора допускает размыкание тока в цепи обмоток проверяемых реле 10 А при напряжении до 240 В (постоянный оперативный ток) и 6 А при переменном напряжении до 380 В. Прибор имеет двузначную цифровую индикацию отсчета, он может работать при вертикальном или горизонтальном положении лицевой панели.

Питание прибора — от сети переменного тока 50 Гц номинальным напряжением 127/220 В. После предварительного прогрева прибора в течение 30 мин допускается непрерывная работа в течение 8 ч.

Персонал, работающий с прибором, должен изучить «Техническое описание и инструкцию по эксплуатации». Запрещается работать с прибором при отсутствии защитного заземления корпуса, а также подключать к штепсельным колодкам прибора контакты реле, находящиеся под напряжением, даже при условии попадания напряжения на контакты через резистор или обмотку реле с большим сопротивлением.

Измеритель параметров реле цифровой Ф291 отличается от прибора Ф738 в основном внешним оформлением, меньшими габаритами, новой элементной базой (интегральные схемы и полупроводниковые элементы), а также расширенными пределами измерений — до 100 000 мс на двух пределах: 10 000 мс и 100 000 мс (переключение интервалов — ручное).

Прибор имеет пятизначный цифровой отсчет показаний с дополнительной индикацией переполнения счетчика, обеспечивает запоминание показаний и ручной сброс результата, имеет возможность подключения прибора к цифропечатающему устройству, для чего в нем предусмотрен выход со специальными кодированными сигналами.

На лицевой панели расположены: сетевой переключатель для включения прибора; переключатель *Режим* для выполнения коммутаций схемы прибора, соответствующих состоянию контактов и режиму работы проверяемого реле; переключатель *КНТ* (контакт) для изменения функций проверяемых контактов — запускаяющего и останавливающего, если останавливающий контакт замыкается раньше запускающего; переключатель *РАЗН* (разность) для работы в режимах определения разности срабатывания любой комбинации двух пар замыкающих и размыкающих контактов и определения времени кратковременного замыкания или размыкания контакта; переключатель *100* для работы прибора на пределе 100 000 мс; переключатель *ВИБР* (вибрация) для измерения временных параметров реле с учетом вибрации контактов; переключатель *СУМ* (сумма) для суммирования показаний прибора при многократном измерении параметров реле; переключатель *СБР* (сброс) для сброса показаний отсчетного устройства прибора; тумблер *ПУСК* для подключения напряжения питания к обмотке проверяемого реле и подключения счетного устройства; цифровые индикаторные лампы и светоизлучающий диод для индикации переполнения счетчика.

На задней панели размещены зажимы защитного заземления и предохранители: зажимы 3, 4 (контакт 1) и 5, 6 (контакт 2) для подключения контактов проверяемого реле; зажимы 1, 2 (цепь реле) для подключения обмотки и питания проверяемого реле; разъем для подключения напряжения питания 220 В; разъем для подключения цифропечатающего устройства; разъем для подключения внешнего добавочного устройства *ДУ*.

В зависимости от напряжения и тока срабатывания используемого реле подключение его обмотки производится тумблером *ПУСК* на лицевой панели либо выключателем *ПУСК* добавочного устройства. Допустимые значения токов и напряжений при подключении реле к приборам приведены в табл. 1.4.

Перед включением прибора необходимо подключить к зажиму защитного заземления заземляющий провод и надежно заземлить его.

Т а б л и ц а 1.4. Характер нагрузки, допустимые напряжения и токи при подключении реле

Переключатель	Род тока	Характер сопро- твления обмотки	Напряже- ние, В, не более	Ток, А, не более
Тумблер <i>ПУСК</i>	Постоянный	Активный	220	5
		Индуктивный	220	2
	Переменный	Активный	250	1,6
		Активный	80	5
		Индуктивный	250	2
Выключатель <i>ПУСК ДУ</i>	Постоянный	Активный	240	10
		Индуктивный	240	10
	Переменный	Активный	380	6
		Индуктивный	380	6

При включении прибора:

- 1) устанавливают органы управления и коммутации прибора в отключенное положение;
- 2) включают переключатель *Режим* в положение 1;
- 3) включают шнур питания прибора в питающую сеть;
- 4) включают сетевой переключатель прибора;
- 5) для установления рабочего режима выдерживают прибор во включенном состоянии в течение не менее 15 мин;
- 6) включают тумблер *ПУСК* и убеждаются в наличии непрерывного счета прибора;
- 7) замыкают зажимы 3, 4 и при этом убеждаются в наличии фиксации показания на отсчетном устройстве;
- 8) выключают тумблер *ПУСК*;
- 9) нажимают кнопку *СБР* и при этом убеждаются в наличии сброса показаний на отсчетном устройстве.

После этого прибор готов к работе. Допускается непрерывная работа прибора в течение 8 ч.

Вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85. Предназначен для измерения величины и фазы переменного тока и напряжения частоты 50 Гц, угол сдвига фаз определяется относительно вектора U_{ab} трехфазной системы напряжения abc 100—220 В.

Прибор позволяет измерить и определить:

- а) значение и фазу напряжения на пределах измерения 1, 5, 25, 125, 250 В;
- б) значение и фазу тока без разрыва токопровода на пределах измерения 1, 5, 10 А;
- в) значение малых токов, измеряемых миллиамперметром, включаемым в рассечку токовой цепи, на пределах измерения 10, 50, 250 мА;
- г) чередование фаз трехфазной симметричной системы напряжения 100—220 В.

На удаленных подстанциях со слабыми системными связями иногда бывает, что напряжение во вторичных цепях трансформаторов напряжения меньше 100 В, поэтому при лабораторных проверках прибора необходимо тщательно регулировать механику фазорегулятора, добив

ваясь четкого вращения его ротора при симметричном трехфазном напряжении 90—95 В.

Входное сопротивление вольтметра на всех пределах измерения — не менее 2400 Ом/В.

Наложение токоизмерительных клещей изменяет сопротивление токовой цепи не более чем на 0,001 Ом, зазор клещевой приставки при полном раскрытии магнитопровода не менее 7 мм. Внутреннее сопротивление миллиамперметра на пределах 10 мА — 4 (5) Ом; 50 мА — 0,2 (0,4) Ом; 250 мА — 0,018 (0,08) Ом, в скобках указано сопротивление миллиамперметров для прибора серии ВАФ-85М.

Основная погрешность прибора ВАФ-85 при измерении тока и напряжения не превышает $\pm 5\%$ предела измерения, погрешность при определении фазы не превышает $\pm 5^\circ$, прибор ВАФ-85М при нормальных условиях имеет соответственно погрешности по току и напряжению $\pm 4\%$, по углу $\pm 5^\circ$.

Прибор ВАФ-85 является многопредельным детекторным прибором, в качестве измерителя у которого используется микроамперметр М-4204. При измерении тока и напряжения однополупериодное выпрямление производится германиевым диодом, при этом показания измерительного прибора пропорциональны среднему значению тока, проходящего через его обмотку.

При определении фазы тока или напряжения ток к измерительному прибору подается через механический выпрямитель у приборов старой серии или через фазозависимый полупроводниковый выпрямитель у приборов новой серии. Механический или полупроводниковый выпрямитель обеспечивает максимальный ток через измерительный прибор при совпадении по фазе тока и напряжения, подведенных к выпрямителю. При токе и напряжении, подведенных к выпрямителю под углом 90° , ток в измерительном приборе равен нулю и положение лимба на роторе фазорегулятора фиксирует фазу измеряемого тока и напряжения.

Приборы ВАФ-85 и ВАФ-85М отличаются расположением выводов на лицевой панели, креплением лимба к оси сельсина. В новых приборах предусмотрена возможность смещать планку с риской для начала отсчета при калибровке и установке нуля; в старых образцах при несовпадении нуля с заводской риской приходилось каждый раз при калибровке фиксировать новую точку начала отсчета карандашом на лицевой панели.

На лицевой панели указаны обозначения основных элементов, которым соответствуют принятые обозначения в тексте.

Порядок работы. При измерении тока клещевой приставкой без разрыва цепи на пределах 1,5, 10 А или напряжения на пределах 1, 5, 25, 125, 250 В тумблер *Фаза* — *Величина* устанавливается в положение *Величина*; тумблер *мА* — *U*, *I* — в положение *U*, *I*; переключателем пределов выбирается соответствующий предел по току или напряжению.

Измерение тока производится с помощью токоизмерительных клещей, которые гибким шлангом подключаются к выводам прибора * и *I*. В том случае, когда измеряемые токи весьма малы, можно в расщелку испытательного зажима или испытательного блока токовых цепей включить гибкую перемычку и пропустить ее через окно токоизмерительных клещей несколько раз. В этом случае действительное зна-
2*

чение тока в измеряемой цепи можно определить, разделив показание прибора на число проводников в окне токонизмерительных клещей (рис. 1.10).

Измеряемое напряжение подводится к выводам * и U . При определении фазы тока или напряжения тумблер *Фаза — Величина* устанавливается в положение *Фаза*, тумблер $mA — U, I$ — в положение U, I . Прибор ВАФ-85 измеряет фазу тока или напряжения относительно базисного напряжения U_{ab} (по маркировке на лицевой стороне прибора) симметричной трехфазной системы abc , подведенной к выводам A, B, C

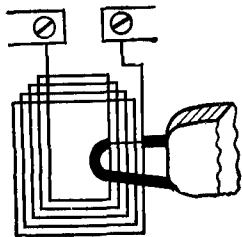


Рис. 1.10. Измерение прибором ВАФ-85 малых токов

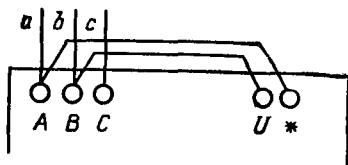


Рис. 1.11. Проверка установки нуля по напряжению

прибора. При измерении фазы тока или напряжения следует иметь в виду, что результат будет правильным лишь в том случае, если направление вращения лимба фазорегулятора и направление вращения стрелки к нулю совпадают. Целесообразно всегда вращать лимб против часовой стрелки, в этом случае подход стрелки к нулю справа со стороны шкалы наиболее четко фиксируется.

К выводам A, B, C подводится трехфазное напряжение 100, 110 или 220 В, при работе в цепях релейной защиты ВАФ-85, как правило, включается на линейное напряжение трансформаторов напряжения 100 В, проверяется правильность чередования фаз подведенного напряжения по вращению лимба, освобожденного от стопора: при правильном чередовании фаз лимб вращается по часовой стрелке.

Перед измерением фазы или снятием векторной диаграммы проверяют установку нуля прибора. При измерении фазы в цепях напряжения контроль и корректировку нуля прибора следует производить по напряжению. В этом случае проверяется установка нуля по напряжению измерением фазы базисного напряжения U_{ab} , для этого соединяют перемычками выводы A и *; B и U (рис. 1.11). Вращением ротора фазорегулятора при обязательном совпадении направления вращения лимба и хода стрелки добиваются установки стрелки на нуль, в этом случае нуль лимба и риска отсчета должны совпадать. При несовпадении нуля лимба и риски у приборов старого образца делается карандашом новая отметка на лицевой панели, у приборов новой серии коррекция осуществляется перемещением планки с риской.

При снятии векторных диаграмм в цепях тока необходимо произ-

взвешивающие проводник с измеряемым током, полярной стороной должны располагаться в сторону трансформаторов тока, т. е. к генераторному концу токопровода. Отсчет угла производится по лимбу в момент установки стрелки на нуль.

Прибором ВАФ-85 можно определять значения тока, напряжения и угол между ними, поэтому он может применяться и для измерения мощности. При измерении угла между током и напряжением необходимо делать поправку на угол несовпадения нуля прибора по току и напряжению корректировкой нуля отсчета.

При измерениях малых значений переменного тока на пределах 10, 50, 250 мА миллиамперметр включается в рассечку измеряемой цепи, тумблер $MA-U, I$ ставится в положение mA и отсчет производится по шкале.

Рекомендуемый выше способ измерения токоизмерительными клещами малых токов иногда бывает неприемлем, поэтому в наладочных организациях Минэнерго СССР разработаны и широко применяются приставки, позволяющие производить без разрыва цепи измерения значения и фазы малых токов.

Электролабораторией Наладочно-монтажного управления греста «Электроцентромонтаж» (НМУ ЭЦМ) разработана усилительная приставка П-77-1, которая обеспечивает на двух пределах 50 и 250 мА необходимые измерения в диапазоне от 10 до 250 мА; дополнительная вносимая погрешность — не более $\pm 1^\circ$, напряжение питания переменное, 100—220 В.

Принципиальная схема приставки приведена на рис. 1.13. Она состоит из усилителя синусоидального сигнала, стабилизированного источника питания и фазодвигающей цепочки; параметры элементов схемы даны в приложении 2. Усилитель собран на интегральной схеме AI , сигнал с токоизмерительных клещей через разделительный конденсатор $C6$ поступает на неинвертирующий вход 10 микросхемы, на инвертирующий вход 9 подается сигнал обратной связи с резистора $R3$. Глубина обратной связи, а следовательно, и необходимый коэффициент усиления подбирается резисторами $R4-R7$ при калибровке. Переключение пределов измерения осуществляется тумблером $S1$. Усиленный сигнал с выхода 5 микросхемы через конденсатор $C8$ поступает на зажимы * и 1 ВАФ-85.

На входе 10 микросхемы включена фазосдвигающая RC -цепочка, состоящая из резисторов $R9, R10$ и конденсатора $C7$. Конденсатор $C5$ предотвращает самовозбуждение усилителя по высокой частоте.

Питание усилителя осуществляется параметрическим стабилизатором, переменное напряжение 100—220 В с зажимов A и B ВАФ-85 через конденсаторы $C1$ и $C2$ поступает на выпрямительный мост $VD1-VD4$, амплитуда выпрямленного напряжения ограничивается 33 В стабилитроном VI . Через резистор $R2$ напряжение подается на стабилитроны $V2$ и $V3$, с которых снимается стабилизирующее напряжение ± 12 В для питания микросхемы, конденсаторы $C3$ и $C4$ сглаживают пульсации напряжений. Резистор $R1$ обеспечивает разряд конденсаторов $C1$ и $C2$ при отключении питания.

Наладку приставки производят совместно с прибором ВАФ-85, в режиме измерения фазы резисторами $R9$ и $R10$ устраняют фазовый сдвиг, определяемый по различию в показаниях ВАФ-85 без приставки и с ней при измерении фазы тока одной цепи. Коэффициент усиления

микросхемы устанавливают в режиме измерения значения тока: на пределе 50 мА — резисторами $R4$ и $R5$, на пределе 250 мА — резисторами $R6$ и $R7$.

Конструктивно приставка выполнена следующим образом: на изолирующей пластине установлены две штепсельные вилки с маркировкой 100—220 В; * и I, чем обеспечивается однозначное подключение приставки к ВАФ-85, на верхнем защитном кожухе установлен тумблер $S1$ и гнездо для подключения токоизмерительных клещей.

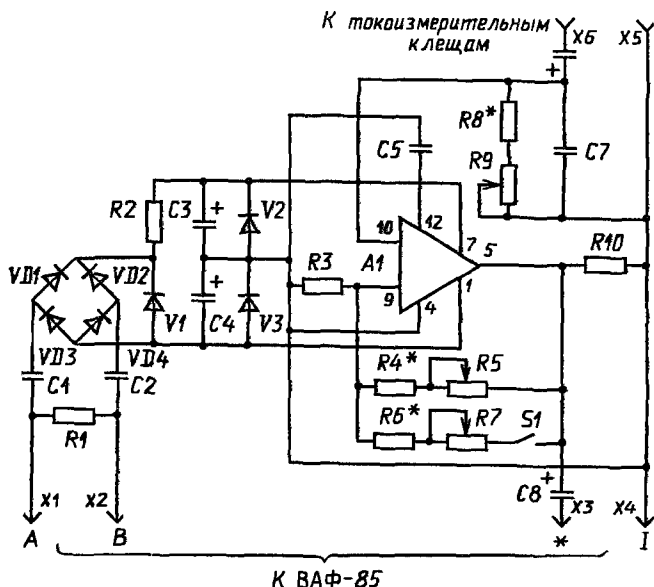


Рис. 1.13. Приставка к ВАФ-85 для измерения малых токов

Подготовка к работе и измерение малых токов:

- 1) подать на зажимы А, В, С прибора ВАФ-85 симметричное трехфазное напряжение 100—220 В и проверить чередование фаз;
- 2) проверить установку нуля ВАФ-85;
- 3) установить переключатель пределов по току в положение 1А, тумблер мА — U, I — в положение U, I;
- 4) вставить приставку в гнездо ВАФ-85 согласно указанной маркировке и подключить токоизмерительные клещи;
- 5) установить ожидаемый предел измерения 50 и 250 мА, измерение производить по верхней шкале прибора, при индикации фазы тока тумблер Фаза—Величина перевести в положение Фаза.

В некоторых случаях, особенно при измерениях фазы тока и напряжения во вторичных цепях входных согласующих трансформаторов тока защит, например при проверке под нагрузкой панели ДЗШТ

(дифференциальная защита шин с торможением), даже наличие приставки не обеспечивает возможности проведения необходимых измерений. Высокой разрешающей способностью при таких измерениях обладает векторметр типа Ц50 — универсальный переносной прибор, предназначенный для измерения токов и напряжений по частоте и фазе переменного тока частотой 50 Гц.

Прибор имеет пределы измерения:

по напряжению — 0,15; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 150; 300 В;

по току — 0,003; 0,01; 0,03; 0,15; 0,3; 1; 3; 5 А;

фазовый угол — от 0 до 360°.

Помимо значений и фазы тока и напряжения при синусоидальной форме кривой прибор позволяет измерить мощность однофазной и трехфазной цепей, сдвиг фаз между двумя токами или напряжениями, между током и напряжением. При наличии высших гармоник прибор позволяет выделить составляющие первой гармоники тока или напряжения, к недостатку прибора следует отнести необходимость его включения в рассечку токовой цепи.

Нестандартные переносные испытательные устройства. Применение выпускаемых промышленностью комплектных устройств У5052 и У5053 несмотря на их универсальность при наладке присоединений 0,4 кВ, КРУ 6 кВ во многих случаях бывает нецелесообразно, особенно при совмещении монтажных и наладочных работ в одних помещениях. В связи с этим в наладочных организациях, в частности в НМУ ЭЦМ Минэнерго СССР, широко применяются специализированные испытательные устройства, которые подробно рассмотрены в [1, 10]. Ниже приведены основные технические данные нескольких разработок специалистов НМУ ЭЦМ.

Устройство проверки присоединений 0,4 кВ УП-0,4 предназначено для проверки различного электрооборудования, работающего на напряжении 0,4 кВ переменного тока и 220 В постоянного тока: магнитных пускателей, контактов, реле времени, промежуточных и сигнальных реле, электромагнитных реле переменного тока, автоматических выключателей с токами срабатывания отсечки до 500 А. Устройство обеспечивает регулируемые значения выходных токов и напряжений в пределах, указанных в табл. 1.5.

Т а б л и ц а 1.5. Технические данные устройства

Напряжение питания, В	Регулируемые выходные величины		
	$\sim U$, В	$=U$, В	$\sim I$, А
220 (до 10 А)	0—380 (до 2 А)	0—250 (до 2 А)	0—500 (время включения — до 10 с при токе более 300 А)

Устройство оборудовано встроенным вольтметром постоянного и переменного тока и амперметром с измерительным трансформатором тока с пределами измерения соответственно 25, 100, 250, 500 А. На лицевой

панели кроме перечисленных измерительных приборов установлены переключатели, тумблеры, зажимы и ручка регулирования автотрансформатора.

Специальные силовые зажимы цепи прогрузки изготовлены из латунных шпилек с массивными латунными гайками. Все элементы на лицевой панели снабжены соответствующими надписями.

Устройство проверки простых реле УПР-3 предназначено для проверки без сборки каких-либо испытательных схем: реле времени, реле напряжения, промежуточных и сигнальных реле, контакторов и пускателей, работающих на постоянном и переменном токе. Устройство обеспечивает регулируемые значения выходных напряжений в пределах, указанных в табл. 1.6.

Т а б л и ц а 1.6. Технические данные устройства

Питание, В	Регулируемые выходные величины	
	$\sim U$, В	$=U$, В
~ 220	0—220	0—250
~ 380 (две фазы и нуль)	0—380	0—250

Максимально допустимый ток в выходных цепях 2 А. На лицевой панели устройства установлены встроенный вольтметр постоянного и переменного тока с пределами измерения 25, 100, 250 и 500 В, электросекундомер, тумблеры и переключатели, предохранители и сигнальные лампы, ручка регулируемого автотрансформатора и зажимы для подключения питания и проверяемых аппаратов с соответствующими надписями.

Масса устройства 8 кг.

Устройство проверки коммутационной аппаратуры УПКА-1 предназначено для проведения комплекса наладочных работ в комплектных распреустройствах 6 кВ.

Устройство позволяет выполнить следующие работы:

проверку релейно-коммутационной аппаратуры схемы управления, блокировок и сигнализации (за исключением токовых реле и автоматических выключателей АП-50);

включение и отключение выключателей с измерением времени и скорости его работы с помощью вибрографа;

проверку напряжения срабатывания и возврата контактора включения и электромагнита отключения привода выключателя;

опробование работы выключателя при пониженном напряжении питания; технические данные устройства приведены в табл. 1.7.

В зависимости от условий наладки выбирается один из четырех возможных источников питания для устройства.

Устройство имеет: схему питания постоянным током привода выключателя, схему регулирования переменного напряжения, схему регулирования постоянного напряжения для проверки реле, постоянного тока, схему измерения времени работы аппаратуры встроенным электро-

Таблица 1.7. Технические данные устройства

Питание	Выходные величины			
	регулируемые		нерегулируемые	
	$\sim U$, В	$=U$, В	$=U$, В	$\sim U$, В
~ 220 В или 380 В (две фазы и нуль);	0—250 или 0—400 (до 10 А)	0—250 (до 5 А)	8 (до 10 А)	13 (50 Гц, питание вибрографа)
$=220$ В (от шиннок питания $\pm EY$ ячейки или от постороннего источника постоянного тока)	—	—	220 (питание привода выключателя)	—

секундомером и контрольно-измерительный прибор с полупроводниковой защитой от перегрузок.

Питание цепей управления может осуществляться от любого внешнего источника или от шиннок питания $\pm EY$ постоянного тока ячейки. Для возможности подключения к $\pm EY$ устройству прилагается кабель со

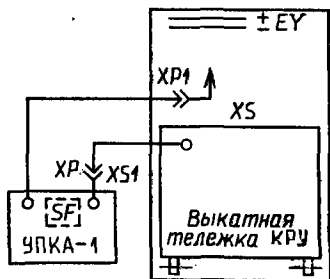


Рис. 1.14. Подключение УПКА-1 при опробовании ячеек КРУ

штырем контактного разъема $XP1$, который одной стороной включается в гнездо разъема XS ячейки КРУ, другой стороной подключается к зажимам на лицевой панели устройства. В корпус устройства вмонтировано гнездо $XS1$, аналогичное установленному в ячейке КРУ, в которую включается штырь соединительного кабеля XP выкатной тележки (рис. 1.14). Для удобства подачи напряжения на привод выключателя в устройстве предусмотрен оперативный автоматический выключатель SF , позволяющий исключить операции с автоматическим выключателем, расположенным в шкафу ячейки КРУ. Масса устройства 16 кг.

1.3. Проверка изоляции вторичных цепей

Согласно ГОСТ для оценки качества изоляции электрических цепей аппаратуры проверяется ее электрическая прочность с измерением сопротивления изоляции до и после испытания повышенным напряжением.

Электрическая прочность и сопротивление изоляции проверяются между электрически не соединенными цепями; между электрическими цепями, разделяющимися в процессе работы аппаратуры; между

электрическими цепями и металлическими нетоковедущими частями аппаратуры (корпус).

В заводской документации на конкретную аппаратуру указываются электрические цепи, изоляцию которых следует подвергать проверке, или точки приложения испытательного напряжения и подключения измерительных приборов.

При проверке сопротивления и прочности электрической изоляции электронные цепи, содержащие полупроводниковые приборы и микросхемы, следует отключать. Допускается элементы, у которых испытательное напряжение ниже установленного, отсоединять, отпаивать или шунтировать. Это условие должно указываться в документации. Места повторной пайки подлежат проверке на надежность, на отсутствие заусенцев и других дефектов пайки. Сопротивление изоляции измеряют специальными измерительными приборами с погрешностью измерения не более $\pm 20\%$, в отдельных случаях допускается измерение сопротивления изоляции методом вольтметра—амперметра.

Измерительный прибор выбирается в зависимости от значений сопротивления изоляции, заданного в стандартах и документации на конкретную аппаратуру. Изоляцию цепей аппаратуры, содержащих полупроводниковые приборы, проводят дважды при различной полярности напряжения измерения.

Показания прибора отсчитывают через 1 мин после подачи на аппаратуру измерительного напряжения; аппаратура считается прошедшей испытания, если измеренные значения сопротивления изоляции равны значениям, указанным в документации, или превышают их.

Измерение сопротивления изоляции, как правило, производят мегаомметрами различных типов и исполнений. Основными элементами мегаомметров типов М1101 и МС-05 являются генератор постоянного тока с ручным приводом, измерительный прибор — магнитоэлектрический логометр постоянного тока и дополнительные резисторы.

Мегаомметр типа М1101 имеет три исполнения, различающиеся по выходному напряжению и наибольшему значению измеряемого сопротивления: 100 В — 100 МОм, 500 В — 500 МОм, 1000 В — 1000 МОм, технические данные прибора приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8. Технические данные мегаомметров типа М1101

Исполнение прибора	Пределы измерения		Рабочая часть шкалы		Номинальное выходное напряжение, В
	кОм	МОм	кОм	МОм	
100 В	0—200	0—100	0—200	0,01—20	100±10
500 В	0—1000	0—500	0—1000	0,05—100	500±50
1000 В	0—1000	0—1000	0—1000	0,2—200	1000±100

Мегаомметр типа МС-05 на напряжение 2500 В имеет три предела измерений, технические данные прибора приведены в табл. 1.9.

При измерениях мегаомметром рукоятку генератора необходимо вращать с номинальной частотой 120 об/мин. При номинальной частоте вращения на разомкнутых зажимах прибора создается номинальное напряжение. Зависимости выходного напряжения мегаомметров

Таблица 1.9. Технические данные мегаомметра МС-05

Тип прибора	Положение переключателя пределов	Пределы измерения, МОм	Рабочая часть шкалы, МОм	Номинальное выходное напряжение, В
МС-05	$\times 1$	0—1000— ∞	1—1000	2500+250
	$\times 0,1$	0—1000— ∞	0,1—100	2500+250
	$\times 0,01$	0—100— ∞	0,01—10	2500+250

от измеряемого сопротивления приведены на рис. 1.15, 1.16 (где U — напряжение на измеряемом сопротивлении в процентах номинального; R — измеряемое сопротивление в процентах конечного значения рабочей части шкалы).

Перед измерением проверяют исправность прибора. У мегаомметров типа М1101 при положении переключателя пределов «МΩ» и вращении рукоятки с номинальной частотой при разомкнутых выводах стрелка

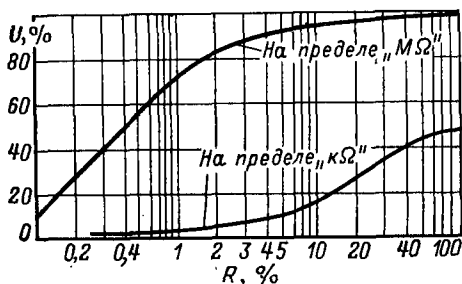


Рис. 1.15. Нагрузочные характеристики мегаомметра серии М1101

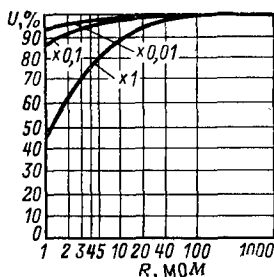


Рис. 1.16. Нагрузочная характеристика мегаомметра типа МС-05

мегаомметра должна устанавливаться на отметке ∞ шкалы МΩ. При положении переключателя пределов кΩ и разомкнутых выводах стрелка логометра при вращении рукоятки должна устанавливаться на отметке ∞ нижней измерительной шкалы кΩ, при закорачивании выходных зажимов прибора в обоих случаях стрелка устанавливается на нуль соответствующей шкалы.

У мегаомметров типа МС-05 при вращении рукоятки с номинальной частотой и разомкнутых выводах стрелка прибора должна устанавливаться на отметке ∞ ; при замкнутых выводах Л (линия) и З (земля) стрелка должна устанавливаться на отметке 0 шкалы.

Мегаомметры М4100/1—М4100/5 — одного типа, у них вместо генератора постоянного тока применен генератор переменного тока

с выпрямителем. Имеется пять исполнений прибора этого типа, отличающихся по параметрам выходного напряжения и наибольшему значению измеряемого сопротивления, технические данные прибора приведены в табл. 1.10.

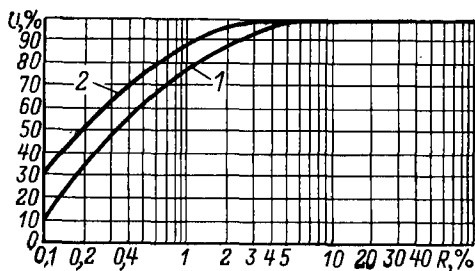
Таблица 1.10. Технические данные мегаомметров типа М4100

Исполнение прибора	Пределы измерения		Рабочая часть шкалы		Номинальное выходное напряжение, В
	кОм	МОм	кОм	МОм	
М4100/1	0—200	0—100	0—200	0,01—20	100±10
М4100/2	0—500	0—200	0—500	0,02—50	250±25
М4100/3	0—1000	0—500	0—1000	0,05—100	500±50
М4100/4	0—1000	0—1000	0—1000	0,2—200	1000±100
М4100/5	0—2000	0—3000	0—2000	0,5—1000	2500±250

При измерениях рукоятку генератора необходимо вращать с номинальной частотой 120 об/мин. Зависимость выходного напряжения мегаомметров от измеряемого сопротивления приведена на рис. 1.17.

Рис. 1.17. Нагрузочные характеристики мегаомметров серии М4100:

1 — М4100/1—М4100/4; 2 — М4100/5



Мегаомметры М4100/1—М4100/4 имеют три вывода, обозначенные Л (линия) $\perp$ (земля)¹ и кΩ, мегаомметр М4100/5 имеет еще дополнительный вывод Э (экран).

При измерении сопротивления изоляции на пределе МΩ измеряемое сопротивление подключают к выводам Л—Э, на пределе кΩ устанавливают переключку между выводами Л—Э, а измеряемое сопротивление подключают к выводам Э—кΩ. Провода, входящие в комплект

¹ Аналогичный вывод имеет обозначение Э для других типов прибора.

прибора, обеспечивают возможность переключений на выводах без использования временных перемычек.

Схемы измерения сопротивления изоляции приведены на рис. 1.18, 1.19.

Мегаомметр Ф4100 имеет внешнее комбинированное питание от сети 127/220 В частотой 50 Гц или от источника постоянного тока напряжением 12 В. Максимальная потребляемая мощность при питании от сети 127/220 В 20 В·А, максимальный ток потребления от внешнего источника постоянного тока 1 А.

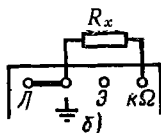
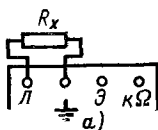
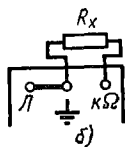
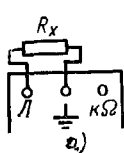


Рис. 1.18. Схема измерения сопротивления изоляции мегаомметрами типов М4100/1—М4100/4:

а — на пределе МΩ; б — на пределе кΩ

Рис. 1.19. Схема измерения сопротивления изоляции мегаомметром типа М4100/5:

а — на пределе МΩ; б — на пределе кΩ

Пределы измерения сопротивления и рабочая часть шкалы в зависимости от положения переключателей пределов измерения приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11. Технические данные мегаомметра типа Ф4100

Положение переключателя пределов	Пределы измерения, МОм	Рабочая часть шкалы, МОм
1×1	0—100	0—50
11×1	3—100	3—50
111×10	30—1000	30—500
111×100	300—10 000	300—5000
111×1000	3000—100 000	300—50 000

Номинальное напряжение на разомкнутых выводах прибора 2500±250 В, нагрузочная характеристика приведена рис. 1.20. Мегаомметр Ф4100 состоит из следующих основных функциональных узлов: импульсного стабилизатора напряжения, преобразователя напряжения, измерительного усилителя постоянного тока, реле времени.

При работе с мегаомметром Ф4100 необходимо выполнять дополнительные меры безопасности:

перед подключением прибора к питающей сети или внешнему источнику постоянного тока его надежно заземляют. Вывод заземления

находится на передней панели прибора и имеет маркировку 

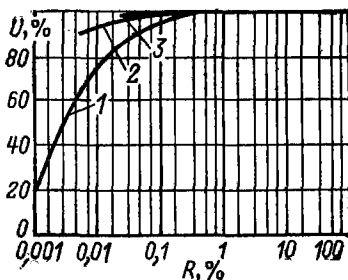
Необходимо помнить, что вывод с аналогичным обозначением входит в измерительную часть схемы прибора и не имеет электрического соединения с выводом для заземления корпуса;

после отпускания кнопки *Высокое напряжение* напряжение на выходе мегаомметра (выводы Л и Э относительно З) снижается до безопасного значения за 5—10 с.

Порядок работы с прибором Ф4100 указан в заводском паспорте и должен строго выполняться.

Рис. 1.20. Нагрузочные характеристики мегаомметров типа Ф4100:

1 — на пределе измерения I; 2 — на пределе измерения II; 3 — на пределе измерения III ($\times 10$; $\times 100$; $\times 1000$)



Мегаомметры Ф4102/1, Ф4102/2 имеют комбинированное питание от сети 220 В частотой 50 Гц или от встраиваемых химических источников тока напряжением 10—14 В. Максимальная потребляемая мощность при питании от сети переменного тока — не более 12 В·А, максимальный ток потребления от химических источников тока — не более 0,45 А. Ресурс встроенного источника питания в нормальных условиях применения не менее 250 измерений.

Диапазоны измерения сопротивления изоляции и значение напряжения на зажимах прибора при разомкнутой внешней цепи приведены в табл. 1.12.

Мегаомметры данного типа состоят из преобразователя, предназначенного для преобразования напряжения питания в постоянное стабилизированное напряжение нужного значения, и измерительного усилителя с компенсацией температурной погрешности. Неправильная установка химических источников тока может привести к выходу прибора из строя.

При измерениях изоляции необходимо пользоваться стандартными проводами, входящими в комплект поставки завода-изготовителя; для их замены можно использовать гибкий многожильный провод с усиленной изоляцией (например, типа ПВЛ) и с изолирующими ручками на концах; необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

Измерение сопротивления изоляции вторичных цепей защиты, электроавтоматики, управления производят мегаомметром на 1000 или

Таблица 1.12. Технические данные мегаомметров типа Ф4102

Тип прибора	Пределы измерения, МОм	Диапазоны пределов измерения, МОм, с погрешностью		Номинальное выходное напряжение, В
		менее 15 %	менее 30 %	
Ф4102/1	0—30	—	0,03—30	100±5
	0—2000	—	30—1000	100±5
	0—150	—	0,15—150	500±25
	0—10 000	—	150—5000	500±25
	0—300	—	0,3—300	1000±50
	0—20 000	—	300—10 000	1000±50
	0—2000	75—1000	—	1000±50
Ф4102/2	0—20 000	750—4000	—	1000±50
	0—500	187,5—2500	—	2500±125
	0—50 000	1875—10 000	—	2500±125

2500 В. При подготовке к измерению необходимо по заводской документации определить составляющие элементы, изоляция которых испытывается пониженным напряжением, и исключить их из схемы. Для этого вынимают из колодок поляризованные магнитоэлектрические реле, съемные блоки с полупроводниковыми элементами и др. При проверке аппаратуры необходимо вынуть из панелей стабилитроны, неоновые и электронные лампы, чтобы на результаты измерений не влияли токи, проходящие через лампы; элементы, которые невозможно исключить из схемы, закорачивают. С этой же целью для предотвращения повреждений диодов и стабилитронов при измерении сопротивления изоляции оперативных цепей управления, блокировок и сигнализации на постоянном токе необходимо плюс и минус объединить временной перемычкой. При проверке все заземляющие провода, установленные на данном присоединении, должны быть отсоединены. Согласно [2] сопротивление изоляции жил кабелей, обмоток, контактов реле с коммутационными приводами и всех вспомогательных устройств проверяют: по отношению к земле; между фазами, жилами, проводами, зажимами в пределах одной цепи; между электрически не связанными цепями.

Сопротивление изоляции полностью собранных цепей тока, напряжения, оперативного тока и т.д. каждого присоединения при новом включении должно быть не менее 1 МОм.

Сопротивление изоляции вновь смонтированных шинно-оперативного тока и цепей напряжения при отсоединенных от панелей спусках и кабелях должно быть не менее 10 МОм. При измерении сопротивления изоляции относительно земли к заземлителю подсоединяется провод от вывода 3, к проверяемой цепи—провод от вывода Л или КΩ. При измерениях изоляции между разобщенными цепями порядок присоединения проводов не имеет значения, если цепи не содержат полупроводниковых элементов; при наличии таких элементов испытания

проводят дважды при различной полярности измерительного напряжения.

Элементы, рассчитанные на более низкий уровень изоляции, испытываются по установленным для них нормам — так, например, изоляция поляризованных реле испытывается мегаомметром на 500 В.

Если результаты измерения сопротивления изоляции удовлетворительные, производят испытания электрической прочности изоляции приложенным переменным напряжением 1000 В в течение 1 мин относительно земли. Для обеспечения надлежащих контроля и безопасности испытывают изоляцию всех разобранных цепей отдельно (последовательно каждой группы трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, оперативных цепей и т. д.). У присоединений, все цепи которых находятся в пределах одного-двух помещений (например, щит управления — закрытое распределительное устройство), допускается проводить испытание сразу нескольких цепей, объединенных перемычками из мягкого провода со снятой изоляцией.

От испытательного устройства (например, типа ИУ-65, изготовленного ЦЛЭМ Тулэнерго) на подготовленные к испытанию цепи подают напряжение, которое плавно увеличивают от 0 до 500 В. При этом напряжении измеряют ток утечки, осматривают состояние испытываемой аппаратуры, проводов, кабелей, рядов зажимов и т. п. Если отсутствуют броски тока, искрение и потрескивание в цепях, напряжение поднимают плавно до 1000 В и выдерживают его в течение 1 мин при периодическом контроле стабильности тока утечки. Значение тока утечки не нормируется, так как и она зависит не только от сопротивления изоляции, но и от емкости проводов вторичных цепей относительно земли. Стабильность тока утечки при испытаниях указывает, что понижения уровня изоляции не происходит. После испытания напряжение плавно снижают и испытательное устройство отключают от питающей сети. При отсутствии специального устройства можно собрать схему из отдельных устройств и приборов, как показано на рис. 1.21. Испытательный трансформатор T должен иметь мощность не менее 200—300 В·А, для регулирования напряжения используют потенциометры или регулировочные трансформаторы TUV , контроль напряжения производят по вольтметрам прямого включения на стороне испытательного напряжения. При отсутствии вольтметра с пределом измерения 1000 В допустимо проводить измерение двумя однотипными вольтметрами при последовательном их включении.

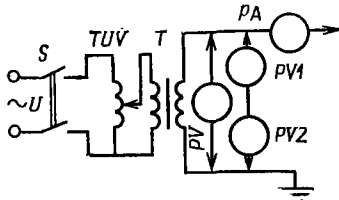


Рис. 1.21. Схема испытания изоляции повышенным напряжением

Испытание изоляции повышенным напряжением должно производиться при строгом соблюдении правил техники безопасности.

После завершения испытания повышенным напряжением производят контрольное измерение сопротивления изоляции испытанных цепей относительно земли мегаомметром. Результаты контрольных и пред-

варительных измерений не должны существенно различаться между собой. После окончания всех работ по проверке изоляции необходимо снять все временные перемычки, подключить отсоединенные аппараты, приборы и подсоединить все заземляющие провода.

1.4. Векторные диаграммы в цепях тока и напряжения

Анализ правильности установки и подключения измерительных трансформаторов тока TA и напряжения TV , выполнения вторичных цепей тока и напряжения, а также правильности включения устройств релейной защиты, как правило, производят по векторным диаграммам.

Векторная диаграмма определяет положение измеряемых векторов токов или напряжения относительно симметричной трехфазной системы фазных или линейных напряжений в соответствующей системе координат. Векторные диаграммы для оценки правильности включения направленных защит необходимо обязательно снимать относительно напряжения, подведенного к данным защитам. В остальных случаях, когда к защите подводят только цепи тока или только цепи напряжения, например при проверке дифференциальных и максимальных токовых защит, фильтровых защит обратной последовательности, векторные диаграммы можно снимать относительно любой системы напряжений, синхронной с проверяемыми присоединениями.

Векторные диаграммы при проверке устройств релейной защиты и измерений, как правило, снимают прибором ВАФ-85, возможно использование для этой цели ваттметра или фазометра, но применение данных приборов значительно усложняет производство работ и увеличивает вероятность возможных ошибок.

При снятии векторных диаграмм к выводам A, B, C прибора ВАФ-85 подводят предварительно проверенное симметричное напряжение 100 В от вторичных обмоток TV , соединенных в звезду с чередованием фаз a, b, c . По направлению вращения ротора фазоизмерителя проверяют чередование фаз подведенного напряжения, при правильном чередовании a, b, c — вращение происходит по часовой стрелке. Индикацию фазы производят по лимбу, который имеет разметку в градусах: зона вправо от нуля ($0-180^\circ$) емкостная (C); зона влево от нуля ($0-180^\circ$) индуктивная (L), при измерениях фиксируется не только измеренный угол, но и зона, в которой он находится. При снятии векторных диаграмм на «постороннем» синхронном напряжении 110, 220 В правила работы с прибором остаются неизменными.

При построении векторных диаграмм учитываются изложенные в § 1.2 рекомендации по предварительной проверке используемых для измерения приборов.

Построение векторных диаграмм в цепях напряжения. Принято при всех проверках полярный конец измеряемого вектора напряжения подключать всегда к выводу прибора с обозначением $*$, неполярный — к выводу U . При графическом изображении вектора напряжения тока полярный конец отмечается стрелкой, при буквенном написании полярному концу соответствует первая буква.

У подготовленного к работе ВАФ-85 проверяют и корректируют установку нуля по напряжению измерением фазы базисного напряжения U_{ab} . Измеряют значение и фазу всех напряжений вторичных обмоток TV , соединенных по схемам звезды и разомкнутого треугольника. По полученным данным в системе координат напряжения,

подведенного к прибору, строят векторную диаграмму, по которой и оценивают действительное выполнение цепей напряжения. При отсутствии ВАФ-85 правильность выполнения цепей напряжения можно оценить по потенциальной диаграмме, снимаемой вольтметром, если предварительно фазоуказателем проверить их чередование фаз. Вольтметром измеряют сначала значения всех фазных и линейных напряжений звезды $U_{ao}, U_{bo}, U_{co}, U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}$; относительно выводов A, B, C, N определяют заземленную фазу и затем измеряют напряжения каждой вершины разомкнутого треугольника $B_H(K), F, U, H$ относительно выводов A, B, C, N звезды. По полученным результатам в масштабе (при работе с ВАФ-85 по значению напряжения и фазе, при работе с вольтметром только по значениям напряжения методом засечек) строят векторную диаграмму (см. рис. 1.27, б). Подробная методика определения заземленной фазы приведена в § 1.6.

Построение векторных диаграмм в цепях тока. Для анализа выполнения токовых цепей по векторной диаграмме токов необходимо установить значение и направление активной и реактивной мощностей, протекающих по данному присоединению.

По характеру первичной нагрузки, направлению и значению активной и реактивной мощностей оценивают ожидаемое положение векторов вторичного тока на диаграмме с учетом схемы соединения и коэффициента трансформации ТА. Расчетные данные сопоставляют с результатами измерений.

Определение значения и направления мощности производят по соответствующим ваттметрам и уточняют у диспетчера энергосистемы. В тех случаях, когда имеются сомнения в правильности определения направления мощности проверяемого присоединения, выбирают другой режим проверки, исключающий возможность сомнений, например производят измерения в режиме одностороннего питания или на емкостном токе ЛЭП. В режиме одностороннего питания активная мощность на питающем конце имеет однозначное направление от шин в линию, на приемном конце направление активной мощности — к шинам. На протяженных ЛЭП проверка может эффективно производиться на емкостном токе линии при отключении ее с противоположной стороны, в этом случае ток в фазе опережает одноименное фазное напряжение на 90° . В зависимости от типов опор, габаритов гирлянд изоляторов, сечения проводов емкостный ток в фазе на 100 км длины составляют примерно для ЛЭП 220 кВ — 25 А, 330 кВ — 45 А, 500 кВ — 100 А, 750 кВ — 200 А.

Стабильность направления и значения активной и реактивной мощностей при снятии векторных диаграмм необходимо периодически контролировать. Ошибочно определять направление мощности по показаниям амперметров смежных присоединений, так как токи в зависимости от характера и величины нагрузки присоединений могут находиться под разными углами, в связи с чем арифметическое сложение и вычитание токов недопустимо.

В общем случае вектор первичного тока может занимать на векторной диаграмме любое положение в одном из четырех квадрантов. При определении квадранта, в котором располагается вектор тока, необходимо исходить из следующего:

1) за положительное направление активной, реактивной мощностей и тока принято считать направление от шин в линию;

2) фазный вектор положительной активной мощности (тока) принято считать совпадающим по фазе с вектором одноименного фазного напряжения;

3) фазный вектор положительной реактивной мощности (тока) принято считать отстающим на 90° от вектора одноименного фазного напряжения, поэтому положительная реактивная мощность соответствует индуктивной нагрузке.

Таким образом, система координат имеет вертикальную и горизонтальную оси: вертикальная ось P , положительное направление активной мощности и фазного напряжения U_{a0} — вверх; горизонтальная ось Q , положительное направление реактивной мощности (тока) — вправо; I, IV — индуктивные квадранты; II, III — емкостные квадранты (рис. 1.22).

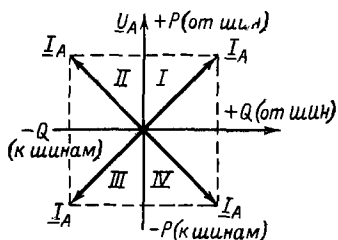


Рис. 1.22. Положение вектора тока фазы A в системе координат при разных направлениях активной и реактивной мощностей

необходимо следить, чтобы было полное прилегание плоскостей магнитопровода без зазоров и перекосов. Измерение фазы напряжения и тока производят с соблюдением обязательного условия — направление вращения лимба и направления вращения стрелки к нулю должны совпадать.

1.5. Вторичные цепи трансформаторов тока и их проверка

Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока. Трансформаторы тока (ТА) имеют следующую маркировку выводов: L_1 и L_2 — первичные обмотки, I_1 и I_2 (или $1I_1$, $1I_2$, $2I_1$, $2I_2$) — вторичные обмотки. Однополярными выводами являются L_1 и I_1 . Трансформаторы тока, как правило, устанавливают выводом L_1 к шинам и выводы I_1 , подключают фазные провода связи с защитами, на выводы I_2 собирают нуль ТА. На рис. 1.23 представлены наиболее широко применяемые типовые схемы соединения вторичных цепей трансформаторов тока.

На рис. 1.23, а представлена схема соединения в звезду при установке ТА в каждой фазе. При такой схеме включения в нормальном режиме в нулевом проводе протекает только ток небаланса, обусловленный погрешностями ТА и различием их вольт-амперных характеристик.

Появляется ток в нулевом проводе при однофазных коротких замыканиях КЗ, поэтому можно считать, что при данной схеме соединения ТА реле, включенные в нулевой провод, включены на фильтр тока нулевой последовательности. Схема соединения ТА в звезду наиболее распространенная, широко применяется для защиты от междуфазных и однофазных КЗ для устройств автоматики и измерений. Если реле, установленные в фазных проводах, не используются, данная схема упрощается и принимает вид схемы на рис. 1.23, б.

На рис. 1.23, в представлена схема соединения ТА в неполную звезду при установке ТА в двух фазах. Такая схема используется для выполнения защит от междуфазных КЗ в двух- и трехрелейном исполнении, особенно присоединений с изолированной нейтралью; в нулевом проводе в нормальном режиме протекает сумма токов двух фаз.

На рис. 1.23, г приведена схема соединения ТА в треугольник при установке ТА в трех фазах. Схема широко используется для выполнения дифференциальных защит трансформаторов, когда необходимо компенсировать фазовый сдвиг первичных токов при соединении обмоток силового трансформатора звезда—треугольник; в фазном проводе протекает разность токов двух фаз.

На рис. 1.23, д приведена схема соединения ТА на разность токов двух фаз, она используется для выполнения защиты от междуфазных КЗ в однорелейном исполнении. В некоторых случаях для уменьшения нагрузки на ТА применяют схемы с последовательным соединением двух ТА (рис. 1.24, а); у двух ТА, установленных в одной фазе, с соблюдением полярности соединяют первичные обмотки (J_2 1ТА и J_1 2ТА) и вторичные обмотки (I_2 1ТА и I_1 2ТА), устройства релейной защиты подключают на выводы I_1 1ТА и I_2 2ТА. Такое включение ТА обеспечивает неизменный вторичный ток, равный $I_2 = I_1 / n_{ТА}$, но позволяет увеличить в 2 раза нагрузку на каждый ТА. Схема имеет тот же коэффициент трансформации, что и каждый ТА.

Значительно реже применяют схемы с параллельным включением вторичных обмоток ТА (рис. 1.24, б). В этом случае коэффициент

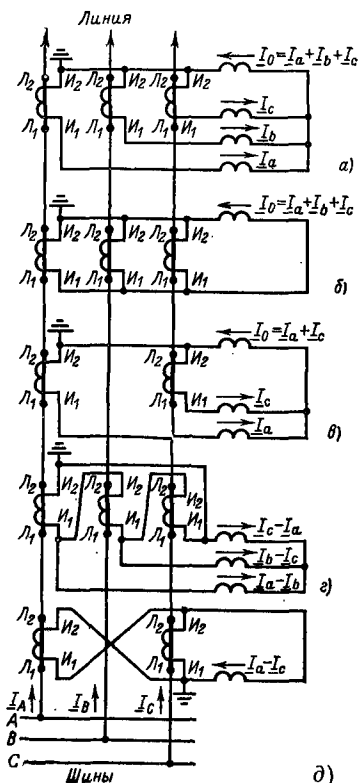


Рис. 1.23. Схемы соединения вторичных обмоток ТА

трансформации схемы в 2 раза меньше, чем n_{TA} каждого TA , а нагрузка на него вдвое больше. Это свойство TA используют, когда необходимо получить малые или нестандартные коэффициенты трансформации.

Проверка правильности соединения вторичных цепей TA . Полностью собранные и подключенные к защите или устройству электроавтоматики токовые цепи, как правило, проверяют первичным током прогрузки. Эта проверка является завершающей, поэтому желательно

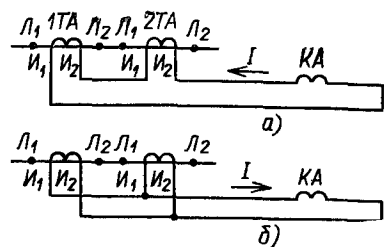


Рис. 1.24. Схемы включения вторичных обмоток двух TA в одной цепи:

а — последовательное; б — параллельное

измерения производить прибором ВАФ-85 без разрыва токовых цепей. При необходимости включения приборов непосредственно в токовые цепи подключение их производят на испытательных зажимах или испытательных блоках (при подготовительных работах и отсутствии тока). Если приборы включаются в процессе проверки и измерений, необходимо принимать меры, исключающие случайное размыкание цепей тока, влекущее за собой опасные для человека и цепей перенапряжения.

Проверку токовых цепей можно выполнить однофазным или трехфазным током. Проверка однофазным током выполняется по одной из приведенных на рис. 1.25 схем. Нагрузочным устройством TL

устанавливают ток в первичной цепи, равный 10—20 % номинального значения, и, измеряя токи во вторичных цепях, проверяют правильность выполнения токовых цепей. Соотношения измеряемых токов при правильном выполнении токовых цепей при наиболее вероятных ошибках и неисправностях приведены в табл. 1.13—1.17.

Проверку токовых цепей TA , соединенных в треугольник, производят дважды, например если при подаче тока в фазы $A-B$ и $B-C$, при проверке выявлена неисправность, то после ее устранения производят повторную проверку по той же схеме.

Проверка трехфазным током более трудоемкая и применяется главным образом при наладке дифференциальных защит трансформаторов, генераторов, блоков генератор—трансформатор, мощных электродвигателей, она обеспечивает полную уверенность в правильности выполнения токовых цепей и обеспечивает возможность включения оборудования с предварительно проверенными основными защитами. Устанавливают трехфазную закоротку на одной стороне силового трансформатора за трансформаторами тока; трехфазное напряжение, обычно от сборки 380 В достаточной мощности, подают силовым кабелем на другую сторону. Иногда при больших значениях реактивного сопротивления трансформаторов проверку током производят на напряжении 6 кВ. До испытаний предварительно рассчитывают возможный ток и определяют, с какой стороны трансформатора необходимо установить закоротку, на какую сторону подавать испытательное напряжение.

Ожидаемый испытательный ток $I_{\text{исп}}$, А, можно рассчитать по упрощенной формуле, не учитывающей падение напряжения в источнике питания:

$$I_{\text{исп}} = I_{\text{ном}} \frac{U_{\text{исп}} \cdot 100}{U_{\text{ном}} u_{\text{к}}},$$

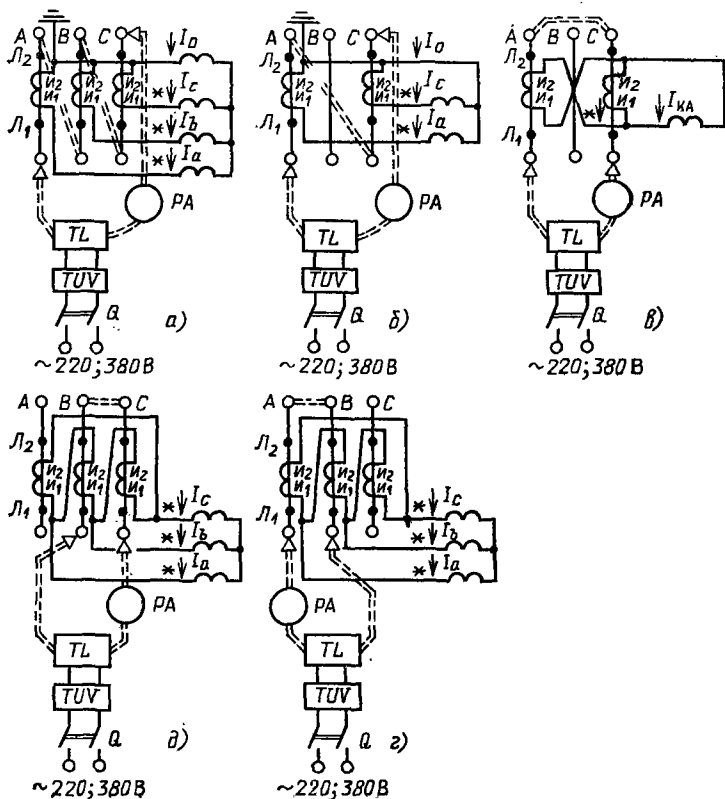
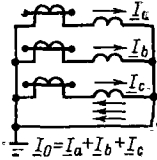
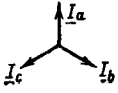
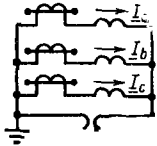
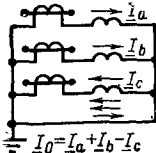
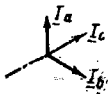


Рис. 1.25. Схемы проверки токовых цепей первичным однофазным током:

а — по схеме звезды; *б* — по схеме неполной звезды; *в* — по схеме на разность токов; *г* — по схеме треугольника, ток подан на фазы *AB*; *д* — по схеме треугольника, ток подан на фазы *BC*; *Q* — рубильник; *TUV* — регулировочный трансформатор; *TL* — нагрузочный трансформатор; *PA* — прибор для измерения первичного тока проградуировки; стрелками указаны места измерения вторичных токов ВАФ-85; * — полярная сторона токоизмерительных клещей; == — соединения первичной испытательной схемы

Таблица 1.13. Возможные неисправности в трехфазных схемах токовых цепей, соединенных в звезду

Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме рис. 1.25, а	Проверка трехфазным током от постоянного источника или током нагрузки	
		Вторичные токи	Векторная диаграмма токов для режима активной нагрузки
 Схема выполнена правильно	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = 3 \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = I_{нб}$	
 Обрыв нулевого провода	$I_a \approx I_b \approx I_c \approx 0$ или $\ll \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = 0$	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = 0$	
 Вторичная обмотка ТА в фазе С включена с обратной полярностью	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$	

Продолжение табл. 1.13

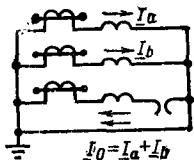
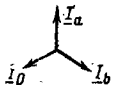
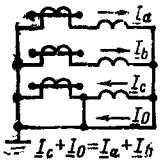
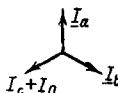
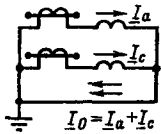
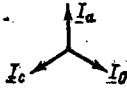
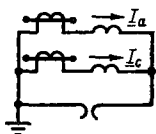
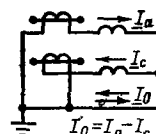
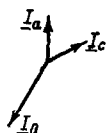
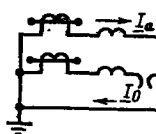
Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме рис. 1.25,а	Проверка трехфазным током от постороннего источника или током нагрузки	
		Вторичные токи	Векторная диаграмма для режима активной нагрузки
 Обрыв цепи или вторичной обмотки ТА фазы С	$I_a = I_b = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$ $I_0 = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_b = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$ $I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$	
 Закорочен ТА фазы С	$I_a = I_b = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c + I_0 = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_b = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c + I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$	

Таблица 1.14. Возможные неисправности в двухфазных схемах токовых цепей, соединенных в неполную звезду

Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме рис. 1.25,б	Проверка трехфазным током от постороннего источника или током нагрузки	
		Вторичные токи	Векторная диаграмма для режима активной нагрузки
	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	

Продолжение табл. 1.14

Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме рис. 1.25,б	Проверка трехфазным током от постороннего источника или током нагрузки	
		Вторичные токи	Векторная диаграмма для режима активной нагрузки
Схема выполнена правильно	$I_0 = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$	
 Обрыв нулевого провода	$I_a = I_c \approx 0$ или $\ll \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = 0$	$I_a = I_c$ $I_0 = 0$ Токи малы, зависят от параметров ТА	Векторная диаграмма неопределенная
 Вторичная обмотка ТА в фазе С включена с обратной полярностью	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = I_{н6}$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TA}}$	
 Обрыв цепи или вторичной обмотки ТА фазы С	$I_a = I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	$I_a = I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	

Продолжение табл. 1.14

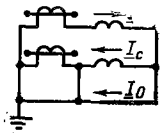
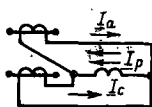
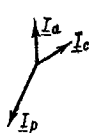
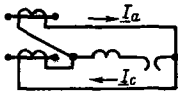
Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме рис. 1.25,б	Проверка трехфазным током от постороннего источника или током нагрузки	
		Вторичные токи	Векторная диаграмма для режима активной нагрузки
 Закорочен ТА фазы С	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c + I_o = \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c + I_o = \frac{I_1}{n_{TA}}$	

Таблица 1.15. Возможные неисправности в двухфазных схемах токовых цепей, соединенных на разность токов

Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме рис. 1.25,в	Проверка трехфазным током от постороннего источника или током нагрузки	
		Вторичные токи	Векторная диаграмма токов для режима активной нагрузки
 Схема выполнена правильно	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_p = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_p = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TA}}$	
 Обрыв цепи реле	$I_a = I_c = I_{нб}$ $I_p = 0$	$I_a = I_c$ $I_p = 0$ Токи малы, зависят от параметров ТА	Векторная диаграмма неопределенная

Продолжение табл. 1.15

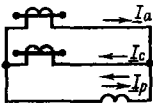
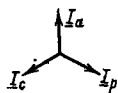
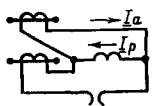
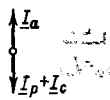
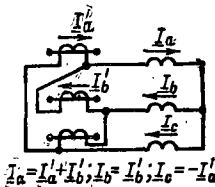
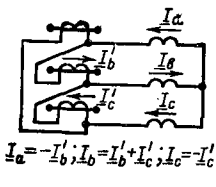
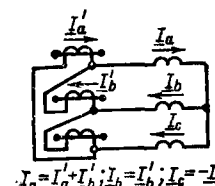
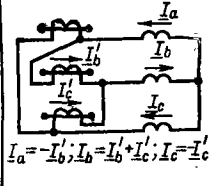
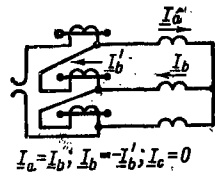
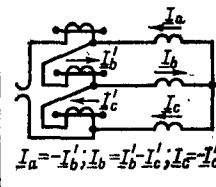
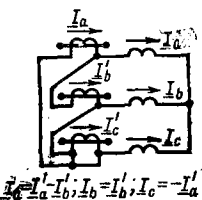
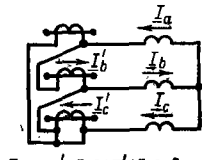
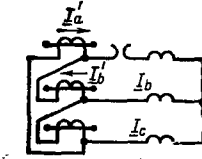
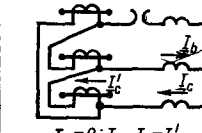
Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме рис. 1.25, а	Проверка трехфазным током от посторо- нного источника или током нагрузки	
		Вторичные токи	Векторная диаг- рамма токов для режима активной нагрузки
 Схема выполнена неправильно, ТА фазы С включен с обратной полярно- стью	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_p = I_{нб}$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_p = \frac{I_1}{n_{TA}}$	
 Обрыв цепи или вторичной обмот- ки ТА фазы С	$I_a = I_p = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	$I_a = I_p = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	
 Закорочен ТА фа- зы С	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_p + I_c$ $I_p + I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_p + I_c$ $I_p + I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	

Таблица 1.16. Возможные неисправности в трехфазных схемах токовых цепей, соединенных в треугольник

Проверка первичным током по схеме рис. 1.25, а. Ток подан на фазы А—В		Проверка первичным током по схеме рис. 1.25 б. Ток подан на фазы В—С	
Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи	Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи
 $\underline{I}_a = \underline{I}'_a + \underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b; \underline{I}_c = -\underline{I}'_a$	$I_a = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	 $\underline{I}_a = -\underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b + \underline{I}'_c; \underline{I}_c = -\underline{I}'_c$	$I_b = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$
Схема выполнена правильно			
 $\underline{I}_a = \underline{I}'_a + \underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b; \underline{I}_c = -\underline{I}'_a$	$I_a = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	 $\underline{I}_a = -\underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b + \underline{I}'_c; \underline{I}_c = -\underline{I}'_c$	$I_b \approx 0$ или $\ll \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$
Вторичная обмотка ТА в фазе С включена с обратной полярностью			
 $\underline{I}_a = \underline{I}'_b; \underline{I}_b = -\underline{I}'_b; \underline{I}_c = 0$	$I_a = I_b = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	 $\underline{I}_a = -\underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b - \underline{I}'_c; \underline{I}_c = -\underline{I}'_c$	$I_b = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$

Обрыв цепи или вторичной обмотки ТА фазы А

Продолжение табл. 1.16

Проверка первичным током по схеме рис. 1.25, г. Ток подан на фазы А—В		Проверка первичным током по схеме рис. 1.25, д. Ток подан на фазы В—С	
Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи	Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи
 $\underline{I}_a = \underline{I}'_a - \underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b - \underline{I}'_c; \underline{I}_c = -\underline{I}'_a$	$\begin{aligned} I_a &= 2 \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_b &= I_c = \\ &= \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$	 $\underline{I}_a = -\underline{I}'_b; \underline{I}_b \approx \underline{I}'_b; \underline{I}_c \approx 0 \text{ или } \ll \frac{I_1}{n_{TT}}$	$\begin{aligned} I_a &= \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_b &\approx \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_c &\approx 0 \\ &\text{или } \ll \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$
Закорочен ТА фазы С			
 $\underline{I}_a = 0; \underline{I}_b = \underline{I}_c = \underline{I}'_b = \underline{I}'_c \approx 0$	$\begin{aligned} I_a &= 0 \\ I_b &= I_c \approx 0 \end{aligned}$	 $\underline{I}_a = 0; \underline{I}_b = \underline{I}_c = \underline{I}'_b = \underline{I}'_c \approx 0$	$\begin{aligned} I_a &= 0 \\ I_b &= I_c = \\ &= \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$

Обрыв токового провода фазы А

Таблица 1.17. Возможные неисправности в трехфазных схемах токовых цепей, соединенных в треугольник

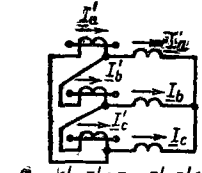
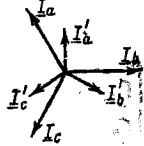
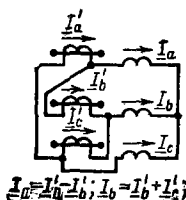
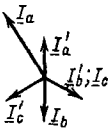
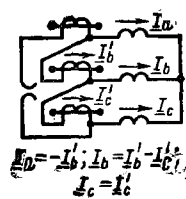
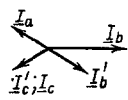
Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи	Векторная диаграмма токов для режима активной нагрузки
 $\underline{I}_a = \underline{I}'_a - \underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b - \underline{I}'_c; \underline{I}_c = \underline{I}'_c - \underline{I}'_a$	$\begin{aligned} I_a &= I_b = I_c = \sqrt{3} \times \\ &\times \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$	

Схема выполнена правильно

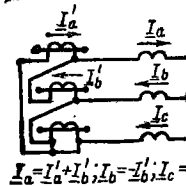
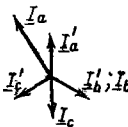
Продолжение табл. 1.17

Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи	Векторная диаграмма токов для режима активной нагрузки
 $\underline{I}_a = \underline{I}_a' - \underline{I}_b'; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_b' + \underline{I}_c';$ $\underline{I}_c = -(\underline{I}_c' + \underline{I}_a')$	$I_a = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	

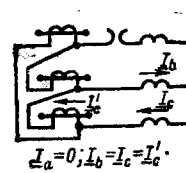
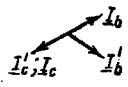
Вторичная обмотка ТА в фазе С включена с обратной полярностью

 $\underline{I}_a = -\underline{I}_b'; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_b' - \underline{I}_c';$ $\underline{I}_c = \underline{I}_c'$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TA}}$	

Обрыв цепи или вторичной обмотки ТА фазы А

 $\underline{I}_a = \underline{I}_a' + \underline{I}_b'; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_b'; \quad \underline{I}_c = -\underline{I}_a'$	$I_a = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	

Закорочен ТА фазы С

 $\underline{I}_a = 0; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_c = \underline{I}_c'$	$I_a = 0$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	

Обрыв токового провода фазы А

где $U_{\text{исп}}$ — испытательное напряжение, подводимое к трансформатору, $I_{\text{ном}}$ и $U_{\text{ном}}$ — номинальный ток, А, и напряжение, В, обмотки трансформатора, на которую подается испытательное напряжение; u_k — напряжение короткого замыкания прогружаемого трансформатора, %.

Полученное расчетное значение $I_{\text{исп}}$ не должно превышать номинального тока трансформатора и должно быть меньше допустимого тока источника с учетом мощности трансформатора собственных нужд,

допустимых токов, установленных на питающей сборке автоматических выключателей, и сечения кабелей. Если возникает необходимость при погрузке первичным током возможно снятие векторных диаграмм вторичных токов относительно произвольной, но синхронной системы напряжения, например от блока К515 устройства У5053. Соотношение токов и векторные диаграммы токов при проверке трехфазным током, а также наиболее вероятные ошибки и неисправности приведены в табл. 1.13—1.15; 1.17.

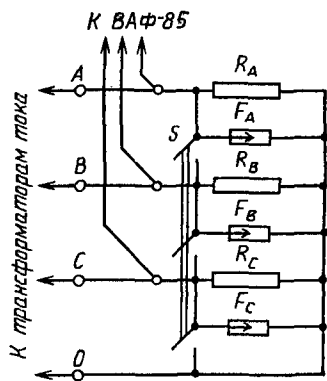
Для определенности режимов принято, что все векторные диаграммы приведены для случая активной нагрузки, фазные соотношения токов и характер векторных диаграмм будут аналогичны приведенным при любой симметричной нагрузке.

Токовые цепи защит блоков генератор — трансформатор и генераторов проверяют на обтекание током при опыте КЗ возбужденного генератора, работающего на закоротку.

Рис. 1.26. Принципиальная схема включения (а) и схема приспособления (б) для подключения прибора ВАФ-85 во вторичные цепи трансформаторов тока

Снять векторную диаграмму прибором ВАФ-85 в этом режиме в общем случае невозможно, так как напряжение на шинах генератора мало и прибор, подключенный к цепям напряжения TV , не работает: невозможно снять диаграмму, подключив ВАФ-85 к постороннему напряжению, в связи с тем что генератор работает несинхронно с энергосистемой. Поэтому если возникает необходимость качественного анализа выполнения токовых цепей при испытаниях генератора, можно рекомендовать схему приспособления (рис. 1.26) для получения системы напряжений синхронной с генератором. Если в каждую из фаз трансформаторов тока, включенных по схеме звезды, включить резистор сопротивлением около 50 Ом, то при токе 0,8—1 А с приспособления можно подавать на ВАФ-85 симметричное напряжение 70—85 В.

При опыте КЗ в данном режиме программой испытаний должны быть предусмотрены фиксация тока возбуждения и стабильный ток статора генератора, в этом случае даже такое значительное увеличение сопротивления во вторичных цепях трансформаторов тока TA вполне допустимо, так как не может привести к опасному для вторичных обмоток TA значению напряжений.



В приспособлении использованы три резистора типа ПЭ мощностью 100—150 Вт, $R=50$ Ом, параллельно которым в каждой фазе установлены пробивные предохранители типа ПП-А/3 на номинальном напряжении 220/230 В, рассчитанные на протекание токов до 200 А, которые срабатывают в случае обрыва резисторов и, шунтируя их, замыкают вторичные цепи трансформаторов тока ТА. Этим обеспечивается надежная защита ТА при обрыве их вторичной цепи и безопасная работа персонала. Трехполюсный рубильник S при необходимости шунтируют все трансформаторы тока сразу.

Использование, приспособления позволяет прибором ВАФ-85 снимать векторные диаграммы, даже если из-за пониженного напряжения ротор сельсина не вращается, тем не менее измерение фазы тока ВАФ-85 обеспечивает с достаточной точностью, необходимо только предварительно проверять чередование фаз фазоуказателем. Окончательное заключение о выполнении токовых цепей генераторов делают после завершения испытаний и включения его в работу и после снятия векторных диаграмм под нагрузкой относительно напряжения генератора.

1.6. Вторичные цепи трансформаторов напряжения и их проверка

При выполнении вторичных цепей трансформаторов напряжения (TV) должны выполняться следующие основные требования (рис. 1.27).

1. Трансформаторы напряжения всех напряжений должны иметь одинаковые группы соединения вторичных обмоток, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник. У обмоток, соединенных в звезду, заземляется начало фазы В. В схеме разомкнутого треугольника заземляется конец фазы В, а вершина разомкнутого треугольника берет-ся от начала фазы А.

2. Трансформаторы напряжения должны быть защищены от всех видов КЗ во вторичных цепях автоматическими выключателями SF1 и SF2. Во всех случаях должны устанавливаться автоматические выключатели типа АП-50 с кратностью срабатывания электромагнитных расцепителей 3, 5. Для повышения чувствительности к удаленным КЗ необходимо оставлять в работе тепловые расцепители. Автоматические выключатели в цепи основных обмоток TV 35—500 кВ выбираются по току срабатывания с учетом следующих соображений:

при включении TV на шины, при полуторной схеме, при подключении к трансформатору блока генератор—трансформатор в схеме многоугольника расчетный ток определяется по формуле

$$I_{\text{расч}} = 2 \frac{S_{\text{номTV}}}{U_{\text{номTV}}},$$

где $S_{\text{номTV}}$ — номинальная мощность TV в классе точности 1; $U_{\text{номTV}}$ — номинальное напряжение основной вторичной обмотки;

при включении TV типа НКФ на линию ток срабатывания электромагнитного расцепителя необходимо отстраивать от бросков емкостного тока при снятии напряжения с линии. Емкостный ток может

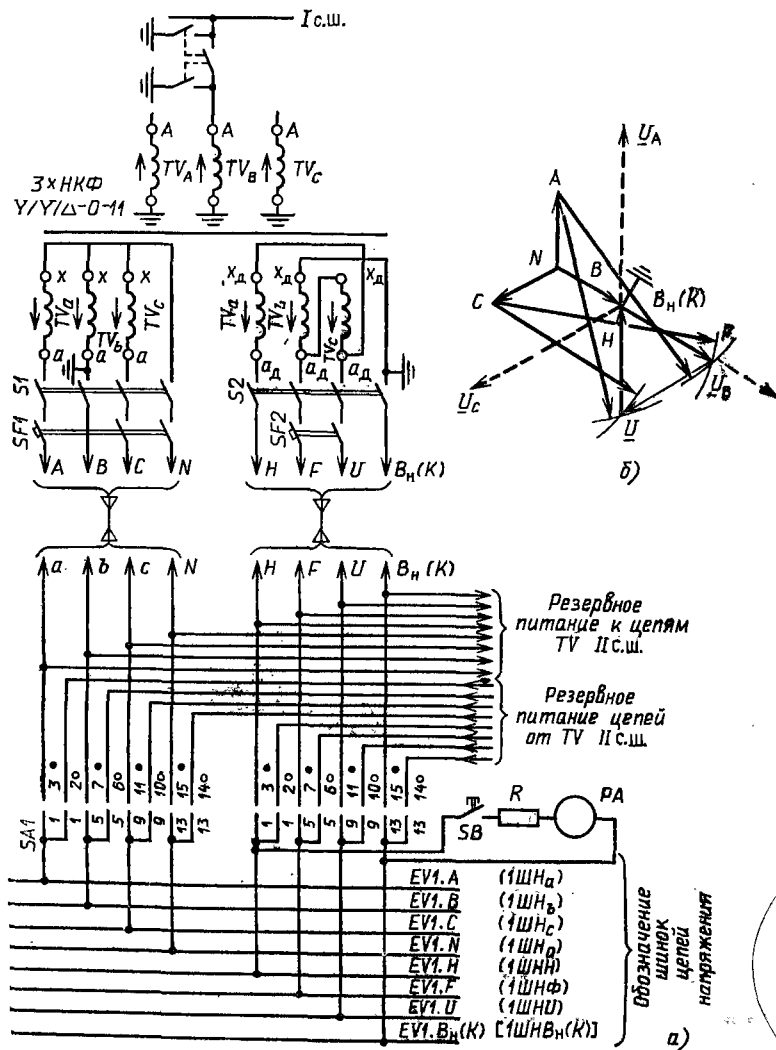


Рис. 1.27. Схема включения трансформаторов напряжения $3 \times \text{HKB}$ на шинах 110 кВ и выше, организация вторичных цепей TV:

а — принципиальная схема вторичных цепей напряжения (в скобках указаны обозначения шин, принятые в первом издании справочника ● — ключом SA1 подано напряжение от рабочих TV; ○ — ключом SA1 подано напряжение от резервных TV; б — векторная диаграмма напряжений

достигать 50—60 А. Расчетный ток в этом случае определяется по формуле

$$I_{\text{расч}} = \frac{K_n I_{2c}}{3,5},$$

где I_{2c} — максимальный емкостный ток во вторичных цепях; K_n — коэффициент надежности, принимаемый 1,3;

при включении TV типа НДЕ номинальный ток расцепителя выбирается по току минимальной нагрузки в классе точности 1. Выбор автоматических выключателей сведен в табл. 1.18;

Таблица 1.18. Защитные автоматические выключатели в цепях основных обмоток TV 35—500 кВ

Тип TV	Место установки TV	Расчетный номинальный ток расцепителя $I_{\text{расч}}$, А	Принятый $I_{\text{ном}}$, А
ЗНОМ-35	На сборных шинах при двойной системе шин, при полуторной схеме	$\frac{2 \cdot 250}{100/\sqrt{3}} = 8,66$	10
НКФ-110— НКФ-220		$\frac{2 \cdot 600}{100/\sqrt{3}} = 20,8$	25
НКФ-330— НКФ-500		$\frac{2 \cdot 500}{100/\sqrt{3}} = 17,32$	25
НДЕ-500	При подключении к трансформатору в схеме многоугольника	$\frac{2 \cdot 300}{100/\sqrt{3}} = 10,36$	10
НКФ-330— НКФ-500	На линии	$\frac{1,3 \cdot 60}{3,5} = 22,3$	25
НДЕ-500		$\frac{300}{100/\sqrt{3}} = 5,18$	6,4

автоматические выключатели в цепи разомкнутого треугольника TV 110—500 кВ (выводы F и U) устанавливаются на номинальный ток 2,5 А.

3. Заземление обмоток TV , соединенных в звезду и разомкнутый треугольник, необходимо выполнять на зажимах TV либо на ближайшей сборке зажимов отдельными заземлителями. Между обмотками TV и местом заземления не допускается устанавливать какую-либо коммутирующую аппаратуру. Рубильники $S1$ и $S2$, обеспечивающие видимый разрыв при работе во вторичных цепях TV , устанавливают после заземления.

4. Разводку цепей напряжения необходимо выполнять так, чтобы сумма токов в кабеле равнялась нулю. Для этого в одном кабеле прокладывают три фазных и нулевой провода от основных обмоток, соединенных в звезду, а в другом кабеле — все четыре провода от вершин разомкнутого треугольника.

Для прокладки необходимо использовать четырехжильные кабели с экранирующей металлической оболочкой, заземляемой с обеих сторон. При таком выполнении заземления цепей *TV* не допускается гальваническое объединение заземленных цепей в других точках как для основных и дополнительных обмоток одного *TV*, так и для заземленных цепей других *TV*.

5. Сечение жил кабелей должно отвечать следующим требованиям:

а) потеря напряжения в проводах не должна превышать директивных норм;

б) должно обеспечиваться надежное действие защитных автоматических выключателей при КЗ в любой точке вторичных цепей *TV*;

в) блокировки, устанавливаемые в устройствах релейной защиты, не должны ложно работать из-за увеличения падения напряжения во вторичных цепях *TV* при КЗ.

Расчеты показывают, что при выполнении требований пп. а), б) выполняется и требование п. в).

Расчет сопротивления фазного провода $R_{\text{фр}}$ в цепи основных обмоток проводится по формуле, Ом,

$$R_{\text{фр}} = \frac{\Delta U U_{\text{ном}}}{3 S_{\text{нагр}}},$$

где $S_{\text{нагр}}$ — нагрузка наиболее загруженной фазы *TV*, В·А; $U_{\text{ном}}$ — номинальное линейное напряжение вторичной цепи *TV*; ΔU — допустимая потеря напряжения, для измерительных приборов $\Delta U = 1,5$ В.

Если в цепях *TV* включено несколько устройств с различными нормами по допустимым потерям напряжения, то расчет по формуле ведется исходя из минимальных потерь напряжения. Максимально допустимые сопротивления проводов в одной фазе приведены в табл. 1.19,

Таблица 1.19. Допустимые сопротивления соединительных проводов в цепях

Тип <i>TV</i>	Максимальная нагрузка, В·А	Максимальное сопротивление провода в фазе, Ом	Место установки, <i>TV</i>
ЗНОМ	250	0,2	Сборные шины, полуторная схема, линия при подключении к трансформатору блока в схеме многоугольника
НКФ-110	600	0,083	
НКФ-220	600	0,083	
НКФ-330	300	0,167	
НКФ-500	500	0,1	
НДЕ-500	300	0,167	Малонагруженные <i>TV</i> в полуторной схеме
НДЕ-500	100	0,5	
НКФ-330	100	0,5	
НКФ-500	100	0,5	

с учетом перспективы развития энергообъекта расчет сечения кабеля иногда проводят не по результатам, полученным по приведенной формуле, а по максимально допустимым сопротивлениям в фазе.

Сечение жил кабеля q , мм², определяется по формуле

$$q = \frac{l}{\gamma r_{\text{пр}}},$$

где l — длина кабеля, м; γ — удельное сопротивление металла жил кабеля, м/(мм²·Ом) (равно 57 для меди и 34,5 для алюминия); $r_{\text{пр}}$ — сопротивление жилы кабеля, подсчитанное по формуле или взятое из таблицы, Ом.

При определении длин кабеля от трансформатора напряжения до щита необходимо учитывать, что в нее входит и двойная длина кабелей от TV до ближайшей сборки с коммутирующей аппаратурой. По результатам расчета принимается ближайшее большее стандартное сечение жил для данного типа кабеля, тогда потеря напряжения ΔU будет меньше допустимой.

Все перечисленные требования необходимо проверить при наладке вторичных цепей TV тщательным осмотром и специальными измерениями. При осмотре проверяют тип и сечение жил кабелей, место установки и выполнение монтажа шкафа с коммутирующей аппаратурой, надежность выполнения заземления вторичных обмоток и металлических экранов кабелей. При измерениях прозванивают жилы кабелей, прогрузкой переменным током проверяют действие электромагнитных и тепловых элементов защитных автоматических выключателей, убеждаются измерением сопротивления изоляции цепей, что заземление установлено раздельно для обмоток, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник, и выполнено в одной точке.

Как правило, вторичные цепи TV сложные, разветвленные, подходят к большому количеству панелей и пультов в различных помещениях, поэтому проверка их рабочим напряжением, особенно при пусковых испытаниях блока генератор—трансформатор, занимает много времени.

Это время можно значительно сократить, если полностью собранные цепи проверить, подав на первичные обмотки TV трехфазное напряжение 380 В от постороннего источника (рис. 1.28). Таким методом можно проверить TV до 220 кВ включительно, при проверках TV на генераторном напряжении измеряемые величины составляют единицы вольт, у TV 110—220 кВ — доли вольт, что вполне достаточно при использовании ВАФ-85. На ВАФ-85 для снятия диаграмм подают питание через блок-приставку К515 устройства У5053. Напряжение питания (380 В) блока-приставки то же, что и напряжение питания на TV . Для анализа полученную диаграмму напряжений во вторичных цепях TV сравнивают со снятой ВАФ-85 диаграммой фазных напряжений сети 380 В.

После подачи на TV рабочего напряжения в шкафу TV с помощью токоизмерительных клещей ВАФ-85 измеряют токи во всех проводах звезды и разомкнутого треугольника, чем контролируют отсутствие замыканий в цепях напряжения. Затем все цепи проверяют под нагрузкой, данную проверку производят на панели, куда приходят кабели от шкафа TV .

Вольтметром измеряют все фазные и линейные напряжения, при измерении напряжений относительно контура заземления определяют заземленную фазу. Фазоуказателем или ВАФ-85 определяют чередование фаз.

При прямом чередовании фаз a, b, c вращение на приборах должно быть по часовой стрелке. Проверяют выполнение цепей разомкнутого треугольника, напряжение каждой дополнительной обмотки должно быть 100 В или 100/3 в зависимости от исполнения (100/3 В для сетей с изолированной нейтралью).

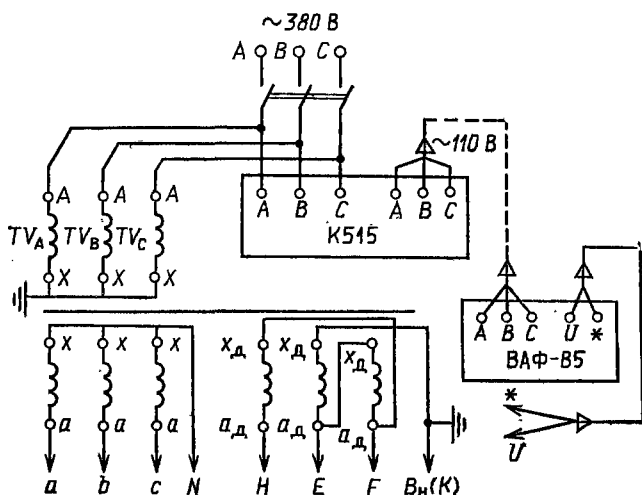


Рис. 1.28. Проверка выполнения цепей TV на пониженном напряжении 0,4 кВ

Положение вершин разомкнутого треугольника и заземленной фазы определяется засечками (см. рис. 1.27, б) с последующим графическим построением векторной диаграммы по измеренным напряжениям.

Выполнение цепей разомкнутого треугольника может быть проверено и снятием векторной диаграммы по напряжению с соблюдением условий, при которых начало измеряемого вектора напряжения, соответствующее полярному выводу обмотки TV , подключается на вывод ВАФ-85, отмеченный *. Необходимо проконтролировать напряжение небаланса в цепи $3U_0$, обычно $U_{вб}$ не превышает 2,5 В. В цепях 330—500 кВ наблюдается повышенный небаланс из-за наличия в сети составляющей частотой 150 Гц, что достаточно просто можно обнаружить и количественно оценить с помощью электроно-лучевого осциллографа.

Наибольшую сложность при проверке цепей напряжения представляет определение жил, отходящих от заземленной и незаземленной

вершин разомкнутого треугольника TV . Во многих случаях напряжения между «землей» (контур заземления помещения или панели) и заземленным $B_H(K)$ и незаземленным H выводами разомкнутого треугольника, замеренные на щите управления, имеют близкие малые значения. Это обусловлено наведенным напряжением между $З$ и заземленным выводом TV , поэтому измерением указанных напряжений не всегда удастся четко определить на щите или панели начало и конец разомкнутого треугольника, что может повлиять на правильность действия релейных защит. В Мосэнерго широко применяется рекомендуемый ниже простой и четкий способ проверки цепей $3U_0$ при новом включении.

Для этого на ряде зажимов панели, куда приходят кабели от TV , отсоединяют жилу кабеля с маркой H в сторону TV и вместо него к освободившемуся зажиму временной перемычкой подсоединяют провод U (рис. 1.29). Все термически нестойкие реле, подключенные к цепям разомкнутого треугольника, должны быть при данной проверке отключены для исключения возможности их повреждения.

Между зажимами H и $B_H(K)$ подключают резистор $R=50 \div 100$ Ом мощностью не менее 100 Вт, чем в цепи проводов $B_H(K)$ и U разомкнутого треугольника создается ток 1—2 А.

С помощью токоизмерительных клещей прибором ВАФ-85 измеряют токи в цепях $B_H(K)$ и U на ряде зажимов панели и в цепях $B_H(K)$ и U в шкафу TV , где можно визуально определить заземленную жилу. При правильно выполненных обозначениях на жилах кабелей на панели защиты и в шкафу TV в цепях $B_H(K)$ и U должен протекать ток 1—2 А, а в цепи H ток должен отсутствовать.

Если имеются два TV (две группы TV), то их цепи фазируют между собой, и в последующем цепи напряжения каждой панели защиты и автоматики фазируют с этими проверенными цепями.

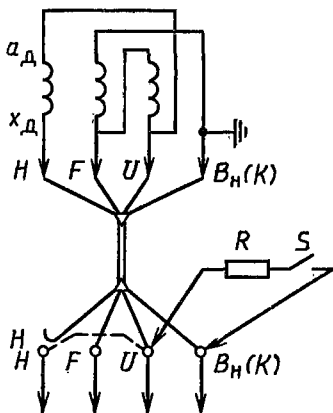


Рис. 1.29. Схема проверки выводов H и $B_H(K)$ цепей разомкнутого треугольника

Раздел второй

**ПРОВЕРКА И НАСТРОЙКА РЕЛЕЙНОЙ
АППАРАТУРЫ И ВТОРИЧНЫХ УСТРОЙСТВ
ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ****2.1. Общие требования по наладке вторичных устройств**

Наладка начинается с анализа проектных схем. При этом проверяется работоспособность схемы, отсутствие обходных цепей, соответствие проекта типовым решениям, руководящим и директивным указаниям, соответствие монтажа проекту, правильность комплектации оборудования (реле, сигнальных ламп, кнопок, переключателей, резисторов и т. п.), а также состояние изоляции цепей (см. разд. 1). В отдельных случаях, когда проектные уставки срабатывания не соответствуют конкретным условиям эксплуатации возникает необходимость в замене реле. Поэтому до начала проверок реле необходимо уже иметь уставки, утвержденные местной или центральной службой релейной защиты, автоматики и измерения МСРЗАИ или ЦСРЗАИ.

У всех реле производится осмотр целости корпуса, стекол, проверяется крепление деталей, качество паяк, чистота контактов. Подвижные части реле должны легко перемещаться в подшипниках и подпятниках, легко поворачиваться и возвращаться пружиной на место, отдельные витки пружины не должны соприкасаться. У реле проверяется ток или напряжение срабатывания и возврата, мегаомметром на 1000 В измеряется сопротивление изоляции токоведущих частей относительно корпуса реле и напряжением 1000 В переменного тока производится испытание изоляции (см. разд. 1). У ряда реле, где это будет оговорено, производятся и другие специальные испытания. Испытание изоляции повышенным напряжением допустимо производить совместно с испытанием вторичных цепей.

Разборка реле производится лишь в исключительных случаях, когда требуется ремонт (замена деталей, удаление грязи, ржавчины); смазка деталей реле не производится. Скрытые дефекты обнаруживаются электрическими испытаниями по отклонению различных показателей от нормальных, которые приведены ниже или в заводских инструкциях.

Проверяются и регулируются вспомогательные контакты коммутационных аппаратов—выключателей, разъединителей, магнитных пускателей и т. п. Вспомогательные контакты обычно связаны механически с приводами или непосредственно с аппаратами, и их положение должно отражать положение основного коммутационного аппарата (у воздушных выключателей переключение вспомогательных контактов производится пневматически, одновременно с переключением самого выключателя).

Вспомогательные контакты должны обеспечивать: надежный разрыв вторичной цепи (зазор не менее 4—5 мм); надежное замыкание цепи (вжим—«провал» — не менее 1,5—2 мм); у масляных выключателей — размыкание цепи включения выключателя (размыкающие контакты) в конце операции включения, а размыкание контактов в цепи

отключения (замыкающие контакты) должно происходить в начале операции отключения выключателя. Если количество цепей вспомогательных контактов недостаточно, тогда один или, для надежности, два контакта подключаются к промежуточным реле-повторителям, которые являются размножителями вспомогательных контактов. Реле-повторители помещаются вблизи основных устройств защит или автоматики и тем самым позволяют экономить в сложных устройствах кабельные линии.

2.2. Электромагнитные реле тока и напряжения

Электромагнитные реле тока и напряжения используются в устройствах защиты, сигнализации и автоматики в качестве элементов, реагирующих на превышение (или снижение) заданного тока или напряжения в определенных участках (элементах) электрических установок.

Реле тока типа РТ-40 предназначены для включения в цепь тока как непосредственно, так и через измерительные трансформаторы тока.

Реле напряжения типов РН-53 и РН-54 предназначены для подключения к цепям переменного напряжения, а реле типа РН-51/М — к цепям постоянного напряжения.

Реле напряжения типа РН-58 (с повышенным коэффициентом возврата k_v), реле тока типа РТ-40/1Д (с большой кратностью длительно допустимой перегрузки), РТ-40Ф (с пониженной чувствительностью к высшим гармоникам в токе) и РТ-40Р (с сумматором тока для специальных защит, в том числе и для схем УРОВ) имеют промежуточный трансформатор, ко вторичной обмотке которого подключено электромагнитное реле напряжения, являющееся исполнительным органом.

Основные технические данные реле приведены в табл. 2.1, данные реле с промежуточными трансформаторами — в табл. 2.2. Электрические схемы реле приведены на рис. 2.1.

В схемах дифференциальных защит часто реле тока РТ-40 включаются через промежуточные быстронасыщающиеся трансформаторы тока, которые конструктивно выполняются в одном общем корпусе (реле серий РНТ или ДЗТ, см. разд. 4).

Ревизия механической части. Якорь реле должен перемещаться от руки свободно, без заметного трения, люфт по оси должен быть в пределах 0,2—0,3 мм (на глаз). При необходимости люфт можно регулировать, освободив цапфу.

Полка лепестка якоря в притянутом состоянии должна образовывать одинаковый зазор, без перекосов, около 0,6 мм. Положение якоря в зазоре регулируется упорным винтом, а величина и равномерность зазора — перемещением магнитопровода при опущенных крепежных винтах. При всех положениях указателя уставки пружина должна четко возвращать якорь в исходное состояние после отпускания якоря рукой из любого положения. Верхний и нижний неподвижные контакты должны лежать в одной плоскости и должны быть параллельными. Проверяют затяжку гаек крепления неподвижных контактов к пластмассовой колодке. При этом отверткой удерживают крепежные винты во избежание смещения контактов.

Подвижный контакт должен от руки свободно качаться вокруг оси. Суммарный воздушный зазор между пластинами неподвижного контак-

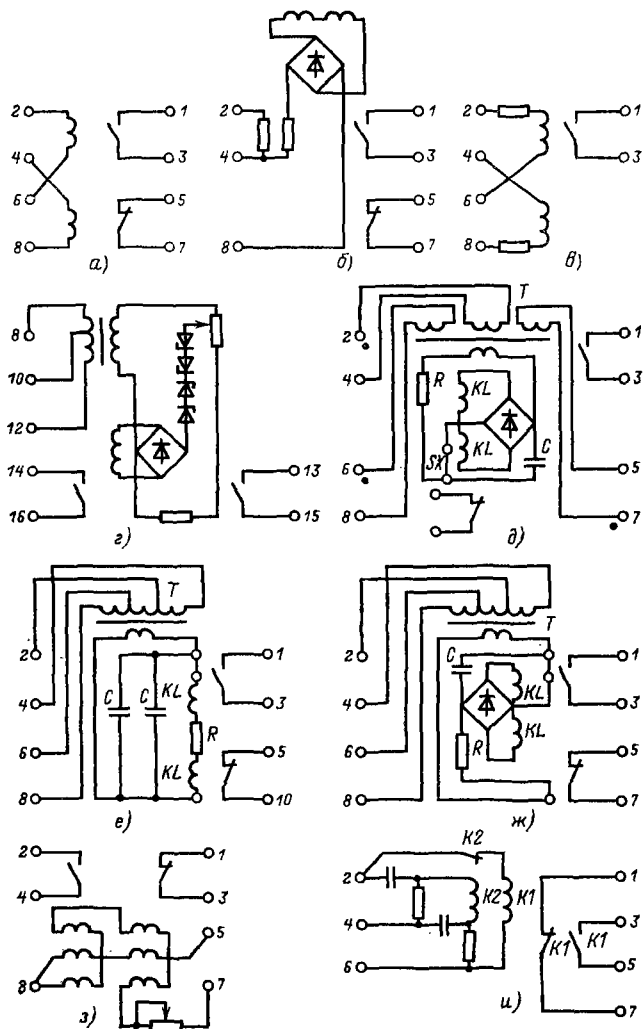


Рис. 2.1. Схемы электрических соединений электромагнитных реле и тока напряжения:

а — реле тока РТ-40 и исполнительных органов реле РНТ и ДЗТ; б — реле напряжения РН-53, РН-54, РН 53/60Д; в — реле постоянного напряжения РН-51; г — реле напряжения РН-58; д — реле трехфазного тока РТ-40/Р; е — реле тока с фильтром РТ-40/Ф; ж — то же РТ-40/Д; з — реле напряжения трехфазное РНВ-231; и — реле контроля обрыва фаз Е-511

Таблица 2.1. Технические данные реле тока и напряжения

Тип реле	Пределы уставок*	1-й диапазон уставок		2-й диапазон уставок		Коэффициент возврата K_B	Потребляемая мощность, Вт	Количество катушек $\times$ число витков	Добавочное сопротивление, Ом**
		Срабатывания	Термическая стойкость	Срабатывания	Термическая стойкость				
РТ-40/0,2	0,05—0,2	0,05—0,1	0,55	0,1—0,2	1,1	0,8	0,2	2×780	—
РТ-40/0,6	0,15—0,6	0,15—0,3	1,75	0,3—0,6	3,5	0,8	0,2	2×250	—
РТ-40/2	0,5—2	0,5—1	4,15	1—2	8,3	0,8	0,2	2×75	—
РТ-40/6	1,5—6	1,5—3	11	3—6	22	0,8	0,5	2×25	—
РТ-40/10	2,5—10	2,5—5	17	5—10	34	0,8	0,5	2×15	—
РТ-40/20	5—20	5—10	19	10—20	38	0,8	0,5	2×8	—
РТ-40/50	12,5—50	12,5—25	27	25—50	54	0,8	0,8	2×3	—
РТ-40/100	25—100	25—50	27	50—100	54	0,8	1,8	2×2	—
РТ-40/200	50—200	50—100	27	100—200	54	0,8	8	2×1	—
РТ-40/Р.1	0,065—0,26	Данные см. в табл. 2.2	1,1/ном	Данные см. в табл. 2.2	1,1/ном	0,7	1	Данные см. в табл. 2.2	—
РТ-40/Р.5	0,325—1,3		1,1/ном		1,1/ном	0,7	1		—
РТ-40/1Д	0,15—1		1,1/ном		1,1/ном	0,7	1,5		—
РТ-40/Ф	1,75—17,6		1,1/ном		1,1/ном	0,8	1		—
РНТ. ДЗТ	3,5—3,6	—	—	—	—	0,8	—	2×750	—
РН-53/60	15—60	15—30	33	30—60	66	0,8	1	2×2000	560/1380
РН-54/48	12—48	12—24	33	24—48	66	1,25	1	2×2000	560/1380
РН-53/200	50—200	50—100	110	100—200	220	0,8	1	2×6500	6800/15 900
РН-54/160	40—160	40—80	110	80—160	220	1,25	1	2×6500	6800/15 900
РН-53/400	100—400	100—200	220	200—400	440	0,8	1	2×1400	24 000/57 000
РН-54/320	80—320	80—160	220	160—320	440	1,25	1	2×1400	24 000/57 000
РН-53/60Д	15—60	15—30	110	30—60	220	0,8	5	2×6500	1300/4600
РН-51/М34	—	3,2	—	6,4	—	0,5	0,02 Вт	2×9500	—
РН-51/М56	—	0,7	—	1,4	—	0,5	0,02 Вт	2×2000	—
РН-51/М78	—	16	—	32	—	0,5	0,07 Вт	2×1400	2550/10 200

* Пределы и диапазоны уставок для реле серии РТ приведены в амперах, для реле серии РН — в вольтах.
 ** В числителе — для 1-го диапазона, в знаменателе — для 2-го.

Таблица 2.2. Технические данные реле тока с промежуточными трансформаторами

Тип реле	Первичная обмотка		Пределы уставок по обмоткам (на диапазоны не подразделяются), А	Вторичная обмотка		
	Обозначение выводов	Число витков		Число витков	Данные фильтра	Полупроводниковые элементы
РТ-40/Р-1	2—4	115	0,13—0,26	470	4 мкФ 250 В 100 Ом	Д226
	6—8	115	0,13—0,26			
	5—7	230	0,065—0,13			
РТ-40/Р-5	2—4	23	0,65—1,3	470	4 мкФ 250 В 100 Ом	Д226
	6—8	23	0,65—1,3			
	5—7	46	0,325—0,65			
РТ-40/1Д	2—4	30	0,5—1	470	4 мкФ 250 В 100 Ом	Д226
	2—6	50	0,3—0,6			
	2—8	100	0,15—0,3			
РТ-40/Ф	4—8	25	1,75—3,5	3050	6 мкФ 250 В (50 Гц) 5 мкФ 250 В (60 Гц)	—
	6—8	15	2,9—5,8			
	4—6	10	4,4—8,8			
	2—4	5	8,8—17,6			

та и мостиком подвижного контакта в крайних положениях якоря должен составлять 2—2,5 мм.

Проверяют, чтобы упорные винты, ограничивающие поворот якоря, не препятствовали вхождению полок якоря под полюсы, при этом подвижный контакт не должен задевать за торец неподвижного контакта при замыкании цепи, а также не должны доходить до края серебряных напаяк неподвижного контакта в конце хода якоря на 1,5—2 мм (рис. 2.2). Точка касания подвижного контакта с неподвижным должна находиться на расстоянии 1—1,5 мм от края посеребренной части неподвижного контакта, совместный ход (скольжение по неподвижному контакту) составляет 1—1,5 мм. Прогиб («провал») неподвижных контактов при замыкании (при крайних положениях якоря) должен быть не менее 0,3 мм.

Если заводская регулировка нарушена, то ее следует достигнуть либо смещением неподвижного контакта в пазу пластмассовой колодки, либо подгибанием его. Упорные винты якоря вращать до электрических испытаний не следует, так как это может изменить коэффициент возврата и вывести реле из шкалы уставок.

Впереди и позади пружинящих пластин неподвижного контакта имеются упоры, ограничивающие вибрацию контактов. Передний упор (со стороны неподвижного контакта) должен иметь зазор, просматриваемый на свет, а задний — несколько больший, но такой, чтобы пружина неподвижного контакта касалась упора лишь в конце поворота якоря при провале контакта.

Чистят контакты чистой тряпочкой, а в необходимых случаях — острым лезвием ножа, надфилем с мелкой насечкой (воронилом), но так чтобы не повредить серебряный защитный слой.

Осматривают состояние и крепление резисторов, полупроводниковых элементов, конденсаторов. Пинцетом проверяют качество пайки электрических контактов.

Электрические испытания. По схеме рис. 2.3 проверяют ток или напряжение срабатывания и возврата реле. У исполнительного органа реле серий РНТ и ДЗТ проверяют ток и напряжение срабатывания отдельно, без промежуточного трансформатора.

Проверка производится в рабочем диапазоне реле при положениях указателя шкалы на первой и последней уставках (проверка шкалы) и на рабочей отметке шкалы, т. е. при заданной уставке. Реле должно быть «в шкале», а ток или напряжение срабатывания не должны отличаться от заданной уставки более чем на 1—2 %. Проверка производится не менее 5 раз на каждой точке. Отклонение на 1 % от среднего значения свидетельствует о механических неисправностях или загрязнении подпятников. Если положение указателя не соответствует току или напряжению срабатывания, то следует поставить указатель на нужное деление шкалы, ослабить или затянуть пружину якоря, ослабив гайку, прижимающую снизу указатель. Ток или напряжение срабатывания можно увеличить или уменьшить, отвернув или завернув левый упорный винт. При этом, однако, можно нарушить правильность регулировки контакта и изменить коэффициент возврата реле.

Иногда по условиям работы защиты требуется увеличить коэффициент возврата реле максимального тока или напряжения или уменьшить коэффициент возврата для минимальных реле. Следует иметь в виду, что, завинчивая левый упор, уменьшают ток срабатывания, не изменяя тока возврата (для максимальных реле), а завинчивая правый упор якоря, уменьшают ток возврата, не изменяя тока срабатывания, т. е. первая операция уменьшает коэффициент возврата, а вторая увеличивает. Для минимальных реле порядок операций обратный.

Отклонение коэффициента возврата от номинального нарушает правильность шкалы реле. Такую регулировку производят лишь при необходимости и только на рабочей уставке, а затем проверяют ток или напряжение реле на крайних делениях шкалы. При увеличении

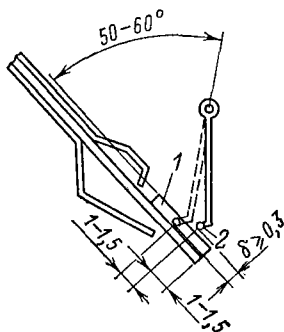


Рис. 2.2. Регулировка контактов реле серий РТ-40 и РН-50:

1 — неподвижный контакт; 2 — подвижный контакт

Таблица 2.3. Технические данные реле серии РН-55

Тип реле	Обмотка 1, выводы 2-4			Обмотка 2, выводы 6-8		
	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Количество витков	Добавочное сопротивление, Ом	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Количество витков	Добавочное сопротивление, Ом
РН-55/90	60	1350+1350	620	30	600+660	150
РН-55/120	60	1350+1350	620	60	1350+1350	620
РН-55/130	100	2500+2500	1600	30	660+660	150
РН-55/160	100	2500+2500	1600	60	1350+1350	620
РН-55/200	100	2500+2500	1600	100	2500+2500	1600

коэффициента возврата максимальных реле (или при уменьшении — минимальных) может наблюдаться значительная вибрация контактов.

В табл. 2.3 приведены данные реле серии РН-55, которые применяются в схемах контроля синхронизма и блокировки от несинхронных включений. Реле отличаются от обычных реле напряжения тем, что они имеют две пары изолированных и независимых обмоток, последователь-

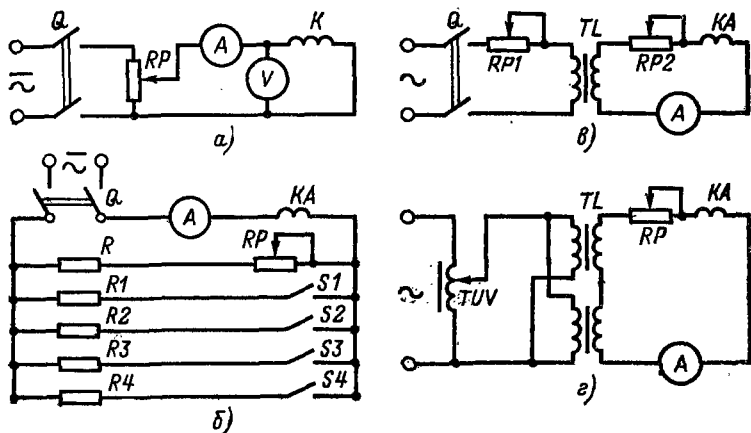


Рис. 2.3. Схемы проверки тока и напряжения срабатывания и возврата реле:

а — проверка реле напряжения и токовых реле (до 2—5 А); б — проверка реле тока до 100 А реостатом; в — проверка реле тока с нагрузочным трансформатором; г — то же, но с регулировкой тока автотрансформатором; Q — рубильник; R1—R4 — регулировочные реостаты; RP — потенциометр; R — добавочный резистор; TL — нагрузочный трансформатор; TUV — регулировочный трансформатор; K — проверяемое реле

но с которыми включены резисторы. Номинальные напряжения обмоток — 30, 60 или 100 В, однополярные выводы обмоток реле — 2 и 8 (рисунок не приводится). Шкала реле градуирована в градусах (от 20

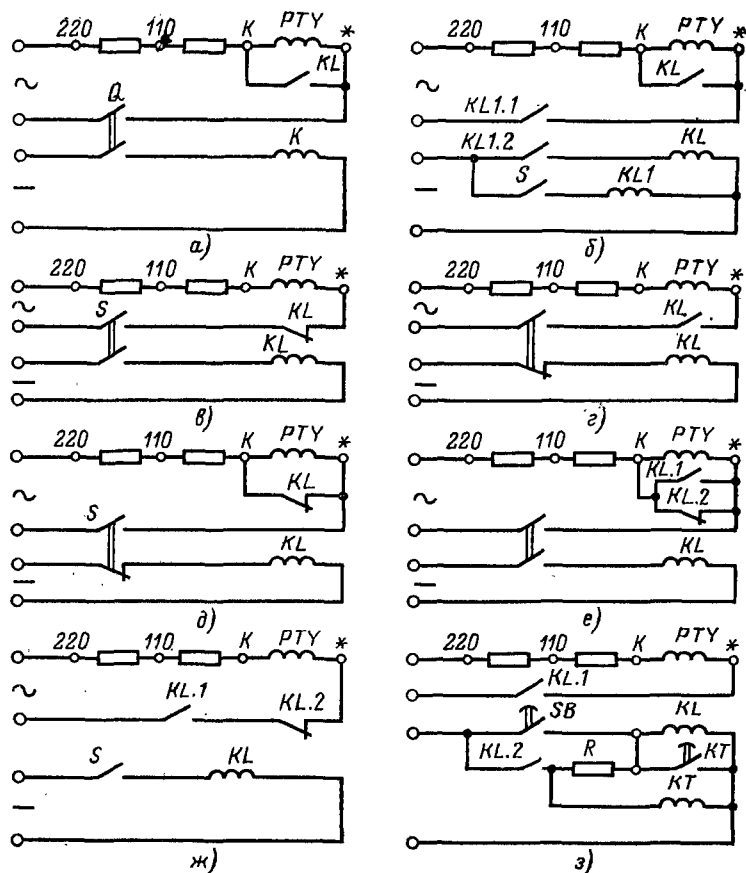


Рис. 2.4. Измерение времени работы контактов реле при помощи электросекундомера ПВ-53:

а, б — время замыкания контактов при срабатывании реле; в — время размыкания контактов при срабатывании реле; г — то же при возврате реле; д — время замыкания размыкающих контактов при возврате реле; е — время (продолжительность) бестоковой паузы для переключающих контактов; ж — время перекрытия мостящих контактов (длительность импульса); з — время срабатывания проскальзывающих контактов; КЛ — проверяемое реле; S — выключатель (пуск схемы); SB — кнопка; ПТУ — электромагнит электросекундомера; в схеме б и з используется вспомогательное реле КЛ.1

$$U = 2U_{\text{ном}} \sin \frac{\varphi_{\text{зад}}}{2},$$

где $\varphi_{\text{зад}}$ — заданный угол срабатывания (уставка).

Проверяется работа контактов реле в схеме при наличии оперативного тока и при нормальной рабочей нагрузке на контакты. Проверка контактов производится при $1,05 I_{\text{ср}}(U_{\text{ср}})$ и максимальном токе аварийного режима для максимальных реле и при $0,95 I_{\text{ср}}(U_{\text{ср}})$ — для минимальных реле.

При необходимости измеряется время срабатывания реле при $1,2 I_{\text{ср}}$ и $2 I_{\text{ср}} = (U_{\text{ср}})$ для максимальных реле (замыкающие контакты) и при $0,8 I_{\text{ср}}(U_{\text{ср}})$ для минимальных реле (размыкающие контакты). Измерение времени производится по схеме рис. 2.4, а и б или рис. 2.5, а и б.

Чебоксарский электроаппаратный завод начал выпускать реле тока и напряжения в унифицированном корпусе «Сура». Такие реле маркируются как серия РН140 и РТ140.

2.3. Индукционные реле тока

Особенностью индукционных реле серии РТ (рис. 2.6) является сочетание в них двух видов защиты: токовой отсечки мгновенного действия и чувствительной токовой защиты с зависимой от тока выдержкой времени (рис. 2.7). Реле могут работать только на переменном токе. Технические данные реле приводятся в табл. 2.4. Реле РТ-85, РТ-86 и РТ-95 могут работать в схемах защит на оперативном переменном токе.

Ревизия механической части. Винт уставки тока срабатывания (переключения отпаяк электромагнита) должен закручиваться до конца без проворачивания во всех гнездах, плотно прилегая плоскостью головки к металлической планке. Регулировочный винт уставки отсечки должен хорошо тормозиться упорной пластиной. Рамка должна свобод-

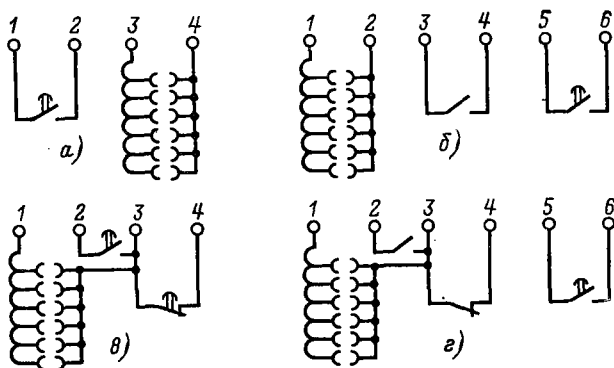


Рис. 2.6. Схема электрических соединений индукционных реле:

а — РТ-81, РТ-82, РТ-91; б — РТ-83, РТ-84; в — РТ-85, РТ-95; г — РТ-86

Таблица 2.4. Пределы уставок индукционных элементов

Тип реле	Диапазон токов срабатывания, А	Выдержка времени (в независимой части), с
РТ-81/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-81/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-82/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	$2 \pm 0,5 \div 16 \pm 1$
РТ-82/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	$2 \pm 0,5 \div 16 \pm 1$
РТ-83/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	$1 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-83/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	$1 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-84/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	$4 \pm 0,5 \div 16 \pm 1$
РТ-84/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	$4 \pm 0,5 \div 16 \pm 1$
РТ-85/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-85/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-86/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	$4 \pm 0,5 \div 16 \pm 1$
РТ-86/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	$4 \pm 0,5 \div 16 \pm 1$
РТ-91/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-91/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-95/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$
РТ-95/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$

но качаться и иметь вертикальный люфт около 1 мм, а диск должен легко вращаться, имея люфт в подпятниках 0,3—0,5 мм. При вращении диска должен быть равномерный зазор не менее 0,3 мм между диском и полюсами постоянного магнита в электромагните. Якорь элемента отсечки должен поворачиваться без заеданий (люфт в осевом направлении 0,1—0,2 мм), а правый конец его должен при срабатывании прилегать всей плоскостью среза к основному магнитопроводу.

Проверяется свободное вращение сектора и зацепление червяка диска с сектором при повороте рамки с диском от руки при любом положении поводка, регулирующего время срабатывания (при любой уставке времени срабатывания). Проверяется чистота контактов и расстояние между подвижными и неподвижными контактами. Расстояние в разомкнутом состоянии должно составлять 2—3 мм, а для сигнальных контактов — не менее 1,5 мм. Провал контактов 0,8—1 мм.

Коэффициент возврата всех реле — не менее 0,8, мощность, потребляемая реле при токе, равном току уставки, — не более 10 В·А, а у реле РТ-91 и РТ-95 — не более 30 В·А. Уставка электромагнитного элемента отсечки зависит от индукционного элемента и связана с последней соотношением

$$\frac{I_{\text{ср.отс}}}{I_{\text{ср}}} = 2 \div 8.$$

Проверка электрических характеристик. Проверка проводится по схемам рис. 2.3, б и в.

При проверке следует выбирать $R_d \geq 5Z$ реле. Особенно важно соблюдать это условие при проверке работы индукционного элемента. За

ток срабатывания индукционного элемента принимают ток, при котором червяк входит в надежное зацепление с зубчатым сектором. Если механическая часть реле исправна, то ток начала вращения диска должен быть не более $0,25 I_{\text{ср}}$.

Срабатывание должно быть четким: если рамка начала движение, то движение должно закончиться вхождением в зацепление червяка с зубчатым сектором. «Плавание» рамки при токе срабатывания недопустимо. Если наблюдается плавание, то следует подогнуть стальную

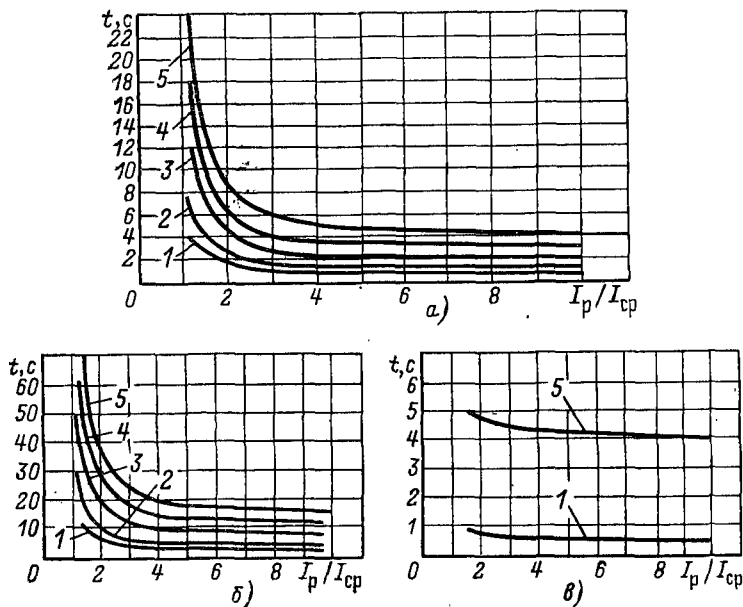


Рис. 2.7. Временные характеристики индукционных реле:

а — РТ-81, РТ-83, РТ-85; б — РТ-82, РТ-84, РТ-86; в — РТ-91, РТ-95. Уставки на время срабатывания: 1 — 0,5 с; 2 — 1,0 с; 3 — 2 с; 4 — 3 с; 5 — 4 с (рис. 2.7, а, в); 1 — 2 с; 2 — 4 с; 3 — 8 с; 4 — 12 с; 5 — 16 с (рис. 2.7, б)

скобу, которая расположена внизу рамки, так, чтобы при срабатывании конец скобы приблизился к электромагниту. При этом уменьшится коэффициент возврата реле.

Если ток срабатывания индукционного элемента отличается более чем на 5 % от заводской шкалы, то следует регулировать ток срабатывания изменением натяжения возвратной пружины рамки реле, которая расположена внизу рамки.

Коэффициент возврата реле должен быть не менее 0,8. Желательно при наладке реле отрегулировать k_a выше номинального (0,85—0,87).

Ток возврата можно регулировать (в малых пределах) упорным винтом подвижной рамки. Проверка токов срабатывания и возврата производится не менее 5 раз на каждой уставке.

Особенностью проверки отсечки (элемента без замедления при срабатывании) является то, что для проверки требуются большие токи, при которых реле перегружается и обмотка его перегревается. Поэтому источник тока при этих проверках необходимо подключать кратковременно. Рекомендуется пользоваться при проверке тока срабатывания «импульсным» (максимальным) амперметром и, быстро увеличивая ток до срабатывания отсечки, отключать ток сразу после срабатывания реле.

Если нет импульсного амперметра, то измерения можно проводить и с помощью обычного амперметра, кратковременно подключая источник тока и каждый раз ступеньками увеличивая ток до срабатывания реле. После срабатывания нужно несколько уменьшить подводимое напряжение, чтобы убедиться в пороге надежного срабатывания (не менее пяти раз подряд). Во избежание перегрева реле после каждого опыта следует дать реле возможность остыть.

2.4. Реле времени

Реле времени используются в схемах защит автоматики и сигнализации для создания регулируемой выдержки времени (замедления) в подаче исполнительного команды после получения управляющего сигнала.

У реле с механическим замедлением переключения исполнительных органов — контактов производит часовой механизм или электродвигатель с редуктором. Часовой механизм пускается в работу электромагнитом, т. е. воспринимающим органом реле (реле серии ЭВ-100 с электромагнитами постоянного тока и серии ЭВ-200 с электромагнитами переменного тока). Пуск реле серии Е и ВС осуществляется электромагнитом сцепления.

Реле с часовым механизмом серий ЭВ-100 и ЭВ-200. При ревизии механической части проверяется ход плунжера (якоря) электромагнита. Плунжер должен иметь поперечный люфт 0,3—0,6 мм, хорошо полированные поверхности его не должны иметь следов коррозии. После нажатия на плунжер часовой механизм должен доводить стрелку с подвижным контактом до максимальной уставки (при соответствующем положении упорного неподвижного контакта) и замыкать неподвижные контакты. Подвижный контакт должен одновременно касаться серебряных напаяк обеих пластин неподвижного контакта, не касаясь при этом самих пластин и обеспечивая прогиб их (провал) не менее чем на 0,7—1 мм.

Подвижная пластина мгновенного переключающего контакта должна быть прямой, при касании размыкающего контакта она должна прогибаться в среднем на 0,5 мм, при замыкании замыкающего контакта — на 1—2 мм. Зазор между неподвижным и подвижным контактами должен быть около 2,5 мм, а у реле, работающих с ВУ-200, — 1,5 мм. При медленном опускании плунжера часовой механизм вместе со стрелкой должен вернуться в исходное положение.

Реле типов ЭВ-112—ЭВ-142 и ЭВ-114—ЭВ-144 на напряжении 110 и 220 В имеют искрогасительную RC-цепочку, включенную параллельно

обмотке электромагнита реле (рис. 2.8) и облегчающую работу контактов, пускающих реле времени.

Если в результате электрических испытаний будет установлено, что время срабатывания не соответствует показаниям шкалы, то следует ослабить винты, крепящие шкалу, и повернуть ее в нужном направлении. Если же реле срабатывает значительно медленнее или разброс времени срабатывания больше нормы, то следует снять и разобрать ча-

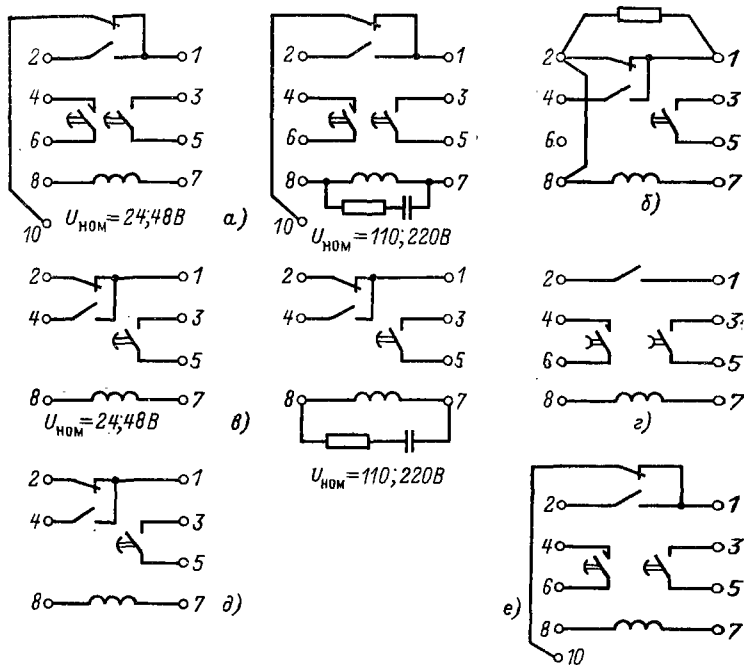


Рис. 2.8. Схемы электрических соединений реле серий ЭВ-100 и ЭВ-200: а — ЭВ-112, ЭВ-122, ЭВ-132, ЭВ-142; б — ЭВ-113, ЭВ-123, ЭВ-133, ЭВ-143; в — ЭВ-114, ЭВ-124, ЭВ-134, ЭВ-144; г — ЭВ-215, ЭВ-225, ЭВ-235, ЭВ-245 (при притяннутом якоре); д — ЭВ-217, ЭВ-227, ЭВ-237, ЭВ-247; е — ЭВ-218, ЭВ-228, ЭВ-238, ЭВ-248

совой механизм реле, удалить грязь и старую смазку кисточкой с чистым бензином марки «Галоша» ГОСТ 443—76, промыть все детали и высушить их, трущиеся детали и тяговую пружину смазать тонким слоем масла — по одной-две капли масла марки ВНИИ МП-1-4МО (ГОСТ 13374—67). После сборки механизма проверяют время срабатывания и, в случае необходимости, проводят подрегулировку при помощи тяговой пружины.

Электрические проверки реле серий ЭВ-100 и ЭВ-200. Проверяются

Таблица 2.5. Технические данные реле времени с часовым механизмом

Тип реле	Пределы уставок, с	Максимальный разброс, с	Время замкнутого состояния переключающих контактов, с	$\frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{ном}}}$	$\frac{U_{\text{в}}}{U_{\text{ном}}}$	Мощность P	Примечание
Реле постоянного тока $U_{\text{ном}} = 24, 48, 110$ или 220 В; $P, \text{Вт}$							
ЭВ-112	0,1—1,3	0,06	0,05—0,1	0,7	0,1	30	При напряжении $1,1U_{\text{ном}}$ реле могут находиться не более 2 мин; ЭВ-113, ЭВ-123, ЭВ-133, ЭВ-143 — длительно
ЭВ-113	0,1—1,3	0,06	—	0,7	0,03—0,05	30/15	
ЭВ-114	0,1—1,3	0,06	—	0,7	0,1	30	
ЭВ-122	0,25—3,5	0,12	0,17—0,25	0,7	0,1	30	
ЭВ-123	0,25—3,5	0,12	—	0,7	0,03—0,05	30/15	
ЭВ-124	0,25—3,5	0,12	—	0,7	0,1	30	
ЭВ-132	0,5—9	0,25	0,45—0,65	0,7	0,1	30	
ЭВ-133	0,5—9	0,25	—	0,7	0,03—0,05	30/15	
ЭВ-134	0,5—9	0,25	—	0,7	0,1	30	
ЭВ-142	1—20	0,8	1—1,5	0,7	0,1	30	
ЭВ-143	1—20	0,8	—	0,7	0,03—0,05	30/15	
ЭВ-144	1—20	0,8	—	0,7	0,1	30	
Реле переменного тока $U_{\text{ном}} = 100, 127, 220$ или 380 В; $P, \text{В} \cdot \text{А}$							
ЭВ-215	0,1—1,3	0,06	0,05—0,1	0,75	0,55	20	Реле ЭВ-215, ЭВ-225, ЭВ-235, ЭВ-245 замыкают контакты с заданной выдержкой при возврате реле. Эти реле в комплекте с ВУ-200 работают как трехфазные и обозначаются соответственно ЭВ-215К, ЭВ-225К, ЭВ-235К, ЭВ-245К, $U_{\text{в}} \leq 0,35 \text{ В}$
ЭВ-217	0,1—1,3	0,06	—	0,85	0,55	15	
ЭВ-218	0,1—1,3	0,06	0,05—0,1	0,85	0,55	15	
ЭВ-225	0,25—3,5	0,12	0,1—0,6	0,75	0,55	20	
ЭВ-227	0,25—3,5	0,12	—	0,85	0,55	15	
ЭВ-228	0,25—3,5	0,12	0,1—0,6	0,85	0,55	15	
ЭВ-235	0,5—9	0,25	0,1—0,75	0,75	0,55	20	
ЭВ-237	0,5—9	0,25	—	0,85	0,55	15	
ЭВ-238	0,5—9	0,25	0,1—0,75	0,85	0,55	15	
ЭВ-245	1—20	0,8	0,1—1,5	0,75	0,55	20	
ЭВ-247	1—20	0,8	—	0,85	0,55	15	
ЭВ-248	1—20	0,8	0,1—1,5	0,85	0,55	15	

напряжения срабатывания и возврата, которые должны быть в пределах, указанных в табл. 2.5. Для трехфазных реле (рис. 2.9) типов ЭВ-215К—ЭВ-245К напряжение возврата—не более $0,35 U_{ном}$, а при двухфазном питании — не более $0,55 U_{ном}$. Проверяется время срабатывания реле на наибольшей уставке по шкале и на рабочей (заданной) уставке по схемам рис. 2.4, а, б, для реле типов ЭВ-215—ЭВ-245 — по схеме рис. 2.4, д, срабатывание проскальзывающих контактов — по схеме рис. 2.4, з.

На каждой уставке производится не менее пяти измерений, при этом разброс не должен превышать величин, указанных в табл. 2.5. Увеличение разброса указывает на механические неисправности, наличие грязи или отсутствие смазки в часовом механизме; в этом случае требуется провести ревизию часового механизма.

Реле времени с микродвигателями. В реле серии Е-52 и ВС-10 приводным механизмом служат синхронные микродвигатели, а в реле типов Е-512 и Е-513 — двигатели постоянного тока, снабженные устройствами для автоматического поддержания постоянной частоты вращения. При помощи редуктора вращение передается кулачковому механизму, который управляет контактами. Реле имеет электромагнит, управляющий сцепляющим механизмом. После срабатывания контактов с наибольшей выдержкой времени специальный контакт отключает электродвигатель от пусковой схемы, а после исчезновения управляющего сигнала обесточивается электромагнит сцепления и пружина возвращает реле в исходное положение.

На рис. 2.10 показана кинематическая схема реле времени с микродвигателем на примере реле серии ВС-10. Изменением начального положения дисков со шкалой времени и упорами, переключающими при помощи кулачков контакты, можно задать нужное время срабатывания реле. Пределы регулирования уставок определяются передаточным числом редуктора.

Электрические схемы реле времени приведены на рис. 2.11, а технические данные — в табл. 2.6. Пуск реле может осуществляться как раздельными командами для электродвигателя и электромагнита сцепления, так и от общей цепи. В первом случае обеспечивается большая точность срабатывания во времени, что может иметь значение для малых времен, а также более быстрый возврат реле.

При ревизии реле с микродвигателями серий ВС-10, Е-52—Е-500 следует обращать внимание на работу механизма сцепления: при подтягивании вручную якоря электромагнита сцепления редуктор должен надежно сцепляться с приводом вала, управляющего контактами. При ослаблении маховичков дисков со шкалами уставок эти диски должны легко поворачиваться на главной оси. Когда сцепление не работает, диски со шкалами должны вращаться и толкать кулачки или другие уст-

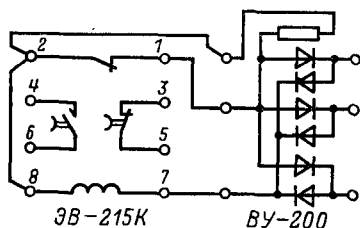


Рис. 2.9. Схема соединений трехфазного реле времени с ВУ-200

ройства, которые переключают контакты, а после опускания пружина должна сама вернуть в исходное положение все шкалы, находящиеся на главной оси. Контакты при этом должны вернуться в исходное положение (у реле типов Е-512 и Е-513 возврат контактов производится пружиной после опускания якоря электромагнита сцепления).

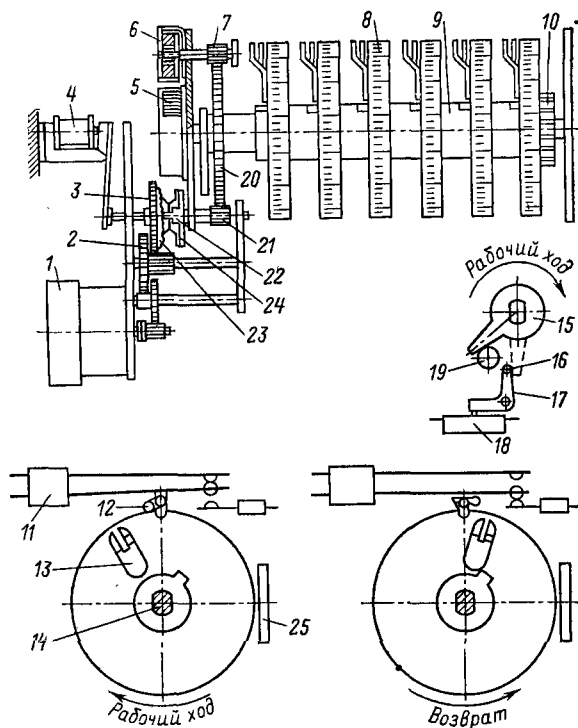


Рис. 2.10. Кинематическая схема реле ВС-10:

1 — синхронный двигатель; 2 — редуктор; 3, 22 — диски сцепления; 4 — электромагнит; 5 — возвратная пружина; 6 — центробежный тормоз; 7, 21 — шестерни; 8 — шкала; 9 — втулка; 10 — зажимная гайка; 11 — контактная система; 12 — кулачок; 13, 19 — упоры; 14 — главная ось; 15, 17 — рычаги; 16 — палец; 18 — конечный выключатель; 20 — шестерня; 23 — ось сцепления; 24 — пружина; 25 — визир

Электрические испытания реле. Проверяется напряжение срабатывания электромагнита сцепления и работа привода при допусковом понижении напряжении. Проверку времени срабатывания реле, в том числе и на рабочих уставках, при времени срабатывания не более 20 с можно производить по часам с секундной стрелкой, а при времени менее 20 с — секундомером по схемам рис. 2.4 и 2.5.

Таблица 2.6. Технические данные реле времени с микродвигателями

Тип реле	Пределы уставок	Погрешность	Номинальное напряжение, В	Напряжения срабатывания по отношению к $U_{ном}$	Потребляемая мощность, В · А	Исполнение контактов
Е-52	1—60 с	0,25—1 с	~12, 127, 220	0,85	25	2 з. + 1 р.
Е-512 Е-513	1—5 мин 6—60 с	$\pm 5\% + 1$ с $\pm 5\% +$ $+ 0,25$ с	—220 —220	0,85 0,85	30 30	4 р. с выдержкой времени + п. мгновенный (возможна замена р. контакта на з.)
BC-10-31 BC-10-32 (BC-10-62) BC-10-33 (BC-10-63) BC-10-34 (BC-10-64) BC-10-35 (BC-10-65) BC-10-36 (BC-10-66)	2—60 с 5—180 с 15 с—9 мин 1—30 мин 3—90 мин 9 мин— 4 ч 30 мин 24 мин— 10 ч 1—24 ч	$\pm 0,2$ с $\pm 0,7$ с ± 2 с ± 7 с ± 20 с ± 1 мин ± 2 мин ± 5 мин	~12, 127, 220 ~12, 127, 220 ~12, 127, 220 ~12, 127, 220 ~12, 127, 220 ~12, 127, 220 ~12, 127, 220 ~12, 127, 220 ~12, 127, 220	0,9 0,9 0,9 0,9 0,9 0,9 0,9 0,9 0,9	19 19 19 19 19 19 19 19 19	BC-10-31—BC-10-38 по 3 п. контакта BC-10-62—BC-10-68 по 6 п. контактов
BC-10-37 (BC-10-67) BC-10-38 (BC-10-68)						

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения контактов: з. — замыкающие; р. — размыкающие, п. — переключающие контакты.

У многоцепных реле времени рекомендуется для каждой цепи делать свою уставку срабатывания (если это допустимо по условиям работы схемы), а если используются не все цепи, то на свободных цепях поставить наибольшие уставки (больше, чем время срабатывания размыкающего контакта в цепи электродвигателя), но с разбивкой по времени срабатывания, чтобы электродвигатель и возвратная пружина не

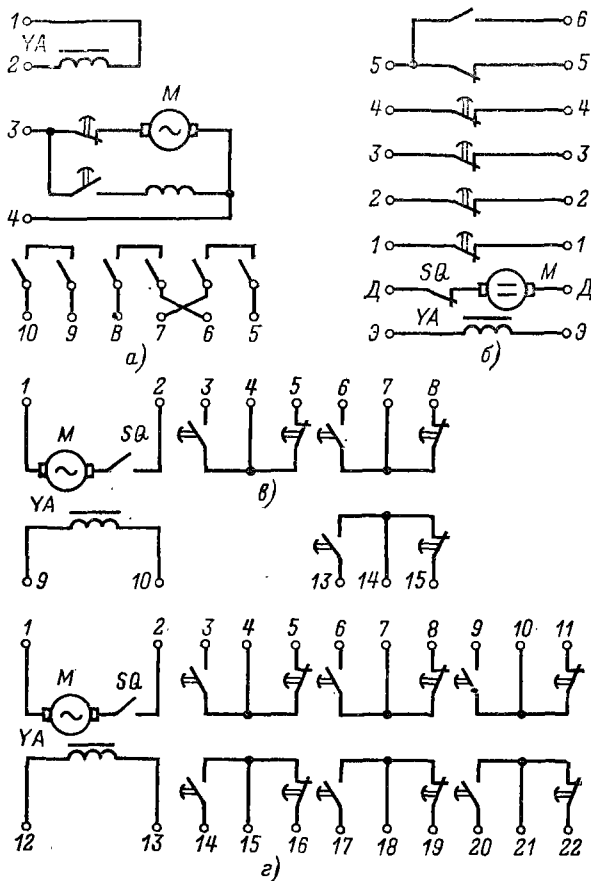


Рис. 2.11. Схемы электрических соединений реле времени с микроэлектродвигателями:

а — Е-52; б — Е-512 и Е-513; в — реле серий ВС-10-31—ВС-10-38; г — ВС-10-62—ВС-10-68

были нагружены переключением одновременно нескольких контактов. В настоящее время заводы приступили к выпуску реле времени с электронной полупроводниковой схемой. Реле серии РВО1 выпускаются на переменное напряжение 100—380 В (50—60 Гц) и на постоянное напряжение 24—220 В. Реле имеют по два переключающих контакта, которые могут иметь один из следующих диапазонов срабатывания: 0,1—1 с; 0,3—3 с; 0,1—10 с; 0,3—30 с.

Реле серии РВО3 переменного тока имеет один переключающий без замедления контакт и два размыкающих контакта, которые замыкаются каждый с отдельно регулируемой выдержкой времени при возврате реле (отключении напряжения питания). Реле имеют три исполнения по уставкам: 0,15—3; с 0,5—10 с; 1—20 с.

Регулировка уставок срабатывания реле производится ступенчато с помощью фиксирования кнопочных переключателей в нужном положении. Реле размещаются в унифицированном корпусе «Сура».

2.5. Электромагнитные промежуточные и сигнальные реле

Промежуточные реле используются для размножения контактов реле защит, вспомогательных контактов коммутационных аппаратов, для усиления (увеличения мощности) контактов устройств релейных защит, для фиксации или увеличения длительности кратковременного сигнала. Реле различаются по напряжению или току, по наличию удерживающих обмоток, по потребляемой мощности срабатывания, мощности (коммутационной способности) и количеству контактов, по времени (скорости) срабатывания и возврата (табл. 2.7).

В качестве основных выходных реле применяются реле типов РП-23 и РП-24. Там, где требуется большее быстроедействие, применяются реле-типов РП-211 и РП-212. Если сигнал от действия защиты кратковременный и недостаточный для отключения выключателей высокого напряжения, то применяются выходные реле с удерживающими обмотками, которые включаются последовательно с обмотками отключающих электромагнитов выключателей (реле типов РП-213, РП-214, РП-253, РП-255). В реле серий РП-250, РЭВ-810 и РЭВ-880 имеются специальные шайбы или демпферные обмотки, которые замедляют срабатывание или возврат реле (либо и то и другое).

Если замкнуть выводы 9 и 10 реле типов РП-253, то при срабатывании реле демпферная обмотка будет закорочена и реле будет срабатывать с замедлением (0,07 с), при возврате контакты в цепи демпферной обмотки будут разомкнуты и замедления при возврате не будет. В реле же типа РП-254, наоборот, демпферная обмотка включается лишь при возврате, поэтому реле срабатывает быстрее (0,04 с), а возвращается за время до 0,05 с. В реле серии РП-250 все контакты легко переставляются, поэтому, переставив контакты в цепи демпферной обмотки, можно увеличить время срабатывания реле РП-254 или время возврата РП-253.

Время возврата и срабатывания реле типов РП-251 и РП-252 можно уменьшить, уменьшив число медных демпферных шайб. У реле РП-251 время срабатывания уменьшается также приближением катушки реле к рабочему воздушному зазору.

У реле серий РЭВ-810 и РЭВ-880 демпферами служат алюминиевые

Таблица 2.7. Технические данные

Тип реле	Номинальные величины				Напряжение или ток	
	срабатывания		удерживания		срабаты- вания	возврата
	Напряже- ние, В	Ток, А	Напря- жение, В	Ток, А		
ЭП-1/0,25— ЭП-1/7,5	—	0,25; 0,5; 1; 2,5; 5; 7,5	—	—	$0,5 I_{\text{ном}}$	—
ЭП-1/24— ЭП-1/220	24; 48 110; 220	—	—	—	$0,5 U_{\text{ном}}$	—
РП-23, РП-24	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,7 U_{\text{ном}}$	$\geq 0,03 U_{\text{ном}}$
РП-40	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,8 U_{\text{ном}}$	—
РП-211	110; 220	—	—	—	$0,5 U_{\text{ном}}$	$0,04 U_{\text{ном}}$
РП-212	110; 220	—	—	—	$0,5 U_{\text{ном}}$	$0,04 U_{\text{ном}}$
РП-213	110; 220	—	—	1; 2; 4	$0,6 U_{\text{ном}}$	$0,04 U_{\text{ном}};$ $0,8 I_{\text{ном}}$
РП-214	110; 220	—	—	1; 2; 4	$0,6 U_{\text{ном}}$	$0,04 U_{\text{ном}};$ $0,8 I_{\text{ном}}$
РП-215	110; 220	—	—	—	$0,5 U_{\text{ном}}$	$0,04 U_{\text{ном}}$
РП-232	—	1; 2; 4; 8	24; 48; 110; 220	—	$\geq I_{\text{ном}}$	$0,7 U_{\text{ном}};$ $0,03 I_{\text{ном}}$
РП-233	24; 48; 110; 220	—	—	1; 2; 4; 8	$0,7 U_{\text{ном}}$	$0,8 U_{\text{ном}};$ $0,03 I_{\text{ном}}$
РП-251	24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,7 U_{\text{ном}}$	$0,05 U_{\text{ном}}$
РП-252	24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,7 U_{\text{ном}}$	$0,02 U_{\text{ном}}$
РУ-253	24; 48; 110; 220	—	—	1; 2; 4; 8	$0,7 U_{\text{ном}}$	$0,5 U_{\text{ном}};$ $0,8 I_{\text{ном}}$

промежуточных реле постоянного тока

Потребляемая мощность, Вт	Время		Допускаемый ток, А			Контактная система
	срабатывания, с	возврата, с	коммутации при напряжении 220 В и при нагрузке		длительный	
			индуктивной	активной		
0,5	≤0,04	—	0,75	—	5	1 з.
0,75	≤0,04	—	0,75	—	5	1 з.
1,5; 3	≤0,06	—	0,5	1	5	4 з. + 1 р. (з. контакты можно переделывать в р.); РП-24 имеет указатель срабатывания с ручным возвратом
17	≤0,07	≤0,03	1	2	10	4 з. + 4 р. (2 р. можно переделывать в 2 з.)
5	0,01	—	0,25	—	10 (10 с)	2 п.
6	0,01	—	0,25	—	10 (10 с)	4 з.
8	0,01	—	0,25	—	10 (10 с)	4 з.
8	0,01	—	0,25	—	10 (10 с)	4 з.
5	0,01	—	0,25	—	10 (10 с)	2 з. + 2 р.
6	0,06	—	0,5	1	5	2 з. + 2 р.
20	0,03	—	0,5	1	5	3 з. + 1 р.
6—8	0,07—	—	0,5	1	5	5 з.
7	0,11	0,5—	0,5	1	5	5 з.
15	0,04 (0,07)	1,1 —	0,5	1	5	4 з. + + 1 р.

Все контакты можно переделывать в р.

Все контакты можно переделывать в р.

Тип реле	Номинальные величины				Напряжение или ток	
	срабатывания		удерживания		срабаты- вания	возврата
	Напряже- ние, В	Ток, А	Напря- жение, В	Ток, А		
РП-221	110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	$0,04 U_{\text{НОМ}}$
РП-222	110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	$0,04 U_{\text{НОМ}}$
РП-223	110; 220	—	—	1; 2; 4	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	$0,04 U_{\text{НОМ}}$
РП-224	110; 220	—	—	1; 2; 4	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	$0,8 U_{\text{НОМ}}$
РП-225	110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	$0,04 U_{\text{НОМ}}$
РП-254	—	1; 2; 4; 8	110	—	$0,7 U_{\text{НОМ}}$	$0,65 U_{\text{НОМ}}$
РП-255	24; 48; 110; 220	—	—	1; 2; 4; 8	$0,7 U_{\text{НОМ}}$	$0,5 U_{\text{НОМ}};$ $0,8 I_{\text{НОМ}}$
РП-352	24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,7 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-81	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-84	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,3—$ $0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-811	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-812	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-813	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-814	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—

Продолжение табл. 2.7

Потребляемая мощность, Вт	Время		Допускаемый ток, А			Контактная система
	срабатывания, с	возврата, с	коммутации при напряжении 220 В и при нагрузке		длительный	
			индуктивной	активной		
6	0,011	—	2	12 (на замыкание)	3	2 п.
6	0,011	—	2	12 (на замыкание)	3	4 з.
8	0,011	—	2	12 (на замыкание)	3	4 з.
8	0,011	—	2	12 (на замыкание)	3	4 з.
6	0,011	—	2	12 (на замыкание)	3	2 з. ,2р.
6	0,05	0,5	0,5	1	5	3 з. , 1 р.
6—8	0,05	—	0,5	1	5	5 з.
25	0,06	—	0,25	2	5	2 з., 2 р., 2 п.
20	0,1	0,25—1,3	1	2	10	1 з.
15	0,1	0,15	2	4	10	1 з.
0,20	0,3	0,25—1,5	1	2	10	1 з., 1 р.
0,20	0,3	0,8—2,8	1	2	10	1 з., 1 р.
0,20	0,3	2—3,8	1	2	10	1 з., 1 р.
0,20	0,3	3—5,5	1	2	10	1 з., 1 р.

Тип реле	Номинальные величины				Напряжение или ток	
	срабатывания		удерживания		срабаты- вания	возврата
	Напряже- ние, В	Ток, А	Напря- жение, В	Ток, А		
РЭВ-815	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-816	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-817	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-818	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-821	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,25 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-822	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,65 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-826	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,65 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-881	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-882	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-883	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
РЭВ-884	12; 24; 48; 110; 220	—	—	—	$0,6 U_{\text{НОМ}}$	—
МКУ-48	2,5; 8; 12; 24; 30; 48; 60; 110; 220	$0,02; 0,2$ 2,7	—	—	$0,8 U_{\text{НОМ}}$ $0,8 I_{\text{НОМ}}$	—

Продолжение табл. 2.7

Потребляемая мощность, Вт	Время		Допускаемый ток, А			Контактная система
	срабатывания, с	возврата, с	коммутации при напряжении 220 В и при нагрузке		длительный	
			индуктивной	активной		
0,20	0,3	0,25—0,9	1	2	10	2 з., 2 р.
0,20	0,3	0,5—1,7	1	2	10	2 з., 2 р.
0,20	0,3	1,2—2,7	1	2	10	2 з., 2 р.
0,20	0,3	2—3,8	1	1	10	2 з., 2 р.
20	0,1	0,16	1	2	10	1 з., 1 р.
20	0,1	0,16	1	2	10	1 з., 1 р.
20	0,1	0,16	1	2	10	2 з., 2 р.
32	0,5	4,5—9	1	2	10	1 з., 1 р.
32	0,5	7—13	1	2	10	1 з., 1 р.
32	0,5	3—7	1	2	10	2 з., 2 р.
32	0,5	5—11	1	2	10	2 з., 2 р.
3	0,035	—	0,25	—	5	2—8 в различных сочетаниях

Тип реле	Номинальные величины				Напряжение или ток	
	срабатывания		удерживания		срабаты- вания	возврата
	Напряже- ние, В	Ток, А	Напря- жение, В	Ток, А		
МКУ-48С	24; 48; 60; 110; 220	—	—	—	$0,8 U_{\text{ном}}$	—
ПЭ-6	12; 24; 48; 60; 110; 220	1	—	—	$0,8 U_{\text{ном}}$ $0,8 I_{\text{ном}}$	—

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения контактов:

или медные цилиндры и алюминиевые основания реле. Медные демпферы позволяют получить большее замедление при возврате реле, чем алюминиевые, так как проводимость меди лучше и ток демпфирования больше.

Для уменьшения замедления можно укоротить цилиндр или сделать прорезь по образующей цилиндра. Для увеличения времени возврата применяют схему закорачивания рабочей обмотки или включение параллельно обмотке резистора.

Напряжение (ток) срабатывания можно регулировать двумя способами: изменением начального воздушного зазора между подвижным клапаном (якорем) и сердечником реле и натяжением возвратной пружины и в некоторой степени провалом замыкающих контактов.

Реле типов РП-23, РП-232 не имеют приспособлений для регулирования напряжения (тока) срабатывания и возврата. При необходимости регулировку срабатывания следует производить за счет подгибания хвостиков клапана, ограничивающего ход подвижной системы реле. При этом изменяется лишь напряжение (ток) срабатывания.

У реле серии РП-250 ход клапана можно увеличить путем отгибания упора или регулировочным винтом, а зазор при срабатывании реле — специальным немагнитным винтом с контргайкой. От зазора при срабатывании в значительной степени зависит напряжение (ток) возврата реле.

Реле серии РЭВ имеют винты для регулировки начального зазора и набор немагнитных прокладок различной толщины для регулировки конечного зазора (при срабатывании).

При ревизии реле проверяется ход подвижных частей, исправность пружин, чистота контактных поверхностей, соответствие контактов проекту. Многие реле требуют изменения контактных групп, т. е. преобразование замыкающих контактов в размыкающие или наоборот. Конст-

Продолжение табл. 2.7

Потребляемая мощность, Вт	Время		Допускаемый ток, А			Контактная система
	срабатывания, с	возврата, с	коммутации при напряжении 220 В и при нагрузке		длительный	
			индуктивной	активной		
3	0,06	—	0,25	—	5	2—8 в различных сочетаниях
3	0,035	—	0,25	—	5	4—8 в различных сочетаниях

з. — замыкающий, р. — размыкающий, п. — переключающий.

рукции реле типов РП-23, РП-24 и серий РП-40, РП-250, РЭВ позволя-
ют легко это осуществлять с помощью перестановки элементов.

В нормально отрегулированных реле замыкание всех замыкающих и размыкание всех размыкающих контактов должно происходить соответственно одновременно.

Основные данные по нормальной регулировке воздушных зазоров

Таблица 2.8. Нормальная регулировка магнитных систем и контактов промежуточных реле

Тип реле	Зазоры якоря, мм		Контакты, мм		Давление замкнутых контактов, Н (г)
	Якор отпущен	Якорь подтянут	Раствор	Провал	
РП-23—РП-26, РП-232—РП-233	1,6—2,2	≤0,4	2,5—3	0,6—1,0	≥0,12(12)
РП-251, РП-254, РП-255	2,4—2,5	0,2	2,5—3	≥0,5	≥0,15(15)
РП-252, РП-256	2,4—2,5	0,05	2,5—3	≥0,5	≥0,15(15)
РП-253	≤2	0,2	2	≥0,5	≥0,15(15)
РП-211, РП-215	≥1	≥0,25	≥1	0,5—0,5	≥0,05(5)
РП-212, РП-213, РП-214	≥1	≥0,25	≥1	0,3—0,4	≥0,03(3)
ЭП-1	≥0,5	—	0,5	—	—
МКУ-48, ПЭ-6	2,5—2,8	0,5	2—3	—	—
РЭВ	—	—	3—4	1,5	—
РП-221, РП-222, РП-223, РП-224, РП-225	1 + немагнитная пластина	0,05 + немагнитная пластина	1	0,2—0,3	≥0,05(5) (неподвижного контак- та на упорную пластину—20)

и контактов реле даны в табл. 2.8. Часто, однако, для обеспечения специальных режимов работы схемы или для получения определенных выдержек времени при срабатывании или повышенного коэффициента возврата допускаются отклонения от приведенных данных. Так, раствор контактов в цепи демпферных обмоток можно уменьшить до 1—1,5 мм для того, чтобы было более надежным демпфирование; для получения безобрывного переключения цепей требуется уменьшить раствор в замыкающем и увеличить провал в размыкающем контакте, так чтобы провал был больше раствора соответствующих контактов.

При регулировании напряжения срабатывания или возврата крайне нежелательно деформировать стальные пружины, что приводит к преждевременному их старению.

У всех реле, кроме ЭП-1/0,25—ЭП-1/7,5, РП-232 и РП-254, проверяется напряжение срабатывания и возврата. Если реле имеет удерживающие последовательные (токовые) обмотки, то вместо напряжения возврата проверяется минимальный ток удерживания.

У реле РП-232 и РП-254 проверяется ток срабатывания, напряжение и ток удерживания, кроме того, проверяется, что при напряжении $1,15 U_{ном}$ реле не срабатывает. У реле ЭП-1/0,25—ЭП-1/7,5 проверяется только ток срабатывания. У реле, имеющих специальные устройства для замедления срабатывания или отпускания, проверяются времена срабатывания и отпускания.

У остальных реле мгновенного действия обычно времена работы проверяются в схеме вместе с другими реле при их взаимодействии.

Поскольку у этих реле времена замыкания (размыкания) контактов при срабатывании и регулировка этих времен связаны с регулировкой напряжения или тока срабатывания, необходимо все измерения производить после регулировки контактных групп в следующей последовательности: сначала проверяется напряжение (ток) срабатывания, затем измеряются и регулируются времена замыкания (размыкания) контактов, потом снова проверяются напряжение (ток) срабатывания и возврата. Если получаются удовлетворительные результаты, то реле включается в рабочую схему.

Основные параметры реле приведены в табл. 2.7. Однако при необходимости многие параметры могут быть изменены. Так, кроме реле ЭП-1, РП-210, РП-220, МКУ-48, ПЭ-6 у всех реле предусмотрена возможность изменения контактных групп.

У реле РП-210, РП-220, РП-230, РП-254 проверяются однополярные выводы. Включением двух или трех удерживающих последовательных (токовых) обмоток в последовательную цепочку можно уменьшить соответственно в 2 или 3 раза номинальный ток удерживания. Изменение начального воздушного зазора изменяет параметры срабатывания реле. Шлифовка поверхностей магнитопровода и якоря реле в месте их смыкания значительно снижает напряжение возврата и увеличивает время возврата. На рис. 2.12 показаны способы задержки возврата реле использованием рабочей обмотки реле в качестве демпфирующей. Указанные меры могут увеличить время возврата реле по сравнению с данными, приведенными в табл. 2.7. На рис. 2.13 приведена специальная схема включения реле для замедления при срабатывании.

После регулировки времени работы контактов повторно проверяется напряжение (ток) срабатывания, удерживания и возврата реле.

При значительных отклонениях в регулировке зазоров и контактов

от нормы (см. табл. 2.8) или при увеличении времен возврата реле отключающие способности контактов реле ухудшаются. Поэтому после окончательной регулировки проверяют работу реле в схеме при включении и отключении нормальной рабочей нагрузки. При заметных искрениях и подгораниях контактов следует разгрузить контакты (отключить часть нагрузки, ввести дополнительное промежуточное реле, установить искрогасительный контур) либо перерегулировать реле; если возможно, то следует включить два-три контакта последовательно.

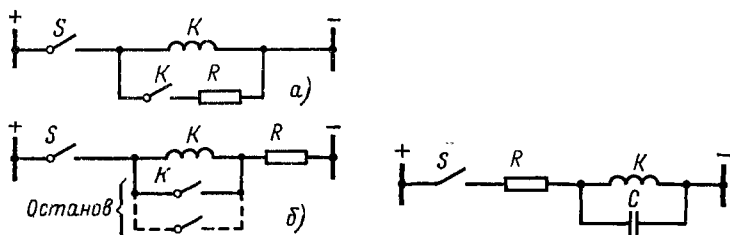


Рис. 2.12. Схемы включения промежуточных реле для увеличения времени возврата реле:

a — подключением демпфирующего резистора; *б* — шунтированием обмотки реле

Рис. 2.13. Схема включения реле для увеличения времени срабатывания

Следует отметить, что у многих реле напряжение (ток) срабатывания значительно ниже, чем указано в каталожных данных (см. табл. 2.7), что не всегда допустимо, так как есть опасность ложного срабатывания реле из-за неисправности изоляции в сети оперативного тока. Во избежание ложного отключения ответственных цепей энергетических установок при повреждении изоляции требуется, чтобы те промежуточные реле, ложная работа которых может привести к отключению ответственных устройств энергоснабжения, срабатывали при напряжениях на обмотках этих реле не менее $0,6 U_{ном}$. Наиболее благоприятным диапазоном срабатывания реле по напряжению следует считать $0,6—0,7 U_{ном}$. Если же нет возможности увеличить напряжение срабатывания реле, то можно подключить параллельно обмотке реле резистор сопротивлением $R_{рез} \approx R_{реле}$, где $R_{реле}$ — внутреннее сопротивление обмотки напряжения реле. При этом следует учесть, что подключенный резистор увеличивает время возврата реле.

Сигнальное реле. В устройствах релейной защиты и автоматики для фиксации и последующей расшифровки происшедших автоматических операций применяют специальные сигнальные устройства (указатели). Срабатывание указателя фиксируется выпадением сигнального флажка, а в некоторых типах — и замыканием его контактов. Указатели имеют лишь ручной возврат. Основные технические данные сигнальных реле приведены в табл. 2.9. Время срабатывания сигнальных реле — не более $0,05$ с. При осмотре сигнальных реле прежде всего проверяется соответствие данного типа реле проекту по номинальному току и напряжению. Проверяется установка реле на панели и выпадение сигнального

Тип реле	Напряжение или ток		Сопротивле- ние катушки, Ом	Потребляе- мая мощ- ность, Вт	Контактные группы	Допустимый ток контактов, А, при $U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$	
	номинальные	длительные				при разрыве	длительно
РУ-21/0,01	0,01 А	0,03	2200	0,25	2 з.,	0,25	2
РУ-21/0,015	0,015 А	0,05	1000	0,25	или 2 р.,	0,25	2
РУ-21/0,025	0,025 А	0,075	320	0,25	или	0,25	2
РУ-21/0,05	0,05 А	0,15	70	0,25	1 з.,	0,25	2
РУ-21/0,075	0,075 А	0,225	30	0,25	1 р.	0,25	2
РУ-21/0,1	0,1 А	0,3	18	0,25		0,25	2
РУ-21/0,15	0,15 А	0,5	8	0,25		0,25	2
РУ-21/0,25	0,25 А	0,75	3	0,25		0,25	2
РУ-21/0,5	0,5 А	1,5	0,7	0,25		0,25	2
РУ-21/1	1 А	3	0,2	0,25		0,25	2
РУ-21/2	2 А	6	0,05	0,25		0,25	2
РУ-21/4	4 А	12	0,015	0,25		0,25	2
РУ-21/220	130 В	235	28 000	1,75	2 з.,	0,25	2
РУ-21/110	66 В	122	7500	1,75	или 2 р.,	0,25	2

РУ-21/48	28 В	31	1440	1,75	или	0,25	2
РУ-21/24	14 В	26,5	360	1,75	1 з.,	0,25	2
РУ-21/12	7 В	13,5	87	1,75	1 р.	0,25	2
СЭ-2	0,01; 0,015; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1 А	3 $I_{\text{ном}}$	—	0,3	2 з., или 2 р., или 1 з., 1 р.	0,2	0,5
СЭ-2	48; 110; 220 В	1,1 $U_{\text{ном}}$	—	2	2 з., или 2 р., или 1 з., 1 р.	0,2	0,5
ЭС-41/0,01	0,01 А	0,03 А	1465	0,2	—	—	—
ЭС-41/0,015	0,015 А	0,045 А	615	0,2	—	—	—
ЭС-41/0,025	0,025 А	0,075 А	220	0,2	—	—	—
ЭС-41/0,05	0,05 А	0,15 А	51,5	0,2	—	—	—
ЭС-41/0,075	0,075 А	0,225 А	23	0,2	—	—	—
ЭС-41/0,1	0,1 А	0,3 А	12,7	0,2	—	—	—
ЭС-41/0,15	0,15 А	0,45 А	5	0,2	—	—	—
ЭС-41/0,25	0,25 А	0,75 А	2,2	0,2	—	—	—
ЭС-41/0,5	0,5 А	1,5 А	0,8	0,2	—	—	—
ЭС-41/1	1 А	3,0 А	0,2	0,2	—	—	—

устройства при нажатии на якорь реле: как поднимается (заводится) и фиксируется сигнальное устройство. Следует убедиться, что реле не срабатывает от тряски, при ударе по панели. Проверяется также правильность контактных групп (у реле типов РУ-21 и РУ-21у можно переделать замыкающие контакты в размыкающие) и вжим (провал) контактов при работе реле.

Электрические проверки реле, особенно последовательного включения (токовые), обычно проводятся вместе со всей схемой включения этих реле. Для того чтобы не нарушать проверяемую схему, допустимо вместо измерения тока срабатывания реле измерять напряжение реле при срабатывании реле и при нормальном питании схемы. Напряжение при срабатывании должно составлять не более 80 % напряжения при нормальном питании схемы (или $I_{ср} \leq 0,8 I_{ном}$). У реле параллельного включения проверяется напряжение срабатывания в соответствии с табл. 2.9.

Новые промежуточные реле серий РП16 (время срабатывания—до 50 мс), РП17 (время срабатывания—до 11 мс) и РП18 (с замедлением при срабатывании до 0,25 с и при возврате до 2,0 с) монтируются в унифицированном корпусе «Сура». Реле серии РП17 выпускаются для постоянного тока, а серий РП16 и РП18—как для постоянного, так и для переменного тока.

2.6. Поляризованные реле

Поляризованные реле типов РП-4, РП-5 и РП-7 являются выходными элементами различных релейных устройств. Особенностью поляризованных реле является то, что на подвижный якорь реле в исходных условиях действуют силы постоянного магнита, при прохождении же тока в обмотке реле силы электромагнита в зави-

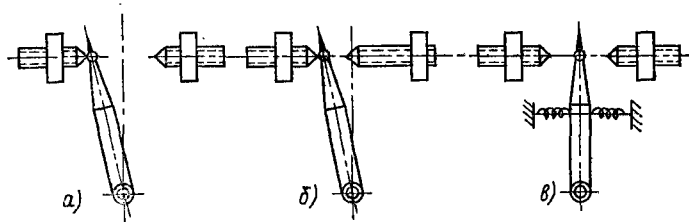


Рис. 2.14. Виды настройки контактных систем поляризованных реле

симости от направления тока складываются с силами постоянного магнита или вычитаются из них.

Обычно реле выполняются двухобмоточными или многообмоточными, так что одна (одни) обмотка используется как рабочая, другая (другие)—как тормозная или одна—для срабатывания, а другая—для возврата.

Реле в зависимости от назначения могут иметь три вида регулировок: нейтральную или двухпозиционную (рис. 2.14, а), с преоблада-

нием (рис. 2.14, б) и трехпозиционную (рис. 2.14, в). Пунктиром на рис. 2.14, в показано нейтральное положение якоря, когда отсутствует ток в обмотках, а силы постоянного магнита, действующие влево и вправо, уравновешены. Если нарушить равновесие, то якорь притянется в ту или иную сторону (реле типа РП-4).

Если неподвижный контакт не дает якорю дойти до нейтральной линии, то якорь при отсутствии тока в обмотке будет отклоняться в сторону другого контакта (регулировка с преобладанием, реле типа РП-7).

Реле типа РП-5 имеют трехпозиционную настройку, которая отличается от нейтральной тем, что после отключения тока в обмотках пружины возвращают якорь реле в нейтральное положение.

Если реле типов РП-4, РП-5 и РП-7 служат для включения и отключения нагрузок в сетях 220 В постоянного тока, то следует увеличить раствор разомкнутых контактов до величины не менее 0,45—0,5 мм.

Реле типов РП-8 и РП-11 — двухпозиционные и применяются в схемах управления и сигнализации в качестве вспомогательных, но могут выполнять и самостоятельные функции. Технические данные реле приведены в табл. 2.10. Их обмотки не рассчитаны на длительное на-

Таблица 2.10. Технические данные реле РП-8, РП-11

Номинальное напряжение, В	Обмотка		
	Сопротивление, Ом	Число витков	Напряжение срабатывания, В
24	92	2000	≥ 17
	92	2000	≥ 17
48	310	3600	≥ 34
	310	3600	≥ 34
110	1500	7300	≥ 77
	1500	7300	≥ 77
220	5600	12 500	≥ 155
	5600	12 500	≥ 155

Примечания: 1. Начало обмоток обозначено знаком «+».

2. Время срабатывания — не более 60 мс

3. Раствор между контактами — не менее 1,8 мм.

хождение под напряжением, и поэтому в цепи обмоток имеются контакты, которые после срабатывания реле отключают свою обмотку. При проверке и сборке схемы следует учитывать, что при несоблюдении полярности подаваемого на реле тока последнее не переключится и обмотка может перегреться. Зазоры контактов в цепи обмоток регулируются в пределах 1—1,3 мм подгибанием контактных пластин. У реле типов РП-8 и РП-11 проверяются и регулируются контактные зазоры (у рабочих контактов 1,8 мм, у контактов в цепях обмоток 1—1,3 мм). Зазор между толкателем и подвижными контактными пластинами замкнутых рабочих контактов 0,5—0,8 мм. Этот зазор у контактов в цепи обмоток может быть больше.

Проверка и настройка поляризованных реле. У реле РП-4, РП-5 и РП-7 проверяют ток и напряжение срабатывания и подсчитывают мощность срабатывания: $P_{ср} = I_{ср} U_{ср}$ или мощность срабатывания по току и сопротивлению: $P_{ср} = I_{ср}^2 R_{об}$.

Напряжение срабатывания проверяют по обычной схеме, соблюдая полярность и подавая напряжение толчком, ступенями увеличивая напряжение до срабатывания реле.

В схемах релейной защиты часто применяют реле типа РП-7 с одной рабочей и одной тормозной обмотками. В этом случае проверяют ток (напряжение) срабатывания рабочей обмотки при номинальном (заданном) токе (напряжении) в тормозной обмотке.

Проверки производят на постоянном токе, а если реле работают на выпрямленном напряжении, то проверку следует производить от аналогичного выпрямителя или лучше от выпрямителя устройства, в котором реле установлено.

Сопротивление изоляции токоведущих цепей проверяют мегаомметром с напряжением не более 500 В. Изоляция реле должна выдерживать испытание переменным напряжением 500 В относительно корпуса, 150 В между обмотками и 350 В между контактами (при заводской регулировке зазора). Если контакты отрегулированы для работы в цепях напряжением 220 В, то контакты испытывают переменным напряжением 1000 В.

Нейтральные реле РП-4 (РПБ-4) можно отрегулировать для работы с преобладанием. Для этого нужно перевести ручную якорь реле при отсутствии тока в обмотках реле влево, т. е. до замыкания подвижного контакта с неподвижным, обозначенным Л. Ослабить фиксирующий зажим микрометрического винта левого неподвижного контакта и закрутить этот винт до тех пор, пока якорь не перебросится в противоположную сторону и не замкнется цепь правого контакта (Я—П). Обозначения Л—Я—П наносят на колодке выводов реле. В этом положении вновь зафиксировать винт левого контакта, ослабить микрометрический винт правого контакта и, вращая его влево, отрегулировать необходимый раствор между подвижным и неподвижным контактами.

Если требуется из реле РП-7 (РБП-7) получить реле нейтральное, то поступают в обратном порядке: сначала отводят левый контакт Л, чтобы якорь фиксировался в левом и правом положениях, и регулируют необходимые растворы. Затем проверяют равенство токов срабатывания левого и правого контактов, подавая напряжения разной полярности в одну и ту же обмотку реле. Необходимо так отрегулировать положения неподвижных контактов, чтобы при заданном растворе (0,45—0,5 мм) ток срабатывания реле влево и вправо был одинаковым.

2.7. Реле мощности

Реле мощности — это вспомогательное реле, которое реагирует на направление мощности в первичной цепи относительно места установки защиты. Одним из важнейших показателей реле является угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч.}$, при котором для срабатывания реле требуется минимальная мощность.

В настоящее время выпускаются реле мощности индукционной системы серии РБМ, реле с фильтрами тока и напряжения обратной последовательности типа РМОП-2 и реле с токовой поляризацией типа РМП-272, а также реле активной и реактивной мощностей типов РБМ-275 и РБМ-276, которые являются органами, контролирующими значение соответствующей мощности в сети переменного тока.

Ревизия механической части. У реле серий РБМ и РМОП проверяется свободный ход барабанчика, равномерность зазора (0,4—0,5 мм) и отсутствие затирания барабанчика о полюсы электромагнита и сердечник. Зазоры между полюсами и барабанчиком должны быть чистыми и свободными от пыли. Барабанчик должен иметь вертикальный люфт

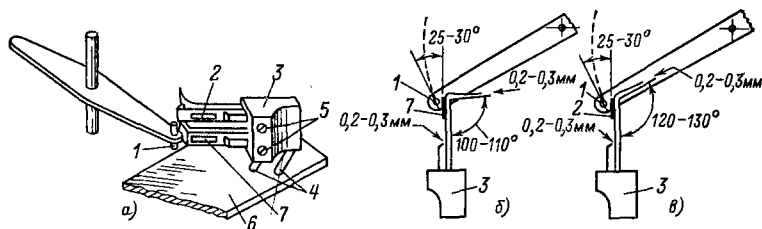


Рис. 2.15. Регулировка контактов реле серии РБМ:

а — контактная система; б — регулировка нижнего контакта; в — регулировка верхнего контакта

0,2—0,3 мм и отстоять от нижней опорной пластины сердечника на 1,5—2 мм. Траверс подвижного контакта и барабанчик не должны проворачиваться относительно оси.

Особые требования предъявляются к регулировке контактов реле, поскольку при малой мощности срабатывания поворот барабанчика реле происходит с малой скоростью.

Угол встречи подвижных 1 и неподвижных 2, 7 (рис. 2.15) контактов должен составлять 25—30° (регулируется перемещением колодки 3 в пазах 4 основания 6 с верхним 2 и нижним 7 неподвижными контактами и подвижным контактом 1. Зазоры должны быть одинаковыми, по 1 мм (регулируется винтами 5 в колодке). Положение хвостиков контактных пластин и упоров неподвижных контактов показано на рис. 2.15, б и в. Совместный ход (скольжение) контактов при замыкании должен составлять 0,8—1 мм. Контактные поверхности должны быть чистыми и блестящими.

У реле типа РМП-272 в качестве исполнительного релейного органа используется поляризованное реле типа РП-7 (см. § 2.6). Раствор замыкающих контактов реле типа РП-7 должен быть не менее 0,45—0,5 мм. Реле регулируется с преобладанием, т.е. при отсутствии тока в обмотке реле якорь реле замыкает цепь реле Я—П (правого контакта), размыкая цепь Я—Л. Если реле само не переключается, то регулировка производится, как указано в § 2.6.

Электрические испытания. У реле мощности проверяются: потреб-

ление, самоход по току и напряжению, угол максимальной чувствительности ф.ч, мощность срабатывания, сопротивление изоляции. Все электрические испытания производятся практически синусоидальным напряжением переменного тока частотой 50 Гц.

Проверка потребления реле P_p производится измерением тока в цепи обмотки напряжения при подаче напряжения 100 В. Измеряется падение напряжения на обмотке тока при прохождении номинального тока 5 или 1 А. Потребление, В·А, $P_{pu}=100 I_p$ и $P_{pi}=5U_p (1U_p)$ не должно отличаться более чем на 10—12 % от приведенных в табл. 2.11.

Таблица 2.11. Технические данные реле направления мощности

Тип	ф.ч, град	Однопо- лярные зажимы	Потребле- ние цепей напряже- ния, В·А	Номиналь- ный ток, А	Потребле- ние цепей тока, не бо- лее, В·А
РБМ-171/1	—30	5,8	40	5	10
РБМ-271/1	—45	5,8	35	5	10
РБМ-171/2	—30	5,8	40	1	10
РБМ-271/2	—45	5,8	35	1	10
РБМ-177/1	70	5,7	35	5	10
РБМ-277/1	70	5,7	35	5	10
РБМ-177/2	70	5,7	35	1	10
РБМ-277/2	70	5,7	35	1	10
РБМ-178/1	70	5,7	90	5	10
РБМ-278/1	70	5,7	90	5	10
РБМ-178/2	70	5,7	90	1	10
РБМ-278/2	70	5,7	90	1	10
РБМ-275/1	0	5,7	25	5	5
РБМ-275/2	0	5,7	25	1	5
РБМ-276/1	$90 \pm 3 \times 5$	5,7	30	5	5
РБМ-276/2	$90 \pm 3 \times 5$	5,7	30	1	5
РМП-272/1	180 (1РП) 0 (2РП)	7, 9, 8, 10	—	1	10
РМП-272/2	180 (1РП) 0 (2РП)	7, 9, 8, 10	—	5	10

Самоход по току индукционных реле устраняется следующим образом. Ослабляются пружины, создающие противодействующий момент, ослабляется гайка, крепящая стальной сердечник к нижней планке реле (для этого лучше пользоваться шестигранным накладным гаечным ключом на 22 мм из немагнитного материала) так, чтобы сердечник можно было повернуть с некоторым усилием. При замкнутой накоротко или через резистор сопротивлением 0,5—1 Ом обмотке напряжения в токовую обмотку реле подается номинальный ток, и если имеет место самоход, то он устраняется поворотом сердечника. Затем ток увеличивается до максимального вторичного тока, который может проходить в реле при КЗ «за спиной», и самоход устраняется при этом токе. Эту проверку следует проводить как можно быстрее, чтобы не

произошло перегрева обмотки реле. После устранения самохода по току проверяется наличие (отсутствие) самохода по напряжению, для чего на обмотку напряжения подается напряжение от 0 до 110 В. Если самоход по напряжению окажется значительным и устраняется затяжкой пружины на угол 30° , то его устраняют так же, как самоход от тока. Устранение самохода по напряжению может снова вызвать самоход по току, что требует проверки.

Самоход по току можно уменьшить или совсем устранить, если обмотки напряжения не закоротить, а подключить к резистору с со-

Добавочные сопротивления		Мощность срабатывания $I_p = I_{ном'}$ В·А	Контактная система
активное, Ом	емкостное		
47	—	3	1 з.
47+180	—	4	2 з.
47	—	0,6	1 з.
47+180	—	0,8	2 з.
390	2×4 мкФ, 250 В	3	1 з.
390	2×4 мкФ, 250 В	3	2 з.
390	2×4 мкФ, 250 В	0,6	1 з.
390	2×4 мкФ, 250 В	0,6	2 з.
180	4×4 мкФ, 160 В	1	1 з.
180	4×4 мкФ, 160 В	1	2 з.
180	4×4 мкФ, 160 В	0,2	1 з.
180	4×4 мкФ, 160 В	0,2	2 з.
1500+2600	10; 0,5; 3×1 мкФ	10—500	1 з., 1 р.
1500+2600	10; 0,5; 3×1 мкФ	2—100	1 з., 1 р.
1500+2600	10; 0,5; 3×1 мкФ	10—500	1 з., 1 р.
1500+2600	10; 0,5; 3×1 мкФ	2—100	1 з., 1 р.
—	—	0,14 А	2 з.
—	—	0,7 А	2 з.

противлением, равным активному сопротивлению вторичной обмотки ТН плюс сопротивление соединительных проводов. Если нет данных по фактическому значению сопротивления указанной цепи, то можно применить резистор сопротивлением 0,4—0,5 Ом (фактическое сопротивление цепи обычно значительно больше). Если самоход не устраняется, то он проверяется при затяжке пружины до угла 30° . В крайнем случае допустимо оставить самоход, не вызывающий замыкания контактов реле. Самоходы по напряжению у реле для защиты от междуфазных замыканий и по току для защиты от однофазных замыканий на землю не могут вызвать ложного срабатывания защит, а только сказываются на чувствительности защиты. На самоходе реле сказывается положение полюсов магнитной системы реле, однако уст-

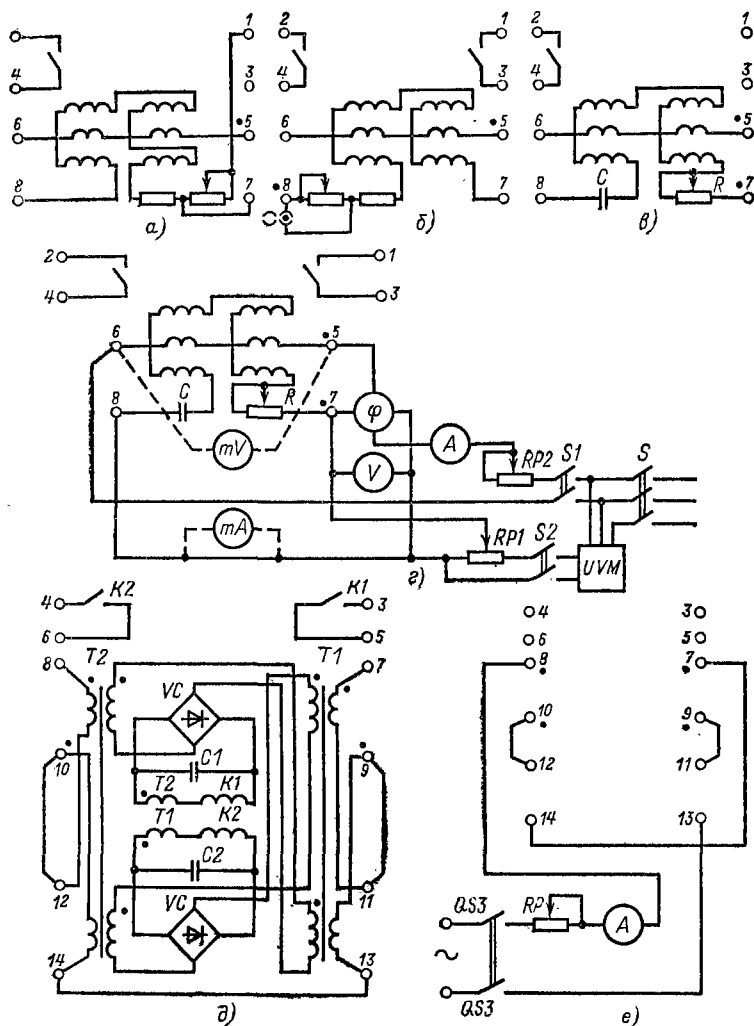


Рис. 2.16. Схемы соединений и проверок реле серий РБМ и РМП:

а — реле РБМ-171; б — РБМ-271; в — РБМ-177 и РБМ-178; г — РБМ-277 и РБМ-278 и схемы проверок реле РБМ; д — проверка реле РМП-272 при угле между токами 180° ; е — то же при угле 0° ; ж — то же при угле 0° , но при параллельном соединении первичных обмоток трансформаторов реле; з — реле РБМ-275; и — РБМ-276; S, S1, S2 — рубильники; RP — реостаты; UVM — фазорегулятор; mA, mV — приборы, подключаемые для проверки потребления обмоток напряжения и тока

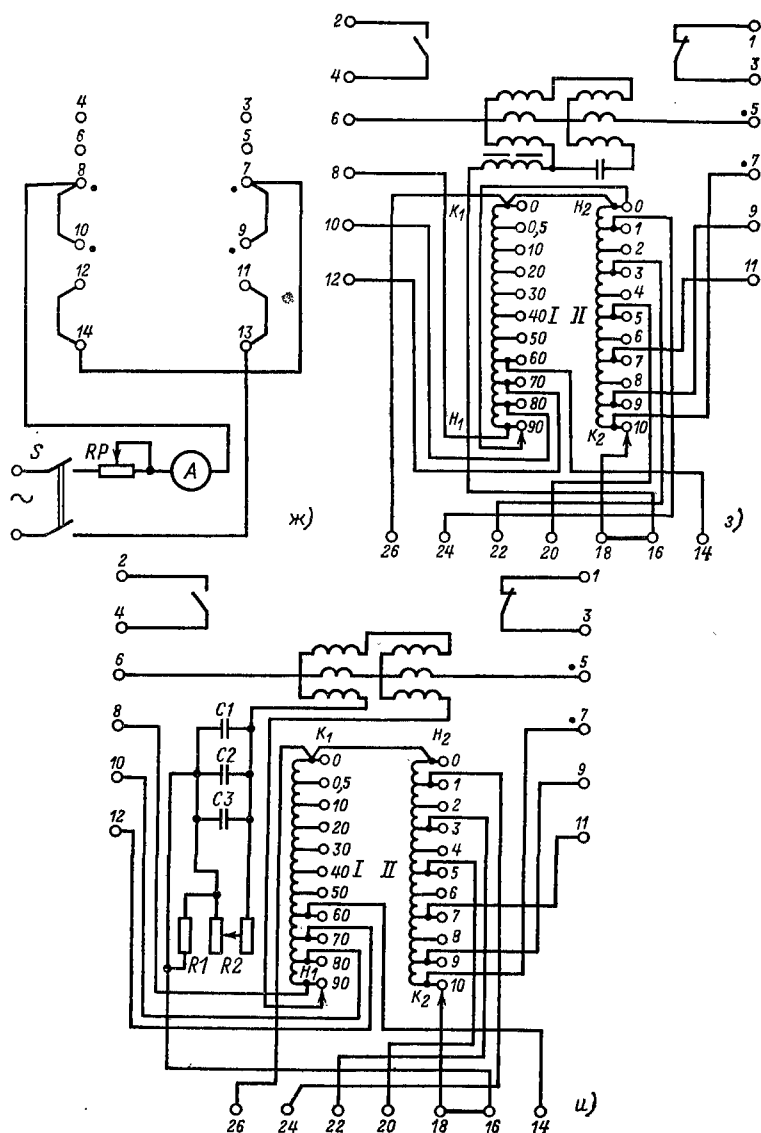


Рис. 2.16. Продолжение

ранять самоход регулировкой полюсов допустимо лишь опытному механику.

Проверка зоны действия реле производится одновременно с проверкой однополярных зажимов и определением угла максимальной чувствительности (рис. 2.16). К обмоткам тока и напряжения подводят соответствующие номинальные ток и напряжение и измеряют углы φ_1 и φ_2 , при которых реле соответственно замыкает и размыкает контакты.

Зона действия реле $\varphi_3 = |\varphi_2 - \varphi_1|$. Угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$.

Рекомендуется проверить углы φ_3 и $\varphi_{м.ч}$ и при изменении фазового сдвига от 360° до 0° . При этом углы φ_3 , определенные при изменении углов от 0 до 360° и от 360° до 0 , должны практически совпадать.

Зона работы реле должна быть равна $175-180^\circ$, а угол максимальной чувствительности не должен отличаться от номинального (см. табл. 2.11) более чем на 5° . В этом случае регулировка реле считается удовлетворительной, а маркировка выводов — правильной.

Проверка чувствительности реле (мощности срабатывания $P_{ср}$) производится при $\varphi_{м.ч}$ и при номинальном токе реле. Одновременно проверяются напряжение и мощность возврата P_v и коэффициент возврата k_v , который должен быть не менее 0,9:

$$P_{ср} = I_{ном} U_{ср}; \quad P_v = I_{ном} U_v; \quad k_v = P_v / P_{ср}.$$

Проверка времени действия реле производится в случаях, когда это требуется для наладки схем защит или автоматики. Время срабатывания реле зависит от мощности, подведенной к реле. Если нет специальных указаний, то следует проверить время при $5 P_{ср}$ и $10 P_{ср}$.

Проверка работы контактов реле производится при мощности на реле $1,2 P_{ср}$ и при P_{max} , равной

$$P_{max} = \frac{U_{ном} I_{кmax} \sqrt{3}}{4 K_I K_U}, \quad \text{или} \quad P_{max} = \frac{9 U_0 I_{ок}}{K_{Ур.т} K_I},$$

где $I_{кmax}$ — максимальный расчетный ток КЗ при междуфазных повреждениях; U_0 и $I_{ок}$ — расчетные напряжения и ток нулевой последовательности при однофазном КЗ; $K_{Ур.т}$ — коэффициент трансформации ТН с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник.

Проверка ведется в собранной схеме при номинальном оперативном токе. Контакты должны замыкаться без вибрации, искрения и отбросов, а при отключении (сбросе мощности) не должно быть подгорания контактов и залипания реле на упорах.

Проверка поведения реле при сбросе обратной мощности. Проверяется, что при одновременном отключении обмоток напряжения и тока, соответствующих $10 P_{ср} \div P_{max}$, и фазовом сдвиге $\varphi_{обр} = \varphi_{м.ч} + 180^\circ$ реле не срабатывает. Указанная проверка производится в полной схеме защиты; если даже кратковременный толчок при сбросе обратной мощности может вызвать срабатывание защиты, то принимаются следующие меры: увеличивается раствор контактов, затягивается пружина, а если эти меры не помогают, то вводится замедление защиты.

У реле мощности типа РМП-272 с токовой поляризацией производятся следующие электрические испытания:

1) проверяются токи в рабочей и тормозной обмотках при срабатывании реле типа РП-7, эти токи должны быть практически равны;
2) проверяется по схеме рис. 2.16, *д* срабатывание реле в диапазоне токов от $0,2 I_{\text{ном}}$ до $20 I_{\text{ном}}$, а по схеме рис. 2.16, *е* — срабатывающие реле;

3) по схеме рис. 2.16, *ж* проверяется чувствительность реле при последовательном соединении обмоток (при параллельном соединении первичных обмоток реле чувствительность загрубляется в 4 раза);

4) проверяется отсутствие самохода реле при кратковременной подаче тока, равного $20 I_{\text{ном}}$, когда первичные обмотки одного трансформатора включены последовательно, а первичные обмотки другого разомкнуты. При подаче тока в любой из трансформаторов реле *K1* и *K2* не должны срабатывать.

Если реле срабатывают, то проверяется правильность попарного подбора трансформаторов по ЭДС небаланса. Небаланс проверяется вольтметром с большим входным сопротивлением при вынутом реле *K1* на выводах 1-2 (по схеме рис. 2.16, *д*) и на выводах 3-4 (по схеме рис. 2.16, *е*) колодки поляризованного реле при подаче номинального тока. Электродвижущая сила не должна превышать 0,3 В. При необходимости ЭДС небаланса регулируется подбором числа витков компенсационных обмоток трансформатора, которые можно включать согласно или встречно вторичной обмотке.

У реле типов РБМ-275 и РБМ-276 устанавливается еще и заданная мощность срабатывания путем подключения нужных ответвлений обмоток автотрансформатора и напряжения ввинчиванием по одному штепсельному винту в пластины *I* и *II* (рис. 2.16, *з, и*). Сумма цифр *n* на пластинках должна соответствовать выражению

$$n = \frac{N \cdot 2I_{\text{ном}}}{P},$$

где $P = U_p I_p$; $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток реле; N — число витков обмотки автотрансформатора, к которым подводится и напряжение (при подключении напряжения к выводам 7-8 $N=100$, к выводам 9-14 $N=69$ и т. д.). По условиям термической стойкости должно соблюдаться условие $N \geq 60$.

Подрегулировку мощности срабатывания можно производить затяжкой спиральной пружины в пределах $150-200^\circ$.

У реле типа РБМ-276 при помощи конденсаторов *C1*, *C2* и *C3* и резисторов *R1*, *R2* устанавливается заданный угол максимальной чувствительности $\Phi_{\text{м.т.}}$.

Новые полупроводниковые реле направления мощности РМ11 имеют угол максимальной чувствительности — $30 \pm 5^\circ$ или $45 \pm 5^\circ$; а реле РМ12 — угол $+70 \pm 5^\circ$. Реле имеют следующие номинальные параметры: $U_{\text{ном}}=100$ В; $I_{\text{ном}}=1$ А или 5 А. Для питания полупроводниковых элементов используются либо переменные напряжение или ток, либо источник постоянного напряжения 110 или 220 В. У реле РМ11 и РМ12 отсутствует самоход как по току, так и по напряжению. Реле размещаются в унифицированном корпусе «Сура».

2.8. Наладка устройств аварийной, технологической, предупредительной и командной сигнализации

На электростанциях и подстанциях предусматриваются следующие шесть видов сигнализации, к каждому из которых предъявляются свои требования.

1. Световая сигнализация положения коммутационных аппаратов выполняется двухламповой: одна лампа — «Включено», другая — «Отключено». Лампы могут светиться («светлый щит») или быть нормально погашенными («темный щит»). При темном

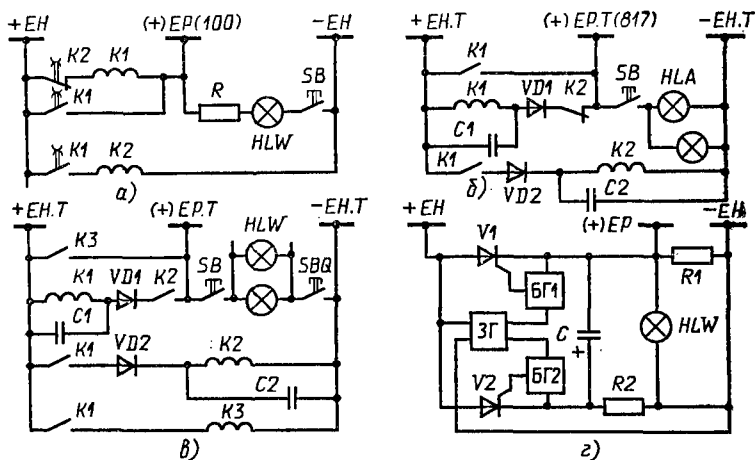


Рис. 2.17. Схемы мигающего света (пульс-пара):

а — с реле, имеющими электромагнитное замедление; б — с мгновенными реле и искусственным замедлением; в — то же, но с дополнительным мгновенным реле; г — полупроводниковая бесконтактная схема

щите дежурный может зажечь лампы, а при аварийном отключении присоединения происходит автоматическое включение ламп сигнализации положения. При этом лампа, где произошло аварийное отключение, начинает мигать (на рис. 2.17 показаны варианты выполнения устройств мигающего света).

2. Светозвуковая сигнализация аварийного отключения и автоматического включения обеспечивается центральным звуковым сигналом (сиреной), миганием сигнальной лампы положения того аппарата, который автоматически переключился.

3. Светозвуковая аварийная технологическая сигнализация осуществляется с помощью индивидуальных световых табло и центрального звукового сигнала (звонка).

4. Светозвуковая предупредительная сигнали-

зация об отклонении от нормального режима выполняется аналогично технологической аварийной сигнализации, но звонком другого тембра.

5. Светозвуковая вызывная сигнализация (рис. 2.18) выполняется с помощью центрального звукового сигнала и светового табло, по которому определяется РУ или щит, куда вызывается дежурный, и запоминающим устройством (указателя), установленное в соответствующем пункте объекта, по которому определяется непосредственная причина вызова.

6. Командная сигнализация со звуковым вызовом и световыми фиксированными командами. Команда должна фиксироваться одновременно и в пункте приема команды, и в пункте подачи и сниматься с пункта приема.

При анализе схем и проверке монтажа обращают внимание на следующее.

Каждый вид сигнализации должен обеспечивать выполнение вышеприведенных требований.

Должен быть обеспечен постоянный контроль исправности цепей питания всех устройств сигнализации. При этом сами цепи контроля должны питаться от независимых от контролируемых цепей источников (от другой группы предохранителей, или от других автоматических выключателей, или от других устройств сигнализации).

Должна быть обеспечена возможность повторного действия звукового сигнала при появлении новой неисправности, даже если не устранена неисправность по ранее полученным сигналам, а звуковой сигнал снят дежурным или автоматически (реле времени).

Световой сигнал (табло) должен сниматься лишь после ликвидации причины появления сигнала, а табло командной сигнализации может быть погашено лишь в месте приема команды.

Должна предусматриваться возможность периодической проверки исправности звуковой сигнализации и всех ламп сигнальных табло, а также возможность отключения отдельных участков цепей сигнализации для отыскания мест повреждения изоляции. Если ключи, при помощи которых производятся проверки табло и других цепей сигнализации, не обладают достаточной коммутационной способностью, то следует устанавливать специальные контакторы либо дополнительные реле, которые будут переключать цепи по группам (участкам) сигнализации. Коммутационная способность указанных контакторов и реле должна проверяться расчетом и опытом.

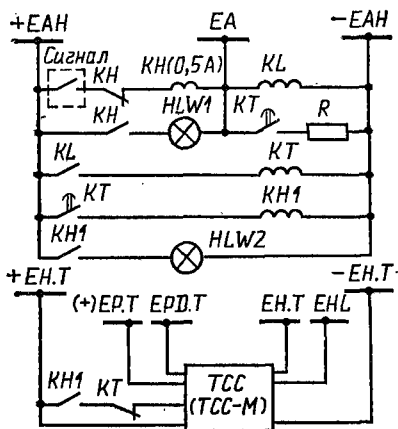


Рис. 2.18. Схема вызывной сигнализации

Резисторы, которые включаются в цепях последовательно с лампами, должны соответствовать как напряжению питающей сети, так и мощности ламп. При проверке правильности выбора резистора следует руководствоваться следующими соображениями.

1. Для обеспечения длительного срока службы ламп сигнализации в режиме их горения ток в лампе не должен достигать номинального значения даже при повышенном напряжении в сети, для чего сопротивление резистора, Ом, должно быть

$$R_{дл} = \frac{U_c - 0,8U_{л}}{0,8I_{л}},$$

где U_c — номинальное напряжение сети; $U_{л}$ и $I_{л}$ — номинальные напряжение и ток лампы.

Если на лампе обозначена мощность $P_{л}$, то можно принять $R_{дл}$, Ом, равным

$$R_{дл} = \frac{U_c - 0,8U_{л}}{0,8P_{л}/U_{л}}.$$

Номинальная мощность резистора $P_{ном}$, Вт, должна быть не менее

$$P_{ном} \geq R_p I_{л}^2 \text{ или } P_{ном} \geq R_p \frac{P_{л}^2}{U_{л}^2}.$$

2. Для резисторов, через которые пускаются реле импульсной сигнализации (через них подается напряжение на шинки ЕНА, ЕНР, см. табл. 2.12), сопротивления, Ом, выбираются из условий:

для реле РИС-Э2, РТД11-04, РТД-12

$$R_{д.с} \leq \frac{U_c}{0,2}$$

для реле РИС-Э2М, РТД-11-01

$$R_{д.с} \leq \frac{U_c}{0,05}.$$

Обычно для сети 220 В $R_{д.с} = 800 \div 1000$ Ом для реле РИС-Э2 или 3900 Ом для реле РИС-Э2М. Номинальная мощность, Вт, должна быть не менее

$$P_{д.с} \geq \frac{U_c^2}{R_{д.с}}.$$

При соблюдении этих условий обеспечивается допустимый для реле РИС-Э2 ток 5 А (прием до 20 сигналов с током по 250 мА каждый) и для реле РИС-Э2М, ЭТД11-01 ток 1,5 А (прием до 30 сигналов по 50 мА каждый).

Уменьшение сопротивления $R_{д.с}$ по сравнению с расчетным, с одной стороны, повышает надежность срабатывания реле импульсной сигнализации от данного сигнала, но, с другой стороны, быстро насыщает входное устройство реле (импульсный трансформатор), что сни-

Таблица 2.12. Наименование и маркировка шинок в схемах сигнализации

Обозначение	Наименование шинок, их образование	Примечание
$\div EC$ $- EC$ EAN	Шинки управления «+» и «-», от которых питаются цепи управления, защиты Шинки панельные сигнализации подключаются переключателем выбора питания (SH) к щиту постоянного тока	Сигнализация положения аппаратов Питают все цепи центральной сигнализации
$\div EH$ $- EH$	Шинки сигнализации. Каждый участок образуется после переключателя отыскания земли (SNG), автоматического выключателя участка, который подключен к шинке EAN	—
$ENP1$	Шинки звуковой предупредительной сигнализации без выдержки времени	Пуск реле импульсной сигнализации
$ENP2$	То же, но с выдержкой времени	То же
$ENP3$	Шинка звуковой вызывной сигнализации	В различных РУ
$ENP4$	То же, но технологической сигнализации	—
$ЕНА$	Шинка звуковой аварийной сигнализации	Пуск реле импульсной сигнализации
$ЕНАТ$	То же, но технологической сигнализации	То же
$(+) EP$	Шинка мигания, устройство мигающего света	Сигнализация аварийного отключения
EPD	Шинка съема мигания ламп положения выключателей	—
$\div EP.T$	Шинка мигания технологической сигнализации	Мигание табло технологической сигнализации
$EPD.T$	Шинка съема мигания технологической сигнализации от реле или кнопки съема мигания	То же
EHL	Шинки проверки ламп в табло от ключей проверки ламп	Периодическая проверка исправности ламп
EA	Вспомогательные шинки	—
EAN	То же, собирающие	—
$\oplus EC$ $\oplus EH$	Шинки зажигания ламп от реле зажигания щита (РЗЩ)	При темном щите

жает допустимое количество принимаемых сигналов (т. е. менее 20 или 30 сигналов соответственно).

Автоматические выключатели в цепях сигнализации должны быть отстроены от максимальных нагрузок, которые возможны. Наибольшая нагрузка обычно возникает при опробовании светового табло.

При выборе номинального тока автоматических выключателей защиты и диодов выпрямительного устройства питания цепей сигнализации за расчетный следует принимать ток, который потребляют лампы табло при их опробовании. То же относится и к ключам или реле (контакторам), которые непосредственно зажигают лампы при опробовании.

Проверка устройств сигнализации производится в следующем объеме:

1) проверка элементов устройств центральной сигнализации: кнопок, табло, ключей, реле, диодов, автоматических выключателей, резисторов, конденсаторов и т. п.;

2) проверка шинки сигнализации и их связей;

3) наладка отдельных устройств (источников питания, устройств мигания, устройств импульсной звуковой сигнализации, устройств проверки исправности ламп табло, зажигания темного шита) и проверка действия этих устройств от кнопок, ключей и при имитации сигналов;

4) проверка и наладка индивидуальных и групповых сигналов.

При проверке шинки сигнализации следует четко представлять назначение каждой шинки (см. табл. 2.12), все электрические связи одноименных шинки и убедиться в отсутствии прямых связей между разноименными шинками.

На рис. 2.17 показаны устройства мигающего света, являющиеся одними из основных устройств в схемах сигнализации. На рис. 2.17, а периоды мигания регулируются временем срабатывания и возврата реле с замедлением (например, реле K , см. рис. 2.12). На рис. 2.17, б и в в качестве реле $K1$ и $K2$ применяют простые мгновенные реле, например РП-23, МКУ-48. Замедление срабатывания и возврата реле $K1$ и $K2$ регулируется подбором емкостей конденсаторов $C1$ и $C2$. В качестве конденсаторов в приведенной схеме можно применять электролитические конденсаторы на рабочее напряжение 300 или 600 В в сетях 110 или 220 В соответственно.

От контактов реле $K1$ или $K2$ в схемах рис. 2.17, а, б загораются все лампы, которые подключены к шинке мигания (+) EP или (+) $EP.T$. Эти реле возвращаются с замедлением и медленно размыкают цепь, и если к шинкам (+) EP ($EP.T$) подключено много ламп, то контакты реле подгорают и быстро выходят из строя. Во избежание этого при значительной нагрузке рекомендуется устанавливать дополнительно реле $K3$, как показано на рис. 2.17, в, не имеющее замедления, а если есть свободные контакты у этого реле, то их включают последовательно.

В институте «Теплоэлектропроект» разработана бесконтактная схема мигания (без электромеханических реле). Ток зажигания ламп проходит через тиристор $V1$ (см. рис. 2.17, г), которым управляет блокинг-генератор $БГ1$, работающий вместе с $БГ2$ в ждущем режиме. Сигналы на $БГ1$ и $БГ2$ поступают от задающего генератора $ЗГ$, который настроен на частоту 1 Гц.

При проверке табло и сигнальных ламп устройств сигнализации

обращается внимание на качество контактов для цоколей ламп, на правильность выбора цвета светофильтров и четкость выполнения надписей в ламповых табло. Кроме простых одно- или двухламповых табло типа ТСБ в схемах технологической сигнализации там, где часто имеют место временные или длительные поступления сигналов о различных нарушениях нормального режима работы отдельных устройств, применяются табло типа ТСС-66 или ТСС-М.

Резисторы проверяются на целость, соответствие сопротивлений проектным и номинальным данным. Обращается внимание на состояние диодов.

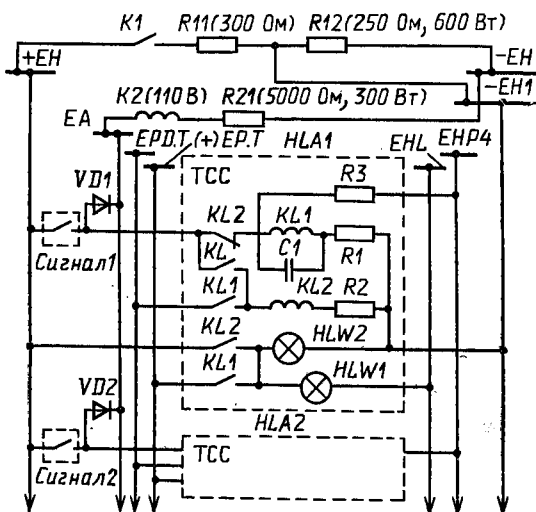


Рис. 2.19. Схема внутренних соединений и вариант включения табло типа ТСС

На рис. 2.19 показана схема внутренних и внешних соединений табло типа ТСС. Эти табло и лампы в них рассчитаны на напряжение 110 В постоянного тока. Если схема технологической сигнализации питается от выпрямленного напряжения, то устанавливается выпрямитель на 110 В для питания цепей сигнализации. Если используется батарея напряжением 220 В, то рекомендуется питать участок технологической сигнализации с табло ТСС через делитель напряжения, как показано на рис. 2.19. Параметры такого делителя приведены на рисунке. В качестве резисторов $R11$, $R12$, $R21$ могут использоваться параллельно соединенные проволочные резисторы типов ПЭ-150, ПЭВ-150. Из рис. 2.19 видно, что делитель подключается контактами реле $K1$, которое срабатывает при поступлении сигнала на вспомогательную шинку EA

соответствующего участка сигнализации от выходных реле сигнализации *Сигнал 1* (*Сигнал 2* и т. д.) через разделительные диоды *VD1* (*VD2* и т. д. по числу участков).

При наладке устройства сигнализации проверяются все внешние и внутренние контактные соединения табло без ревизии малогабаритных герметизированных реле *1РП*, *2РП*, *К11* типа РЭС-22, РП-8

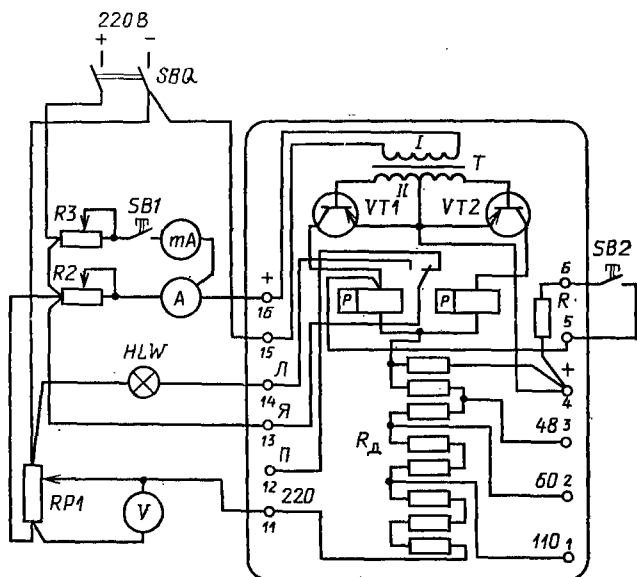


Рис. 2.20. Схема для электрических проверок реле РИС-Э2М

(рис. 2.19, 2.21). Особое внимание обращается на качество паяк, чистоту штепсельных контактов, исправность патронов для сигнальных ламп.

Электрические испытания. Проверяется исправность и производится регулировка поляризованного реле *KL* типа ТРМ, как описывалось выше для реле РП-4 и РП-5. Проверяются напряжения срабатывания и возврата простых реле. Проверяются реле РИС, производится регулировка поляризованного реле *KL* типа ТРМ (так же, как РП-4 и РП-5).

Соблюдение полярности. Для дальнейшей проверки РИС и РТ собирают схему, приведенную на рис. 2.20 (показан вариант включения реле на напряжение 220 В, при другом номинальном напряжении провод от потенциометра *RP1* и вольтметра подключается к соответствующим выводам 1, 2, 3), обращая внимание на соблюдение полярностей. Потенциометром *RP1* устанавливают номинальное напряжение

Конт.	Цепь	Конт.	Цепь
1	Контакт КЛ1	15	Возврат реле
3		17	
5	Вход R1, C1	19	Вход ТА1
7		21	
9			
11	220; 60В		
13	110; 48 В		

R7

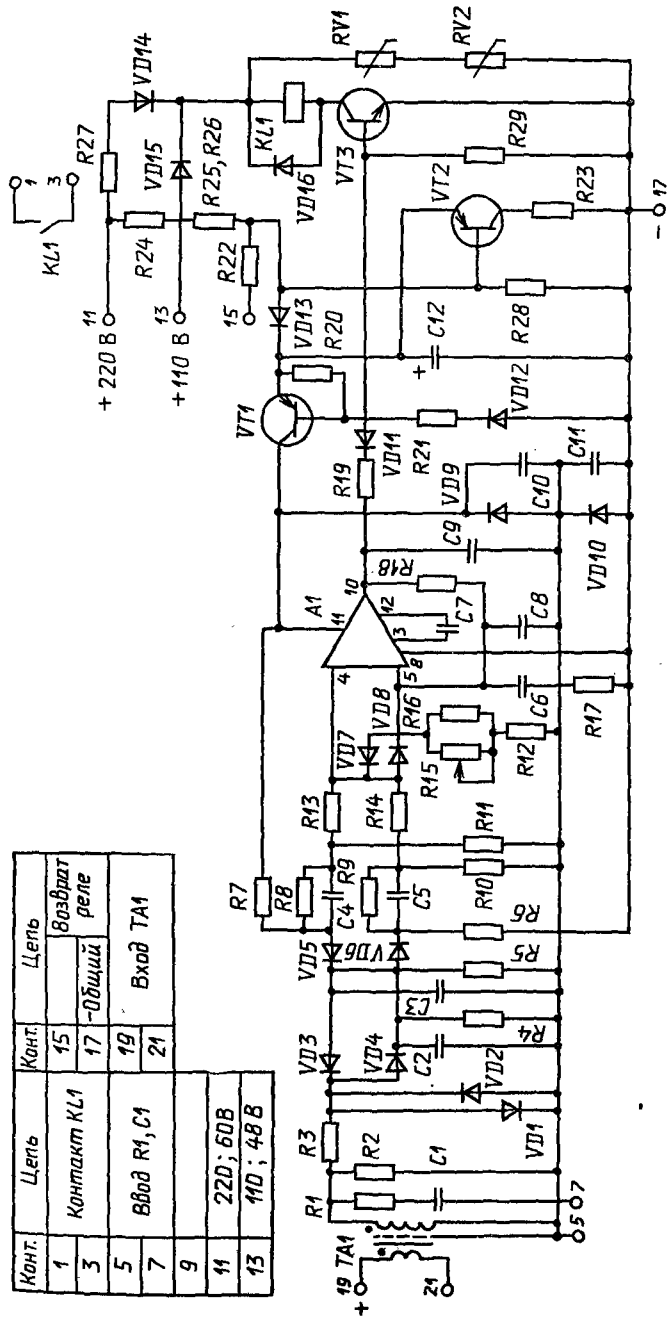


Рис. 2.21. Электрическая схема двухстабильного реле тока серии РТД-11

При отсутствии тока в цепи $R2$ — амперметр A и при включенной кнопке $SB1$ реостатом $R3$ устанавливают ток 30—35 мА по миллиамперметру. Отпускают кнопку и снова ее нажимают. По загоранию лампы HLW определяют, срабатывает ли реле. Проверяют, чтобы при отпускании кнопки $SB1$ лампа HLW погасла, снова нажимают кнопку $SB1$ и проверяют, чтобы при замыкании кнопки $SB2$ лампа также погасла. Реостатом $R2$ по амперметру A устанавливают ток 1,5 А. Оп-

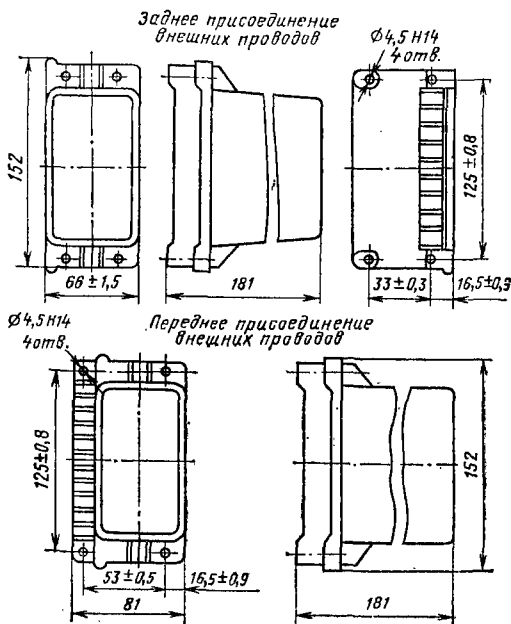


Рис. 2.22. Корпус для реле РТД; цоколь первого, кожух второго габарита унифицированной системы «Сура»

ределяют ток в цепи $R3$ — SBQ , при котором в момент нажатия кнопки $SB1$ срабатывает реле. Этот ток не должен превышать 50 мА. Так же проверяется возврат реле при включении кнопки $SB2$ и отключении $SB1$. Регулируя потенциометр $RP1$, проверяют работу реле при повышенном ($1,15 U_{ном}$) и пониженном ($0,8 U_{ном}$) напряжении в сети оперативного тока. Во всех случаях ток срабатывания не должен превышать 50 мА при включении кнопки $SB1$. Если реле не срабатывает или срабатывает при пусковом токе более 50 мА, то наиболее вероятная неисправность — это дефектные триоды $VT1$, $VT2$ или неисправность делителя напряжения.

В качестве реле импульсной сигнализации в последнее время используются новые двухстабильные реле тока серии РТД-11 (для по-

стоянного оперативного тока), показанные на рис. 2.21, или РТД-22 (для переменного оперативного тока). Главная отличительная особенность этих реле от реле РИС-Э2 состоит в том, что выходными элементами у них являются малогабаритные промежуточные герметизированные реле РПГ-8 (вместо реле ТРМ), которые не требуют регулировок. Проверки и испытания этих реле аналогичны испытаниям реле РИС по схеме рис. 2.20, но, учитывая иную внутреннюю схему и цоколевку реле РТД, внешние цепи вместо зажимов 15-16 (РИС) подключают для проверки РТД соответственно к зажимам 21-19 (РТД), вместо зажима 11 — к зажиму 11 или 13 (для сетей 220 или 110 В) и выполняют переключку 21-17; выход реле вместо 13-14 подключают к зажимам 1-3, а снимают сигнал подключением к зажимам 17-15 вместо зажимов 5-6.

Реле РТД смонтированы в новом унифицированном корпусе «Сура» (рис. 2.22). Реле РТД-11 имеют модификации РТД-11-01 и РТД-11-04, соответственно срабатывающие от импульсов тока 0,05 и 0,2 А; они готовы принимать до 30 и 20 сигналов, т. е. допустим входной ток 1,5 и 4 А соответственно.

2.9. Наладка устройств контроля изоляции сети постоянного тока

Контроль изоляции сети постоянного тока выполняется по схеме, показанной на рис. 2.23.

При проверке устройств проверяется сопротивление резисторов R_1 , R_4 и R . Значения сопротивлений должны быть по 1000 Ом (сопротивление R является суммой сопротивлений резисторов R_2 и R_3).

Вольтметр $V=\Omega$ имеет две шкалы: напряжения и сопротивления, поэтому он служит и вольтметром, и омметром. Внутреннее сопротивление вольтметра должно быть не менее 1000 Ом/В.

Вольтметр и реле сигнализации KV подбираются и настраиваются в соответствии с данными табл. 2.13.

Диаграмма переключателя и принципиальная схема измерения сопротивления изоляции должна соответствовать рис. 2.23, а и б. Сопротивление изоляции сети, подключенной соответственно к положи-

Таблица 2.13. Технические данные вольтметров и реле контроля изоляции постоянного тока

Напряжение сети, В	Шкала вольтметра, В	Применяемое реле			
		Тип	Соединение	Срабатывание	
				Напряжение, В	Ток, мА
220	150—0—150	РН-51/М78	Последовательно	32	2,1
110	75—0—75	РН-51/М78	Параллельно	16	4,2
60	30—0—30	РН-51/М34	Последовательно	6,4	2,7
48	30—0—30	РН-51/М34	Последовательно	5,1	2,1
24	15—0—15	РН-51/М34	Параллельно	3,2	5,3

тельным и отрицательным шинам, определяется по формулам, которые приведены на лимбе потенциометра (рис. 2.23, в), после выполнения следующих операций.

При ухудшении изоляции на «+», что видно по показаниям двусторонней шкалы вольтметра-омметра, переключатель ставится в положение *I*, при этом, вращая рукоятку потенциометра *RP*, устанавливают стрелку прибора *VΩ* в нулевое положение, по неподвижной шкале потенциометра (рис. 2.23, в) определяют K_1 , а по подвижной — K_2 . Не трогая рукоятку потенциометра *RP*, ставят переключатель *SA* в по-

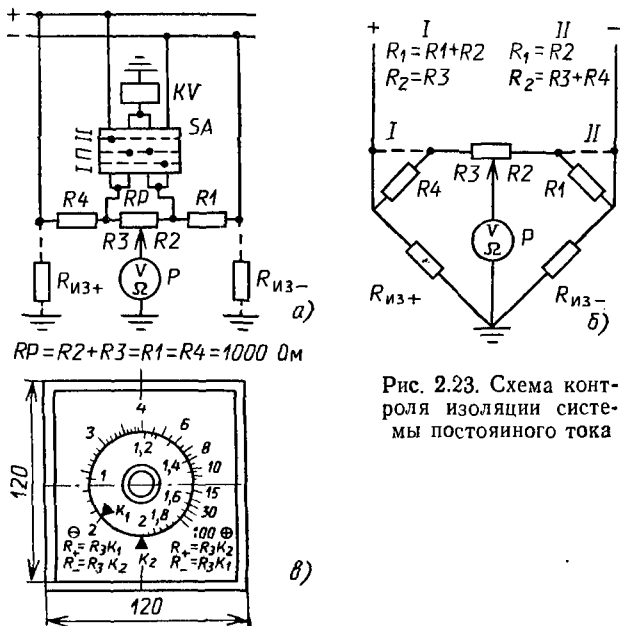


Рис. 2.23. Схема контроля изоляции системы постоянного тока

ложение *II*, тогда прибор *VΩ* показывает сопротивление изоляции системы постоянного тока R_3 . Сопротивление изоляции «+» и на «—» можно подсчитать и по формулам

$$R_{из+} = K_1 R_3; \quad R_{из-} = K_2 R_3.$$

Аналогичные операции производятся, если ухудшилась изоляция на «—», только в обратном порядке: сначала устанавливается нулевое положение *VΩ* при положении *SA II*, а отсчет прибора производится при положении *SA I*, тогда

$$R_{из+} = K_2 R_3; \quad R_{из-} = K_1 R_3.$$

По вышеприведенным формулам можно проверять градуировку вольтметра-омметра $V\Omega$ и шкал потенциометра RP .

После проверки элементов схемы, настройки реле сигнализации, подключения земли к вольтметру-омметру и реле проверяют работу сигнализации земли имитацией ухудшения изоляции. Для этого поочередно к шинкам «+» и «-» подключают землю через резисторы различных сопротивлений. Показания вольтметра-омметра по шкале омметра должны соответствовать сопротивлению подключенного резистора. При сопротивлении резистора 40 кОм (для сети 220 В) и до 9—10 кОм (для сетей 48—110 В) должен сработать сигнал «земля в сети постоянного тока». При этом следует помнить, что при одновременном ухудшении изоляции на обоих полюсах сигнал может появиться при более низком сопротивлении резисторов.

Раздел третий

НАЛАДКА НАПРАВЛЕННЫХ МАКСИМАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ (МТЗ)

3.1. Схемы включения реле направления мощности в защитах от междуфазных КЗ

В направленных максимальных токовых защитах от междуфазных КЗ в качестве органа, фиксирующего направление мощности в аварийном режиме, используются индукционные быстродействующие реле мощности типов РБМ-171, РБМ-271, которые имеют угол максимальной чувствительности -30° , -45° (технические данные см. в разд. 2). Для повышения чувствительности и надежности действия защиты необходимо, чтобы в аварийном режиме к реле подводилась максимальная мощность, в связи с этим реле направления мощности в этих защитах обычно включают на различные сочетания токов и напряжений по схемам, приведенным в табл. 3.1.

При включении по этим схемам на зажимах реле обеспечивается по возможности большое значение напряжения U_p и величины $\cos(\varphi_p + \alpha)$. Исходя из этого различные схемы предусматривают включение реле на разноименные фазы тока и напряжения в таких сочетаниях, которые при возникновении КЗ обеспечивают правильную фиксацию направления мощности и подачу на реле необходимой мощности срабатывания. Наибольшее распространение получили 90- и 30-градусные схемы включения. При 90-градусной схеме к выводам реле подводятся токи одной из фаз и междуфазные (линейные) напряжения других фаз, отстоящие от тока на 90° (рис. 3.1). На рис. 3.2 представлены векторные диаграммы токов и напряжений при различных видах КЗ, подводимых к реле, имеющему $\varphi_{м.ч} = 45^\circ$ и включенному на ток фазы A и линейное напряжение фаз BC .

Из анализа приведенных диаграмм можно сделать следующие выводы о поведении реле.

Таблица 3.1. Схемы включения реле направления мощности в защитах от междуфазных КЗ

Наименование схемы включения	Ток, подклю- димый к реле	Напряжение, подводимое к реле	Векторные диаграммы токов и напряжений
90-градусная	$\underline{I}_a$ $\underline{I}_b$ $\underline{I}_c$	$\underline{U}_{bc}$ $\underline{U}_{ca}$ $\underline{U}_{ab}$	
30-градусная	$\underline{I}_a$ $\underline{I}_b$ $\underline{I}_c$	$\underline{U}_{ac}$ $\underline{U}_{ba}$ $\underline{U}_{cb}$	
60-градусная с включением на фазные то- ки	$\underline{I}_a$ $\underline{I}_b$ $\underline{I}_c$	$-\underline{U}_c$ $-\underline{U}_b$ $-\underline{U}_a$	
60-градусная с включением на разность фазных токов	$\underline{I}_{ab}$ $\underline{I}_{bc}$ $\underline{I}_{ca}$	$\underline{U}_{ac}$ $\underline{U}_{ba}$ $\underline{U}_{cb}$	

1. При трехфазном КЗ, двухфазных КЗ на фазах АВ и СА, однофазном КЗ на фазе А реле работает четко и надежно.

2. При двухфазном КЗ на фазах ВС в общем случае реле не работает, так как момент на реле зависит от остаточного напряжения U_{bc} , значения и фазы тока нагрузки в фазе А $I_{ан}$.

3. При однофазном КЗ на фазах В и С реле может работать ложно от токов нагрузки.

4. Для выполнения защиты от всех видов междуфазных КЗ достаточно включить всего два реле мощности на токи разных фаз. Так как в этом случае каждое реле четко работает при двух видах двухфазных КЗ, защита, выполненная на двух реле, обеспечивает надежную работу защиты при всех возможных вариантах КЗ.

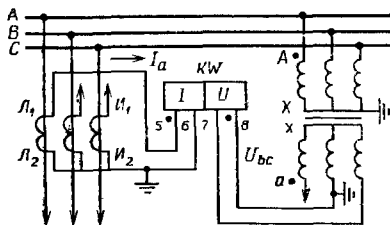


Рис. 3.1. Схема включения реле мощности от междуфазных КЗ

5. При близких трехфазных КЗ, когда напряжение, подводимое к реле, мало или равно нулю, реле не работает и защита имеет «мертвую зону».

6. Необходимо принимать меры для исключения возможности ложной работы защиты при однофазных КЗ от токов нагрузки неповрежденных фаз — эти функции выполняют пусковые токовые реле с определенной уставкой срабатывания.

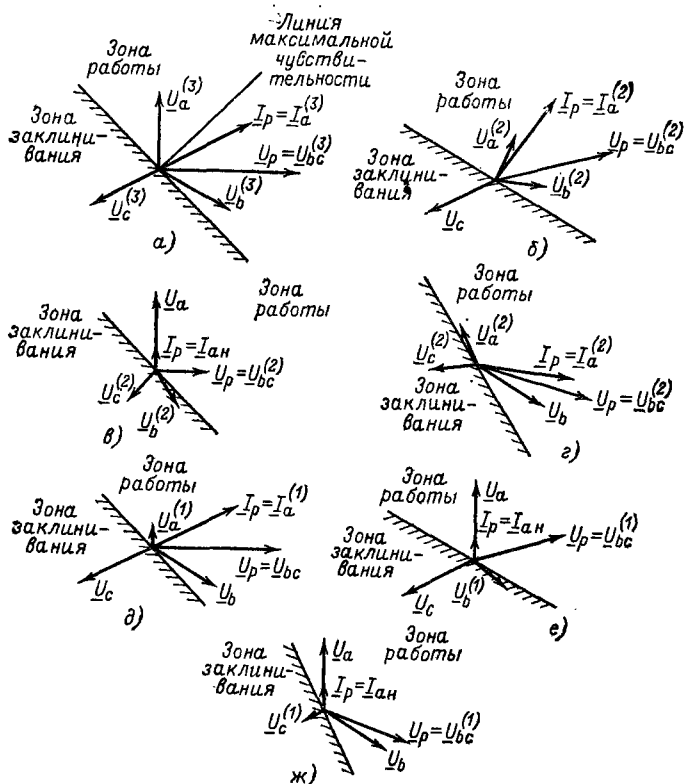


Рис. 3.2. Векторные диаграммы для оценки поведения реле мощности от междуфазных КЗ, включенного по 90-градусной схеме на напряжение $\underline{U}_{bc}$ и ток $\underline{I}_a$:

а — симметричное трехфазное КЗ; б — двухфазное КЗ на фазах АВ; в — то же на фазах ВС; г — то же на фазах СА; д — однофазное КЗ на фазе А; е — то же на фазе В; ж — то же на фазе С

3.2. Схемы включения реле направления мощности на фильтры тока и напряжения нулевой последовательности

В направленных МТЗ от замыканий на землю для сетей с большими токами однофазного КЗ (присоединения с глухозаземленной нейтралью 110 кВ и выше) в качестве органа, фиксирующего направление мощности в аварийном режиме и разрешающего действие защит, используются индукционные, быстродействующие реле РБМ-177, РБМ-178 и РБМ-277, РБМ-278, которые имеют $\varphi_{м.ч} = +70^\circ$ (см. разд. 2, технические данные).

Реле направления мощности в этих защитах включается на ток и напряжение нулевой последовательности; чтобы обеспечить такое подключение реле, его включают на сумму фазных токов и напряжений (рис. 3.3). Трансформаторы тока и напряжения, включенные на сумму

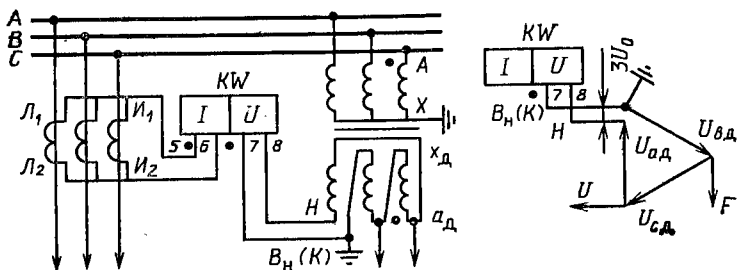


Рис. 3.3. Схема включения реле мощности защиты от замыканий на землю

фазных токов и напряжений, образуют фильтры тока и напряжения нулевой последовательности и реле включается на $3I_0$ и $3U_0$. При таком включении в нормальном режиме и при всех видах симметричных двух- и трехфазных КЗ реле не работает, так как значения $3I_0$ и $3U_0$, обусловленные в этих случаях только небалансами, малы. При однофазных КЗ по поврежденной фазе протекает ток КЗ и сумма токов трех фаз в нулевом проводе, в который включена токовая обмотка реле мощности, равна этому фазному току, напряжение на поврежденной фазе понижается. Чтобы выполнить фильтр $3U_0$, вторичные обмотки трансформаторов напряжения TV подключаются по схеме разомкнутого треугольника (используются дополнительные обмотки TV с заводскими обозначениями a_d-x_d на номинальное вторичное напряжение 100 В), сумма трех фазных напряжений в этом случае равна снижению напряжения на поврежденной фазе, а вектор $3U_0$ развернут на 180° по отношению к вектору напряжения поврежденной фазы.

Из векторных диаграмм, приведенных на рис. 3.4, видно, что при однофазном КЗ в зоне действия защиты угол φ_p между током в по-

врежденной фазе $3I_0$ и напряжением разомкнутого треугольника $3U_0$ при повреждении на любой из фаз составляет $-100 \div -120^\circ$. Так как вращающий момент этих реле (см. разд. 2) равен

$$M_{вр} = kU_p I_p \sin(\varphi_p + \alpha),$$

где $\sin(\varphi_p + \alpha)$ при $\varphi_p = -100 \div -120^\circ$ есть величина отрицательная, момент на реле отрицательный в сторону заклинивания, поэтому для обеспечения правильной работы реле направления мощности нулевой последовательности ток или напряжение на реле необходимо подавать с обратной полярностью.

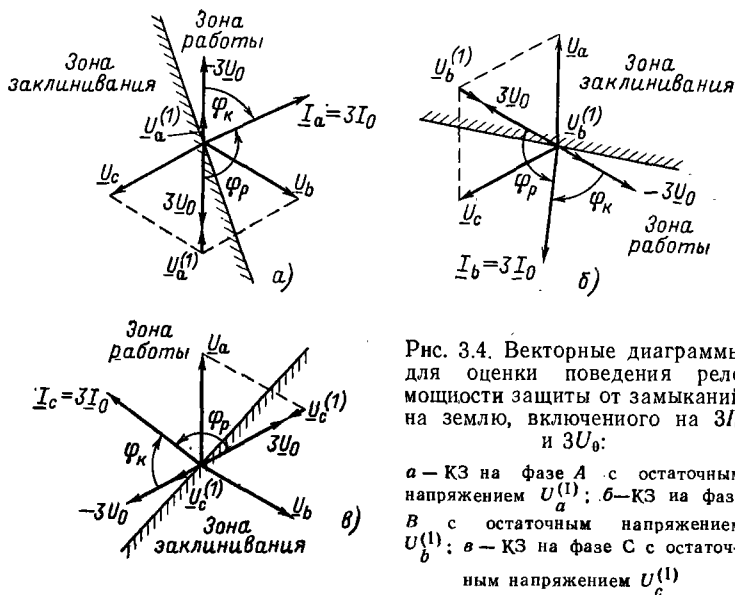


Рис. 3.4. Векторные диаграммы для оценки поведения реле мощности защиты от замыканий на землю, включенного на $3I_0$ и $3U_0$:

а — КЗ на фазе А с остаточным напряжением $U_a^{(1)}$; б — КЗ на фазе В с остаточным напряжением $U_b^{(1)}$; в — КЗ на фазе С с остаточным напряжением $U_c^{(1)}$

На рис. 3.3 приведена наиболее широко распространенная схема подключения реле, полярный вывод токовой обмотки реле 5 подключен к полярным выводам трансформаторов тока I_1 , полярный вывод обмотки напряжения реле 7 подключен к неполярному выводу разомкнутого треугольника с маркой $B_H(K)$.

3.3. Конструктивное выполнение устройств МТЗ

Нашедшие широкое применение комплекты устройства МТЗ выпускаются в виде отдельных комплектов, позволяющих осуществлять мгновенную токовую защиту («токовую отсечку») в двухфазном

двухрелейном исполнении — комплекты КЗ 9 (рис. 3.5) и КЗ 9/2 (рис. 3.6);

максимальную токовую защиту с независимой выдержкой времени в двухфазном двухрелейном исполнении — комплект КЗ 12 (рис. 3.7);

мгновенную токовую защиту в двухфазном двухрелейном исполнении и максимальную токовую защиту с независимой выдержкой времени в двухфазном трехрелейном исполнении — комплект КЗ 13 (рис. 3.8);

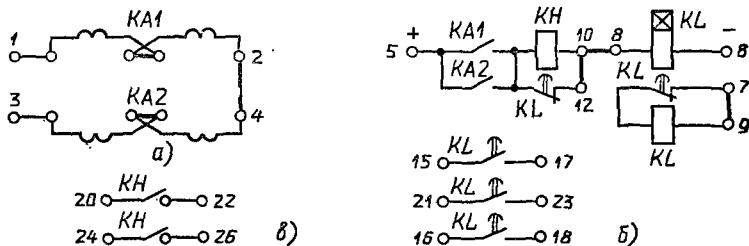


Рис. 3.5. Принципиальная схема комплекта КЗ 9:

а — цепи переменного тока; б — цепи оперативного постоянного тока; в — цепи сигнализации

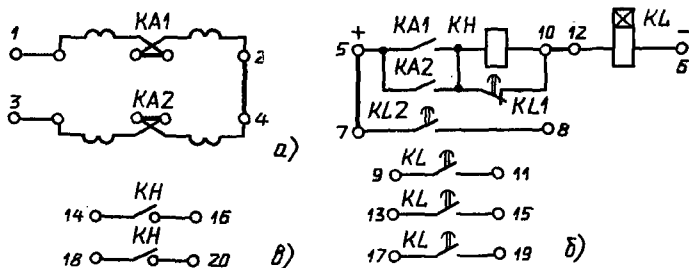


Рис. 3.6. Принципиальная схема комплекта КЗ 9/2:

а — цепи переменного тока; б — цепи оперативного постоянного тока; в — цепи сигнализации

максимальную токовую направленную защиту от междуфазных КЗ с независимой выдержкой времени в двухфазном двухрелейном исполнении — комплект КЗ 14 (рис. 3.9);

трехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности — комплект КЗ 15 (рис. 3.10);

максимальную токовую защиту с независимой выдержкой времени в двухфазном трехрелейном исполнении — комплект КЗ 17 (рис. 3.11);

трехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последо-

вательности — комплект устанавливается только на панелях типа ЭПЗ 1636, в нем дополнительно установлен блок питания ± 15 В для нуль-индикаторов реле сопротивления — комплект КЗ 10 (рис. 3.12).

Все перечисленные комплекты защит предназначены для применения в схемах релейной защиты на постоянном оперативном токе напряжением 110 и 220 В.

По требованию заказчика завод поставляет устройства с необходимыми пределами регулирования уставок: максимальная возможная

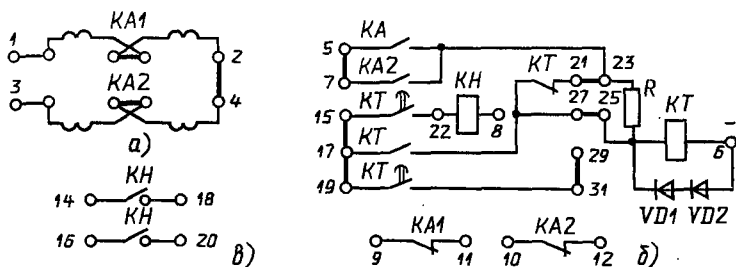


Рис. 3.7. Принципиальная схема комплекта КЗ 12:

а — цепи переменного тока; б — цепи оперативного постоянного тока; в — цепи сигнализации

установка токовых реле 200 А, минимальная 0,05 А; максимальная установка времени срабатывания МТЗ 3,5 или 9 с. Для исключения ложной работы защит все выходные реле комплектов имеют замедление на срабатывание.

В комплектах КЗ 9/2, КЗ 13 и КЗ 17 в качестве выходных реле используют реле типа РП-251, замедление на срабатывание у которых достигается установкой медных шайб на сердечник. В комплектах КЗ 9, КЗ 15 и КЗ 10 используется реле типа РП-253, у которых замедление достигается за счет демпфирующих обмоток. Для предотвращения ложного срабатывания защиты при действии разрядников время срабатывания с использованием замедления устанавливают 0,11—0,14 с, при уменьшении числа медных шайб или полном их снятии, при отключении демпфирующей обмотки время срабатывания защит уменьшается до 0,06—0,08 с.

Для исключения появления ложных сигналов указательные реле первой ступени этих комплектов шунтируются размыкающими контактами выходных реле.

В комплектах КЗ 12 и КЗ 14 в качестве выходного реле используются реле времени.

В комплекте КЗ 14 предусмотрена возможность изменения угла максимальной чувствительности реле мощности $KW1$ и $KW2$ изменением сопротивления резисторов $R1$ и $R2$: так, при подключении цепей напряжения от TB на выводы комплекта 16-20 и 16-14 $\varphi_{м.г} = -30 \pm 5^\circ$, а при подключении на выводы 16-18 и 16-12 $\varphi_{м.г} = -45 \pm 5^\circ$, 8*

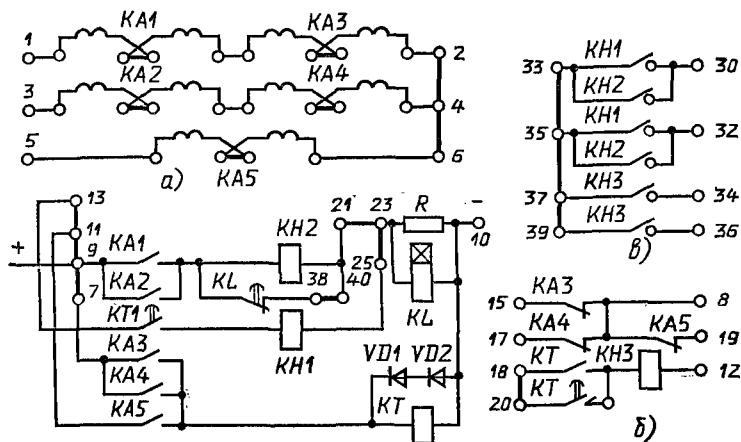


Рис. 3.8. Принципиальная схема комплекта КЗ 13:

а — цепи переменного тока; б — цепи оперативного постоянного тока; в — цепи сигнализации

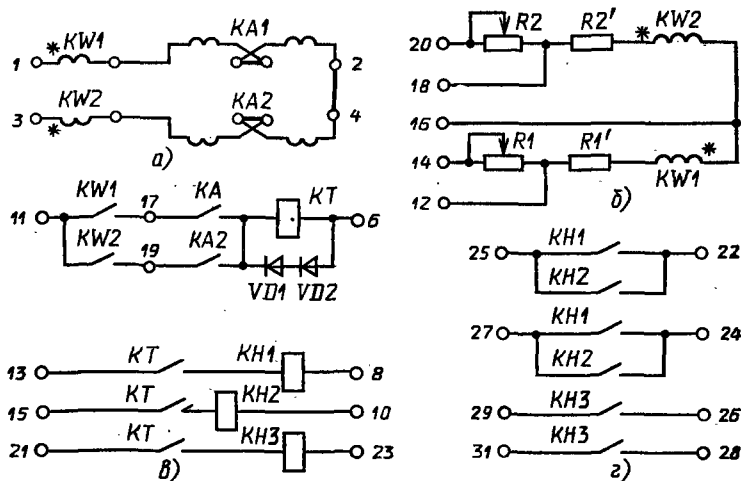


Рис. 3.9. Принципиальная схема комплекта КЗ 14:

а — цепи переменного тока; б — цепи переменного напряжения; в — цепи оперативного постоянного тока; г — цепи сигнализации

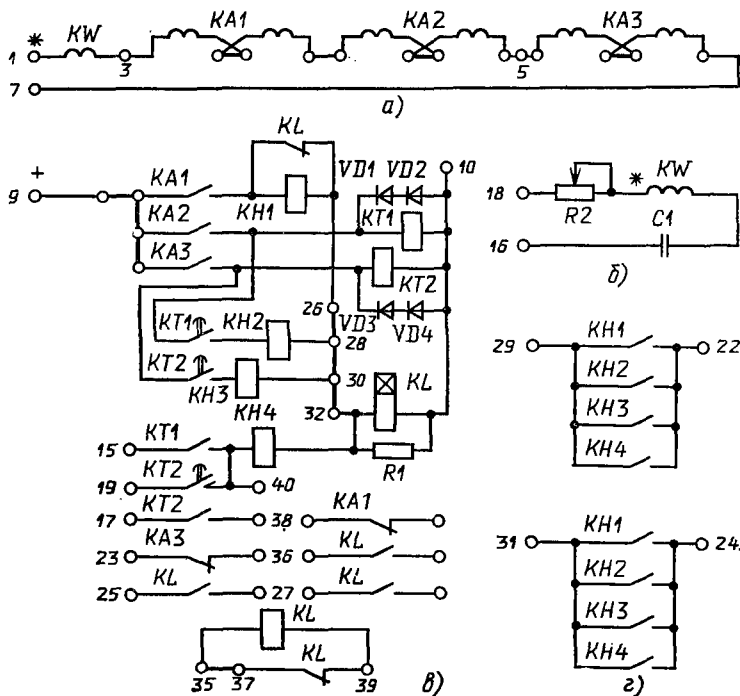


Рис. 3.10. Принципиальная схема комплекта КЗ 15:

а — цепи переменного тока; б — цепи переменного напряжения; в — цепи оперативного постоянного тока; г — цепи сигнализации

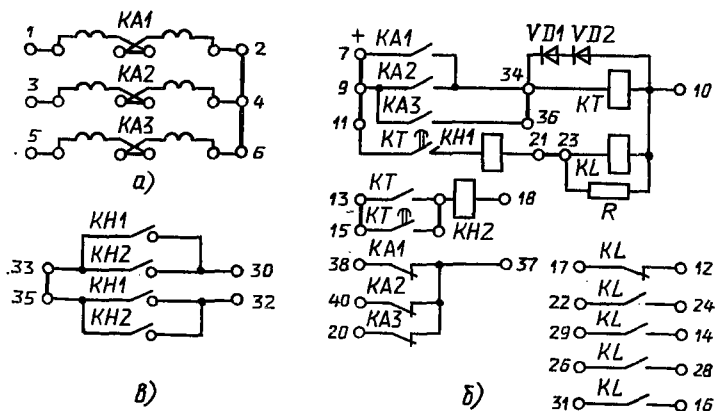


Рис. 3.11. Принципиальная схема комплекта КЗ 17:

а — цепи переменного тока; б — цепи оперативного постоянного тока; в — цепи сигнализации

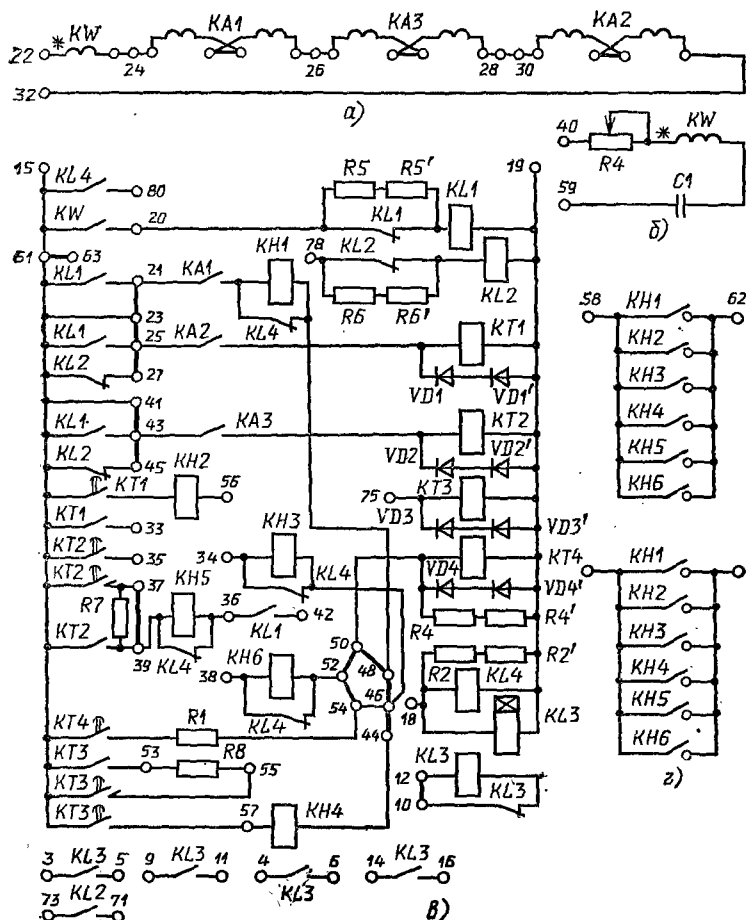


Рис. 3.12. Принципиальная схема комплекта КЗ 10:

a — цепи переменного тока; *б* — цепи переменного напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации

имеющийся мгновенный контакт реле времени может использоваться для обеспечения направленности других защит.

Комплект КЗ 15 в зависимости от режима работы цепей напряжения выпускается в двух исполнениях реле направления мощности. Исполнение А — если защита рассчитана на включение под напряжением.

ние $3U_0$, равное 100 В на время не более 1 мин; исполнение Б — если защита рассчитана на длительное включение под напряжение $3U_0$, равное $1,1 U_{ном}$. Аналогично в двух исполнениях выпускается и комплект КЗ 10: исполнение А — для кратковременного, исполнение Б — для длительного режима работы реле мощности.

Технические данные комплектов МТЗ приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Технические данные реле направления мощности комплектов МТЗ

Комплект, исполнение	Номинальный ток, А	Угол максимальной чувствительности $\Phi_{м.ч}$, град	Минимальная мощность срабатывания при угле $\Phi_{м.ч}$, $U_{ном}$ В · А и $I_{ном}$
КЗ 14	1/5	$-30^\circ \pm 5^\circ$	0,9
	1/5	$-45^\circ \pm 5^\circ$	1,2
КЗ 15А	1/5	$+70^\circ \pm 5^\circ$	0,3
КЗ 15В	1/5	$+70^\circ \pm 5^\circ$	0,9
КЗ 10А	1/5	$+70^\circ \pm 5^\circ$	0,3/1,5
КЗ 10Б	1/5	$+70^\circ \pm 5^\circ$	0,9/4,5

Переключением перемычек на выводах комплекта КЗ 10 можно легко выводить направленность действия любой ступени защиты, предусмотрено использование II и III ступеней защиты с внешним реле мощности.

Четырехступенчатая направленная МТЗ нулевой последовательности выполнена на типовой панели ЭПЗ-1636. В защите используется комплект КЗ 10, обеспечивающий три ступени защиты. Четвертая ступень обеспечивается с помощью отдельно устанавливаемых на панели реле направления мощности KW и реле тока KA .

Работа четвертой ступени предусмотрена в двух режимах:

направленная МТЗ с использованием разрешающего действия KW ;

направленная МТЗ с использованием блокирующего действия KW .

В обоих случаях функции разрешающие и блокирующие выполняет одно реле KW , но при различных схемах подключения обмотки напряжения к цепям $3U_0$. Реле KW для данной защиты может иметь одно функциональное назначение, определяемое не только схемой подключения обмотки напряжения, но и выполнением оперативных цепей защиты (рис. 3.13).

Если реле KW используется как разрешающее, перемычка ряда зажимов панели 53-54 установлена, 54-55 — снята; если KW используется как блокирующее, перемычка 54-55 установлена, 53-54 — снята. При стандартной схеме подключения цепей напряжения, указанной на рис. 3.3, реле KW выполняет разрешающее действие, так как работает при КЗ в зоне действия защиты. При срабатывании KW работает быстродействующее промежуточное реле-повторитель KL , через замыкающие контакты реле KL и KA работает реле времени KT , действующее с выдержкой времени на выходное реле $KL1$.

При подключении цепей напряжения с обратной полярностью

(рис. 3.14) реле KW выполняет блокирующее действие, так как работает при КЗ вне зоны действия защиты «за спиной», у реле на 180° изменяется зона срабатывания, угол максимальной чувствительности становится равным $\varphi_{м.ч} = +70^\circ + 180^\circ = 250^\circ$. Использование блокирующих функций реле позволяет значительно повысить чувствительность

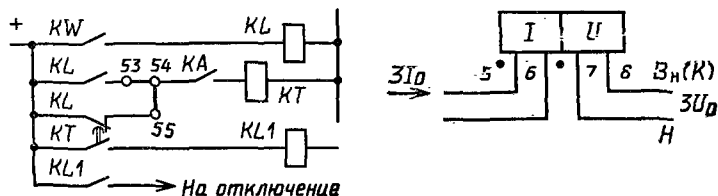


Рис. 3.13. Выполнение оперативных цепей четвертой ступени МТЗ от замыканий на землю панелей ЭПЗ-1636

Рис. 3.14. Схема включения блокирующего реле мощности с обратной полярностью

Таблица 3.3. Обозначения элементов, входящих в комплекты КЗ 9, КЗ 9/2, КЗ 12, КЗ 13, КЗ 14, КЗ 15, КЗ 17, КЗ 10

Цепи переменного тока, напряжения		Цепи оперативного постоянного тока		Цепи сигнализации	
в справочнике	в схемах завода-изготовителя	в справочнике	в схемах завода-изготовителя	в справочнике	в схемах завода-изготовителя
$KA1$	$1PT (PT1)$	KL	$РП$	$КН$	$РУ$
$KA2$	$2PT (PT2)$	$KL1$	$(РП1)$	$КН1$	$1РУ (РУ1)$
$KA3$	$3PT (PT3)$	$KL2$	$(РП2)$	$КН2$	$2РУ (РУ2)$
$KA4$	$4PT$	$KL3$	$(РП3)$	$КН3$	$3РУ (РУ3)$
$KA5$	$5PT$	$KL4$	$(РП4)$	$КН4$	$4РУ (РУ4)$
KW	PM	KT	$РВ$	$КН5$	$(РУ5)$
$KW1$	$1PM$	$KT1$	$1PB (PB1)$	$КН6$	$(РУ6)$
$KW2$	$2PM$	$KT2$	$2PB (PB2)$		
		$KT3$	$(PB3)$		
		$KT4$	$(PB4)$		
		$VD1, VD2$	$1Д, 2Д$		
		$VD3, VD4$	$3Д, 4Д$		
		$VD1, VD1'$	$(Д1, Д1')$		
		$VD2, VD2'$	$(Д2, Д2')$		
		$VD3, VD3'$	$(Д3, Д3')$		
		$VD4, VD4'$	$(Д4, Д4')$		

Примечание. В скобках указаны заводские обозначения комплекта КЗ 10.

защиты и обеспечить направленность ее действия при удаленных КЗ, когда реле мощности не работает. При разомкнутом контакте реле KW реле KL находится в обесточенном состоянии, поэтому при установленной перемычке 54-55 для срабатывания защиты достаточно сработать только пусковому реле KA , так как размыкающий контакт KL замкнут.

При КЗ «за спиной» — на шинах или смежных присоединениях, когда реле KW работает, срабатывание KL блокирует защиту. Неселективное действие защиты при удаленных КЗ «за спиной», когда из-за малых значений $3I_0$ и $3U_0$ реле KW не работает, блокируется выбором тока срабатывания пускового реле KA , т. е. ток срабатывания реле KA принимают большим, чем ток внешнего удаленного КЗ.

Схемой комплекта КЗ 10 предусмотрена возможность выполнения II и III ступеней защиты с использованием дополнительно и блокирующего реле KW , для этого в цепь обмотки реле $KL2$ комплекта между выводами 63-78 предусмотрено выключение замыкающего контакта реле KL — повторителя контактов реле мощности KW . Этим обеспечивается повышение чувствительности защиты (чувствительность KW значительно выше, чем у реле мощности комплекта КЗ 10).

Обозначения элементов комплектов МТЗ приведены в табл. 3.3.

3.4. Особенности наладки комплектных защит

Объем и методика проверки отдельных реле, которыми комплектуются МТЗ, приведены в разд. 2, поэтому в данном разделе не рассматриваются. Перед наладкой МТЗ необходимо иметь принципиальные и монтажные схемы, а также следующие данные:

а) коэффициенты трансформации и схемы соединения трансформаторов тока и напряжения;

б) токи срабатывания и время действия каждой ступени защиты;

в) мощность срабатывания, угол максимальной чувствительности реле направления мощности; для направленных МТЗ, выполненных на панелях ЭПЗ-1636, должны быть указаны особенности использования реле мощности панели KW и комплекта КЗ 10;

г) максимальный ток на защищаемом присоединении при близких КЗ в зоне действия защиты для проверки отсутствия вибрации контактов реле мощности и токовых реле;

д) максимальный ток на защищаемом присоединении при КЗ вне зоны действия защиты, на шинах «за спиной».

Для защиты от однофазных замыканий на землю по пп. г) и д) принимают максимальные токи однофазного КЗ на землю, в защитах от междуфазных КЗ — максимальные токи двухфазного КЗ.

Проверку выполняют в следующей последовательности:

1) рассчитывают вторичные токи и настройки токовых реле, анализируют схему включения реле направления мощности, убеждаются в соответствии выполнения монтажа панели принципиальной и монтажной схемам;

2) проводят внешний осмотр и механическую ревизию элементов защиты, у комплектных защит особое внимание обращают на надежность пайки внутреннего монтажа, для этого разворачивают откидную плату комплекта и, осторожно покачивая каждый провод пинцетом,

убеждаются в надежности соединений. Полная ревизия реле в комплектах невозможна из-за малых расстояний между ними, поэтому, вывернув крепящие винты, каждое реле снимают с комплекта. У снятых реле проверяют отсутствие трещин в цокольных колодках, надежность замыкания контактов и крепление противодействующих пружин. У токовых реле устанавливают перемычки между токовыми обмотками в соответствии с заданными уставками.

При последующей установке токовых реле и реле мощности особое внимание обращают на затяжку крепящих установочных винтов, так как они являются одновременно и токоведущими:

3) настройку рабочих уставок начинают с проверки реле направления мощности, когда еще не установлены токовые реле, затрудняющие регулировку реле на месте установки. Реле мощности комплектов защиты можно проверять только установленными на место, так как вне комплекта от реле отсоединены отдельные его элементы: резисторы, конденсаторы, установленные с внутренней стороны откидных плат.

При проверках реле мощности наибольшую сложность представляет устранение самохода, который появляется из-за несимметрии магнитной системы реле и создает момент на подвижном его контакте на срабатывание или заклинивание.

В защитах от междупазных КЗ самоход по току у реле мощности устраняют при полностью ослабленной пружине до значения максимального тока КЗ на шинах «за спиной». Допускается оставлять у реле самоход по напряжению на срабатывание, если момент на замыкание контактов компенсируется затяжкой пружины на 90°. Данной проверкой убеждаются, что при такой затяжке пружины и подаче напряжения 110 В реле контакты не замыкает.

В защитах от замыканий на землю самоход у реле мощности устраняют до значения тока срабатывания наиболее чувствительной ступени защиты, чтобы избежать возможного загробления реле при дальних КЗ на границе зоны срабатывания защиты. Устранение самохода по напряжению и при больших значениях токов для защиты от замыканий на землю не является обязательным.

Самоход от тока устраняют при закороченной обмотке напряжения, что соответствует режиму работы реле при КЗ на шинах, когда закорочена первичная обмотка трансформатора напряжения. Самоход от напряжения проверяют при раскороченной токовой обмотке реле, так как сопротивление вторичной обмотки трансформаторов тока на переменном токе велико.

Проверку производят при полностью ослабленной противодействующей пружине, но с обязательной предварительной отметкой ее заводской затяжки. Чтобы исключить повреждение подвижной части реле, верхнего и нижнего подпятников, необходимо ослабить крепление верхнего подпятника и снять неподвижные контакты.

Устраняют самоход поворотом стального сердечника, имеющего продольный срез по образующей. После каждого поворота сердечника перед подачей тока крепящую сердечник гайку надежно затягивают диамагнитным ключом и убеждаются в наличии вертикального люфта и отсутствии затираний подвижной системы. Если указанный метод не дает положительных результатов, самоход устраняют, шунтируя одну из четырех обмоток напряжения, расположенных на внешнем магнитопроводе, резистором. Сопротивление резистора подбирается при

проверке, опытным путем определяется и обмотка, подлежащая шунтированию; выбранный резистор надежно припаивается к выводам обмотки. Сопротивление резистора должно быть не менее 2,5 кОм, мощность 2 Вт. Токовые реле необходимо проверять на переносной стойке и устанавливать в комплект уже настроенными на рабочую уставку. При подаче с соблюдением полярности на панель или комплект оперативном постоянном токе замыканием контактов вручную проверяют правильность работы схемы постоянного тока, особенно тщательно проверяют работу шунтирующих и блокирующих контактов. Контрольную проверку уставок токовых реле, проверку отсутствия вибрации их контактов и контактов реле мощности следует проводить при подаче оперативном токе по действию реле постоянного тока, установленных в цепи контактов проверяемых реле. Проверка отсутствия вибрации контактов производится при постепенном увеличении тока в защите до заданного максимального тока КЗ на линии.

Убедившись в четкой и надежной работе контактов, снимают временную характеристику работы защиты с измерением времени действия ее на выходное реле.

Если I ступень защиты — без выдержки времени, необходимо проверить поведение реле мощности и выходного промежуточного реле защиты при подаче и сбросе обратной мощности на реле. При имитации данного режима от испытательного устройства на защиту одновременно подаются аварийные ток и напряжение и фиксируется поведение реле мощности и выходного реле. Значение тока устанавливается равным максимальному току КЗ «за спиной», напряжение — равным номинальному, угол между током и напряжением устанавливается $\varphi_{м.ч} + 180^\circ$. Затем контролируется поведение выходного реле при сбросе мощности (одновременно отключаются ток и напряжение) — выходное реле защиты не должно срабатывать. При сильном отбросе на контактной плате следует установить ограничительный упор, как у индукционного реле сопротивления.

3.5. Проверка защит под нагрузкой

При проверке МТЗ током и напряжением нагрузки наибольшую сложность представляет проверка правильности включения реле направления мощности, которая производится в следующем объеме и последовательности (оперативный ток с защиты, цепи отключения выведены).

1. *Проверка исправности вторичных цепей напряжения защиты.* Для этого на рядах зажимов панели измеряют фазные и линейные напряжения, напряжение цепей TV относительно заземленного корпуса панели, проверяют чередование фаз. Производят фазировку цепей напряжения вновь включаемой защиты с ранее выверенными цепями напряжения, для защиты от замыканий на землю дополнительно замеряют напряжение небаланса разомкнутого треугольника и фазу вектора испытательного напряжения, определяют заземленные жилы кабеля цепей TV.

2. *Проверка исправности вторичных цепей трансформаторов тока и анализ векторных диаграмм нагрузочного режима.* Для этого на кабелях, приходящих на ряды зажимов панели, измеряют значение и фа-

зу вторичных токов нагрузки, проверяют наличие тока небаланса в нулевом проводе и соответствие обозначения цепей. Снятая и построенная в масштабе векторная диаграмма токов сопоставляется с полученными ранее данными о значении и характере первичной нагрузки на данном присоединении. По полученной векторной диаграмме токов и напряжений данного режима нагрузки и результатам предварительной настройки для каждого реле необходимо построить линию изменения знака момента и определить зону срабатывания и зону заклинивания.

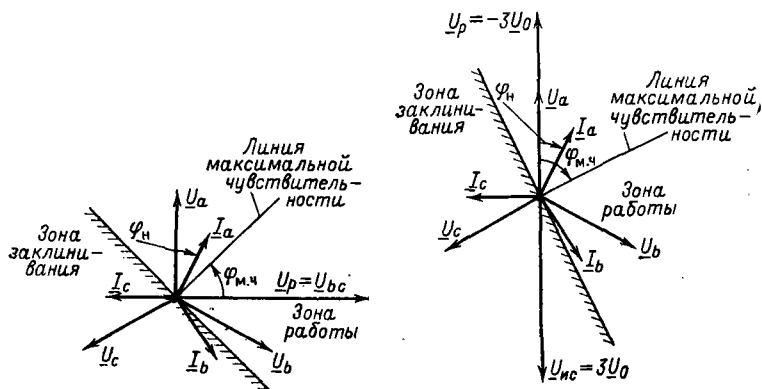


Рис. 3.15. Векторная диаграмма нагрузочного режима с зонами срабатывания и заклинивания реле мощности от междофазных КЗ, включенного по 90-градусной схеме на U_{bc} и I_a , $\varphi_{м.ч} = -45^\circ$

Рис. 3.16. Векторная диаграмма нагрузочного режима с зонами срабатывания и заклинивания реле мощности от замыканий на землю, включенного по схеме рис. 3.3

Линию изменения знака момента (линию перехода) строят относительно вектора напряжения, подводимого к реле при проверке, с учетом действительного, измеренного при настройке угла максимальной чувствительности реле. Как правило, при проверке под нагрузкой через реле поочередно пропускают ток каждой фазы, фаза испытательного напряжения при этом остается неизменной, поэтому по полученной диаграмме с нанесенными зонами срабатывания — заклинивания можно оценить ожидаемое поведение реле.

3. **Предварительный анализ поведения реле мощности.** Допустим, данной проверке соответствует нагрузочный режим, приведенный на векторной диаграмме (рис. 3.15), который характеризуется направлением активной и реактивной мощностей от шин в линию, φ_n — угол между током и напряжением нагрузки. Для защиты от междофазных КЗ используются реле РМБ-171, включенные по 90-градусной схеме на напряжение U_{bc} и ток I_a при $\varphi_{м.ч} = -45^\circ$. Анализируя данный режим, заключаем: при напряжении $U_{bc} = 100$ В и пропускании тока I_a

реле имеет момент на срабатывание; при токах I_b и I_c — на заклинивание, причем момент на размыкание от I_c должен быть значительно большим, чем от I_b .

Рассмотрим поведение реле мощности защиты от замыканий на землю при этом же характере нагрузки, если реле мощности включено по схеме, приведенной на рис. 3.3. При проверке на реле подают испытательное напряжение от выводов $B_H(K)$ и U разомкнутого треугольника трансформаторов напряжения $U_{исп} = 3U_0 = 100$ В, которое находится в противофазе с U_a . С этим напряжением реле при пропуске тока I_a имеет момент на срабатывание, при пропуске тока I_c

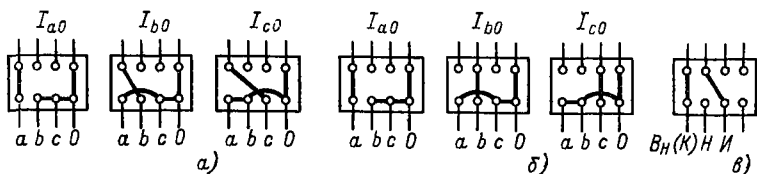


Рис. 3.17. Схемы испытательных блоков токов и напряжения для проверки реле мощности под нагрузкой:

a — токовые блоки для проверки защит от междуфазных КЗ, реле включено в фазу A ; $б$ — токовые блоки для проверки защит от замыканий на землю; $в$ — блок для подачи напряжения на защиту от замыканий на землю

на заклинивание ток I_b находится в зоне изменения момента, поэтому точного заключения о поведении реле сделать нельзя (рис. 3.16).

4. *Проверка поведения реле мощности.* Проверку производят при отключенном от защиты оперативном токе, чтобы исключить возможность случайного отключения выключателя и обеспечить возможность контроля рукой наличия момента на реле, особенно тормозного.

Ток в реле следует подавать специально собранными и промаркированными испытательными блоками (рис. 3.17, $a, б$), которые позволяют осуществить пропускание через реле токов любых фаз и гарантируют безопасность работ во вторичных цепях трансформаторов тока. При проверке реле мощности защиты от замыканий на землю из-за их термической нестойкости испытательное напряжение на реле следует подавать кратковременно, только на время, необходимое для фиксации поведения реле. Напряжение от испытательного вывода с маркой U подают на зажим панели, от которого отсоединен провод с маркой H , идущий от вершины разомкнутого треугольника; отсоединенный провод на период проверки изолируют.

Напряжение при проверке на реле более целесообразно подавать с помощью испытательной крышки блока, если цепи напряжения заводятся на защиту через блок, для этого на крышке устанавливают необходимые перемычки (рис. 3.17, $в$).

При проверках приборы, которыми снималась векторная диаграмма, необходимо держать подключенными, чтобы можно было провести контрольную проверку, если поведение реле не соответствует ожидаемому или изменилась нагрузка. Зафиксированное в протоколе поведение

реле сравнивается с результатами предварительной оценки, и делается вывод о правильности включения реле. При проверках под нагрузкой реле мощности, включенных с обратной полярностью и выполняющих блокирующие функции, следует учитывать, что зоны срабатывания и заклинивания у них отличаются от заводских на 180° .

Раздел четвертый

НАЛАДКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ГЕНЕРАТОРОВ, ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ), ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ШИН

4.1. Принципы выполнения дифференциальных токовых защит, объем их проверок и необходимые приборы

Продольные дифференциальные токовые защиты относятся к защитам с абсолютной селективностью, т. е. к таким защитам, которые реагируют только на КЗ в защищаемом элементе. В связи с этим продольные дифференциальные защиты являются основными защитами и выполняются с действием без выдержек времени. Принцип выполнения дифференциальных защит основан на применении схем с циркулирующими токами (рис. 4.1). Ток в исполнительном органе с учетом условных положительных направлений первичных токов, указанных на рис. 4.1 стрелками, равен геометрической сумме токов, подходящих к нему от трансформаторов тока:

$$I_p = I_{1в} + I_{2в}.$$

При нормальной работе, качаниях и внешних КЗ (точка К1) первичные токи $I_{1п}$ и $I_{2п}$ равны и сдвинуты по фазе на 180° , ток в исполнительном органе равен нулю:

$$I_p = (I_{1п} - I_{2п})/n_T = 0.$$

При КЗ в защищаемой зоне (точка К2) токи $I_{1п}$ и $I_{2п}$ в общем случае неодинаковы и в сумме равны току в месте КЗ, соответственно ток в исполнительном органе равен

$$I_p = (I_{1п} + I_{2п})/n_T = I_K/n_T.$$

При одностороннем питании, когда, например, $I_{2п} = 0$, можно приблизительно принять, что вторичный ток $I_{1в}$ полностью протекает через исполнительный орган, так как сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока с $I_{2п} = 0$, определяемое сопротивлением ветви намагничивания, очень велико, т. е. $I_p = I_{1в}$.

Продольная дифференциальная защита генератора обычно выпол

няется в двух- или трехфазном исполнении с двумя или тремя токовыми реле. Схемы защит приведены на рис. 4.2. Трансформаторы тока в обоих плечах дифференциальной защиты имеют одинаковые коэффициенты трансформации. Двухфазные схемы применяются для генераторов небольшой и средней мощности. Трехфазные схемы применяются для генераторов, работающих в блоке с трансформаторами, а также для мощных генераторов, работающих на шины. Заземление цепей тока защиты выполняется в одном месте, обычно у реле, к которым подводятся провода от обеих групп трансформаторов тока. Этим исключается появление в реле дополнительных $I_{\text{вб}}$, обусловленных разными потенциалами двух мест заземления при КЗ на землю в пределах станции и ЭДС, наводимыми в петле вспомогательные провода — заземляющий контур.

Дифференциальные защиты трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности выполнения схем токовых цепей определяются главным образом неравенством вторичных токов в плечах защиты по величине из-за различных коэффициентов трансформации трансформаторов тока и по фазе из-за различных схем соединения первичных обмоток со стороны высшего, среднего (в случае трехобмоточных трансформаторов) и низшего напряжения. Несоответствие токов в плечах по фазе устраивается соединением вторичных обмоток трансформаторов тока, а по величине — использованием отдельных или встроенных в реле промежуточных трансформаторов.

При соединении обмоток силового трансформатора по схеме звезда — треугольник вторичные обмотки одной из групп трансформаторов тока также должны быть собраны в треугольник (рис. 4.3). При этом соединение трансформаторов тока в звезду и треугольник должно соответствовать схеме включения обмоток защищаемого трансформатора. Обычно в треугольник соединяются трансформаторы тока со стороны заземленной звезды силового трансформатора для исключения излишнего срабатывания защиты при КЗ на землю в питающей сети. В этом случае токи однофазного КЗ замыкаются по вторичным обмоткам трансформаторов тока, не протекая через реле и не вызывая тем самым его срабатывания. При изолированной нейтрали со стороны звезды возможно соединение трансформаторов тока в треугольник и со стороны треугольника силового трансформатора. Однако в целях однотипности такое соединение не используется. Защитное заземление выполняется, как и для дифференциальной защиты генератора, в одной точке — у места установки реле.

Схема соединения вторичных обмоток трансформаторов тока для трехобмоточных трансформаторов приведена на рис. 4.4.

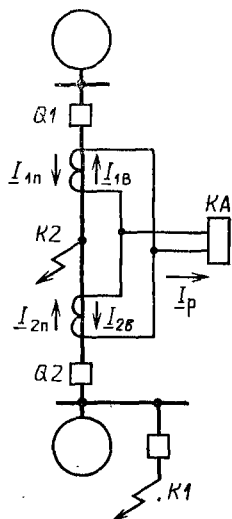


Рис. 4.1. Однолинейная схема дифференциальной токовой защиты

Дифференциальная защита электродвигателей выполняется аналогично дифференциальной защите генератора в двух- или трехфазном исполнении. Трехфазное исполнение защиты используется для двигателей большой мощности.

Дифференциальная защита шин. Как и для защиты многообмоточных трансформаторов, комплекты трансформаторов тока устанавливаются на всех присоединениях, отходящих от защищаемых шин. При этом коэффициенты трансформации трансформаторов тока всех присоединений должны быть одинаковы вне зависимости от величины рабочих токов присоединений. Если присоединения имеют трансформаторы тока с различными n_T , то в схеме защиты используются выносные

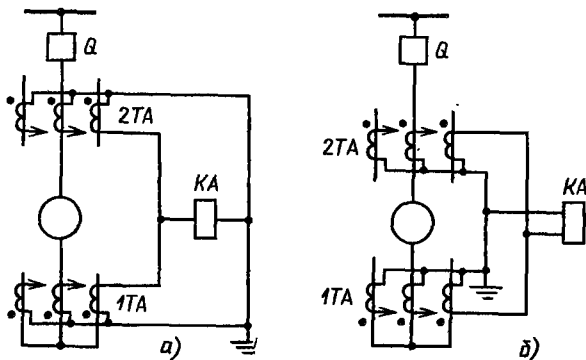


Рис. 4.2. Принципиальная схема продольной дифференциальной токовой защиты генератора:

а — соединение трансформаторов тока с обратной полярностью; б — соединение трансформаторов тока с прямой полярностью

или встроенные в реле промежуточные трансформаторы. На рис. 4.2 показана принципиальная схема токовых цепей дифференциальной защиты двойной системы шин с фиксированным распределением присоединений. Защита имеет пусковой и избирательные органы, выявляющие поврежденную систему шин. При оперативном нарушении фиксации принимаются меры, обеспечивающие нормальную работу защиты для чего в оперативных цепях предусматривается шунтирование контактов избирательных органов.

При наладке дифференциальных защит рекомендуется использовать приборы и устройства, приведенные в табл. 4.1.

Наладка дифференциальных защит включает в себя проверку вспомогательных аппаратов и основных реле. Первое подробно рассмотрено в разд. 2, поэтому в данном разделе рассматриваются лишь вопросы, касающиеся проверки основных реле и защит в целом.

В объем проверки защит входит:

внешний осмотр и проверка механической части отдельных элементов;

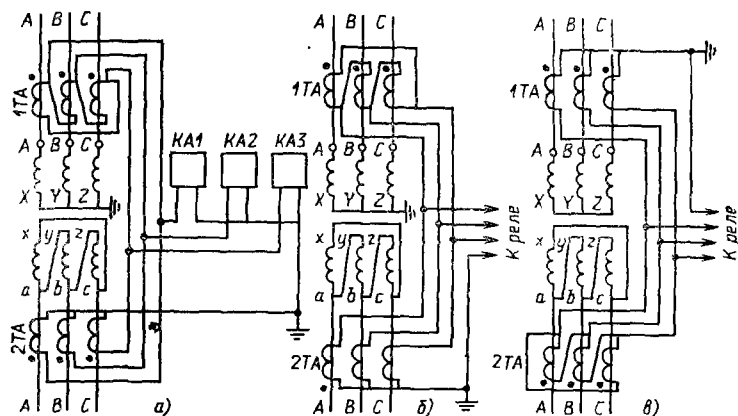


Рис. 4.3. Принципиальная схема продольной дифференциальной токовой защиты трансформатора с соединением обмоток в группу У/Д-11:

а — соединение трансформаторов тока с прямой полярностью; б — соединение трансформаторов тока с обратной полярностью; в — соединение трансформаторов тока в треугольник со стороны треугольника силового трансформатора

Таблица 4.1. Перечень приборов и устройств, рекомендуемых для налаживания измерительной части дифференциальных защит

Наименование прибора (устройства)	РНТ	ДЗТ-11	ДЗТ-21	ДЗШТ
Мегаомметр 1000 В М4100/4 (Ф4101)	+	+	+	+
Мегаомметр 500 В М4100/3 (Ф4101)	—	—	—	+
Испытательное устройство ИУ65	+	+	+	+
Комплектное устройство У5052	+	+	+	+
Мост постоянного тока ММВ (Р333)	+	—	—	+
Амперметр Э525 (Э513/4)	+	+	—	—
Комбинированный прибор Ц4313 (Ц4380, Ц4352, Ц353)	+	+	+	+
Миллисекундомер Ф738 (Ф209)	+	+	+	+
Вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85	+	+	+	+
Милливольтмикроамперметр М1200 (М1201, М2020)	—	—	+	+
Вольтамперметр М2038 (М2018)	—	—	+	+
Генератор низкой частоты ГЗ-33 (ГЗ-56)	—	—	+	+
Частотомер ЧЗ-33 (ЧЗ-32, ЧЗ-62)	—	—	+	—
Магазин сопротивлений Р33	—	—	+	—
Вольтметр ВЗ-38 (ВЗ-39, ВЗ-48 и др.)	—	—	+	—
Вольтметр Э515/3 (Э533)	—	—	—	+
Усилительная приставка к ВАФ-85	+	+	+	+

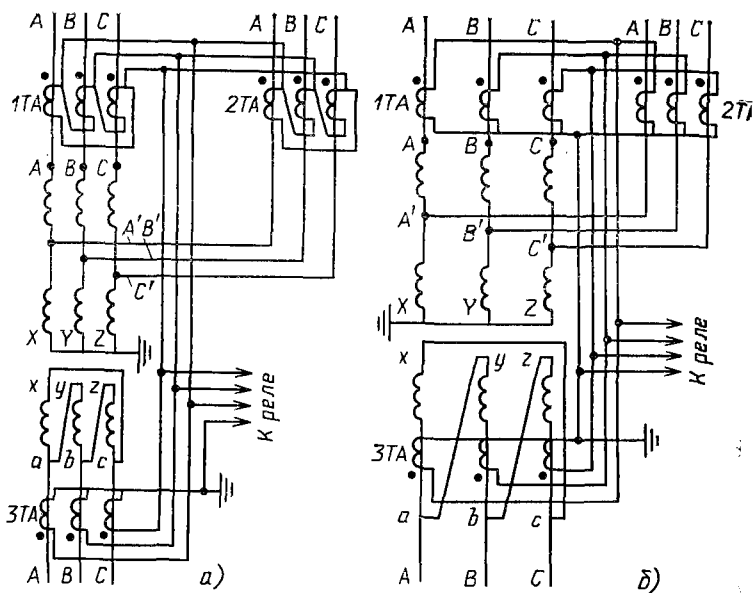


Рис. 4.4. Принципиальная схема продольной дифференциальной токовой защиты автотрансформатора с соединением обмоток У/У/Д-11:

а — трансформаторы тока установлены в линейные выводы обмотки низшего напряжения; б — трансформаторы тока установлены в фазные выводы обмотки низшего напряжения

проверка изоляции;
 проверка и настройка реле, снятие характеристик;
 комплексная проверка защиты;
 проверка защиты рабочим током и напряжением.

Внешний осмотр и проверка механической части элементов защиты

При проверке механической части особое внимание обращают на затяжку болтов, стягивающих сердечники дросселей, трансреакторов, трансформаторов и автотрансформаторов. Изменять заводскую стяжку стали у промежуточных трансформаторов реле серии РНТ и ДЗТ не допускается, так как она определяет рабочую точку на кривой намагничивания реле и индукцию срабатывания, которая при правильной настройке исполнительного органа равна 1,2 Тл.

Проверка и регулировка механической части исполнительного органа реле серии РНТ и ДЗТ выполняется согласно указаниям § 2 со следующими дополнениями:

зазоры между полкой якоря и полюсами магнитопровода (при втянутом положении якоря) должны быть одинаковыми и равны 0,3—0,4 мм;

во избежание вибрации подвижной системы в начальном и конечном положениях якоря после срабатывания между упорными винтами и якорем устанавливается зазор не более 1 мм;

левый упор устанавливается так, чтобы контактный мостик не заходил за неподвижные контакты.

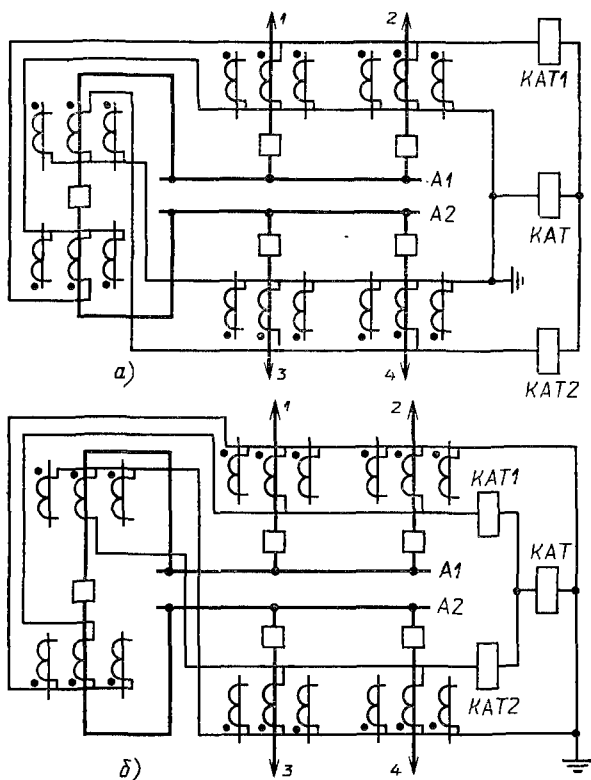


Рис. 4.5. Принципиальная схема дифференциальной защиты шин:

а — соединение трансформаторов тока с прямой полярностью; б — соединение трансформаторов тока с обратной полярностью

Необходимо убедиться в правильности выполнения заземления токовых цепей защиты. Во избежание повреждения измерительной регулировочной аппаратуры на время проведения наладочных работ заземляющий провод необходимо отсоединить от земли с последующим его присоединением после проведения комплексной проверки. Заземление в цепях переменного тока защиты ДЗШТ не производится. Заземлению 9*

подлежат нулевые точки вторичных обмоток основных трансформаторов тока, от которых питаются первичные обмотки промежуточных трансформаторов тока.

Проверка изоляции. Измерение сопротивления изоляции токоведущих частей производится мегаомметром 1000 В. Сопротивление изоляции между цепями обмоток и контактов промежуточных реле блока логической части защиты ДЗШТ проверяются мегаомметром 500 В. Для защиты ДЗТ-21 (ДЗТ-23) на время проверки изоляции должны быть вынуты платы элементов Э1. При проверке изоляции цепей основного блока защиты ДЗШТ все штыри устанавливаются в положение «КЗ». Проверка изоляции магнитоэлектрических реле приведена в разд. 8. Остальные указания по проверке изоляции и испытанию электрической прочности приведены в § 1.2. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм.

4.2. Проверка и настройка дифференциальных реле с насыщающимися трансформаторами тока серии РНТ

При наладке дифференциальных реле серии РНТ необходимо помнить, что работа реле с разомкнутой короткозамкнутой обмоткой не рекомендуется, так как это приводит к изменению МДС срабатывания и ухудшению отстройки от бросков аperiodических токов. Не рекомендуется также изменять ток срабатывания реле изменением положения указателя на шкале или изменять угол закручивания спиральной пружины. Если число витков рабочей обмотки меньше расчетного, то допускается последовательное соединение рабочей и уравнивающей обмоток (для реле РНТ-565). Расчетное число витков определяется как сумма витков, включенных на обеих обмотках. Число витков дифференциальной обмотки при расчете округляют до ближайшего целого числа в меньшую сторону.

Значение сопротивления в цепи короткозамкнутой обмотки задается вместе с уставками. При его отсутствии можно пользоваться следующими ориентировочными данными:

защита генераторов и электродвигателей — 10 Ом;

защита шин — 10 Ом;

защита мощных трансформаторов (автотрансформаторов) — 3–4 Ом;

защита трансформаторов собственных нужд электростанции — 1,5–3 Ом.

Все проверки реле производятся непосредственно на панели защиты с тех зажимов панели, к которым подводятся жилы кабелей соответствующих трансформаторов тока.

Проверка исполнительного органа. Проверка калибровки исполнительного реле производится подачей в его обмотку синусоидального тока по схеме рис. 4.6. Реле должно срабатывать при токе 0,16–0,17 А и напряжении 3,5–3,6 В. При отличии параметров срабатывания указанных величин исполнительный орган необходимо откалибровать. Для этого указатель реле отводится вправо до отказа и при токе 0,16–0,17 А фиксируется взаимное положение якоря и магнитопровода, при котором напряжение на обмотках реле станет 3,5–3,6 В. Регулировка осуществляется перемещением сердечника магнитопровода.

коррекция в небольших пределах — левым упорным винтом. Установив указатель в рабочее положение (против риски) и изменяя натяжение пружины, добиваются тока срабатывания реле 0,16—0,17 А. Производится повторное измерение напряжения срабатывания, которое не должно выходить за пределы 3,5—3,6 В. При регулировке тока срабатывания следят за тем, чтобы при возможном ослаблении пружины якорь касался левого упора. Проверяется коэффициент возврата, который не должен быть ниже 0,8. Регулировка коэффициента возврата производится конечным положением якоря под полюсами (правый упорный винт) и изменением нажатия контактных пружин.

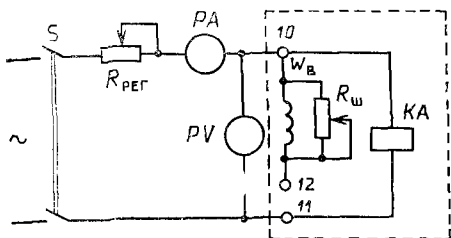


Рис. 4.6. Схема проверки исполнительного органа реле серии РНТ и ДЗТ-11

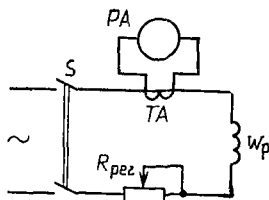


Рис. 4.7. Схема проверки реле РНТ и ДЗТ-11

Напряжение на обмотке реле измеряется вольтметром с $R_{вн}$ не менее 2000 Ом, тока — амперметром типа Э513/4 или Э525.

Проверка МДС и первичного тока срабатывания. Магнитодвижущая сила срабатывания проверяется для каждого плеча защиты при максимальных витках на всех используемых обмотках. На короткозамкнутой обмотке выставляется заданное значение сопротивления R_k . Проверка производится по схеме рис. 4.7 или от установки типа У5052. Во избежание искажения формы кривой тока питание для реостатной схемы берется от линейного напряжения, а на нагрузочном блоке К514 установки У5052 устанавливается предвключенное сопротивление на наибольшую возможную по допустимому току величину (200, 70 или 20 Ом). Магнитодвижущая сила срабатывания, равная произведению тока в плече защиты на суммарные выставленные витки в этом плече, должна быть 100 ± 5 А. Подрегулировка осуществляется изменением величины $R_{ш}$. Регулировка МДС срабатывания изменением калибровки исполнительного органа недопустима.

После того как выставлены расчетные витки, проверяется ток срабатывания и возврата для каждого плеча защиты. Коэффициент возврата реле по первичному току может отличаться от коэффициента возврата исполнительного органа в ту или иную сторону, так как он зависит от соотношения между шунтирующим сопротивлением $R_{ш}$ и полным сопротивлением Z исполнительного органа.

Работа контактов реле проверяется при питании одной из рабочих обмоток током от $1,05 I_{\text{ср}}$ до максимально возможного тока КЗ.

Проверка правильности выполнения короткозамкнутых обмоток. Измеряется ток срабатывания в одном из плеч защиты при разомкнутой обмотке. Ток срабатывания должен уменьшиться на 20—30 %. В случае сомнения в правильности выполнения обмоток производится измерение тока в цепи (амперметр включается в разрыв вывода 9 реле)¹. При первичном токе, соответствующем $F_{\text{ср}} = 100 \text{ А}$, отсутствие тока в обмотках укажет на их неправильное включение.

Проверка коэффициента надежности. Коэффициент надежности определяется по току в исполнительном органе без нарушения его установки. Для этого вместо перемычки 11-12 в цепи реле включается амперметр типа Э525 на пределе измерения 0,5 А. Якорь реле заклинивается в отпавшем положении. В первичную обмотку подается ток соответствующий первичным МДС, равным $F_{\text{ср}}$, $2F_{\text{ср}}$ и $5F_{\text{ср}}$. Отношение токов исполнительного реле при $2F_{\text{ср}}$ и $5F_{\text{ср}}$ к току при $F_{\text{ср}}$ и будет коэффициентом надежности при данной кратности:

$$k_{\text{н2}} = I_{2F_{\text{ср}}} / I_{F_{\text{ср}}} \geq 1,2,$$

$$k_{\text{н5}} = I_{5F_{\text{ср}}} / I_{F_{\text{ср}}} \geq 1,35.$$

Отклонения коэффициента надежности в сторону его снижения могут быть объяснены несоответствием параметров магнитопровода техническим условиям. У этих реле допускается снизить ток срабатывания реле РТ-40 до 0,16 А, оставив при этом МДС срабатывания равно 100 А. Если в этом случае коэффициент надежности будет ниже нормы, то реле бракуется.

Дополнительные проверки:

а) *определение времени срабатывания реле* производится только при выявлении повышенного времени работы защиты в целом. При токах, равных двух- и трехкратным значениям тока срабатывания реле измеренное время срабатывания не должно превышать 0,05 и 0,04 с соответственно;

б) *характеристика намагничивания насыщающихся трансформаторов тока* $U_p = f(F_n)$ снимается только в том случае, если имеются сомнения в исправности магнитопровода или обмоток трансформатора. На наличие неисправностей указывают значительное отличие МДС срабатывания для различных плеч защиты, несоответствие норм $k_{\text{н2}}$ и $k_{\text{н5}}$, значительный гул и дребезжание в магнитопроводе. Якорь реле заклинивается в отпавшем положении. На рабочих обмотках выставляется возможно большее число витков (желательно выставить число витков, кратное 10). К выводам 10-11 исполнительного органа подключается вольтметр с $R_{\text{вн}} \geq 2000 \text{ Ом}$. Снимается зависимость первичного напряжения U_p от МДС F_n при кратностях $F_n / F_{\text{ср}}$, равных 0,5; 1; 2; 3; 5. Характеристика снимается при разомкнутой и замкнутой на заданное сопротивление короткозамкнутой обмотке (при изменении R_k от минимальной до максимальной величины характеристика изменяется незначительно). На рис. 4.8 показана область

¹ Здесь и далее обозначения выводов и разъемов реле указаны в соответствии с заводской документацией и не всегда приведены на сунках.

менения характеристик намагничивания, снятая прибором Ц4313 при различной регулировке исполнительного органа (верхняя огибающая — при $I_{ср}=0,17$ А и нижняя — при $I_{ср}=0,16$ А). Характеристика намагничивания не должна отличаться от типовых более чем на 5—8 %;

в) *степень отстройки реле от неустановившихся переходных токов* $\epsilon=f(K)$ снимается при необходимости точной оценки заглубления реле от апериодической составляющей при заданном R_k . Характеристика поз-

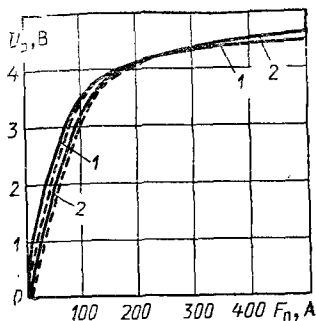


Рис. 4.8. Характеристика намагничивания $U_p=f(F_n)$ насыщающихся трансформаторов тока реле серии РНТ:

1 — КЗ обмотка разомкнута; 2 — КЗ обмотка замкнута на R_k

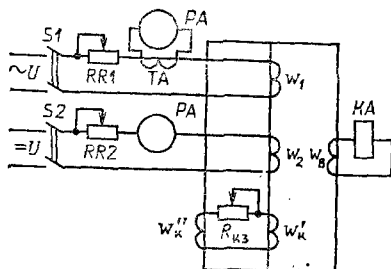


Рис. 4.9. Схема для снятия характеристики $\epsilon=f(K)$

воляет судить об отстройке от бросков тока с апериодической составляющей. Характеристика снимается по схеме, приведенной на рис. 4.9. Постоянный и переменный токи подаются в разные обмотки реле. Для исключения возможности трансформации переменного тока в цепь постоянного тока питание последнего берется от стационарной аккумуляторной батареи 110—220 В. По полученным результатам строится характеристика $\epsilon=f(K)$ и сравнивается с заводской (рис. 4.10).

4.3. Проверка и настройка дифференциальных реле с магнитным торможением серии ДЗТ-11

В отличие от РНТ реле серии ДЗТ не имеют короткозамкнутой обмотки, что несколько ухудшает отстройку от токов небаланса при наличии апериодической составляющей. Проверка исполнительного органа производится аналогично реле серии РНТ.

Проверка отсутствия взаимной индукции между тормозными и вторичными обмотками промежуточных трансформаторов. Проверку производят на рабочих отпайках тормозной обмотки по схеме рис. 4.11. Перемычка 11-12 (на рисунке не показана) в цепи исполнительного

органа снимается. Подавая поочередно в каждую тормозную обмотку ток, измеряют напряжение на вторичной обмотке промежуточных трансформаторов вольтметром с $R_{вн} \geq 1000 \text{ Ом/В}$. Измеренное напряжение не должно превышать 0,1 В при $F_T = I_T \omega_T = 200 \text{ А}$.

Проверка МДС и первичного тока срабатывания. Магнитодвижущая сила срабатывания проверяется для каждого плеча защиты при выбранных расчетных витках на всех используемых обмотках. При

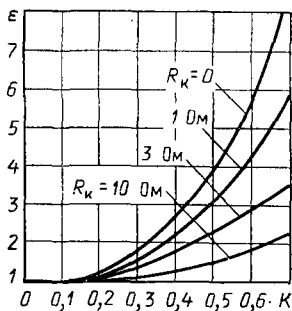


Рис. 4.10. Характеристика отстройки реле серии РНТ от бросков тока с апериодической составляющей

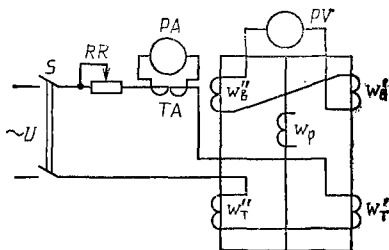


Рис. 4.11. Схема проверки отсутствия взаимной индукции между тормозной и вторичной обмотками

отсутствии тока в тормозных обмотках расхождение МДС срабатывания в разных плечах защиты не должно превышать 1—2 %. Подрегулировка тока срабатывания осуществляется изменением R в цепи вторичной обмотки. Коэффициент возврата реле, измеренный по первичному току, должен находиться в пределах 0,65—0,85.

Токи срабатывания реле для любого плеча защиты не должны отличаться от заданных более чем на 5 %:

$$(I_{ср}/I_{ср.зад} - 1) \cdot 100 \leq 5.$$

По измеренным токам рассчитывается максимальная величина небаланса тока срабатывания, %, у реле, имеющего наибольший разброс

$$n = (I_{1ср}/I_{1ср.зад} - I_{2ср}/I_{2ср.зад}) \cdot 100,$$

где $I_{1ср}$ — ток срабатывания одного плеча защиты; $I_{2ср}$ — ток срабатывания другого плеча защиты.

Полученный результат сравнивается с расчетной величиной небаланса, %, для этих же плеч защиты

$$m = (\omega_{2зад} I_{2ср.зад} / \omega_{1зад} I_{1ср.зад}) \cdot 100.$$

Значения n и m должны удовлетворять следующим условиям

$n \leq 4$ и $m \leq 4$ %; $m - n \leq 4$ %, где n подставляется в формулу с учетом полученного при расчете знака.

После настройки токов срабатывания проверяется отсутствие вибрации контактов реле при питании одной из рабочих обмоток током от $1,05 I_{ср}$ до максимально возможного тока КЗ в данном плече защиты.

Проверка коэффициента надежности. Определение коэффициента надежности производится при отсутствии торможения и при его нали-

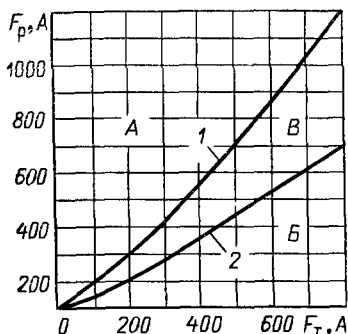
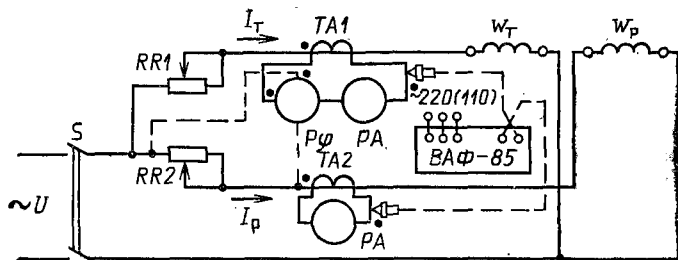


Рис. 4.12. Тормозные характеристики реле серии ДЗТ-11:

1 — при угле между векторами токов в рабочей и тормозной обмотках $\alpha = 0 \pm 30^\circ$; 2 — при $\alpha = 90 \pm 30^\circ$; А — зона срабатывания; Б — зона торможения; В — зона срабатывания или торможения

Рис. 4.13. Схема для проверки тормозных характеристик реле серии ДЗТ-11 при угле между токами I_p и I_T , равном нулю



чи по методике, приведенной для реле РНТ. Коэффициент надежности должен находиться в пределах: $k_{н2} = 1,2 \div 1,3$; $k_{н5} = 1,35 \div 1,5$. При последовательном включении тормозной и рабочей обмоток $k_{н2}$ и $k_{н5}$ сохраняют указанные пределы, если отношение тормозных и рабочих витков, включенных в плечо защиты, не превышает значения 0,25: $w_T/w_p \leq 0,25$. При большем отношении значение k_n (особенно $k_{н5}$) уменьшается.

Проверка тормозных характеристик. Максимальный эффект торможения имеет место при угле сдвига фаз между токами в тормозной и рабочей обмотках, равном нулю или 180° . Полученная тормозная характеристика должна располагаться ниже верхней граничной характеристики, гарантируемой заводом (рис. 4.12). Для проверки тормозной

характеристики на тормозной и рабочей обмотках выставляется расчетное число витков. Перемычка между этими обмотками снимается, чтобы обеспечивалось независимое регулирование тормозного и рабочего токов. Ток в тормозную и рабочую обмотки подается от одноименных фаз питающей сети (рис. 4.13). При изменении ступенями тока в тормозной обмотке от нуля до максимального тока КЗ измеряются токи срабатывания. Полученная характеристика строится в масштабе МДС. Контроль угла между токами производится фазометром либо ВАФ-85. В случае отклонения углов между токами на величину, превышающую $10-15^\circ$, характеристику можно снимать при одинаковых витках, установленных на рабочей и тормозной обмотках. Различие углов возможно из-за разных соотношений активных и индуктивных сопротивлений обмоток.

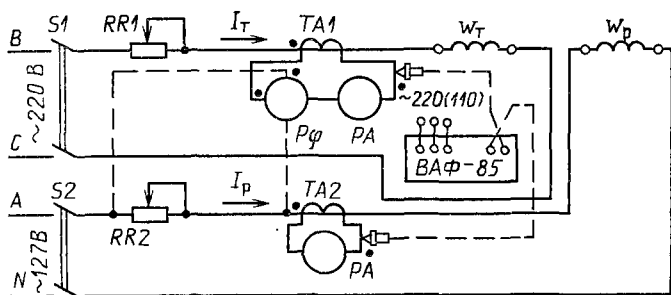


Рис. 4.14. Схема для проверки тормозных характеристик реле серии ДЗТ-11 при угле между токами I_p и I_T , равном 90°

Проверка минимального эффекта торможения производится при угле между рабочим и тормозным токами, равном $90-120^\circ$. Получение такого сдвига возможно при регулировании токов в рабочей и тормозной обмотках от разных питающих напряжений (рис. 4.14). Если схема не обеспечивает стабильности угла в пределах $75-135^\circ$, то необходимо подобрать питание от других фаз сети или перейти к снятию характеристики при максимальных выставленных витках на тормозной и рабочей обмотках. Полученная тормозная характеристика должна располагаться выше нижней граничной характеристики, гарантируемой заводом (см. рис. 4.12).

Дополнительные проверки:

а) *определение времени срабатывания реле* аналогично проверке реле серии РНТ;

б) *проверка отсутствия взаимной индукции между тормозными и вторичными обмотками промежуточных трансформаторов*, производимая по схеме рис. 4.11, не выявляет небольшого различия в числе витков тормозных обмоток левого и правого стержней. Для выявления такого дефекта подают ток в одну из рабочих обмоток, снимают переключку между обмоткой исполнительного реле и вторичной обмоткой промежуточного трансформатора, а тормозную обмотку отсоединяют от

испытательной схемы. В рабочей обмотке подбирается такой ток, чтобы обеспечивался удобный отсчет напряжений по вольтметру, поочередно подключаемому к тормозным обмоткам левого и правого стержней. Измеренные значения не должны различаться между собой более чем на 5 %. При больших различиях необходимо добиться их равенства переключением ответвлений. Если не удастся добиться равенства напряжений, реле бракуется. Измерения напряжений проводятся вольтметром с $R_{вн} \geq 2000 \text{ Ом/В}$;

в) *определение рабочей точки на кривой намагничивания реле необходимо при коэффициенте надежности, значительно отличающемся от заводских данных.* Характеристика намагничивания промежуточных трансформаторов снимается при питании током одной из рабочих обмоток и использовании исполнительного реле в качестве индикатора. Для этого на шкале реле отмечают положения указателя, соответствующие 60, 80, 100, 120, 135 % первичного тока срабатывания реле. Затем исполнительное реле отсоединяется от промежуточных трансформаторов и у него определяется напряженное срабатывания для каждого из указанных выше положений указателя. После построения характеристики намагничивания реле (зависимость напряжения на вторичной обмотке промежуточного трансформатора от первичного тока) по ней определяется рабочая точка, которая должна располагаться в самом начале изгиба. Если это условие не выполняется, реле бракуется. При этой проверке напряжение срабатывания реле должно соответствовать данным завода-изготовителя (3,5—3,6 В);

г) *проверка потребления реле необходима для определения нагрузки на трансформаторы тока при КЗ в зоне и вне зоны действия защиты.* В то же время определяющей проверкой является определение потребления при КЗ вне зоны, так как нагрузка на трансформаторы тока в этом режиме не должна превышать допустимую, чтобы не было ложной работы из-за большого тока небаланса. В связи с тем что потребление обмоток при КЗ вне зоны всегда меньше потребления этих же обмоток в режиме одностороннего питания (при последовательном соединении тормозной и рабочей обмоток), целесообразно потребление обмоток и нагрузку на трансформаторы тока определить для режима одностороннего питания. Характеристику снимают до максимального тока КЗ в данном плече защиты. По полученным результатам трансформаторы тока проверяются на допустимую нагрузку.

4.4. Проверка дифференциальной токовой защиты типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23)

В объем проверки защиты типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23) входят проверка модуля питания управления МПУ, проверка автотрансформаторов тока типа АТ-31 и АТ-32, проверка приставки дополнительного торможения типа ПТ-1 (при необходимости ее использования в схеме защиты), проверка фазного модуля реле дифференциальной защиты МРЗД, дополнительные проверки.

Проверка модуля питания управления МПУ.

Стабилизатор питания проверяется в нагруженном на МРЗД состоянии. Для удобства проверки МПУ вынимается из кассеты и со-

единается с ней испытательным удлинительным шнуром. От регулируемого источника постоянного тока на зажимы 9-10 колодки П1 плавно подается напряжение и вольтметром постоянного тока измеряется напряжение на диоде VD6.2 и в гнездах контрольного разъема X2/1a, X2/2a, X2/3a. Значения измеренных напряжений при изменении напряжения на входе защиты в пределах 0,8—1,1 $U_{ном}$ должны соответствовать следующим данным:

Место измерения . . .	VD6.2	X2/2a—X2/1a	X2/2a—X2/3a
Напряжение, В . . .	17,2—20	—(12,4÷13,5)	4,8—6,5

При несоответствии значений измеренных напряжений необходимо проверить резисторы R1—R4 на их соответствие заводским данным и изменить положение перемычек на стабилитронах VD1—VD3 и диоде VD6.1. Значение напряжений при номинальном напряжении питания между гнездами X2/2a—X2/1a и X2/2a—X2/3a следует установить возможно близкими к —13 В и +6 В соответственно. Положение перемычек фиксируются в протоколе проверки.

Проверяется исправность защитного диода VD6.2. Для этого МРЗД извлекается из кассеты и на входе защиты изменяется полярность подводимого напряжения. Если диод исправен, то напряжение на его зажимах при номинальном значении напряжения питания не должно превышать 1 В.

При проверке выходных цепей МПУ отсоединяется от кассеты. В выходных цепях проверяются исправность диодов, исправность искрогасительных контуров и параметры выходных реле.

Исправность диодов VD7.1 и VD7.2 проверяется измерением их сопротивления в прямом и обратном направлениях омметром. Измерения производятся при разомкнутом переключателе SX без отпайки диодов от схемы. Одновременно омметром проверяется исправность всей цепи с диодами VD7.1, VD7.2. Измерения производятся на гнездах разъема X1/9в—X1/0a и X1/9в—X1/9с.

Искрогасительные контуры проверяются следующим образом. При разомкнутом переключателе SX от регулируемого источника постоянного тока на гнезда разъема X1/9a—X1/0a (X1/9a—X1/8a, X1/9a—X1/4в, X1/9a—X1/5в для защиты ДЗТ-23) подается напряжение 100—120 В. Отключается источник напряжения (переключатель S2 на рис. 4.15), и через 5—10 с вольтметром с $R_{вн} \geq 2000$ Ом на этих же гнездах проверяется наличие остаточного заряда конденсатора искрогасительного контура.

При проверке реле KL1 (KL1, KL2, KL3 для ДЗТ-23) напряжение от регулируемого источника постоянного тока подается на гнезда разъема X1/2a—X1/4a (X1/4a—X1/1a, X1/1в—X1/1a, X1/2в—X1/1a для ДЗТ-23). Измеряется ток срабатывания реле, который должен находиться в пределах 1—2,6 мА. Время срабатывания реле должно быть не более 8 мс при напряжении на катушке реле, равном 13 В. Электронный миллисекундомер подключается к гнездам разъема X1/9a—X1/0a (X1/9a—X1/8a, X1/4в, X1/5в для ДЗТ-23). Проверяется ток возврата реле.

Напряжение срабатывания и возврата реле KL2 (KL4 для ДЗТ-23) проверяется подачей напряжения на гнезда разъема X1/0a—X1/9с.

(X1/8a—X1/9c, X1/4a—X1/9c, X1/5a—X1/9c для ДЗТ-23). Напряжение срабатывания должно находиться в пределах 130—145 В. Время срабатывания реле должно быть не более 12 мс при номинальном напряжении оперативного тока. Время действия реле измеряется электронным миллисекундомером, подключенным к гнездам разъема X1/1c—X1/2c, как среднее из трех-пяти измерений.

Проверка усилителей заключается в измерении напряжений на зажимах платы усилителя в нормальном режиме, когда отсутствует

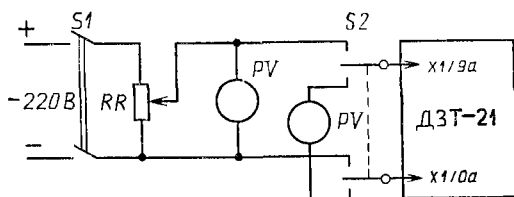


Рис. 4.15. Схема проверки искрогасительного контура выходных цепей МПУ защиты ДЗТ-21 (ДЗТ-23)

переменный ток на входе защиты, и в режиме срабатывания, когда на вход защиты подан переменный ток, равный $1,2 I_{ср}$. Измерения производятся вольтметром с $R_{вн} \geq 10 \text{ кОм/В}$. Значения измеренных напряжений должны соответствовать данным табл. 4.2. При проверке усилителей МРЗД должно быть установлено в кассету, а МПУ соединено с кассетой испытательным удлинительным шнуром. Имитацию

Т а б л и ц а 4.2. Проверка усилителей

Режим работы	Точки подключения вольтметра к плате усилителя ДЗТ-21 (ДЗТ-23)	Напряжение, В
Нормальный	4-20(1-9); 4-19(1-7); 4-16(1-6) 4-1(1-2) 11-4(8-1) 4-8(5-2; 4-2; 3-2)	0—0,2 12,4—13,5 4,8—6,5 0—0,005 (0—0,1)
Срабатывание	4-20(1-9); 4-19(1-7); 4-16(1-6) 4-1(1-2) 11-4(8-1) 4-8(5-2; 4-2; 3-2)	3,7—5,5 12,4—13,5 4,8—6,5 11—12

Примечание. Указанные в скобках точки подключения вольтметра и технические нормы приведены для реле ДЗТ-23.

режима срабатывания усилителя можно достичь замыканием через резистор 10 кОм гнезд $X4/1a-X4/4a$ МРЗД при вынуде из разъема реагирующего органа Э1.

Проверка автотрансформаторов тока на рабочих ответвлениях. Измеряется коэффициент трансформации автотрансформаторов при номинальном токе используемого ответвления и при максимальном токе внешнего КЗ. Разница в значениях измеренных коэффициентов трансформации не должна превышать 5 %. В целях предотвращения повреждения элементов токовых цепей защиты при токах выше 10 А проверку следует производить в течение не более 5 с.

Проверка приставки дополнительного торможения. От регулируемого источника тока к ответвлениям трансформаторов $TA1-TA3$ поочередно подводятся синусоидальные токи, равные номинальным токам ответвлений (5; 3,75; 3 и 2,5 А). Вольтметром с $R_{вн} \geq 1$ кОм/В измеряется напряжение на резисторе $R1$ (зажимы 1-2, 3-4, 5-6 колодки П1). При подводе тока к ответвлению 1 значение измеренного напряжения должно быть в пределах 2,9—3,3 В. В случае несоответствия напряжения указанным величинам необходимо убедиться в исправности выпрямительных мостов $VC1-VC3$ и в соответствии заводским данным резистора $R1$. Значения измеренных напряжений при подводе токов к другим ответвлениям исправных трансформаторов не должны отличаться от значений напряжений, измеренных при подводе тока к ответвлению 1, более чем на 2 %.

Проверка МРЗД. При проверке одного модуля реле остальные модули защиты должны быть вставлены в кассету. В проверку МРЗД входит: проверка трансреактора TAV ; проверка промежуточных трансформаторов $TA1$ и $TA2$; проверка фильтра второй гармоники; проверка реагирующего органа Э1; проверка чувствительного органа реле при отсутствии торможения; проверка дифференциальной токовой отсечки; регулировка коэффициента торможения; снятие тормозных характеристик на рабочих ответвлениях реле.

Проверка трансреактора TAV . От регулируемого источника тока к ответвлениям трансреактора поочередно подводятся токи, равные номинальным токам ответвлений (5; 4,6; 4,25; 3,63 и 2,5 А). Напряжение на вторичных обмотках трансреактора измеряется вольтметром с $R_{вн} \geq 1000$ Ом/В. При подводе токов к ответвлению 1 значения измеренного напряжения на обмотках w_2 и w_3 должны быть в пределах 6,8—7,6 В и 16,7—18 В соответственно. Отношение напряжений на обмотках w_3 и w_2 должно с точностью до 10 % соответствовать выражению $U_{w3}/U_{w2}=2,5$.

Значения измеренных напряжений на обмотках w_2 и w_3 при подводе токов к другим ответвлениям трансреактора не должны отличаться от значений напряжений, измеренных при подводе тока к ответвлению 1, более чем на 2 %.

Проверка промежуточных трансформаторов $TA1, TA2$ производится аналогично проверке приставки дополнительного торможения. Напряжение измеряется на зажимах 1-2, 3-4, 5-6 колодки П1.

Определение резонансной частоты фильтра второй гармоники. Для проверки фильтра размыкают переключатель $SX1$ и вынимают из разъема реагирующий орган Э1. Между гнездами разъема 19-21 реагирующего органа Э1 устанавливают перемычку. На вход фильтра (зажим б переключателя $SX1$ и общая точка обмотки дросселя

и конденсатора $C2$) подают сигнал генератора низкой частоты с током входа, равным 3 мА (рис. 4.16). Снимается резонансная кривая $U_L = \varphi(f)$ при частотах, равных 50, 96, 98, 100, 102, 104 Гц. Контроль частоты на выходе ГНЧ осуществляется электронным частотомером. Резонансная частота фильтра должна находиться в пределах 97—103 Гц. При правильной настройке фильтра на частоте $f=100$ Гц $U_L=17,5 \pm 20,5$ В, а на частоте $f=50$ Гц $U_L=0 \pm 3$ В. В случае отклонения от указанных пределов настройка фильтра производится выбором отпайки дросселя L и изменением зазора магнитопровода. Если резонансная частота меньше 100 Гц, зазор магнитопровода следует увеличить, а если больше — уменьшить. Проверку резонансной частоты фильтра можно произвести осциллографом по фигуре Лиссажу.

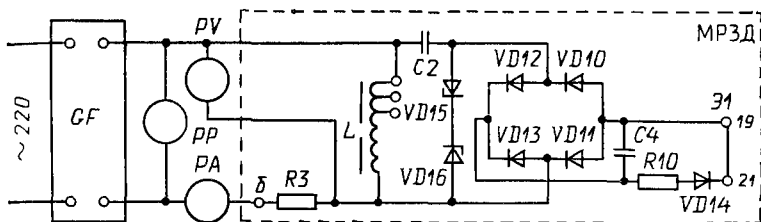


Рис. 4.16. Схема проверки фильтра 2-й гармоники

Проверка реагирующего органа Э1 производится в полной схеме защиты. На клеммы 9 и 10 колодки П1 подается номинальное напряжение оперативного тока. Вход осциллографа подключается к контрольной точке 15 реагирующего органа и к контрольному разъему Х4/2а. Входной зажим осциллографа, соединенный с корпусом прибора, должен обязательно подключаться к гнезду Х4/2а. От регулируемого источника на клеммы разъема Х3/1 и Х3/6 подается синусоидальный ток. Ток плавно увеличивается, и в момент срабатывания фиксируется длительность импульсов и пауз на экране осциллографа (рис. 4.17). Контроль срабатывания МРЗД осуществляется по срабатыванию выходного реле КЛ2 (КЛ4 для ДЗТ-23). Отношение длительности паузы t_n и импульса $t_{\text{им}}$ должно быть 0,82—1. При измерении временных интервалов ручка плавного регулирования длительности развертки осциллографа должна находиться в крайнем правом положении, что будет соответствовать положению переключателя «время/деление».

Время срабатывания элемента В определяется выражением

$$t_B = t_{\text{Э1}} - t_{\text{МПУ}},$$

где $t_{\text{МПУ}} = t_{\text{КЛ1}} + t_{\text{КЛ2}}$ (КЛ4).

Для измерения $t_{\text{Э1}}$ необходимо выводы переключателя «Пуск» миллисекундомера подключить к гнездам Х4/3а и Х4/2б проверяемого МРЗД, а выводы «Контакты» — к гнездам Х1/1с и Х1/2с. Устав-

ка t_B должна находиться в пределах 21—23,5 мс. Регулирование выдержки времени элемента B производится подбором резистора R_{12} . При исправном реагирующем органе требуемое значение сопротивления R_{12} находится в пределах 24—30 кОм.

Проверка чувствительного органа реле при отсутствии торможения заключается в определении регулирования токов срабатывания и выставлении рабочей уставки. Проверка производится на рабочих ответвлениях автотрансформаторов тока и трансреакторов по схеме, приведенной на рис. 4.18. Для проверки необходимо разомкнуть переключатель $SX3$ на лицевой плате МРЗД и подать на защиту номинальное напряжение оперативного тока. Источник синусоидального тока AA подключается со стороны трансформаторов тока одного из плеч дифференциальной защиты.

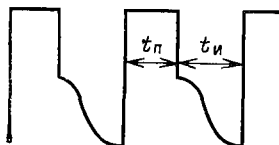


Рис. 4.17. Осциллограмма выходного сигнала РФ в момент срабатывания защиты

Плавным увеличением тока определяется срабатывание чувствительного органа реле при максимальной (крайнее левое положение регулятора $I_{ср}^*$) и минимальной (крайнее правое положение регулятора $I_{ср}^*$) чувствительности. Срабатывание чувствительного органа контролируется по срабатыванию выходного реле $KL2$ ($KL4$). Минимальный ток срабатывания чувствительного органа должен быть не более $0,3 I_{ном.отв}$, а максимальный — не менее $0,7 I_{ном.отв}$. В случае необходимости регулирование (смещение) диапазона токов срабатывания чувствительного органа может производиться подбором сопротивлений резистора $R2$ схемы реагирующего органа $Э1$. Относительный ток срабатывания чувствительных органов определяется из выражения

$$I_{ср}^* = \frac{I_{ср}}{n_{AT} I_{ном.отв}}.$$

Регулирование заданного тока срабатывания чувствительного органа осуществляется регулятором $I_{ср}^*$, предварительно устанавливаемым в крайнее правое положение. От источника тока подается ток, равный заданному току срабатывания защиты в проверяемом плече. Вращением ручки регулятора $I_{ср}^*$ против часовой стрелки достигается срабатывание реле. Положение регулятора $I_{ср}^*$ фиксируется контргайкой, а затем вновь проверяется ток срабатывания и ток возврата реле. Одновременно фиксируется напряжение срабатывания реле. Коэффициент возврата чувствительного органа находится в пределах 0,6—0,92. Напряжение срабатывания чувствительного органа, измеренное вольтметром с $R_{вн} > 10$ кОм, в зависимости от уставки находится в пределах 1,5—6,5 В.

Проверка дифференциально-токовой отсечки производится в полной схеме защиты для одной стороны защищаемого присоединения (рис. 4.18) при установке переключателя $SX2$ в положения $a-b$ и $b-a$ (см. заводскую схему реле ДЗТ-21). Для вывода из работы чувстви-

тельного органа гнезда $X4/2a$ и $X4/4a$ проверяемого МРЗД необходимо соединить временной перемычкой. Плавным изменением тока на входе защиты определяется ток срабатывания и возврата отсечки. При установке переключателя $SX2$ в положение $a-b$ $I_{ср.отс} \leq 6 I_{ном.отв}$, а в положение $b-b$ $I_{ср.отс} = 9 I_{ном.отв}$. Регулирование тока срабатывания отсечки производится подбором сопротивлений резисторов $R4$ и $R5$. Указанное регулирование удобно производить, используя магазин сопротивлений. Для этого отпаивается резистор $R5$ и к контактам 4 и 7 платы $П1$ модуля реле подключается магазин сопротивлений с установленным на нем сопротивлением примерно 30 кОм. На МРЗД подается заданный ток срабатывания отсечки. Последовательно уменьшая сопротивление, добиваются срабатывания отсечки. Затем подбирается резистор, соответствующий показаниям магазина сопротив-

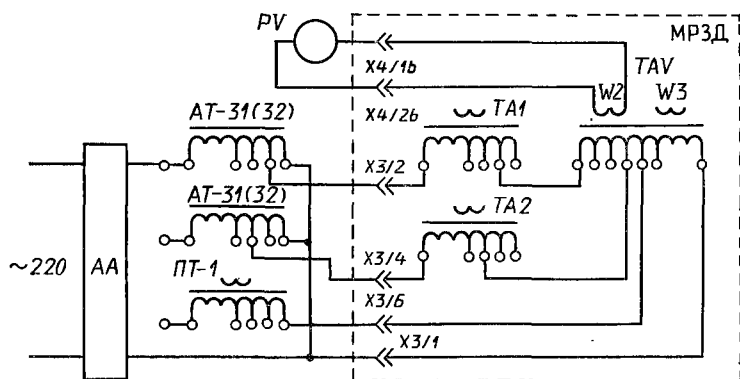


Рис. 4.18. Схема проверки токов срабатывания МРЗД

лений, и впаивается вместо $R5$. Повторно проверяется уставка. Во избежание повреждения автотрансформатора, трансформатора тока и трансреактора подавать на защиту ток не рекомендуется более 5 с. Коэффициент возврата должен быть не менее 0,3. Относительный ток срабатывания отсечки определяется по выражению, приведенному выше для чувствительного органа.

Проверяется время срабатывания отсечки при $I = 2 I_{ср.отс}$ на рабочей уставке. Миллисекундомер подключается к контактам выходного реле $KL2$ ($KL4$) на гнезда $X1/1c$ и $X1/2c$. Измеренное время срабатывания отсечки не должно превышать 35 мс.

Регулировка коэффициента торможения производится по схеме рис. 4.19. Рабочие и тормозные обмотки разъединяются, тормозные первичные обмотки трансформаторов тока $ТА1$ и $ТА2$ включаются последовательно, для чего между отводами 1-1 временно устанавливается перемычка ($I_{ном.отв} ТА1 = I_{ном.отв} ТА2 = 5 А$). Рабочий ток подается на гнезда $X3/1-X3/6$, тормозной ток — на гнезда $X3/2-X3/4$. Ко-

Эффект торможения проверяется при поочередной установке регулятора « k_T » (резистор $R12$) в крайние положения. Переключатель $SX3$ устанавливается в положение $a-b$, соответствующее $I_{T,0}^* = 1$. От регулируемого источника тока в тормозную цепь подается ток, относительное значение которого равно 3 и 5 (15 и 25 А соответственно). Относительное значение тормозного тока определяется по формуле

$$I_T^* = \frac{0,5I_T}{I_{\text{ном}TA1}} + \frac{0,5I_T}{I_{\text{ном}TA2}}.$$

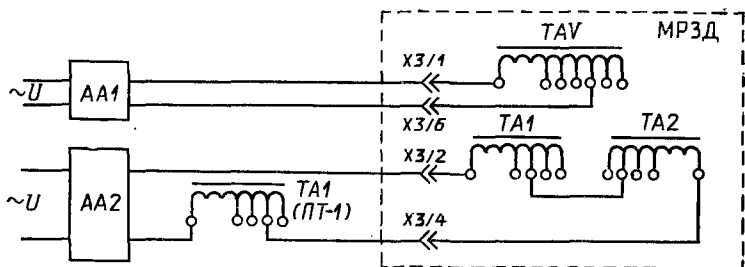


Рис. 4.19. Схема проверки тормозных характеристик МРЗД

При поданном на защиту напряжении оперативного тока измеряется ток в рабочей цепи, соответствующий срабатыванию выходного реле защиты. Коэффициент торможения подсчитывается по формуле

$$k_T = \Delta I_{\text{ср}}^* / \Delta \Sigma I_T^*,$$

где

$$\Delta I_{\text{ср}}^* = (I_{\text{ср}25} - I_{\text{ср}15}) / I_{\text{ном.отв}} = \Delta I_{\text{ср}} / 5;$$

$$\Delta \Sigma I_T^* = \frac{\Delta I_T}{2} \left(\frac{1}{I_{\text{ном}TA1}} + \frac{1}{I_{\text{ном}TA2}} \right) = \frac{25 - 15}{2} \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5} \right) = 2.$$

Отсюда $k_T = \Delta I_{\text{ср}} / 10$.

Минимальное значение коэффициента торможения должно быть не более 0,3 и максимальное — не менее 0,9. В случае необходимости регулирования (смещение) диапазона изменения k_T осуществляется подбором сопротивлений резистора $R11$.

Для регулирования заданного коэффициента торможения необходимо регулятор k_T установить в крайнее правое положение, в тормозную цепь реле подать ток $I_T^* = 5$, а в рабочую цепь — ток, значение которого в соответствии с заданным k_T определяется из выражения

$$I_{\text{ср}}^* = I_{\text{ср}0}^* + k_T (I_T^* - I_{\text{т}0}^*),$$

где $I_{\text{ср}}^*$ — относительный ток срабатывания реле при наличии тормо-

жения; $I_{ср0}^*$ — относительный ток срабатывания реле при отсутствии торможения (см. проверку чувствительного органа реле); $I_{т0}^*$ — горизонтальный участок тормозной характеристики (переключатель $SX3$ — в положении $a-b$, $I_{т0}^*=1$; $SX3$ — в положении $b-в$, $I_{т0}^*=0,6$).

Фактический ток срабатывания равен

$$I_{ср} = I_{ном.отв} I_{ср}^* = I_{ном.отв} [I_{ср0}^* + k_T (I_T^* - I_{т0}^*)] = \\ = 5 [I_{ср0}^* + k_T (5 - I_{т0}^*)].$$

Вращая ручку регулятора против часовой стрелки, добиваются срабатывания реле. Положение регулятора « k_T » фиксируется контргайкой, и производится окончательная проверка выставленного коэффициента торможения по методике, изложенной выше.

Снятие тормозных характеристик на рабочих ответвлениях реле производится по схеме рис. 4.19. Тормозной ток подается на последовательно включенные рабочие ответвления обмоток торможения промежуточных трансформаторов $TA1$, $TA2$ и приставки дополнительного торможения $ПТ-1$, если приставка используется. Рабочий ток подается на рабочее ответвление трансреактора TAV . Переключатель $SX3$ устанавливается в заданное положение. Тормозные характеристики снимаются при относительных значениях тормозных токов 0; $I_{т0}^*$; 2; 3; 4; 5, где $I_{т0}^*$ — относительная величина тока начала торможения

Значение тормозного тока подсчитывается по формуле

$$I_T = \frac{\Sigma I_T^*}{0,5 \left(\frac{1}{I_{ном.отв TA1}} + \frac{1}{I_{ном.отв TA2}} + \frac{1}{I_{ном.отв ПТ-1}} \right)}.$$

Проверяется ток срабатывания реле и определяется коэффициент торможения при $\Sigma I_T^*=4$ и $\Sigma I_T^*=5$:

$$k_T = \Delta \tilde{I}_{ср}^* / \Delta \Sigma I_T^* = \Delta I_{ср}^* (5-4),$$

где $I_{ср}^* = I_{ср} / I_{ном.отв TAV}$.

По полученным данным строится характеристика торможения $I_{ср}^* = f(\Sigma I_T^*)$ и определяется длина горизонтального участка характеристики $I_{т0}^*$ как расстояние до точки пересечения горизонтального и наклонного прямолинейных участков характеристики при их продолжении. Длина горизонтального участка характеристики должна быть равна

$$I_{т0}^* = (0,75 \div 1,15) I_{т0уст}^*,$$

где $I_{т0уст}^*$ — уставка по длине горизонтального участка тормозной характеристики.

Дополнительные проверки:

а) *проверка реагирующего органа.* Если при проверке реагирующего органа обнаружится какая-нибудь неисправность, то отыскание

и устранение этой неисправности производится измерением напряжений в контрольных точках и последующей поэлементной проверкой. Напряжения в контрольных точках реагирующего органа МРЗД в зависимости от режима работы должны соответствовать данным табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3. Проверка реагирующего органа

Режим работы	Контрольные строчки	Напряжение, В
Нормальный	X4/1a—X4/2a X4/3a—X4/2a 15—X4/2a 7—X4/2a X4/4a—X4/2a	—(12,4÷13,5) 4,8—6,5 —(0÷0,2) —(0÷0,2) —(0÷0,2)
Срабатывание	X4/1a—X4/2a X4/3a—X4/2a 15—X4/2a 7—X4/2a X4/4a—X4/2a	—(12,4÷13,5) 4,8—6,5 —(8,5÷13,5) —(10,5÷13,5) —(3,7÷5,5)

Режим срабатывания реагирующего органа имитируется замыканием гнезд X4/3a и X4/2a;

б) проверка стабилитронов VD8 и VD9 производится при значительном отклонении I_{T0}^* от уставки измерением напряжения на них при $I_T^*=2$. Указанные напряжения, измеренные вольтметром с $R_{вн} \geq 10$ кОм/В, должны находиться в пределах 5,04—6,16 В и 2,97—3,63 В соответственно. При несоответствии измеренных значений напряжения требуемый стабилитрон должен быть заменен на исправный.

4.5. Проверка дифференциальной защиты шин с торможением типа ДЗШТ

Дифференциальная защита шин с торможением типа ДЗШТ предназначена для действия при всех КЗ на шинах напряжением 110—330 кВ тех объектов, на которых из-за повышенных погрешностей трансформаторов тока или по каким-либо другим причинам не может быть использована дифференциальная защита, выполненная на базе реле с насыщающимися трансформаторами тока (РНТ). Дифференциальная защита шин ДЗШТ имеет высокую чувствительность даже при значительных (до 30—40 %) погрешностях трансформаторов тока, быстрое действие, относительно малое потребление мощности, возможность повышения чувствительности без применения дополнительных реле при

опробовании и АПВ шин. Наличие промежуточных трансформаторов тока с регулируемыми коэффициентами трансформации, устанавливаемыми в цепях каждого присоединения, позволяет использовать защиту при неравенстве коэффициентов трансформации основных трансформаторов тока.

В случае отсутствия уставок при наладке защиты ДЗШТ рекомендуется ток срабатывания избирательного органа принимать равным $0,8 I_{ном}$. Ток срабатывания органа контроля исправности цепей тока рекомендуется устанавливать минимальным по шкале уставок. Однако в условиях эксплуатации может потребоваться его корректировка с учетом отстройки от токов небаланса трансформаторов тока в реальных режимах работы защиты.

В объем проверки защиты ДЗШТ входит проверка блока логической части, проверка промежуточных трансформаторов тока, проверка и настройка частотных фильтров, проверка пусковых органов, проверка избирательных органов, проверка органа контроля исправности цепей тока.

Проверки блока логической части. Блок логической части включает в себя стабилизатор напряжения и промежуточные реле-повторители. *Стабилизация напряжения* проверяется измерением напряжения на выходе делителя (выводы 8-3) при изменении входного напряжения на выводах 8-2 от $0,8 U_{ном}$ до $1,1 U_{ном}$ в двух режимах: при включенной и отключенной нагрузке (реле *KL1*, *KL2* или *KL3*, *KL4*). Режим включенной нагрузки имитируется замыканием между собой выводов 8-6-5 или 8-7-4. Напряжение на выходе делителя изменяется в пределах 85 ± 3 В. При одинаковых входных напряжениях напряжение на выходе делителя в режиме отключенной нагрузки может превышать напряжение при включенной нагрузке не более чем на 2 В.

Проверка промежуточных реле-повторителей KL1—KL4 осуществляется подачей напряжения от регулируемого источника постоянного тока через миллиамперметр на выводы 6-2 (5-2, 7-2 и 4-2). Измеряется ток срабатывания реле, который должен находиться в пределах 3,5—6,5 мА. Коэффициент возврата реле должен быть не ниже 0,4. Время срабатывания реле проверяется при подаче на вход делителя (вывода 8-2) номинального напряжения. Переключатель «Пуск» миллисекундомера подключается к выводам 8-6 (8-5, 8-7, 8-4). Останов миллисекундомера осуществляется контактами реле *KL1—KL4* (выводы 15-16, 11-12, 19-20 и 23-24 соответственно). Время срабатывания каждого из реле должно быть в пределах 10—15 мс.

Проверка промежуточных трансформаторов тока TAL. Измеряется сопротивление постоянному току вторичных обмоток *TAL*, которое для всех исполнений должно быть в пределах $1750 \text{ Ом} \pm 5\%$. Проверяется полнота выводов обмоток. При этом за начало первичных обмоток принимаются выводы 6, 14, 22, тогда начало вторичных обмоток будут 27, 25, 23 соответственно. Снимается характеристика намагничивания $U_2 = f(I_2)$ подведением к вторичной обмотке *TAL* переменного тока I_2 в пределах от 0,15 до 1,7 мА и измерением на ней напряжения U_2 . На основе характеристики намагничивания вычисляются сопротивления *TAL*, кОм, со стороны вторичной обмотки:

$$Z_2 = U_2 / I_2.$$

Отклонение действительных значений Z_2 от Z_2 по типовой харак-

теристике (рис. 4.20) при одном и том же токе не должны отличаться более чем на 10 %. Большие отклонения свидетельствуют о неисправности TAL.

Коэффициент трансформации проверяется на рабочем ответвлении первичной обмотки при токе, равном $2I_{\text{ном}}$. Вторичные обмотки TAL должны быть подключены к основному блоку ДЗШТ. Отклонение действительных коэффициентов трансформации от расчетных, указанных в табл. 4.4, не должно превышать $\pm 3\%$.

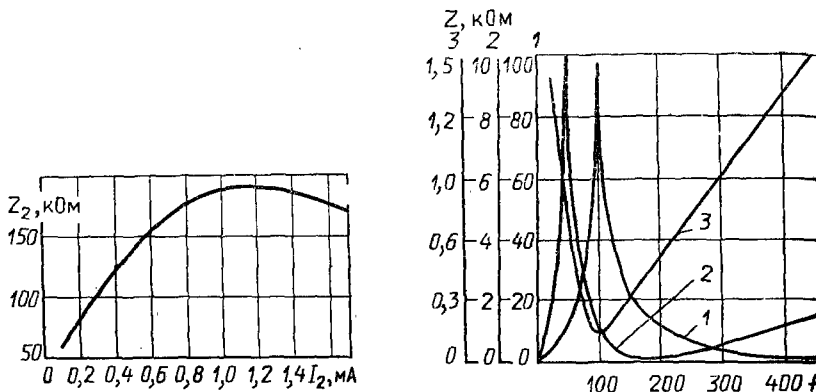


Рис. 4.20. Типовая характеристика намагничивания промежуточных трансформаторов тока

Рис. 4.21. Типовые характеристики частотных фильтров:

1 — характеристика фильтра пробки 2-й гармоники пусковых и избирательных органов; 2 — характеристика комбинированного фильтра-шунта пускового органа; 3 — характеристика последовательного фильтра-шунта органа контроля исправности цепей тока

Проверка и настройка частотных фильтров. Для проверки частотных фильтров используется генератор низкой частоты с регулируемым напряжением на выходе. Напряжение от ГНЧ подается поочередно

Таблица 4.4. Расчетные коэффициенты трансформации TAL

$I_{\text{ном}}, \text{A}$	Ответвления первичной обмотки	$n_{\text{т расч}}$	$I_{\text{ном}}, \text{A}$	Ответвления первичной обмотки	$n_{\text{т расч}}$
1	30	334	5	6	1670
	25	400		5	2000
	20	500		4	2500
	15	668		3	3340
	10	1000		2	5000

на входы всех фильтров. При этом измеряются напряжения и токи фильтров и вычисляется их входное сопротивление. Испытания всех фильтров производятся в диапазоне частот 25—500 Гц. При испытаниях один из выводов каждого фильтра отпаивается. По окончании испытаний схема должна быть восстановлена.

Испытание фильтра-пробки второй гармоники ($LIC1$ — пусковой орган и LC — избирательный орган) и снятие характеристики производится при неизменном токе на его входе, равном 0,5 мА, для чего напряжение на фильтре изменяется в пределах 1,5—50 В. Входное сопротивление фильтра должно иметь максимальное значение (90—100 кОм) при частоте 100 Гц. Типовая характеристика фильтра пробки второй гармоники $Z = f(f)$ приведена на рис. 4.21. Возможные отклонения фактических значений Z при заданной частоте от указанных на рис. 4.21 составляют от —5 до +10 %. В случае более значительных отклонений производится проверка емкости конденсатора и регулировка воздушного зазора магнитопровода дросселя.

Испытание комбинированного фильтра-шунта пускового органа $L2C2L3$ производится при неизменном токе на его входе, равном 5 мА. Напряжение на фильтре изменяется в пределах 0,2—60 В. Входное сопротивление фильтра обычно имеет максимальное значение (10—11 кОм) при частоте 50 Гц, а минимальное (50—100 Ом) — при частоте 150 Гц. Отклонения фактических значений Z от типовых (рис. 4.21) при одинаковых частотах должны лежать в диапазоне от —5 до +10 %. При более существенных отклонениях значений Z необходимо измерить емкость конденсатора $C2$ и подрегулировать воздушный зазор магнитопроводов дросселей $L2$ и $L3$. Сначала регулируется зазор дросселя $L2$ по условию настройки на резонанс токов при частоте 50 Гц контура $L2C2$, а затем — зазор дросселя $L3$ по условию последовательного резонанса при частоте 150 Гц (регулировка на минимум Z при частоте 150 Гц).

Последовательный фильтр-шунт второй гармоники, входящий в схему органа контроля исправности цепей тока (LC), проверяется при неизменном токе в его цепи, равном 5 мА. Напряжение на фильтре изменяется в пределах 0,3—10 В. Обычно входное сопротивление фильтра имеет явно выраженный минимум (70—90 Ом) при частоте 100 Гц. Возможные отклонения фактических значений Z при данной частоте от значений Z типовой характеристики (см. рис. 4.21) не должны превышать ± 10 %. В случае более существенных отклонений необходимо проверить емкость конденсатора C и подрегулировать воздушный зазор в магнитопроводе дросселя L .

Проверка пусковых органов производится в полной схеме защиты при полностью собранных вторичных цепях TAL по схеме, приведенной на рис. 4.22. Испытания проводятся при имитации однофазных КЗ от трех TAL , два из которых относятся к присоединениям I и II систем шин, а один — к шиносоединительному выключателю. Схема рис. 4.22 позволяет имитировать КЗ на I и II системах шин, а также внешние КЗ.

При имитации КЗ в защищаемой зоне на одной из систем шин (например, включено $AA1$ и замкнут выключатель SI , что соответствует КЗ на I системе шин) регулированием токов при включении каждой из фаз поочередно устанавливаются значения начальных токов при срабатывании $I_{ср.0}$ и возврате защиты для четырех сочетаний

крайних уставок регулировочных резисторов $R1$ и $R4$ (0 и 50 делений по шкале). Значения начальных токов срабатывания должны находиться в пределах: I диапазон — $(0,55 \pm 0,15 \div 1,6 \pm 0,4) I_{ном}$, II диапазон — $(1,05 \pm 0,2 \div 2,2 \pm 0,4) I_{ном}$.

Коэффициент возврата должен быть не менее 0,9. Фиксация срабатывания и возврата производится по замыканию и размыканию контактов 15-16 или 17-18 реле $KL1$ блока логической части.

Настройка уставок производится по схеме рис. 4.22. До настройки регулировочные резисторы устанавливают в положения: $R1$ — на нулевом делении; $R4$ — на 50 делениях. Устройством $AA1$ устанавливают заданный ток срабатывания при отсутствии торможения $I = I_{ср.о}$. Регулированием резистора $R4$ добиваются срабатывания пускового

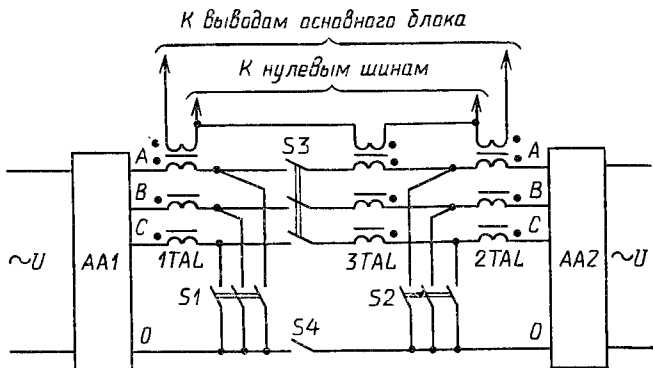


Рис. 4.22. Схема проверки защиты ДЗШТ

органа на выбранном заранее диапазоне. При вставленном измерительном щупе в разъем $X1$ микроамперметром, подключенным к выводам измерительного разъема, фиксируется значение тока срабатывания магнитоэлектрического реле, который должен находиться в пределах 70—100 мкА. При включенном микроамперметре ток срабатывания пускового органа будет несколько больше, так как микроамперметр увеличивает сопротивление цепи обмотки магнитоэлектрического реле. Рекомендуется использовать микроамперметр с $R_{вн} \leq 200 \text{ Ом}$ (М1200, М1201, М2020 и др.).

Настройка заданного коэффициента торможения пусковых органов всех фаз осуществляется при питании цепей защиты со стороны I системы шин и торможения со стороны II системы шин по схеме рис. 4.22. Перед началом проверки, в случае использования в качестве источников питания комплектных устройств типа У5052, необходимо тщательно провести фазировку цепей питания установок $AA1$ и $AA2$.

На резисторе $R1$ выставляется 50 делений, переключатель $S20$ «Ток» блока $K514$ устройства $AA2$ устанавливается в положение «Обратно» и замыкаются выключатели $S1$ и $S2$ на схеме рис. 4.22. Уст.

ройством $AA2$ устанавливается ток $I_2 = 0,5 I_{\text{ср0}}$, а устройством $AA1$ — ток $I_1 = I_2 + I_{\text{д}} = (k_{\text{т}} + 1,5) I_{\text{ср0}}$, где $I_2 = 0,5 I_{\text{ср0}}$; $I_{\text{д}} = k_{\text{т}} I_{\text{т}} + I_{\text{ср0}} = 2k_{\text{т}} I_2 + I_{\text{ср0}} = (k_{\text{т}} + 1) I_{\text{ср0}}$.

Регулированием резистора $R1$ добиваются срабатывания пускового органа. Положение резисторов $R1$ и $R4$ фиксируется в протоколе.

Производится проверка выставленных уставок при питании цепей защиты со стороны II системы шин и торможения со стороны I системы шин в трех режимах:

во вторичных цепях промежуточных трансформаторов тока TAL вставлены все блоки;

вынуты блоки четырех присоединений;

вынуты все блоки, кроме двух, которые являются источниками питания защиты.

Для указанной проверки ток I_2 устанавливается устройством $AA1$, а срабатывание пускового органа осуществляется регулированием тока I_1 , получаемого от источника питания $AA2$ (положение переключателей на блоках К514 устройств $AA1$ и $AA2$ не меняется и соответствует предыдущей проверке). При уменьшении количества подключенных вторичных цепей промежуточных трансформаторов тока TAL (вынуты блоки присоединений) увеличивается чувствительность срабатывания пускового органа при отсутствии торможения ($I_{\text{ср0}}$ уменьшается) и уменьшается коэффициент торможения. При полностью вынутых блоках $I_{\text{ср0}}$ может уменьшиться до 40 %, а $k_{\text{т}}$ — до 20 %.

Тормозные характеристики $I_{\text{д.ср}} = f(I_{\text{т}})$ снимаются в условиях имитации сквозного КЗ на рабочей уставке. Схема проверки та же, что и при настройке коэффициента торможения. С помощью установки $AA2$ ток I_2 изменяется от нуля до тока внешнего КЗ. Изменяя ток I_1 установкой $AA1$, добиваются срабатывания пускового органа. Коэффициент торможения подсчитывается по формуле

$$k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{д.ср}} - I_{\text{ср0}}}{I_{\text{т}}},$$

где $I_{\text{д.ср}} = I_1 - I_2$; $I_{\text{т}} = 2 I_2$.

Для условий КЗ в зоне без торможения (на рис. 4.22 выключатель $S1$ замкнут) и внешнего КЗ при отсутствии дифференциального тока (замкнуты выключатели $S3$, $S2$ и $S4$) с помощью микроамперметра, подключенного через измерительный разъем в цепь обмотки магнитоэлектрического реле, снимается характеристика $I_{\text{р}} = f(I_{\text{вх}})$. При имитации внешнего КЗ ток в цепи микроамперметра должен изменить знак на противоположный. Типовые характеристики $I_{\text{р}} = f(I_{\text{вх}})$ приведены на рис. 4.23. Отклонения измеренной характеристики от типовой не должны быть более 10 %.

Проверка избирательного органа выполняется по схеме, приведенной на рис. 4.22. Для создания условий наблюдения за работой избирательного органа необходимо на блоке логической части в этом случае замкнуть выводы 17-18.

При имитации КЗ поочередно на I и II системах шин (в первом случае включается $AA1$ и замыкается выключатель $S1$, а во втором включается $AA2$ и замыкается выключатель $S2$) проверяются токи срабатывания и возврата реле $K1$ и $K2$ на крайних уставках регулировочного резистора $R1$ (0 и 50 делений по шкале). Значения началь-

ных токов срабатывания при поочередном питании цепей фаз *A*, *B* и *C* должны быть примерно равными и находиться в пределах $(0,45 \pm \pm 0,1 \div 1,1 \pm 0,3) I_{\text{ном}}$. Коэффициент возврата избирательного органа должен быть не меньше 0,9. При данных испытаниях токи срабатывания магнитоэлектрических реле измеряются микроамперметром с $R_{\text{вн}} \leq 200$ Ом. Токи срабатывания магнитоэлектрических реле *K1* и *K2* должны находиться в пределах 70—100 мкА.

В тех же условиях, что и выше, но уже при имитации двухфазных КЗ на фазах *AB*, *BC* и *CA* повторно проверяются токи срабатывания реле *K1* и *K2*, которые должны быть примерно в 2 раза меньше, чем при однофазном КЗ.

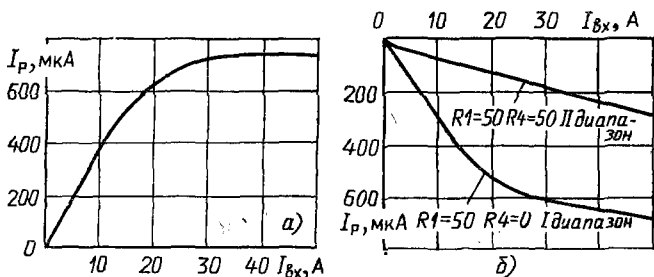


Рис. 4.23. Типовые характеристики $I_p = f(I_{\text{вх}})$ пускового органа:

а — КЗ в зоне защиты; б — внешнее КЗ

Рабочая уставка устанавливается при имитации однофазного КЗ на фазе *A*. Для этого резистор *R1* устанавливается в положение «50 делений» и испытательной установкой регулируется заданный ток. Изменяя положение резистора *R1*, добиваются срабатывания избирательного органа. Уставка проверяется при имитации всех видов однофазного и двухфазного КЗ на обеих системах шин.

Тормозные характеристики избирательного органа $I_1 = f(I_2)$ и $I_2 = f(I_1)$ снимаются при имитации однофазного КЗ на двух системах шин одновременно. Для этого в схеме рис. 4.22 включаются выключатели *S1* и *S2* (*S3* и *S4* разомкнуты), переключатели «Ток» блоков *K514* устройств *AA1* и *AA2* устанавливаются в положение «Прямо».

Для условий КЗ на I и II системах шин (поочередно включены *AA1* и *AA2* при разомкнутом выключателе *S3*) с помощью микроамперметра, подключенного через измерительные штыри, вставленные в разъем *X2*, снимается характеристика $I_p = f(I_{\text{вх}})$. Типовые характеристики приведены на рис. 4.24. Отклонения измеренной характеристики от типовой не должно быть более 10 %.

Угловые характеристики $I_{\text{ср}} = f(\varphi)$ при $I_2 = \text{const} = 2 I_{\text{ном}}$ и $I_{2\text{ср}} = f(\varphi)$ при $I_1 = \text{const} = 2 I_{\text{ном}}$ снимаются по схеме рис. 4.22 при включенных устройствах *AA1* и *AA2* и выключателях *S1* и *S2*. Контроль за срабатыванием избирательного органа можно вести как по срабатыванию реле *K1*, так и по срабатыванию реле *K2*. Чтобы не услож-

нять схему проверки, угол сдвига φ между токами I_1 и I_2 можно производить изменением фазы питающего напряжения устройств АА1 и АА2 (табл. 4.5).

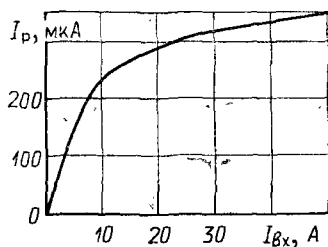


Рис. 4.24. Типовая характеристика $I_p = f(I_{вх})$ избирательного органа

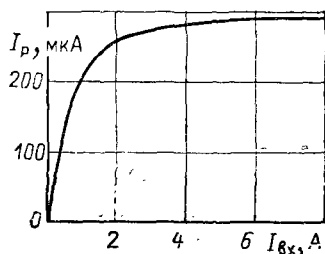


Рис. 4.25. Типовая характеристика $I_p = f(I_{вх})$ органа контроля цепей тока

Таблица 4.5. Регулирование угла сдвига фаз токов I_1 и I_2

φ, град	I_1 —устройство АА1		I_2 —устройство АА2	
	Питание подано от фаз	Положение переключателя S20 блока К514	Питание подано от фаз	Положение переключателя S20 блока К514
0	A—0	Прямо	A—0	Прямо
60	B—0	Обратно		
120	C—0	Прямо		
180	A—0	Обратно		
240	B—0	Прямо		
300	C—0	Обратно		

Проверка органа контроля исправностей цепей тока производится в общей схеме испытаний (см. рис. 4.22) при имитации однофазных и двухфазных КЗ на любой из систем шин для крайних уставок резистора $R1$ (0 и 50 делений). Значение тока срабатывания при имитации однофазного КЗ должно находиться в пределах $(0,055 \pm 0,01 \div 0,07 \pm 0,015) I_{ном}$.

Выставляется рабочая уставка и проверяется ток срабатывания магнитоэлектрического реле, который должен находиться в пределах 70—100 мкА. Микроамперметр подключается через измерительные штыри, вставленные в разъем X/a2—X/a1 вместо микроамперметра, установленного на панели защиты.

Снимается характеристика $I_p = f(I_{вх})$. Типовая характеристика при-

ведена на рис. 4.25. Отклонение измеренной характеристики от типовой более чем на 10 % указывает на неисправность диода VD_9 .

Дополнительные проверки:

а) проверка диодов $VD_1—VD_{40}$ пусковых органов производится на отсутствие пробоя и обрыва цепей при вынутых из блока рамках по схеме рис. 4.26. Отсутствие пробоя проверяется измерением обратного сопротивления мегаомметром на 500 В каждой из двух групп диодов между объединенными средними точками полумостов и соответствующим полюсом моста. Соединение средних точек полумостов выполняется с помощью временно устанавливаемых перемычек.

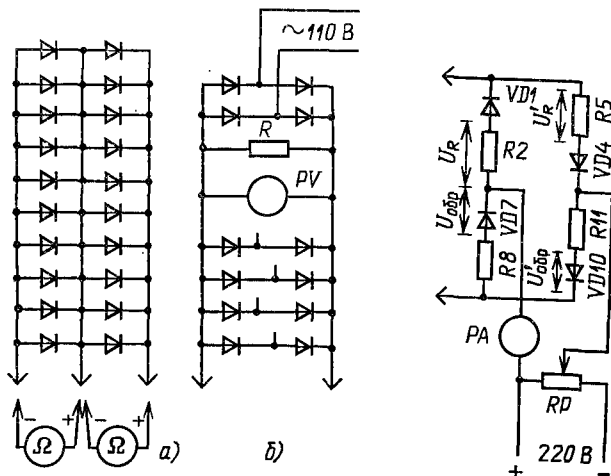


Рис. 4.26. Схемы проверки диодов выпрямительного моста пускового органа и органа контроля исправности цепей тока:

а — измерение обратного сопротивления; б — проверка выпрямительных групп

Рис. 4.27. Проверка элементов схемы сравнения избирательного органа

Сопротивление каждой из двух групп диодов должно быть не менее 0,2 МОм. Отсутствие обрыва проверяется путем измерения выпрямленного напряжения на нагрузке $R=500 \text{ Ом}$ при поочередном подведении между средними точками каждой пары полумостов переменного напряжения, равного 100 В. При отсутствии обрывов $U_{\text{выпр}}=90 \text{ В}$. При обрыве цепи диода, входящего в один из полумостов, выпрямленное напряжение снизится примерно в 2 раза;

б) проверка диодов $VD_{41}—VD_{44}$ пусковых органов производится при отклонениях измеренной характеристики $I_p=f(I_{\text{вх}})$ от типовой более чем на 10 %;

в) проверка диодов $VD_1—VD_{12}$ избирательного органа и рези-

сторонах $R2—R13$ производится по схеме рис. 4.27. При вынутом из разъема блоке избирательного органа и попарном питании полумостов, относящихся к I и II системам шин, постоянным током двух направлений измеряется падение напряжения от прямого тока на соответствующих резисторах, а также обратное напряжение на запертых диодах. При исправных диодах и резисторах указанные напряжения должны быть равны примерно половине приложенного напряжения. Проверка производится при $I=50$ мА и установленных штырях $X1$ и $X2$ в положении «КЗ»;

г) проверка диодов $VD13—VD16$ избирательного органа производится при отклонениях измеренной характеристики $I_p=f(I_{вх})$ от типовой более чем на 10 %;

д) проверка диодов $VD1—VD8$ органа контроля исправности цепей тока производится по схеме рис. 4.26 (см. проверку диодов $VD1—VD40$ пусковых органов). На время проверки выходной вывод моста $VD1—VD8$ со стороны одного из полюсов отпаивается.

4.6. Комплексная проверка защит

В объем комплексной проверки защит входит: оценка правильности сборки токовых цепей защиты и правильности настройки реле на заданные уставки, проверка взаимодействия реле и другой аппаратуры в схеме постоянного тока, определение времени работы защиты в полной схеме, проверка потребления цепей переменного тока, проверка действия защиты на отключение выключателей и взаимодействие с другими защитами и автоматическими устройствами, проверка токовых цепей защиты от постороннего источника.

Оценка правильности сборки токовых цепей защиты и правильности настройки реле на заданные уставки производится измерением токов срабатывания для каждого плеча (присоединения) пофазно на рабочих уставках при поочередной подаче тока со стороны вторичных цепей трансформаторов тока в условиях нормально собранной схемы защиты. Реле закрываются крышками. Все накладки защиты и переключки должны быть установлены в соответствии с заданными режимами работы защиты. Ток подается с входных зажимов панели. При проверке дифференциальной защиты шин одновременно проверяется и правильность взаимодействия пускового и избирательного органов при имитации повреждений на I и II системах шин, а также правильность действия органа контроля исправности цепей тока при КЗ в защищаемой зоне.

Проверка взаимодействия реле и другой аппаратуры в схеме постоянного тока производится замыканием контактов реле вручную при напряжениях оперативного тока $U_{ном}$ и $0,8 U_{ном}$. Взаимодействие реле должно соответствовать принципиальным схемам проверяемых защит. При проверке взаимодействия обращается внимание на правильную последовательность: работы элементов схемы от пусковых до выходных отключающих реле, работы реле пофазно; отсутствие связи между фазами или предусмотренную схемой взаимосвязь; правильность действия блокировок; правильность работы схемы при возможных положениях рубильников, отключающих устройств, накладок, испытательных

блоков, ключей, переключателей; правильность действия схемы сигнализации и указательных реле.

Определение времени работы защиты в полной схеме производится при поочередной подаче тока в каждую из фаз защиты с входных зажимов панели. Время работы защиты измеряется миллисекундомером (секундомером) при номинальном напряжении оперативного тока на контактах выходных промежуточных реле. При необходимости регулируется время срабатывания выходных промежуточных реле для получения заданных уставками значений. Измерение времени, как правило,

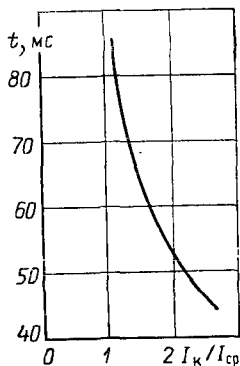


Рис. 4.28. Типовая характеристика времени действия защиты

производится при токе, равном двукратному току срабатывания реле. Для защиты ДЗТ-21 (ДЗТ-23) время действия, измеренное на контактах выходного реле $KL2$ ($KL4$), должно быть не более 55 мс. Для защиты ДЗШТ снимается характеристика времени действия защиты $t=f(I_k/I_{ср})$ при КЗ в защищаемой зоне на I и II системах шин. Останов миллисекундомера осуществляется контактами реле $KL2$ и $KL3$ в зависимости от того, на какой из систем шин имитируется повреждение. Отклонения измеренных значений времени действия защиты от значений времени по типовой характеристике (рис. 4.28) не должны превышать 5 %. При наличии блокировочных реле, контролирующих исправность цепей дифференциальной защиты, контакты последних при проверке шунтируются. Перед шунтированием проверяется надежность вывода защиты из работы блокировочным реле при имитации всех видов однофазных коротких замыканий.

Проверка потребления цепей переменного тока производится, как правило, при номинальном токе трансформаторов тока, к которым подключена защита. Проверка заключается в поочередной подаче тока во все фазы защиты и измерении падения напряжения на входных зажимах панели. Полученные данные используются для проверки пригодности трансформаторов тока для заданной защиты в режиме КЗ в зоне действия защиты. Мощность, потребляемая цепями переменного тока защиты ДЗШТ при номинальном токе, не должна превышать 0,5 В·А. При обрыве вторичных цепей промежуточных трансформаторов тока одного из присоединений потребление мощности в нем увеличивается примерно до 1,5 В·А.

Проверка действия защиты на отключение выключателей и взаимодействие с другими защитами и автоматическими устройствами включает в себя проверку: действия защиты на отключение коммутационных аппаратов; взаимодействия с другими защитами и автоматическими устройствами; правильности действия схемы сигнализации и указательных реле; действия проверяемой защиты от сигналов других устройств; отсутствия обходных цепей в схемах, в том числе при отсутствии и наличии питания оперативным током устройств, взаимодействующих с проверяемой защитой.

Проверка токовых цепей защиты от постороннего источника под

робно изложена в § 1.4. Обязательна проверка трехфазным током пониженного напряжения от постороннего источника для дифференциальных защит мощных сетевых автотрансформаторов, когда от обмотки низшего напряжения питаются только собственные нужды подстанции и поэтому в этом плече дифференциальной защиты никогда не будет достаточной нагрузки для проверки защиты рабочим током. Для указанной проверки корототка устанавливается со стороны низшего напряжения автотрансформатора.

4.7. Проверка защиты рабочим током и напряжением

Проверка защит рабочим током является завершающей и наиболее ответственной операцией. При проверке измеряют значения и фазы токов каждого трансформатора тока, включенного в цепи дифференциальной защиты, и токи небаланса в нулевых проводах. Снимать векторную диаграмму и измерять ток в плечах защиты рекомендуется прибором ВАФ-85. В случаях малых нагрузок (сторона низшего напряжения мощных сетевых автотрансформаторов) для оценки правильности сборки токовых цепей возможно использование усилительной приставки к прибору ВАФ-85. По полученным результатам строят векторную диаграмму токов и проверяют правильность соединения трансформаторов тока, целостность токовых цепей и соответствие коэффициентов трансформации трансформаторов тока расчетным уставкам.

Для получения при проверке защиты под нагрузкой достоверных результатов необходимо на всех присоединениях, токовые цепи которых включены в дифференциальную защиту, создать нагрузку с токами не менее 15—20 % номинальных. Если это затруднительно, применяют искусственные способы создания первичных токов, позволяющие проверить исправность цепей защиты. Так, дифференциальную защиту генератора или сборных шин проверяют током КЗ при включении генератора на корототку.

Дифференциальную защиту трансформаторов проверяют созданием уравнильного тока между параллельно включенными трансформаторами или регулировочным током при наличии на подстанции последовательного регулировочного трансформатора. Уравнильный ток создается двумя параллельно включенными трансформаторами, переключатели ответвлений которых устанавливаются на различные коэффициенты трансформации. Значение уравнильного тока определяется из следующего выражения:

$$I_y = \frac{U_{T1} - U_{T2}}{Z_{T1} + Z_{T2}},$$

где U_{T1} и U_{T2} — фазные напряжения на выводах трансформаторов на стороне низшего напряжения; Z_{T1} и Z_{T2} — сопротивления трансформаторов,

$$Z_T = \frac{u_R}{100} \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}}.$$

Регулировочный ток можно получить, установив переключатель регулировочного трансформатора в одно из крайних положений. При

анализе векторной диаграммы следует иметь в виду, что направление тока в обмотке низшего напряжения будет меняться в зависимости от положения переключателя регулировочного трансформатора и вектор тока на стороне низшего напряжения, то будет совпадать с вектором тока стороны высшего напряжения, то будет ему противоположен. В положении «I» переключателя вектор тока на стороне низшего напряжения будет противоположен вектору тока в обмотке высшего напряжения.

Защиты, выполненные на реле серии РНТ и ДЗТ-11, проверяются в следующей последовательности:

измеряются значения и фаза тока каждого трансформатора тока, включенного в цепи дифференциальной защиты, а также токи небаланса в нулевых проводах; для трансформаторов (автотрансформаторов) проверки желательно производить в режиме двустороннего питания, который создается поочередно для всех пар обмоток;

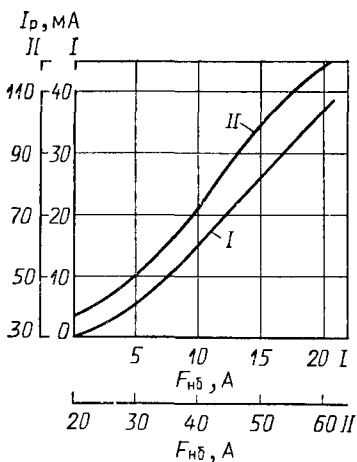


Рис. 4.29. Зависимость тока в исполнительном органе реле серии РНТ от МДС небаланса рабочих обмоток

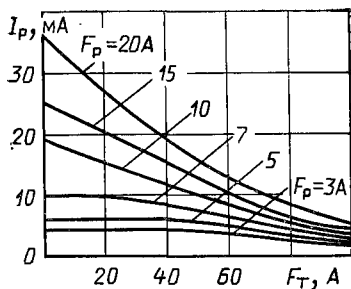


Рис. 4.30. Зависимость тока в исполнительном органе реле серии ДЗТ-11 от МДС небаланса и МДС тормозной обмотки

по результатам измерений строятся векторные диаграммы токов и проверяется правильность соединений трансформаторов тока. При снятии и построении векторных диаграмм необходимо соблюдать условие, согласно которому проверяющий выбрал положительные направления токов в плечах защиты. Обычно положительные направления токов в плечах принимаются от трансформаторов тока в реле;

проверяется равенство произведений измеренных токов на число витков рабочих обмоток, включенных в цепи этих токов, и строится

диаграмма МДС реле. По диаграмме методом геометрического сложения определяется возможная МДС небаланса. Появление МДС небаланса обусловлено наличием погрешностей трансформаторов тока, неполным выравниванием МДС плеч защиты из-за фиксированных витков на плате реле и намагничивающим током силового трансформатора при малых токах нагрузки трансформаторов;

для полученных расчетных результатов по кривым рис. 4.29 и 4.30 определяется расчетный ток небаланса;

измеряется ток небаланса в цепи исполнительного реле прибором с малым внутренним сопротивлением $R_{вн}=0,5\div 4$ Ом и сравнивается с расчетным током небаланса. Измеренные токи не должны превышать расчетных значений более чем на 20—30 %. Вместо тока в исполнительном органе можно измерять напряжение вольтметром с $R_{вн}\gg 1000$ Ом/В;

проверяется, что при поочередном отсоединении трансформаторов тока каждого из плеч защиты токи (напряжения) в обмотках исполнительного реле значительно увеличиваются. При отсоединении трансформаторов тока от плеч защиты необходимо их предварительное закорачивание. Это удобно производить на испытательных блоках, если они имеются в схемах защит.

В случае использования реле в дифференциальной защите трансформатора (автотрансформатора) проверяется отстройка реле от бросков намагничивающего тока многократным (5—6 раз) включением трансформатора под напряжение при холостом ходе. При включении наблюдают за поведением контактной системы исполнительных реле.

Проверка защит ДЗТ-21 (ДЗТ-23). При проверке измеряется напряжение на обмотках ω_2 трансформаторов ТАВ при подключении к реле всех плеч защиты и при поочередном исключении каждого из них. Вольтметр подключается к гнездам $X4/1b$ и $X4/2b$ МРЗД. При полностью собранных токовых цепях и токе нагрузки $I_{нагр}=(0,5\div 1,0)I_{ном}$ $U_{нб}\leq (0,02\div 0,04)U_{ср}$. При максимальном токе небаланса напряжение небаланса может достигать значений $0,5 U_{ср}$. В случае исключения одного из плеч защиты $U_{нб}$ значительно увеличивается и в зависимости от тока нагрузки может превышать $U_{ср}$ реле (1,5—6,5 В). При необходимости производится корректировка витков трансформаторов реле для уменьшения напряжения небаланса.

Проверка защиты ДЗШТ. Снятие и построение векторных диаграмм токов производится так же как для защит, выполненных на реле серии РНТ и ДЗТ-11, для всех присоединений. При проверке цепей должен быть хотя бы кратковременно включен в работу обходной выключатель.

Проверка правильности фазировки защиты производится постепенным подключением первичных обмоток промежуточных трансформаторов тока к вторичным цепям трансформаторов тока соответствующих присоединений. В процессе подключения токовых цепей измеряются токи в трех фазных и нулевом проводах основного комплекта ДЗШТ (в цепях накладок $SX1$, $SX2$, $SX3$ и $SX4$), токи небаланса на входах избирательного органа (выводы 61, 62, 63, 64, 65 и 66), напряжения на обмотках магнитоэлектрических реле пусковых органов (в разъеме $X1$) и ток небаланса по прибору контроля токовых цепей. При подключении токовых цепей целесообразно чередовать присоединения с приходящими и уходящими токами, с тем чтобы ограничивать возможные токи

небаланса и получать результаты, более удобные для оценки правильности подключения цепей. Симметрия токов в цепях накладок $SX1$, $SX2$, $SX3$ и напряжений на обмотках магнитоэлектрических реле указывает на правильность подключения токовых цепей одноименных фаз присоединений, но не может выявить неправильное подключение трансформаторов тока всех трех фаз какого-либо присоединения, в особенности если его ток нагрузки относительно невелик. Ошибки такого вида могут быть выявлены только после подключения токовых цепей последнего присоединения. В этом случае токи небаланса в цепях накладок $SX1$, $SX2$, $SX3$ практически не будут снижаться до нуля, а прибор органа контроля исправности цепей тока будет показывать относительно большое значение тока небаланса. Если фазировка цепей производится правильно, то токи в цепях накладок $SX1$ — $SX4$ и в цепях выводов 61-66 на входе избирательного органа будут практически равны нулю, а микроамперметр, подключенный к выводам 71-72, будет показывать ток не более 10—15 мкА. О правильности подключения цепей тока можно судить также по значению напряжения (отрицательного знака) на обмотках магнитоэлектрических реле пусковых органов. Это напряжение (мВ) ориентировочно может быть определено по формуле

$$U_p \approx 150 \frac{k_T \sum_1^n I}{I_{c.30}},$$

где k_T — коэффициент торможения; $\sum_1^a I$ — сумма токов всех присоединений системы шин; $I_{c.30}$ — начальный ток срабатывания пускового органа ДЗШТ.

Значение токов $\sum_1^n I$ и $I_{c.30}$ приведены к одной и той же ступени трансформации, например к входам TAL .

По окончании подключения токовых цепей присоединений производится проверка измерительных органов защиты на срабатывание от токов нагрузки, состоящая в наблюдении за действием элементов защиты при поочередном исключении из защиты токов заранее выбранных присоединений, относящихся к I и II системам шин. При исключении тока присоединения появляется ток небаланса в цепи выводов 71-72, который фиксируется микроамперметром. При нагрузке выбранного присоединения примерно $0,1 I_{ном}$ и более будет срабатывать реле устройства контроля исправности проводов. При этом напряжение на обмотках магнитоэлектрических реле пусковых органов (отрицательное) будет уменьшаться по абсолютному значению, а в цепи магнитоэлектрических реле избирательного органа появится ток, действующий в сторону срабатывания магнитоэлектрического реле, относящегося к системе шин, у которой был исключен ток присоединения. После данной проверки все цепи восстанавливаются и измеряются токи небаланса во всех вышеуказанных цепях.

Раздел пятый

НАЛАДКА ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРОВ
С ГАЗОВЫМИ И СТРУЙНЫМИ РЕЛЕ

5.1. Конструкция газовых реле

Газовыми защитами оснащаются крупные масляные трансформаторы от 1000 кВ·А и более и масляные реакторы, имеющие расширители. Газовая защита чувствительна ко всем видам внутренних повреждений, при которых наблюдается газовыделение или возникает переток масла из корпуса в расширитель, а также к понижению уровня масла. К внешним повреждениям защита не чувствительна. Газовая защита реагирует даже на начальный период повреждения: частичные разряды, витковые замыкания, пожар в стали, при которых не может действовать никакая другая защита. Основным органом защиты является собственно газовое реле.

В настоящее время отечественные трансформаторы комплектуются в основном газовыми реле типа РГЧЗ-66 Запорожского трансформаторного завода и реле Бухгольца (ГДР) типа ВР-80/Q. Установочные размеры реле типов РГЧЗ-66 и ВР-80/Q унифицированы, и реле взаимозаменяемы. Реле типа РГЧЗ-66 (рис. 5.1) вместо ранее применявшихся поплавков имеют две открытые чашки, которые при заполнении корпуса реле маслом спиральной пружиной 26 подтягиваются вверх вокруг оси 6. Если масло из реле вытекает или вытесняется, то под действием веса оставшегося в чашках 8 и 13 масла они опускаются и подвижный контактный мостик замыкает неподвижные контакты 1. Первой опускается верхняя чашка 13 сигнального устройства (при вытеснении примерно 400 см³ масла), а затем чашка 8 нижнего элемента (при полном уходе масла из реле). При движении потока масла слева направо со скоростью, превышающей уставку, подвижная сменная пластина 10, укрепленная на изоляционной стойке 20, поворачивается вместе со стойкой вокруг оси 7, преодолевая сопротивление пружины 26, укрепленной между держателем 21 и рычагом 2, который прикреплен к изоляционной стойке 20. К стойке крепится и подвижный мостик контакта 1. Пластина с подвижным мостиком и рычагом может поворачиваться вокруг оси 7 и при неподвижной чашке.

Чашки реле загорожены цилиндрическими полуэкранами 9 и 16 для защиты их от прямого потока масла и верхними экранами 15 и 22 для уменьшения вероятности оседания на дно чашек шлама и других механических примесей. Экраны 9, 16 и 22 образуют канал, на входе которого по пути возможного движения потока масла располагается пластина 10, которая может перемещаться в прорези экрана 22. Реле комплектуется тремя сменными пластинами разных размеров. На пластинах имеются цифры: 0,6 — на наибольшей, 0,9 и 1,2 — на наименьшей, что соответствует скоростям потока масла, при которых должен замкнуться отключающий контакт реле.

Особенностью реле Бухгольца типа ВР-80/Q является следующее. Сигнальные и отключающий поплавки (рис. 5.2) выполнены в виде пластмассовых шаров, они не имеют пайки и не подвержены коррозии; пластина, реагирующая на скорость потока масла, может пере-

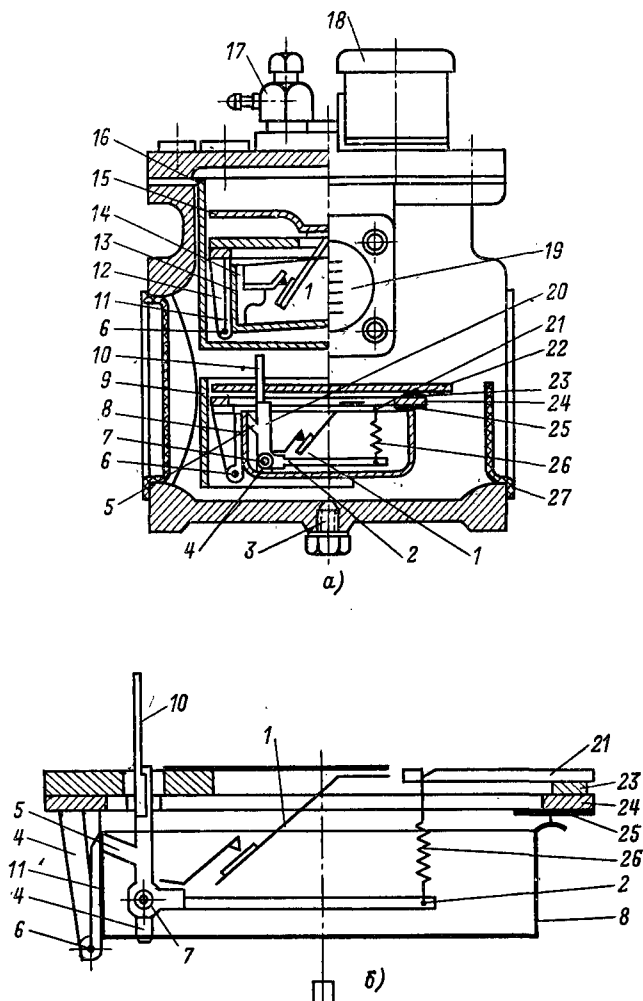


Рис. 5.1. Газовое реле типа РГЧЗ-66:

а — общий вид; 6 — нижний элемент; 1 — неподвижный контакт; 2 — рычаг; 3 — пробка; 4 — стойка; 5 — выступ стойки; 6 — ось чашки; 7 — ось стойки; 8 — нижняя чашка; 9 — нижний полуэлектрод; 10 — сменная «скоростная» пластина; 11 — держатели чашек; 12 — стойка; 13 — верхняя чашка; 14, 20 — изоляционные стойки; 15, 22 — экраны; 16 — верхний полуэлектрод; 17 — верхний электрод; 18 — коробка зажимов; 19 — смотровое стекло; 21 — держатель пружины; 23 — прокладка; 24 — сборочное кольцо; 25 — упорная пластина; 26 — пружина; 27 — транспортные заглушки

ставляться для регулировки чувствительности срабатывания. Обозначены три уставки по скорости срабатывания: 0,65; 1,0 и 1,5 м/с (при номинальных допусках в сторону уменьшения 0,17; 0,25 и 0,40 м/с соответственно).

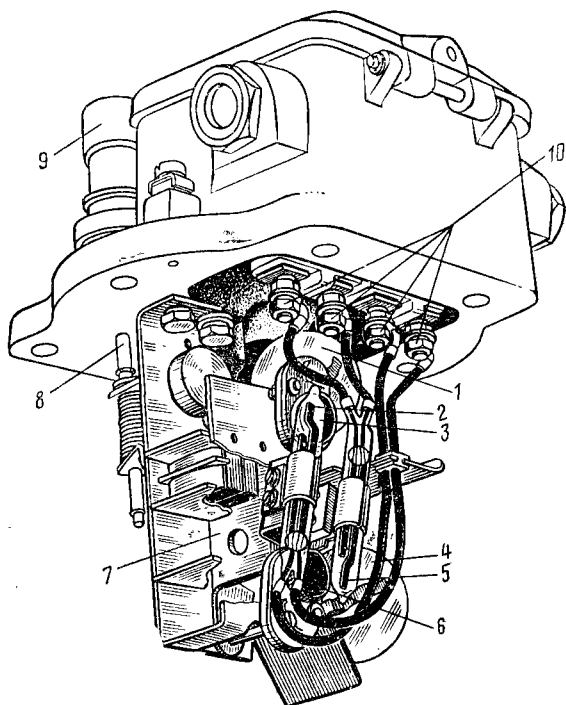


Рис. 5.2. Газовое реле Бухгольца:

1, 4 — верхний и нижний поплавки; 2, 6 — магниты управления верхнего и нижнего поплавков; 3, 5 — трубки с магнитными контактами; 7 — пластина, воспринимающая поток масла; 8 — шток; 9 — предохранительный колпачок; 10 — коробка с зажимами

Сигнальный и отключающий контакты размещены в стеклянных трубках — герконах, к которым подведены неподвижные проводники. Контакты управляются подвижными магнитами, которые механически связаны с поплавками и пластиной. На крышку реле выведена кнопка штока, которым можно при помощи рычажного механизма искусственно опускать последовательно верхний и нижний поплавки, тем самым имитируя срабатывание реле при утечке (вытеснении газами)

масла из корпуса реле. Для предупреждения случайного нажатия на кнопку и для герметизации места прохода штока кнопка в нормальном положении закрывается навинчивающимся колпачком.

5.2. Проверки и испытания газовых реле до установки их на защищаемом аппарате

Внешний осмотр реле. При внешнем осмотре реле проверяется целостность корпуса, отсутствие течи в месте крепления крана на крышке реле, через проходные втулки и в нижней части корпуса реле из пробки, целостность смотровых стекол и проходных изоляторов — выводов в армировке. У реле Бухгольца отвинчивается колпачок кнопки опробования и удаляется арретир.

Внутренний осмотр реле. При осмотре выемной части тщательно проверяется надежность крепления чашек; пластины скоростного элемента; упоров, ограничивающих ход чашек; экранов; контактных пластин; токопроводов и их подключение к выводам и контактам; пластин, предотвращающих повреждение чашек при вибрации реле; надежность заделки концов спиральной пружины в держателях (чтобы исключить самопроизвольное выскакивание), наличие пружинистых шайб и всех винтов и гаек. Кроме того, проверяется:

параллельность пластин неподвижных контактов и расположение их в одной плоскости; соблюдение расстояния между подвижными и неподвижными контактами (2—2,5 мм);

надежность запрессовки оси чашки в стойку, отсутствие возможного перемещения чашки вместе со стойкой вдоль оси;

люфты всех осей реле. Продольные люфты не должны превышать 0,5 мм, а поперечные должны практически отсутствовать;

легкость хода и отсутствие заедания движущихся частей реле.

Люфты и легкость хода проверяются нажатием рукой на соответствующие элементы реле. При проверке срабатывания контактов реле от пластин чашка придерживается рукой в верхнем положении, а затем нажатием рукой на пластину 10 (см. рис. 5.1) проверяется ее свободный ход, замыкание и размыкание контактов.

Причиной, препятствующей свободному перемещению пластины до замыкания подвижного контакта с неподвижным, может быть недостаточный зазор между рычагом и дном чашки. В этом случае следует рычаг несколько выгнуть вверх. Совместный ход контактов должен составлять примерно 2 мм, при этом подвижные контакты должны скользить посередине пластин неподвижных контактов.

При нажатии рукой на чашку нижнего элемента проверяется легкость хода чашки, но при этом будет отклоняться пластина. Легкость хода верхней чашки также проверяется нажатием на нее рукой вниз и вверх.

У реле Бухгольца проверяется установка герконов — трубок с магнитными контактами. Контакты должны быть замкнуты. При подъеме поплавков контакты под действием перемещающегося магнита должны разомкнуться.

При нажатии на пластину скоростного элемента (7 на рис. 5.2) контакт нижнего поплавка должен замкнуться. У чашечных реле после проверки механической части реле производится косвенная проверка

чувствительности нижнего элемента реле. Выемная часть чашечного реле вместе с крышкой устанавливается на горизонтальной плоскости. Нижняя чашка реле заполняется трансформаторным маслом и с помощью пружинного граммометра [динамометра от 0,5 Н (50 г)], конец которого подводится под край дна чашки с той стороны, где установлена спиральная пружина, приподнимается. При усилии 0,25—0,3 Н (25—30 г) контакты должны разомкнуться. Совместный ход до размыкания контактов — около 2—2,5 мм.

Проверка и регулировка срабатывания реле по скорости потока масла производится на специальной установке. При отсутствии заданных уставок проверяется скорость потока масла при срабатывании реле со всеми тремя калиброванными пластинами. В протокол испытания записывается среднее из 10 значение скорости потока масла, при котором срабатывает реле.

Уставки срабатывания выбираются в зависимости от мощности и системы охлаждения трансформаторов: для трансформаторов с естественной циркуляцией масла при мощности до 40 МВ·А — 0,6 м/с, а более 40 МВ·А — 0,9 м/с; для трансформаторов с принудительной циркуляцией масла (Ц и ДЦ) независимо от мощности — 1,2 м/с.

Опыт эксплуатации газовых реле типа РГЧЗ-66 показывает, что выполнение требования «Инструкции по наладке и эксплуатации газовой защиты» значительно загроубляет реле. Много трансформаторов с системой охлаждения ДЦ успешно эксплуатируются при уставке 0,6—0,7 м/с.

Далее проверяется срабатывание сигнальных и отключающих контактов реле при вытекании из корпуса реле масла (при появлении в корпусе реле газа). Проверка может производиться на той же установке, где и проверка скорости потока масла, сливом масла из корпуса путем открытия нижней пробки в корпусе реле или через сливную трубку.

Проверка электрической изоляции. Мегаомметром на 1000—2500 В производится измерение сопротивления изоляции токоведущих частей относительно корпуса и между контактами реле. Изоляция токоведущих частей относительно корпуса реле испытывается напряжением 1000 В переменного тока.

На установках, где проверяется скорость потока масла при срабатывании реле, можно измерить *собственное время срабатывания отключающего элемента*. Для этого в установку встраивается специальный арретир, удерживающий пластину от срабатывания, регулируется скорость потока масла, равная $1,25 v_{ср}$, и измеряется электрическим секундомером время срабатывания реле после устранения арретирования. Для реле РГЧЗ-66 это время должно быть не более 0,2 с, для реле ВР-80/Q время не нормируется.

Проверка скоростных характеристик газовых реле производится на специальных установках. На рис. 5.3 и 5.4 приведены схемы установок, применяемых в тресте «Электроцентромонтаж».

В инвентарном корпусе 1 устанавливается проверяемое газовое реле. При открытом кране 5 насосом 8 масло перекачивается из сливного бачка 6 через реле и мерный бак 3. Скорость потока масла регулируется во время работы насоса вентилем 7. Когда вентиль открыт настолько, что начинает срабатывать отключающий контакт газового реле, закрывается кран 5 и начинает заполняться мерный бак 3. Элек-

тротсекундомер пускается поплавковым реле 4 и останавливается поплавковым реле 2. Предварительно измеряется объем масла V , который требуется залить в бак от момента срабатывания реле 4 до срабатывания реле 2. Зная сечение S маслопровода на входе газового реле ($D_y=75$ мм) и время, измеренное электротсекундомером в режиме срабатывания реле, можно определить скорость потока масла при срабатывании газового реле по формуле

$$v_M = V/(St). \quad (5.1)$$

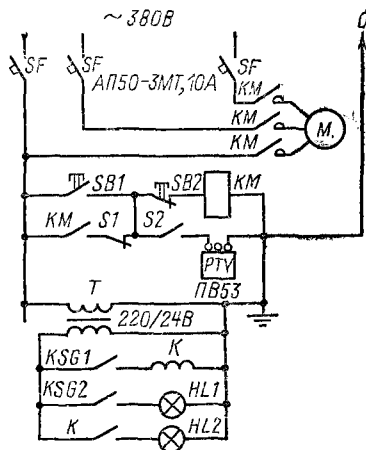
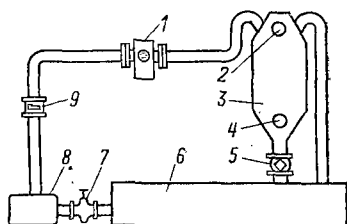


Рис. 5.3. Установка треста «Электроцентромонтаж» для проверки газовых реле

Рис. 5.4. Электрическая схема установки для проверки газовых реле: K — промежуточное реле; PTY — электротсекундомер; SF — автоматический выключатель; KM — магнитный пускатель; M — электронасос; $SB1$, $SB2$ — кнопки включения и отключения; $S1$ и $S2$ — контакты верхнего и нижнего поплавков; T — трансформатор безопасности; $KSG1$ и $KSG2$ — отключающие и сигнальные контакты газового реле; $HL1$, $HL2$ — сигнальные лампы

По этой формуле можно построить графики зависимости скорости потока масла от времени t .

При открытых кранах 5 и 9 (рис. 5.3) сливается масло из газового реле и проверяется срабатывание сигнальных и отключающих контактов реле, реагирующих на уровень масла (чашки или поплавки).

5.3. Струйные реле

При повреждениях в контакторе устройства РПН самих контактов, пружин механизма или изоляции происходит бурное разложение масла и струя масла вместе с газом по трубопроводу направляется

в расширитель. Такие повреждения требуют отключения трансформатора.

Для контроля струи устанавливается либо газовое реле (РГЧЗ-66, BF-80/Q), либо специальное струйное реле типа ÜRF-25/10 (рис. 5.5); струйное реле во всех режимах работы трансформатора работает на отключение.

Струйное реле ÜRF-25/10 — одноэлементное, чувствительным элементом его является пластина 9, подобная пластине реле BF-80/Q, которая висит на скобе 1 и грузом 6 удерживается в определенном положении. При достаточной скорости струи она, воздействуя на пласти-

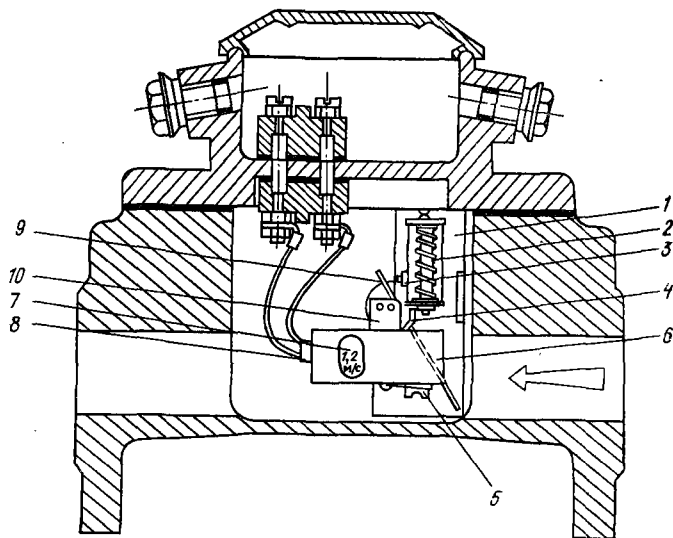


Рис. 5.5. Струйное реле ÜRF-25/10

ну и преодолевая вес груза, поворачивается и магнит, укрепленный на грузе, приближается к геркону 8, контакт которого замыкается, а защелка 4 при этом фиксирует пластину 9 в повернутом положении.

Таким образом, даже от кратковременной струи герконовый контакт надежно воздействует на отключение трансформатора.

Для возврата реле имеется специальное контрольно-возвратное устройство с возвратной пружиной 2 и выступом 3, последний при нажатии на выступающую наружу кнопку отводит защелку и реле приходит в исходное положение под действием силы тяжести груза 6. Положение груза можно наблюдать через смотровое стекло. Если продолжать нажатие на кнопку, выступ 3 опускается еще ниже и давит на держатель 10 груза, который поднимается, как при срабатывании реле, и кон-

такты геркона 8 снова срабатывают. Так можно проверить исправность реле, его цепей защиты и всей схемы защиты, если эта схема собрана.

Реле ÜRF-25/10 имеют два исполнения (два диапазона уставок срабатывания): 0,9; 1,2; 1,5 м/с и 1,5; 2,0; 2,5 м/с. В пределах своего диапазона уставка устанавливается перестановкой груза 6 в исходное положение: ослабляется винт 5 и груз перемещается в держателе так, чтобы в окне 7 появилась требуемая уставка. В нужном положении винтом 5 фиксируется положение груза. Уставка устанавливается в соответствии с табл. 5.1 в зависимости от типа и номинального тока устройства РПН.

Таблица 5.1. Уставки скорости срабатывания, м/с, газовых реле

Тип РПН	Номинальный ток, А	Тип реле		
		ÜRF-25/10	BF-80/Q	РГЧЗ-66
PHOA	1000 и более	2,5	1	1,2
SCV1-1100	1100	2,5	—	—
SDV-1250	1250	2,5	—	—
SAV1-1600	1600	2,5	—	—
SAV1-630	630	1,5	—	—
PHTA-35/320	320	0,9	0,65	0,6
Все другие	До 400	0,9	0,65	0,6

5.4. Монтаж реле и проверка смонтированной защиты

Реле газовой защиты монтируется в рассечку маслопровода, который врезается в наивысшей точке крышки трансформатора (имеющей подъем в сторону реле на 1—1,5 %), а сам маслопровод, идущий к расширителю, устанавливается с подъемом на 2—4 %. Между реле и расширителем находится кран, желательно иметь еще один кран между реле и крышкой трансформатора. Внутренний диаметр маслопровода — не менее 75 мм, а для струйных реле — 25 мм. Проверяется, чтобы уплотняющая резиновая прокладка не образовывала сужения на входе в реле. Стрелка на крышке реле должна показывать в сторону расширителя.

Обращается внимание на то, чтобы провода и контрольные кабели имели маслостойкую (желательно пластмассовую) изоляцию, крышка коробки зажимов плотно закрывалась, а сама коробка имела незасоренное дренажное отверстие для стока конденсата.

При монтаже проверяется, чтобы чашки или поплавки перемещались без механических заеданий, арретеры были сняты, пластина скоростного элемента свободно перемещалась. Смотровое стекло должно быть доступно для осмотра внутренностей реле.

После установки реле защиты и сигнализации и монтажа вторичных цепей мегаомметром на 1000—2500 В измеряется сопротивление изоляции и испытывается изоляция переменным напряжением 1000 В в течение 1 мин. Герконовые контакты реле Бухгольца следует при ис-

пытании изоляции закорачивать, а изоляцию между разомкнутыми контактами проверять мегаомметром напряжением до 500 В.

Затем подается постоянный ток и замыканием выводов сигнальных и отключающих контактов в коробке зажимов газового реле имитируется срабатывание контактов и проверяется правильность взаимодействия всех элементов защиты в соответствии с требованиями принципиальной схемы. У реле Бухгольца BF-80/Q URF-25/10 имитация срабатывания производится нажатием на кнопку опробования. Допускается в качестве струйных устанавливать реле газовой защиты РГЧЗ-66 или BF-80/Q, но у них используются только отключающие элементы.

При полностью собранной схеме защиты и включенных выключателях, на которые должна действовать защита, следует «прокачать» газовое реле путем нагнетания воздуха в реле. Для этого автомобильным насосом через верхний кран реле накачивается воздух. Вытеснение масла воздухом можно наблюдать через смотровое стекло. При вытеснении примерно 400 см³ (у Бухгольца— 300 см³) должен сработать сигнал. При продолжении вытеснения масла срабатывает отключающий контакт реле и отключаются соответствующие выключатели.

Однако у реле РГЧЗ-66, установленных на крупных трансформаторах, срабатывания отключающих контактов не всегда можно добиться указанным способом. В этом случае рекомендуется закрыть кран, идущий к расширителю, отвинтить спускную пробку в нижней части корпуса реле и слить масло из корпуса до срабатывания нижнего контакта. В том случае, когда кран маслопровода закрывается неплотно, масло из расширителя продолжает поступать в реле и приходится сливать много масла.

Возможен и другой способ, требующий специальной подготовки реле. Вместо нижней пробки устанавливают кран и автомобильным насосом энергичной подачей воздуха через нижний кран добиваются кратковременных толчков контактов реле. Иногда добиваются срабатывания реле следующим приемом. При закрытом кране между реле и баком трансформатора через верхний кран реле нагнетается воздух или сухой азот в корпус до максимального вытеснения масла из реле. Затем быстро открывается кран между реле и баком трансформатора и одновременно отсоединяется от верхнего краника трубка, по которой подается газ в реле. Поток масла из бака трансформатора начнет наполнять реле, толкая пластину скоростного элемента реле.

Следует отметить, что новые крупные трансформаторы высокого напряжения, оснащенные пленочной или азотной защитой трансформаторного масла, требуют особого подхода к проверке газовых реле. В этом случае подавать воздух в реле вообще недопустимо. Если в маслопроводе установлены два вентиля (крана), то, перекрыв оба крана, сливают масло из реле, либо подают в реле сухой азот (если применена азотная защита масла). Азот следует подавать через редуктор очень осторожно. После проверки реле заполняют маслом из расширителя, выпуская газ через верхний кран. При вытеснении из реле всего газа открывают вентиль (кран) со стороны трансформатора. Желательно оснащать такие трансформаторы (реакторы) реле Бухгольца типа BF-80/Q, которые можно вообще не проверять вытеснением масла газом. Для струйных реле проверка скорости срабатывания не производится.

Раздел шестой

НАЛАДКА ЗАЩИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРОВ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

6.1. Основные технические данные фильтра-реле

Основные технические данные фильтра-реле приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Основные технические данные фильтра-реле обратной последовательности

Технические данные	Фильтр-реле типа РТФ-1М	Фильтр-реле типа РТ-2	Фильтр-реле типа РТФ-7/1	Фильтр-реле типа РТФ-7/2	Реле мощности обратной последовательности типа РМОП-2
Номинальный переменный ток	1 или 5 А	1 или 5 А	5 или 10 А	1 или 5 А	1 или 5 А (~100 В)
Номинальное напряжение (постоянное)	—	—	110 или 220 В	110 или 220 В	—
Чувствительность исполнительного органа:					
реле КА1	$(0,3 \div 1,2) I_{\text{ном}}$	$(0,3 \div 1,2) I_{\text{ном}}$	$(0,01 \div 0,08) I_{\text{ном}}$	$(0,1 \div 0,2) I_{\text{ном}}$	$(0,2 \div 0,8) I_{\text{ном}}$
реле КА2	—	$(0,1 \div 0,2) I_{\text{ном}}$	$(0,4 \div 0,8) I_{\text{ном}}$	$(0,3 \div 1,2) I_{\text{ном}}$	—
Мощность срабатывания органа направления мощности при $I_{\text{к}} = 0,346 I_{\text{ном}}$, В·А/фазу	—	—	—	—	3; 5,5; 8 для $I_{\text{ном}} = 5 \text{ А}$
Угол максимальной чувствительности органа направления мощности, град (вектор фазного тока опережает вектор фазного напряжения)	—	—	—	—	-110 ± 10

Продолжение табл. 6.1

Технические данные	Фильтр- реле типа РТФ-1М	Фильтр- реле типа РТ-2	Фильтр- реле типа РТФ-7/1	Фильтр- реле типа РТФ-7/2	Реле мощно- сти обратной последова- тельности типа РМОП-2
Время срабаты- вания фильтра-ре- ре при двукратном токе (к току сра- батывания), не бо- лее, с	0,04	0,04	—	—	—
Потребляемая мощность в сим- метричном режиме цепей переменного тока при номи- нальных токе и на- пряжении, В·А/фазу	5,5	15	20	15	6
Потребляемая мощность в сим- метричном режиме при номинальных токе и напряже- нии:					
переменное на- пряжение, на- В·А/фазу	—	—	—	—	15
постоянный ток, Вт	—	—	5	12	—

6.2. Основные положения метода симметричных составляющих

Всякая несимметричная система трех векторов может рассматриваться как состоящая из:

- системы прямой последовательности фаз;
- системы обратной последовательности фаз;
- системы нулевой последовательности фаз.

Принято векторы прямой последовательности отмечать индексом 1, обратной — индексом 2 и нулевой — индексом 0. В соответствии с этим вектор тока может быть представлен в виде

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0};$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{B2} + \underline{I}_{B0};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{C1} + \underline{I}_{C2} + \underline{I}_{C0}.$$

Векторные диаграммы и формулы системы симметричных составляющих напряжений имеют аналогичный вид.

Введение специального оператора фазы (или фазного множителя) a позволяет векторы каждой симметричной системы выразить через какой-либо один вектор той же системы. Функции оператора выполняет вектор, модуль которого равен единице, а аргумент равен 120° , т. е.

$$a = e^{j120^\circ} = \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2};$$

$$a^2 = e^{j240^\circ} = e^{-j120^\circ} = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}; \quad a^3 = e^{j360^\circ} = 1.$$

Если фазу A принять за основную, то для фаз B и C формулы примут следующий вид:

$$\underline{I}_B = a^2 \underline{I}_{A1} + a \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0};$$

$$\underline{I}_C = a \underline{I}_{A1} + a^2 \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0}.$$

Поскольку векторы системы нулевой последовательности одинаковы, в расчетах принимается

$$\underline{I}_0 = \underline{I}_{A0} = \underline{I}_{B0} = \underline{I}_{C0},$$

тогда формулы для расчета отдельных составляющих примут окончательный вид:

$$\underline{I}_0 = \frac{1}{3} (\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C);$$

$$\underline{I}_{A1} = \frac{1}{3} (\underline{I}_A + a \underline{I}_B + a^2 \underline{I}_C);$$

$$\underline{I}_{A2} = \frac{1}{3} (\underline{I}_A + a^2 \underline{I}_B + \underline{I}_C).$$

При проверке защиты с использованием фильтра реле обратной последовательности имеют место те же соотношения между полными токами и напряжениями, как и при КЗ. Так, при имитации двухфазного КЗ при проверке фильтра-реле напряжения обратной последовательности $U_{2\phi} = \frac{1}{3} U_{вх}$, а при проверке фильтра-реле тока обратной

последовательности $I_{2\phi} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{вх}$. При имитации же однофазного КЗ

при проверке фильтра-реле тока обратной последовательности $I_{2\phi} = \frac{1}{3} I_{вх}$.

Следует иметь в виду, что уставка по напряжению срабатывания задается как в фазных значениях напряжений, так и в линейных. В последнем случае соотношения между напряжением на входе фильтра-реле и напряжением уставки приобретают вид

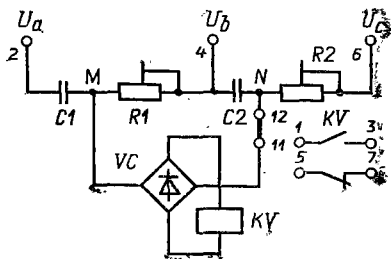
$$U_{2л} = \sqrt{3} U_{2ф} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{вх}.$$

6.3. Методы настройки фильтров обратной последовательности

Несмотря на большое разнообразие схем применяемых фильтров тока и напряжения обратной последовательности наладка их имеет много общего и состоит из:

проверки и регулировки (настройки) фильтра на минимум напряжения (тока) небаланса;

Рис. 6.1. Принципиальная схема фильтра-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М



регулировки заданной уставки по напряжению (току) обратной последовательности;

проверки правильности включения цепей напряжения (тока) рабочим напряжением (током) с контролем небаланса напряжения (тока).

Для реле мощности обратной последовательности дополнительно регулируются мощность срабатывания и угол максимальной чувствительности.

Настройка фильтров на минимум напряжения (тока) небаланса производится при подведении к фильтру симметричной системы напряжений (токов) прямой последовательности. Получение на месте производства наладочных работ такой симметричной системы часто бывает затруднительным, особенно для фильтров тока. Поэтому настройка фильтров на минимум небаланса обычно производится косвенными методами при использовании однофазных схем.

Для всех типов фильтров напряжения обратной последовательности (рис. 6.1) поочередно имитируются двухфазные КЗ на фазах АВ, ВС и СА (рис. 6.2). Настройка фильтра оценивается по идентичности работы фильтра при имитации КЗ различных фаз.

Имитация производится подачей на вход фильтра одинаковых на-

пряжений $U_{вх}$ и измерением напряжений на выходе нагруженного фильтра $U_{вых}$ вольтметром с малым потреблением, чтобы существенно не изменять нагрузку на фильтр.

Фильтр напряжения обратной последовательности считается настроенным удовлетворительно, если напряжения на выходе фильтра при имитации всех видов двухфазных КЗ не отличаются от своего среднего значения более чем на 2—3 %. Вместо измерения напряжений на выхо-

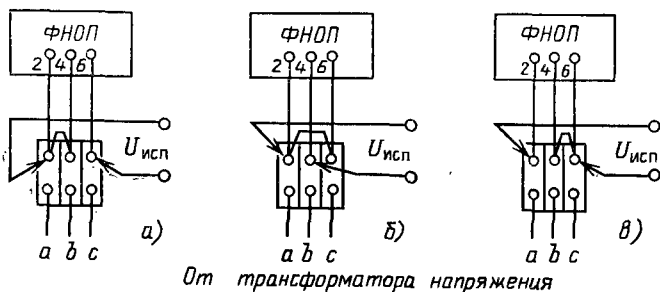


Рис. 6.2. Схема имитации различных видов двухфазных КЗ при настройке ФНОП:

a — имитация двухфазного КЗ на фазах АВ; *б* — то же АС; *в* — то же ВС

де фильтра можно измерять напряжения на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле. В этом случае фильтр считается настроенным, если отличия напряжений срабатывания реле $I_{ср.р}$ от своего среднего значения будут также не более 2—3 %. При больших отличиях необходима регулировка фильтра. Регулировка заключается в изменении резисторов фильтра до получения расчетных значений соотношений между его элементами и производится при отсоединенной нагрузке по схеме, приведенной на рис. 6.2, б, при подаче на вход фильтра напряжения $U_{вх}=100$ В. При этом оба плеча фильтра оказываются подключенными к одному и тому же напряжению.

Согласно векторной диаграмме ненагруженного ФНОП (рис. 6.3) при настроенном фильтре отношение падений напряжений на элементах фильтра в плечах равно $\sqrt{3}$, т. е. 86,5 В/50 В при $U_{вх}=100$ В, а напряжение на выходе фильтра равно $\frac{\sqrt{3}}{2} U_{вх}$, т. е. 86,5 В. Изменением со-

противления регулируемых резисторов добиваются распределения падения напряжения по элементам ФНОП с точностью не ниже 1 %. Вольтметр, используемый для измерения напряжений на элементах фильтра, должен быть с малым потреблением ($R_{вн} \geq 1000$ Ом/В), чтобы существенно не изменять измеряемое сопротивление. Следует иметь в виду, что даже при таких сравнительно больших значениях внутреннего сопротивления вольтметров вносится погрешность 0,5—1 % (при существующих значениях сопротивлений элементов фильтра), причем всегда в сторону уменьшения действительных значений, которую необходимо

учитывать. Так как с таким потреблением вольтметры выполняются с полупроводниковыми выпрямителями и их класс точности редко превышает 2,5, то перед проверкой распределения напряжений по элементам фильтра необходимо сверить его с контрольным вольтметром класса

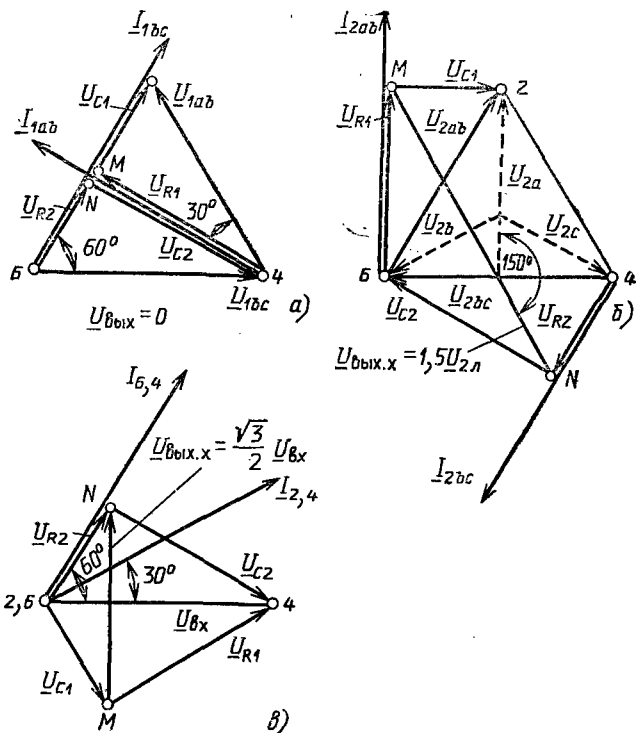


Рис. 6.3. Векторные диаграммы ненагруженного ФНОП фильтра-реле типа РНФ-1М:

а — при подведении к фильтру напряжений прямой последовательности; б — то же обратной последовательности; в — то же однофазного напряжения (имитация двухфазного КЗ между фазами АС)

0,5, который используется для измерения $U_{\text{вх}}$, и построить поправочные кривые на контрольных точках 50 В и 86,5 В, в противном случае возможны большие ошибки. Также необходимо при регулировке фильтр подключать к сети с хорошей формой кривой напряжения во избежание появления дополнительных погрешностей из-за наличия высших гармонических.

После проведения регулировки фильтра производится повторная проверка его настройки.

Для всех типов фильтров токов обратной последовательности (рис. 6.4—6.9) также поочередно имитируются двухфазные КЗ на фазах *AB*, *BC* и *CA* и, если позволяет конструкция фильтра, однофазные КЗ на фазах *A*, *B* и *C*. Настройка фильтра также оценивается симметричностью работы фильтра при имитации КЗ различных фаз и проверкой соотношения параметров срабатывания при различных видах КЗ.

При неизменном значении тока в исполнительном органе $I_{\text{вых}}$ измеряются токи на входе фильтра $I_{\text{вх}}$ при имитациях двухфазных и одно-

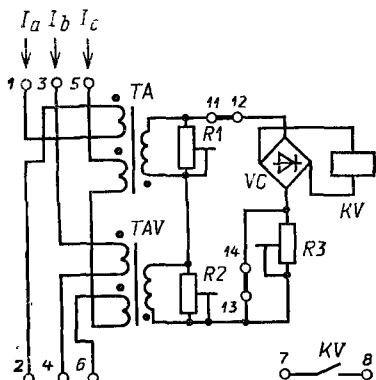


Рис. 6.4. Принципиальная схема фильтра-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1М

лировок фильтра. Регулировка заключается в измерении сопротивлений переменных резисторов (для фильтра-реле типа РТ-2 дополнительно X_{μ}) до получения расчетных значений соотношений между его элементами.

Фильтр-реле типа РТФ-1М. В одну первичную обмотку трансформатора тока *ТА* и одну трансреактора *ТАВ* (см. рис. 6.4) подается однофазный синусоидальный ток $2I_{\text{ном}}$ так, чтобы направление тока в них было встречным, например на выводы 5-6, и при отсоединенной нагрузке (снята накладка 11-12) измеряются падения напряжения на резисторах *R1* и *R2* и напряжение на выходе фильтра $U_{\text{ф}}$ вольтметром с малым потреблением ($R_{\text{вн}} \geq 1000 \text{ Ом/В}$). Как видно из векторной диаграммы на рис. 6.5, *в*, все три напряжения должны быть равны. Так как при изменении сопротивления резистора *R2* изменяется не только значение падения напряжения на нем, но и фаза этого напряжения по отношению к току в первичной обмотке трансреактора *ТАВ*, а при изменении сопротивления резистора *R1* изменяется только значение падения напряжения на нем, а угол практически не меняет своего значения, то регулировку начинают с изменения сопротивления резистора *R2*. Затем изменением сопротивления резистора *R1* уравниваются падения и напряже-

ния. Измерение тока в исполнительном органе производят амперметром с малым потреблением, чтобы существенно не изменять нагрузку на фильтр. Фильтр считается настроенным удовлетворительно, если токи на входе фильтра при имитации всех видов двухфазных и однофазных КЗ не отличаются от средних значений более чем на 2—3 % и отношение значений $I_{\text{вх}}$ при имитации однофазных КЗ и двухфазных КЗ примерно равно $\sqrt{3}$.

Вместо измерения токов на выходе фильтра можно измерять ток на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле. В этом случае фильтр считается настроенным, если отличия токов срабатывания реле $I_{\text{ср.р}}$ от среднего значения будут также не более 2—3 % для каждого вида КЗ. При больших отличиях производится регу-

ния U_{R1} и U_{R2} и измеряется напряжение на выходе фильтра U_{ϕ} . Если полученное значение U_{ϕ} отличается от U_{R1} и U_{R2} , то сначала регулируется резистор $R2$, причем при $U_{\phi} > U_{R2}$ сопротивление резистора $R2$ надо увеличивать, а при $U_{\phi} < U_{R2}$, наоборот, уменьшать. Затем $R1$ изменяют до получения равенства $U_{R2} = U_{R1}$, измеряют U_{ϕ} и так несколько раз до тех пор, пока значения U_{R1} , U_{R2} и U_{ϕ} не станут одинаковыми; расхождение не должно превышать 3—5 %.

При наличии приборов для измерения углов сдвига с малым по-

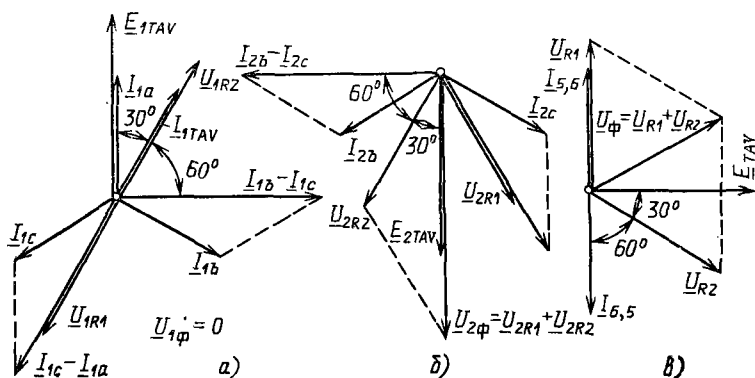


Рис. 6.5. Векторная диаграмма ненагруженного ФТОП фильтра-реле типа РТФ-1М:

а — при подведении к фильтру токов прямой последовательности; б — то же обратной последовательности; в — то же однофазного тока (токи в первичных обмотках ТА и ТAV направлены встречно)

треблением в цепях напряжения (например, ВАФ-85 или фазоиндикатора из комплектного устройства УПЗ-2) настройку фильтра удобно производить, измеряя угол сдвига между первичным током и напряжением U_{R2} , который должен быть равен 60° , или между напряжениями U_{R1} и U_{R2} , угол между которыми должен быть равен 120° . Регулировка угла осуществляется изменением сопротивления резистора $R2$. Затем, как и в первом случае, сопротивление резистора $R1$ изменяется до получения равенства $U_{R1} = U_{R2}$ и измеряется U_{ϕ} , которое будет примерно равно $U_{\phi} = U_{R1} = U_{R2}$.

Значительное отличие U_{ϕ} от $U_{R1} = U_{R2}$ может быть вызвано погрешностью измерения угла за счет класса точности приборов (у ВАФ-85 точность установки угла $\pm 5^\circ$, у фазоиндикатора $\pm 10^\circ$). Во избежание ошибок, вызванных неточностью установки угла, желательно иметь поправочную кривую в контрольных точках.

После настройки фильтра любым из приведенных способов повторяют проверку при подаче тока в другие первичные обмотки ТА и ТAV, для чего ставят перемычку между выводами 2-3 и подают синусоидальный ток на выводы 1-4. При удовлетворительной настройке фильтра результаты измерения не должны отличаться более чем на 3—5 %.

Фильтр-реле РТ-2. Измеряется рабочая часть сопротивления резистора R любым методом (рис. 6.6), обеспечивающим точность измерения не ниже 1 % (мост, амперметр-вольтметр). Сопротивление должно быть равным $0,6 \pm 0,03$ Ом для исполнения на $I_{ном} = 5$ А и $15 \pm 0,7$ Ом для исполнения на $I_{ном} = 1$ А. Затем проверяется значение E_{TAV} (напряжение на вторичной обмотке трансформатора TAV , показанного на рис. 6.7, в режиме холостого хода) вольтметром с малым потреблени-

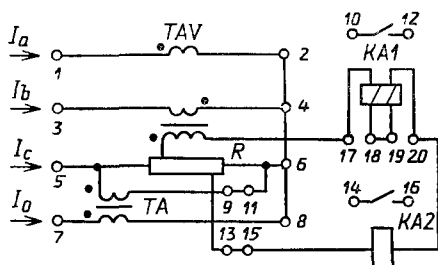


Рис. 6.6. Принципиальная схема фильтра-реле тока обратной последовательности типа РТ-2

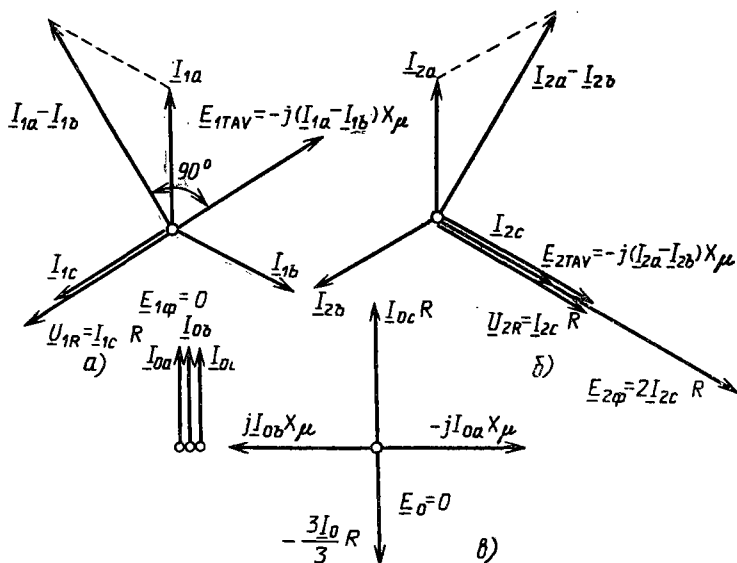


Рис. 6.7. Векторные диаграммы ненагруженного ФТОП фильтра-реле типа РТ-2:

а — при подведении к фильтру токов прямой последовательности; б — то же обратной последовательности; в — то же нулевой последовательности

см ($R_{вн} \geq 1000 \text{ Ом/В}$) при подаче тока $1-2 I_{ном}$ в одну из первичных обмоток. Подсчитывается сопротивление взаимной индукции, Ом, по формуле

$$X_{\mu} = E_{TAV} / I.$$

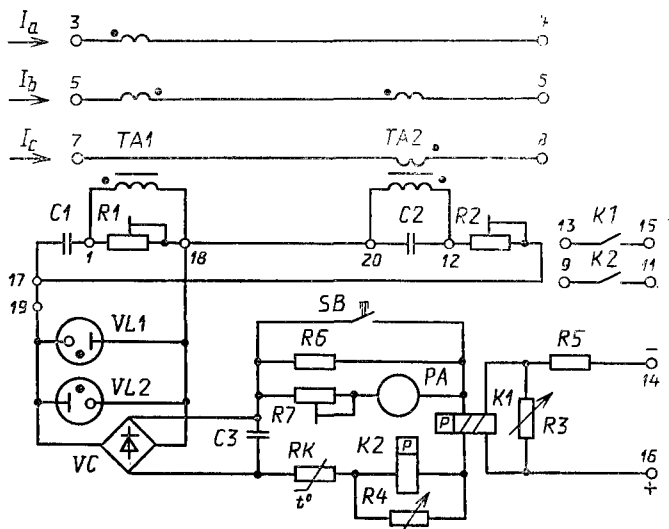


Рис. 6.8. Принципиальная схема фильтра-реле тока обратной последовательности типа РТФ-7/1

Проверяется соблюдение основного соотношения фильтра

$$R = \sqrt{3} X_{\mu}.$$

При необходимости значение X_{μ} регулируется перемещением шунта в воздушном зазоре, причем при выдвигении шунта из воздушного зазора X_{μ} уменьшается и наоборот. Для повышения точности определения X_{μ} ток измеряют прибором класса 0,5, на вольтметре же предварительно проверяют по контрольному вольтметру класса 0,5 одну точку, а затем, изменяя ток в пределах $1-2 I_{ном}$, устанавливают стрелку вольтметра точно на эту отметку. Коэффициент трансформации трансформатора ТА должен быть равен трем. Допускаются отклонения $\pm 5 \%$.

Фильтр-реле типа РТФ-7 (РТФ-2). Проверяется настройка четырехэлементного активно-емкостного фильтра по методике, приведенной для фильтров напряжения обратной последовательности. Перед проверкой фильтр отсоединяется от вторичных обмоток трансформаторов тока и нагрузки. Напряжение 100 В подается на выводы 17-18, 20 (рис. 6.8). Векторная диаграмма в этом случае аналогична приведенной на рис.

6.3, в для ФНОП. Векторные диаграммы ненагруженного ФТОП показаны на рис. 6.9. У трансформаторов тока ТА1 и ТА2 проверяется коэффициент трансформации при токах $1-2 I_{\text{ном}}$. Коэффициент трансформации у каждого трансформатора тока должен быть примерно равным отношению чисел витков в обмотках трансформаторов, и коэффициенты трансформации должны быть равны между собой.

Фильтр ФТОП реле направления мощности обратной последовательности настраивается аналогично. После настройки фильтра любого типа косвенным способом повторно оценивается качество настройки имитацией различных видов КЗ по методике, приведенной выше.

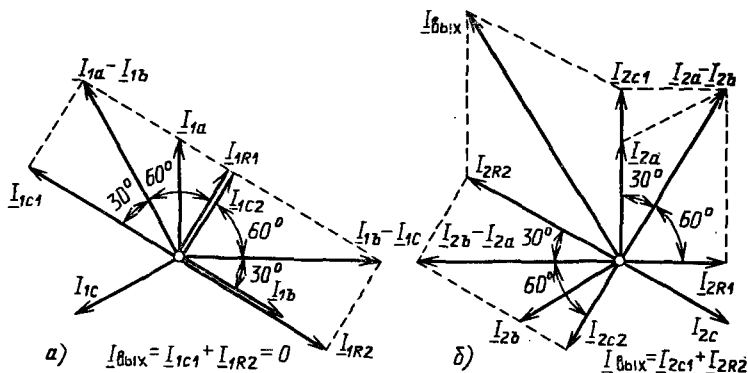


Рис. 6.9. Векторные диаграммы ненагруженного ФТОП фильтра-реле тока обратной последовательности типов РТФ-7/1 и РТФ-7/2:

а — при подведении к фильтру токов прямой последовательности; б — то же обратной последовательности

6.4. Проверка фильтра-реле напряжения обратной последовательности

Фильтр-реле типа РНФ-1М. Для проверки фильтра-реле типа РНФ-1М при новом включении необходимо иметь заданную уставку по напряжению срабатывания, которая задается во вторичных линейных напряжениях обратной последовательности, т. е. $U_{2л}$.

Регулировка заданной уставки по напряжению обратной последовательности производится при имитации двухфазного КЗ между любыми фазами (см. рис. 6.2). Увеличивая напряжение на входе фильтра от нуля до срабатывания исполнительного реле напряжения, определяем $U_{\text{ср.р}}$. Напряжение срабатывания реле, В, в линейных напряжениях обратной последовательности подсчитывается по формуле

$$U_{2л} = \frac{U_{\text{ср.р}}}{\sqrt{3}}.$$

По этой же схеме проверяется напряжение возврата реле и отсутствие вибрации исполнительного реле напряжения при подаче на вход фильтра напряжений от $1,05 U_{\text{ср.р}}$ до 120—130 В. При появлении вибрации она устраняется, как у обычного электромагнитного реле напряжения. Если для получения нужной уставки по $U_{2\text{л}}$ указатель шкалы исполнительного реле приходится сместить от нужного деления, то изменяют регулировку исполнительного реле и снова повторяют проверку.

Для определения коэффициента запаса (отстройки) от напряжения небаланса дополнительно измеряют напряжения на выходе фильтра при срабатывании и возврате исполнительного реле вольтметром с малым потреблением ($R_{\text{вн}} \geq 1000 \text{ Ом/В}$). Потребление фильтра-реле измеряется при проверке под рабочим напряжением.

Фильтры-реле напряжения других типов проверяются аналогично. У некоторых типов фильтра-реле, например РНФ-1, трудно устраняется вибрация контактов исполнительного реле, в этом случае устанавливают параллельно обмотке этого реле насыщающийся дроссель, который незначительно изменяет уставку реле, но резко уменьшает напряжение на нем при больших значениях подводимого к фильтру-реле напряжения обратной последовательности.

Для получения малых значений напряжения срабатывания реле на выходе фильтра вместо электромагнитного реле напряжения устанавливают чувствительные поляризованные реле, включенные в схемах с выпрямлением. В этом случае для исключения влияния высших гармонических в кривой напряжения дополнительно устанавливают защитные частотные фильтры. Проверка частотных фильтров приведена в разд. 9.

6.5. Проверка фильтра-реле тока обратной последовательности

Фильтр-реле типа РТФ-1М. Для проверки фильтра-реле типа РТФ-1М необходимо иметь заданную уставку по току срабатывания, которая задается обычно во вторичных токах $I_{2\text{ф}}$, и максимальный ток трехфазного КЗ для оценки поведения реле на отсутствие ложных срабатываний.

Регулировка заданной уставки по току обратной последовательности производится при имитации двухфазного КЗ между любыми фазами измерением тока на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле тока, на котором предварительно выставлена по шкале необходимая уставка и переключками нужный диапазон регулировки тока ($\times 1$ или $\times 2$).

Ток срабатывания реле, А, в фазных токах обратной последовательности подсчитывается по формуле

$$I_{2\text{ф}} = I_{\text{ср}} / \sqrt{3}.$$

По той же схеме проверяется ток возврата реле и отсутствие вибрации исполнительных реле тока при подаче на вход фильтра токов от $1,05 I_{\text{ср}}$ до $I_{\text{к max}}$. При появлении вибрации она устраняется, как у обычного электромагнитного реле тока.

Оценка поведения реле на отсутствие ложных срабатываний при максимальном токе трехфазного КЗ производится косвенным методом—

проверкой линейности ФТОП, для чего поочередно к фазам реле АВ, ВС и СА подводится ток $I_{к\max}$ и измеряется ток в исполнительном реле или напряжение на выходе фильтра. Наибольшая разность любых двух измерений тока или напряжения не должна превышать значений $I_{срkv}$ или $U_{срkv}$ соответственно. Вторичный ток или напряжение срабатывания исполнительного реле определяется после проверки настройки реле по этой же схеме. Следует помнить, что приборы, используемые для измерения тока (напряжения) срабатывания, должны быть с небольшим потреблением (например, ВАФ-85) и желательно того же типа, который будет использоваться при проверке под нагрузкой фильтра-реле.

Фильтр-реле типа РТ-2. Проверка производится аналогично проверке фильтра-реле типа РТФ-1М. Особенностью фильтра-реле типа РТ-2 является большая зависимость линейности между током на входе ФТОП и током, проходящим по обмоткам исполнительных реле, от нагрузки фильтра. Поэтому изменение нагрузки фильтра добавлением третьего реле или замена одного из установленных реле на другой предел приводит к изменению диапазона уставок реле. Вторичный ток (напряжение) срабатывания определяется только для более чувствительного реле КА2 (см. рис. 6.8).

Фильтр-реле типов РТФ-7/1 и РТФ-7/2. Проверка производится аналогично проверке фильтра-реле типа РТФ-1М. Перед регулировкой заданной уставки по току обратной последовательности проверяются исправность поляризованных реле и стабилизаторов напряжения, градуировка шкалы миллиамперметра.

У поляризованных реле проверяется зазор между контактами и сопротивления изоляции якоря реле относительно магнитопровода мегаомметром 500 В. Зазор между контактами, измеренный специальным щупом (№ 4, 5), должен быть не менее 0,4 мм. Сопротивление изоляции не нормируется, но в практике обычно бывает в пределах 10—100 МОм, при меньших значениях тщательно проверяют отсутствие металлических опилок в зазоре между постоянным магнитом и подвижным якорем реле.

Исправность стабилизаторов напряжения и правильность их включения по поляриности проверяются по методике, изложенной в § 9.3.

После проверки исправности стабилизаторов напряжения (стабилизаторов) производится проверка ограничения напряжения на выходе фильтра при кратковременной подаче на вход фильтра (выводы 5-7) токов $3I_{ном}$, $4I_{ном}$ и $6I_{ном}$. Напряжение на выходе меняется незначительно и не превосходит 105—110 В. Так как кривая напряжения имеет сильно искаженный вид — срезан верх синусоиды, измерение напряжения разными типами приборов дает различные показания.

Градуировка шкалы миллиамперметра проводится при плавной подаче тока в фазы АВ. Последняя точка шкалы должна соответствовать току обратной последовательности на входе фильтра $0,25I_{ном}$. При необходимости регулировка осуществляется изменением сопротивления резистора $R7$.

Заданные уставки регулируются сначала у реле $K2$, затем у $K1$ при поданном на реле постоянном токе. Уставка реле $K2$ регулируется изменением сопротивления переменных резисторов, подключенных параллельно обмотке реле ($R4$ у реле РТФ-7/1 и $R4'$ или $R4''$ у реле РТФ-7/2). Если уставка отличается от шкалы, производится проверка поляризо-

ванного реле при питании его рабочей обмотки (выводы 1-4) от источника постоянного тока. Ток срабатывания должен быть в пределах 3,35—3,45 мА ($F_{\text{ср}}=22$ А), коэффициент возврата — не менее 0,5.

Для оценки поведения реле на отсутствие ложных срабатываний при токе трехфазного КЗ $6 I_{\text{ном}}$ измеряются напряжение и ток на выходе фильтра токов обратной последовательности при срабатывании реле К2 (методика оценки приведена выше на примере настройки фильтра-реле РТФ-1М).

Заканчивается проверка проверкой надежности работы контактов реле К1 и К2 в диапазоне токов от $I_{\text{ср}}$ до $6 I_{\text{ном}}$.

6.6. Проверка реле направления мощности обратной последовательности

Реле мощности типа РМОП-2 (рис. 6.10—6.12). Для проверки реле при новом включении необходимо иметь заданную уставку по току срабатывания пускового органа (реле КА), которая задается во вторичных токах $I_{2\text{ср}}$, вторичную мощность срабатывания обратной последовательности (реле КВ), используемые отпайки промежуточных трансформаторов тока (ТА1 и ТА2) и максимальные токи двухфазного и трехфазного КЗ и двухфазного КЗ «за спиной».

Проверка реле КА. После настройки фильтров обратной последовательности тока и напряжения по изложенной в § 6.3 методике проверя-

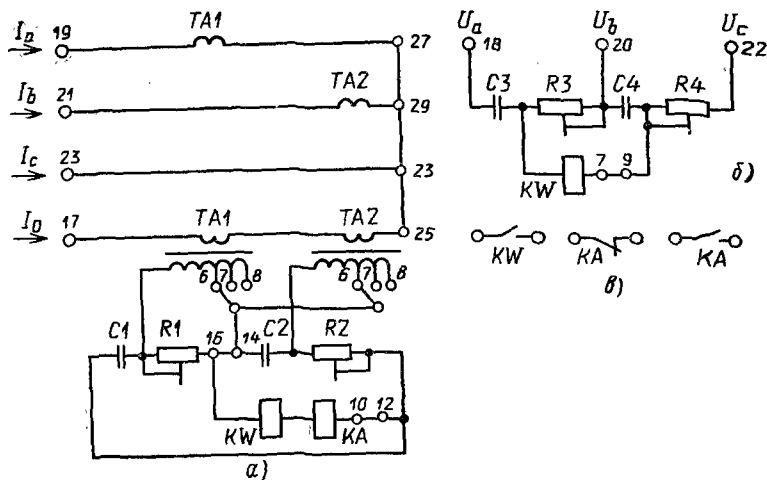


Рис. 6.10. Принципиальная схема реле мощности обратной последовательности типа РМОП-2:

а — фильтр тока обратной последовательности; б — фильтр напряжения обратной последовательности; в — контактные системы

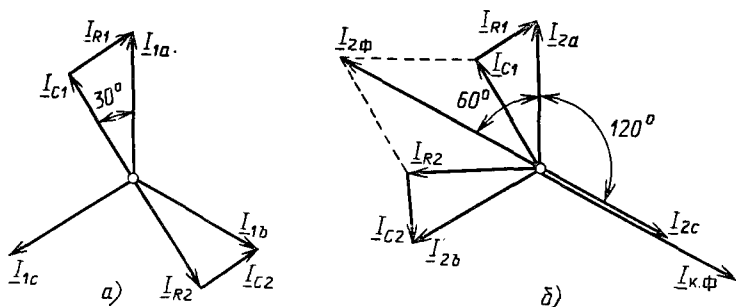


Рис. 6.11. Векторные диаграммы ненагруженного ФТОП реле мощности обратной последовательности типа РМОП-2:

a — при подведении к фильтру прямой последовательности; *б* — то же обратной последовательности

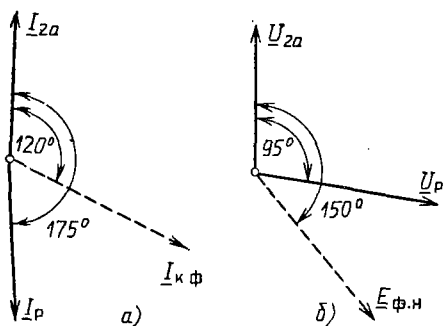


Рис. 6.12. Векторные диаграммы нагруженных фильтров реле мощности обратной последовательности типа РМОП-2:

a — фильтр тока обратной последовательности; *б* — фильтр напряжения обратной последовательности

ется в работе и выставляется рабочая уставка реле *КА*. Если I_{2cp} реле на заданной уставке значительно отличается от требуемого или коэффициент возврата менее 0,8, производится регулировка исполнительного электромагнитного органа (см. разд. 2).

Для оценки поведения реле на отсутствие ложных срабатываний при максимальном токе трехфазного КЗ измеряется падение напряжения на обмотке реле *КА* в условиях срабатывания (методика оценки приведена выше на примере настройки фильтра-реле РТФ-1М) и вторичный ток срабатывания и возврата реле *КА* (используется при проверке реле РМОП под нагрузкой). Для исключения влияния подключаемых приборов на измерения должны использоваться приборы с малым потреблением.

Проверяется отсутствие вибрации контактов реле *КА* в диапазоне токов от $I_{ср}$ до $I_{к max}$ и при этих же значениях тока проверяется отсутствие феррорезонанса измерением напряжения на конденсаторах

фильтра U_{C1} и U_{C2} . При отсутствии явлений феррорезонанса напряжения на конденсаторах будут увеличиваться практически линейно при увеличении тока.

Проверка реле KW начинается с проверки отсутствия самоходов при полностью отпущенной возвратной пружине. Самоход от тока проверяется при имитации двухфазного КЗ на любых фазах при закороченных цепях напряжения кратковременной подачей токов от номинального до максимального тока КЗ «за спиной». Самоход устраняется поворотом стального сердечника, имеющего срез по длине. Если не удастся полностью устранить самоход во всем диапазоне токов, то разрешается оставлять самоход, который устраняется затяжкой возвратной пружины на угол не более 30° (подробнее о методике устранения самоходов и механической регулировке реле см. в § 2.6). Самоход от напряжения проверяется при имитации двухфазного КЗ на любых фазах при разомкнутых цепях тока кратковременной подачей напряжения от 30 до 110 В. Самоход устраняется также поворотом стального сердечника, при этом находится такое положение, при котором самоход от тока и напряжения устраняется полностью или затяжкой возвратной пружины на угол не более 30° .

После устранения самоходов проверяется зона работы реле и определяется угол максимальной чувствительности при поочередной имитации однофазных КЗ на фазах A , B и C при отпущенной возвратной пружине и номинальных значениях тока и напряжения. Зона работы реле должна находиться в пределах $160-180-340^\circ$, угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч2} = -110 \pm 10^\circ$ (вектор фазного тока опережает вектор фазного напряжения).

Углы максимальной чувствительности при трех видах однофазного КЗ не должны отличаться друг от друга более чем на 5° . При совпадении полученной зоны работы реле с заводской маркировка однополярных зажимов считается правильной. Для оценки условий срабатывания реле при проверке реле направления мощности KW током нагрузки и рабочим напряжением имитацией однофазного КЗ измеряется мощность срабатывания реле KW при имитации однофазного КЗ на фазе A при токе, равном номинальному, и при угле, равном углу максимальной чувствительности ($-110 \pm 10^\circ$), полученному в предыдущей проверке. Проверка чувствительности проводится при нормальной затяжке пружины.

Для оценки условий срабатывания реле при проверке реле направления мощности током нагрузки и рабочим напряжением имитацией двухфазного КЗ на фазах BC проверяется зона работы и определяется угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}^{(2)}$ по полным токам и напряжениям при имитации этого же вида КЗ. При имитации подаются номинальные ток и напряжение. Зона работы реле должна находиться в пределах $70-180-250^\circ$, угол максимальной чувствительности — в пределах $160 \pm 10^\circ$ (вектор тока отстает по фазе от вектора напряжения). При имитации двухфазного КЗ на фазах BC проверяется чувствительность реле при нормальной затяжке возвратной пружины. На реле подается ток, равный $0,346 I_{ном}$, и при угле максимальной чувствительности измеряется напряжение срабатывания $U_{ср}$ реле KW . По приводимой формуле $P_{2ср} = 0,192 U_{ср} I_{bc}$ в вольтамперах подсчитывается мощность срабатывания.

Если подсчитанная мощность отличается от заданной, то производится ее корректировка изменением угла затяжки возвратной пружины. Оставлять угол затяжки менее 90° не рекомендуется, так как при этом уменьшается разрывная мощность контактов и увеличивается влияние самоходов. Не разбирая схемы, определяют коэффициент возврата реле KW , который должен быть не менее 0,95.

Если при проверках выявится отличие угла максимальной чувствительности реле от заводских данных, проверяют отдельно реле мощности без фильтров. Внутренний угол реле $\delta = 67^\circ$.

В заключение проверяется работа контактов реле и поведение реле при подаче и сбросе обратной мощности. Проверка производится при имитации двухфазного КЗ на фазах BC , при угле между током и напряжением, равном углу максимальной чувствительности, и нагрузке на контакты, равной рабочей в схеме защиты. Мощность на реле изменяется от $1,2 P_{ср}$ до максимально возможной при КЗ в зоне и «за спиной».

6.7. Комплексная проверка защит с фильтрами обратной последовательности

В объем комплексной проверки защит входят:

- а) проверка времени работы защиты в полной схеме;
- б) проверка мощности, потребляемой цепями переменного тока;
- в) проверка взаимодействия реле и аппаратуры;
- г) проверка действия защиты на отклонение выключателей, действия сигнализации и взаимодействия с другими защитами и автоматическими устройствами;

- д) проверка цепей переменного тока от постороннего источника.

Проверка по п. а)—г) никаких особенностей не имеет и выполняется аналогично соответствующим проверкам других защит.

Проверка цепей переменного тока от постороннего источника выполняется по однофазной или трехфазной схеме. При установке защит на присоединениях линии проверка, как правило, производится по однофазной схеме при поочередной подаче тока от нагрузочного трансформатора в первичную обмотку трансформаторов тока всех трех фаз или попарно (см. § 1.4) с измерением тока на входных зажимах реле. Такие проверки подтверждают только исправность цепей тока, но не позволяют даже предварительно оценить настройку фильтров. При установке защит на генераторах, автотрансформаторах и трансформаторах, для проверки дифференциальных защит которых подается пониженное трехфазное напряжение (см. § 4.4), появляется возможность проверить не только исправность токовых цепей, но и правильность настройки фильтров тока обратной последовательности. При этой проверке подаваемое в первичную схему пониженное напряжение обязательно должно иметь то чередование фаз, которое будет иметь рабочее напряжение. Указанные проверки позволяют полностью проверить исправность и правильность включения защит с использованием фильтра-реле тока обратной последовательности и на первое включение под рабочее напряжение защищаемых присоединений иметь защиты с действием на отключение, что особенно важно для автотрансформаторов и трансформаторов.

Проверка цепей напряжения на пониженном напряжении для защит

с использованием фильтра-реле напряжения, как правило, не производится. Методика проверки защит при подаче присоединения пониженного трехфазного напряжения не имеет существенных отличий от проверок под рабочим током, которая изложена ниже.

6.8. Проверка защит рабочим током и напряжением

Проверка фильтра-реле тока. Проверку желательно проводить при рабочем токе трансформаторов тока не менее 20 % номинального защищаемого присоединения при симметричной нагрузке. Порядок проверки следующий:

а) измеряются значения и фазы токов трех фаз и ток небаланса в нулевом проводе (если нулевой провод используется в защите). Определяется чередование фаз тока, поданных на реле;

б) измеряется ток небаланса на выходе ФТОП, проводится его оценка и сравнение с заводскими данными. При необходимости контролируется форма кривой тока небаланса;

в) перекрещиваются фазы тока на входе фильтра (кратковременно), при этом измеряется ток на выходе ФТОП и ведется наблюдение за поведением контактов исполнительного реле (срабатывает или нет), проводится оценка;

г) восстанавливается схема токовых цепей. Повторно проверяется ток небаланса на выходе ФТОП. При неизменной нагрузке значение не должно отличаться от измеренного в п. а);

д) расчетом определяется коэффициент отстройки от сверхтоков при трехфазном симметричном КЗ:

$$I_{\text{нб.к}}^{(3)} = \frac{I_{\text{нб.изм}}}{I_{\text{нагр}}} I_{\text{к}}^{(3)};$$

$$K_{\text{отс}} = \frac{I_{\text{ср.исп.р}}}{I_{\text{нб.к}}^{(3)}},$$

где $I_{\text{нб.к}}^{(3)}$ — в миллиамперах.

Измерение тока в фазах, в нулевом проводе, на выходе фильтра ФТОП и снятие векторной диаграммы производится прибором ВАФ-85.

Повышенные значения тока небаланса на выходе ФТОП при правильной его настройке могут быть вызваны: наличием в кривой подводимого тока гармонических составляющих (обычно третья гармоника), наличием несимметрично подводимых токов, разницей в частотах сети при проверке рабочим напряжением и при проверке настройки фильтра. Учет влияния этих факторов достаточно сложен, при проверке желательно получать такой режим, когда влияние этих факторов на ток небаланса незначителен.

Проверка фильтра-реле напряжения:

Измеряют значения и проверяют чередование фаз линейных напряжений, подводимых к фильтру, измеряют напряжение небаланса на выходе ФНОП и сравнивают с заводскими данными.

Перекрещивая две фазы напряжений на входе фильтра (кратковременно), измеряют напряжение на выходе фильтра и наблюдают за поведением исполнительного реле. У ненагруженного фильтра напряжение на выходе должно быть равно $1,5 U_{2л}$; так как при проверке $U_{2л} = U_{л}$,

то напряжение будет в диапазоне 150 В. У нагруженного фильтра это напряжение ниже.

Затем восстанавливают схему цепей напряжения. Повторно проверяют напряжение небаланса на выходе ФНОП. При неизменном уровне напряжения на присоединение напряжение небаланса не должно отличаться от измеренного ранее.

Повышенные значения напряжения небаланса на выходе ФНОП при правильной его настройке вызываются теми же причинами, что и у фильтров токов отрицательной последовательности. Дополнительно существенно искажает результаты измерений пятая гармоника в кривой подводимого напряжения.

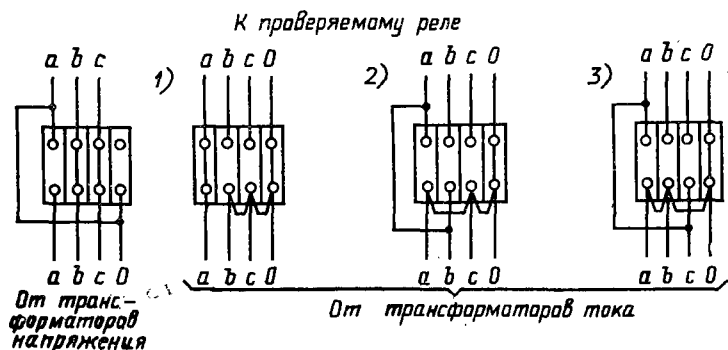


Рис. 6.13. Схема подключения цепей тока и напряжения при проверке правильности включения реле направления мощности обратной последовательности методом имитации однофазного КЗ на фазе А:

схема 1 — в реле РМОП подан ток I_A ; схема 2 — ток I_B ; схема 3 — ток I_C

Проверка правильности включения органа направления мощности реле РМОП. Проверка производится после проверки правильности настройки и включения фильтров ФТОП и ФНОП при имитации в цепях тока и напряжения однофазного КЗ (принято производить на фазе А) или двухфазного КЗ (принято производить на фазах В—С). В первом случае оценка правильности включения производится с использованием угловой характеристики реле, построенной по соответствующим составляющим обратной последовательности, во втором случае — с использованием угловой характеристики реле, построенной по полным токам и напряжениям. Первый случай более нагляден, но требует подведения к панели от трансформаторов напряжения нулевого провода, который нормально не используется в схеме реле и на панели может отсутствовать, при этом мощность, подводимая к реле, будет меньше, чем при имитации двухфазных КЗ, так как на вход фильтров подаются фазные токи и напряжения.

Имитация однофазного КЗ на фазе А. На зажимах цепей напряжения панели защиты отсоединяется испытательный зажим фазы А, а на

фазы C и нулевого провода, а на реле соединяются фазы B и C (рис. 6.16). При этом на входе реле РМОП линейное напряжение между фазами B и C становится равным нулю, как и в месте двухфазного КЗ. Для имитации токов в поврежденных фазах B и C , которые равны и противоположны по направлению, и с учетом того, что при проверке

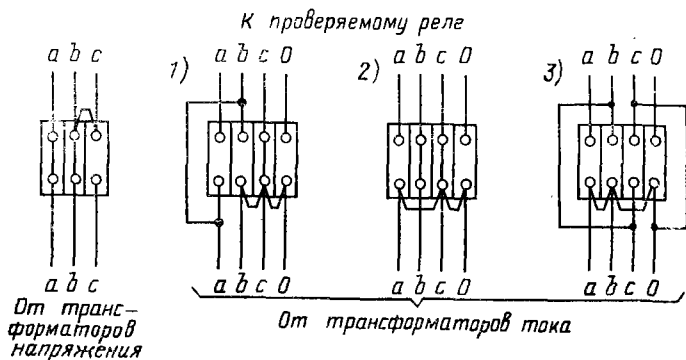


Рис. 6.16. Схема подключения цепей тока и напряжения при проверке правильности включения реле направления мощности обратной последовательности методом имитации двухфазного КЗ между фазами B и C :

схема 1 — в фазы B — C реле РМОП подан ток I_a ; схема 2 — ток I_b ; схема 3 — ток I_c

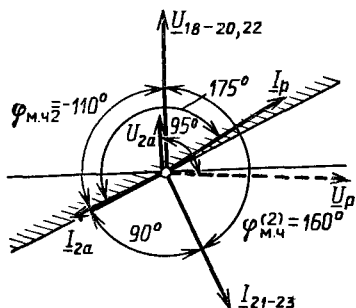


Рис. 6.17. Полная зона работы реле мощности обратной последовательности типа РМОП-2 по полным значениям тока и напряжения при двухфазном КЗ между фазами B и C

для исключения ошибок желательно подавать все три тока поочередно, в фазу B реле РМОП поочередно подают токи фаз A , B и C . Фаза тока C реле РМОП постоянно соединена с нулевым проводом трансформаторов тока.

На снятую векторную диаграмму токов и напряжений наносится

зона работы реле на основании данных рис. 6.17, схемы включения трансформаторов тока и напряжения и анализа установленного направления активной и реактивной мощности. При всех трех случаях подачи различных по фазе токов записываются положения контактов реле мощности и сравниваются с данными векторной диаграммы. При совпадении результатов реле мощности считается включенным правильно (см. рис. 6.15).

Раздел седьмой

НАЛАДКА ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ И УСТРОЙСТВ СИГНАЛИЗАЦИИ В СЕТЯХ С МАЛЫМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

7.1. Принципы выполнения защит и устройств сигнализации при однофазных замыканиях на землю

К сетям с малым током замыкания на землю относятся электрически связанные сети, которые работают с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор. В случае металлического замыкания в точке K (рис. 7.1) напряжение фазы A равно нулю. Пренебрегая падением напряжения от емкостных токов, можно считать, что напряжение замкнувшейся фазы в любой точке сети также равно нулю $U_A^{(1)} = 0$. Нейтраль системы получает по отношению к земле смещение:

$$\underline{U}_N^{(1)} = \underline{U}_A^{(1)} - \underline{E}_A = -\underline{E}_A.$$

Напряжения неповрежденных фаз B и C оказываются равными:

$$\underline{U}_B^{(1)} = \underline{E}_B + \underline{U}_N^{(1)} = \underline{E}_B - \underline{E}_A,$$

$$\underline{U}_C^{(1)} = \underline{E}_C + \underline{U}_N^{(1)} = \underline{E}_C - \underline{E}_A,$$

т. е. возрастают в $\sqrt{3}$ раз. Появляются напряжения нулевой последовательности

$$\underline{U}_0^{(1)} = \frac{1}{3} (\underline{U}_A^{(1)} + \underline{U}_B^{(1)} + \underline{U}_C^{(1)}) = -\underline{E}_A = \underline{U}_N^{(1)}.$$

Ток в месте повреждения определяется разностью потенциалов в контуре земля — емкость — точка повреждения:

$$\underline{I}_A^{(1)} = 3\underline{I}_0 = 3(0 - \underline{U}_0^{(1)})/j \frac{1}{\omega C_0} = -3\underline{E}_A/j \frac{1}{\omega C}.$$

Поскольку $\underline{I}_0$ направлен от места с более высоким потенциалом (земли) к месту повреждения K , имеем окончательно

$$\underline{I}_A^{(1)} = j \cdot 3\omega C_0 E_A.$$

Токи $\underline{I}_A^{(1)}$ и $\underline{I}_0$ опережают $\underline{E}_A$ на 90° и отстают от $\underline{U}_0^{(1)}$ на тот же угол.

Возникновение однофазных замыканий на землю характеризуется появлением слагающих напряжений и токов нулевой последовательности. Они обычно используются для действия релейной защиты. Как правило, такая защита выполняется с действием на сигнал и только в случаях, когда замыкание на землю представляет повышенную опасность, защита действует на отключение.

Средние значения токов однофазного замыкания на землю приведены в табл. 7.1.

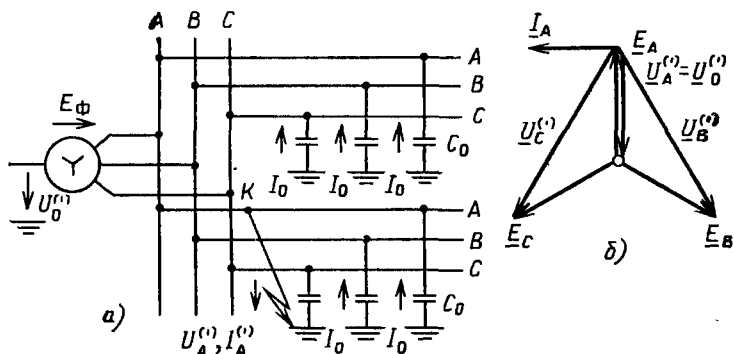


Рис. 7.1. Металлическое однофазное замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью:

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

Работа с изолированной нейтралью считается допустимой при емкостных токах замыкания на землю, примерно не превосходящих значений 25, 15, 10 А при рабочих напряжениях 6, 10 и 35 кВ соответственно. В случае использования дугогасящих реакторов производится резонансная настройка их или небольшая перекомпенсация емкостного тока индуктивным током дугогасящих реакторов. Наличие дугогасящего реактора уменьшает ток в месте повреждения, способствует самопогасанию дуги, ограничивает перенапряжения, возникающие при дуговых замыканиях, а также замедляет восстановление напряжения после погасания дуги.

Защита, реагирующая на напряжение. (рис. 7.2), включается на фильтр напряжения нулевой последовательности и выполняется на реле РН-40/60 Д.

Уставка напряжения срабатывания защиты выбирается по условиям отстройки от небаланса на выходе фильтра:

$$U_{с.з} = k_a U_{нб},$$

где k_a — коэффициент запаса, равный 1,5—2.

Таблица 7.1. Средние значения емкостного тока однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью

Характеристика линии передачи	Токи однофазного замыкания, А/км, при напряжении, кВ		
	6	10	35
Воздушные линии			
Одноцепная без троса	0,013	0,0256	0,078
Одноцепная с тросом	—	0,032	0,091
Двухцепная без троса	0,017	0,035	0,102
Двухцепная с тросом	—	—	0,11
Кабельные линии			
Номинальные сечения жнл, мм ²			
10	0,33	0,46	—
16	0,37	0,52	—
25	0,46	0,62	—
35	0,52	0,69	—
50	0,59	0,77	—
70	0,71	0,9	3,7
95	0,82	1	4,1
120	0,89	1,1	4,4
150	1,1	1,3	4,8
185	1,2	1,4	5,2

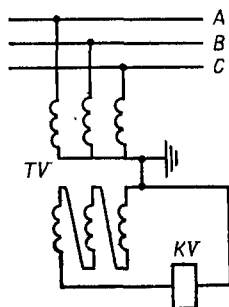


Рис. 7.2. Схема защиты, включенной на фнльтр напряжения нулевой последовательности

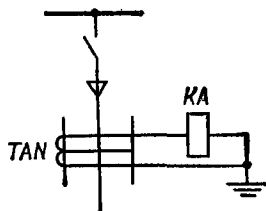


Рис. 7.3. Схема защиты, реагирующей на ток нулевой последовательности

В сетях с компенсированным емкостным током $U_{вб}$ может достигать 15—20 % фазного напряжения. В некомпенсированных сетях небаланс незначителен и уставку защиты выбирается минимально возможной по реле.

Наладочные работы указанной защиты проводятся в объеме проверки реле напряжения (§ 2.2).

Защита, реагирующая на ток (рис. 7.3), включается на трансформаторы тока нулевой последовательности TAN типов ТЗ, ТЗЛ, ТЗР, ТФ, ТНП-1 и др.

Уставка защиты выбирается по условиям отстройки от емкостного тока защищаемого присоединения при замыкании на землю на других присоединениях:

$$I_{с.з} \geq k_3 k_6 \cdot 3U_{\phi} \omega C_{л},$$

где $I_{с.з}$ — ток срабатывания защиты, А; k_3 — коэффициент запаса, равный 1,1—1,2; k_6 — коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока, и равный 4—5 (при выполнении защиты с временем $k_6 = 2 \div 3$); U_{ϕ} — номинальное фазное напряжение сети, кВ; $C_{л}$ — емкость фазы линии, на которой установлена защита, Ф.

Защита должна удовлетворять требованиям чувствительности

$$k_q = (I_{с\sum} - I_{сл}) / I_{с.з},$$

где $k_q \geq 1,25$ для кабельных и $k_q \geq 1,5$ для воздушных линий; $I_{с\sum}$ — полный ток замыкания на землю, А; $I_{сл}$ — емкостный ток линии, на которой установлена защита, А:

$$I_{сл} = 3U_{\phi} \omega C_{л}.$$

В сетях с изолированной нейтралью наиболее широкое распространение нашли следующие устройства защит и сигнализации: ЗЗП-1, РТЗ-50, УСЗ-2/2.

7.2. Основные технические данные защит и устройств сигнализации

Защита при однофазных замыканиях на землю ЗЗП-1 (рис. 7.4) предназначена для отключения защищаемого присоединения при повреждениях в сетях 3—10 кВ с суммарными емкостными токами 0,2—20 А. Защита представляет собой направленную защиту нулевой последовательности.

Номинальное напряжение оперативных цепей постоянного тока $U_{пит} = 24$ В. Питание цепей постоянного тока может производиться от аккумуляторной батареи или блока питания, включенного по схеме с трехфазным выпрямлением без сглаживания.

Номинальное напряжение цепей переменного тока 100 В. Для защиты элементов фазочувствительного усилителя от перенапряжения цепи напряжения нулевой последовательности следует подключать к трансформатору напряжения последовательно с вспомогательным устройством типа ВУ-1 (последовательный LC-фильтр с резонансной частотой 50 Гц). Через одно устройство ВУ-1 может включаться не более 10 комплектов защит ЗЗП-1. Этим же целям служит и реле напряжения

РН-53/60, включаемое в цепь разомкнутого треугольника трансформатора напряжения. Реле напряжения своими контактами создает задержку подачи напряжения на защиту.

Защита ЗЗП-1 имеет три уставки срабатывания по току при номинальных значениях напряжений переменного и постоянного тока, $\varphi_{м.ч} = 90^\circ$ и температуре окружающего воздуха $+20^\circ\text{C}$: $0,07 \pm 0,21$ А; $0,5 \pm 0,15$ А и $2 \pm 0,6$ А. При выборе уставок следует выбирать самую гру-

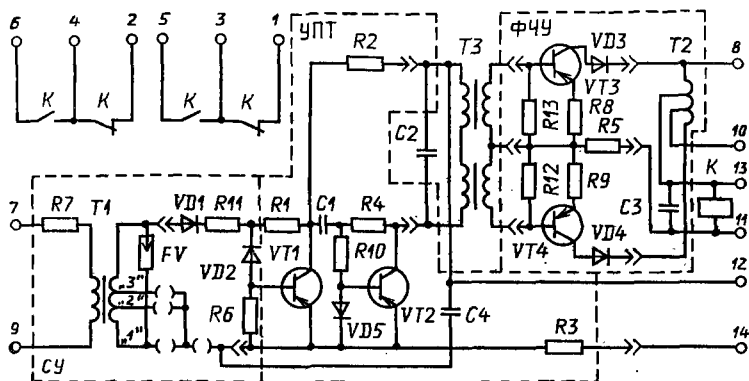


Рис. 7.4. Принципиальная схема защиты типа ЗЗП-1

бую из возможных уставок защиты, для которой минимальный коэффициент чувствительности $k_{\min}$ не ниже 2—3:

$$k_{\min} = (I_{\Sigma \min} - I_{\max}) / I_{\text{с.з.}}$$

где $I_{\Sigma \min}$ — наименьшее значение суммарного емкостного тока сети; $I_{\max}$ — наибольшее значение емкостного тока присоединения, для которого выбирается уставка защиты; $I_{\text{с.з.}}$ — ток срабатывания защиты на соответствующей уставке.

Защита не срабатывает при $3U_0 = 50$ В, $3I_0 = 0$ и питании цепей защиты блока питания, включенного по схеме двухфазного выпрямления с напряжением выхода, равным $0,65U_{\text{пит.ном.}}$

При изменении напряжения питания защиты $U_{\text{пит}}$ на $\pm 20\%$ от $U_{\text{пит.ном}}$ ток срабатывания защиты отличается от тока срабатывания при номинальном напряжении не более чем на $\pm 20\%$.

При изменении температуры окружающего воздуха в диапазоне от -40 до $+40^\circ\text{C}$ ток срабатывания защиты отличается от тока срабатывания при 20°C не более чем в 2 раза. Напряжение срабатывания защиты в диапазоне температур от -40 до $+40^\circ\text{C}$ при двукратных токах срабатывания на уставках «1», «2» и «3» находится в пределах 20—40 В. Зона срабатывания защиты при $3U_0 = 100$ В, $U_{\text{пит.ном}}$ на уставке «1» при $3I_0 \geq 0,2$ А, на уставках «2» и «3» при $3I_0 = 2I_{\text{ср}}$ находится в пределах $180 \pm 20^\circ$.

Угол максимальной чувствительности защиты $\varphi_{м.ч}$ при тех же условиях равен на уставке «1» 90_{-10}^{+40} °, на уставках «2» и «3» 90 ± 20 ° при $\varphi_{м.ч} = (\varphi_1 + \varphi_2)/2$, где φ_1 и φ_2 — границы зоны срабатывания.

Потребление мощности в цепи переменного тока при $3U_0 = 100$ В и $\varphi = 90^\circ$ составляет не более: на уставке «1» $3 \cdot 10^{-6}$ В·А, на уставке «2» $4 \cdot 10^{-4}$ В·А и на уставке «3» 10^{-2} В·А. Потребление мощности в цепи напряжения нулевой последовательности при $3U_0 = 100$ В и $3I_0 = 0$ — не более 3 В·А. Потребление мощности в цепи постоянного тока — не более 0,15 Вт. Разрывная мощность контактов при напряжении от 24 до 250 В и токе до 2 А — 50 Вт в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой.

Защита состоит из согласующего устройства, усилителя переменного тока и фазочувствительного усилителя. Согласующее устройство СУ (трансформатор $T1$, резисторы $R6$, $R7$, $R11$ диоды $VD1$, $VD2$ и разрядник FV) обеспечивает сдвиг фазы выходного тока на угол, близкий к 90° по отношению к первичному току нулевой последовательности во всем диапазоне изменения последнего, термическую стойкость защиты при двойных замыканиях на землю и возможность использования защиты с трансформаторами тока нулевой последовательности различных типов. Разрядник FV предохраняет устройство от пиковых перенапряжений при двойных замыканиях на землю.

Резисторы $R1$ — $R4$, $R10$, диод $VD5$, конденсаторы $C1$, $C4$ и транзисторы $VT1$, $VT2$ образуют двухкаскадный усилитель переменного тока УПТ, который усиливает сигнал, поступающий от СУ, сохраняя неизменной фазу тока $3I_0$. На выходе усилителя включен контур $C2$, $T3$ с частотой резонанса 50 Гц.

Резисторы $R5$, $R8$, $R9$, $R12$, $R13$, конденсатор $C3$, автотрансформатор $T2$, диоды $VD3$, $VD4$ и транзисторы $VT3$, $VT4$ образуют фазочувствительный усилитель ФЧУ. На выход ФЧУ включается выходное реле типа РП-211 со специальными обмоточными данными. ФЧУ сравнивает фазы $3I_0$ и $3U_0$ и обеспечивает работу защиты в зоне порядка 180° .

В нормальном режиме транзисторы $VT1$ и $VT2$ открыты, через $T3$ протекает постоянный ток и реле K не работает. При появлении замыкания на землю вторичный ток $3I_0$, сдвинутый на 90° в СУ и усиленный УПТ, подается через $T3$ на ФЧУ. Если напряжения на $T2$ и $T3$ совпадают по фазе, то поочередно через полпериода открывается каждый из транзисторов $VT3$ или $VT4$ и реле K срабатывает. Если напряжения на $T2$ и $T3$ имеют сдвиг $\varphi = 180^\circ$, то когда один из транзисторов открыт управляющим сигналом, его коллекторное напряжение имеет обратный потенциал. Ток реле определяется обратным сопротивлением диода $VD3$ и транзистора $VT3$ или $VD4$ и $VT4$ и много меньше тока срабатывания реле K .

Реле тока нулевой последовательности РТЗ-50 (рис. 7.5) предназначено для сигнализации при однофазных замыканиях на землю в сетях 6—10 кВ с малыми токами замыкания на землю.

Реле имеет три диапазона срабатывания по току: 0,01—0,02 А, 0,015—0,03 А и 0,03—0,06 А. Номинальная частота 50 Гц. Основная погрешность — не более 10 %. Разброс тока срабатывания — не более 4 %. Коэффициент возврата — не менее 0,9.

Кратность увеличения тока срабатывания относительно измеренного при частоте 50 Гц: на частоте 150 Гц — не менее двух, на частоте 400 Гц — не менее шести.

Питание цепей оперативного тока осуществляется переменным напряжением 100 В (зажимы 2—4) или напряжением постоянного тока 110 и 220 В (зажимы 6-4, 8-4). Потребляемая мощность питания на постоянном токе — не более 5 В·А.

Реле состоит из входного трансформатора T с выпрямителем $VC1$, двухкаскадного усилителя постоянного тока, исполнительного органа и блока питания. Сигнал от TAN подается на зажимы 5-7 реле и поступает на трансформатор T , имеющий отпайки для изменения диапазона тока срабатывания. Разрядник FV защищает элементы схемы от возможных перенапряжений при больших токах КЗ. Конденсатор $C1$

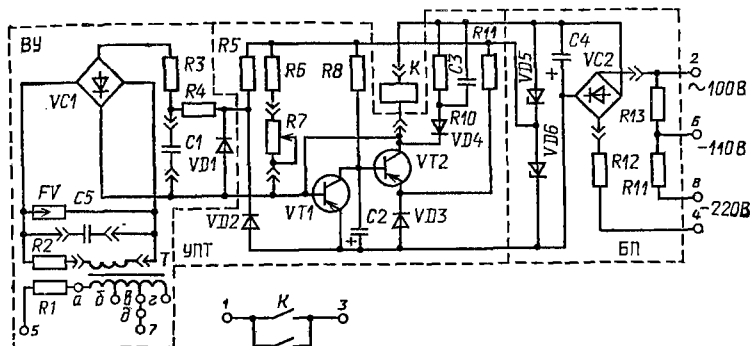


Рис. 7.5. Принципиальная схема реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-50

сглаживает пульсацию на выходе выпрямительного моста $VC1$. Двухкаскадный усилитель постоянного тока с коллекторной обратной связью выполнен на транзисторах $VT1$ и $VT2$. Плавное изменение уставок в пределах каждого диапазона осуществляется резистором $R7$, установленным в цепи смещения транзистора $VT1$. Выходное реле K включено в цепь коллектора транзистора $VT2$. Блок питания реле состоит из выпрямительного моста $VC2$, резисторов $R11$ — $R13$, сглаживающей емкости $C4$ и стабилитронов $VD5$, $VD6$. Блок питания обеспечивает подачу на усилитель стабилизированного напряжения 8—9,5 В на $VT1$ и 16—19 В на $VT2$, чем обеспечивается стабильность уставки при изменении напряжения оперативного тока.

При поданном оперативном токе и отсутствии входного сигнала транзистор $VT1$ открыт, так как на его базу подано отрицательное смещение относительно эмиттера по цепочке $R6$, $R7$. Напряжение смещения определяется падением напряжения на переходе эмиттер — база открытого транзистора, которое зависит от тока базы, протекающего по резисторам $R6$, $R7$ и по параллельной цепи обмотки реле K . В цепи эмиттера $VT2$ установлен диод $VD3$, создающий на эмиттере отрицательное смещение. Так как база $VT2$ имеет относительно эмиттера положительный потенциал, то транзистор $VT2$ надежно закрыт и через

выходное реле K , установленное в цепи коллектора $VT2$, протекают небольшие токи.

Диод $VD1$ служит для ограничения уровня входного сигнала. Величина входного сигнала, необходимого для закрытия транзистора $VT1$, определяется падением напряжения на диоде $VD2$ и потенциалом базы $VT1$, зависящим от сопротивления резистора $R7$. Так как параметры $VD2$ постоянны, то изменением сопротивления $R7$ обеспечивается плавное регулирование уставки в пределах каждого диапазона.

При подаче на вход усилителя сигнала достаточной величины транзистор $VT1$ закрывается, потенциал базы $VT2$ оказывается отрицательным по отношению к эмиттеру и транзистор $VT2$ открывается. Наличие обратной связи придает работе усилителя релейный характер. При открытии транзистора $VT2$ потенциал его коллектора становится положительным, а следовательно, уменьшается ток базы $VT1$, что приводит к его быстрому закрытию и открытию $VT2$. Транзисторы $VT1$ и $VT2$ работают в ключевом режиме, что обеспечивает четкую работу реле K . При уменьшении входного сигнала усилитель скачком переходит в начальное состояние: $VT1$ открыт, $VT2$ закрыт.

Конденсатор $C3$, диод $VD4$ и резистор $R10$ предназначены для защиты транзистора $VT2$ от ЭДС самоиндукции на обмотке реле K при закрытии $VT2$.

Реле тока нулевой последовательности РТЗ-51 (рис. 7.6) имеет то же назначение, что и реле РТЗ-50. Реле имеет шесть диапазонов срабатывания по току — от 0,02 до 0,12 А. Номинальная частота 50 или 60 Гц. Основная погрешность — не более 10 %. Разброс тока срабатывания — не более 3 %. Коэффициент возврата — не ниже 0,93. Кратность увеличения тока срабатывания относительно измеренного при частоте 50 Гц: на частоте 150 Гц — не менее 4, на частоте 400 Гц — не менее 15.

Питание цепей оперативного тока осуществляется переменным напряжением 100 В (зажимы 8-10) или напряжением постоянного тока 110 и 220 В (зажимы 6-10 и 12-10 соответственно). Потребляемая мощность питания на постоянном токе — не более 10 Вт, на переменном токе — не более 5 В·А. Изменение тока срабатывания при изменении питающего напряжения от 0,8 $U_{ном}$ до 1,1 $U_{ном}$ не превышает 8 %.

Схема реле состоит из входного трансформатора $TA1$, преобразующей части, сравнивающей части и исполнительного органа. Трансформатор тока $TA1$ нагружен на резисторы $R2-R7$, которые служат для дискретной регулировки уставки тока срабатывания. Диоды $VD1-VD4$ ограничивают уровень входного сигнала.

Преобразующая часть представляет собой настроенный на номинальную частоту сети 50 Гц (или 60 Гц) активный фильтр, выполненный на операционном усилителе $A1$.

Сравнивающая часть состоит из порогового элемента, выполненного на операционном усилителе $A2$, времяизмерительной цепи $VD5$, $R15$, $R16$, $C8$ и триггера Шмитта, построенного на операционном усилителе $A3$. При поданном на реле напряжении питания, когда воздействующая величина превышает порог срабатывания элемента $A2$, конденсатор $C8$ заряжается или разряжается в зависимости от полярности выходного сигнала элемента $A2$. Постоянные времени заряда и разряда выбираются такими, чтобы схема срабатывала при определенном значении входного сигнала. Если соотношение интервалов времени, в течение кото-

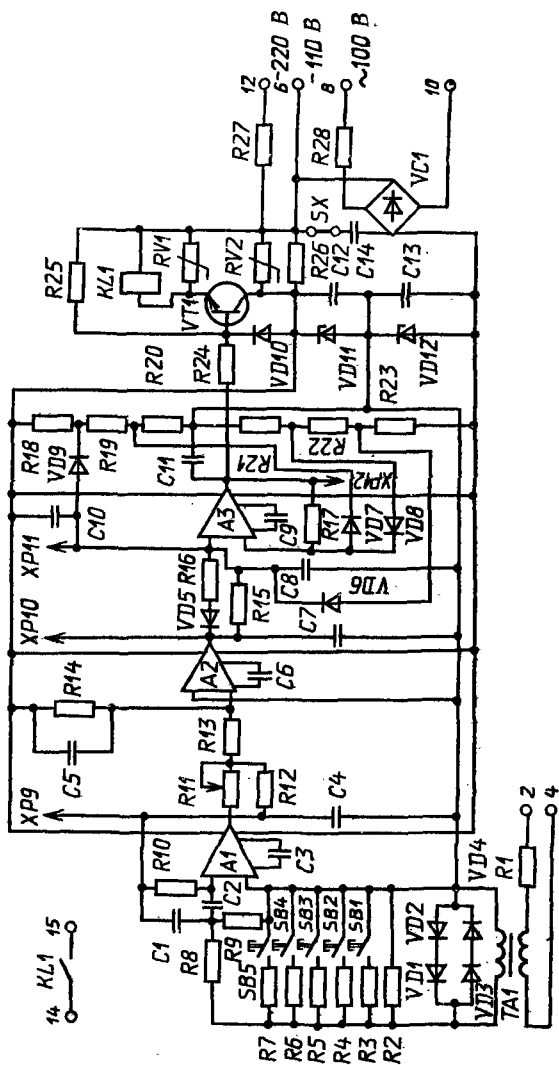


Рис. 7.6. Принципиальная схема реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-51

рых входная воздействующая величина больше или меньше установленного порога, превышает заданное значение, конденсатор $C8$ заряжается до уровня, достаточного для срабатывания триггера. При этом открывается транзистор $VT1$ и срабатывает выходное реле $KL1$.

Для питания операционных усилителей в схеме реле применен параметрический стабилизатор, состоящий из резистора $R26$ и стабилитронов $VD11$, $VD12$. Параметрический стабилизатор обеспечивает питание операционных усилителей напряжением ± 15 В.

Устройство сигнализации замыкания на землю типа УСЗ-2/2 (рис. 7.7) предназначено для работы в кабельной сети 6—10 кВ с компенсированной нейтралью и устанавливается на головном участке линии, отходящей от шин 6—10 кВ.

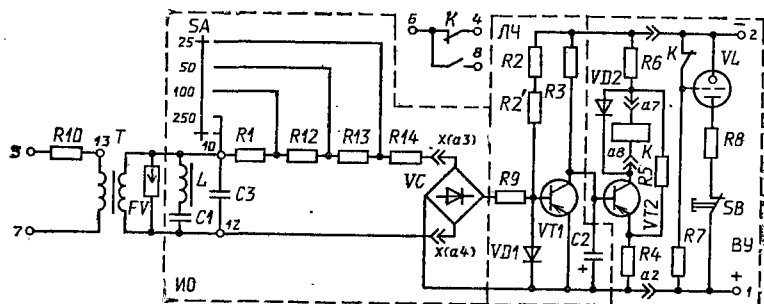


Рис. 7.7. Принципиальная схема устройства сигнализации УСЗ-2/2

Номинальное напряжение оперативных цепей постоянного тока устройства $U_{\text{пит}} = 110$ В. Питание цепей постоянного тока может производиться от аккумуляторной батареи или блока питания. Устройство не фиксирует однофазные замыкания длительностью менее 40 мс при пятикратном токе по отношению к току срабатывания устройства. Ток срабатывания устройства для каждой частоты при $U_{\text{пит}} = 110$ В и температуре окружающей среды $+20^\circ\text{C}$ при сопротивлении соединительных проводов между трансформатором тока нулевой последовательности TAN и устройством не более 1 Ом соответствует значениям табл. 7.2

Таблица 7.2. Значения тока нулевой последовательности, А, на разных уставках для различных частот

Уставка, А	Частота, Гц						
	50	150	250	350	550	650	2000
25	$\geq 5,0$	1,74	0,95	0,61	0,48	0,57	≥ 2
50	≥ 10	2,8	1,4	0,85	0,73	0,98	$\geq 3,2$
100	≥ 20	5,1	2,5	1,35	1,47	2,05	$\geq 6,5$
250	≥ 50	10,4	4,85	2,44	3,4	4,95	≥ 16

с допускаемым отклонением $\pm 30\%$ (пределы отклонения $\pm 30\%$ действительны для диапазона частот от 150 до 650 Гц).

При изменении $U_{\text{пит}}$ на $\pm 0,2 U_{\text{ном}}$ изменение тока срабатывания не выходит за пределы $\pm 25\%$ относительно величин, измеренных при номинальном напряжении на частотах 150—650 Гц.

При изменении температуры окружающей среды от -20 до $+40^\circ\text{C}$ изменение тока срабатывания устройства при частоте 250 Гц не выходит за пределы $+20\%$ и -25% относительно величин, измеренных при температуре $+20^\circ\text{C}$ и $U_{\text{пит}} = U_{\text{ном}}$.

Потребление мощности в цепи постоянного тока при $U_{\text{пит}} = U_{\text{ном}}$ в нормальном режиме не превышает 2,5 Вт. Коэффициент возврата выходного реле — не менее 0,2. Разрывная мощность контактов при напряжении от 24 до 250 В и токе до 2 А составляет 50 Вт в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой.

Принцип действия устройства основан на том, что при однофазных замыканиях на землю в сетях 6—10 кВ в токе замыкания кроме токов промышленной частоты 50 Гц содержатся составляющие токов высших гармоник. Содержание токов высших гармоник в токе нулевой последовательности поврежденного присоединения существенно выше, чем в токах нулевой последовательности неповрежденного присоединения, независимо от режима компенсации.

Устройство состоит из согласующегося трансформатора, измерительного органа, логической части схемы и выходного устройства. Согласующий трансформатор T служит для согласования входного сопротивления устройства с выходным сопротивлением трансформатора тока нулевой последовательности TAN . Измерительный орган предназначен для выявления наличия высших гармоник в токе нулевой последовательности. Он состоит из последовательного фильтра $L-C1$, настроенного на резонансную частоту 50 Гц, выпрямительного моста VC , конденсатора $C3$ и резисторов $R1$, $R12$ — $R14$. Конденсатор $C3$ предназначен для отстройки от сигналов с частотой более 2000 Гц. Резисторы $R1$, $R12$ — $R14$ обеспечивают возможность выбора необходимых уставок на ток срабатывания для сетей с различными значениями суммарного емкостного тока (25, 50, 100 и 250 А). Логическая часть схемы предназначена для определения наличия повреждения на данном присоединении. Она пропускает или не пропускает в выходное устройство сигнал от измерительного органа в зависимости от его величины, длительности и характера. В логическую часть схемы входят транзистор $VT1$, диод $VD1$, конденсатор $C2$ и резисторы $R2$, $R2'$, $R3$ и $R9$. В схему выходного устройства входят транзистор $VT2$, выходное реле K , тиратрон с холодным катодом VL , диод $VD2$ и резисторы $R4$ — $R8$. В качестве выходного реле K использовано промежуточное реле типа РП-211 со специальной обмоткой. В схеме установлен разрядник FV для защиты устройства от пиковых напряжений при двойных замыканиях на землю.

При подающем напряжении питания и отсутствии сигнала транзистор $VT1$ открыт благодаря наличию напряжения смещения на его базе. На базу транзистора $VT2$ подается потенциал, обусловленный падением напряжения перехода эмиттер — коллектор транзистора $VT1$, превышающий потенциал эмиттера транзистора $VT2$. Последний остается закрытым, и через реле K протекает ток покоя $I_{\text{к0}}$ транзистора $VT2$. Реле K не работает.

При появлении сигнала от измерительного органа транзистор $VT1$

закрывается. После закрытия $VT1$ транзистор $VT2$ остается закрытым в течение времени, определяемого временем заряда конденсатора $C2$ до напряжения, равного падению напряжения на резисторе $R4$. Затем транзистор $VT2$ начинает открываться. Время задержки, определяемое постоянной времени контура $R3-C2$, составляет примерно 50 мс, что достаточно для правильного поведения устройства при переходных процессах и перемежающейся дуге. При открытии транзистора $VT2$ срабатывает выходное реле K , которое своим размыкающим контактом обеспечивает зажигание тиратрона VL . Замыкающий контакт реле K может использоваться в цепях внешней сигнализации.

После устранения повреждения на рассматриваемом присоединении транзистор $VT1$ открывается, $VT2$ закрывается и реле K возвращается. Тиратрон LV горит до момента квитирования его кнопкой SB .

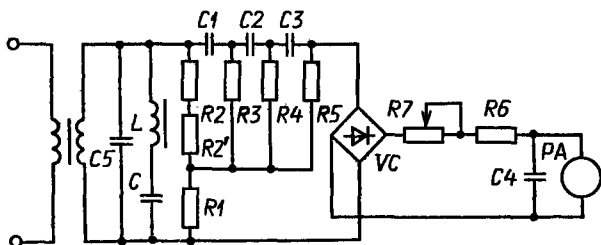


Рис. 7.8. Принципиальная схема устройства сигнализации УСЗ-3м

Если в процессе появления сигнала транзистор $VT1$ откроется до истечения выдержки времени, создаваемой зарядом конденсатора $C2$, то остаточный заряд на $C2$ быстро разрядится через открывшийся транзистор $VT1$. Транзистор $VT2$ при этом либо совсем не начнет открываться, либо ток его коллектора не успеет достигнуть значения, достаточного для срабатывания реле K . Благодаря быстрому разряду конденсатора $C2$ обеспечивается быстрый возврат схемы, предотвращается накопление заряда на конденсаторе $C2$, что и обеспечивает правильное поведение реле при однофазном замыкании с перемежающейся дугой.

При монтаже устройства необходимо соблюдать следующие рекомендации:

сопротивление жил кабеля, соединяющего устройство с TAN , не должно превышать 1,5 Ом. Если сопротивление проводов менее 0,5 Ом, то устройство подключается к TAN выводами 7-3; если сопротивление проводов более 0,5 Ом, то ток от TAN подается на выводы 7-13;

питание схемы защиты должно осуществляться постоянным или выпрямленным напряжением 110 В $\pm 20\%$. Используется схема трехфазного выпрямления с фильтром LC для уменьшения пульсации. При питании устройства от шин постоянного тока с разветвленными цепями для защиты транзисторов от перенапряжений рекомендуется включать последовательно с группой устройств УСЗ-2/2 дроссель с активным сопротивлением 100—500 Ом из трансформаторной стали Ш9 или Ш12 с зазором 2—3 мм;

наряду со световым сигналом, осуществляемым встроенным в реле тиратроном МТХ-90 с ручной деблокировкой, возможно использование контактного выхода с его включением в цепи указательных реле, сигнальных ламп и других средств сигнализации на объекте.

Устройство сигнализации замыкания на землю типа УСЗ-3м (рис. 7.8) предназначено для определения поврежденного присоединения при устойчивых однофазных замыканиях на землю в кабельных сетях 6—10 кВ, работающих без компенсации или с компенсацией емкостных токов замыкания.

Устройство имеет плавную регулировку чувствительности с помощью резистора R7.

Показания микроамперметра на частотах от 250 до 650 Гц при температуре окружающего воздуха $20 \pm 5^\circ\text{C}$ не должны отличаться от данных табл. 7.3 более чем на $\pm 40\%$.

Таблица 7.3. Значения тока нулевой последовательности для различных частот, мкА

Чувствительность устройства	Первичный ток I_{AN} типа ТЗЛ, А	Показания прибора при частоте, Гц				
		250	350	550	650	2000
Максимальная	1	61	61	45	40	30
Минимальная	1	3	3	2	2	5
	5	15	13	10	9	10
	20	65	52	40	37	30

Показания микроамперметра при первичном синусоидальном токе частоты 50 Гц, равном 50 А, при максимальной чувствительности не превышают 30—40 мкА.

При изменении температуры окружающего воздуха от $+20^\circ\text{C}$ показания прибора на частоте 250 Гц изменяются не более чем на $\pm 50\%$ при температуре -40°C и на $\pm 20\%$ при температуре $+40^\circ\text{C}$.

Принцип действия устройства УСЗ-3м аналогичен принципу действия устройства УСЗ-2/2. Устройство состоит из согласующего трансформатора Т, шунтирующего фильтра LC, настроенного на частоту резонанса 50 Гц, активно-емкостного фильтра R2—R5 и C1—C3, выпрямительного моста VC и электроизмерительного прибора РА. Емкость C5 предназначена для отстройки устройства от сигналов, имеющих частоту выше 1000 Гц.

При появлении устойчивого замыкания на землю УСЗ-3м с помощью переключающего устройства подключается оперативным персоналом к трансформаторам тока нулевой последовательности присоединений 6—10 кВ данной станции или подстанции. Поврежденное присоединение определяется методом сравнения по максимальному показанию прибора.

Измерение уровней высших гармоник в токах нулевой последовательности присоединений производится при одном и том же положении резистора R7.

7.3. Проверка защит и устройств сигнализации

В объем проверки защит и устройств сигнализации входит внешний и внутренний осмотр, проверка механической исправности устройств, проверка сопротивления изоляции, испытание изоляции, проверка трансформатора тока нулевой последовательности и его монтажа, проверка основных электрических характеристик устройства, комплексная проверка, проверка рабочим током и напряжением.

Внешний и внутренний осмотр, проверка механической части выполняются в соответствии с рекомендациями § 2.1.

Проверка сопротивления изоляции производится в полной схеме защиты мегаомметром 1000 В. Перед проверкой изоляции необходимо закоротить между собой выводы независимых цепей и вынуть блоки полупроводниковых элементов. Сопротивление изоляции проверяется относительно корпуса и между всеми независимыми цепями. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм.

Испытание изоляции всех объединенных цепей относительно корпуса производится напряжением 1000 В частотой 50 Гц в течение 1 мин.

Проверка трансформатора тока нулевой последовательности и его монтажа. При проверке монтажа трансформатора тока (рис. 7.9) необходимо обращать внимание на выполнение следующих требований:

провод, заземляющий кабельную воронку, должен проходить через *TAN* и на выходе подсоединяться к контуру заземления. В этом случае токи, проходящие по броне кабеля и по заземлению, проходят в *TAN* в разных направлениях и их влияние на защиту уничтожается;

на кабель на участке от воронки до места установки *TAN* и на заземляющий провод должна быть наложена изоляционная лента для изоляции железа *TAN* от брони кабеля, а также брони и воронки от хомутов или скоб, крепящих кабель к заземленным конструкциям.

Отстройка защиты от токов растекания оценивается по величине небаланса *TAN* при протекании тока через него по проводу, заземляющему кабельную воронку, и по броне кабеля на землю. Для этого провод, заземляющий кабельную воронку, отсоединяется от контура заземления и в расщелку включается источник тока. Ток небаланса из-

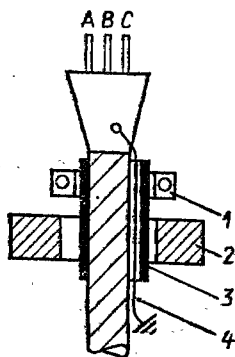


Рис. 7.9. Выполнение заземления при установке на кабеле трансформатора тока нулевой последовательности:

1 — крепежная скоба; 2 — трансформатор тока нулевой последовательности; 3 — изоляционный слой; 4 — заземляющий провод

меряется во вторичной обмотке *TAN*. При протекании тока, большего расчетного тока однофазного замыкания, ток небаланса должен быть в 2—3 раза меньше уставки защиты. Изоляция сердечника *TAN* и крепящих скоб или хомутов, расположенных выше места установки *TAN*, относительно брони кабеля проверяется мегаомметром напряжением 2500 В. Снимается характеристика намагничивания *TAN* $U=f(I)$.

Для удобства проведения плановых проверок целесообразно пропустить через окно *TAN* провод (испытательную жилу), концы которого выводятся на сборку зажимов. Необходимо помнить, что замыкание этих концов может приводить к отказу защиты.

Проверка основных электрических характеристик устройств. Описание проверок приводится по видам защитных устройств. Ввиду различия схемы питания устройств и выполнения исполнительного органа проверка их также входит в объем проверок основных электрических характеристик.

Проверка устройства ЗЗП-1 производится в следующем объеме.

1. Проверяются цепи питания от источника постоянного или выпрямленного тока. При этом измеряется напряжение питания, которое должно соответствовать допустимым значениям $24 \pm 4,8$ В.

2. Проверяется и регулируется исполнительный орган. Проверка выходного реле РП-210 принципиально не отличается от проверки других промежуточных реле, и его регулировка осуществляется в соответствии с указаниями § 2.5. Напряжение срабатывания реле проверяется подачей напряжения от постороннего источника на выводы 11-13 при вынутом блоке полупроводниковых элементов и отключенном конденсаторе СЗ. Напряжение срабатывания реле должно быть $16,8 \pm 0,8$ В, а коэффициент возврата — не менее 0,2. Проверяется время срабатывания реле, которое должно быть не более 0,025 с при $U_p = 2U_{ср}$.

3. Снимаются основные электрические характеристики защиты при совместной работе с *TAN* данного присоединения по схеме, приведенной на рис. 7.10. Для проверки защиты целесообразно использовать комплексное устройство типа У5053. В качестве первичной обмотки используется провод, пропущенный через окно трансформатора. Перед снятием характеристик размагничивают сердечник *TAN*, для чего в первичной обмотке плавно увеличивают ток до 9 А и затем плавно снижают его до нуля, повторяя указанную операцию 2—3 раза. Характеристики снимаются в следующей последовательности:

а) определяется напряжение на обмотке выходного реле *K* при подаче напряжения $3 U_0$ на зажимы 8-10 защиты. Проверка выполняется плавным подъемом напряжения от 0 до 100 В при отсутствии тока в первичной цепи *TAN* и снятом напряжении постоянного тока. Постоянная составляющая напряжения на зажимах 11-13, измеренная вольтметром с $R_{вн} \geq 1000$ Ом/В, не должна превышать ± 2 В. При больших величинах проверяются на соответствие ТУ транзисторы VT3, VT4 и диоды VD3, VD4. Во избежание повреждения транзисторов не допускается подача напряжения в цепь $3 U_0$ более 115 В;

б) снимаются вольт-амперные характеристики срабатывания $I_{с.з} = f(3 U_0)$ при $U_{пит} = 24$ В и $\varphi = 90^\circ$ (ток отстает от напряжения) для трех уставок, которые могут значительно отличаться от данных по шкале, так как зависят от параметров трансформаторов тока и от температуры окружающей среды. Защита считается исправной, если вольт-

амперные характеристики отличаются от типовой, приведенной на рис. 7.11, не более чем на 30 %;

в) проверяется зона срабатывания защиты и определяется $\Phi_{м.ч}$ при $U_{пит}=24$ В и $3U_0=100$ В. Характеристики снимаются для трех уставок, причем на уставке «1» характеристика снимается при $I=0,2$ А, а на уставках «2» и «3» — при $I=2I_{ср}$. Зона работы защиты должна находиться в пределах $180 \pm 20^\circ$ (первичный ток опережает напряжение $3U_0$). Угол максимальной чувствительности $\Phi_{м.ч}$ определяется как полусумма углов Φ_1 и Φ_2 срабатывания защиты на границах зоны;

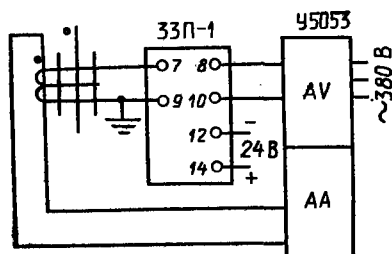


Рис. 7.10. Схема снятия характеристик защиты 33П-1

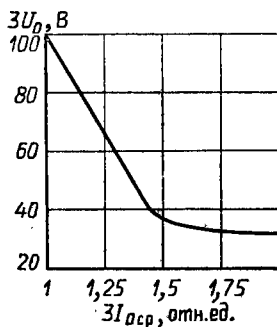


Рис. 7.11. Типовая вольт-амперная характеристика срабатывания защиты 33П-1 $3I_0 = f(3U_0)$

г) проверяется степень отстройки защиты от высших гармоник токовой цепи. Проверка производится только для защиты 33П-1М при $U_{пит}=24$ В и $3U_0=0$. Для проверки в первичную обмотку TAN от генератора низкой частоты подается ток $I=2I_{ср.уст}$ в диапазоне частот от 50 до 750 Гц. Напряжение измеряется ламповым вольтметром на выходе усилителя переменного тока (выводы 12-14). Снятая характеристика не должна отличаться от типовой (рис. 7.12) более чем на 20 %.

В случае несоответствия на всех уставках снятых характеристике типовым следует заменить блок полупроводниковых элементов. Если положение не изменится, следует провести проверку трансформаторов и автотрансформатора, а также конденсаторов $C2$, $C3$, $C4$ и резистора $R7$.

4. Проверяется устройство ВУ-1. Настройка устройства на частоту резонанса $50 \pm 2,5$ Гц осуществляется по схеме рис. 7.13. Проверка фильтра производится при постоянном по значению напряжении на выходе звукового генератора. Резонансу соответствует максимум тока в цепи фильтра. Значение полного сопротивления в режиме резонанса должно находиться в пределах 44—64 Ом. Настройка резонансной частоты осуществляется изменением воздушного зазора магнитопровода дросселя L .

5. Проверяется сопротивление соединительных проводов. Активное

сопротивление соединительных проводов между вторичной обмоткой ТАН и комплектом защиты не должно превышать 0,3 Ом. Если сопротивление превышает 0,3 Ом, увеличивают сечение соединительных проводов и при необходимости шунтируют резистор $R7$ схемы ЗЗП-1 проводом сечением не менее 0,35 мм².

Проверка реле РТЗ-50 производится в следующем объеме.

1. Проверяется исправность цепи $R10$, $C3$, $VD4$. Для проведения проверки вынимается печатная плата из разъема и комбинированным прибором Ц4313 (Ц4317 или др.) измеряется сопротивление этой цепи постоянному току при прямой («+» прибора на вывод 4 штепсельного разъема, «-» прибора — на вывод 8) и обратной полярностях. При прямой полярности сопротивление должно быть примерно 3 кОм, при обратной полярности ∞ .

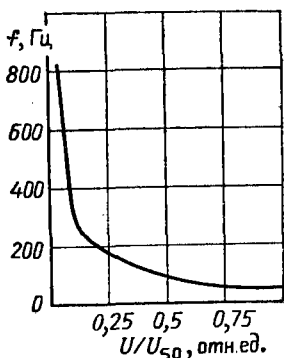


Рис. 7.12. Характеристика отстройки защиты ЗЗП-1 от высших гармоник $U/U_{50} = \varphi(f)$

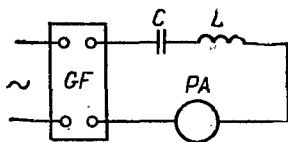


Рис. 7.13. Схема проверки фильтра второй гармоники

2. Проверяется выходное реле K . Проверка производится при снятом блоке полупроводниковых элементов. Напряжение подается на выводы 4 и 8 розетки штепсельного разъема. Напряжение срабатывания должно быть равным $11,3 \pm 0,5$ В, ток срабатывания $8,3 \pm 0,4$ мА, коэффициент возврата должен быть не менее 0,2.

3. Проверяется стабилизация напряжения питания реле. На вход цепей оперативного тока реле подается напряжение от нуля до $1,1 U_{ном}$ и измеряется напряжение на стабилитронах $VD6$ и $VD6 + VD5$ при $U_{пит} = 0,8; 1,0$ и $1,1 U_{ном}$. При $U_{пит} = U_{ном}$ напряжение на стабилитроне $VD6$ должно находиться в пределах 8—9,5 В, а на стабилитронах $VD6 + VD5$ — в пределах 16—19 В. При изменении напряжения в пределах 0,8— $1,1 U_{ном}$ значение стабилизированного напряжения не должно отличаться от измеренного ранее более чем на $\pm 0,2$ В.

4. Проверяется входной трансформатор и ограничение входного сигнала. Для проведения проверки собирается схема, приведенная на рис. 7.14. Накладка реле устанавливается в положение «1» диапазона уставок («д-2»). При $U_{пит} = U_{ном}$ в токовую цепь плавно подается ток от нуля до максимального вторичного тока замыкания на землю (20 мА). Измеряется напряжение на вторичной обмотке входного трансформатора.

сформатора T , которое должно находиться в пределах 5,0—5,8 В, и напряжение на диоде $VD1$, которое должно быть не более 1 В.

5. Проверяется заглубление реле для высших гармонических составляющих. На минимальной уставке при $U_{\text{пит}} = U_{\text{ном}}$ от ГНЧ в токовую цепь реле подается ток частотой 50, 150 и 400 Гц и измеряется ток срабатывания реле. Коэффициенты заглубления на частотах 150 и 400 Гц должны быть соответственно:

$$k_{150} = I_{\text{ср}150} / I_{\text{ср}50} \geq 2,$$

$$k_{400} = I_{\text{ср}400} / I_{\text{ср}50} \geq 6.$$

6. Измеряется напряжение в контрольных точках. При $U_{\text{пит}} = U_{\text{ном}}$ по схеме рис. 7.14 производятся измерения напряжений в контрольных точках при отсутствии тока на входе реле (якорь K отпущен) и при наличии тока, равного $1,1 I_{\text{ср}}$ реле (якорь K подтянут). Измерения производятся относительно «+» блока питания вольтметром постоянного тока с $R_{\text{вн}} \geq 5 \text{ кОм/В}$ (M1200). Значения измеренных напряжений должны находиться в пределах, указанных в табл. 7.4.

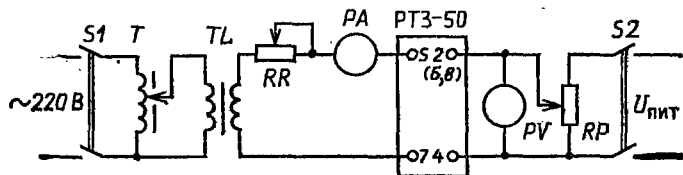


Рис. 7.14. Схема проверки электрических характеристик реле типа PT3

Таблица 7.4. Допустимые пределы изменений напряжений в контрольных точках реле PT3-50

Ток $I = 1,1 I_{\text{ср}}$ на входе реле	Значение напряжения, В		
	Коллектор VT1	Коллектор VT2	Стабилитрон VD3
Отсутствует	0,01—0,04	16—19	0,6—0,7
Подан	0,9—0,12	0,7—1	0,6—0,7

После измерения напряжений в контрольных точках вольтметр подключают на базу транзистора $VT1$ и при отсутствии тока на входе реле плавным регулированием резистора $R7$ проверяют плавность изменения напряжения на базе транзистора.

7. Проверяется реле PT3-50 совместно с трансформатором тока TAN . Собирается схема, приведенная на рис. 7.15. При использовании TAN с подмагничиванием схема проверки должна предусматривать подачу напряжения на обмотку подмагничивания. При $U_{\text{пит}} = U_{\text{ном}}$ и заданном на трансформатор тока TAN первичном токе, равном заданной

уставке защиты, вращением регулируемого резистора $R7$ добиваются срабатывания реле. Положение резистора фиксируется контргайкой, и повторно проверяется ток срабатывания. Как показал опыт наладки защиты с реле $PT3-50$, из-за большого входного сопротивления реле, особенно на первых двух диапазонах «0,01—0,02 А» и «0,015—0,03 А», и малой мощности трансформаторов тока они значительно изменяют коэффициент трансформации в зависимости от нагрузки. Поэтому вполне возможно, что защита будет иметь меньший первичный ток срабатывания на третьем, наиболее грубом диапазоне, имеющем минимальное входное сопротивление. Выбор диапазона, если он не задан в уставках, производится экспериментально в процессе наладки. Коэффициент возврата реле по первичному току должен быть не менее 0,9.

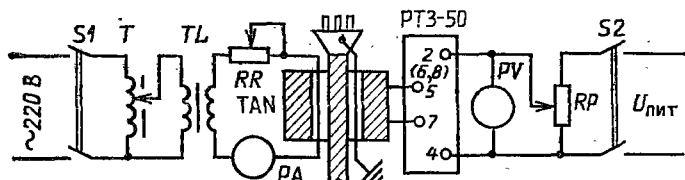


Рис. 7.15. Схема проверки реле типа $PT3$ совместно с трансформатором тока нулевой последовательности

Особенности наладки реле $PT3-51$. Исполнительный орган $KL1$ (см. рис. 7.6) должен срабатывать при напряжении не более 45 В. Ток срабатывания проверяется на каждой из шести уставок. Погрешности, разбросы, коэффициенты возврата должны соответствовать техническим данным реле, приведенным в § 7.2. Подрегулировка тока срабатывания осуществляется подстроечным резистором $R11$. Переключатель SX должен быть замкнут только в случае питания схемы реле от источника переменного напряжения. Для удобства контроля состояния схемы $PT3-51$ на печатной плате расположены контрольные точки $XP9$ — $XP12$, выполненные в виде контактных площадок.

Рабочую уставку срабатывания защиты с реле $PT3-51$ по первичному току выполняют в схеме с TAN аналогично защите с реле $PT3-50$.

Проверка устройства сигнализации $УСЗ-2/2$ производится в следующем объеме:

1) проверяется исполнительное реле. При этом ток срабатывания реле при подаче напряжения от постороннего источника на зажимы 9-11 устройства и вынутом блоке полупроводниковых приборов должен находиться в пределах 9—10 мА, коэффициент возврата — не менее 0,2;

2) проверяются цепи сигнализации устройства. Для проверки исправности тиратрона $MTX-90$ вынимается блок полупроводниковых приборов и на входные зажимы 1-2 подается напряжение постоянного выпрямленного тока, равное $0,8 U_{ном}$. Нажимая на якорь выходного реле K , проверяют зажигание тиратрона. После отпускания якоря тиратрон не должен гаснуть до квитирования кнопкой SB . Напряжение увеличивается до $1,5 U_{ном}$. Тиратрон не должен загораться при отпущенном якоря. В случае несоответствия режимов работы проверяется исправ-

ность и значение сопротивлений резисторов $R7$ и $R8$, а также надежность замыкания размыкающих контактов реле K . При исправности всех цепей тиристор должен быть заменен;

3) производится проверка транзистора $VT2$. При вставленном блоке полупроводниковых приборов и поданном на зажимы 1-2 напряжении питания от $0,8 U_{ном}$ до $1,2 U_{ном}$ измеряется напряжение на зажимах 9-11 вольтметром с $R_{вн} \geq 5 \text{ кОм/В}$. Измеренное напряжение не должно превышать 1 В;

4) проверяются уставки срабатывания. Для этого снимается характеристика зависимости тока срабатывания от частоты при постоянном значении напряжения питания $U_{пит} = 110 \text{ В}$ для всех уставок устрой-

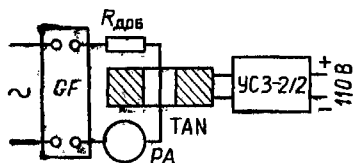


Рис. 7.16. Схема снятия характеристик устройства УСЗ-2/2 с переносным трансформатором тока нулевой последовательности

ства на частотах 50, 150, 250, 350, 550, 650 и 2000 Гц по схеме рис. 7.16. Для снятия характеристик устройств УСЗ-2/2 используется переносной TAN такого же типа, как и тот, от которого питаются устройства. Из-за незначительной мощности генератора низкой частоты для получения больших первичных токов, приведенных к одному витку, через окно TAN наматывается 50 витков. Первичный ток, приведенный к одному витку, равен произведению показаний амперметра на число намотанных витков. Полученные токи срабатывания не должны отличаться от данных, приведенных в табл. 7.2, более чем на 30 % для диапазона частот от 150 до 650 Гц. Если токи срабатывания не укладываются в допустимые пределы, проверяются согласующий трансформатор T , дроссель L и конденсаторы $C1, C3$.

Снимается характеристика зависимости тока срабатывания от частоты тока при напряжениях питания, равных $0,8 U_{ном}$ и $1,2 U_{ном}$ на рабочей уставке. Отличие токов срабатывания от данных при $U_{пит} = U_{ком}$ не должны отличаться более чем на 25 %.

Качественную проверку срабатывания УСЗ-2/2 можно произвести и без использования ГНЧ — прогрузкой каждого TAN первичным током 50 Гц. В этом случае через окно TAN пропускают прогрузочный провод и увеличивают ток до срабатывания реле. Измеренный ток срабатывания должен быть меньше тока замыкания на землю (задается службой РЗА и проверяется опытом искусственного замыкания на землю). При однофазных замыканиях в сети в токе $3 I_0$ всегда присутствуют составляющие 150—2000 Гц, а на этих частотах ток срабатывания реле значительно меньше, чем на частоте 50 Гц. Поэтому если проверен ток срабатывания на частоте 50 Гц, то обеспечивается полная гарантия надежного срабатывания устройства при токах КЗ.

Проверка устройства сигнализации УСЗ-Эм. Характеристика зависимости показаний микроамперметра от первичного тока, частоты и чувствительности устройства снимается по схеме рис. 7.16 в соответ-

ствии с табл. 7.3. Показания прибора не должны отличаться от данных таблицы более чем в 2 раза. Если показания прибора будут отличаться более чем в 2 раза, следует проверить отдельные элементы схемы устройства.

7.4. Комплексная проверка защит и устройств сигнализации

В связи с тем, что выбор и проверка рабочих уставок производится током, подаваемым в первичную обмотку трансформатора тока нулевой последовательности, объем комплексной проверки защит и устройств сигнализации от замыканий на землю значительно сокращается по сравнению с другими видами защит. Проверка времени работы защиты в полной схеме необязательна, так как сети 6—10 кВ с малыми токами замыкания на землю допускают работу при однофазных КЗ в течение 2 ч и защиты, как правило, выполняются с действием на сигнал.

Объем комплексной проверки в основном сводится к проверке взаимодействия защит и устройств сигнализации с другими защитами, автоматикой, управлением и действием общестанционной сигнализации, а также к проверке действия защит на отключение выключателей, где это предусмотрено проектом. Проверка взаимодействия производится по принципиальным схемам при напряжении оперативного тока, равного $U_{ном}$ и $0,8 U_{ном}$, замыканием контактов вручную в соответствии с рекомендациями, приведенными в § 1.6.

Для защиты ЗЗП-1 дополнительно проводится проверка помехозащищенности трансформатора тока нулевой последовательности, вторичных токовых цепей и комплектов защиты от влияния помех и наводок. Проверка производится при $U_{пит}=24$ В, $3 U_0=100$ В и максимальной нагрузке данного присоединения. Напряжение $3 U_0$ подается от постоянного источника при прямой и обратной полярностях. В случае удовлетворительного монтажа TAN , вторичных цепей трансформаторов тока и комплекта защиты напряжение на выводах 11-13, измеренное вольтметром постоянного тока с $R_{вн} \geq 5$ кОм/В (М1200, М2038 и др.), не превышает 4—5 В на уставке 1 и 3 В на уставке 2.

Рекомендации по выбору уставок устройства УСЗ-2/2. Уставки устройства рассчитаны таким образом, чтобы на всех неповрежденных линиях с собственным емкостным током I_c , равным 10 % общего суммарного тока всех присоединений данного напряжения $I_{с\sum}$, и уставкой, равной $I_{уст}=10 I_c$, обеспечивался коэффициент отстройки $k_{отс} \geq 2$. Обозначение уставок 25, 50, 100 и 250 указывает при этом, какому $I_{с\sum}$ она соответствует.

7.5. Проверка защит и устройств сигнализации рабочим током и напряжением

Проверка защит и устройств сигнализации рабочим током и напряжением сводится в основном к проверке тока или напряжения небаланса, измеренного непосредственно на входе реле. При этом фиксируются значения первичного тока нагрузки проверяемого присоединения. Исклю-

чением являются направленная защита нулевой последовательности ЗЗП-1 и устройство сигнализации УСЗ-2/2, для правильной оценки работы которых необходимо провести дополнительно опыт искусственного однофазного замыкания на землю.

Проверка защиты ЗЗП-1. В связи с тем что в сетях 3—10 кВ из-за отсутствия испытательной жилы для имитации напряжения нулевой последовательности проверка защиты под нагрузкой затруднительна, для каждого *TV* предварительно определяется полярность обмоток. Для этого со стороны высокого напряжения вынимается предохранитель одной из фаз и первичная обмотка *TV* этой фазы закорачивается. Строится векторная диаграмма расположения вектора напряжения на открытом треугольнике (что соответствует вектору $3U_0$ при замыкании на землю) относительно вторичного, предварительно сфазированного напряжения *TV* другой секции (или через понижающий трансформатор — от трансформатора собственных нужд). Концы открытого треугольника маркируются.

Для проверки ориентировки по направлению защиты ЗЗП-1 его цепи отключаются от *TV* и на защиту подается от постороннего источника напряжение 100 В, совпадающее по фазе с вектором напряжения на открытом треугольнике, определенным, как указано выше. По испытательной токовой жиле в направлении от шти в линию подается ток не менее $2I_k$, вектор которого на 90° опережает вектор напряжения. Реле должно надежно срабатывать. В противном случае необходимо изменить полярность трансформатора тока.

По испытательной жиле можно пропускать и токи защищаемого присоединения. Для этого испытательную жилу через проводники поочередно подключают к разъемным зажимам фаз *A*, *B* и *C* цепей тока измерения в ячейке распределительного устройства, строго соблюдая полярность. Вынимая штырь из контактного разъема, прибором ВАФ-85 измеряют значение и фазу пропускаемого через *TAN* тока, при этом начало клещей прибора должно быть обращено к трансформаторам тока. Отмечают срабатывание или бездействие реле. Строят векторную диаграмму и анализируют поведение реле с поданным на защиту вектором напряжения.

Проверка устройства сигнализации УСЗ-2/2 и УСЗ-3м. После включения устройств в работу целесообразно при первом длительном замыкании на землю провести измерения уровней высших гармоник в токах нулевой последовательности поврежденных и неповрежденных присоединений.

Для устройства УСЗ-2/2 измеряется напряжение на контурах входного блока (зажимы 10-12) всех реле. На поврежденном присоединении напряжение на зажимах 10-12 устройства должно быть примерно в 4 раза больше напряжения на неповрежденных присоединениях.

Для устройства УСЗ-3м результаты измерений вносятся в протокол наладки с обязательным указанием положения переключателя чувствительности.

Раздел восьмой

НАЛАДКА ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ

8.1. Краткие технические сведения

Комбинированные панели защиты типов ЭПЗ-1636-67/1 и ЭПЗ-1636-67/2 предназначены для защиты линий электропередачи напряжением 110—220 кВ. Конструктивное выполнение панели — универсальное, что позволяет широко использовать ее в сетях различной конфигурации, с различными требованиями к быстродействию и резервированию других защит.

Панели могут быть использованы в качестве основной и резервной защиты линии, только резервной при наличии другой основной или направленной защиты с высокочастотной блокировкой. Панели защиты разделены на два отдельных комплекса с использованием для этого испытательных блоков, позволяющих производить раздельную проверку каждого комплекса.

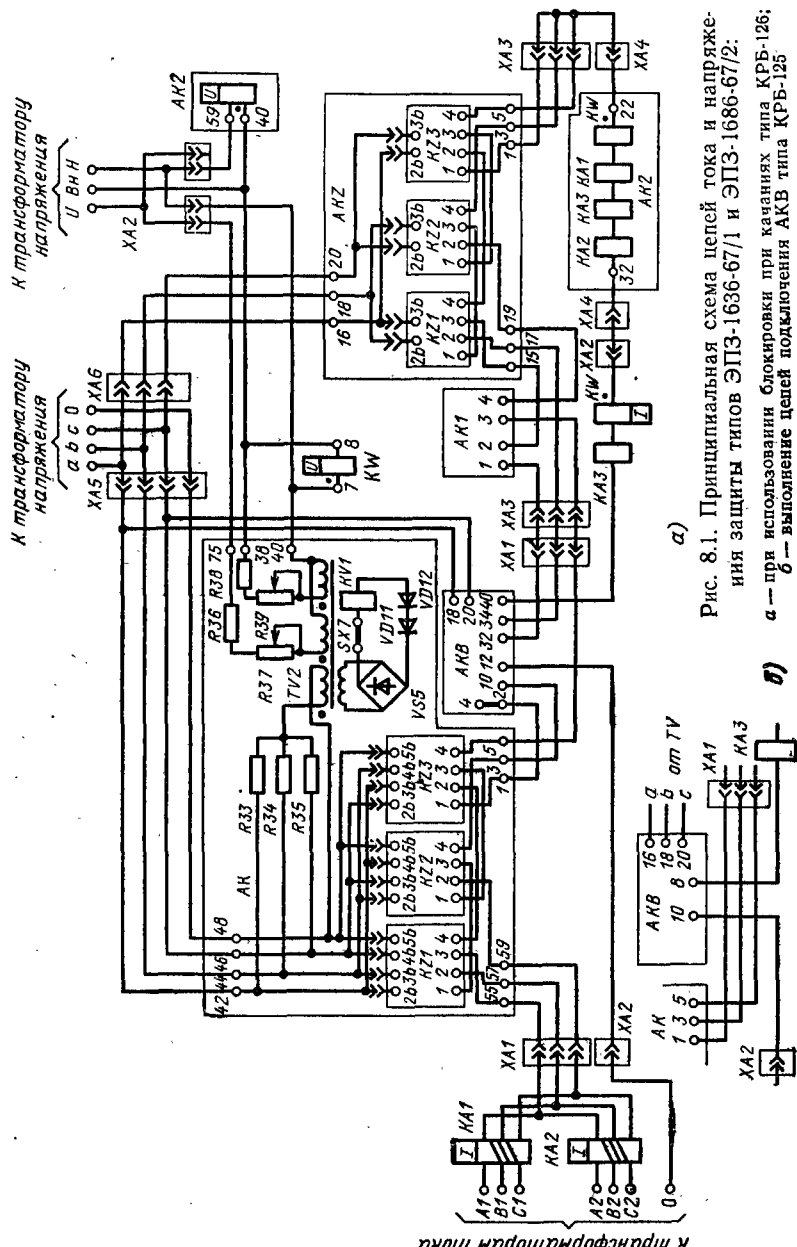
Первый комплекс состоит из двухступенчатой дистанционной защиты (I и II ступени), действующей при многофазных КЗ, и IV ступени токовой направленной защиты от замыканий на землю. Для выполнения его используются блок реле АК (комплект типа ДЗ-2), устройство блокировки от качаний АКВ (типа КРБ-125 для ЭПЗ-1636-67/1 или КРБ-126 для ЭПЗ-1636-67/2), трехфазные электромагнитные реле тока КА1 и КА2 (типа РТ-40/Р), реле направления мощности КВ (типа РБМ-177 или РБМ-178), реле тока КАЗ (типа РТ-40), промежуточное реле КЛ2 (типа РП-255), испытательные блоки ХА1, ХА2, ХА5.

Второй комплекс состоит из одноступенчатой дистанционной защиты (III ступень) и токовой отсечки, действующих при многофазных КЗ, и трехступенчатой токовой направленной защиты нулевой последовательности и от замыканий на землю (I, II, III ступени). Для выполнения второго комплекса используются блок реле АКЗ (типа КРС-1), комплекты защиты АК1 (типа КЗ9) и АК2 (типа КЗ10), испытательные блоки ХА3, ХА4, ХА6 и некоторая другая аппаратура.

Выполнение и наладка комплектов МТЗ и реле КВ, КАЗ IV ступени защиты от замыканий на землю рассмотрены в разд. 3.

На рис. 8.1 приведена схема выполнения цепей переменного тока и напряжения обоих комплексов. Комплект ДЗ-2 (двухступенчатая дистанционная защита) содержит три дистанционных органа, включенных на линейные напряжения и разность фазных токов, и обеспечивает выполнение двух независимых регулируемых уставок $Z_{ср}$ по I и II ступеням. В комплект входят устройство блокировки от повреждения цепей напряжения и блок питания для полупроводниковых нуль-индикаторов дистанционных органов.

Комплект КРС-1 состоит из трех дистанционных органов, включаемых на линейное напряжение и разность фазных токов, и используется в качестве дистанционных и пусковых органов в различных схемах защит. В рассматриваемых типах защит КРС-1 обеспечивает уставки III ступени, блок питания для полупроводниковых нуль-индикаторов дистанционных органов данного комплекта установлен в комплекте АК2 (тип КЗ10).



Конструктивно каждое реле сопротивления KZ выполнено в виде отдельного блока, цепи напряжения и постоянного оперативного тока подводятся к блоку через разъемное соединение, а токовые цепи — через разъемную четырехзажимную колодку.

Выполнение оперативных цепей постоянного тока защит — универсальное, необходимая схема собирается, исходя из заданных уставок, по заводским таблицам с помощью перемычек на зажимах комплектов и рядах зажимов. В схему защиты могут дополнительно подключаться контакты реле управления, автоматики, блокировок, повторного включения AKS и др. В заводских информационных материалах приводится полное описание принципа действия и указывается назначение отдельных элементов защиты, поэтому в настоящем разделе рассмотрены только особенности выполнения основных элементов защиты.

8.2. Выполнение элементов защиты

Реагирующие органы схемы сравнения. В большинстве случаев в качестве реагирующего органа схемы сравнения дистанционных реле сопротивления используется полупроводниковый нуль-индикатор, в отдельных комплектах используются магнитоэлектрические реле типа М237/054.

Принцип действия нуль-индикатора основан на сопоставлении длительности положительного (рабочего) и отрицательного (тормозного) сигналов на выходе схемы сравнения в фиксации превышения рабочего сигнала над тормозным. Резисторы $R3$, $R3'$ создают опорный уровень (уровень нуля) и определяют чувствительность схемы (рис. 8.2).

Сигнал с выхода схемы сравнения KZ через микросхему $D1$ сравнивается с опорным уровнем. В зависимости от потенциала сигнала схемы сравнения относительно уровня нуля на выходе $D1$ формируется нормируемый по величине сигнал той или иной полярности.

Через резистор $R2$ происходит заряд конденсатора $C2$ током, полярность которого определяется полярностью сигнала на выходе $D1$. Включенные встречно диоды $VD1$ и $VD2$ ограничивают уровень заряда конденсатора при любой полярности. Микросхема $D2$ по цепи обратной связи через резистор $R5$ обеспечивает заданный уровень на неинвертируемом входе. При достижении заданного уровня потенциала на конденсаторе $C2$ меняется полярность на выходе $D2$ и полярность опорного сигнала $D2$. С выхода $D2$ через согласующий транзистор VT сигнал поступает на исполнительный орган — промежуточное реле K . Схема исполнительных цепей реле сопротивления $KZ1$, $KZ2$, $KZ3$ выполнена с использованием одного выходного промежуточного реле K , которое установлено конструктивно в реле $KZ2$; выходные блоки в схемах $KZ1$ и $KZ3$ отсутствуют.

Высокочувствительное магнитоэлектрическое реле МЭР типа М237/054 имеет ток срабатывания 6—12 мкА, ток термической стойкости 2 мА. Реле герметичное, имеет замкнутое стальное цилиндрическое ярмо, цилиндрический стальной сердечник и постоянные магниты — полюсы, расположенные концевитически между ярмом и сердечником (рис. 8.3). Между сердечником и полюсами расположена рамка с катушкой.

Высокочувствительное МЭР обладает весьма низким нерегламенти-

рованным коэффициентом возврата, практически близким к нулю. Для обеспечения высокой чувствительности $I_{ср} = 6 \div 12$ мкА начальная затяжка пружин весьма незначительна, поэтому возможно залипание контактов при снятии с реле малых рабочих моментов. Надежный возврат МЭР в исходное положение обеспечивается тормозным током в обмотке в нормальном и послеаварийном режимах.

Ввиду малой массы рамки на реле возможно возникновение в подвижной системе колебательного процесса, приводящего к вибрации и нарушению надежного замыкания контактов. Для предотвращения этого явления обмотка МЭР, имеющая сопротивление 1400—2000 Ом,

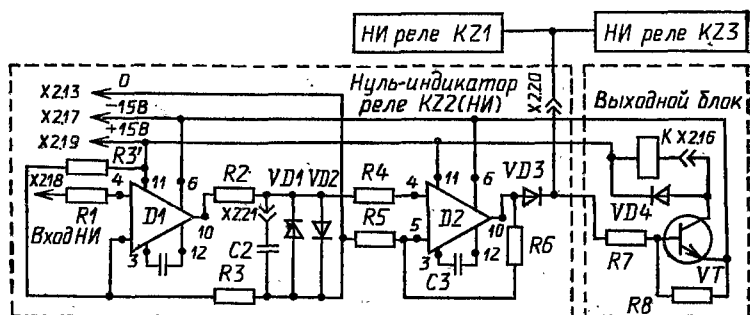


Рис. 8.2. Принципиальная схема полупроводникового нуля-индикатора

шунтируется резистором $R8$ сопротивлением 15 кОм и емкостью $C2$. В этом случае реле работает в режиме критического успокоения и вибрация контактов при этом отсутствует. Защиту обмотки МЭР в реле KZ выполняют диоды $VD1$, $VD2$, ограничивающие напряжение на обмотке (рис. 8.3, в) и выполняющие функции, аналогичные функциям диодов $VD6$ и $VD7$ в схемах рис. 8.7 и 8.12.

Для обеспечения надежного действия МЭР предусмотрено ограничение напряжения постоянного тока на контактах реле и обязательное шунтирование контактов искрогасительным контуром. Допустимое напряжение на контактах МЭР должно быть не более 120 В. Напряжение в схему, где используются контакты МЭР, подается со стабилитронов, которые включаются последовательно с дополнительным резистором.

Блок питания выполнен по схеме двухтактного преобразователя с самовозбуждением (рис. 8.4). Напряжение оперативного постоянного тока на вход питания блока (зажимы 39-9 комплекта АК типа ДЗ-2 и 31-29 комплекта АК2 типа КЗ10)¹, обеспечивающего напряжение для нуля-индикаторов комплекта АКЗ типа КРС-1) подается через дополнительные резисторы $R3$, $R3'$ в АК и $R4$, $R4'$ в АК2, установленные вне комплектов: плюс — на зажимы 39(31), минус — на зажимы 9(29).

* В дальнейшем для комплекта АК2 номера элементов будут даны в скобках.

С резистора $R32(R11)$ делителя $R31-R32$ ($R10-R11$) отрицательное напряжение смещения подается на базы двух однотипных транзисторов $VT1$, $VT2$ через две полусекции обмотки ω_2 . Для обеспечения гарантированного открытия одного из них при подаче напряжения питания полусекции выполнены с неравным числом витков. Открытие любого из транзисторов вызывает протекание тока в цепи эмиттер — коллектор и приводит к появлению напряжения на соответствующей полусекции обмотки ω_1 . Напряжение на полусекции создает ЭДС на полной обмотке ω_1 и на всех других обмотках трансформатора. Наведенная ЭДС на обеих полусекциях обмотки ω_2 создает дополнительное отрицательное смещение на базе открытого транзистора, и дополнительное положительное на базе закрытого, этим обеспечивается надежное открытие одного и закрытие другого. Увеличение тока в цепи открытого транзистора происходит до насыщения магнитного потока в сердечнике, при этом скорость изменения потока и ЭДС в

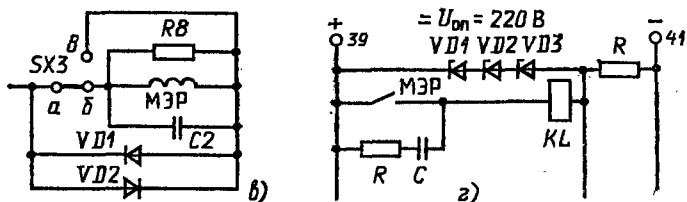
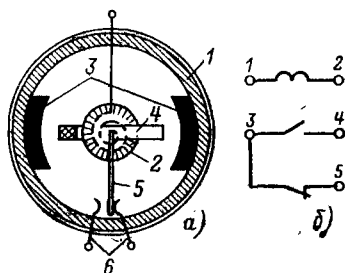


Рис. 8.3. Упрощенная схема МЭР типа М237/054:

a — схематическое изображение конструкции МЭР: 1 — ярмо; 2 — сердечник; 3 — полюсы; 4 — рамка с катушкой; 5 — подвижный контакт; 6 — неподвижный контакт; b — схема внутренних соединений; $в$ — включения обмотки МЭР в схеме сравнения KZ ; $г$ — схема включения контактов МЭР в цепи оперативного тока

обмотках постепенно уменьшается, уменьшение тока вызывает появление ЭДС противоположной полярности. Это приводит к открытию второго транзистора и появлению в другой полусекции обмотки ω_1 тока, создающего ЭДС на ω_2 и других обмотках трансформатора. Наведенные на обмотке ω_2 ЭДС обеспечивают полное открытие второго транзистора и закрытие первого и т. д. Процесс происходит лавинообразно, в результате этого напряжение на каждой половине обмотки ω_1 имеет прямоугольную форму, транзисторы $VT1$ и $VT2$ работают при этом в ключевом режиме.

Стабилизация напряжения на входе транзисторной схемы обеспечивается стабилитронами $V9(V5)$, $V10(V6)$; диод $VD8(VD7)$ исключает повреждение элементов схемы при включении оперативного тока с обратной полярностью. На выходные обмотки ω_3 , ω_4 включены выпрямители $VC3$ ($VC1$), $VC4$ ($VC2$) со сглаживающими конденсаторами

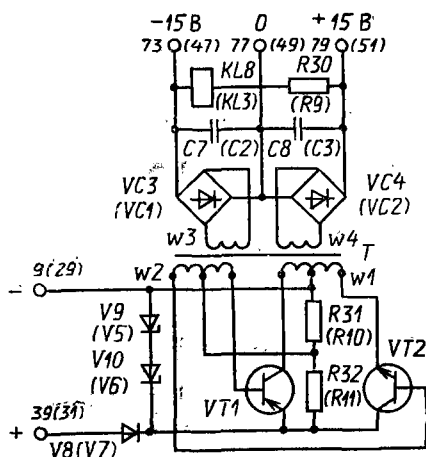


Рис. 8.4. Схема блока питания дистанционных органов комплекта ДЗ-2, в скобках приведены номера зажимов и обозначения элементов комплекта КЗ10

$C7(C2)$, $C8(C3)$. Реле $KL8$ обеспечивает работу сигнализации при отсутствии напряжения на выходе блока питания.

Дистанционный орган комплекта ДЗ-2. Направленные реле сопротивления KZ выполнены на принципе сравнения абсолютных значений двух выпрямленных напряжений рабочего и тормозного контуров E_p и E_t (рис. 8.5). Принципиальная схема сравнения состоит из двух выпрямительных мостов $VD1 \div VD4$ и $VD5 \div VD8$,

двух балластных резисторов $R1$, $R2$, по которым протекают токи рабочего и тормозного контуров, и реагирующего органа — нуль-индикатора $НИ$, включенного на баланс напряжений контуров.

В комплексной плоскости сопротивлений характеристика реле представляет собой окружность, проходящую через начало координат, и расположенную под углом максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ к оси активных сопротивлений R (рис. 8.6). Принципиальная схема реле приведена на рис. 8.7. Реле содержит следующие элементы:

1) трансформатор напряжения $TV1$, позволяющий регулировать уставки по I и II зонам изменением суммарного числа витков двух последовательно включенных обмоток на вторичной стороне. Переключение уставок с I на II зону производится автоматически контактами выносного промежуточного реле $KL1$. Обмотка грубой регулировки содержит 80 % витков с возможностью переключений через 20 %, для каждой из зон имеется еще по обмотке с тремя отпайками каждая. Наличие отпайек позволяет через 5 % ступенчато регулировать уставку срабатывания, а резисторы $R29$ и $R28$, шунтирующие часть обмоток I и II зоны с 8 % витков, обеспечивают плавную регулировку в диапазоне между ступенями. Резисторы $R16 \div R19$, $R20 \div R25$ обеспечивают стабильность сопротивления тормозного контура при регулировке уставок; первичная обмотка $TV1$ имеет отвод для переключения числа витков при переходе к другому углу максимальной чувствительности;

2) трансреактор $TAV1$, имеющий две первичные обмотки, включаемые на разность токов двух фаз, и две вторичные обмотки. Изменением числа витков первичных обмоток можно изменять уставку реле сопротивления в 2 и 4 раза, обозначения у переключателей уставки 0,25; 0,5; 1,0 соответствуют номинальным значениям минимальных уставок KZ , Ом на фазу, при $I_{ном} = 5$ А; при исполнении реле на $I_{ном} = 1$ А данным

обозначениям соответствуют значения уставки, увеличенные в 5 раз: 1,25; 2,5; 5,0 Ом на фазу. Два значения угла максимальной чувствительности реле ($65 \pm 5^\circ$ и $80 \pm 5^\circ$) обусловлены тем, что вторичные обмотки трансреактора шунтируются резисторами $R9, R11$ (угол 65°) и $R10, R12$ (угол 80°), имеющими различное сопротивление, сопротивление резисторов $R10, R12$ почти в 4 раза больше, чем резисторов $R9, R11$;

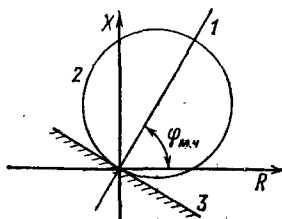
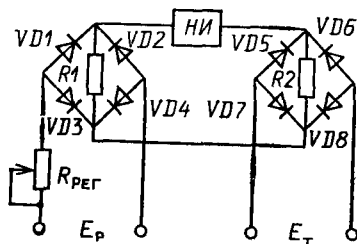


Рис. 8.5. Упрощенная схема сравнения реле сопротивления

Рис. 8.6. Характеристики реле сопротивления комплекта ДЗ-2 в комплексной плоскости:

1 — линия максимальной чувствительности; 2 — круговая характеристика реле; 3 — граничная линия срабатывания реле при близких двухфазных КЗ в режиме направления мощности

3) контур подпитки для обеспечения правильной работы реле при близких КЗ, состоящий из трансреактора $TAV2$ и конденсатора $C6$. Для гарантии селективной работы защиты при КЗ на шинах «за спиной» через реагирующий орган должен проходить в этом режиме тормозной ток 8—15 мА. Наличие такого тормозного тока приводит к смещению характеристики реле в I квадрант комплексной плоскости и к появлению «мертвой зоны» порядка 1 % сопротивления уставки. Для исключения «мертвой зоны» при двухфазных КЗ вблизи шин предусмотрена подпитка цепей напряжения KZ от неповрежденной фазы, на фазное напряжение которой включены последовательно соединенные обмотки $TAV2$ и $C6$; резонансный контур, образованный ими, настроен на частоту 50 Гц [3].

На рис. 8.6 представлена характеристика реле при близких КЗ, включенного на I_{AB} и U_{AB} с контуром подпитки (3 — граничная линия срабатывания). При КЗ в начале зоны защиты между фазами AB напряжение U_{AB} снижается до нуля. Четкая направленность работы реле обеспечивается тем, что напряжение U_{C0} , подводимое к контуру подпитки, остается неизменным — реле KZ работает в режиме реле направления мощности с неизменным углом $\varphi_{м.ч}$. При трехфазном КЗ в начале зоны постоянная подпитка от третьей фазы отсутствует, но запасенная резонансным контуром энергия исчезает постепенно, постоянно уменьшается и напряжение подпитки, обеспечивая краевременное срабатывание реле по «памяти» с четко выбранной направленностью;

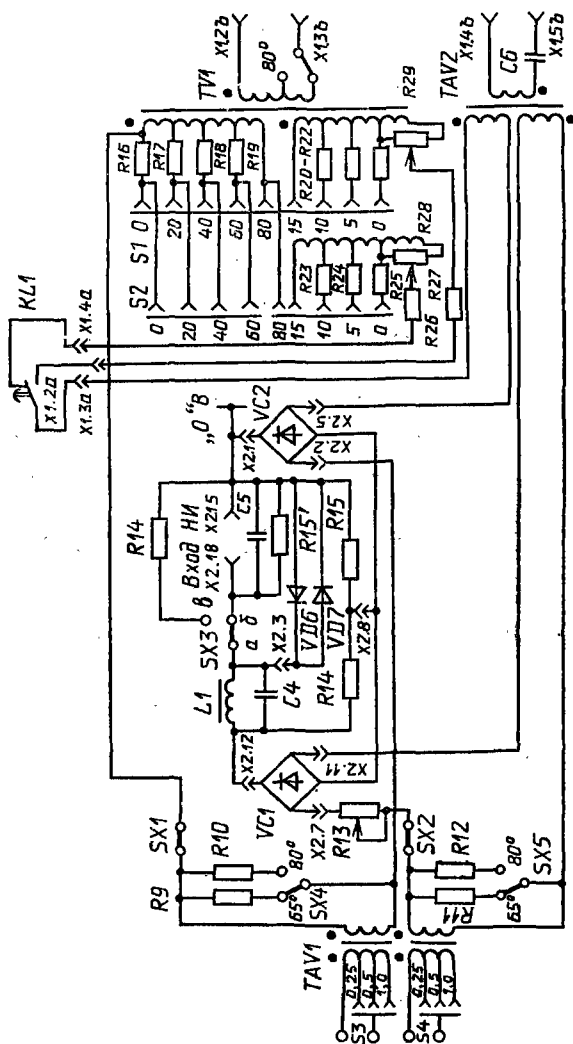


Рис. 8.7. Схема реле сопротивления комплекта ДЗ-2

4) схему сравнения, состоящую из двух выпрямительных мостов $VC1$ и $VC2$; балластных резисторов $R14$, $R15$; переменного резистора $R13$ для выравнивания сопротивления контуров. Фильтр-пробка 100 Гц, состоящая из дросселя $L1$ с регулируемым зазором и конденсатора $C4$, включена последовательно с реагирующим органом и служит для сглаживания выпрямленного тока; диоды $VD6$, $VD7$ выполняют защитные функции, ограничивая напряжение на входе реагирующего органа.

Устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения комплекта ДЗ-2. Устройство состоит из четырехобмоточного трансформатора $TV2$, подключенного к обмоткам трансформаторов напряжения, соединенным в звезду и разомкнутый треугольник (рис. 8.8). Обмотка w_4

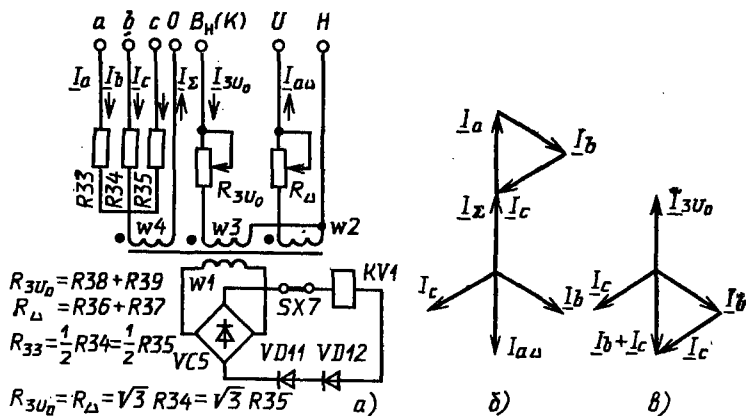


Рис. 8.8. Схема блокировки цепей напряжения:

а — схема внутренних соединений устройства; б — диаграмма токов в устройстве в нормальном режиме; в — то же при однофазном КЗ на фазе А

через резисторы $R33$, $R34$, $R35$ подключена на фазные напряжения звезды TV , сопротивление резистора в фазе А в 2 раза меньше, чем в фазах В и С. В нормальном режиме через обмотку w_4 протекает ток I_{Σ} , равный $I_{\Sigma} = I_a + I_b + I_c$ и совпадающий по фазе с током I_a , который необходимо компенсировать током от напряжения разомкнутого треугольника. Компенсирующая обмотка w_2 через резисторы $R36$, $R37$ подключена на напряжение 100 В фазы А обмотки TV схемы разомкнутого треугольника. Для компенсации потоков в магнитопроводе трансформатора $TV2$ необходимо, чтобы сопротивление резисторов, включенных последовательно с обмоткой w_2 , было в $\sqrt{3}$ раз больше, чем сопротивление резисторов в фазах В и С.

Обмотка w_3 включена на напряжение $3U_0$ аналогично w_2 . В нормальном режиме в симметричных режимах при междофазных КЗ сумма потоков, циркулирующих в магнитопроводе трансформатора, компенсируется.

сирована и равна нулю. При замыканиях на землю поток обмотки ω_4 компенсируется потоком обмотки ω_3 , включенной на $3 U_0$.

Сумма потоков в магнитопроводе становится не равной нулю лишь в случае отключения защитных автоматических выключателей или появления обрыва в одной, двух или трех фазах вторичной цепи TV , что приводит к срабатыванию поляризованного реле $KV1$, блокирующего защиту. Включенные последовательно с обмоткой $KV1$ кремниевые ди-

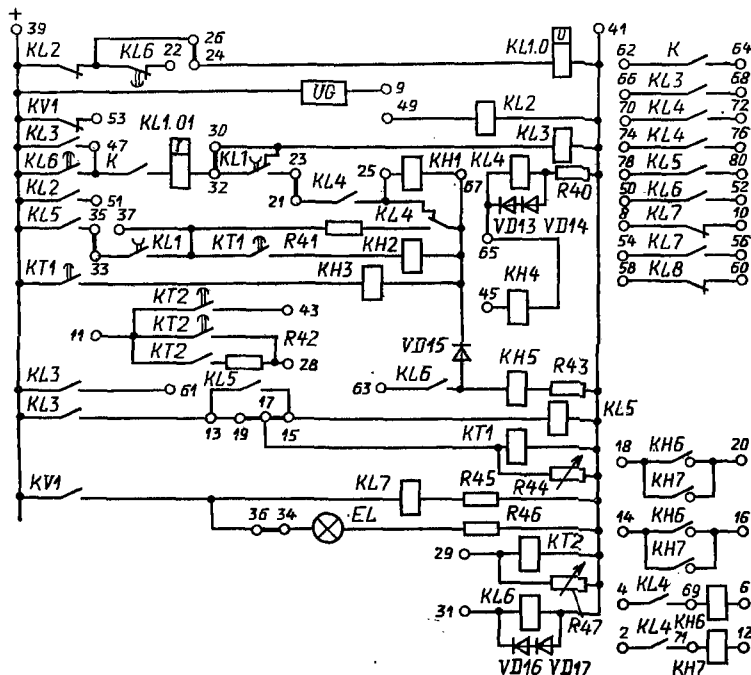


Рис. 8.9. Оперативные цепи защиты ДЗ-2

оды $VD11$ и $VD12$ имеют нелинейную характеристику, что позволяет снизить ток небаланса в нормальном режиме, так как сопротивление этих диодов при малых токах возрастает.

Резисторы $R37$, $R39$ — регулируемые, что позволяет производить настройку схемы блокировки на минимум небаланса в нормальном режиме и при имитации однофазного КЗ.

Выполнение оперативных цепей и сигнализации комплекта ДЗ-2. Оперативные цепи комплекта выполнены с учетом того, что совместно с комплектом пусковых реле сопротивлений типа КРС-1 они используются в многофункциональной трехступенчатой защите комбинирован-

ной панели ЭПЗ-1636. В связи с этим в принципиальной схеме комплекта (рис. 8.9) некоторые контакты, зажимы и устройства для случая автономного использования комплекта при выполнении двухступенчатой дистанционной защиты не используются.

В заводской документации приведены возможные случаи использования защиты и перечислены функции отдельных цепей с указанием положения переключателей на выводах комплектов и рядов зажимов, места включения контактов различных пусковых и блокирующих реле. Исполнение защиты позволяет подключать реле и устройства автоматики, не оговоренные в заводской документации, по заданным уставкам.

Ниже приведены особенности выполнения и назначение основных реле схемы оперативных цепей ДЗ-2.

Реле *KL1* (типа КДР 3) предназначено для переключения уставок дистанционных органов с I на II ступень, переключение осуществляется «мостящими» контактами, которые отрегулированы так, что переключение витков трансформаторов напряжения *TV1* реле *KZ1—KZ3* (рис. 8.7) происходит без разрыва цепи тормозного контура. Реле *KL1* кроме рабочей обмотки *KL1. O* имеет удерживающую обмотку *KL1. O1*, включенную последовательно с контактом реле *K*, фиксирующего срабатывание дистанционных органов комплекта. Этим обеспечивается невозможность переключения защиты на уставки II ступени в случае срабатывания дистанционных органов по I ступени.

Реле *KL2* (типа КДР 1) является повторителем пусковых органов защиты комплекта *AKZ* и осуществляет управление переключением уставок с I ступени на II контактом реле *KL2*, включенным в цепи рабочей обмотки *KL1. O*. Реле *KL3* (типа КДР 1) осуществляет фиксацию срабатывания дистанционных органов по I ступени (мгновенный замер), если I ступень выполнена с выдержкой времени, либо по II ступени, если мгновенный замер не используется. Реле *KL4* (на базе РП-210) — выходное промежуточное реле комплекта. Реле *KL5* (типа КДР 1) обеспечивает фиксацию одновременного срабатывания дистанционных органов комплекта и блокировки при качаниях, позволяет выполнить блокирование защиты при качаниях энергосистемы в оледующих режимах: I ступень без выдержки времени; I ступень с выдержкой времени; II ступень с большей выдержкой времени.

Реле *KL6* (типа КДР 3) позволяет осуществить ускорение II ступени при автоматическом повторном включении и опробовании выключателя. Реле *KT1* и *KT2* осуществляют выдержку времени ступеней защиты, позволяют выполнять ускорение защит.

Сигнализация срабатывания по различным ступеням защиты и в различных режимах ее работы выполнена с использованием бесконтактных указательных реле *KN1—KN5* (типа ЭС 41). Сигнализация о неисправностях в цепях напряжения выполнена с помощью неоновой лампы *EL*, установленной на комплекте, и с использованием контактов промежуточного реле *KL7* для подключения табло и звукового устройства.

Для сигнализации действия защиты на отключение выключателей в цепях отключения установлены указательные реле *KN6, KN7* (типа РУ 21).

Кроме перечисленных функций основных элементов оперативных цепей комплекта отдельные реле и их контакты могут выполнять и другие, не отмеченные здесь функции.

В табл. 8.1 приведены принятые в справочнике обозначения входящих в комплект ДЗ-2 элементов и соответствующие им заводские обозначения.

Устройство блокировки при качаниях необходимо для блокирования защит и исключения ложного их срабатывания при качаниях в энергосистеме. При КЗ устройство блокировки АКВ вводит в действие защиту на время, достаточное для ее срабатывания, и блокирует ее, если

Таблица 8.1. Обозначения элементов, входящих в комплект ДЗ-2

Цепи переменного тока, напряжения		Цепи оперативного постоянного тока		Цепи сигнализации	
в справочнике	в схемах завода-изготовителя	в справочнике	в схемах завода-изготовителя	в справочнике	в схемах завода-изготовителя
TAV1, TAV2 TV1, TV2, TV3 VC1, VC2 VC3, VC4 VC5 L1	1TP, 2TP 1TH, 2TH, 3TH 1BM, 2BM 3BM, 4BM 5BM 1Др	Д1, Д2 VT, VT1, VT2 K, KV1 KL1.0 KL1.01 KL2, KL3 KL4, KL5 KL6, KL7 KL8 EL SX1—SX7 UG	10У, 20У Т, 1Т, 2Т Р, 1РН 1РП _р 1РП _у 2РП, 3РП 4РП, 5РП 6РП, 7РП 8РП ЛС 1Н—7Н БП	КН1, КН2 КН3, КН4 КН5, КН6 КН7	1РУ, 2РУ 3РУ, 4РУ 5РУ, 6РУ 7РУ

срабатывания при этом не произошло. В блокировке при качаниях типа КРБ-126 (рис. 8.10) пусковой орган устройства реагирует на токи обратной последовательности, обеспечивая работу устройства при всех видах несимметричных КЗ. Кратковременное появление несимметрии, обычно предшествующее трехфазным КЗ, обеспечивает работу блокировки и при этом виде повреждений, так как пуск устройства осуществляется размыкающим контактом пускового реле КР (поляризованное реле РП7).

Для предотвращения запуска блокировки от токов небаланса, возникающих при больших токах качания, пусковое реле имеет торможение от тока одной из фаз (трансформатор тока ТА1, выпрямительный мост VC1). Для повышения чувствительности блокировки при однофазных КЗ предусмотрен дополнительный трансформатор ТА4, установленный в нулевом проводе, при его использовании ток в обмотке реле КР пропорционален I_2 и $3I_0$. Пусковой орган устройства состоит из фильтра тока обратной последовательности, включающего два трансформатора тока ТА2 и ТА3, и активно-емкостного фильтра с плечами

$R7, R8-C3$; $R9, R10-C3$, по принципу действия аналогичного рассмотренным в разд. 6. Пусковое реле KP имеет рабочую и тормозную обмотки.

Реле $K1$ (типа КДР 1) в нормальном, подготовленном к действию режиме находится под напряжением, его контакты используются в схе-

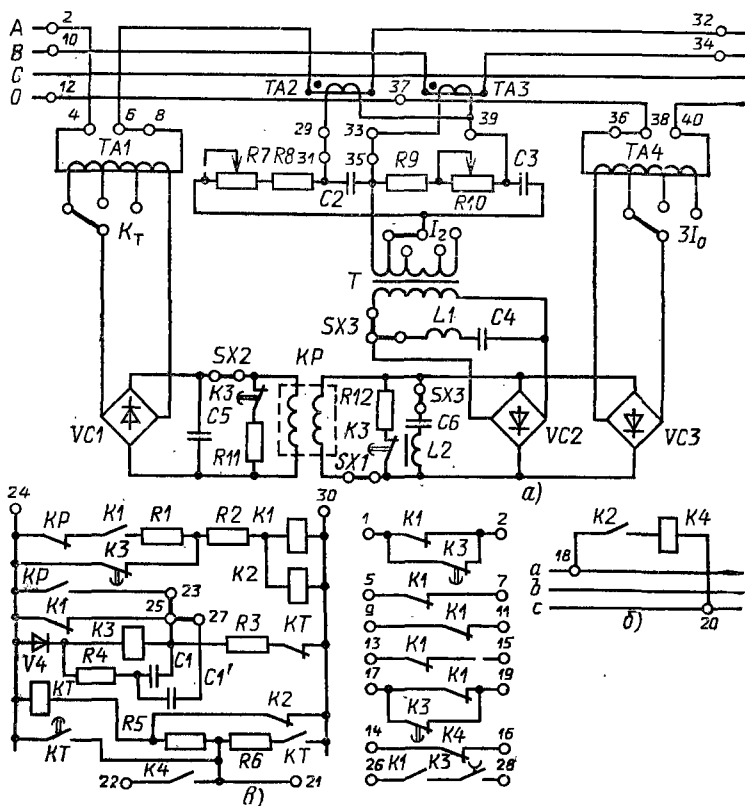


Рис. 8.10. Схема устройства блокировки при качаниях типа КРБ-126: а — цепи переменного тока; б — цепи переменного напряжения; в — цепи оперативного постоянного тока

ме для разрешения и блокирования защиты. В схеме предусмотрены меры, обеспечивающие быстрый возврат реле при работе пускового реле, время возврата $K1$ в полной схеме не превышает 0,008 с. Реле $K2$ (типа КДР 1) установлено из-за недостаточности числа контактов у реле $K1$, работает с ним одновременно и выполняет вспомогательные функции. Реле $K3$ (типа КДР 1) имеет выдержку времени при возврате, оно

определяет время, в течение которого блокирующие контакты $K1$ разрешают действие защиты. Выдержка времени реле $K3$ обеспечивается с помощью контура $R4-C1$ и может быть увеличена подключением кон-

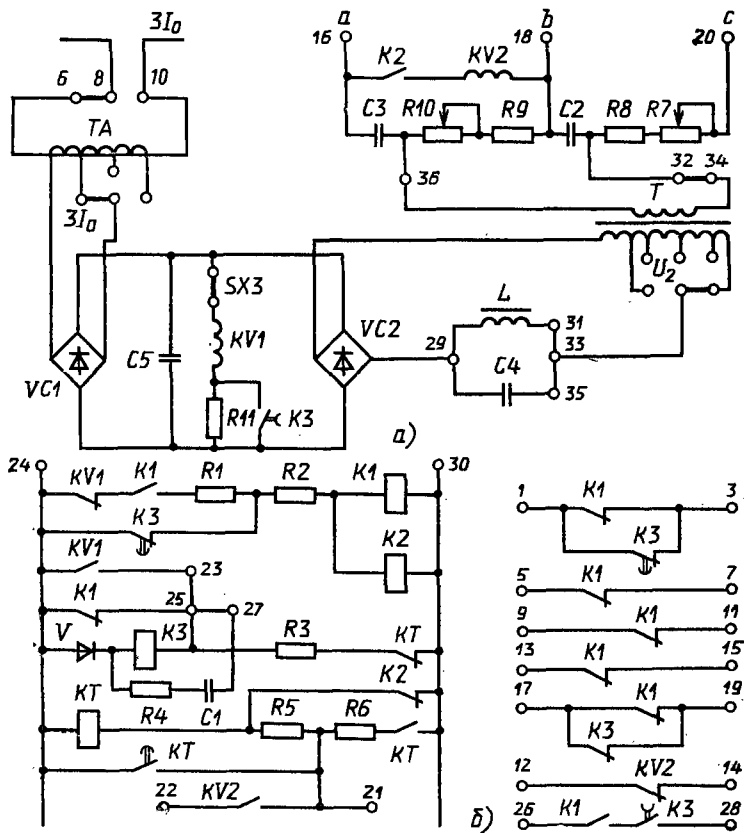


Рис. 8.11. Схема устройства блокировки при качаниях типа КРБ-125:
а — цепи переменного тока и напряжения; б — цепи оперативного постоянного тока

денсатора $C1'$. Возврат схемы блокировки в исходное положение — положение готовности к повторному действию — может происходить либо с заданной выдержкой времени (реле времени KT), либо немедленно после ликвидации аварии. Мгновенный возврат может быть выполнен контактами реле минимального напряжения $K4$ или другими

контактами реле управления или автоматики, подключаемыми к зажиму 21 устройства АКВ.

Отличие устройства блокировки при качаниях типа КРБ-125 от устройства блокировки, рассмотренной выше, состоит только в пусковом органе, реагирующем на токи нулевой последовательности и напряжение обратной последовательности (рис. 8.11). Работа пускового органа блокировки аналогична активно-емкостному фильтру (см. разд. 6).

Обозначение элементов блокировки при качаниях типа КРБ-126 и КРБ-125, принятые в разделе, соответствуют заводским за исключением накладок, которые на заводских схемах имеют обозначение *H1*, *H2* и т. д. — в разделе обозначены *SX1*, *SX2* и т. д. Цифровые индексы накладок совпадают.

Пусковой комплект АКЗ реле сопротивления типа КРС-1. Принцип действия реле сопротивления *KZ1*, *KZ2*, *KZ3* блока во многом аналогичен принципу действия дистанционного органа реле ДЗ-2 при работе его без контура подпитки с уставкой только одной ступени. В основу работы положена схема сравнения абсолютных величин. В качестве реагирующего органа схемы сравнения используется полупроводниковый нуль-индикатор, полностью аналогичный используемому в комплекте ДЗ-2 (см. рис. 8.2). Питание нуль-индикатора (зажимы +15 В, 0 В, —15 В) выполнено от блока питания, установленного в комплекте АКЗ (рис. 8.12, б). Из-за специфики настройки реле, выполненных на принципе схемы сравнения абсолютных величин, реле обладает «мертвой зоной» при КЗ вблизи шин. При недопустимости отказа в работе пусковых органов в комплекте КРС-1 предусмотрено смещение характеристики в III квадрант. Смещение достигается введением в тормозной контур реле резистора *R14* сопротивлением 3 кОм.

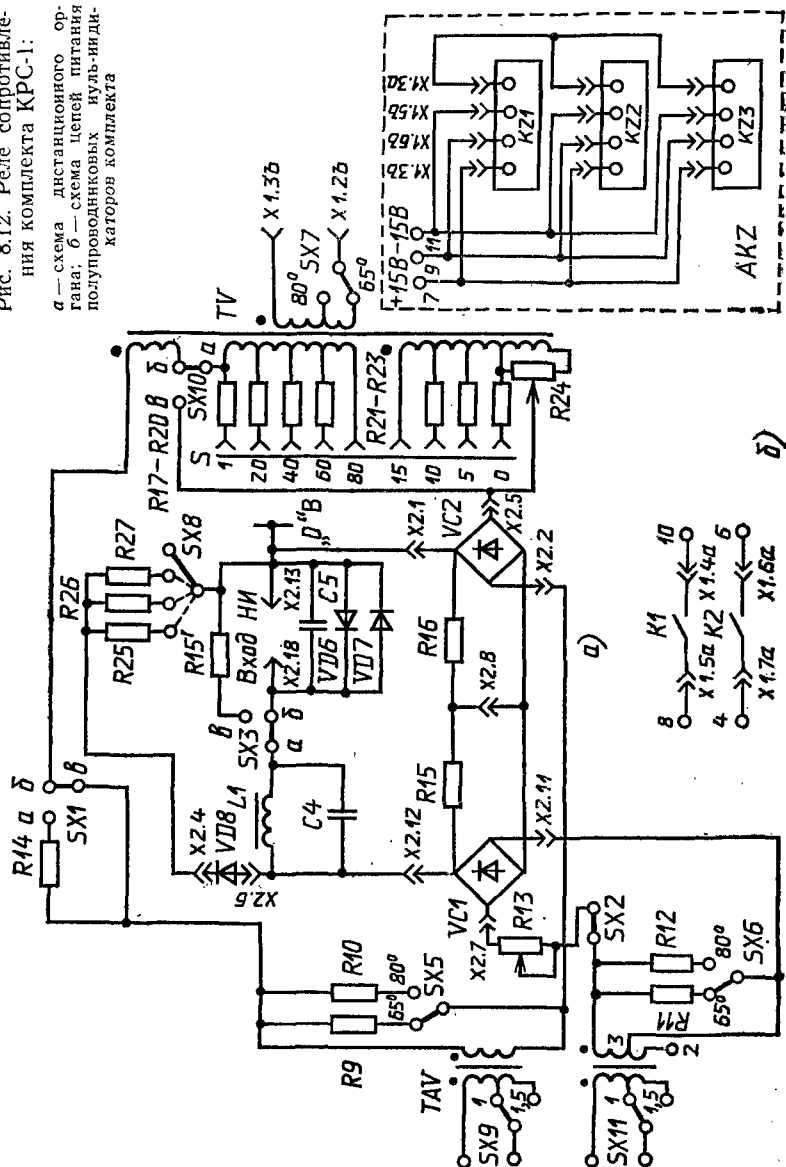
При регулировке схемы сравнения от самохода на тормозной ток $8 \div 15$ мкА смещение характеристики в III квадрант составляет 6—12 % уставки по $Z_{ср}$. При наличии в системе коротких линий иногда такое смещение недопустимо, так как возможны неселективные действия защиты при КЗ за шинами соседних подстанций. Поэтому в уставках иногда задают необходимое смещение всего 1—3 % $Z_{ср}$. Добиться такой характеристики можно заменой резистора *R14* на резистор меньшего сопротивления.

Для лучшей отстройки защиты от токов нагрузки на длинных нагруженных линиях в комплекте КРС-1 предусмотрена возможность преобразования круговой характеристики пусковых реле *KZ1*—*KZ3* в эллиптическую. В связи с использованием двухполупериодной схемы выпрямления *VC1* и *VC2* напряжения рабочего и тормозного контуров имеют значительную переменную составляющую частотой 100 Гц на входе реагирующего органа схемы сравнения. Для исключения влияния переменной составляющей на форму характеристики *KZ* и обеспечение надежной работы нуль-индикатора на выходе схемы сравнения включен фильтр-пробка второй гармоники *L1-C4*, настроенный на резонанс токов.

При совпадении по фазе переменных составляющих рабочего $I_{р.к}$ и тормозного $I_{т.к}$ контуров; а это происходит, если напряжение и ток к реле подведены под углом максимальной чувствительности, переменная составляющая на выходе схемы сравнения минимальна, а при сдвиге токов в контурах на 90 или 270° максимальна (рис. 8.13). Параметры трансреактора реле ТАВ и автотрансформатора TV подобраны та-

Рис. 8.12. Реле сопротивления КРС-1:

а — схема дистанционного органа; б — схема цепей питания полупроводниковых иудь-индикаторов комплекта



ким образом, что при подведении к реле I_p и U_p под углом $\varphi_{м.ч}$ токи $I_{p.к}$ и $I_{т.к}$ совпадают по фазе и переменная составляющая на выходе схемы сравнения минимальна (рис. 8.13, а).

Для получения эллиптической характеристики используют дополнительное торможение реагирующего органа, подпитку тока тормозного

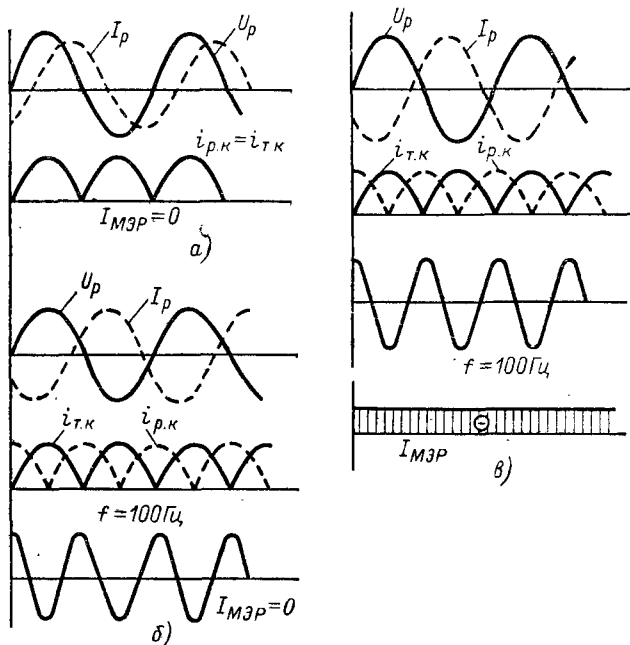


Рис. 8.13. Диаграммы работы схемы сравнения КЗ комплекта КРС-1 в различных режимах (условно принято $I_{ср.нн}=0$):

а — к реле КЗ подведены I_p и U_p под углом $\varphi_{м.ч}$, переменная составляющая $f=100$ Гц отсутствует; б — к реле КЗ подведены I_p и U_p под углом $\varphi_{м.ч}+90^\circ$, эллиптическая характеристика не введена, дополнительное торможение от переменной составляющей $f=100$ Гц отсутствует; в — к реле КЗ подведены I_p и U_p под углом $\varphi_{м.ч}+90^\circ$, эллиптическая характеристика введена, дополнительное торможение от переменной составляющей $f=100$ Гц имеет место, через нуль-индикатор протекает дополнительный тормозной ток

контура от переменной составляющей частотой 100 Гц на входе схемы сравнения. Переменная составляющая, а следовательно, и дополнительный тормозной ток зависят от угла между подведенными к реле током I_p и напряжением U_p , дополнительный тормозной ток минимален при $\varphi_{м.ч}$ и максимален, когда угол равен $\varphi_{м.ч}+90^\circ$ или $\varphi_{м.ч}+270^\circ$. Переменная составляющая, выделенная на обмотке дросселя $L1$, выпрямля-

ется по однополупериодной схеме диодом $VD8$ и через один из резисторов $R25$, $R26$, $R27$ подается в нуль-индикатор дополнительно к току тормозного контура. Характеристика KZ превращается в эллипс, соотношение размеров осей которого зависит от значений сопротивлений резисторов $R25$ — $R27$. Чем меньше сопротивление резистора, тем больше различие в размерах осей, тем больше степень сжатия эллипса.

При переключении характеристики с круговой на эллиптическую и при подведении к реле I_p и U_p под углом $\varphi_{м.ч}$ в исполнительном органе все же имеется небольшой дополнительный тормозной ток, который на 3—5 % уменьшает уставки.

При эллиптической характеристике время срабатывания реле увеличивается за счет шунтирующего действия цепочки $VD8$ и одного из резисторов $R25$ — $R27$, для уменьшения вибрации реагирующего органа схемы сравнения, возможной при работе реле KZ с эллиптической характеристикой, параллельно входу включен конденсатор $C5$. Принятые обозначения в схеме КРС-1 соответствуют обозначениям в комплекте ДЗ-2.

8.3. Наладка устройств и комплектов защиты

Подготовительные работы. Приступая к наладке панели защиты, убеждаются в соответствии номинальных данных защиты заводским табличкам на реле и комплектах, проектному заданию и техническому паспорту. В зависимости от заданных уставок проверяют возможность настройки уставок срабатывания на всех используемых реле.

При настройке комбинированной панели дистанционной защиты помимо задания основных уставок срабатывание реле и комплектов службой РЗ определяется положение режимных переключателей и выдаются расчетные токи КЗ для следующих аварийных режимов:

минимальный ток двухфазного КЗ — $I_{min}^{(2)}$

максимальный ток двухфазного КЗ — $I_{max}^{(2)}$

максимальный ток двухфазного КЗ вне зоны действия защиты «за спиной» — $I_{max}^{(2)}$ за спиной

максимальный ток трехфазного КЗ — $I_{max}^{(3)}$

минимальный ток трехфазного КЗ вне зоны действия защиты «за спиной» — $I_{min}^{(3)}$ за спиной

Аварийные значения токов необходимы для определения различных режимов проверки реле и комплектов защиты, для комплексного опробования защиты имитацией аварийных режимов.

Для настройки электрических характеристик готовят следующие устройства и измерительные приборы:

1) устройство проверки защит — установку У5053 с кабелем для подключения трехфазного напряжения питания;

2) прибор, позволяющий измерить временные параметры быстродействующих реле, — электронный миллисекундомер ЭМС-54, измеритель временных параметров Ф738, измеритель параметров реле цифровой Ф291 или любой аналогичный им;

3) микроамперметр для измерения токов на выходе схемы сравнения; наиболее подходят для этой цели приборы, имеющие внутреннее

сопротивление не более 500—1000 Ом, что позволяет включать их непосредственно в цепь схемы сравнения последовательно с полупроводниковым НИ или обмоткой МЭР. В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют микроамперметр типа М109 с пределами 50—100—500—1000 мкА или М109/1 с пределами 100 мкА; микроамперметр М117/4 с пределами 50—0—50 мкА и нулем посередине шкалы или милливольт-миллиамперметр М254. При отсутствии приборов с малым внутренним сопротивлением возможно использование микроамперметров с сопротивлением 2000—3000 Ом при соответствующих пределах 50—500 мкА. Этими приборами производят измерения при наладке схем сравнения косвенным методом, для чего прибор включают помимо НИ в рассечку накладки *SX3* на выводы *a-b*, и он своим внутренним сопротивлением заменяет входное сопротивление полупроводникового НИ или МЭР;

4) многопредельный прибор для измерения постоянного и переменного тока и напряжения — ампервольтметры типов Ц4354, Ц4342, Ц4317 или аналогичные им. Некоторые приборы таких типов, например Ц4317, имеют на пределе 50 мкА внутреннее сопротивление 2000 Ом, они могут успешно применяться для измерений в цепях схемы сравнения и позволяют обойтись при наладке без специальных микроамперметров;

5) мегаомметры на 500 и 1000 В.

При производстве наладочных работ могут понадобиться реостаты на различные номинальные данные по току и сопротивлениям, соединительные провода, а при проверке под нагрузкой — прибор ВАФ-85. Внешний осмотр и ревизию механической части реле и устройств выполняют в соответствии с «Общей инструкцией по проверке устройств релейной защиты, электроавтоматики и вторичных цепей», при этом проверяют состояние монтажных проводов, установку и крепление аппаратуры, надежность контактных и крепежных соединений, фиксацию разъемных элементов, производят крепление винтов, шпилек и гаек. Перемычки, установленные заводом внутри реле и комплектов, которые в процессе эксплуатации приходится переключать в другое положение, переносят на внешние выводы реле. При этом необходимо контролировать, чтобы винты, под которыми заводом были установлены снятые перемычки, не упирались в торец шпильки и обеспечивали надежный контакт подсоединенных проводов.

При ревизии комплектов, развернув их откидные платы, особое внимание обращают на состояние и надежность паяк, проверяют работу пружинящих зажимов в розетках разъемов выемных блоков, реле постоянного и переменного тока со штепсельными разъемами.

При регулировке контактной системы реле *KL1* комплекта ДЗ-2 убеждаются в том, что переключение цепей напряжения «мостящими» контактами происходит без их разрыва.

Опыт наладки и эксплуатации дистанционных защит показал, что необходимо соблюдать определенные правила при работе с реагирующими органами схем сравнения различного исполнения.

Полупроводниковый нуль-индикатор. С целью предотвращения выхода его из строя перед снятием с панели необходимо предварительно отключить цепи оперативного тока, переменного тока и напряжения. Для предотвращения повреждения микросхем на снятых платах не допускается касание элементов схемы и контактов разъема платы руками, а также другими посторонними неизолированными предметами, особенно если наладочные работы проводятся в помещении с пластиком.

вым покрытием пола. Снятые с НИ блоки нельзя помещать вблизи токоведущих частей, хранить их на корпусах реле и измерительных приборов, лицевых панелях проверочного устройства У5053 и т. д.

При длительном хранении плат полупроводниковых НИ отдельно от панели защиты целесообразно закоротить контакты их разъема между собой, для чего удобно использовать мягкий луженый провод. Можно рекомендовать при пайке микросхем или других элементов, электрически связанных с микросхемами, паяльник подключать на напряжение не выше 36 В только через разделительный трансформатор. Мощность паяльника должна быть не более 60 Вт при диаметре стержня не более 5 мм, время касания паяльника вывода при пайке — не более нескольких секунд. В качестве теплоотводящих элементов от выводов микросхемы необходимо использовать пинцет, плоскогубцы «утконосы» или другой подобный инструмент.

Магнитоэлектрическое реле (МЭР) поставляются с панелью защиты в отдельной транспортной упаковке. Перед их установкой необходимо расшунтировать обмотку, выпаять заводскую перемычку на выводах реле 1-2. Вскрытие МЭР не допускается; если оно длительно не используется, его обмотка закорачивается.

Проверка сопротивления изоляции приводится в два этапа.

Предварительная проверка производится, когда из комплектов вынуты платы с НИ или сняты МЭР, блоки диодов, поляризованные реле и т. д. При подготовке к проверке цепей постоянного тока объединяют плюс и минус оперативных цепей защиты временной перемычкой. Проверяют изоляцию всех электрически не связанных цепей панели и отдельно МЭР и поляризованных реле, что позволяет избежать повреждения полупроводниковых НИ и МЭР при нарушении изоляции цепей защиты. Не допускается проверка изоляции между отдельными производными выводами комплектов АК, АКЗ, АКВ, а также между отдельными зажимами панели по принципу «каждый с каждым», так как это может привести к повреждению полупроводниковых элементов, диодов, триодов, стабилизаторов.

Автономная проверка сопротивления изоляции у вынутого из комплекта полупроводникового НИ не производится.

В связи с выявленными многочисленными дефектами МЭР, приводившими к неоднократным отказам в работе защиты, а в некоторых случаях — к ложному срабатыванию, производятся следующие проверки МЭР.

1, *Проверка достаточности расстояния между подвижными и неподвижными элементами контактной системы* — замыкающего контакта реле (выводы 3-4 рис. 8.3, б). Проверку производят на месте установки МЭР в комплектах мегаомметром 500 В. Для надежного размыкания контактов в обмотке МЭР при данной проверке создается тормозной ток 75 ± 5 мкА, для чего от регулировочного устройства подают ток в обмотку трансреактора ТАВ1 (комплект АК), ТАВ (комплект АКЗ) и размыкают наладку SX2 в цепи рабочего контура дистанционных реле. Это испытание производят только после проверки ограничения напряжения на обмотке МЭР защитными диодами VD1—VD2 (рис. 8.3, в). Чтобы избежать повреждения конденсаторов шунтирующих искрогасительных контуров контактов МЭР (рис. 8.3, г) при приложении напряжения 500 В от мегаомметра к выводам 3-4 МЭР (номинальное напряжение которых 200 В), необходимо на комплектах КРС-1 и ДЗ-2 ра-

замкнуть контактные разъемы, через которые к дистанционному органу подводятся цепи напряжения, так как через эти разъемы к контактам МЭР подсоединяются и элементы искрогасительных контуров.

2. Проверка изоляции между обмоткой (МЭР) и общей точкой контактов (вывод 3). По техническим условиям завода-изготовителя изоляция между обмотками и контактами выдерживает напряжение не выше 200 В, поэтому эту проверку проводят одним из двух следующих методов.

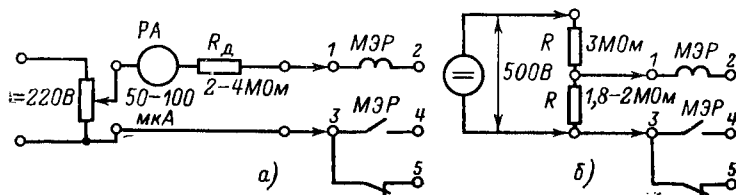


Рис. 8.14. Проверка сопротивления изоляции МЭР:

а — измерением тока утечки при напряжении постоянного тока 220 В; б — измерением мегаомметром 500 В через делитель напряжения

От источника постоянного тока напряжение плавно поднимают до 200 В и через микроамперметр 50—100 мкА с добавочным ограничительным резистором (сопротивление 2—4 мОм) подают на выводы МЭР 1 и 3. При подъеме напряжения контролируется постепенное нарастание тока, его значение при нормальной изоляции не должно превышать 10 мкА (рис. 8.14, а).

От мегаомметра напряжение 500 В через делитель напряжения, состоящий из резисторов сопротивлением 2 и 3 мОм мощностью 0,25—1 Вт, подают на выводы МЭР 1 и 3 по схеме рис. 8.14, б. Напряжение, приложенное к проверяемым цепям, в этом случае составляет 200 В, при исправной изоляции мегаомметр покажет 5 мОм, при пробе изоляции — 3 мОм.

У поляризованных реле мегаомметром 500 В проверяют сопротивление изоляции (якорь — магнитопровод) в двух крайних положениях якоря. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 1 мОм.

Проверка сопротивления изоляции вторичных цепей комплектов АК, АКЗ, АКВ производится мегаомметром 500 В.

Для ускорения работ целесообразно объединить тонким медным проводом без изоляции накладки SX1, SX2, SX3 реле KZ1—KZ3 и SX7 комплекта АК; накладки SX1, SX2, SX3 реле KZ1—KZ3 комплекта АКЗ; накладки SX1, SX2, SX4 — комплекта АКВ (типа КРБ-126) и SX3 (типа КРБ-125). Если сопротивление изоляции объединенных цепей не менее 10 мОм, то поэлементную проверку комплектов можно не производить.

Проверку сопротивления изоляции основных цепей защиты (цепей тока, напряжения, оперативного тока сигнализации и т. д.) производят мегаомметром 1000 В. Сопротивление изоляции цепей панели должно быть не менее 10 мОм.

Окончательная проверка изоляции производится только для основных цепей при вставленных на свои места платах НИ или МЭР, поляризованных реле, диодных блоках мегаомметром 1000 В. Сопротивление изоляции основных цепей отдельной панели с отсоединенными кабелями должны быть не менее 10 МОм. Сопротивление изоляции вторичных цепей комплектов повторно не проверяют.

Проверка реле постоянного тока. Здесь рассмотрены особенности проверки реле и цепей постоянного тока комплекта ДЗ-2 для двух вариантов исполнения: с использованием полупроводниковых НИ и с использованием МЭР.

Реле постоянного тока проверяют в соответствии с учетом рекомендаций, изложенных в разд. 2, и дополнительных требований, указанных в документации завода-изготовителя. Проверку оперативных цепей начинают с блока питания *UG* при строгом соблюдении полярности оперативного тока, подаваемого на вход ряда зажимов панели, при этом убеждаются, что (+) на зажиме 39 имеет прямую электрическую связь с (+) цепи питания, а (—) на зажиме 9 подан через сопротивление дополнительных резисторов *R3, R3'*.

При изменении напряжения постоянного тока в пределах от 0,8 $U_{ном}$ до 1,1 $U_{ном}$ напряжение на выходе *UG* (зажимы 73, 77, 79) должно составлять $15 \text{ В} \pm 10\%$ относительно 0 при установленных в комплекте блоков нуль-индикаторов. Согласно схеме рис. 8.4 выведены: (+) — на зажим 79, (—) — на зажим 73, 0 — на зажим 77; напряжение $U_{79-77} = 30 \text{ В} \pm 10\%$. Контроль и сигнализация наличия напряжения на выходе блока питания осуществляются поляризованным реле *KL8*, включенным с добавочным резистором на полное напряжение 30 В. Ток срабатывания реле устанавливают 1,7—1,9 мА, коэффициент возврата — не менее 0,45. Напряжения на обмотках трансформатора *T* должно составлять: U_{w1} — от 58 до 78 В; U_{w2} — от 10,4 до 14,3 В; $U_{w3} = U_{w4}$ — от 14,5 до 19 В.

Заключив проверку блока питания *UG*, проверяют работоспособность установленных в реле сопротивления *KZ* блоков нуль-индикаторов. На вывод 6 накладки *SX3* каждого реле из *KZ1—KZ3* ключом через резистор типа МЛТ-0,5 сопротивлением 2 кОм подают напряжение +15 В с зажима 79 и контролируют срабатывание исполнительного реле *K*.

При предварительной проверке реле *K* регулируют так, чтобы оно срабатывало при подаче напряжения не более 13—14 В непосредственно на обмотку отключенного реле.

Напряжение между контрольными точками *X2.16* и *X2.19*, т. е. напряжение на обмотке реле *K*, при наличии сигнала на выводе 6 должно быть в пределах 25—28 В, при отсутствии сигнала 0—3 В.

Напряжения на других контрольных точках платы НИ, измеренные относительно зажима 77-0, должны соответствовать данным табл. 8.2. Как правило, напряжение контрольных точек измеряют только при определении неисправных элементов НИ.

Нормы напряжения срабатывания всех реле постоянного тока, приведенные в табл. 8.3, соответствуют заводским при подаче напряжения непосредственно на обмотку проверяемого реле. При производстве наладочных работ рекомендуется проверять реле в полной схеме с учетом добавочных резисторов и последовательно включенных токовых обмоток промежуточных и указательных реле. В связи с этим при

Таблица 8.2. Напряжения контрольных точек нуль-индикаторов

Контролируемые точки НИ	При отсутствии сигнала на выводе 6 накладки SX3	При наличии сигнала на выводе 6 накладки SX3
X2.21	$+ (0,5 \div 0,65)$	$- (0,5 \div 0,65)$
X2.20	$- (13 \div 15,5)$	$+ (11,5 \div 14)$

проверках параметры срабатывания реле могут существенно отличаться от заводских, но они не должны превышать $0,7 U_{ном}$. Напряжение срабатывания реле в полной схеме с учетом этого допускается не более $0,65-0,7 U_{ном}$.

Время возврата реле *KL1* — в пределах $0,1-0,14$ с, реле *KL6* — в пределах $0,3-0,45$ с.

Таблица 8.3. Технические данные реле постоянного тока комплекта ДЗ-2

Обозначение реле по схеме	<i>KL1</i>	<i>KL2</i>	<i>KL3</i>	<i>KL4</i>	<i>KL5</i>	<i>KL6</i>	<i>KL7</i>
Напряжение срабатывания, В, не более	0,65 $U_{ном}$	0,65 $U_{ном}$	0,65 $U_{ном}$	22	0,65 $U_{ном}$	0,65 $U_{ном}$	66
Время срабатывания при $U_{ном}$ оперативного тока, мс, примерно	—	45	50	25	45	60	—

Номинальный ток указательных реле *KN1-KN4* 15 мА; ток их срабатывания — от 11 до 15 мА. Номинальный ток реле *KN5* — 4 мА. Совместно с резистором *R43* реле *KN5* должно срабатывать при напряжении около 70 В. Проверку указательных реле при наладочных работах, как правило, проводят в полной схеме, и о результатах судят по факту надежности срабатывания их совместно с промежуточным реле при напряжении не выше $0,7 U_{ном}$.

При проверке оперативных цепей проверяется согласованность включения по полярности рабочей *KL1.0* и удерживающей *KL1.01* обмоток реле *KL1*. При напряжении постоянного тока $0,8 U_{ном}$ проверяется логика работы реле по всем цепям в различных режимах, определяемых уставками. Обязательно проверяют надежность удерживания якоря реле *KL1* по цепи обмотки удерживания *KL1.01* при раздельном срабатывании реле *KL3* и *KL4*; удерживание выходного реле комплекта *KL4* через дополнительный резистор *R41* и т. д.

Если комплект ДЗ-2 выполнен с использованием МЭР, необходимо измерить стабилизированное напряжение на стабилитронах *VD1*, *VD2*, *VD3* (см. рис. 8.3, з) при изменении напряжения оперативного тока на входе защиты в пределах $0,8-1,1 U_{ном}$. Значение стабилизированного

напряжения должно быть 84—114 В. При отклонении $U_{ст}$ от указанной нормы измеряют напряжение на каждом стабилитроне (оно должно быть 23—38 В), проверяют соответствие параметров и исправность резистора R . Во избежание повреждения реле с $U_{ном}=110$ В и стабилитронов $V1, V2, V3$ целесообразно при проверках подавать напряжение на вход панели, а на обмотку проверяемого реле подавать стабилизированное напряжение временной перемычкой с вывода 39 комплекта ДЗ-2. При проверках рекомендуется для контроля напряжения на обмотке реле пользоваться помимо встроенного прибора устройства У5053 дополнительным вольтметром.

Блок питания комплекта АКЗ, установленный в комплекте КЗ10, и нуль-индикаторы реле КЗ1—КЗ3 проверяют по аналогичной методике.

Проверка блокировочных устройств защиты производится имитацией аварийных режимов при поданном оперативном токе.

1. Блокировка при качаниях типа КРБ-126. Проверку настройки фильтра тока обратной последовательности ФТОП производят при введенных торможении и подпитке по 3 I₀, для чего перемычками выводят из работы трансформаторы ТА1 и ТА4 (см. рис. 8.10). Поочередно подавая ток в фазы АВ, ВС, СА, АО, ВО и СО, фиксируют значения, при которых срабатывает реле КР. При проверке необходимо заклинить в притянутом положении якорь реле КЗ для исключения шунтирующего влияния резистора R12. Наибольшее допускаемое расхождение между результатами измерений при двухфазных и однофазных токах срабатывания — не более 3,5 %. Другой критерий правильной настройки ФТОП — выполнение соотношения между токами срабатывания, которое должно быть

$$I_{срАО}/I_{срАВ} = 1,73 \pm 0,06.$$

В случае невыполнения этих условий производят настройку ФТОП. Для этого проверяют выполнение основных соотношений элементов фильтра в регулируемой его части:

$$R7 + R8 = \frac{X_{C2}}{\sqrt{3}}; \quad R9 + R10 = \sqrt{3} X_{C3}.$$

При проверке снимают перемычки 29-31, 33—35 и накладку в цепи переключения уставок по I₂ на трансформаторе Т. На зажим 35 объединенные временной перемычкой зажимы 31-39 подают напряжение 100 В. Измеренные вольтметром с высоким входным сопротивлением напряжения по отдельным элементам фильтра должны отвечать условиям

$$U_{R7+R8} = U_{C3} = 50 \pm 0,5 \text{ В};$$

$$U_{C2} = U_{R9+R10} = 86,5 \pm 0,5 \text{ В}.$$

Распределение напряжений регулируют переменными резисторами в плечах фильтра R7 и R10, взаимное влияние плеч друг на друга при регулировке отсутствует. Если результаты повторной проверки настройки ФТОП оказываются неудовлетворительными, проверяют коэффициент трансформации ТА2, ТА3 и правильность включения их обмоток по полярности.

Настройку рабочей уставки производят при поданном оперативном токе, что позволяет четко фиксировать срабатывание реле KP по возврату реле $K1$ и $K2$. На реле подают ток I_{AB} и измеряют первичный ток срабатывания реле KP при подтянутом якоре реле $K3$ и ток возврата при отпущенном якоре $K3$. При этих измерениях миллиамперметр в рассечку накладки $SX4$ включать не следует, чтобы не влиять на уставку срабатывания

$$I_{2cp} = \frac{I_{срAB}}{\sqrt{3}}.$$

Отличие полученного значения I_{2cp} от заданной уставки должно быть не более 5 %, коэффициент возврата, измеренный в полной схеме, должен быть равен 0,7—0,9. При необходимости уставка регулируется изменением тока срабатывания поляризованного реле KP . Проверку параметров реле KP производят на месте установки в комплекте, миллиамперметр включают в рассечку наклейки $SX4$.

Проверяется, чтобы $i_{ср}^{KP} = 2,4 \div 2,6$ мА, а коэффициент возврата k_v был не менее 0,4.

При токе, подведении только к $TA4$, проверяют срабатывание KP по току $3I_0$, допустимое отличие от уставки 15 %.

Проверка коэффициента торможения производится на рабочих уставках по k_T и по I_2 при отключенной подпитке по $3I_0$. Якорь реле $K3$ заклинивают в подтянутом положении, первичную обмотку трансформатора торможения $TA1$ отключают от схемы — снимают перемычку 6-8. От одного проверочного устройства на зажимы 4-8 $TA1$ подают тормозной ток $I_T = (2 \div 4) I_{ном}$, от другого — ток I_{BC} на вход ФТОП. При проверке измеряют ток срабатывания блокировки $I_{т.ср}$ при поданном тормозном токе и по полученным данным подсчитывают k_T , %:

$$k_T = \frac{I_{т.ср} - I_{ср}}{\sqrt{3} I_T} 100.$$

Отклонение полученного значения k_T от расчетного, определяемого по формуле, %

$$k_{T.расч} = k_{T.уст} \frac{y_{уст}}{I_{2уст min}},$$

должно быть не более 10 %.

Проверку реле постоянного тока $K1$, $K2$, $K3$, $K7$ производят в полной схеме с учетом особенностей их включения и проверяют логику работы всех цепей.

Пусковой фильтр блокировки типа КРБ-125 аналогичен фильтру реле РНФ-1, поэтому его наладка проводится с учетом рекомендаций, изложенных в разд. 6. Рекомендации по проверке пуска блокировки по цепям $3I_0$, по регулировке поляризованного реле KP , по переключении в цепях постоянного тока полностью соответствуют приведенным для КРБ-126.

2. Устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения. Проверку начинают с настройки блокировки на минимум небаланса при однофазном питании (рис. 8.15). При этой проверке отключают шун-

тирующие цепи дистанционных органов комплекта ДЗ-2, КРС-1 и других реле защиты. Если в защите используется блокировка АКВ типа КРБ-126, то для этого достаточно вытащить крышку испытательных блоков ХА5, ХА2 и разомкнуть контактные разъемы Х1, через которые цепи напряжения заведены на дистанционных реле КЗ1—КЗ3 комплекта ДЗ-2. При использовании блокировки типа КБР-125 дополнительно отключают внешние монтажные провода с зажимов 42, 44, 46 комплекта ДЗ-2.

Обмотки, включенные на фазные напряжения, соединяют параллельно и на них подают напряжение $U = \frac{100}{4\sqrt{3}} = 14,5$ В. На обмотку $\omega 3$ (см. рис. 8.8), включенную в цепи $3 U_0$, подают напряжение 100 В в противофазе с напряжением, подведенным к фазным обмоткам. Рези-

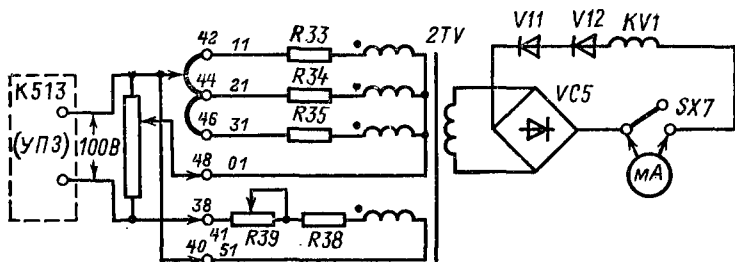


Рис. 8.15. Схема настройки блокировки при неисправностях цепей напряжения на минимальный небаланс

стором $R39$ добиваются минимального тока в поляризованном реле, измерения производят миллиамперметром в расщелке накладки $SX7$. Допускаемый ток небаланса — не более 0,3 мА. Аналогично проводится регулировка резистором $R37$ при подведении напряжения 100 В к обмотке, включенной на фазное напряжение разомкнутого треугольника. При проверке определяются параметры срабатывания и возврата поляризованного реле

$$i_{ср} = 1,7 \pm 1,9 \text{ мА}; \quad k_b \geq 0,4.$$

Проверка напряжения срабатывания блокировки по отдельным цепям, включенным на фазные напряжения звезды, на $3 U_0$ и фазное напряжение разомкнутого треугольника U_{Δ} , производится при отключенных шунтирующих цепях защиты. К блокировке подается поочередно напряжение на выводы $a-0$; $b-0$; $c-0$; B_H-H , $U-H$. Полученные значения $U_{ср}$ при разных сочетаниях связаны следующими отношениями: $U_{a0} : U_{b0} : U_{c0} : U_{3U_0} : U_{\Delta} \approx U_{ср} : 2U_{ср} : 2U_{ср} : 2U_{ср}\sqrt{3} : 2U_{ср}\sqrt{3}$.

При проверке рабочим напряжением возможна подстройка тока небаланса в реле KVA .

8.4. Наладка дистанционных реле сопротивления

Расчет вторичных $Z_{ср}$ реле сопротивления KZ производится по формуле

$$Z_{ср} = \frac{Z_{ср.п} K_I}{K_U},$$

где $Z_{ср.п}$ — первичное сопротивление срабатывания защиты (задается в уставках); K_I — коэффициент трансформации трансформаторов тока; K_U — коэффициент трансформации трансформаторов напряжения.

Расчет уставки, положения переключателя $S1$, $S2$ на плате трансформатора напряжения $TV1$, %, производится для I и II зон по формуле

$$N = \frac{Z_{срmin}}{Z_{ср}} 100,$$

где N — процентное отношение включенных вторичных витков $TV1$ к общему числу; переключатели $S1$ и $S2$ на плате устанавливаются в положения, при которых сумма цифр на переключателях равна расчетному значению N , %, или ближайшему меньшему; $Z_{ср min}$ — минимальное сопротивление срабатывания при всех витках, выставленных на $TV1$ ($N=100$ %).

Регулировка сопротивления срабатывания в цепях напряжения обеспечивает двадцатикратное увеличение приводимых значений с возможностью плавного изменения их во всем диапазоне.

Для комплекта ДЗ-2 $Z_{срmin}=0,25; 0,5; 1$ Ом (1,25; 2,5; 5 Ом);

Для комплекта КРС-1 $Z_{срmin}=1; 1,5$ Ом (5; 7,5 Ом).

В скобках указаны значения для комплектов с $I_{ном}=1$ А. Значение $Z_{срmin}$ дистанционных реле комплектов ДЗ-2 и КРС-1 зависит от выбора отпайки трансформатора $TAВ$. Выбор отпайки трансформатора производят исходя из следующих соображений: при малых токах КЗ, когда необходимо повысить чувствительность защиты — уменьшить ток точной работы, выбирают большую отпайку на трансформаторе; при токах КЗ, значительно превышающих ток точной работы, для уменьшения нагрузки на трансформаторы тока выбирают наименьшую отпайку.

При проверке дистанционных защит и подведении к реле тока и напряжения над углом максимальной чувствительности сопротивление срабатывания, Ом на фазу, рассчитывается по формуле

$$Z_{ср} = U_p / (2I_p).$$

Завод выпускает защиты с дистанционными реле, настроенными на $\phi_{м.ч}=65^\circ$. Если необходимо установить $\phi_{м.ч}=80^\circ$, то следует переставить накладки $SX4$, $SX5$, $SX6$ комплекта ДЗ-2, $SX5$, $SX6$, $SX7$ комплекта КРС-1 в соответствующее положение. При наладочных работах неоднократно выявлялись защиты, у которых $\phi_{м.ч}$ вместо 65° равнялись $55-58^\circ$, это было вызвано тем, что резисторы $R9$ и $R11$ имели сопротивление 3,6 кОм вместо 3,9 кОм. Заменять установленные резисторы типа С2-29 В на резисторы типа МЛТ соответствующего сопротивления исходя из требования стабильности $\phi_{м.ч}$ не рекомендуется.

Для ЛЭП 220 В иметь защиту с таким углом максимальной чувствительности крайне нежелательно, поэтому можно рекомендовать последовательно с заводским резистором припаять дополнительный резистор типа МЛТ сопротивлением 0,3—0,7 кОм; так как сопротивление дополнительного резистора невелико по сравнению с заводским, стабильность $\varphi_{м.ч}$ будет обеспечена.

Как показал опыт наладки, проверку дистанционных органов, имеющих контур подпитки, следует производить при подведении к защите трех фаз цепей напряжения с нулем. Проверка реле КЗ комплекта ДЗ-2, КРС-1 и аналогичных без подачи напряжения на контур подпитки

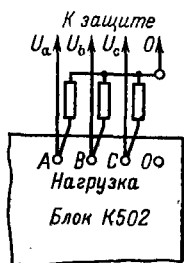


Рис. 8.16. Схема подключения к испытательному устройству УПЗ-2 дополнительных резисторов, соединенных в звезду, для проверок электрических характеристик КЗ

может давать погрешность при определении $\varphi_{м.ч}$ до 5° и на 3—5 % изменять уставку срабатывания.

В регулировочном блоке К515 устройства У5053 предусмотрен такой режим работы, когда на защиту подаются три фазы напряжения с нулем. Напряжение двух фаз может меняться между собой от 100 В до 0 при неповрежденной третьей фазе.

При работе с широко распространенным выпускавшимся ранее проверочным устройством УПЗ-2 для выполнения этого условия на выход напряжения блока К502 необходимо включить три резистора, соединенные в звезду (рис. 8.16). Общую точку звезды подключают к нулю защиты, сопротивления резисторов $R_A = R_B = R_C = 250 \div 300$ Ом мощностью не менее 50 Вт. При работе блока К502 в режиме «фаза с подана» на защиту подается система фазных напряжений с нулем.

При всех проверках электрических характеристик дистанционных реле комплектов АК и АКЗ накладки SX3 в цепи полупроводникового НИ или обмотки МЭР следует держать разомкнутыми (см. рис. 8.7, 8.12), подключая только одно проверяемое реле. Настройку схемы сравнения дистанционных реле следует начинать с проверки защитных, ограничительных диодов VD6, VD7, включенных параллельно входу НИ. Для этого накладку SX3 ставят в положение а-в, включая на выход схемы сравнения балластное сопротивление R14', (R15' для АКЗ), на трансформаторах ТАУ устанавливают отпайки 1-1 для комплекта АК (5-5 при $I_{ном} = 1$ А); 1,5-1,5 для комплекта АКЗ (7,5-7,5 при $I_{ном} = 1$ А).

Поочередно подают ток I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} , плавно увеличивая его до 4—5 $I_{ном}$, так как большее увеличение тока не приводит к существенному увеличению напряжения на диодах, и измеряют напряжение входа нуль-

индикатора. Проверку диода $VD7$ производят при разомкнутой накладке $SX1$ в цепи тормозного контура, при измерении на выводы a - b накладки $SX3$ подключают плюс вольтметра. Проверку диода $VD6$ производят при разомкнутой накладке $SX2$ в цепи рабочего контура, при измерениях на выводы a - b накладки $SX3$ подключают минус вольтметра. Измеренные напряжения должны быть не более 2,5 В, обычно при проверках получают 0,7—1 В; при напряжении на диоде более 2,5 В это необходимо заменить.

Если в защите используется полупроводниковый НИ, то проверка тока на выходе схемы сравнения при срабатывании и возврате дистанционного органа по заводским требованиям не является обязательной. Тем не менее, проверив защитные диоды, по аналогии с проверкой МЭР подают поочередно токи I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} и при разомкнутой накладке тормозного контура измеряют ток срабатывания и возврата реагирующего органа НИ. Ток срабатывания МЭР должен находиться в пределах 6—12 мкА. Контроль состояния контактов реле K или МЭР рекомендуется осуществлять по неоновой лампе панели У5053, пользоваться для индикации контактов МЭР пробниками с лампочками накаливания запрещается.

Здесь и в дальнейшем при проверке и настройке одного из дистанционных реле KZ комплектов КРС-1 и ДЗ-2 накладку $SX3$ всех остальных реле должны быть разомкнуты. Завод-изготовитель гарантирует возврат МЭР в исходное положение при изменении направления тока в обмотки на тормозное, поэтому при снятии с реле малых моментов возможно залипание контактов МЭР. В этом случае необходимо убедиться, что при появлении в реле МЭР тормозного тока реле размыкает контакты, для этого следует замкнуть накладку в цепи тормозного контура. При уставках $TAV1$ 1-1 (5-5), как правило, к защите для срабатывания при разомкнутой наладке $SX1$ следует подвести ток 0,5—0,8 А (0,1—0,15 А).

Настройку схемы сравнения следует начинать с предварительной настройки рабочих уставок по всем зонам при ф.м.ч, так как режим работы схемы сравнения существенно зависит от параметров, определяемых выставленными отпайками, $TAV1$, $TV1$ и сопротивлениями резисторов $R24$ для KZ комплекта КРС-1 и $R28$, $R29$ для I и II зон KZ комплекта ДЗ-2. При выставленных расчетных отпайках на $TAV1$ и $TV1$ фиксируют положение $R24$, $R28$, $R29$ на рабочей уставке; как правило, при окончательной проверке уставки их положение меняется незначительно и не вносит существенных изменений в режим работы схемы сравнения. Это позволяет повторно после снятия угловых характеристик и уточнения уставки не проверять токи смещения в схеме сравнения. При настройке уставок I зоны необходимо реле переключения зоны $KL1$ комплекта ДЗ-2 заклинить в подтянутом положении, для переключения на уставку II зоны якорь реле $KL1$ необходимо отпустить.

Предварительную настройку уставок реле KZ комплекта КРС-1 необходимо производить при заданной уставке по e , и если используется смещение — то при введенном в III квадрант смещении.

Настройка схемы сравнения реле комплекта КРС-1 (см. рис. 8.12) начинается с проверки самохода. Контроль наличия тормозного тока в цепи исполнительного органа схемы сравнения (в рассечке накладки $SX3$) производится при закороченных цепях напряжения на входе панели защиты. Закорачивать цепи напряжения на сопротивления, имити-

рующие сопротивления кабелей, переходных контактов и обмоток TU , не следует, так как это не влияет на режим работы схемы сравнения. При закороченных цепях напряжения и номинальном токе через последовательно соединенные обмотки трансреактора, т. е. при соответствующих токах I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} , тормозной ток в расщелке $SX3$ должен быть установлен в пределах 8—15 мкА. Если минимальные токи двухфазного или трехфазного КЗ «за спиной» меньше номинального тока, то схему сравнения настраивают при токе КЗ. Ток смещения регулируют при выставленной уставке по ϵ , но при выведенном смещении характеристики в III квадрант (накладка $SX1$ в положении б-в) резистором $R13$, выравнивающим сопротивление рабочего и тормозного контуров схемы сравнения. Если настройка тока смещения производится при $I_{ном}$, то, как и при проверке самоходов от токов КЗ, токи смещения должны быть не менее тормозных (8—15 мкА). При регулировке резистором $R13$ схемы сравнения на тормозной ток 8—15 мкА и последующем включении в тормозной контур резистора $R14$ заводом-изготовителем гарантируется смещение характеристики реле в III квадрант на 6—12 % от уставки. Если требуется установить меньшее смещение, всего 1—3 %, то его можно получить заменой резистора $R14$ резистором с меньшим сопротивлением или регулировкой схемы сравнения с нарушением заводских рекомендаций. Например, если отрегулировать схему сравнения на максимальный рабочий ток, то при включении резистора $R14$ смещение будет меньше 6—12 %; аналогичный результат можно получить, если перепаять вывод на вторичной обмотке трансреактора TAV в цепи рабочего контура с отпайки A на отпайку K (на принципиальной схеме реле рис. 8.12 A имеет обозначение 2, $K-3$). Нарушение заводских рекомендаций калибровки схемы сравнения для получения малых смещений в этом случае вполне допустимо.

Методика настройки схемы сравнения KZ комплекта ДЗ-2 в основном аналогична рассмотренной для реле комплекта КРС-1, но имеются и существенные особенности, связанные с проверкой контура подпитки от третьей фазы и с возможностью переключения вторичных обмоток $TU1$ по двум зонам (см. рис. 8.7).

После предварительной проверки рабочих уставок по I и II зонам следует проверить настройку контура подпитки. Настройка схемы сравнения от контура подпитки производится на уставках I зоны. К контуру подпитки данного реле подводят напряжение 58 В, при этом основные цепи напряжения этого реле должны быть закорочены. Так, при проверке реле, включенного на ток и напряжение фаз AB , необходимо закоротить на входных зажимах защиты фазы напряжения AB и подвести напряжение $U_{co}=58$ В. В этом режиме резистором $R13$ необходимо установить в расщелке накладки $SX3$ тормозной ток 0—10 мкА. От настройки контура подпитки зависит время срабатывания защиты «по памяти» при близких трехфазных КЗ: чем больше тормозной ток, тем медленнее работает реле. Поэтому, не допуская появления в исполнительных органах схемы сравнения рабочего тока от контура подпитки, следует стремиться отрегулировать в этом режиме минимальный тормозной ток.

Регулировку самохода от тока дистанционных реле KZ комплекта ДЗ-2 выполняют аналогично, как и для реле комплекта КРС-1, только в зависимости от уставки на трансреакторе $TAV1$ проверку производят при следующих токах:

Номинальный ток $I_{\text{ном}}$, А	5	5	5	1	1	1
Уставка на трансреакторе $TAV1$	0,25	0,5	1,0	1,25	2,5	5,0
Ток проверки самохода, А	20	10	5	4	2	1

При проверке комплекта ДЗ-2 более вероятно, что ток трехфазного КЗ на шинах может оказаться меньше расчетного тока проверки самохода. В этом случае настройку схемы сравнения производят обязательно по току КЗ. Требования к настройке по току те же, что и при проверке КЗ комплекта КРС-1, 8—15 мкА на торможение при закороченных цепях напряжения, регулирование осуществляется резистором $R13$. Резистором $R13$ регулируют токи в схеме сравнения и от напряжения подпитки, и от самохода по току, поэтому необходимо найти и установить его в положение, когда выполняются требования обеих проверок. Если не удастся настроить схему сравнения на заданные параметры, необходимо дополнительно проверить настройку контура подпитки, трансреакторы $TAV1$, $TAV2$ и трансформатор напряжения $TV1$.

При подведении к контуру подпитки напряжения 58 В ЭДС вторичных обмоток $TAV2$ должны равняться $60 \pm 0,15$ В и различаться между собой не более чем на 0,2 В. Вектор ЭДС должен отставать от напряжения подпитки на угол 90° . Все эти измерения можно выполнить прибором ВАФ-85, им же можно измерить угол между током и напряжением подпитки — он должен равняться нулю. В случае затруднений с подключением ВАФ-85 к трехфазной системе напряжений контур подпитки проверяют, измеряя напряжения на элементах контура — конденсаторе $C6$ и первичной обмотке трансреактора $TAV2$.

При резонансной настройке на частоту 50 Гц напряжения на конденсаторе $C6$ и первичной обмотке $TAV2$ должны быть равны между собой и могут достигать примерно 300 В при напряжении подпитки 58 В. Измерения необходимо производить электронным вольтметром с большим внутренним сопротивлением; если напряжения на элементах контура больше 300 В, на контур подпитки подают меньшее напряжение, например 45—55 В. Регулировку настройки контура осуществляют изменением зазора (индуктивного сопротивления) $TAV2$ или изменением емкости конденсатора $C6$. Из-за ограниченных габаритов реле возможно только увеличение емкости, когда конденсатор емкостью 0,01—0,05 мкФ, рассчитанный на работу в цепях переменного тока напряжением не ниже 500 В, припаивается параллельно установленному. Если необходимо выравнять напряжения на элементах, когда напряжение на конденсаторе выше, то следует увеличить емкость либо уменьшить воздушный зазор сердечника $TAV2$. Если выше напряжение на обмотке $TAV2$, то следует увеличить воздушный зазор в магнитопроводе либо заменить конденсатор на другой меньшей емкости, подобрав его того же типа, исходя из условий допустимого разброса $\pm 10\%$.

Контур подпитки проверяют, сняв реле с комплекта и подключив его к панели защиты через удлинитель. Чтобы отключить нагрузку со вторичных обмоток $TAV2$, снимают с реле диодный блок с выпрямительными мостами $VC1$ и $VC2$.

При проверке трансреактора $TAV1$ подают в первичные обмотки номинальный ток при разомкнутых накладках $SX1$ и $SX2$ в цепях рабо-

чего и тормозного контуров и измеряют напряжение непосредственно на шунтирующих сопротивлениях $R9$, $R10$ и $R11$, $R12$ в зависимости от заданного $\varphi_{м.ч}$. Измеренные напряжения не должны различаться более чем на 0,2 В и с точностью 7 % должны соответствовать расчетным:

$$U_2 = I_1 Z_{уст \min} K'_U,$$

где I_1 — ток, подводимый к последовательно соединенным первичным обмоткам; K'_U — номинальный коэффициент трансформации $TV1$ ($K'_U = 2$ при $\varphi_{м.ч} = 65^\circ$; $K'_U = 2,5$ при $\varphi_{м.ч} = 80^\circ$). При $I_{ном} = 5$ А $U_2 = 10 Z_{уст \min}$ при $\varphi_{м.ч} = 65^\circ$ и $U_2 = 12,5 Z_{уст \min}$ при $\varphi_{м.ч} = 80^\circ$. При $I_{ном} = 1$ А $U_2 = 2 Z_{уст \min}$ при $\varphi_{м.ч} = 65^\circ$ и $U_2 = 2,5 Z_{уст \min}$ при $\varphi_{м.ч} = 80^\circ$.

При большем отклонении U_2 необходимо измерить сопротивление шунтирующих резисторов и отрегулировать ЭДС $TAV1$ изменением зазора сердечника. Сопротивление вольтметра, которым производят измерения, должно быть не менее 100 кОм.

При проверке трансформатора напряжения $TV1$ снимают переключки $S1$ и $S2$, переключающие уставки по I и II зонам на лицевой плате реле, накладки $SX1$ и $SX2$ рабочего и тормозного контуров. При напряжении 100 В на первичной обмотке $TV1$ напряжения на вторичных обмотках, В, должны с точностью 5 % соответствовать рассчитанному по формуле

$$U_2 = U_1 N \frac{K'_U}{100},$$

где U_1 — напряжение, подведенное к первичной обмотке $TV1$; N — процент витков, включенных согласно маркировке на переключателе уставок; K'_U — номинальный коэффициент трансформации.

При $U_1 = 100$ В и $\varphi_{м.ч} = 65^\circ$ $U_2 = 2$ В, при $\varphi_{м.ч} = 80^\circ$ $U_2 = 2,5$ В. Напряжение на потенциометре плавной регулировки должно быть 12—14 В при $\varphi_{м.ч} = 65^\circ$ и 16—18 В при $\varphi_{м.ч} = 80^\circ$. По приведенной методике проверяют трансреакторы $TAV1$ (TAV) и трансформаторы напряжения $TV1$ (TV) дистанционных реле KZ комплектов ДЗ-2 и КРС-1. Настроив схемы сравнения всех дистанционных реле при заданном угле настройки, контролируют и подстраивают, если необходимо, предварительно выставленные уставки по всем зонам.

При подведении к реле напряжения, соответствующего 0,7—0,8 $Z_{ср}$, определяют действительный угол максимальной чувствительности каждого реле методом засечек.

Проверка характеристик реле комплекта ДЗ-2 производится при поданном напряжении подпитки, $\varphi_{м.ч}$ для них определяется по уставкам I зоны. Фазорегулятором блока К515 изменяют угол между током и напряжением реле и фиксируют углы φ_1 и φ_2 , град, при которых контакты реле замкнуты:

$$\varphi_{м.ч} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}.$$

Изменяя фазорегулятором угол между током и напряжением, измеряют сопротивление срабатывания при углах $\varphi_{м.ч} \pm 10^\circ$ и далее че-

рез 30° . У реле комплекта КРС-1, если введено смещение, при угле $\varphi_{м.ч} + 180^\circ$ определяют смещение в процентах $Z_{ср.уст.}$. Если не заданы токи настройки реле, следует принимать ток настройки КЗ комплекта КРС-1 равным $0,5 I_{ном}$; ток настройки КЗ комплекта ДЗ-2 равным $0,5 I_{ном}$, $I_{ном}$, $2 I_{ном}$ соответственно при уставке на трансреакторе ТАВИ 1,0; 0,5; 0,25. При заданном угле настройки снимают характеристики зависимости сопротивления срабатывания от тока и по полученным результатам определяют ток точной работы, т. е. минимальный ток, при котором реле срабатывает с сопротивлением $0,9 Z_{ср.уст.}$. У реле сопротивления комплектов КРС-1 и ДЗ-2 ток точной работы зависит только от положения перемычек в цепях ТАВИ (ТАВ) и не зависит от отпаек TVI (TV), поэтому характеристику для уставок II зоны не снимают. Как правило, реально измеренные токи точной работы реле значительно меньше гарантированных заводом (табл. 8.4).

Таблица 8.4. Ток точной работы реле К комплектов ДЗ-2 и КРС-1

Комплект	Номинальная уставка, Ом на фазу	Ток точной работы, А	
		от (не более)	до (не менее)
ДЗ-2	0,25 (1,25) 0,5 (2,5) 1 (5)	6,4 (1,28) 3,2 (0,64) 1,6 (0,32)	150 (30) 100 (20) 50 (10)
КРС-1:			
окружность без смещения	1 (5) 1,5 (7,5)	1,6 (0,32) 1,1 (0,22)	50 (10) 33,5 (6,7)
эллипс без смещения	1 (5) 1,5 (7,5)	2,2 (0,44) 1,5 (0,3)	50 (10) 39,5 (6,7)
окружность или эллипс со смещением	1 (5) 1,5 (7,5)	2,75 (0,55) 1,85 (0,37)	42 (8,4) 28 (5,6)

Примечание. В скобках приведены данные для защиты с номинальным током I_A .

Зависимость $Z_{ср} = f(I)$ снимается до значения тока, при котором $U_{ср} = 110 В$.

Полученные значения токов точной работы КЗ комплекта КРС-1 должно быть не менее чем в 2 раза меньше минимальных токов КЗ в конце III зоны, токи точной работы КЗ комплекта ДЗ-2 должны быть в 2 раза меньше минимальных токов КЗ в конце II зоны, это обеспечит надежную работу защиты по всем зонам срабатывания.

Для возможности проверки защиты под нагрузкой необходимо проверить работу КЗ комплекта ДЗ-2 в режиме реле направления мощности. При проверке определяют зону работы и угол максимальной чувствительности реле при напряжении подпитки 58 В, токах $I_{ном}$ и $0,1 - 0,2 I_{ном}$ и закороченных цепях напряжения, подведенных к выводам TVI данного реле. Угол максимальной чувствительности относительно напряжения подпитки должен быть равен $\varphi_{м.ч} + 90^\circ$, где $\varphi_{м.ч}$ — угол максимальной чувствительности, измеренный в режиме работы реле сопротивления. Зона срабатывания реле $65 - 180 - 245^\circ$

при $\varphi_{м.ч}=65^\circ$ и $80-180-260^\circ$ при $\varphi_{м.ч}=80^\circ$. Линия максимальных моментов реле совпадает с диаметром круговой характеристики, проходящей через начало координат под углом $\varphi_{м.ч}$.

Отличие измеренного угла максимальной чувствительности в режиме реле мощности на угол больший, чем $90 \pm 10^\circ$, может указывать на некачественную настройку контура подпитки, и его в этом случае необходимо проверить в объеме, указанном выше.

Определение зоны работы реле при малом токе позволяет при проверке под нагрузкой оценить правильность включения защиты на слабонагруженных линиях, так как при малых токах зона работы в режиме направления мощности может быть существенно меньше 180° .

8.5. Комплексная проверка защиты

Устанавливают все накладки и режимные переключки в соответствии с заданными уставками и схемой оперативных цепей; замыкая и размыкая контакты вручную, проверяют работу защиты по принципиальной схеме. При полупроводниковых НИ проверка электрических характеристик всех дистанционных реле комплектов ДЗ-2 и КРС-1 производится с фиксацией срабатывания реле исполнительных органов К обоих комплектов, поэтому при опробовании достаточно проверить выходные цепи от контактов этих реле. Контакты МЭР при опробовании закорачивают переключкой на цоколе. Данную проверку производят при напряжении оперативного тока, равным $0,8 U_{ном}$. Окончательная проверка поведения защиты производится имитацией следующих аварийных режимов при номинальном напряжении оперативного тока:

1) проверяют поведение дистанционных реле комплектов ДЗ-2 и КРС-1 по уставкам I, II и III зон от тока при разомкнутых цепях напряжения. Измеряют токи срабатывания дистанционных и пусковых реле и сравнивают их с максимальными токами нагрузки данного присоединения. Эта проверка позволяет оценить возможность ложной работы защиты при отключении автоматического выключателя во вторичных цепях трансформаторов напряжения и пуске блокировки при качаниях;

2) проверяют поведение защиты при имитации трехфазного КЗ на тупиковой линии, когда при отсутствии тока и напряжения всех трех фаз на входе панели сбрасывается с 100 В до нуля и при этом цепи и напряжения закорачиваются. Проверку производят только при использовании блокировки при качаниях типа КРБ-125;

3) проверяют поведение защиты при двухфазном КЗ, когда напряжение поврежденных фаз уменьшается до нуля, а на контуре подпитки остается напряжение 58 В неповрежденной фазы. При имитации КЗ вблизи шин в зоне действия защиты к реле подводят максимальный ток двухфазного КЗ под углом $\varphi_{м.ч}$ к «аварийному» напряжению в предаварийном режиме. Защита должна работать с выдержкой времени I зоны.

При имитации КЗ вблизи шин вне зоны «за спиной» аварийный ток подводят под углом $\varphi_{м.ч} + 180^\circ$, защита при увеличении токов до $I_{кз}^{(2)}$ должна работать по I и II зонам. Если введено смещение пусковых органов КЗ комплекта КРС-1 в III квадрант, защита будет работать с выдержкой времени III ступени;

4) проверяют поведение защиты при имитации трехфазного КЗ вблизи шин в зоне работы и «за спиной», когда напряжение трех фаз сбрасывается со 100 В до нуля с одновременным закорачиванием их и подачей в реле аварийных токов. Проверяют правильность ориентации дистанционных органов при работе «по памяти», надежность работы выходных реле и время срабатывания защиты.

При проверке работы защиты «по памяти» следует учитывать, что чем больше ток КЗ вблизи шин, тем больше от него тормозной ток в схеме сравнения, тем медленнее работает защита, тем на меньшее время замыкает контакты выходное реле. Время действия защиты через выходное реле *KL4* комплекта *AK* — не более 85 мс; при работе защиты на отдельное выходное реле с демпферной обмоткой, действующее через контакты *KL4*, время — не менее 100 мс. При $I_{кмах}^{(3)}$ проверяется время срабатывания защиты и время замкнутого состояния контактов выходного реле. Проверку поведения защиты при имитации трехфазного КЗ «за спиной» проводят при минимальном значении аварийного тока в этом режиме, так как при этом тормозной ток в схеме сравнения минимальный и ложное срабатывание наиболее вероятно. В случае ложного срабатывания защиты проверяют и заново настраивают токи смещения от самохода и контур подпитки. Измерением времени срабатывания на контактах действующего выходного реле проверяют временную характеристику срабатывания защиты при заданных углах и токах настройки. Проверка производится при имитации повреждения на фазах *AB*, *BC*, *CA*. Время срабатывания защиты проверяют при напряжениях, поданном на защиту и соответствующем двухфазному КЗ в следующих режимах: I ступень — 0; 0,5 Z_I ; 0,9 Z_I ; II ступень — 1,1 Z_I ; 0,9 Z_{II} ; III ступень — 1,1 Z_{II} ; 0,9 Z_{III} ; 1,1 Z_{III} (в последнем случае защита не должна работать).

8.6. Проверка защиты рабочим током и напряжением

Правильность выполнения цепей тока и напряжения защиты проверяется по векторной диаграмме нагрузочного режима. Измерения токов и напряжений по значению и фазе производят на входных зажимах панели защиты, по результатам измерений в системе координат и в принятом масштабе строят векторную диаграмму, которую оценивают по характеру первичной нагрузки на данном присоединении.

При проверке на защиту подают постоянный оперативный ток, цепи отключения и цепи воздействия на устройства других присоединений выводятся и блокируются.

При проверке под нагрузкой ФТОП в комплекте КРБ-126 или ФНОП в комплекте КРБ-125 измеряют токи небаланса в обмотках исполнительных реле *KP*. Ток небаланса в нормальном режиме не должен превышать 0,5 I_n поляризованного реле. При измерении тока небаланса в рассечке *SX4* (*SX3* — КРБ-125) якорь реле *K3* заклинивают в подтянутом состоянии; если ток небаланса больше допустимого значения, необходимо после повторной тщательной проверки симметрии токов нагрузки в фазах провести резисторами *R7*, *R10* дополнительную регулировку фильтра на минимум небаланса (для устройства КРБ-125 проверяют симметрию напряжений, $I_{но}$ регулируют резисторами *R7*, *R10*). Изменив чередование фаз тока (напряжения) на об-

ратное перемычками на крышках исполнительных блоков ХА1 (ХА5), измеряют значительное возрастание тока в обмотке поляризованного реле и фиксируют состояние реле: срабатывает—не срабатывает. После восстановления нормальной схемы цепей тока (напряжения) обязательно проверяют ток небаланса и убеждаются, что он остался без изменения.

При проверке рабочим напряжением блокировки от неисправностей цепей напряжения комплекта АК измеряют ток небаланса в обмотке исполнительного органа КВ1 (см. рис. 8.1, а). Ток небаланса в нормальном режиме не должен превышать половины тока возврата поляризованного реле. Проверяется также, чтобы блокировка не работала при однофазном КЗ в первичной сети. Однофазное КЗ при ти-

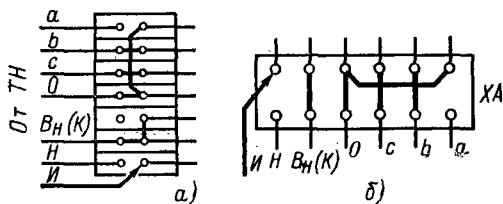


Рис. 8.17. Проверка блокировки при неисправностях цепей напряжения под нагрузкой имитацией однофазного КЗ на фазе А:

а — на рядах зажимов;
б — на испытательном блоке

повом выполнении цепей напряжения имитируют на фазе А, для этого на крышке испытательного блока ХА5 цепей напряжения отсоединяют фазу от TV и провод, идущий в сторону панели, закорачивают на нулевой вывод обмоток TV (рис. 8.17). На крышке испытательного блока ХА2 снимают перемычку в цепи Н и провод, идущий в сторону панели, объединяют с выводом от цепей разомкнутого треугольника U. Ток в реле при имитации однофазного КЗ не должен превышать половины тока срабатывания поляризованного реле. При поочередном отключении автоматических выключателей SF1 и SF2, установленных во вторичных цепях обмоток TV (см. рис. 1.26, а), а также при поочередном отключении одной-двух фаз напряжения и проводов с обозначением Н и U от панели защиты проверяют надежность действия блокировки. Оценку надежности действия производят, сравнивая ток I_0 в реле при отключении напряжения с током срабатывания поляризованного реле $i_{ср}$:

$$k_{над} = \frac{I_p}{i_{ср}} \geq 4.$$

По окончании проверки восстанавливают нормальную схему цепей напряжения и повторно измеряют ток небаланса и рабочем режиме.

Проверку ориентировки дистанционных реле защиты, как правило, проводят только для одного реле КЗ1 комплекта АКЗ (ДЗ-2), включенного на ток и напряжение АВ. Проверку ориентировки других реле комплектов не проводят, считая, что возможные ошибки в пределах панели защиты были выявлены при наладке, так как все реле проверяются по одинаковой методике и одним испытательным устройством. При проверке все остальные дистанционные реле комплектов ДЗ-2 и КРС-1 выводятся из работы перемычками SX3, установленными

в цепи исполнительных органов схемы сравнения. При проверке поведение дистанционного реле $KZ1$ контролируется по срабатыванию реле K комплекта AK , если в комплекте использованы МЭР — по промежуточному реле, включенному на стабилизированное напряжение через контакты МЭР.

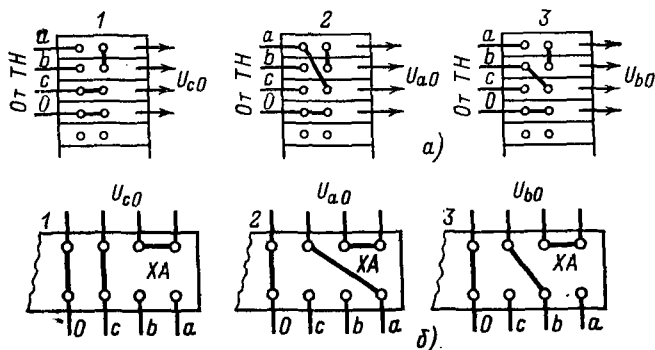


Рис. 8.18. Проверка дистанционного реле сопротивления $KZ1$ комплекта ДЗ-2, включенного на фазы АВ, под нагрузкой:

а — переключение на рядах зажимов; б — переключение на испытательном блоке

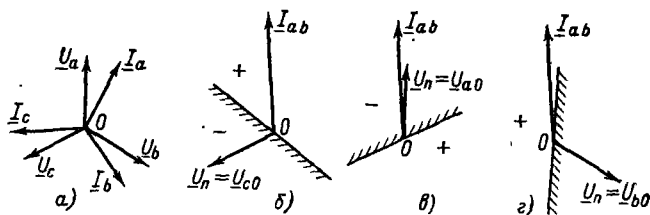


Рис. 8.19. Оценка ориентировки дистанционного реле сопротивления $KZ1$ комплекта ДЗ-2:

(+) — зона срабатывания; (—) — зона торможения; а — векторная диаграмма токов и напряжений нагрузочного режима; принятое направление активной P и реактивной Q мощности — от шин в линию; б — к реле подведено напряжение подпитки U_{co} ; в — U_{ao} ; г — U_{bo}

Проверка заключается в оценке ориентировки $KZ1$ и поведения исполнительного реле K , когда дистанционный орган включен в режиме органа направления мощности. Для этого на реле подают рабочий ток и напряжение контура подпитки, рабочее напряжение данного реле от TV отсоединяют и цепи, идущие в сторону панели, закорачивают. Так, при проверке реле, включенного на ток I_{ab} , к контуру подпитки поочередно подводят напряжения U_{ao} , U_{bo} , U_{co} , цепи рабочего

напряжения U_{ab} закорочены в сторону панели и отсоединены от TV (рис. 8.18). Защита включена правильно, если поведение реле соответствует предполагаемому.

При анализе следует помнить, что угол максимальной чувствительности реле в режиме органа направления относительно напряжения подпитки составляет $\varphi_{м.ч} + 90^\circ$ (рис. 8.19).

Проверку в режиме реле направления можно проводить и при поочередном подведении к реле различных сочетаний токов. Так, при проверке реле, включенного на U_{ab} и I_{ab} , цепи напряжения закорачивают в сторону панели и отсоединяют от TV , на контур подпитки подают напряжение U_{co} и поочередно пропускают токи I_{ab} , I_{bc} , I_{ca}

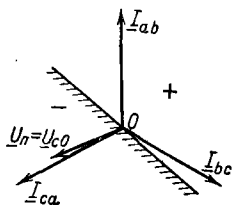


Рис. 8.20. Оценка ориентировки дистанционного реле сопротивления $KZ1$ комплекта ДЗ-2; при поочередном пропускании токов I_{ab} и I_{bc} реле срабатывает, при токе I_{ca} в реле протекает тормозной ток

(рис. 8.20). При проверке фиксируют токи в цепи схемы сравнения и поведение исполнительного реле; такая проверка более наглядна, но переключение в токовых цепях на крышке испытательного блока ХА1 нужно производить, соблюдая надежность контактов и особенно — технику безопасности. При малых значениях тока нагрузки на векторную диаграмму следует нанести зону срабатывания данного реле, определенную ранее в этом режиме при токах $0,1—0,2 I_{ном}$.

Восстановив все цепи и сняв временные перемычки при поданных рабочих токах и напряжениях, фиксируют в расщелке $SX3$ всех без исключения дистанционных реле наличие тормозного тока. На этом проверку заканчивают, защиту можно вводить в работу.

8.7. Выполнение дистанционной защиты блока трансформатор — линия с использованием типовой панели ЭПЗ-1636

На блоках трансформатор (автотрансформатор) — линия наряду с типовой панелью типа ПЗ-5 в качестве дистанционной защиты широко применяются панели типа ЭПЗ-1636.

На рис. 8.21 приведена схема включения такой защиты по цепям переменного тока и напряжения для случая использования двухобмоточного блочного трансформатора со схемой соединения обмоток $Y/\Delta-11$. При установке трансформаторов тока на стороне защищаемой линии вторичные обмотки их соединяются в звезду, цепи напряжения защиты линии включаются на трансформатор напряжения со стороны

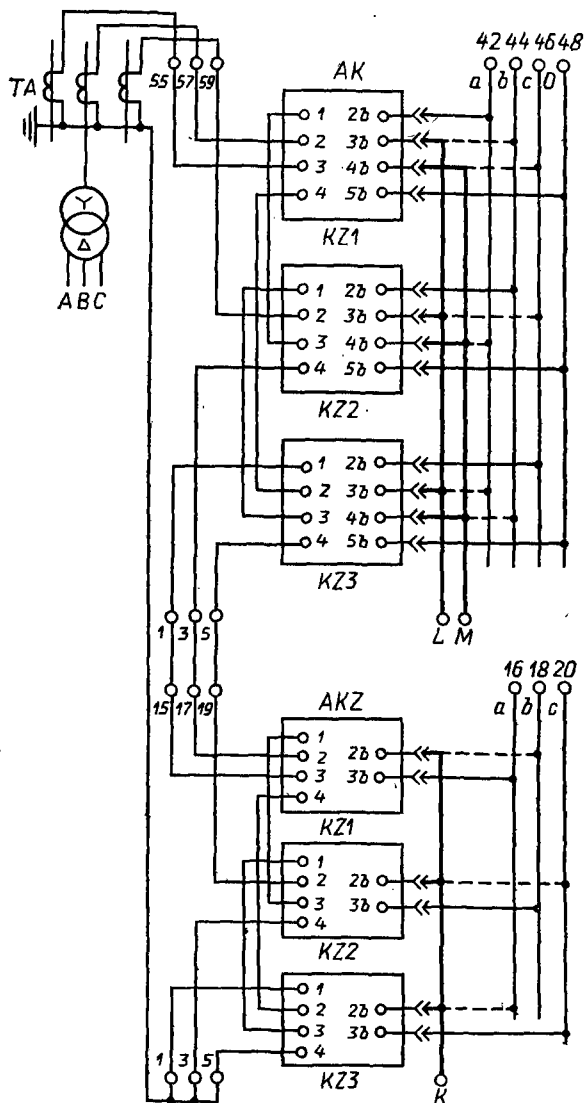


Рис. 8.21. Схема цепей переменного тока и напряжения дистанционной защиты блока трансформатор — линия (пунктиром показаны цепи, демонтируемые в комплекте ДЗ-2 и КРС-1, жирными линиями — цепи, монтируемые вновь)

низшего напряжения. При этом защита должна быть включена на фазные напряжения относительно нулевой точки системы, которые соответствуют междупазным вторичным напряжениям стороны высшего напряжения. Выполнение этого требования приводит к необходимости провести перемонтаж в цепях напряжения комплекта ДЗ-2 и КРС-1; изменения в токовых цепях защиты в данном случае отсутствуют. Схема подключений и изменений цепей напряжения внутри комплектов зависит от группы соединения обмотки силового трансформатора, на рис. 8.21 демонтируемые цепи показаны пунктиром, монтируемые вновь — жирной линией. Вновь образованные цепи, обозначенные на рисунке L , M , K , необходимо вывести на резервные выводы ряда панели зажимов, так как при проверке некоторых характеристик дистанционных реле в процессе наладки на эти выводы необходимо будет подавать напряжение. Вывод с обозначением L используется для подачи на дистанционные реле $KZ1-KZ3$ комплекта AK рабочего напряжения, например для $KZ1-AK$ напряжение подают на зажим комплекта 42 и вывод L , для $KZ2-AK$ напряжение подают на зажим 44 и вывод L и т. д. При проверке реле $KZ1-KZ3$ комплекта AK в режиме реле направления мощности напряжение подают на не используемый в работе контур подпитки (вывод M и зажим 48), снятая характеристика и перевод реле в режим направления мощности используются затем только для проверки защиты под нагрузкой.

Описанное выполнение цепей тока и напряжения защиты имеет один существенный недостаток — защита не работает при неисправностях в трансформаторе. Этого недостатка удается избежать, если защиту включить на трансформаторы тока, установленные на стороне низшего напряжения. При таком включении рассматриваемой защиты она резервирует защиту силового трансформатора. Следует отметить, что при использовании для защиты трансформаторов тока, установленных на стороне НН трансформатора блока, целесообразно соединить их в треугольник, так как при этом сохраняется такая же схема включения реле (на разность токов), как при использовании для защиты ТА, установленных на стороне защищаемой линии.

Вторичные сопротивления срабатывания $Z_{ср}$ рассчитываются исходя из первичных сопротивлений срабатывания защиты Z_I по следующим формулам:

при включении защиты на трансформаторы напряжения, установленные со стороны НН, и на трансформаторы тока, установленные со стороны ВН блока,

$$Z_{ср} = \frac{K_{ВН}}{\sqrt{3} K_{Уп}} Z_I ;$$

при включении защиты на ТА и TV, установленные со стороны НН,

$$Z_{ср} = \frac{K_{НН}}{3 K_{Уп}} Z_I ,$$

где n — коэффициент трансформации трансформатора блока между стороной высшего напряжения и стороной установки TV (для большей надежности берется максимальный коэффициент трансформации, который возможен при регулировании напряжения); $K_{ВН}$, $K_{НН}$ —

коэффициент трансформации T_A , установленных соответственно со стороны ВН и НН блока; K_U — коэффициент трансформации T_U , установленных со стороны НН трансформаторов блока.

Пересчет уставки при проверке от испытательного устройства производится по формуле

$$Z_{ср} = U_p / (2I_p),$$

где U_p и I_p — напряжение и ток, подведенные к реле.

Раздел девятый

НАЛАДКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ

9.1. Основные технические данные защит серии ДФЗ

В дифференциально-фазных защитах линий 110—500 кВ используются в настоящее время панели заводского изготовления типа ДФЗ-201, ДФЗ-504 и ДФЗ-503.

Проверка реле переменного тока, напряжения и реле постоянного тока релейной части защит особенностей не имеет и изложена в разд. 2.

Основные технические данные релейной части приведены в табл. 9.1, принципиальные схемы — на рис. 9.1, 9.2.

Таблица 9.1. Основные технические данные релейной части панелей дифференциально-фазной защиты типов ДФЗ-201, ДФЗ-504 и ДФЗ-503

Технические данные	ДФЗ-201	ДФЗ-504	ДФЗ-503
Номинальный переменный ток, А	1 или 5	1 или 5	1 или 5
Номинальное напряжение, В			
переменное	100	100	100
постоянное	110 или 220	220	220
Время действия защиты, с	Не более 0,05	Не более 0,05	Не более 0,05
Устройство фильтра-реле пускового органа:			
уставки по току обратной последовательности $I_{2уст}$, А	1; 1,5; 2 (для $I_{ном}=5$ А)	0,1; 0,15; 0,2 (для $I_{ном}=1$ А)	—
уставки по напряжению обратной последовательности $U_{2уст}$, В	—	—	5, 6, 7
уставки по току нулевой последовательности $3I_{0уст}$, А	1; 1,5; 2 (для $I_{ном}=5$ А)	0,3; 0,4; 0,5 (для $I_{ном}=1$ А)	0,3; 0,4; 0,5 (для $I_{ном}=1$ А)
уставки устройства компенсации $Z_{2к}$, Ом	—	—	36, ступени 3 %

Продолжение табл. 9.1

Технические данные	ДФЗ-201	ДФЗ-504	ДФЗ-503
Реле сопротивления:			
минимальная устав- ка, Ом/фазу	3,5 (для $I_{\text{ном}}=5 \text{ А}$)	30 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)	30 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)
максимальная устав- ка, Ом/фазу	35 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)	300 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)	300 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)
Реле сопротивления:			
угол максимальной чувствительности, град	70 ± 5	83 ± 5	83 ± 5
ток точной работы, А, не более	2,8 (для $I_{\text{ном}}=5 \text{ А}$)	0,15 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)	0,15 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)
ток срабатывания реле при $U_p=0$, А, не более	3,5 (для $I_{\text{ном}}=5 \text{ А}$)	0,3 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)	0,3 (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)
Орган манипуляции:			
коэффициент фильт- ра манипуляции k	4, 6, 8	6, 8, 10	6, 8, 10
напряжение на вы- ходе при токе пря- мой последователь- ности, В	8 при $k=8$ и $I=2 \text{ А}$ (для $I_{\text{ном}}=5 \text{ А}$)	4,58 при $k=10$ и $I=0,3 \text{ А}$ (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)	4,58 при $k=10$ и $I=0,3 \text{ А}$ (для $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$)
Орган манипуляции:			
угол между током и напряжением	17° при $k=8$ и $I_{bc}=0,6 I_n$	42° при $k=10$ и $I_{bc}=0,5 I_{\text{ном}}$	95° при $k=10$ и $I_{a0}=0,3 \text{ А}$
уставка устройства компенсации емко- стных токов y_k , 1/Ом	—	—	$5000 \cdot 10^{-6}$, степени регулирова- ния 3 %
уставка по углу бло- кировки органа сравнения фаз токов, град	± 45 , ± 52 , ± 60	± 50 , ± 57 , ± 65	± 50 , ± 57 , ± 65

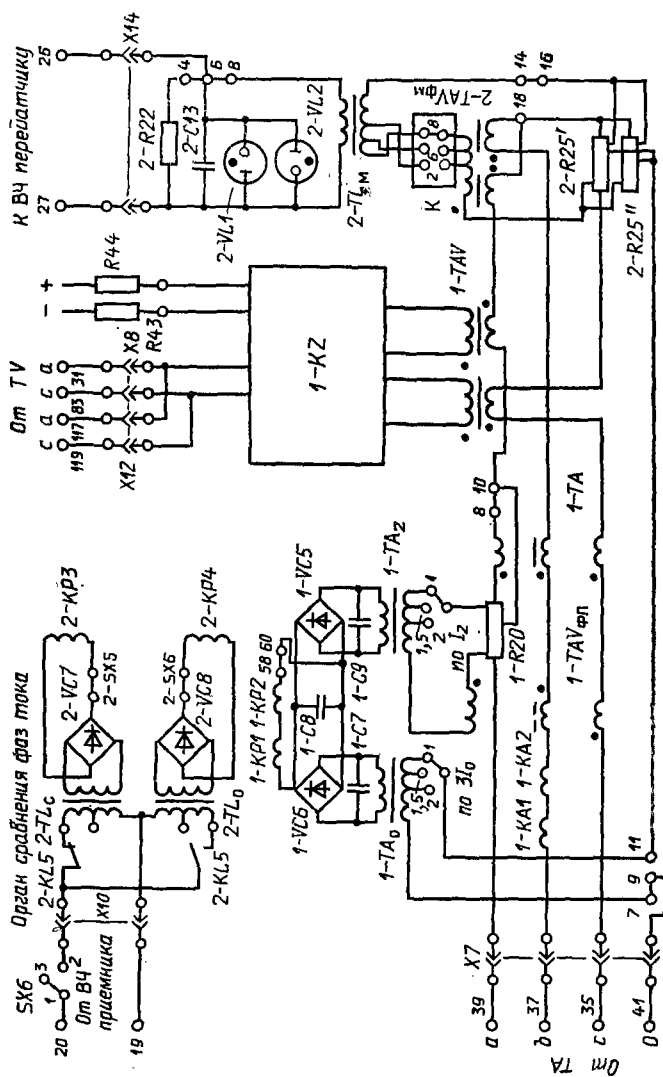


Рис. 9.1. Принципиальная схема панели дифференциально-фазной защиты типа ДФЗ-201

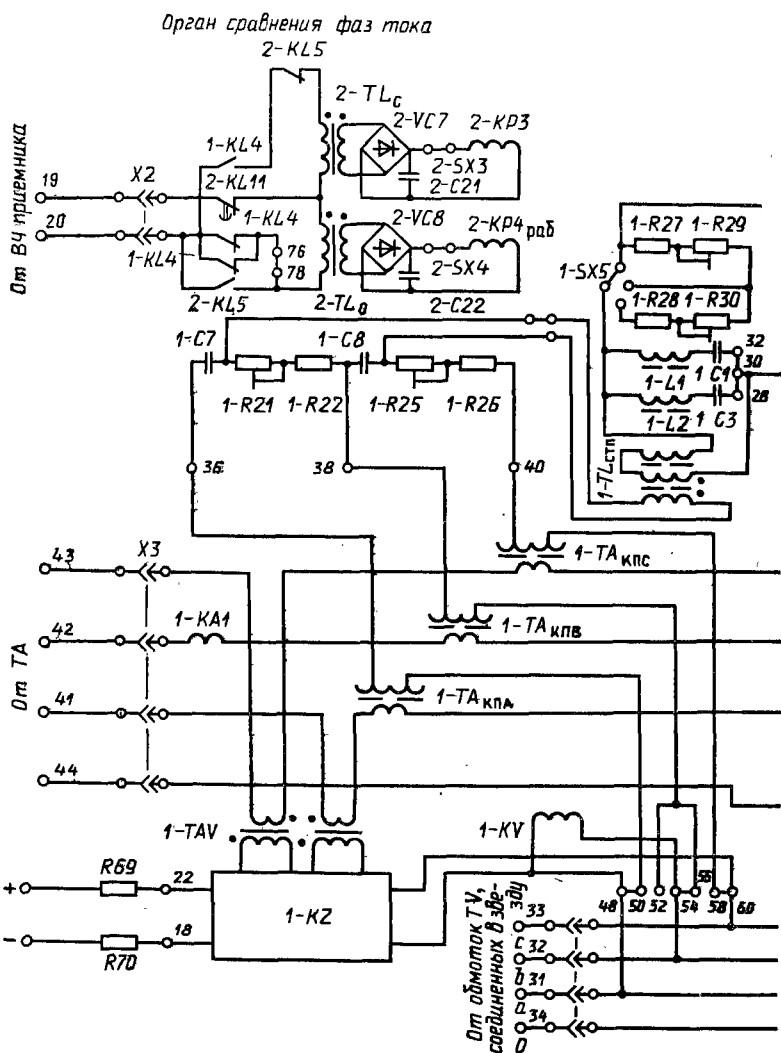
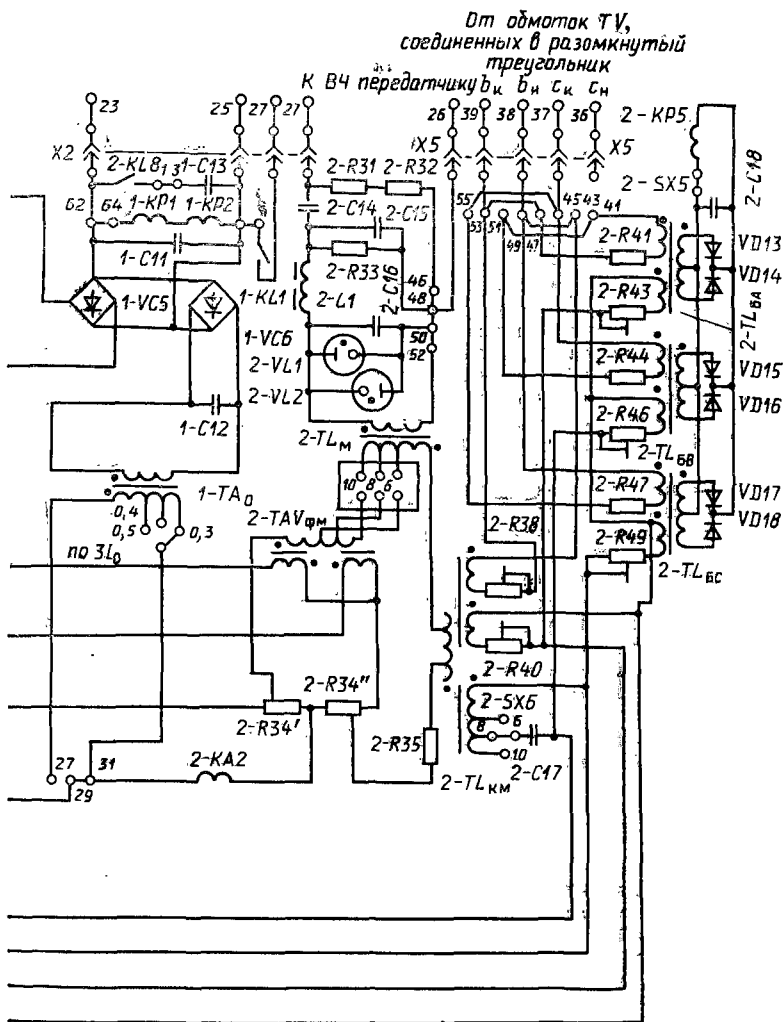


Рис. 9.2. Принципиальная схема панели дифференциально-фазной защиты



В разделе приняты обозначения отдельных реле, аппаратов и комплектов аппаратов, соответствующие заводским обозначениям, принципиальным схемам и ГОСТ. Индекс, стоящий перед обозначением элементов, указывает на принадлежность к определенному комплекту аппаратов. Например, на рис. 9.1 реле 1-КА2 означает, что токовое реле КА2 установлено в комплекте аппаратов 1.

9.2. Проверка и настройка пусковых органов

В пусковых органах дифференциально-фазных защит используются:

при трехфазных КЗ — реле сопротивления, реле напряжения и реле тока (для фиксации);

при несимметричных КЗ — поляризованные реле, включенные на выходе фильтров тока или напряжения обратной последовательности.

Для повышения чувствительности при однофазных КЗ дополнительно используется составляющая тока КЗ нулевой последовательности. На протяженных линиях для повышения чувствительности пускового органа напряжения обратной последовательности используется компенсация по $Z_{2к}$ (только в защите типа ДЗ-503).

В объем проверки индукционного реле полного сопротивления входит:

проверка механической части;

проверка самохода от напряжения и зоны действия в режиме работы реле направления мощности;

проверка угловой характеристики $Z_{ср} = f(\varphi)$ и настройка рабочей уставки при заданном токе;

проверка зависимости сопротивления срабатывания от тока при угле максимальной чувствительности, определение тока точной работы (описано в разд. 8);

проверка отсутствия вибрации контактов реле.

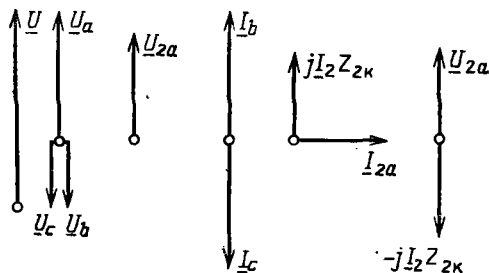
Проверка механической части, самохода от напряжения и зоны работы в режиме направления мощности производится аналогично проверке реле мощности (см. § 2.6). Проверка производится при расчетных уставках. Уставка автотрансформатора подсчитывается по формуле

$$n = \frac{Z_{min}}{Z_{уст}} 100.$$

Угловая характеристика $Z_{ср} = f(\varphi)$ проверяется при заданном токе. При угле максимальной чувствительности, определенном при проверке зоны работы в режиме реле направления мощности, плавно снижая напряжение со 100 В, измеряют напряжение срабатывания реле $U_{ср}$ и по формуле $Z_{ср} = U_{ср} / 2I$ определяют сопротивление срабатывания реле в омах на фазу. Если полученное $Z_{ср}$ отличается от заданного, следует изменить в ту или другую сторону положение штырей контактных разъемов на доске выводов автотрансформатора. Коэффициент возврата, определяемый по напряжению возврата U_v , должен быть не менее 1,1. Затем снимается угловая характеристика реле через каждые 30° и проверяется зависимость $Z_{ср} = f(I)$. При больших токах сопротивление срабатывания не должно отличаться от

измеренного при заданном токе более чем на 10 %. Из снятой характеристики определяется ток точной работы реле — минимальный ток, при котором сопротивление срабатывания на 15 % меньше сопротивления срабатывания, измеренного при номинальном токе, и полученное значение сравнивается с паспортными данными 0,15 А (допускается отклонение $\pm 7\%$). Если у реле сопротивления используется смещение характеристики в III квадрант (обычный вариант), то дополнительно определяется ток срабатывания реле при неисправностях в цепях напряжения (обрыв и закорачивание). Полученные значения тока (которые не должны превышать 3,5 А) позволяют оценить надежность

Рис. 9.3. Векторные диаграммы, поясняющие проверку правильности включения трансформаторов компенсации ТА при имитации КЗ между фазами В и С защиты типа ДФЗ-503



блокирования пуска защиты в указанных случаях. Если смещение не используется (при использовании защиты на линиях с ответвлениями), то вместо определения тока срабатывания реле проверяется поведение реле при сбросе напряжения, подводимого к реле, со 100 В до нуля с одновременным закорачиванием цепей напряжения накоротко в диапазоне токов от номинального до $7I_{ном}$ при предварительном угле $\varphi = \varphi_{м.т} + 180^\circ$ (токи подаются толчком). Реле не должно срабатывать.

Работа контактной системы реле проверяется при изменении сопротивления срабатывания реле от 0,1 до $0,9Z_{ср}$ при токах 0,7— $3I_{ном}$.

Проверка фильтров тока и напряжения обратной последовательности и пусковых реле производится согласно указаниям соответствующих параграфов разд. 6. При использовании в защите пуска по току $3I_0$ дополнительно проверяется чувствительность пускового органа при совместном пуске по I_2 (U_2) и $3I_0$.

При использовании в защите основного пуска по I_2 проверка проводится при подведении к панели тока $I_{с0}$ на рабочих уставках. Ток срабатывания отключающего реле не должен отличаться более чем на $\pm 15\%$ от заводских данных. При больших отличиях проверяется исправность трансформатора 1-ТА₀ и выпрямительного моста.

При использовании в защите основного пуска по U_2 сначала проверяется ток срабатывания отключающего реле при подведении к панели только тока $I_{а0}$, затем при одновременной подаче на панель $U_{2ср}$ и $3I_{0ср}$ измеряется ток в обмотке отключающего реле, который должен примерно в 1,5 раза превышать $I_{ср}$ реле (с точностью $\pm 20\%$).

У защиты типа ДФЗ-503 дополнительно проверяются частотные

фильтры третьей и пятой гармоник и устройство компенсации (уставка $TA_{\text{кп}}$ равна 50 %). Настройка частотных фильтров проверяется при подаче на выводы 24-26 комплекта 1 (см. рис. 9.2) напряжения от генератора звуковой частоты достаточной мощности (цепи напряжения звезды закорочены на входе панели) и измерении напряжения срабатывания реле 1-КР2 на частотах 150 и 250 Гц, чем определяется степень загробления защиты. Загробление пускового органа от третьей гармоник (150 Гц) должно быть не менее 3,5, а от пятой гармоник (250 Гц) — не менее 6. Принятая в защите схема включения фильтров третьей и пятой гармоник обеспечивает ослабление влияния не только этих, но также всех гармонических составляющих более высокого порядка, включая 13-ю, наличие которой в нормальном режиме выявлено на некоторых линиях 500 кВ. При необходимости производится подрегулировка фильтров изменением воздушного зазора дросселей.

Проверка устройства компенсации заключается в проверке сопротивления компенсации и в правильности включения трансформаторов компенсации. Проверка сопротивления компенсации $Z_{2\text{к}}$ производится при токе 1 А, поочередно подаваемом на вход панели на фазы А0, В0 и С0, при холостом ходе трансформаторов компенсации $TA_{\text{кп}}$. Сопротивление компенсации подсчитывается по формуле

$$Z_{2\text{к}} = U/I,$$

где U — напряжение, измеренное на вторичной обмотке трансформатора $TA_{\text{кп}}$.

При отличии измеренного сопротивления $Z_{2\text{к}}$ от заданного более чем на $\pm 0,5$ Ом производится его регулировка винтами на соответствующей регулировочной доске трансформатора компенсации $TA_{\text{кп}}$.

Проверка правильности включения трансформаторов компенсации $TA_{\text{кп}}$ производится при имитации двухфазных КЗ «за спиной». Цели напряжения защиты питаются от фазорегулятора. При токе $I=1$ А, напряжении $U=\sqrt{3}IZ_{2\text{к}}$ и угле между током и напряжением, равном нулю, ток в обмотках поляризованных реле пускового органа должен быть близок к нулю (обычно не более 0,1 мА). Векторные диаграммы, поясняющие проверку правильности включения трансформаторов компенсации $TA_{\text{кп}}$ при имитации КЗ между фазами В и С, приведены на рис. 9.3.

При использовании в пусковом органе защиты пуска по току обратной последовательности [на линиях сравнительно небольшой протяженности, где по условиям работы с устройством однофазного повторного включения (ОАПВ) необходимо обеспечить компенсацию емкостных токов линии в органе манипуляции] вторичные обмотки трансформаторов компенсации $TA_{\text{кп}}$ перемычками отсоединяются от цепей напряжения и отсоединенные зажимы их соединяются в звезду. При такой схеме ток $I_{2\text{ср}}$, соответствующий срабатыванию реле 1-КР2, зависит от уставки $U_{2\text{ср}}$ по напряжению обратной последовательности и по сопротивлению компенсации ($I_{2\text{ср}}=U_{2\text{ср}}/Z_{2\text{к}}$). При минимальной уставке по $U_{2\text{ср}}=5$ В и максимальной уставке по $Z_{2\text{к}}=36$ Ом ток срабатывания обратной последовательности $I_{2\text{ср}}$ будет составлять примерно 0,14 А.

Проверка пускового органа защиты завершается проверкой дейст-

вия безынерционного пуска ВЧ передатчика. Перед проверкой на защиту и приемопередатчик подается постоянный ток, на вход ВЧ приемопередатчика подключается электронный осциллограф: цепи контактного пуска и цепи манипуляции отсоединяются и цепи манипуляции закорачиваются в сторону приемопередатчика.

При имитации двухфазного КЗ измеряются напряжения (ток) обратной последовательности при появлении на экране электронного осциллографа ВЧ импульсов и при появлении непрерывного ВЧ сигнала. Напряжение (тока) обратной последовательности при появлении ВЧ импульсов должно быть больше U_{2cp} (I_{2cp}) чувствительного исполнительного реле пускового органа, а при появлении непрерывного сигнала — меньше U_{2cp} (I_{2cp}) более грубого исполнительного реле. Интервал между появлением ВЧ импульсов и непрерывного ВЧ сигнала обычно не превышает 10 % напряжения (тока) срабатывания обратной последовательности. Замедление снятия безынерционного пуска оценивается по задержке исчезновения ВЧ сигнала на экране электронного осциллографа после отключения переменного напряжения (тока) от панели.

9.3. Проверка и настройка органа манипуляции

В объем проверки органа манипуляции входит:

- проверка действия стабилизаторов напряжения;
- измерение сопротивлений элементов схемы органа манипуляции;
- проверка настройки комбинированного фильтра токов;
- проверка устройства компенсации емкостных токов линий;
- проверка чувствительности органа манипуляции к различным видам КЗ;
- проверка зависимости угла между напряжением манипуляции и током на входе панели от тока.

Проверка действия стабилизаторов напряжения производится при подаче на вход панели тока I_{bc} . При проверке определяется ток I_{bc} , при котором загорается каждый из стабилизаторов напряжения (при снятом другом из панели). Момент зажигания определяется по электронному осциллографу, подключенному на выход органа манипуляции, по изменению формы одной из полуволн кривой напряжения (срезается верхушка синусоиды). Дополнительно контролируется напряжение на стабилизаторах в момент зажигания вольтметром переменного тока с малым потреблением. При совместной работе обоих стабилизаторов проверяется правильность включения их по полярности (должно быть встречное включение) при увеличении тока до $5 I_{ном}$. При правильной полярности включения будут ограничиваться обе полуволны кривой напряжения и у обоих стабилизаторов будет четко видно свечение; напряжение при этом не должно превышать 180 В.

Измерение сопротивлений элементов схемы органа манипуляции производится только у защит ДФЗ-503 и ДФЗ-504, имеющих частотные фильтры; у защиты ДФЗ-201 проверяется только сопротивление нагрузки фильтра. Проверка производится при подаче на входные зажимы панели защиты тока $I_{bc} = 0,5 I_{ном}$ поочередным измерением тока (миллиамперметром переменного тока с малым потреблением — обычно прибором ВАФ-85) в элементах фильтра и падения напряжения на

них (вольтметром прибора ВАФ-85). Сопротивление элементов фильтра и сопротивление всей нагрузки фильтра должны соответствовать заводским данным.

Проверка настройки комбинированного фильтра токов $I_1 + kI_2$. Для оценки правильности настройки фильтра определяется коэффициент k фильтра и проверяется соотношение между плечами рабочего сопротивления фильтра. Коэффициент k проверяется при подключенной нагрузке фильтра (у защиты ДФЗ-503 с устройством компенсации емкостных токов) на заданных уставках. На панель подается ток I_{bc} , равный $0,5 - 0,6 I_{ном}$, при этом токе измеряется ток, проходящий в нагрузке фильтра. Затем на панель подается такой ток I_{ab} , при котором миллиамперметр, измеряющий ток в нагрузке фильтра, будет показывать то же значение. По формуле

$$k = \frac{\sqrt{3} I_{bc} + I_{ab}}{\sqrt{3} I_{bc} - I_{ab}}$$

определяется значение коэффициента фильтра.

Для повышения точности измерения повторяются 3 раза при различных значениях тока и определяется среднее значение, которое не должно отличаться от заданного более чем на $\pm 8\%$.

При необходимости производится регулировка фильтра. Перед регулировкой проверяется правильность соотношения между плечами сопротивления фильтра (резистор отсоединяется от фильтра снятием перемычки) путем измерения падения напряжения на рабочей части резистора при подаче тока на вход панели в фазы АВ или СА. Для повышения точности отсчета устанавливается такой ток, чтобы стрелка вольтметра, подключенного на всю рабочую часть резистора, отклонялась примерно на всю шкалу и показывала напряжение, кратное трем (например, 0,9 или 9 В). Затем, не изменяя тока на входе панели, один из проводов от вольтметра переносят на провод между двумя сопротивлениями фильтра. Вольтметр должен показать при правильной установке регулировочных хомутиков $2/3$ ранее измеренной величины. В случае отклонения от этого соотношения производится регулировка изменением положения одного из хомутиков, причем если коэффициент k был меньше требуемого, то общее сопротивление фильтра надо уменьшить, и наоборот. После регулировки соотношения между плечами сопротивления фильтра снова определяется коэффициент фильтра.

По этой же схеме проверяется стабильность коэффициента фильтра при изменении тока на входе панели во всем диапазоне, гарантируемом заводом-изготовителем. Коэффициент k фильтра не должен отличаться от измеренного при $I_{bc} = 0,5 \div 0,6 I_{ном}$ более чем на $\pm 20\%$.

Проверка устройства компенсации емкостных токов линии. Устройство является комбинированным фильтром напряжения $U_1 + kU_2$, у которого ЭДС на входе фильтра зависит от значения емкостного тока линии. На устройстве устанавливаются заданные значения коэффициентов k и y_k . Переход к вторичным значениям производится по формуле

$$y_{k(втор)} = y_{k(перв)} \frac{K_U}{K_I}.$$

Расчет используемых вторичных витков трансреактора $2-TL_{км}$ (см. рис. 9.2) для заданного значения проводимости и устройства производится по формуле, %

$$n = 100 \frac{y_{к.задан}}{y_{кmax}}.$$

На зажимы $B-C$ цепей напряжения панели защиты подается напряжение $U_{bc}=100$ В. При закороченных зажимах A, B, C электронным вольтметром измеряется напряжение U_m на выходе органа манипуляции. После отключения напряжения U_{bc} на зажимы $B-C$ цепей тока панели защиты подается ток I_{bc} такого значения, при котором напряжение U_m на выходе органа манипуляции в точности равно напряжению при подведении к защите напряжения U_{bc} . Затем на панель, не изменяя схемы и полярностей включения, одновременно подают напряжение U_{bc} и ток I_{bc} , опережающий напряжение на угол 90° . Напряжение манипуляции U_m на выходе органа при этом должно быть близким к нулю.

При изменении в небольших пределах подаваемых на панель напряжения U_{bc} , тока I_{bc} и угла φ между ними добиваются минимального значения напряжения U_m . При этих условиях угол φ будет равен углу проводимости компенсирующего устройства, значение которого должно быть в пределах $86-88^\circ$. Проводимость, $1/\Omega$, для этого случая подсчитывается по формуле

$$y_k^{(bc)} = 2 \frac{I_{bc}}{U_{bc}}.$$

В случае отличия проводимости $y_k^{(bc)}$ от заданного значения y_k изменяется положение накладок на регулировочной доске трансреактора $2-TL_{км}$ (ступень регулировки — около 3 % максимального значения y_k).

Аналогично определяется проводимость компенсирующего устройства при подаче на панель напряжения $U_{a0}=60$ В (при закороченных зажимах A, B, C) и тока I_{a0} . Проводимость, $1/\Omega$, в этом случае подсчитывается по формуле

$$y_k^{(a0)} = \frac{2}{3} \frac{I_{a0}}{U_{a0}}.$$

Если проводимость $y_k^{(a0)}$ не равна проводимости $y_k^{(bc)}$, это значит, что коэффициент k фильтра U_1+kU_2 отличается от коэффициента k фильтра I_1+kI_2 . Для подрегулировки настройки фильтра U_1+kU_2 на защиту снова подают напряжение $U_{a0}=60$ В и ток $I_{a0} = \frac{3}{2} U_{a0} y_k^{(bc)}$

(ток опережает напряжение на угол φ) и, регулируя сопротивление в цепи обмотки трансреактора $2-TL_{км}$ (см. рис. 9.2), включенной на напряжение U_{a0} , устанавливают минимум напряжения небаланса.

При неправильной полярности включения компенсирующего устройства по отношению к комбинированному фильтру токов напряжение U_m на выходе органа манипуляции при питании защиты одновременно напряжением и током (по соответствующим схемам) не будет

равно нулю, а будет превышать в 2 раза напряжение U_M при питании только одним напряжением или током.

Правильность полярности включения обмотки трансформатора 2- TL_{KM} на напряжение $3U_0$, проверяется при одновременной подаче на панель защиты напряжения $U_{a0}=20\text{ В}$ (зажимы A, B, C закорочены) и напряжения $U_{a_{HCK}}$, равного по величине $U_0=3\sqrt{3} U_a=104\text{ В}$.

При таких значениях подводимых напряжений и строгом соблюдении полярности их включения напряжение U_M на выходе органа манипуляции должно быть равно нулю. При необходимости производится подрегулировка устройства изменением сопротивления переменного резистора в цепи обмотки $3U_0$. При правильном включении обмоток по полярности при одновременной подаче на панель указанных выше напряжений напряжение U_M на выходе органа будет в 2 раза больше, чем при подаче только одного из этих напряжений. Окончательно правильность полярности включения обмоток w_{bc} и w_{a0} проверяется при проверке защиты под рабочим током и напряжением.

Проверка чувствительности органа манипуляции к различным видам КЗ производится при имитации всех видов двухфазных и однофазных КЗ при токе $0,4-0,5 I_{ном}$. Приемопередатчик в начале проверки отсоединяется от органа манипуляции. Напряжение на выходе органа манипуляции контролируется вольтметром переменного тока с малым потреблением (можно использовать вольтметр прибора ВАФ-85). Напряжение на выходе органа манипуляции при симметричном трехфазном токе прямой последовательности подсчитывается по формулам

$$U_M^{(3)} = \frac{\sqrt{3} U_{bc}}{k-1} \text{ и } U_M^{(3)} = \frac{3U_{a0}}{k+1}.$$

Оба значения должны быть примерно равны и соответствовать данным завода-изготовителя. При одной из проверок подключается к защите приемопередатчик и определяется, насколько снижается напря-

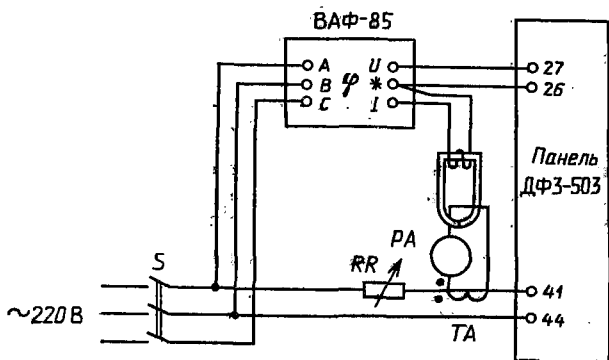


Рис. 9.4. Схема измерения угла между током I_{a0} на входе панели и напряжением на выходе органа манипуляции защиты типа ДФЗ-503

жение на выходе органа манипуляции за счет подключения дополнительной нагрузки. Напряжение не должно снижаться больше чем на 10 %. При большем снижении напряжения проверяются сопротивления резисторов манипуляторной лампы приемопередатчика.

Проверка зависимости угла между напряжением манипуляции и током на входе панели. Для защиты ДФЗ-201 угол измеряется при подаче на вход панели тока $I_{bc}=3$ А, для защит ДФЗ-503 и ДФЗ-504 — соответственно тока $I_{a0}=0,5$ А. Угол, ток и напряжение определяются прибором ВАФ-85 (рис. 9.4). По этой же схеме проверяется стабильность угла при изменении тока на входе панели от $0,3 I_{ном}$ до $5 I_{ном}$. Значение угла и его стабильность должны соответствовать заводским данным, при несоответствии проверяют все элементы органа манипуляции.

Полученные значения углов сравниваются с аналогичными углами на другом конце линии. При одинаковых токах при различии углов более 10° производится перерегулировка органов манипуляции на одном или обоих полуккомплектах защиты.

9.4. Проверка и настройка органа сравнения фаз

При проверке определяется зависимость длительности импульсов тока на выходе приемника от напряжения манипуляции. Приемопередатчик подключается к панели защиты, и на него подается номинальное напряжение постоянного тока. В органе сравнения фаз подключается отключающее реле. Напряжение манипуляции измеряется вольтметром переменного тока с малым потреблением (ВАФ-85), включенным на выходе органа манипуляции. Ток приема измеряется по контрольному миллиамперметру магнитоэлектрической системы. Изменяя ток I_{bc} , подаваемый на панель, что вызывает изменение U_m , снимают характеристику $\gamma = f(U_m)$.

Длительность импульсов, град, подсчитывается по формуле

$$\gamma = 360 I_{пр} / I_{пок},$$

где $I_{пр}$ — ток приема при работающем передатчике; $I_{пок}$ — ток покоя.

Характеристика снимается до $U_m=100$ В. Из построения характеристики определяется точка, при которой длительность импульсов на 15° меньше, чем при $U_m=100$ В. Соответствующее этой точке напряжение манипуляции условно называется напряжением полной манипуляции. При правильной настройке приемопередатчика длительность импульсов при $U_m=100$ В составляет $130-160^\circ$, а напряжение полной манипуляции $3-12$ В (для УПЗ-70).

Для ориентировочного определения минимального тока нагрузки, при котором возможен обмен ВЧ импульсами, дополнительно измеряется ток на входе панели I_{bc} , при котором срабатывает сигнальное реле органа сравнения фаз. Ток нагрузки, А, подсчитывается по формуле

$$I_{нагрmin} = I_{bc\text{ ср}} \frac{k-1}{\sqrt{3}} K_{ТА},$$

где $K_{ТА}$ — коэффициент трансформации тока защищаемого присоединения; k — коэффициент фильтра органа манипуляции при малых токах.

9.5. Проверка блокировки при неисправностях цепей напряжения защиты типа ДФЗ-503

В объем проверки блокировки входит:

проверка правильности включения по полярности и настройка на минимум небаланса;

проверка чувствительности блокировки;

проверка тока срабатывания и возврата исполнительного реле.

Проверка правильности включения по полярности и настройки на минимум небаланса производится отдельно для каждой фазы цепей напряжения (каждого трансформатора 2- TL_B , см. рис. 9.2). Одновременно к цепям напряжения звезды и разомкнутого треугольника каждой фазы подводятся однополярные номинальные напряжения (соответственно $100/\sqrt{3}$ и 100 В) и измеряется ток небаланса в обмотке исполнительного реле 2-КР5 миллиамперметром магнитоэлектрической системы с малым потреблением. Ток небаланса не должен превышать 0,3 мА. Во избежание прохождения тока через обходные цепи свободные зажимы других фаз закорачиваются и соединяются с нулевым зажимом цепей напряжения. Для исключения влияния угловых погрешностей подачу напряжений на схему производят от регулировочных автотрансформаторов или потенциометров с малым активным сопротивлением. Если измеренный ток небаланса превышает 0,3 мА, то производится регулировка на минимум небаланса изменением переменных сопротивлений в цепях обмоток звезды.

Чувствительность блокировки проверяется по такой же схеме при поэтапном снижении напряжения, подводимого к обмоткам блокировки (подключаемым к комплекту «звезда»). Исполнительное реле блокировки 2-КР5 (см. рис. 9.2) должно срабатывать при снижении напряжения на $7,5 \pm 0,75$ В.

В заключение производится проверка тока срабатывания и возврата исполнительного реле и определяется четкость работы его контактной системы при поданном на панель постоянном токе. Тот срабатывания должен быть в пределах 1,5—1,8 мА, коэффициент возврата — не менее 0,4.

9.6. Комплексная проверка защиты

Комплексная проверка защиты является завершающей проверкой при питании защиты от постороннего источника. Комплексная проверка состоит из проверки взаимодействия реле; проверки защиты имитацией КЗ; проверки действия защиты на отключение выключателей, на световые и звуковые сигналы.

Проверка защиты имитацией КЗ производится совместно с приемопередатчиком при напряжении постоянного тока, пониженном до $0,8 U_{ном}$. Проверка производится по принципиальной схеме цепей постоянного тока защит. Реле при проверке переключаются вручную. Исправность цепей накала ламп приемопередатчика проверяется при поочередном извлечении из панелей по одной лампе каждой параллельной ветви цепи накала (для УПЗ-70).

Проверка защиты имитаций КЗ производится совместно с приемо-

передатчиком при номинальном напряжении постоянного тока в следующем объеме:

а) проверяется согласование полярностей включения реле сопротивления, компенсирующего устройства пускового органа и устройства емкостной компенсации обратной последовательности органа управления ВЧ передатчиком (проверка производится только для защиты типа ДФЗ-503);

б) проверяется поведение выходного реле органа сравнения фаз (реле 2-КР4 защит ДФЗ-201 и ДФЗ-504, реле 2-КР4 защиты ДФЗ-503) при КЗ вне защищаемой зоны;

в) проверяется время срабатывания защиты при КЗ в защищаемой зоне.

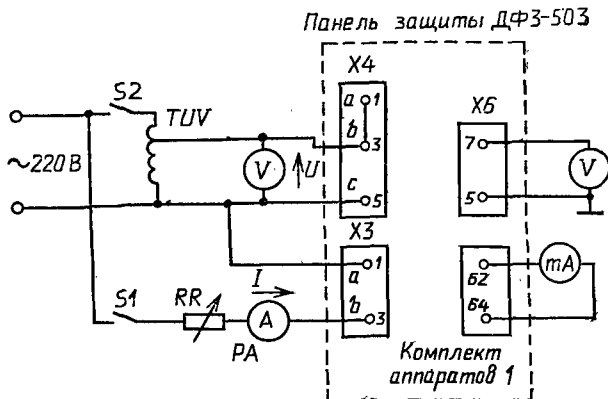


Рис. 9.5. Схема проверки согласования полярностей включения реле сопротивления, компенсирующего устройства пускового органа и устройства емкостной компенсации обратной последовательности органа управления ВЧ передатчиком защиты типа ДФЗ-503

Проверка согласования полярности производится по схеме, приведенной на рис. 9.5, при имитации КЗ на фазах АВ (рис. 9.6, а). Реле сопротивления 1-КЗ (см. рис. 9.1) переводится в режим работы органа направления мощности. При напряжении $U=100$ В и токе $I=0,1 \div 0,15$ А реле должно сработать. Векторная диаграмма в этом режиме приведена на рис. 9.6, б.

После этого проверяется правильность включения трансформаторов компенсации пускового органа 1-ТА_{кп} при $I=0,5$ А и $U=\sqrt{3}I Z_{2к}$. При одновременной подаче тока и напряжения на защиту ток в реле 1-КР1 и 1-КР2 пускового органа должен быть близок к нулю. Векторные диаграммы для этого режима приведены на рис. 9.6, в. Затем проверяется правильность включения устройства компенсации емкостных токов органа манипуляции. При подаче тока $I=0,05$ А (напряжение отключено) электронным вольтметром измеряется напряжение на выходе органа манипуляции. При отключенном токе включается напряжение и увеличивается до тех пор, пока электронный вольтметр,

включенный на выходе органа манипуляции, не покажет значение, которое было при подаче одного тока $I=0,05$ А. При одновременной подаче тока и напряжения (значения не меняются) электронный вольтметр на выходе органа манипуляции должен показать примерно удво-

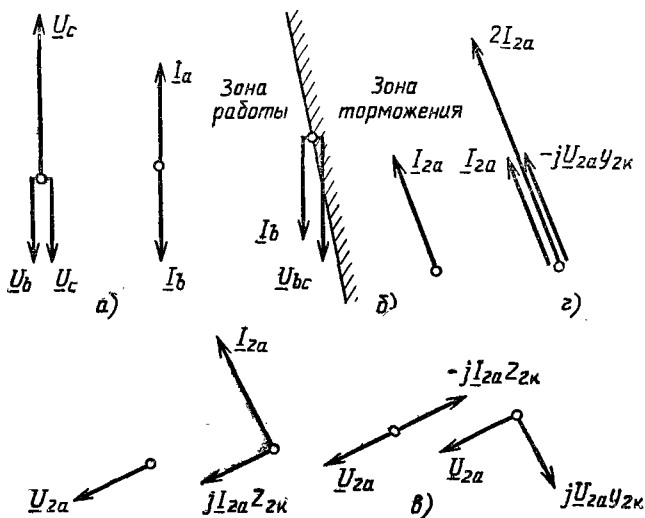


Рис. 9.6. Векторные диаграммы, поясняющие проверку согласования полярностей включения реле сопротивления, компенсирующих устройств пускового органа и устройства компенсации обратной последовательности органа управления ВЧ передатчиком защиты типа ДФЗ-503:

а — токи и напряжения, подводимые к защите при проверке; б — проверка реле сопротивления; в — проверка компенсирующего устройства пускового органа; г — проверка устройства компенсации емкостных токов обратной последовательности органа управления; $\underline{U}_{2a} = (1/3) (\underline{U}_a + a^2 \underline{U}_b + a \underline{U}_c)$; $\underline{I}_{2a} = (1/3) (\underline{I}_a + a^2 \underline{I}_b + a \underline{I}_c)$

$$\underline{U}_{2a} - j\underline{I}_{2a}\underline{Z}_{2k} = 0; \underline{I}_{2a} - j\underline{U}_{2a}\underline{Y}_{2k} = 2\underline{I}_{2a}$$

енное значение при раздельной подаче тока и напряжения. Векторные диаграммы для этого режима приведены на рис. 9.6, г.

Проверка поведения выходного реле органа сравнения фаз при КЗ вне защищаемой зоны производится при отключении от приемопередатчика органе сравнения фаз (снимается крышка соответствующего испытательного блока). У защиты типа ДФЗ-503 дополнительно выводится из работы блокировка при неисправностях цепей напряжения (снимается перемычка $SX5$ в цепи обмотки реле 2-КР5, см. рис. 9.2).

При пусковых органах, реагирующих на ток обратной последовательности, имитируется однофазное КЗ на фазе В в диапазоне токов от 1,05 тока срабатывания реле 1-2КР (или реле 1-2КР защиты ДФЗ-503 при использовании токового пуска) до тока, равного $7 I_{ном}$. При подаче на защиту любого значения тока в указанном диапазоне

якорь выходного реле органа сравнения фаз не должен вздрагивать, чем проверяется надежность блокировки защиты при КЗ вне защищаемой зоны. При использовании в защите ДФЗ-503 пускового органа, реагирующего на напряжение обратной последовательности, имитируется двухфазное КЗ на фазах АВ. Напряжение на защиту подается от 1,05 напряжения срабатывания реле 1-КР2 до 120 В; при любом значении напряжения в указанном диапазоне якорь реле 2-КР4 органа сравнения фаз не должен вздрагивать.

Проверка времени срабатывания защиты при КЗ в защищаемой зоне производится дважды: при несимметричном КЗ и при симметричном КЗ. В первом случае имитируется однофазное КЗ на фазе В при использовании в защите пускового органа, реагирующего на ток обратной последовательности, или двухфазное КЗ на фазах ВС при использовании в защите пускового органа, реагирующего на напряжение обратной последовательности. При обоих видах имитации подводимый ток (напряжение) устанавливается таким, чтобы ток в обмотке реле 1-2КР (1-КР2 для защиты ДФЗ-503) в 2 раза превышал ток его срабатывания (ток измеряется миллиамперметром магнитоэлектрической системы с малым потреблением). Остановка миллисекундомера осуществляется контактами выходного реле. Время срабатывания определяется как среднее из трех измерений и должно соответствовать заводским данным.

При симметричном КЗ проверяется время работы при срабатывании только токовых реле 1-1КА и 1-2КА и реле 1-КЗ для защит ДФЗ-201 и ДФЗ-504, для защиты ДФЗ-503 — только реле 1-КЗ.

9.7. Проверка защиты током нагрузки линии

Проверка защиты током нагрузки производится одновременно с обеих сторон линии при полностью собранных цепях (сняты только контактные мостики в цепях отключения выключателей и в цепях синхронизации), переключающее устройство находится в положении «сигнал».

Проверка производится в следующем объеме:

- проверка правильности подведения к защите цепей тока и напряжения;
- проверка правильности включения реле сопротивления;
- проверка правильности настройки фильтра тока (напряжения) обратной последовательности пускового органа и включения его компенсирующего устройства (последнее — только для защиты типа ДФЗ-503);
- проверка правильности включения комбинированного фильтра органа манипуляции ВЧ приемопередатчиком;
- проверка правильности включения, настройки и уставки устройства компенсации емкостных токов в органе манипуляции;
- проверка действия блокировки защиты при неисправностях цепей напряжения;
- снятие фазной характеристики и определение углов блокировки защиты;
- проверка правильности фазировки цепей тока и напряжения по обеим сторонам линии;
- проверка исправности цепей отключения выключателей линии;

проверка обмена ВЧ импульсами на нормально работающей линии.

Проверка правильности подведения к защите цепей тока и напряжения. При проверке измеряются вторичные напряжения на панели защиты стороны звезды и разомкнутого треугольника и производится их фазировка с действующими зажимами цепей напряжения. Затем измеряются вторичные токи в фазах защиты, снимается их векторная диаграмма и измеряется ток небаланса в нулевом проводе.

Анализом снятой векторной диаграммы на основании показаний щитовых ваттметров защищаемой линии и сведений от диспетчера о распределении активной и реактивной мощности определяется направление вектора первичных токов и правильность подведения цепей тока к защите.

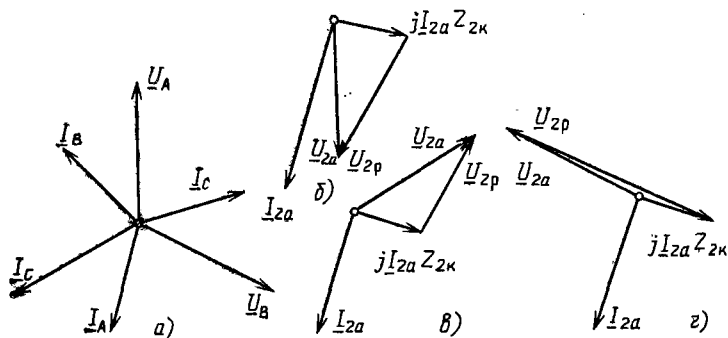


Рис. 9.7. Векторные диаграммы, поясняющие проверку правильности включения компенсирующего устройства пускового органа защиты ДФЗ-503 током нагрузки линии:

а — векторная диаграмма первичных токов и напряжения линии; *б* — отключено напряжение фазы *А*; *в* — отключено напряжение фазы *В*; *г* — отключено напряжение фазы *С*

Проверка правильности включения реле сопротивления производится путем перевода реле сопротивления в режим работы органом направления (см. § 9.2). Поведение контактов реле должно соответствовать данным векторной диаграммы (подробнее см. разд. 1).

Проверка правильности настройки фильтра тока (напряжения) обратной последовательности. При проверке настройки фильтра тока обратной последовательности измеряется ток в обмотках исполнительных реле миллиамперметром магнитоэлектрической системы при прямом и обратном чередовании фаз токов, подаваемых на защиту. Ток небаланса при прямом чередовании не должен превышать (при максимальной нагрузке; при других нагрузках производится пропорционально пересчет) тока возврата более грубого исполнительного реле; ток в обмотках исполнительных реле при обратном чередовании бывает, как правило, достаточным для срабатывания этих реле.

При проверке настройки фильтра напряжения обратной последова-

тельности (в защите типа ДФЗ-503) измеряется ток в обмотках реле 1-КР1 и 1-КР2 (см. рис. 9.2) при прямом и обратном чередованиях фаз напряжения, подаваемого на защиту. При прямом чередовании ток небаланса не должен превышать 0,3 мА, при обратном чередовании ток в реле должен быть примерно 25—30 мА.

При повышенных значениях тока небаланса выясняются причины повышенного небаланса (подробнее см. § 6.8).

Для проверки правильности включения компенсирующего устройства пускового органа защиты ДФЗ-503 на защиту подается обратное чередование фаз токов и напряжений (перекрещиваются фазы В и С) и при поочередном отсоединении фаз А, В и С от защиты с заменой отсоединенной фазы нулевым проводом измеряются токи в обмотках реле 1-КР1 и 1-КР2 при подключении только цепей тока, только цепей напряжения и при одновременном подключении цепей тока и напряжения. Измеренные токи в реле при одновременном подключении тока и напряжения сопоставляются с построенными на векторной диаграмме величинами U_{2p} (где $U_{2p} = U_{2a} - jI_{2a}Z_{2k}$) для данной нагрузки и заданной уставки Z_{2k} (рис. 9.7) и должны быть соответственно пропорциональны. Векторные диаграммы построены с учетом соотношений и углов между составляющими обратной последовательности токов и напряжений (подробнее см. § 6.2). Четкие результаты обеспечиваются при соблюдении условий $I_{\phi}Z_{2k} \geq 0,05 U_{\phi}$, где I_{ϕ} и U_{ϕ} — фазные значения тока и напряжения при проверке. Для получения более четких результатов при небольших токах нагрузки иногда устанавливают максимальную уставку по Z_{2k} (расчет в этом случае ведется на это значение Z_{2k}).

Проверка правильности включения комбинированного фильтра $I_1 + kI_2$ органа манипуляции. При проверке измеряется ток во вторичной обмотке трансформатора 2-ТЛ_м (см. рис. 9.1) органа манипуляции чувствительным миллиамперметром переменного тока или напряжение на выходе органа манипуляции вольтметром с малым потреблением (можно использовать вольтметр прибора ВАФ-85) при подаче на панель защиты обратного и прямого чередований фаз токов. Отношение напряжения (тока), измеренного при обратном чередовании, к напряжению (току), измеренному при прямом чередовании, должно быть примерно равно коэффициенту k комбинированного фильтра. При больших нагрузках, когда загораются стабилизаторы, и при очень малых нагрузках, когда сильно проявляется нелинейность цепей со сталью, полученные при проверке значения коэффициента k различаются значительно. При проверке защиты ДФЗ-503 цепи напряжения отсоединяются от трансформаторов напряжения и закорачиваются на входе панели.

Проверка правильности включения, настройки и уставки устройства компенсации емкостных токов в органе манипуляции. При первом включении защиты необходима проверка соответствия заданных уставок устройства компенсации фактическим емкостным токам линии при отключении ее с противоположного конца.

При таком режиме в линии со стороны, где она включена, проходит чисто емкостный ток, равный полному емкостному току линии (при наличии на линии реакторов они должны быть отключены только на противоположной стороне).

Для проверки компенсации емкостных токов обратной последова-

тельности на входе панели перекрещиваются фазы тока B и C и фазы напряжения B и C . На выходе органа манипуляции подключается электронный вольтметр. При поочередной подаче на панель только тока обратной последовательности, только напряжения обратной последовательности и совместной подаче тока и напряжения измеряются напряжения на выходе органа манипуляции. При подаче только тока обратной последовательности вольтметр измеряет напряжение U_m , соответствующее полному емкостному току линии, при подаче только напряжения обратной последовательности — напряжение компенсации, при совместной подаче — напряжение U_m с учетом компенсации. Если уставками задана компенсация половины емкостных токов, то два последних измерения должны быть примерно равны между собой, а сумма их должна быть равна первому измерению.

Для проверки компенсации емкостных токов прямой последовательности на вход панели поочередно подаются только ток прямой последовательности, только напряжение прямой последовательности и ток и напряжение вместе. Особенностью проверки являются значительно меньшие значения U_m и искажение результатов при имеющейся несимметрии первичных токов или напряжениях.

Дополнительно проверяется правильность включения устройства компенсации емкостных токов обратной последовательности под рабочим током. Электронным вольтметром измеряется напряжение на выходе органа манипуляции также при подведении к панели только напряжения обратной последовательности (перекрещены фазы B и C), при поочередном подведении только тока одной из фаз тока в фазу A панели и при их совместном подведении к панели.

При одновременной подаче на панель напряжения обратной последовательности и тока одной из фаз напряжения U_m во всех трех сочетаниях будут значительно отличаться друг от друга и будут зависеть от значения тока и угла сдвига фаз нагрузки:

$$U_{2m} = I_{2a} Z_{\phi} - j U_{2a} y_{2k} Z_{\phi},$$

где I_{2a} — составляющая тока обратной последовательности фазы A от соответствующего тока, подводимого к панели защиты; $j U_{2a} y_{2k} Z_{\phi}$ — напряжение компенсации обратной последовательности (при перекрещенных фазах напряжения B и C); U_{2m} — результирующее напряжение обратной последовательности на выходе органа манипуляции.

Если данные построения векторной диаграммы (рис. 9.8) и результаты измерений совпадают, значит, устройство компенсации емкостных токов включено правильно.

Проверка действия блокировки защиты при неисправностях в цепях напряжения (только в ДФЗ-503). При проверке измеряется ток небаланса в обмотке исполнительного реле блокировки 2-КР5 (см. рис. 9.2) миллиамперметром магнитоэлектрической системы с малым потреблением при нормальной схеме. Ток небаланса обычно бывает менее 0,1 мА. Затем при поочередном снятии всех фаз комплекта звезды трансформаторов напряжения (A , B , C , 0 и ABC) и всех фаз комплекта разомкнутого треугольника трансформаторов напряжения (a_n , b_n , c_n и $a_n b_n c_n$) измеряют также ток в обмотке исполнительного реле (миллиамперметр на пределах до 40 мА) и наблюдают за поведением контактов исполнительного реле. Реле при всех комбинациях снятия

фаз должно четко срабатывать (кратность тока к току срабатывания при самых неблагоприятных случаях — не менее четырех).

Снятие фазной характеристики и определение углов блокировки защиты. При снятии фазной характеристики определяется зависимость тока в обмотке отключающего выходного реле органа сравнения фаз от угла сдвига между ВЧ импульсами приемопередатчиков. Фазная характеристика снимается при номинальных напряжениях постоянного тока. Защищаемая линия при этом может быть отключена. Приемопе-

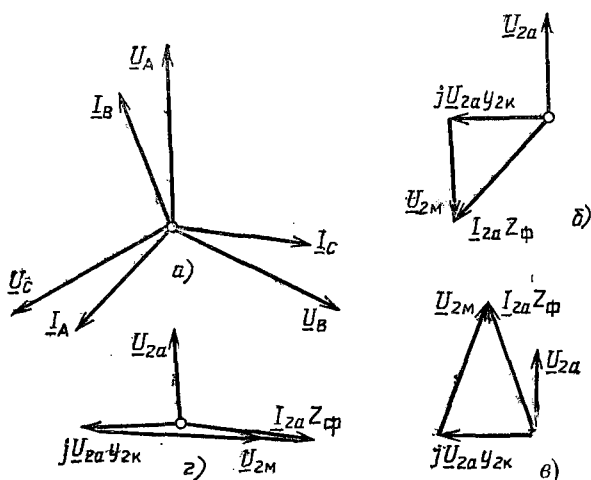


Рис. 9.8. Векторные диаграммы, поясняющие проверку правильности включения компенсирующего устройства емкостных токов обратной последовательности органа манипуляции защиты ДФЗ-503 током нагрузки линии:

а — векторная диаграмма перзичных токов и напряжений линии; *б* — к защите подведен ток фазы *А*; *в* — к защите подведен ток фазы *В*; *г* — к защите подведен ток фазы *С*

редатчики с обеих сторон запускаются кнопками. На выходе приемопередатчиков (параллельно ВЧ кабелям) подключаются электронные осциллографы. К манипуляторным лампам приемопередатчиков через изолирующие трансформаторы подводится напряжение $U_M = 100$ В (рис. 9.9). Последовательно с обмоткой отключающего реле органа сравнения фаз включается миллиамперметр магнитоэлектрической системы. Угол напряжения манипуляции регулируется с одной стороны линии фазорегулятором и контролируется фазометром (фазоиндикатором). С помощью фазорегулятора устанавливается нуль отсчета — такое положение ВЧ импульсов, когда середины их совпадают. Изменяя угол между ВЧ импульсами от 0 до 360° через каждые 15—30°, по миллиамперметрам, измеряющим ток в обмотках отключающих реле,

определяют токи для различных значений углов. По полученным данным строится фазная характеристика защиты. При снятии обеих ветвей фазной характеристики измеряют токи срабатывания и возврата отключающих реле и соответствующие им углы блокировки. При отклонении измеренных углов блокировки от заданных производится подстройка переключением дополнительных секций обмоток или непосредственно механической регулировкой самих реле. При несимметричной фазной характеристике за угол блокировки принимается меньший из углов. Несимметрия вызывается различием ВЧ сигналов своего и удаленного приемопередатчиков, искажением формы импульсов и отражен-

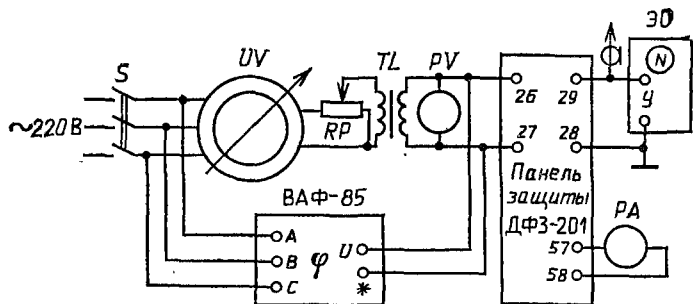


Рис. 9.9. Схема снятия фазной характеристики дифференциально-фазной ВЧ защиты типа ДФЗ-201 при помощи фазорегулятора:

UV — фазорегулятор; ВАФ-85 — вольтамперфазоиндикатор; TL — изолирующий трансформатор; ЭО — электронный осциллограф; I — ВЧ кабель

ными импульсами (при одночастотной настройке). При несимметрии 5—8° защиту можно включать в работу, при больших отклонениях необходимо найти и устранить причину.

Снятие фазной характеристики производится только при первом включении защиты (или при каких-либо изменениях, касающихся блока сравнения фаз и приемопередатчика). При нормальных эксплуатационных проверках ее не снимают. Для контроля за состоянием органа сравнения фаз измеряют только токи срабатывания и возврата обоих поляризованных реле при питании органа сравнения фаз переменным напряжением от постоянного источника (см. § 9.4). В связи с тем что форма кривой тока органа сравнения фаз при снятии фазной характеристики значительно отличается от синусоидальной, токи срабатывания и возврата поляризованных реле, определенные по фазной характеристике, будут отличаться от измеренных при питании органа фаз переменным напряжением от постороннего источника.

Проверка правильности фазировки тока и напряжения по обеим сторонам линии. При проверке приемопередатчики пускаются кнопками. Проверка соответствия фазировки цепей тока каждой стороны производится по току в обмотках отключающих поляризованных реле органов сравнения фаз. Дополнительно контролируются токи приема по миллиамперметрам приемопередатчиков. На выходе приемопередатчи-

ков включают электронные осциллографы. При подаче на одной из подстанций в защиту тока только одной фазы на другой подстанции в защиту подаются поочередно токи всех трех фаз в одну и ту же фазу. При подаче в защиты одноименных фаз токи в обмотках отключающих поляризованных реле и токи приема должны быть равны нулю на обоих комплектах защиты. На экранах осциллографов середины импульсов обоих передатчиков будут сдвинуты примерно на 180° , т. е. будут отсутствовать перерывы между импульсами токов ВЧ.

Такая же проверка производится при поочередном подключении к защите на первой подстанции токов двух других фаз. На питающем конце линии могут иметь место небольшие токи в отключающих поляризованных реле и на выходе приемника, обусловленные конечной скоростью распространения ВЧ сигналов (6° на каждые 100 км линии) и сдвигом фаз между токами на концах линии, который вызывается ее емкостной проводимостью (особенно при малых нагрузках). На экране осциллографа можно измерить и оценить эти сдвиги (подробнее см. § 9.8). Для защиты ДФЗ-503 дополнительно проводится фазировка при включенной компенсации емкостных токов.

После проверки соответствия фазировки цепей тока на обоих полуконтактах к защитам подводятся все три фазы тока по нормальной схеме. Измеряются токи в обмотках отключающих поляризованных реле органа сравнения фаз и токи приема при нормальном подведении манипуляции (от органа манипуляции к приемопередатчику) и при перекрещенных проводах цепей манипуляции на одной из подстанций. В первом случае токи должны быть равны нулю (за исключением случаев, описанных выше), во втором случае при достаточной нагрузке линии могут срабатывать реле. Фазировка проверяется только при новом включении или при изменениях в токовых цепях защиты. При плановых проверках защиты измеряются токи в реле и в приемнике при всех фазах тока.

Для защиты типа ДФЗ-503 (при использовании емкостной компенсации) дополнительно производится фазировка цепей напряжения на обоих подстанциях. Цепи тока от защит отключаются, на обоих полуконтактах защиты перекрещиваются фазы В и С напряжения, таким образом, на защиту подается напряжение обратной последовательности, измеряется ток на выходе приемников и в обмотках реле 2-КР4 (см. рис. 9.2). При правильной фазировке цепей напряжения ток в обмотках реле 2-КР4 должен быть не менее 2 мА при длине линий 100 км и больше.

Проверка исправности цепей отключения выключателей линии производится опробованием действия защиты на отключение выключателей. Действие защиты имитируется нажатием вручную на якорь выходного реле защит или подачей плюса оперативного тока на переключающее устройство защиты.

Проверка обмена ВЧ импульсами на нормально работающей линии. При проверке измеряется ток приема и ток выхода приемопередатчика по его приборам. При запуске передатчика только с одной стороны (при достаточном токе нагрузки линии) ток приема и ток выхода имеют определенные значения (указываются на табличке), срабатывает сигнальное реле органа сравнения фаз и выпадает сигнальное реле «вызов». При одновременном запуске обоих передатчиков ток приема падает до нуля, ток выхода имеет максимальное значение.

9.8. Особенности проверки защит на линиях с ответвлениями и на протяженных линиях 220—500 кВ

Панели дифференциально-фазных ВЧ защит в заводском исполнении не приспособлены для использования на линиях с ответвлениями. Для использования защит на таких линиях в них вносятся изменения. Изменения зависят от количества ответвлений, наличия или отсутствия питания со стороны ответвления и других факторов и вносятся по указанию служб релейных защит. Основные изменения следующие.

загрубление отключающего реле, включенного на выходе фильтра токов обратной последовательности в пусковых органах защит;

установка дополнительных пусковых органов (дополнительные реле тока, реле сопротивления, реле мощности обратной последовательности и т. д.).

Загрубление реле 1-2КР (защит ДФЗ-201 и ДФЗ-504) производится одним из двух способов при сохранении прежней чувствительности реле 1-1КР;

1) изменением рабочего и тормозного моментов реле. Для этого рабочая обмотка, имеющая большее число витков, используется как тормозная, а тормозная — как рабочая. Величина загрузки определяется тормозным током, который регулируется подбором нужного сопротивления добавочного резистора;

2) шунтированием рабочей обмотки реле 1-2КР резистором. Оба способа позволяют загрузить реле в 2,25 раза по сравнению с заводской регулировкой.

При необходимости общего загрузки реле 1-1КР и 1-2КР на выходе выпрямительного моста устанавливается дополнительный конденсатор, при этом можно получить загрузку в 1,5 раза.

Возможно применение общего загрузки обоих реле и дополнительного загрузки реле 1-2КР.

При фазировке цепей тока на линиях с ответвлениями проверяется фазировка попарно между отдельными полуккомплектами при отключенных других концах. При невозможности отключения линии с других концов фазировка производится с предварительным определением угла между токами, подаваемыми на полуккомплекты защит на разных подстанциях.

При фазировке цепей тока протяженных линий 220—500 кВ емкостные токи их значительно влияют на фазовый сдвиг между токами по концам линии, причем чем меньше нагрузка линии, тем сильнее влияние. В предельном случае при активной мощности, равной или близкой к нулю, и большей разнице по уровню напряжений на концах линии направление токов по концам линии будет одинаковым, угол θ будет примерно равен нулю, защита может ложно сработать (если нет устройства емкостной компенсации в органе манипуляции).

Для исключения ошибок при фазировке необходимо предварительно оценить угол сдвига между ВЧ импульсами ψ . При значительных углах сдвига (20° и более) угол ψ подсчитывается по формуле $\psi = \theta \pm \alpha$, где θ — угол между токами по концам линии, вызванный емкостными токами; α — угол, вызванный запаздыванием ВЧ сигналов (6° на 100 км длины линии); знак плюс принимается на питающем конце, минус — на приемном.

Угол θ подсчитывается по приближенной формуле

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P}{3I^2[X_C - (X_L/2)] + Q},$$

где P и Q — активная и реактивная мощность в линии на данном ее конце, МВт и Мвар; I — ток на данном конце линии, кА; X_C и X_L — емкостное и индуктивное сопротивление линии, Ом.

Методика определения направления мощности приведена в разд. 1. При фазировке тока защит ДФЗ-503 дополнительно к проверкам, изложенным в § 9.7, целесообразно провести фазировку при включенных устройствах компенсации емкостных токов в органе манипуляций. При включенных устройствах угол ψ будет компенсироваться полностью.

Раздел десятый

НАЛАДКА ПОПЕРЕЧНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ И ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

10.1. Схемы включения реле направления мощности поперечных дифференциальных защит

Выполнение токовых цепей защиты. Поперечные дифференциальные направленные защиты применяются в качестве основных защит двух параллельных линий 35—220 кВ с односторонним питанием, а также линий 35—110 кВ с двусторонним питанием. Защиты осуществляют выбор и отключение поврежденной линии, оставляя в работе параллельную, не поврежденную. Выбор поврежденной линии осуществляется избирателями — реле направления мощности двустороннего действия типа РБМ-270. Пусковые реле максимального тока типа РТ-40, включенные на фазные токи и ток нулевой последовательности, фиксируют возникновение аварийного режима в зоне работы по значению тока. Для выполнения защиты на линиях $W1$ и $W2$ устанавливают однотипные трансформаторы тока TA с одинаковыми коэффициентами трансформации и соединяют их по схеме на разность токов, как показано на рис. 10.1. На линии $W1$ в нуль звезды объединяют выводы $H_2 TA1$, фазные провода выводят с H_1 ; на $W2$ в нуль звезды объединяют выводы $H_1 TA2$, фазные провода выводят с H_2 . Соединения производятся перемычками, устанавливаемыми на внутренней стороне рядов зажимов.

Для обеспечения возможности переключений при проверке защиты под нагрузкой в токовых цепях поперечных защит должны использоваться только испытательные зажимы.

Последовательно соединенные обмотки реле направления мощности (избиратели) и токового реле (пусковые органы) включаются параллельно обмоткам $TA1$, $TA2$, соединенным на разность токов, чем обеспечивается циркуляция по токовым цепям защиты вторичных токов TA

обеих линий. Такое соединение ТА, когда ток в реле равен разности вторичных токов линий $I_p = I_1 - I_2$, характерен для поперечной дифференциальной защиты с циркулирующими токами. В нормальных режимах, когда по линиям протекают равные по значению и совпадающие по фазе токи нагрузки, ток в реле равен нулю, т.е.

$$I_p = I_1 - I_2 = 0.$$

Практически из-за некоторой разницы первичных токов, различия характеристик ТА1 и ТА2 в дифференциальной цепи всегда проходит небольшой ток небаланса, значительно возрастающий при внешних КЗ. От максимального тока небаланса при внешних КЗ отстраиваются соответствующей уставкой срабатывания пускового органа.

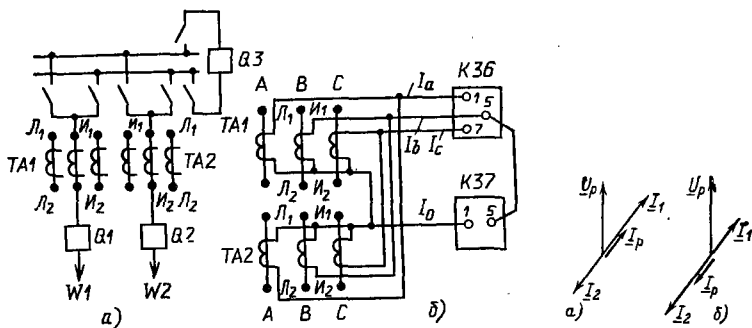


Рис. 10.1. Схема токовых цепей поперечной дифференциальной направленной защиты:

а — схема первичных соединений; б — схема подключения токовых цепей комплектов КЗ 6 и КЗ 7

Рис. 10.2. Векторная диаграмма токов в цепях поперечной дифференциальной защиты:

а — при КЗ на W1; б — при КЗ на W2

При КЗ в зоне действия защиты на одной из линий токи, проходящие по линиям не равны и в дифференциальной цепи протекает ток, совпадающий с направлением тока линии, на которой произошло КЗ (рис. 10.2). В случае КЗ на линии W1 токи замыкания по линиям будут различны, при этом $I_1 > I_2$ и ток в реле $I_p = I_1 - I_2$ совпадает по фазе с током поврежденной линии. Реле направления мощности включают так, чтобы оно в этом режиме произвело выбор отключения именно поврежденной линии, т.е. W1. Аналогично защита должна работать при КЗ на линии W2. При возникновении КЗ в зоне действия защиты, на одной из ЛЭП вблизи шин противоположной подстанции, когда разница токов I_1 и I_2 незначительна и поэтому реле-избиратели могут не работать, защита действует каскадно, т.е. сначала отключается от своих за-

щит выключатель поврежденной линии на противоположном конце, а затем уже работает защита на данном конце.

Схемы включения реле направления мощности аналогичны рассмотренным в разд. 3, в защитах от междуфазных КЗ реле включаются обычно по 90-градусной схеме, в защите от замыканий на землю — на фильтр токов и напряжений нулевой последовательности.

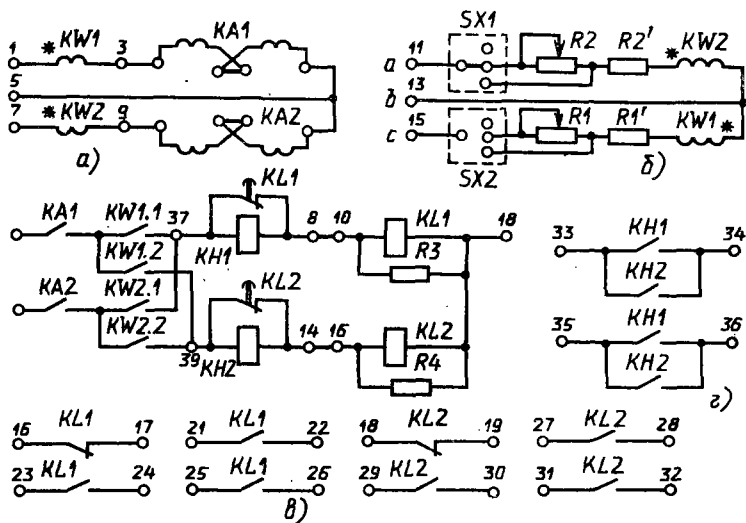


Рис. 10.3. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ 6:

а — цепи переменного тока; б — цепи переменного напряжения; в — цепи оперативного постоянного тока; г — цепи сигнализации

Комплектные устройства защиты типов КЗ 6 и КЗ 7. Как правило, поперечные дифференциально-направленные защиты линий выполняются с использованием комплектных устройств: комплекта защиты типа КЗ 6 — для выполнения поперечной дифференциальной токовой направленной защиты при междуфазных КЗ (рис. 10.3), комплекта защиты типа КЗ 7 — для выполнения поперечной дифференциальной токовой направленной защиты при замыканиях на землю (рис. 10.4). Комплект КЗ 6 может использоваться отдельно, как самостоятельная автономная защита, комплект КЗ 7 обычно используется только для выполнения защит при одновременном использовании обоих комплектов, когда избиратель и пусковые органы комплекта КЗ 7, действуют на выходные органы $KL1$ и $KL2$ комплекта КЗ 6, для совместной работы комплекты включаются по схеме, приведенной на рис. 10.5. При совместном использовании комплектов оперативный ток на защиту может подаваться через последовательно соединенные замыкающие контакты реле $KQC1$ и $KQC2$ ($KQC1$ — реле положения «включено» выключателя $Q1$

линии $W1$, $KQC2$ — реле положения «включено» выключателя $Q2$ линии $W2$); или контакты $KQC1$, $KQC2$ могут выполнять также блокирующие функции при включении их непосредственно в цепи выходных реле $KL1$ и $KL2$. Контакт $KQC2$ включают последовательно с $KL1$ (в рассечку между выводами 8-10), контакт $KQC1$ — последовательно с $KL2$ (между выводами 14-16). Этим достигается автоматический вывод защиты из работы при отключении выключателя одной из линий, для исключения возможного отключения оставшейся в работе линии при сквозном КЗ вне зоны защиты.

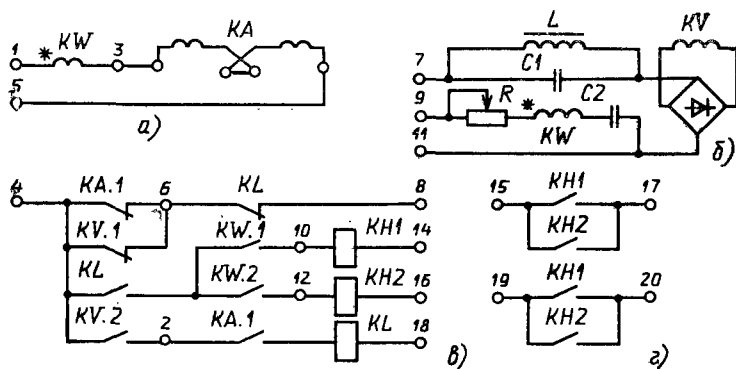


Рис. 10.4. Принципиальная схема комплекта КЗ 7:

a — цепи переменного тока; $б$ — цепи переменного напряжения; $в$ — цепи оперативного постоянного тока; $г$ — цепи сигнализации

При наличии шиносоединительного выключателя $Q3$ контакты $KQC1$ и $KQC2$ включаются между выводами 14-16, 8-10, а оперативный ток подается на защиту через переключающее устройство X , имеющее три фиксированных положения I , II , III (рис. 10.5, $в$):

I — оперативный ток с защиты снят, защита выведена из работы;

II — выключатель $Q3$ не используется (например, выведен в ремонт), оперативный ток подан на защиту, защита введена в работу;

III — выключатель $Q3$ находится в работе, оперативный ток подается на защиту через контакты $KQC3$ реле положения «включено» выключателя $Q3$. При отключении $Q3$ защита автоматически выводится из работы.

В комплекте защиты КЗ 6 установлены два реле максимального тока $KA1$ и $KA2$ (пусковые органы), два реле направления мощности $KW1$ и $KW2$ (избиратели), два промежуточных реле $KL1$ и $KL2$ (выходные реле защиты), два указательных реле $KH1$ и $KH2$. При междуфазных КЗ в зоне действия защиты работают пусковые реле поврежденных фаз и в зависимости от того, на какой линии повреждение, избиратели $KW1$, $KW2$ производят выбор — замыкают правые или левые контакты. При замыкании правых контактов $KW1.1$, $KW2.1$ напряжение подается на выходное реле $KL1$, действующее на отключение

W1. При замыкании левых контактов KW1.2, KW2.2 напряжение подается на входное реле KL2, действующее на отключение W2. Выходные реле KL1 и KL2 имеют замедление на срабатывание, которое необходимо для исключения ложного отключения выключателей при работе раз-

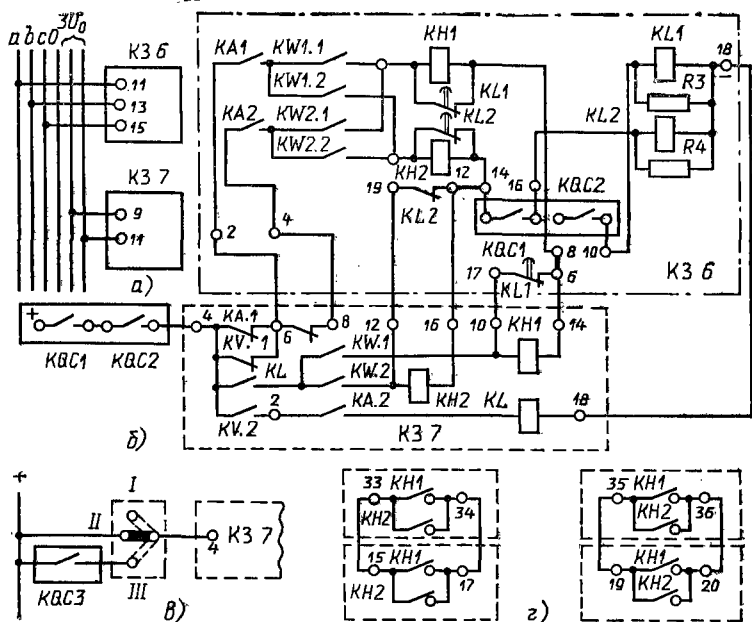


Рис. 10.5. Принципиальная схема соединения комплектов защиты типов КЗ 6 и КЗ 7:

а — цепи переменного напряжения; б — цепи оперативного постоянного тока; в — подача оперативного тока на защиту при наличии шинсоединительного выключателя Q3; г — цепи сигнализации. Части схемы, обведенные пунктирной линией, относятся к комплексу типа КЗ 6, прерывистой линией — к комплексу КЗ 7, тонкой сплошной линией — контакты реле автоматики схемы управления Q1, Q2 и Q3

рядников, когда пусковые реле и избиратели могут кратковременно замыкать контакты и подавать оперативный ток на обмотку выходного реле. Для исключения при этом ложного выпадения указательных реле KH1 и KH2 их обмотки шунтируются размыкающими контактами реле KL1 и KL2. Время срабатывания защиты может регулироваться изменением числа демпфирующих шайб на сердечнике реле KL1 и KL2 в пределах 0,12—0,2 с.

В комплекте защиты КЗ 7 установлены реле максимального тока КА, реле максимального напряжения нулевой последовательности КВ (пусковые органы), реле направления мощности КВ (избиратель), про-

межуточное быстродействующее реле KL , фиксирующее срабатывание пусковых органов, и указательные реле $KH1$ и $KH2$. При однофазных КЗ в зоне действия защиты максимальные реле пусковых органов своими размыкающими контактами $KA1$ и $KV.1$ снимают оперативный ток с защиты от междофазных КЗ для исключения возможного ложного ее срабатывания (см. § 3.1). Реле-повторитель KL работает через последовательно соединенные замыкающие контакты $KV.2$ и $KA.2$. В зависимости от того, на какой линии произошло КЗ, реле направления мощности замыкает правые контакты $KW.1$ —работает выходное реле $KL1$ —или левые контакты $KW.2$ —работает выходное реле $KL2$ ($KL1$ и $KL2$ —реле комплекта КЗ 6). Указательные реле $KH1$ и $KH2$ комплекта КЗ 7 шунтируются размыкающими контактами $KL1$ и $KL2$ для исключения ложных сигналов. Комплекты КЗ 6 и КЗ 7 выполняются заводом на напряжение оперативного постоянного тока 110 или 220 В, пусковые органы—реле максимального тока KA , $KA1$ и $KA2$ —выполняются на токи до 200 А, реле максимального напряжения KV имеет уставки срабатывания 4—8 В. Последовательно с обмоткой KV включен фильтр $L—C1$ для уменьшения влияния составляющей третьей гармоники. Технические данные комплектных реле направления мощности приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Технические данные реле напряжения мощности, устанавливаемых в комплектах КЗ 6 и КЗ 7

Тип комплекта	Тип реле	Номинальный ток реле $I_{ном}$, А	Угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$, град	Номинальная мощность срабатывания при $\varphi_{м.ч}$, $U_{ном}$ и токе $I_p = I_{ном}$, В · А
КЗ 6	РБМ-271/2	1	-30 ± 5	0,7
	РБМ-27/2	1	-45 ± 5	0,9
	РБМ-271/1	5	-30 ± 5	3,5
	РБМ-271/1	5	-45 ± 5	4,5
КЗ 7	РБМ-278/2	1	$+70 \pm 5$	0,24
	РБМ-278/1	5	$+70 \pm 5$	1,2

Мощность срабатывания реле направления мощности, устанавливаемых в комплектах, несколько увеличена по сравнению с реле этого же типа, но устанавливаемыми отдельно на панелях. Заглубление реле достигается дополнительной затяжкой противодействующих пружин—этим исключается возможность вибрации контактов встроенных реле мощности из-за близко расположенных других реле комплектов.

Реле мощности комплекта КЗ 7 не предназначено для длительного режима включения цепи напряжения и выдерживает напряжение 100 В на обмотке в течение 1 мин.

Изменение угла максимальной чувствительности реле $KW1$ и $KW2$

комплекта КЗ 6 осуществляется переключающими устройствами $SX1$ и $SX2$. При использовании последовательно включенных резисторов $R1-R1'$ и $R2-R2'$ реле $KW1$ и $KW2$ имеют $\varphi_{н.ч} = -45 \pm 5^\circ$, при исключении резисторов $R1$ и $R2$ $\varphi_{н.ч} = -30 \pm 5^\circ$ (см. рис. 10.3). Выполнение защиты при использовании отдельных реле, монтируемых на панели, в основном аналогично рассмотренной схеме с комплектами КЗ 6 и КЗ 7.

Для удобства работы с заводской документацией обозначения соответствующих элементов приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2. Обозначения элементов, входящих в комплекты КЗ 6 и КЗ 7

Цепи переменного тока, напряжения		Цепи оперативного постоянного тока		Цепи сигнализации	
в справочнике	в схемах завода-изготовителя	в справочнике	в схемах завода-изготовителя	в справочнике	в схемах завода-изготовителя
KA	PT	KL	PP	$KN1$	$1PY$
$KA1$	$1PT$	$KL1$	$1PP$	$KN2$	$2PY$
$KA2$	$2PT$	$KL2$	$2PP$		
KV	PH	$SX1$	$PY1$		
$KW1$	$1PM$	$SX2$	$PY2$		
$KW2$	$2PM$				

10.2. Особенности наладки и проверки поперечных дифференциальных направленных защит под нагрузкой

Контактная система реле типа РБМ-270 состоит из двух замыкающих контактов двустороннего действия (у реле, не встроенных в комплект — без общей точки). Противодействующий момент на подвижной контактной системе создается двумя возвратными спиральными пружинами с упорными поводками, которые воздействуют на вертикальный штифт, установленный на траверсе подвижных контактов. При отсутствии на реле электрического момента подвижные контакты под действием равных и противоположных моментов возвратных пружин удерживаются в среднем нейтральном положении. Так как действие каждой пружины ограничено упором и поводки механически жестко не связаны со штифом, то каждая пружина противодействует повороту подвижных контактов только в одну определенную сторону, поэтому реле имеет индивидуальную регулировку мощности срабатывания для каждой контактной пары. Натяжение каждой пружины устанавливается с помощью регулировочных колец, фиксирующихся двумя стопорными винтами.

Оперативный ток к подвижным контактам подводится через две горизонтально-параллельные мягкие спиральные пружины, которые укреплены на оси подвижного барабанчика и имеют встречную намотку, чем

исключается дополнительный момент на подвижной контактной системе при отклонении ее от нейтрального положения на угол $\pm 15^\circ$.

При ревизии механической части реле для оценки состояния подвижной системы необходимо регулировочными кольцами полностью ослабить возвратные (противодействующие) пружины и отвести поводки от штифта, предварительно отметив заводское положение регулировочных колец. При этом подвижные контакты должны оставаться в среднем нейтральном положении; если они отклоняются от среднего положения, то необходимо установить подвижную контактную систему в рабочее положение изменением натяжения токоподводящих пружин. У реле серии РБМ-270 с двусторонними контактами недопустимо отклонять подвижные контакты от среднего положения на угол более $15\text{--}20^\circ$, так как это может привести к повреждению токоподводящих пружин. Поэтому качания подвижной системы следует проверять без снятия пластины с неподвижными контактами, достаточно развернуть их в крайнее левое и правое положения. Подвижная система при отклонении ее на угол $15\text{--}20^\circ$ должна совершать до остановки три—пять полных колебаний.

Проверку самоходов реле направления мощности производят при полностью ослабленных противодействующих пружинах в соответствии с указаниями § 2.6 с учетом следующих рекомендаций.

1. У реле направления мощности защиты от междупазных КЗ необходимо устранить самоход от напряжения до 110 В при разомкнутой токовой обмотке.

Самоход от тока при закороченной обмотке напряжения проверяют до тока срабатывания пускового органа, так как при близких КЗ «за спиной», когда напряжение на реле снижается до нуля (соответствует режиму закороченной обмотки напряжения), через реле протекает только ток небаланса. Если самоход от тока при ослабленных пружинах приводит к повороту подвижных контактов на некоторый угол, необходимо проверить поведение реле при заводской затяжке пружин. При заводской затяжке пружин реле от самохода по напряжению и по току не должно замыкать контакты.

Ограничиваться только проверкой поведения реле от напряжения и тока при заводской затяжке пружин без устранения самохода не следует, так как при последующей регулировке мощности срабатывания реле это может привести к значительным отличиям между углами затяжки каждой из пружин.

2. У реле направления мощности защиты от замыкания на землю необходимо устранить самоход по току до тока срабатывания пускового органа при закороченных цепях напряжения. Самоход от напряжения для реле защиты от замыкания на землю существенного значения не имеет, поэтому достаточно только проверить поведение реле от напряжения без устранения самохода.

Зоны работы и ф.м.ч. реле, как правило, определяются только для правой пары контактов — они соответствуют техническим данным, приведенным в табл. 10.1; для левой пары контактов зона работы и ф.м.ч. отличаются на 180° . Мощность срабатывания реле (чувствительность) проверяется обязательно для каждой пары контактов, при этом следует регулировкой затяжки пружин добиваться одинаковой чувствительности реле при замыкании контактов в обе стороны.

Проверку защиты на сброс обратной мощности не производят, так

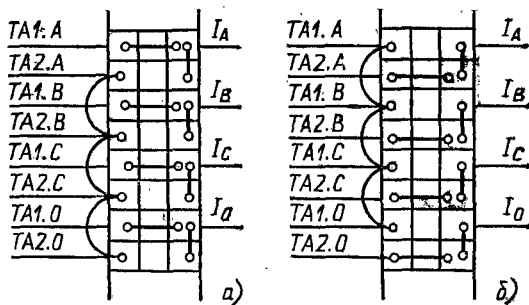
как значение этой мощности невелико и обусловлено только током небаланса действительной защиты блокируется пусковым органом даже при замыкании контактов реле мощности.

При комплексном опробовании защиты проверяют, чтобы оперативные цепи постоянного тока не имели объединения, выходные реле $KL1$ и $KL2$ отключали только выключатели своих линий и чтобы при отключении одного из выключателей защита выводилась из работы автоматически.

Некоторые особенности имеет и проверка защиты под нагрузкой, которую проводят, как правило, при поданном оперативном токе, по выведенным цепям отключения. Для проверки обе линии включают на параллельную работу, фазируют и проверяют цепи напряжения защи-

Рис. 10.6. Схема переключений на рядах зажимов панели:

а — при проверке защиты от замыканий на землю, подан ток I_b ;
б — при проверке защиты от междуфазных КЗ, поданы токи $W2$



ты. Для каждого комплекта TA снимают векторные диаграммы токов нагрузки и строят их на одном бланке. По характеру первичной нагрузки линий определяют, на какой линии TA собраны с прямой полярностью, на какой с обратной. Миллиамперметром измеряют ток небаланса в нулевых проводах каждой из групп трансформаторов тока и в дифференциальных цепях защиты. Только после этой проверки целостности дифференциальных цепей можно приступить к проверке правильности включения реле направления мощности.

На векторной диаграмме наносят зоны работы реле направления мощности $KW1$, $KW2$ и KW (от междуфазных КЗ и замыканий на землю) и анализируют ожидаемое поведение каждого реле при имитации повреждения на обеих линиях.

При проверке реле типа РБМ-271 защиты от междуфазных КЗ закорачивают и отсоединяют от панели на испытательных зажимах токовые цепи одной из линий, как показано на рис. 10.6. Проверяют, какие контакты замкнулись, и вручную замыкают контакты обоих пусковых органов; еще раз убеждаются, что работает выходное реле данной линии. Правильность включения реле в защитах от междуфазных КЗ, как правило, проверяют при поочередном подведении к реле токов от каждой линии. Пропускают токи фазы, в которую включено данное реле; токи других фаз пропускаются в случае, если из-за характера нагрузки вектор тока лежит вблизи линии изменения моментов.

На рис. 10.7, а приведена диаграмма проверки под нагрузкой реле типа РБМ-271, включенного на ток I_a и напряжение U_{bc} . При направлении активной и реактивной мощности от шин в линию реле с током I_{a1} должно замыкать правые контакты и действовать на отключение $W1$, реле с током I_{a2} должны замыкать левые контакты и действовать на отключение $W2$. Проверку под нагрузкой реле направления мощности от замыканий на землю проводят аналогично указанной в § 3.4. Только к реле подводят поочередно токи каждой из фаз от обеих групп ТА. При пропускании тока одной фазы две другие фазы данной группы ТА и все токовые цепи второй группы ТА должны быть закорочены

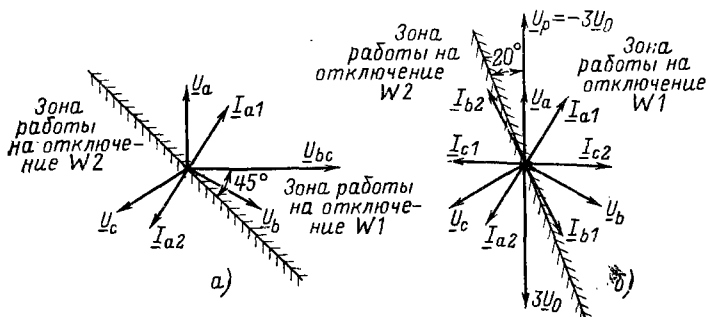


Рис. 10.7. Векторные диаграммы нагруженного режима с нанесенными зонами срабатывания реле на отключение $W1$, $W2$:

а — реле типа РБМ-271, включенное на ток I_a и напряжение U_{bc} ; б — реле типа РБМ-278, включенное на $3I_0$ и $3U_0$

и отключены от панели; не допускается разрыв нулевого провода защиты.

На рис. 10.7, б приведена диаграмма проверки под нагрузкой реле типа РБМ-278 при направлении активной и реактивной мощности от шин. Реле с токами I_{a1} , I_{c2} , I_{b1} действует на отключение $W1$, с токами I_{a2} , I_{c1} , I_{b2} — на отключение $W2$, при токах I_{b1} и I_{b2} на подвижном контакте можно наблюдать ослабленный момент. При проверках напряжение $3U_0$ на реле следует подавать одновременно.

После проверки правильности включения реле восстанавливают все цепи тока и напряжения, еще раз контролируют токи небаланса в нулевых проводах и дифференциальных цепях, измеряют напряжение небаланса $3U_0$ на зажимах 9-11 комплекта КЗ 7 и после этого вводят защиту в работу.

При выполнении профилактических работ в процессе эксплуатации необходимо помнить, что при отключении одной из линий и автоматическом выводе защиты из работы на выходное реле другой линии подан оперативный ток цепей отключения.

Раздел одиннадцатый

НАЛАДКА ПРОДОЛЬНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
ЗАЩИТ ЛИНИЙ

11.1. Основные технические данные защиты типа ДЗЛ-2

Номинальные значения: а) переменный ток — 5 или 1 А, 100 В, 50 Гц; б) постоянный ток — 110 или 220 В; в) номинальный ток удерживающих обмоток выходного промежуточного реле — 1; 2 или 4 А. Потребляемая мощность: а) цепей переменного тока при номинальном симметричном трехфазном токе — не более 10 В·А на фазу; б) цепей напряжения переменного тока при напряжении 100 В — не более 7 В·А; в) цепей постоянного тока; при напряжении 110 В — не более 8 Вт, при напряжении 220 В — не более 16 Вт.

Все аппараты защиты, в нормальном режиме обтекаемые током, длительно выдерживают 110 % номинальных тока и напряжения. По условию термической стойкости защита допускает протекание трехфазного тока, равного 40-кратному номинальному току, в течение 1 с.

Защита имеет две регулировки тока срабатывания:

а) регулировку, характеризующую коэффициентом h , дающую одновременное пропорциональное изменение тока срабатывания по току прямой и обратной последовательностей;

б) регулировку, характеризующую коэффициентом k комбинированного фильтра токов $I_1 - kI_2$.

Защита имеет следующие значения коэффициентов h — 1; 1,5; 2; k — 4, 6, 8, 10. Допустимое отклонение коэффициентов h и k от номинального значения — не более $\pm 8\%$. Время действия защиты без выходного промежуточного реле при пятикратном токе срабатывания не превышает 0,04 с. Выходное промежуточное реле KL имеет следующие времена срабатывания: при отключенной тормозной обмотке — 0,008—0,01 с; при включенной тормозной обмотке — 0,05—0,07 с.

В защите предусмотрен быстродействующий автоматический контроль, надежно выводящий защиту из действия при четком обрыве соединительных проводов и токе нагрузки до 6 А включительно при $I_{ном} =$

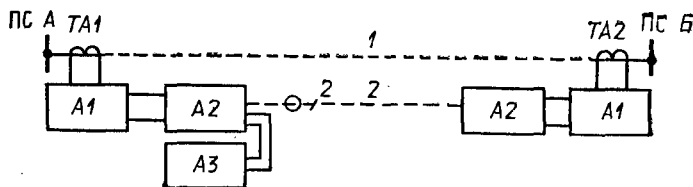
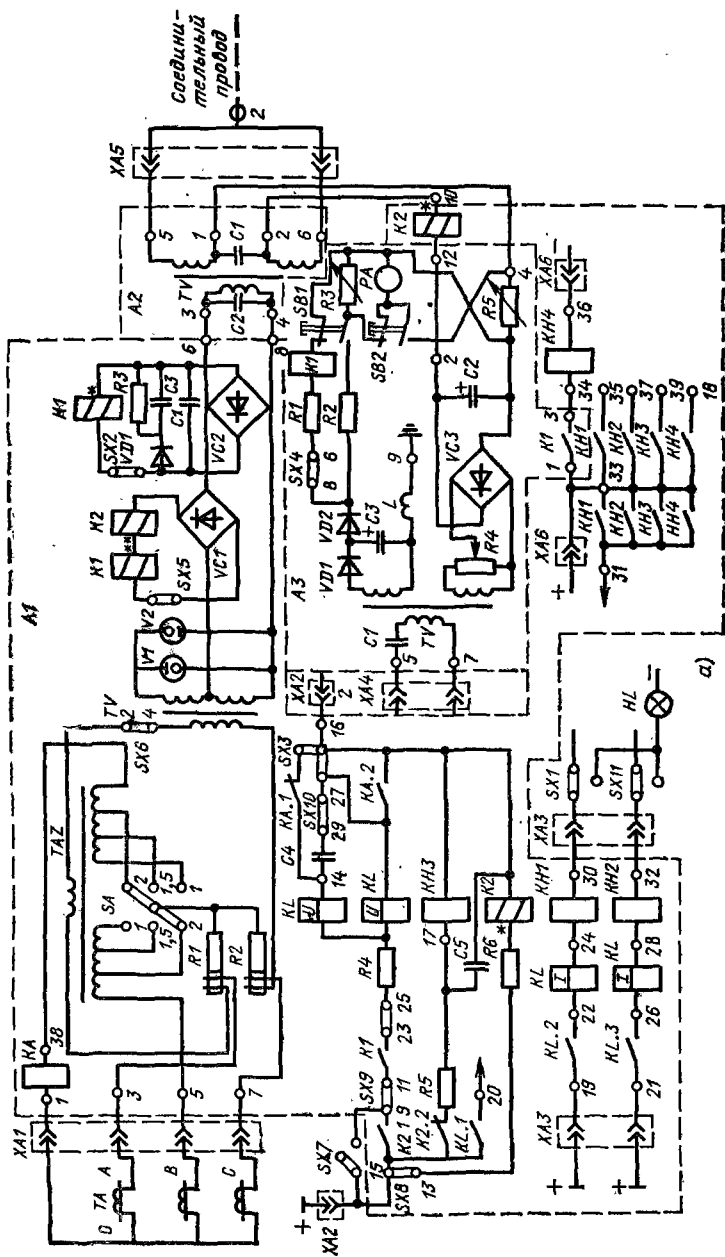


Рис. 11.1. Структурная схема защиты:

ПС А, ПС Б — электрические подстанции; 1 — защищаемая линия; 2 — соединительные провода; ТА1, ТА2 — измерительные трансформаторы тока; А1 (ДЗЛ-2) — блок измерения и логики; А2 (ЗТИ) — блок изолирующий; А3 (УК-1) — блок контроля соединительных проводов (в скобках даны заводские обозначения)



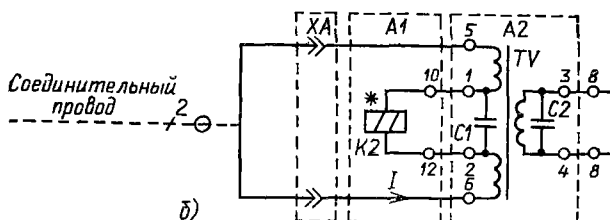


Рис. 11.2. Принципиальная схема (а), подключение соединительных проводов к полуккомплекту, не имеющему блока АЗ (б):

I — направление тока контроля; $A1$ — блок измерения и логики; $TAZ (IT\Phi)$ — комбинированный фильтр тока; $R1 (1R1)$, $R2 (1R2)$, $R3 - R6 (1R5-1R8)$ — резисторы; $TV (1TP)$ — промежуточный трансформатор; $K1 (1PP1)$ — дифференциальное реле; $VC1 (1MB1)$, $VC2 (1MB2)$ — выпрямительные мосты; $K2 (1PP2)$ — реле контроля; $KL (1PP)$ — промежуточное выходное реле; $V1 (1CT1)$, $V2 (1CT2)$ — стабилизаторы напряжения; $C1 (1C1)$, $C3-C5 (1C3-1C5)$ — конденсаторы; $VD1 (D)$ — диод; $KA (1PT)$ — реле тока; $KH1-KH4 (1PY1-1PY4)$ — реле указательные; $SX2, SX5 (1H1, 1H2)$, $SX6$ — испытательные накладки; $SX3 (1H3)$, $SX4 (1H4)$, $SA, SX8, SX9, SX10$ — режимные накладки; $A2$ — блок изолирующий; $TV (3TH)$ — изолирующий трансформатор; $C1 (3C1)$, $C2 (3C2)$ — конденсаторы; $A3 (YK-1)$ — блок контроля соединительных проводов; $TV (2TH)$ — насыщающийся стабилизированный трансформатор; $VD1 (2D1)$, $VD2 (2D2)$ — диоды; $VC3 (2MB)$ — диодный мост; $K1 (2PP1)$ — реле контроля; $L (2D)$ — дроссель; PA — микроамперметр; $C1-C3 (2C1-2C3)$ — конденсаторы; $R1-R5 (2R1-2R5)$ — резисторы; $SB1 (2K1)$, $SB2 (2K2)$ — кнопки; $XA1-XA6 (12IB-17IB)$ — испытательные блоки; $SX1, SX7, SX11 (9H-11H)$ — оперативные накладки; HL — сигнальная лампа (в скобках даны заводские обозначения)

= 5 А и до 1,2 А включительно при $I_{ном} = 1$ А. Устройство контроля действует на сигнал при снижении изоляции соединительных проводов от-

Таблица 11.1. Ток срабатывания защиты при различных видах КЗ и коэффициентах k

Коэфф- циент k	Вид КЗ и номинальный ток защиты							
	Однофазное		Двухфазное		Трехфазное		Ток обратной последователь- ности	
	1 А	5 А	1 А	5 А	1 А	5 А	1 А	5 А
—4	0,8	4	0,38	1,9	0,8	4	0,2	1
—6	0,8	4	0,4	2	1,32	6,6	0,22	1,1
—8	0,8	4	0,43	2,15	1,84	9,2	0,23	1,15
—10	0,8	4	0,45	2,25	2,5	12,5	0,25	1,25

Примечание. Значения токов срабатывания приведены для $k=1$; при $k=1,5$; 2 значения, указанные в таблице, умножаются на 1,5 или 2.

напряжения и должно быть в пределах 100—110 В. Форма среза синусоиды при правильном включении стабилизаторов показана на рис. 11.5, а, при неправильном — на рис. 11.5, б.

Для проверки коэффициента k на вход TAZ (зажимы 3-7) блока А1 (рис. 11.6) подается ток I_{AC} , равный $0,4 I_{ном}$. На выходе TAZ (зажимы 2-4) переключки SX6 измеряется напряжение электронным вольтметром. Затем на вход (зажимы 5-38) подается такой ток I_{B0} , чтобы напряжение на выходе было равно предыдущему.

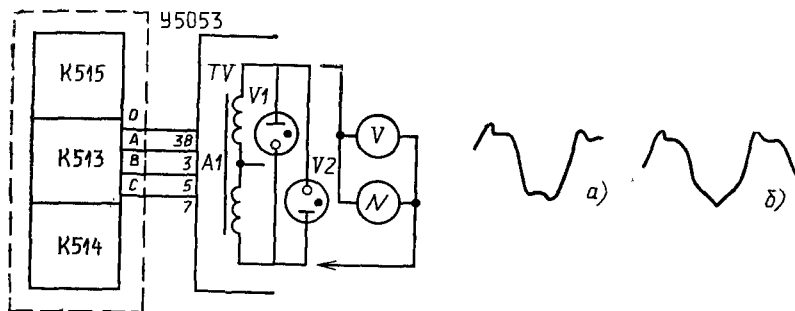


Рис. 11.4. Подключение проверочного устройства типа У5053 к полуккомплекту защиты для проверки стабилизаторов напряжения:
V — вольтметр; N — осциллограф

Рис. 11.5. Искажение формы синусоидального напряжения стабилизаторами напряжения:

а — при правильном включении стабилизаторов; б — при неправильном включении стабилизаторов

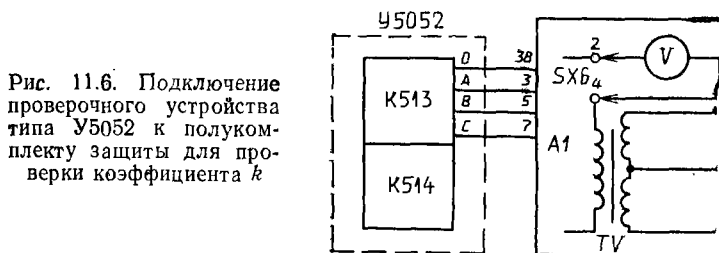


Рис. 11.6. Подключение проверочного устройства типа У5052 к полуккомплекту защиты для проверки коэффициента k

Коэффициент k определяется по формуле

$$k = \frac{\sqrt{3} I_{AC} + I_{B0}}{\sqrt{3} I_{AC} - I_{B0}}.$$

11.3. Проверка соединительных проводов и устройств контроля

Изоляция проводов проверяется мегаомметром на 500 В и должна удовлетворять соответствующим нормам (см. разд. 2). Для измерения сопротивления проводов $R_{пр}$ они закорачиваются с одной стороны и на них подается напряжение постоянного тока не более 220 В через амперметр; $R_{пр}$, Ом, определяется по выражению

$$R_{пр} = U_{пр} / I_{пр},$$

где $U_{пр}$ — подаваемое напряжение, В; $I_{пр}$ — ток в проводах, А.

Плотность тока для медного провода не должна превышать 1 А/мм² во избежание нагрева. Для измерения емкости проводов $C_{пр}$ провода раскорачивают и на них подается переменное напряжение не более 220 В, 50 Гц, через миллиамперметр. Емкость, мкФ, определяется по выражению

$$C_{пр} = \frac{I_{пр} \cdot 10^3}{314 U_{пр}},$$

где $I_{пр}$ — ток, мА; $U_{пр}$ — напряжение, В.

Определение емкости проводов необходимо для оценки чувствительности защиты по табл. 11.1 и изготовления эквивалента проводов.

Производится градуировка микроамперметра РА блока АЗ по двум изменяющимся параметрам: сопротивлению изоляции проводов по отношению к земле и току контроля соединительных проводов.

Градуировка производится по схеме, показанной на рис. 11.2. Для регулировки по первому параметру при поданном на вход блока АЗ напряжении 100 В, закороченных зажимах 4-9 и нажатой кнопке SB1 резистором R3 устанавливается максимальное показание прибора. Затем на зажимы 4-9 подключается магазин сопротивлений типа Р-33 и снимается зависимость показаний прибора от сопротивления. При отпущенной кнопке отмечается сопротивление, при котором срабатывает реле контроля К1. Оно должно быть меньше или равно 20 кОм.

Для градуировки по второму параметру между зажимами 2-4 включается сопротивление 3 кОм последовательно с контрольным миллиамперметром. Регулируя переменный резистор R4, устанавливают ток по контрольному прибору, равный 5,5 мА. Резистором R5 при нажатой кнопке SB2 устанавливают показание микроамперметра, равное 55 делениям.

11.4. Комплексная проверка

Для комплексной проверки защиты изготавливают эквивалент соединительных проводов (рис. 11.7), имеющий параметры $R = R_{пр}/4$, $C = C_{пр}$; оба полукомплекта доставляют в одно место и соединяют через эквивалент. Чувствительность защиты к разным видам замыканий проверяется по схеме, показанной на рис. 11.8. Для имитации замыкания, например на фазе А, соединяется зажим 38 блока А1 первого полукомплекта с зажимом 3 блока А1 второго полукомплекта. От устройства проверки защит типа У5053 подается ток на зажим: 3 блока А1 первого полукомплекта и 38 блока А1 второго полукомплекта.

Фиксируется срабатывание дифференциального реле $K1$ при увеличении тока. Аналогично собирается схема для проверки чувствительности защиты к замыканиям других фаз, а также к двухфазным замыканиям.

Результаты проверок чувствительности сравниваются с данными табл. 11.1 с учетом установленных коэффициентов h и k , а также параметров соединительных проводов. По этой же схеме производится измерение времени срабатывания защиты.

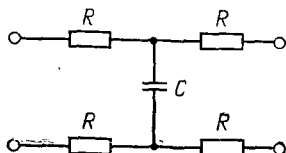


Рис. 11.7. Эквивалент соединительных проводов

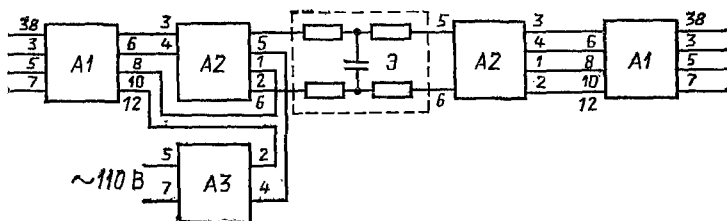


Рис. 11.8. Схема для комплексной проверки защиты:

$A1$ — блок измерения и логики; $A2$ — блок изолирующий; $A3$ — блок контроля соединительных проводов; $\mathcal{E}$ — эквивалент проводов

После установки полукомплектов по разным концам линии с помощью $R4$ регулируется ток контроля соединительных проводов до 5,5 мА (55 делений по встроенному прибору). Устанавливать большее значение тока контроля не рекомендуется, так как при этом будет увеличиваться время возврата реле контроля $K2$ блока $A3$.

11.5. Проверка защиты рабочим током и напряжением

С помощью рабочего тока производится фазировка защиты. Для этого с каждой стороны линии на один и тот же входной зажим, например 5, TAZ блока $A1$ поочередно подают фазы токовых цепей $ABC-0$, отсоединяя и закорачивая остальные. Вольтметром с большим входным сопротивлением измеряется напряжение на зажимах соединительных проводов.

При совпадении фаз и правильном подключении соединительных проводов напряжение должно быть в пределах 0—4 В, а ток в рабочей

обмотке дифференциального реле $K1$ — около 0. Напряжение измеряется также при перекрещенном подключении соединительных проводов. Значение напряжения зависит от угла между векторами токов, подаваемых в одноименные зажимы TAZ блоков $A1$. Переключение проводов равнозначно повороту подключаемой фазы на 180° .

На ВЛ с отпайками и на кабельных линиях одноименные векторы тока по концам линии развернуты менее чем на 180° из-за влияния нагрузки отпайки или емкостного сопротивления кабеля. При фазировке защиты отпайку желательнее отключить. Одноименность векторов тока во всех случаях определяется путем снятия векторных диаграмм прибором типа ВАФ-85 и их сравнения с показаниями приборов, контролирующих перетоки мощностей по концам линии. После определения наименований фаз токовых цепей с двух сторон линии они подключаются к одноименным зажимам TAZ блоков $A1$.

Для проверки коэффициента k на вход TAZ блока $A1$ подается симметричная трехфазная система токов $ABC-0$ прямой, затем обратной последовательности $ACB-0$. Электроинным вольтметром измеряется напряжение на разомкнутой обмотке TV блока $A1$ (при снятой перемычке $SX6$). Отношение напряжения, показываемого вольтметром при обратном чередовании фаз токов на входе TAZ , к напряжению при прямом чередовании должно быть равно коэффициенту $k \pm 8\%$.

Проверяется действие реле $K2$ контроля соединительных проводов при их обрыве и замыкании. При обрыве проводов должны сработать реле $K2$ блоков $A1$ обоих полукомплектов, при замыкании проводов между собой — реле $K2$ блока $A1$ полукомплекта, не имеющего блока контроля $A3$. Замыкание соединительных проводов на землю имитируют, соединяя поочередно жилы проводов с контуром заземления. При этом должны сработать реле $K1$ блока $A3$ и указательное реле $KN4$.

Раздел двенадцатый

НАЛАДКА СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ МОЩНЫХ ЭНЕРГБЛОКОВ

12.1. Устройство защиты от замыканий на землю систем возбуждения генераторов типа КЗР-3

Устройство КЗР-3 обеспечивает защиту от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов с электромашинной, тиристорной, высокочастотной и ионной системами возбуждения. Использование защиты предусмотрено на гидрогенераторах, турбогенераторах с водяным охлаждением ротора и на всех турбогенераторах мощностью 300 мВт и выше. На гидрогенераторах защита действует на отключение, на турбогенераторах — на сигнал (для принятия оперативных решений).

Действие защиты основано на наложении переменного напряжения частотой 25 Гц на цепи возбуждения и измерении активной составляющей

щей переменного тока, определяемой значением сопротивления изоляции цепей ротора относительно земли. Основные элементы и цепи защиты приведены на схеме рис. 12.1.

Источником напряжения 25 Гц является магнитный делитель частоты UF , преобразующий напряжение промышленной частоты 50 Гц и состоящий из двух магнитных сердечников $TL1$ и $TL2$. На сердечниках

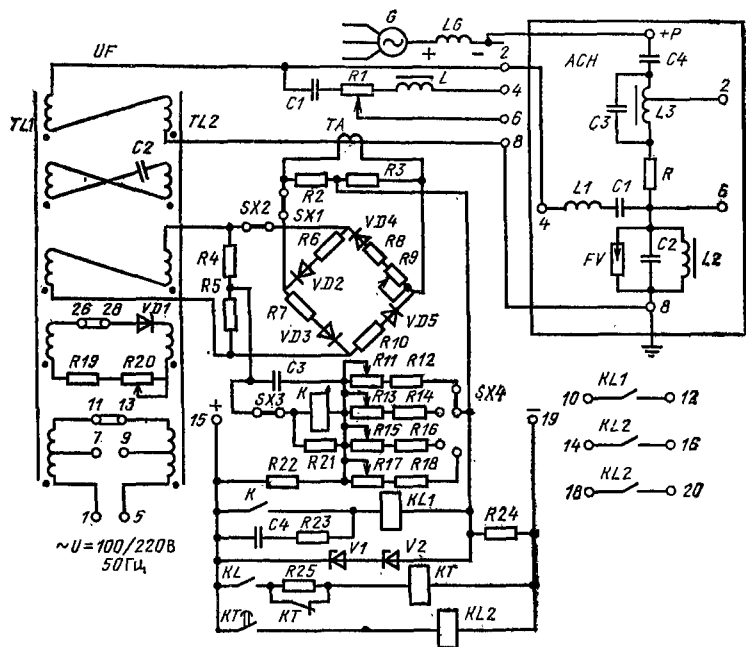


Рис. 12.1. Устройство защиты типа КЗР-3 и схема его подключения к цепям возбуждения через вспомогательное устройство АСН

расположены обмотки питания делителя, выведенные на зажимы 1-5 комплекта, на которые подается напряжение 220 В частотой 50 Гц при установленной перемычке 11-13 или напряжение 100 В частотой 50 Гц при перемычке 7-9. Для надежности защиты рабочее и резервное питание выполняют со сборок 0,4 кВ, запитанных от различных секций.

На этих же сердечниках расположены обмотки подмагничивания, в цепи которых установлены диод $VD1$ и резисторы $R19$ и $R20$, служащие для ограничения и регулирования тока подмагничивания, и обмотки, в цепи которых включен конденсатор $C2$, и которые образуют с ним колебательный контур частотой 25 Гц; две пары обмоток, соединенные согласно-последовательно, являются нагрузочными. С одной па-

ры обмоток напряжение 25 Гц подается для наложения на цепи возбуждения генераторов, со второй — в измерительные цепи защиты.

У генераторов, имеющих однотипное электромашинное рабочее и резервное возбуждение, вспомогательное устройство АСН не используется, в этом случае к цепи ротора подключается вывод 4 комплекта КЗР-3, вывод 8 всегда надежно заземляется. В настоящее время электромашинное возбуждение используется в основном как резервное, высокочастотное или тиристорное — как рабочее возбуждение, когда применение АСН обязательно; для исключения дополнительного усложнения защиты при переходе с рабочего на резервное электромашинное возбуждение АСН оставляется в работе.

Переменный ток 25 Гц через вспомогательное устройство подают на обмотку ротора LG и на землю (на вал генератора через заземляющую щетку), для этого соединяют зажим 2 комплекта КЗР-3 и зажим 4 АСН, зажимы 8 заземляют. В заводской документации указывается подключение АСН к положительному полюсу цепей ротора (зажим обозначается «+Р»), для тиристорной системы возбуждения в связи с конструктивными особенностями ее водяной системы охлаждения подключение выполняют на отрицательный полюс как имеющий более низкую изоляцию.

Вспомогательное устройство АСН состоит из L - C -фильтров, предотвращающих попадание в защиту напряжения частотой 50—150—300 Гц и выше из тиристорной и высокочастотной систем возбуждения. Фильтры настроены на резонансную частоту: $L1-C1$ — последовательный 25 Гц; $L2-C2$ — параллельный 25 Гц; $L3-C4$ — последовательный 25,5 Гц; $L3-C3$ — параллельный 50 Гц. Конденсаторы $C1$ и $C4$ отделяют цепи защиты от цепей возбуждения для исключения дополнительного подмагничивания сердечников $T1$ и $T2$ постоянным током, резистор R ограничивает протекающий ток при металлическом КЗ в одной точке. При электромашинном возбуждении аналогичные функции выполняют включенные в цепь зажима 4 комплекта КЗР-3 элементы $C1$, $R1$, L . Разрядник FV служит для защиты измерительной цепи комплекта при возникновении перенапряжений.

Наложенный ток имеет две составляющие — активную и емкостную, определяемые значением активного сопротивления изоляции и емкостью цепей возбуждения относительно земли. Уровень изоляции характеризуется значением активной составляющей тока, для ее выделения в устройстве КЗР-3 применяется симметричная кольцевая фазочувствительная схема с двумя входами, при которой на один вход от вторичной обмотки трансформатора тока TA с делителем напряжения $R2-R3$ со средней точкой подается наложенный ток 25 Гц, на другой вход с аналогичным делителем $4R-5R$ подается напряжение 25 Гц с отдельных фазочувствительных обмоток UF .

Фазочувствительная схема состоит из диодов $VD2-VD5$, балластных резисторов $R6-R10$, регулировочный резистор $R9$ служит для балансирования схемы, чтобы при подаче на ее вход одной из сравниваемых величин ток в нагрузке равнялся нулю. Нагрузка с исполнительным реле K включена на выводы от средних точек делителей напряжения.

Напряжение на фазочувствительной схеме от UF — управляющее (открывает и закрывает диоды одного плеча). По величине оно значительно больше, чем управляемое напряжение от вторичной обмотки TA , которое определяет протекание тока через один из открытых дио-

дов. При работе схемы среднее значение напряжения выхода пропорционально только значению активного тока, определяемого сопротивлением изоляции [4]. В реальных условиях наличие в АСН конденсаторов $C1$, $C4$, емкость которых не может быть абсолютно точно компенсирована индуктивностью дросселей $L1$ и $L3$, и наличие в цепи активных сопротивлений обмоток дросселей и ограничительного резистора R приводит к изменению чувствительности комплекта защиты при изменении емкости цепей возбуждения генератора. Чувствительность защиты при изменении емкости цепей во многом определяется точностью настройки колебательных контуров.

Напряжение на выходе фазочувствительной схемы сравнивается со стабилизированным напряжением делителя, включенного на оперативный постоянный ток. Делитель состоит из резистора $R22$ и резисторов $R11$ — $R12$; $R13$ — $R14$; $R15$ — $R16$; $R17$ — $R18$, обеспечивающих четыре возможные уставки защиты: 10 кОм и 5 кОм при электромашином возбуждении, 5 кОм и 2,5 кОм при высокочастотном и тиристорном возбуждении.

Исполнительным органом схемы сравнения является высокочувствительное магнитоэлектрическое реле (МЭР) типа М 237/054, позволяющее получить четкое срабатывание и высокий коэффициент возврата (см. разд. 8). Напряжение на контактах МЭР допускается не более 120 В, поэтому они включены в цепи напряжения, стабилизированного на уровне 66 ± 10 В, что достигается последовательным включением стабилитронов $V1$ — $V2$ и балластного резистора $R24$ (это же напряжение подается в схему сравнения).

При проверке защиты перед наладкой на отсутствие дефектов, которые могут возникнуть при транспортировке, особое внимание следует обратить на надежность крепления зажимов на задней панели и надежность пайки всех элементов вспомогательного устройства АСН, так как оно обычно устанавливается на горизонтальной плоскости в одной из сборок цепей возбуждения, где доступ к нему в процессе эксплуатации значительно затруднен (сложно снять крышку), во время работы генератора доступ к элементам вспомогательного устройства практически невозможен. При проверке защиты необходимо контролировать частоту питающей сети, так как уставка срабатывания существенно от нее зависит. При изменении частоты питающего напряжения на $\pm 2\%$ сопротивление срабатывания защиты может изменяться по отношению к сопротивлению срабатывания при номинальной частоте 50 Гц; в случае тиристорного возбуждения на уставках 5 кОм и 2,5 кОм до 35% это может служить причиной значительного изменения уставок при контрольных и сдаточных проверках.

Проверка электрических характеристик комплекта и вспомогательного устройства. Проверка настройки магнитного делителя частоты производится при номинальном напряжении питания частоты 50 Гц по значению тока подмагничивания, измеряемого миллиамперметром в расщелке 26—28. Ток подмагничивания должен составлять 230 ± 10 мА, регулировка его осуществляется с помощью резистора $R20$. Настройка фазочувствительной схемы производится при отключенном постоянном оперативном токе и отключенных от комплекта защиты цепях возбуждения (зажимы 2, 4, 6, 8 свободны).

При поданном номинальном напряжении питания микроамперметром с внутренним сопротивлением не более 1000 Ом проверяется отсутствие постоянного тока в цепи перемычки $SX3$, перемычка $SX4$ должна зани-

мать положение, соответствующее рабочей уставке. Если при соблюдении всех перечисленных выше условий в цепи $SX3$ протекает постоянный ток, то он уменьшается до нуля регулировкой переменного резистора $R9$, осуществляющего балансировку схемы кольцевого модулятора.

Проверка схемы оперативного тока. Оперативный ток на защиту подают с соблюдением полярности, измерением напряжения между зажимом 15 и накладкой $SX4$ контролируют напряжение стабилизации, которое должно быть $56-76$ В. Если измеренное напряжение не укладывается в норму, проверяют распределение напряжения между стабилитронами, сопротивление резистора $R24$; неисправные элементы заменяют. Проверку МЭР производят в соответствии с рекомендациями, приведенными в разд. 8.

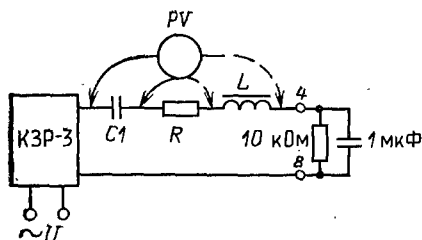


Рис. 12.2. Схема настройки $C1-L$ фильтра комплекта КЗР-3

Реле постоянного тока $KL1$, $KL2$ и KT проверяют в соответствии с указаниями завода-изготовителя, реле $KL1$, включенное на стабилизированное напряжение, должно срабатывать при напряжении не более 45 В.

Проверку настройки частотных фильтров, как правило, производят, если были выявлены существенные дефекты, связанные с ослаблением крепления пластин шлихтованных сердечников дросселей или заменялись отдельные конденсаторы. Настройка обязательно ведется через магнитный делитель частоты при подаче на него номинального напряжения и с контролем частоты по частотомеру. Потребление цепи питания 55 В·А, поэтому если для проверки используется генератор частоты, он должен обеспечивать необходимую мощность без существенных искажений.

Контур $C1-L$ комплекта КЗР-3 настраивается при параллельно включенных на зажимы $4-8$ резисторе сопротивлением 10 кОм и конденсаторе емкостью 1 мкФ по распределению напряжений на $C1$ и L (рис. 12.2). При частоте питания 50 Гц напряжение на конденсаторе $C1$ должно на 15% превышать напряжение на дросселе L , при этом измерения производят вольтметром с сопротивлением не менее 1000 Ом/В, настройку — изменением зазора в сердечнике дросселя.

Резонансный контур $C3-L3$, $C4$ вспомогательного устройства настраивается по схеме, показанной на рис. 12.3, а, на минимум показания напряжения вольтметра PV при частоте питания 51 Гц изменением зазора в сердечнике дросселя $L3$ (при измерениях миллиамперметр PA из схемы исключен). По этой же схеме, но при частоте питания 50 Гц по минимуму тока в цепи между зажимами 8 комплекта КЗР-3 и ACH на-

силовых цепях возбуждения, установленных щетках на валу ротора турбогенератора (включенной схеме водяного охлаждения для тиристорной системы возбуждения) и при напряжении питания, поданном по проектной схеме. Перед проверкой проверяют мегаомметром сопротивление изоляции цепей возбуждения.

В соответствии с требованиями директивных указаний сопротивление изоляции в собранной схеме при новом включении не должно быть ниже 0,5 МОм, для тиристорной системы возбуждения с водяным охлаждением при допустимом удельном сопротивлении дистиллята сопротивление изоляции может быть ниже и достигать 200—300 кОм. Сопротивление изоляции во время эксплуатации почти на два порядка выше, чем требуемая уставка срабатывания КЗР-3, которая принимается:

у турбогенераторов с газовым охлаждением обмотки ротора и элементов возбуждения — примерно 8 кОм;

у турбогенераторов с водяным охлаждением обмотки ротора или выпрямителей рабочей системы возбуждения, а также с водяным охлаждением и обмотки, и выпрямителей — до 2; 5 кОм;

у турбогенераторов ТГВ-500 с водяным охлаждением обмотки ротора — до 7,5 кОм.

Можно рекомендовать следующий метод настройки, позволяющий не учитывать шунтирующий эффект сопротивления изоляции системы возбуждения. Магазин сопротивления РЗЗ подключают между контуром заземления и поочередно обоими полюсами цепей возбуждения, настройку $R_{ср}$ производят при реальной емкости шин одним из регулировочных резисторов R_{11} , R_{13} , R_{15} , R_{17} при заданном сопротивлении $R_{ср}$, установленном на РЗЗ. Если имеется отличие в $R_{ср}$ при подключении магазина к различным полюсам, настройку уставки производят для случая меньшего сопротивления. После настройки рабочей уставки стопорной гайкой фиксируется положение регулировочного резистора.

Таблица 12.1. Обозначения элементов устройства защиты типа КЗР-3

Цепи переменного тока напряжения		Цепи оперативного постоянного тока		Цепи вспомогательного устройства	
в справочнике	в схемах завода-изготовителя	в справочнике	в схемах завода-изготовителя	в справочнике	в схемах завода-изготовителя
UF TL1, TL2 VD1— VD5 C1—C4 V1, V2 L	МДЧ 1ТП, 2ТП 1Д—5Д 1С—4С 1СТ, 2СТ Др	KL1 KL2 КТ К SX1— SX4	1ПП 2ПП РВ РТ 1Н—4Н	АСН C1—C4 L1—L3 FV	ВУ2 1С—4С 1L—3L РЗ

Примечание. На заводской схеме резисторы имеют цифровой индекс перед буквенным обозначением от 1R до 25R, на схеме рис. 12.1 аналогичный цифровой индекс — после.

Многократным изменением в полной схеме сопротивления мостом в сторону увеличения R определяют $R_{\text{в}}$, при уменьшении повторно проверяют $R_{\text{ср}}$, по измеренным величинам определяют $k_{\text{в}}$, который должен быть не более 2:

$$k_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{ср}}} \leq 2.$$

При опыте металлического КЗ цепей возбуждения в одной точке не только проверяется надежность работы, но и измеряется ток в накладке $SX3$, так как в этом случае он максимальный на срабатывание МЭР. При работе генератора в системе на рабочем и резервном возбуждении измеряются реальные тормозные токи МЭР в накладке $SX3$, проверяется действие сигнализации. Для удобства работы с заводской документацией обозначения соответствующих элементов приведены в табл. 12.1.

12.2. Блок-реле защиты типа 33Г-1

Блок-реле типа 33Г-1 применяется в схемах защиты от замыканий на землю в обмотке статора генераторов мощностью 160 МВт и более, работающих в блоке с трансформаторами при наличии в нейтрали дополнительного трансформатора напряжения. Схема подключения защиты к цепям напряжения приведена на рис. 12.4, принципиальная схема комплекта блок-реле — на рис. 12.5 [4, 5].

Комплект состоит из двух реле, обеспечивающих защиту обмотки статора без зоны нечувствительности: реле максимального напряжения основной гармоники, которое реагирует на напряжение промышленной частоты и включается на напряжение обмоток $TV1$, соединенных по схеме разомкнутого треугольника (реле обеспечивает защиту 85—95 % обмотки статора со стороны фазных выводов), и реле напряжения третьей гармоники с торможением, предназначенного для работы при замыкании на землю вблизи нейтрали — в зоне, где первое реле не обладает достаточной чувствительностью.

Входной фильтр максимального напряжения $R1-C1-T1-C2$ настроен на частоту 50 Гц и имеет на этой частоте максимальное сопротивление, в этом случае большая часть напряжения $3 U_0$ приложена к первичной обмотке $T1$, входные зажимы реле $XT:8$, $XT:11$. При подведении к фильтру напряжения третьей гармоники сопротивление фильтра резко уменьшается, большая часть напряжения частотой 150 Гц при этом оказывается приложенной к резистору $R1$; загроуление реле при частоте 150 Гц и выше составляет не менее 8 по отношению к напряжению срабатывания промышленной частоты.

Напряжение со вторичной обмотки $T1$ выпрямляется, сглаживается конденсатором $C3$ и через резисторы плавно-ступенчатого регулирования уставки подается на вход двухкаскадного усилителя, собранного на двух транзисторах $VT1$, $VT2$. Ступенчатое регулирование уставки 15:12,5:10:7,5:5,0 В осуществляется изменением набора резисторов $R4-R7$ на переключателе, резистор $R2$ обеспечивает плавную регулировку в пределах диапазона. Дiod $VD3$, включенный на вход выходного транзистора $VT2$, обеспечивает релейный режим его работы, конденсатор $C4$ улучшает помехоустойчивость реле. Исполнительный орган

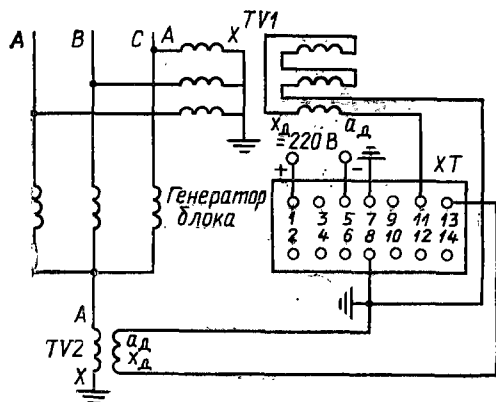


Рис. 12.4. Схема подключения блок-реле типа 33Г-1 к цепям напряжения

реле $K1$, включенный в цепь коллектора $TV2$, выполнен на базе промежуточного реле РП-220.

Принцип действия второго реле, предназначенного для работы при замыкании на землю вблизи нейтрали, основан на сравнении напряжений третьей гармоники на фазных выводах генератора и в нейтрали. В нормальном режиме векторы третьей гармоники по концам обмоток статора со стороны нейтрали $\underline{U}_H$ и выводов $\underline{U}_B$ равны по величине и находятся в противофазе, потенциал напряжения третьей гармоники в середине обмотки генератора равен нулю (рис. 12.6), т. е. $\underline{U}_H = \underline{U}_B = 0,5 E_3$; $\underline{U}_C = 0$.

На вход рабочей цепи (выводы $XT: 11-XT: 13$ на рис. 12.5) подается сумма векторов напряжений — модуль $|\underline{U}_B + \underline{U}_H|$; на вход цепи торможения (выводы $XT: 8-XT: 13$) — напряжение $|\underline{U}_H|$. В нормальном режиме (без замыкания на землю) в обмотке суммарное напряжение $|\underline{U}_B + \underline{U}_H|$ близко к нулю и напряжение тормозного контура надежно удерживает реле от срабатывания.

При замыкании в нейтрали напряжение на входе тормозного контура отсутствует, суммарное напряжение рабочей цепи $|\underline{U}_B + \underline{U}_H|$ становится равным E_3 и реле надежно срабатывает.

При замыкании на выводах одной из фаз напряжение $\underline{U}_B$ становится равным нулю, напряжения рабочих и тормозного контура в этом случае примерно равны и действие реле зависит от коэффициентов пропорциональности напряжений контуров, вводимых в схему. Для выполнения в нормальном режиме условия $|\underline{U}_B + \underline{U}_H| = 0$ номинальное напряжение $TV1$, установленного на выводах генератора, должно быть: первичной обмотки — соответствующим фазному номинальному напряжению генератора, а вторичных обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник, — $100/3$ В. Номинальное напряжение вторичной обмотки $TV2$,

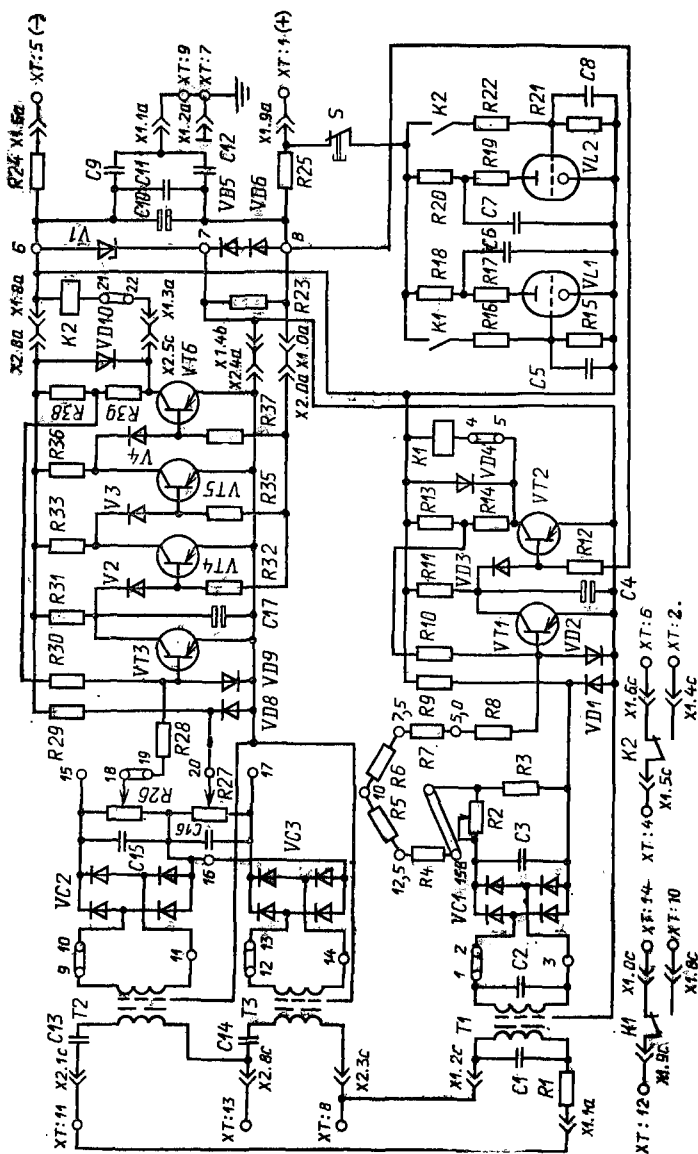


Рис. 12.5. Принципиальная схема блок-реле типа ЗЗГ-1

установленного в нейтраль при идентичных параметрах первичной обмотки, должно быть 100 В.

На входе рабочей и тормозной цепей установлены фильтры $T2-C13$, $T3-C14$, настроенные на частоту 150 Гц (см. рис. 12.5). Выпрямленные напряжения рабочей и тормозной цепей сглаживаются емкостями $C15$, $C16$ и подаются на резисторы $R26$, $R27$ плавного регулирования коэффициента торможения k_t . Под коэффициентом торможения реле понимается отношение рабочего напряжения U_{8-11} к тормозному напряжению U_{8-13} в условиях срабатывания. Реле обеспечивает диапазон регулирования k_t в пределах 0,33—3. В связи с малыми величинами входных

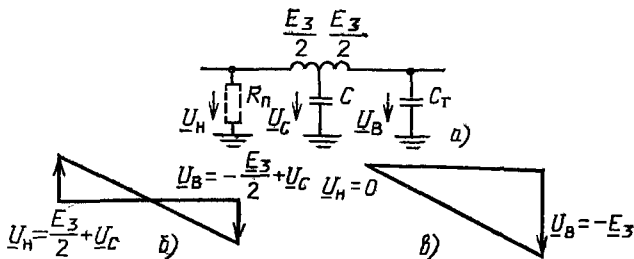


Рис. 12.6. Напряжение третьей гармоники в обмотке статора генератора:

a — схема замещения; *б* — распределение напряжения третьей гармоники вдоль обмотки в нормальном режиме; *в* — то же при замыкании на землю нейтрали генератора; C — емкость обмотки генератора; C_T — емкость шии генераторного напряжения и обмоток трансформаторов блока и собственных нужд; R_n — переходное сопротивление в месте КЗ; E_3 — ЭДС третьей гармоники; U_n , U_b — напряжения третьей гармоники на нейтрали и выводах генератора; U_c — напряжение третьей гармоники на емкости обмотки генератора

сигналов принята четырехкаскадная схема усиления, когда в нормальном режиме $VT3$, $VT5$ открыты, $VT4$, $VT6$ закрыты. Исходный режим усилителя определяется работой $VT3$ в открытом режиме за счет начального отрицательного смещения потенциала базы $TV3$ диодом $VD8$.

Напряжение, приложенное к резистору $R27$ и пропорциональное $|U_n|$, является тормозным; напряжение, приложенное к резистору $R26$ и пропорциональное $|U_b + U_n|$, является рабочим. Тормозное напряжение, понижая потенциал базы триода $VT3$, способствует более полному его открытию, при уменьшении тормозного напряжения повышается потенциал базы триода от рабочего напряжения, снимаемого с резистора $R26$. Это приводит к закрытию $VT3$ и последовательному открытию $VT4$, закрытию $VT5$ и открытию выходного триода $VT6$, в цепи коллектора которого установлен исполнительный орган $K2$ — промежуточное реле типа РП-220.

Конденсатор $C17$ обеспечивает повышение помехоустойчивости реле. Блок питания реле состоит из стабилизатора $V1$, диодов $VD5$, $VD6$.

резисторов $R23—R25$ и конденсаторов $C9—C11$. Он обеспечивает питание цепей стабилизированным напряжением оперативного тока: $U_{6.7} = 12 \pm \pm 1,2$ В; $U_{7.8} \leq 2$ В.

В ЗЗГ-1 предусмотрена раздельная сигнализация срабатывания исполнительных реле $K1$ и $K2$, контакты которых используются в схеме световой сигнализации на тиратронах $VL1$ и $VL2$. При срабатывании $K1$ загорается тиратрон $VL1$ « $K^{(1)}$, удаление от нейтрали», при срабатывании $K2$ загорается тиратрон $VL2$ « $K^{(1)}$ вблизи нейтрали».

Проверка электрических характеристик. При внешнем и внутреннем осмотре помимо выполнения общих указаний по разд. 1 следует проверить крепление токоподводящих колодок: гнездовых — к корпусу реле и ножевых XT , $X1$ и $X2$ — к модулям реле.

При установке модулей на место они должны четко фиксироваться в рабочем положении с последующим креплением их к корпусу установочными винтами. В комплекте запасных частей к реле имеется шнур гибкой связи, обеспечивающий проверку модулей вне корпуса; перед использованием шнура его следует проверить на соответствие цепей гнездового входа ножевому выходу. При подключении внешних связей к зажимам реле, находящимся на его задней стороне, необходимо обращать внимание на расположение и цифровое обозначение зажимов (см. рис. 12.4).

При проверке изоляции цепей реле мегаомметром следует предварительно отсоединить землю в цепях разделительных конденсаторов $C9$, $C12$ (см. рис. 12.5) оперативного тока (снять перемычку между зажимами $XT:7$, $XT:9$); объединить выходные зажимы реле по цепям напряжения $XT:8$, $XT:11$, $XT:13$; объединить вторичные обмотки $T1$, $T2$, $T3$ с цепями оперативного тока, для этого необходимо закоротить между собой все накладки на лицевых панелях обоих модулей и соединить их с выводами реле $XT:1(+)$; $XT:5(-)$. Проверяют сопротивление изоляции между объединенными цепями напряжения — цепями оперативного тока и сопротивление изоляции каждой цепи относительно земли при модулях, установленных и зафиксированных в рабочем положении.

При проверке блока питания оперативных цепей следует проверить напряжение стабилизации стабилизатором VI и напряжение смещения на диодах $VD5$, $VD6$. При изменении напряжения питания от номинального до напряжения в пределах $\pm 10 \div 20\%$ должно быть $U_{6.7} = 12 \pm 1,2$ В; $U_{7.8} \leq 2$ В. Проверку и регулировку исполнительных органов $K1$ и $K2$ проводят при вынутых из корпуса и полностью отключенных модулях. Ток при проверках подают на зажимы 6-4 для реле $K1$ и 6-21 для реле $K2$ при снятых накладках 4-5 и 21-22, расположенных на лицевых панелях; ток срабатывания устанавливают равным $16,8 \pm 0,8$ мА.

При подключении модулей (шнуром гибкой связи) проверяют работу тиратронов сигнализации и действие кнопки «Сброс сигнала».

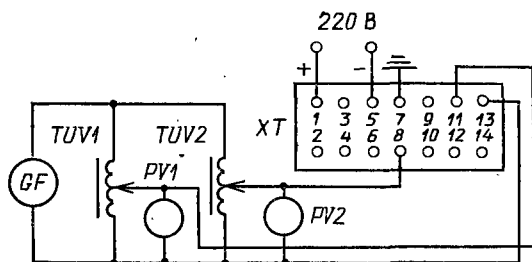
При настройке уставки срабатывания реле напряжения первой гармоники при поданном оперативном токе напряжение частотой 50 Гц от регулировочного устройства TUV подают на зажимы реле $XT:8$ — $XT:11$ (рис. 12.7). При проверке идущие ко вторичным обмоткам трансформаторов напряжения $TV1$, $TV2$ провода необходимо отсоединить, чтобы не появилось высокое напряжение на шинах генератора за счет 20*

при данной проверке следует измерить напряжение U_{15-16} и U_{16-17} на выходе выпрямительных мостов $VD2$ и $VD3$, максимальное напряжение на них соответствует той же резонансной частоте. При необходимости подстройка на резонансную частоту осуществляется изменением индуктивности $T2$, $T3$ при перемещении их магнитного шунта.

Проверку минимального напряжения срабатывания при отсутствии торможения проводят при поданном оперативном токе и напряжении питания частотой 150 Гц.

Напряжение срабатывания реле НТГ, измеренное на входных зажимах $XT: 11-XT: 13$, должно быть не более 0,3 В при разомкнутой накладке 12-13 и полностью введенном резисторе $R26$. Чтобы ввести данный резистор, его ось следует повернуть до упора по часовой стрелке, в этом случае $U_{15-16} = U_{18-16}$.

Рис. 12.8. Схема настройки реле третьей гармоники блок-реле ЗЗГ-1



Следует измерить также напряжение срабатывания в этом режиме при частоте 50 Гц и по полученным результатам определить коэффициент ослабления фильтром напряжения промышленной частоты

$$k_{\Phi} = U_{\text{ср}} 50 \text{ Гц} / U_{\text{ср}} 150 \text{ Гц},$$

k_{Φ} должен быть не ниже 25, обычно он равен 25—30.

Проверку срабатывания реле при коэффициенте торможения $k_T = 1$ проводят при частоте напряжения питания 150 Гц по схеме, приведенной на рис. 12.8.

Под коэффициентом торможения в соответствии с заводской документацией понимается отношение рабочего напряжения к тормозному, которые измерены в момент срабатывания:

$$k_T = U_{XT:11-XT:13} / U_{XT:8-XT:13}.$$

Приступая к проверке, предварительно следует полностью ввести резисторы $R26$ и $R27$ (ось резистора $R27$ необходимо повернуть до упора против часовой стрелки), в этом случае соблюдается условие $U_{18-16} = U_{15-16}$ и $U_{20-16} = U_{17-16}$. Регулирующим трансформатором $TUV1$ устанавливают любое фиксированное значение рабочего напряжения $U_{TX:13-TX:11}$ в пределах от 1 до 10 В и проверяют, чтобы реле $K2$ сработало. Затем повышают тормозное напряжение регулирующим трансформатором $TUV2$ до значения большего, чем установленное рабочее, и фиксируют возврат реле $K2$. Плавнo уменьшают

тормозное напряжение при неизменном рабочем и определяют значение тормозного напряжения $U_{ХТ:8-ХТ:13}$ в момент срабатывания.

При $k_T = 1$ измеренное тормозное напряжение не должно отличаться от установленного рабочего более чем на 15 %. Объем лабораторной проверки на этом заканчивается, реле подготовлено к проверке под нагрузкой. Иногда в проектных уставках, подтвержденных службой РЗА, задают требуемый k_T — настройку его производят по приведенной выше методике изменением сопротивлений резисторов R26 и R27.

Приступая к проверке реле 33Г-1 рабочим напряжением, необходимо проверить выполнение цепей напряжения TV, установленных на выводах и в нуле генератора, проконтролировать, чтобы единственное заземление во вторичных цепях TV было установлено в одной точке на зажиме реле ХТ:8. Из-за невозможности точного расчета относительного емкостного сопротивления сети генераторного напряжения Z_∞^* оно определяется при наладке для случая отсутствия замыкания на землю в этих цепях и при эксплуатационном уровне сопротивления изоляции. По рекомендациям ВНИИЭ для этого при пусковых испытаниях турбогенератора с подключенными блочным трансформатором и трансформатором собственных нужд на холостом ходу при номинальном напряжении и установленных наладках 9-10 и 12-13 измеряют напряжение U_{9-11} и U_{12-14} :

$$Z_\infty^* = U_{12-14} / U_{9-11}.$$

Основным параметром, определяющим выбор срабатывания $Z_{ср}^*$, является коэффициент надежности k_n , диапазон изменения которого от $k_{n \min}$ до $k_{n \max}$ рассчитывается по приведенному выражению

$$k_{n \min} = \sqrt{\frac{1 + 4Z_\infty^* \frac{U_{ср1}^2}{k_\phi^2 U_{9-11}^2}}{1 + \frac{U_{ср1}^2}{k_\phi^2 U_{9-11}^2}}} \leq$$

$$\leq k_n \leq \frac{Z_\infty^* \frac{1 - 4U_{ср1}}{100}}{\frac{4U_{ср1}}{100}} = k_{n \max},$$

где $U_{ср1}$ — уставка срабатывания реле первой гармоники, В; k_ϕ — измеренный коэффициент ослабления фильтром напряжения промышленной частоты (если измерение не производилось, k_ϕ принимается 25—30).

По рекомендации ВНИИЭ принимаемый коэффициент надежности должен быть $k_n \geq 3$, с уставкой срабатывания он связан следующим выражением:

$$k_n = Z_\infty^* / Z_{ср}^*,$$

где $Z_{\text{ср}}^* = \frac{U_{12-14}}{U_{9-11}}$ в момент срабатывания.

Рассчитывая по формуле $k_{\text{мин}}$ и $k_{\text{макс}}$, определяют $Z_{\text{срmin}}^*$ и $Z_{\text{срmax}}^*$; при выборе уставки должно выполняться условие

$$Z_{\text{срmin}}^* \leq Z_{\text{ср}}^* < Z_{\text{срmax}}^*.$$

Как правило, устанавливают $Z_{\text{ср}}^*$, близкое к $Z_{\text{срmin}}^*$. Реле НТГ в зависимости от $Z_{\text{ср}}^*$ имеет различные зоны защиты обмотки статора:

при $Z_{\text{ср}}^* > 1$ реле НТГ имеет две зоны:

от нейтрали к выводам с защитой части обмотки генератора, определяемой по формуле, в процентах всей обмотки, принимаемой за 100 %:

$$\alpha = \frac{1}{2 + 1/Z_{\text{ср}}^*} 100;$$

от выводов к нейтрали с защитой части обмотки генератора, определяемой по формуле, в процентах всей обмотки и вся сеть генераторного напряжения

$$\alpha = \frac{1}{2 - 1/Z_{\text{ср}}^*} 100;$$

при $Z_{\text{ср}}^* < 1$ реле НТГ имеет одну зону работы генератора, которая определяется по формуле в процентах обмотки

$$\alpha = \frac{1}{2 + 1/Z_{\text{ср}}^*} 100.$$

При непосредственной настройке уставки $Z_{\text{ср}}^*$ уровень регулирования напряжения рабочей цепи резистором R_{26} и напряжения тормозной цепи резистором R_{27} определяется рабочим и тормозным коэффициентами регулирования (соответственно $K_{\text{р.р}}$, $K_{\text{р.т}}$):

$$K_{\text{р.р}} = \frac{U_{18-16}}{U_{15-16}}; \quad K_{\text{р.т}} = \frac{U_{20-16}}{U_{17-16}}.$$

Из этих выражений с определенными допущениями можно получить

$$N = \frac{K_{\text{р.т}}}{K_{\text{р.р}}} = \frac{U_{20-16} U_{15-16}}{U_{17-16} U_{18-16}} = \frac{k_{\text{н}}}{Z_{\infty}^*} = \frac{1}{Z_{\text{ср}}^*}.$$

При принятом $Z_{\text{ср}}^*$ вычисляют отношение

$$N = \frac{K_{\text{р.т}}}{K_{\text{р.р}}} = \frac{1}{Z_{\text{ср}}^*}.$$

Если $N \leq 1$, то резистором $R26$ устанавливают $K_{p.p} = 1$, т. е. $U_{18-16} = U_{15-16}$; резистором $R27$ устанавливают $U_{17-16} = Z_{cp}^* U_{20-16}$, так как $K_{p.r} = 1/Z_{cp}^* = U_{20-16}/U_{17-16}$. Если же $N > 1$, то резистором $R27$ устанавливают $K_{p.p} = 1$, т. е. $U_{20-16} = U_{17-16}$, а резистором $R26$ — устанавливают $U_{18-16} = Z_{cp}^* U_{15-16}$.

Проверяют соответствие полученного значения k_n настроенной уставке Z_{cp}^* :

$$k_n = \frac{Z_{\infty}^*}{Z_{cp}^*} = \frac{U_{12-14}}{U_{9-11}} \cdot \frac{U_{15-16}}{U_{18-16}} \cdot \frac{U_{20-16}}{U_{17-16}} \geq 3.$$

После завершения регулирования уставки рекомендуется от проверочного устройства при частоте 50 Гц провести изменение напряжения срабатывания реле НТГ в двух режимах:

при подаче напряжения $U_{ХТ:11-ХТ:13}$ и разомкнутой накладке 12-13;

при подаче напряжения $U_{ХТ:11-ХТ:13}$ и замкнутой накладке 12-13, когда из-за параллельной цепи $C14-T3$; $C1$, $T1-R1$ присутствует эффект торможения.

Полученные при этой проверке результаты позволяют в период эксплуатации быстро и объективно проверить исправность реле. При проверке необходимо соблюдать технику безопасности, чтобы исключить подачу напряжения от проверочного устройства на вторичные обмотки трансформаторов напряжения.

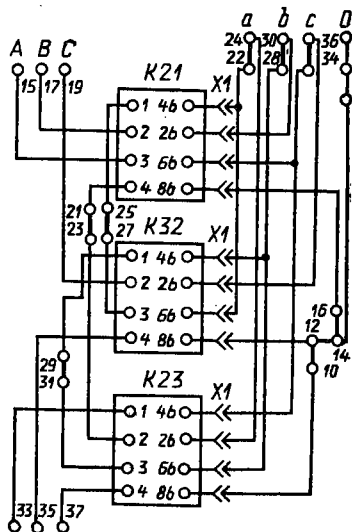
12.3. Блок-реле типа КРС-2

Защиту от внешних симметричных КЗ и защиту от потери возбуждения турбогенераторов выполняют с использованием двух дистанционных реле $K1$ и $K2$ комплекта КРС-2.

Блок-реле типа КРС-2 предназначен для использования в различных схемах релейной защиты в качестве пускового или дистанционного органа, который реагирует на отклонение значения полного сопротивления от установленного. Комплект содержит три реле сопротивления $K1$, $K2$, $K3$, которые включены на линейные напряжения и разность фазных токов (рис. 12.9); предусмотрена возможность с помощью перемычек на зажимах производить переключение реле комплекта на фазное напряжение и фазный ток с компенсацией по $3I_0$.

В качестве реагирующих органов схем сравнения применены магнитоэлектрические реле или полупроводниковые нуль-индикаторы, аналогичные рассмотренным в разд. 8. Исполнительными органами нуль-индикаторов являются выходные промежуточные реле $K1-K3$, выполненные на базе реле серии РП-220. Схемой комплекта (рис. 12.10) предусмотрена работа всех реле сопротивления на одно выходное реле $K2$ — в этом случае устанавливают перемычки 1-3, 5-7, 7-9, 11-13 — или индивидуальная работа каждого реле сопротивления на свое промежуточное реле — в этом случае устанавливают перемычки 3-5, 9-11, 18-20 и снимают 1-3, 5-7, 7-9, 11-13. Диоды $VD4$, $VD5$, $VD7$ обеспе-

Рис. 12.9. Схема включения комплекта КРС-2 во вторичные цепи трансформаторов тока и напряжения



чиняют стабилизацию режима работы выходных транзисторов VT нуль-индикаторов. Стабилитроны $V1$, $V2$, $V3$ и резистор $R28$ служат для создания необходимого времени возврата исполнительных реле.

Блок питания нуль-индикаторов, установленный в комплекте, практически не отличается от применяемых в комплектах ДЗ-2, за исключением места установки дополнительных резисторов $R30$, $R29$, смонтированных здесь внутри комплекта.

Принцип действия дистанционных органов комплекта КРС-2 аналогичен принципу действия рассмотренных в разд. 8 дистанционных органов комплекта КРС-1 с дополнительным контуром подпитки, как у реле KZ комплектов ДЗ-2 (рис. 12.11).

Такое выполнение обеспечивает работу дистанционных органов при близких $K3$ в режиме реле направления мощности, для расширения возможности применения и предотвращения излишних срабатываний от токов нагрузки предусмотрено получение эллиптической характеристики и смещение характеристик в III квадрант. Смещение достигается введением в рабочий контур схемы сравнения дополнительной ЭДС, пропорциональной току. Ступенчатую регулировку смещения 0—6—12—20% $Z_{уст}$ для круговой характеристики и 0—5,5—11—18% $Z_{уст}$ для эллиптической характеристики производят изменением числа витков вторичной обмотки $TAV1$ рабочего контура переключателем $SX1$. Для случая наибольшей уставки смещения 20(18)% дополнительно в тормозной контур следует вводить резистор $R14$ накладкой $SX2$.

Обозначения основных элементов реле сопротивлений комплектов КРС-2 и КРС-1, за исключением номеров накладок, совпадают. В связи с тем что в защите блока используются только два реле комплекта, работающие без подпитки от третьей фазы, в токовых цепях комплекта следует снять перемычки 21-23, 29-31 и установить их между выводами 21-29-35, эти переключения позволяют полностью отделать неиспользуемое реле $KZ3$ по токовым цепям (рис. 12.12). В цепях напряжения следует снять перемычки 22-24, 34-36, 10-12-14-16, а соединительные провода от цепей TV a , b , c подключить на выводы комплекта 22, 28-30, 36; выходные цепи реле следует разделить, $KZ1$ действует на $K1$, $KZ2$ — на $K2$.

Защита блока от внешних симметричных КЗ выполняется с использованием реле КЗ1 (см. рис. 12.12).

Реле включается на разность токов $I_a - I_b$ трансформаторов тока, установленных в нейтрали обмотки статора, и на напряжение U_{ab} во вторичных цепях основных обмоток трансформаторов напряжения

$U_{ном} = \frac{100}{\sqrt{3}}$ В, установленных на выводах генератора. Трансформаторы тока ТА соединяют в звезду, фазные провода к реле подводят от выводов ТА со стороны обмотки статора, нуль трансформаторов тока

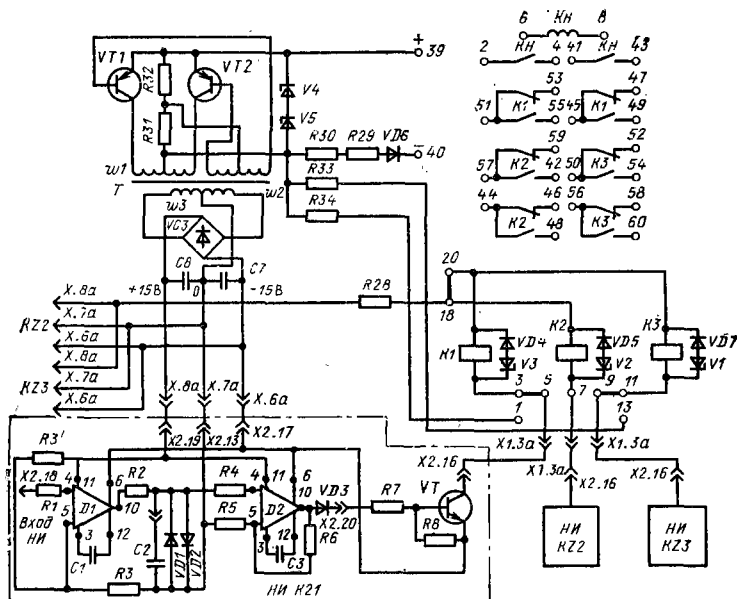


Рис. 12.10. Оперативные цепи комплекта КРС-2

собирают на выводах в сторону нуля генератора. При наличии параллельных выводов обмотки статора, когда вторичные обмотки трансформаторов тока каждой фазы соединяются параллельно, ток на защиту подается через промежуточные трансформаторы тока $ТА_n$ с коэффициентом трансформации 10/5 А.

Вторичная уставка срабатывания реле подсчитывается по формуле

$$Z_{ср} = Z_{ср.п} \frac{K_{ТА}}{K_{TV}} K_{ТА_n},$$

где K_{TA} — коэффициент трансформации TA ; K_{TV} — коэффициент трансформации TV ; K_{TA_n} — коэффициент трансформации промежуточных трансформаторов тока TA_n , если они используются; $Z_{ср.п}$ — первичная уставка срабатывания, Ом/фазу.

Реле сопротивления *KZI* обычно используют с круговой или эллиптической характеристикой при смещении ее в III квадрант, что обеспечивает надежное срабатывание защиты при КЗ на выводах и позволяет не использовать подпитку от третьей фазы. Смещение характеристики в III квадрант по линии максимальной чувствительности целесообразно принимать для круговой характеристики 12 %, для эллиптической 11 %, угол максимальной чувствительности реле 80°.

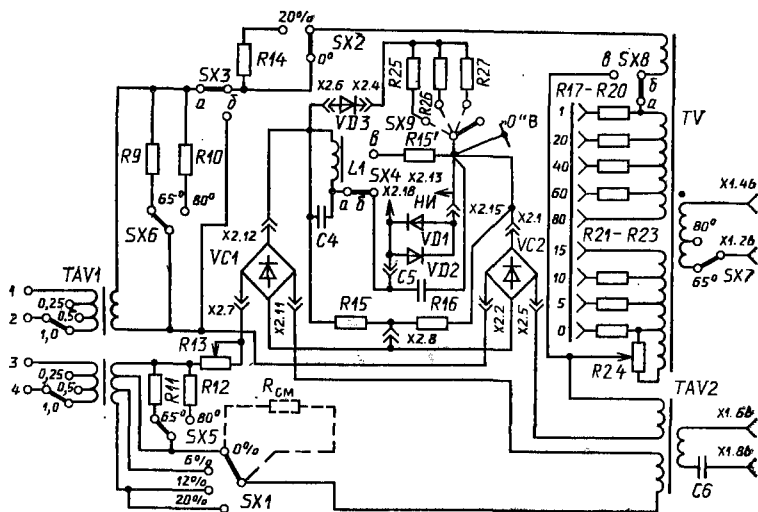


Рис. 12.11. Схема реле сопротивления комплекта КРС-2

Для исключения ложного срабатывания защиты обязательно выполняется ее блокирование при нарушении исправности цепей *TV*, с этой целью цепи питания постоянного тока подводятся на защиту через вспомогательные контакты автоматического выключателя *SF*, установленного во вторичных цепях *TV*. При отключении автоматического выключателя или нарушении цепи его вспомогательного контакта защита выводится из работы. Проверку электрических характеристик реле проводят в полном соответствии с рекомендациями разд. 8 с обязательным опробованием блокировки защиты при отключении автоматического выключателя *SF* в цепях напряжения.

Защита от потери возбуждения генератора реагирует на изменение сопротивления на его выводах и выполняется с помощью реле сопротивления, имеющего круговую характеристику,

В нормальном нагрузочном режиме вектор полного сопротивления на выводах обычно находится в I квадранте комплексной плоскости сопротивлений. При потере возбуждения генератор потребляет из сети значительную реактивную мощность и продолжает нести активную нагрузку, в связи с чем указанный вектор полного сопротивления перемещается в IV квадрант. Реле сопротивления $KZ2$ комплекта КРС-2, выполняющее функции защиты от потери возбуждения, должно иметь характеристику, расположенную в III и IV квадрантах (рис. 12.13).

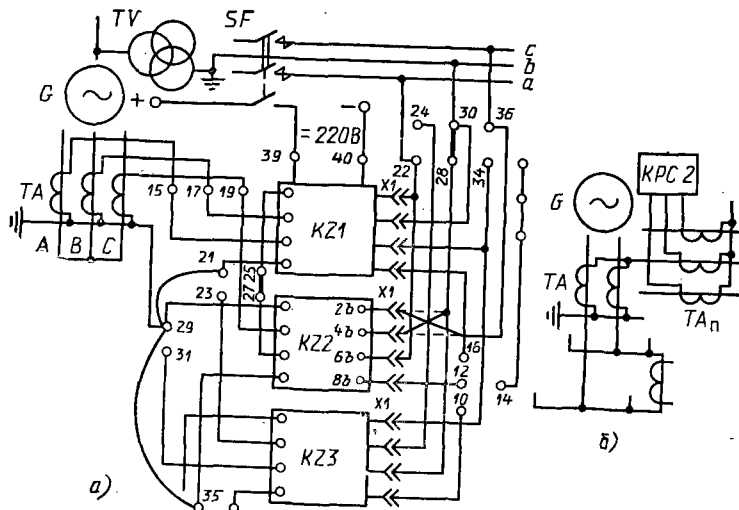


Рис. 12.12. Использование комплекта КРС-2 для выполнения защиты блока генератор — трансформатор:

а — подключение комплекта КРС-2 [жирными линиями показаны вновь устанавливаемые перемычки и вновь монтируемые цепи напряжения реле $KZ2$; пунктирными линиями показаны демонтируемые (заводские) провода]; *б* — включение комплекта КРС-2 в цепи дополнительных трансформаторов тока TA_{II}

По результатам многочисленных испытаний и исследований принято, что характеристика реле должна соответствовать следующим требованиям:

круговая характеристика должна иметь смещение в III—IV квадранты, равное $Z_{см} = 0,4 x_d$, этим обеспечивается срабатывание реле при асинхронном режиме работы генератора с полной нагрузкой и замыканием накоротко обмоткой ротора;

диаметр окружности характеристики принимают равным $1,1 x_d$ для обеспечения надежной работы реле при потере возбуждения неагруженного генератора;

угол максимальной чувствительности реле при этом желательно иметь равным 270° .

Чтобы реле КЗ2 могло максимально соответствовать перечисленным выше требованиям, в заводскую схему исполнения данного реле вносят небольшие изменения. По заводской схеме реле КЗ2 включено на разность токов $I_b - I_c$ и напряжение U_{bc} (см. рис. 12.9) при $\varphi_{м.ч} = 80^\circ$ имеет круговую характеристику, расположенную в I и II квадрантах. Для создания направленности реле в сторону генератора необходимо перепаять провода цепей напряжения b и c на разъеме Х1 (см. рис. 12.12). Провод фазы b отпаивают от Х1.4b, провод фазы c — от Х1.2b и, поменяв провода местами, надежно припаивают их. Провод фазы c присоединяется к зажиму Х1.4b — начало обмотки TV реле, а провод фазы b — к зажиму Х1.2b, при этом угол максимальной чувствительности изменяется по сравнению с указанным в заводской документации на 180° при сохранении включения реле относительно входных зажимов комплекта КРС-2 на тот же ток $I_b - I_c$ и то же напряжение U_{bc} . Чтобы по возможности приблизить $\varphi_{м.ч}$ к 270° , накладки SX5 и SX6 размыкают, накладку SX7 устанавливают в положение 80° , при таких переключениях угол максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ достигает $265^\circ - 267^\circ$, но при этом может несколько больше допустимого отличаться от заводской минимальная уставка срабатывания реле.

Выполнение смещения характеристики в III—IV квадранты — зону, противоположную по сравнению с предусмотренной схемой реле, достигается разбалансировкой сопротивлений рабочего и тормозного контуров при включении в рабочий контур дополнительного резистора $R_{см}$ (рис. 12.11). Резистор МЛТ-2, сопротивление которого в пределах $1 - 2,5$ кОм уточняется при наладке, включается под заводские винты в гнезда вместо накладки SX1 в положение 0 %, накладка SX2 устанавливается в положение 0 %, точная регулировка $Z_{см}$ выполняется резистором R13. В справочниках и заводской документации на генераторы значения x_d и x'_d приводятся в относительных единицах, необходимые первичные уставки $Z_{см.п}$ и $Z_{ср.п}$ можно рассчитывать по формулам, Ом,

$$Z_{см.п} = \frac{0,4U_{ном}^2 x'_d \cdot 100}{S_{ном}}; \quad Z_{ср.п} = \frac{U_{нам}^2 \cdot 100}{S_{ном}} (1,1x_d + 0,4x'_d),$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение генератора, В; $S_{ном}$ — номинальная мощность генератора, В·А; x_d , x'_d — реактивные сопротивления генератора в относительных единицах.

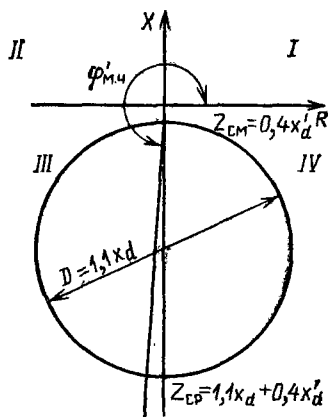


Рис. 12.13. Характеристика реле КЗ2 защиты от потери возбуждения генератора

Пересчет полученных первичных значений во вторичные уставки срабатывания реле проводят в полном соответствии с расчетом уставки реле *KZ1*.

В связи с некоторым отличием реле *KZ2* от заводской схемы при проверке электрических характеристик реле имеются отличия от заводских рекомендаций. Выравнивание сопротивлений рабочего и тормозного контуров следует производить по заводской методике резистором *R13* при накладке *SX1*, установленной временно в положение 0 %, расчетных витках *N* на плате регулирования уставок и при полностью введенном резисторе плавной регулировки уставки *R24*.

Настройку рабочей уставки производят при угле настройки 270° по двум контрольным точкам $Z_{см}$ и $Z_{ср}$. Параметры срабатывания реле $Z_{см}$ и $Z_{ср}$ взаимно связаны, регулирование уставки изменением числа витков *N* и положением резистора *R24* влияет и на значение $Z_{см}$, включение $R_{см}$ и изменение сопротивления *R13* влияют на значение $Z_{ср}$, хотя взаимное влияние при регулировании на второй параметр сказывается в меньшей степени. Поэтому необходимые уставки срабатывания обычно удается получить с двух-трех попыток, меняя в первую очередь $R_{см}$ и *R24*, а затем *R13* и число витков *N*; тем не менее расчетное число витков может существенно отличаться от выставленных при $Z_{ср}$. Снятие круговой характеристики и определение $\Phi_{м.ч}$ производят по обычной методике, только при каждом значении угла проверки фиксируют две точки срабатывания. Верхнюю уставку срабатывания определяют при уменьшении *Z* (уменьшают напряжение на проверочном устройстве У5053), нижнюю уставку — при увеличении *Z* от нуля, при проверке по измерителю угла сдвига фаз контролируют стабильность угла между током I_{bc} и напряжением U_{bc} , подведенным к реле.

На реле при проверке от У5053 можно подать напряжение не более 110 В, а так как $Z_{ср}$ бывает достаточно большим, проверку круговой характеристики и настройку $Z_{ср}$ обычно производят при заводском значении тока 10 %-ной точности или чуть больше.

После окончательной регулировки уставок и фиксации положения регулировочных резисторов *R13*, *R24* определяют ток на входе нуля индикатора (накладка *SX4*) при токе $I_{bc}=I_H$ и зашунтированных цепях напряжения в двух режимах: при установленном $R_{см}$ и при $R_{см}$, зашунтированном временной перемычкой.

Данные результаты могут потребоваться для периодического контроля в процессе эксплуатации. Проверку правильности включения дистанционных органов *KZ1* и *KZ2* выполняют при пусковых испытаниях энергоблока в опыте КЗ, когда генератор работает на трехфазную коротку, установленную за блочным трансформатором. Если проверка обоих реле проводилась последовательно одним проверочным устройством, достаточно проверить реле *KZ1*, чтобы сделать вывод о правильном включении комплекта. Для реле *KZ1* опыт КЗ генератора — самый наглядный режим, когда реле должно работать. При подготовке к проверке необходимо вывести оперативными накладками цепи отключения защит с использованием *KZ1* и *KZ2*, подать на комплект оперативный ток для обеспечения возможной работы нуля-индикаторов и вывести смещение характеристики реле *KZ1* в III квадрант.

В опыте КЗ генератора фиксируют срабатывание исполнительного органа реле *K1*, микроамперметром в расщелке *a-b* накладки *SX4* из-

меряют ток, который должен иметь направление на срабатывание нуль-индикатора.

В опыте XX генератора при номинальном напряжении проверяют в расщелке SX4 максимальный тормозной ток, несрабатывание исполнительного реле KI. Проверки, проведенные при испытаниях генератора в указанном объеме, позволяют при работе его под нагрузкой свести последующие проверки к минимуму и ограничиться только снятием векторной диаграммы цепей тока относительно цепей напряжения a, b, c , подведенных к комплекту КРС-2.

12.4. Блок-реле типа РТФ-6М

В настоящее время широко внедрены в эксплуатацию мощные турбогенераторы с непосредственным охлаждением обмоток. Эти генераторы характеризуются малой перегрузочной способностью, особенно при работе в несимметричных режимах. Допустимая длительность несимметричного режима определяется из выражения

$$t_{\text{доп}} = A/I_{*2}^2,$$

где I_{*2} — кратность тока обратной последовательности по отношению к номинальному току генератора; A — постоянная величина для генераторов данного типа: для турбогенераторов ТВФ — 15; ТГВ, ТВМ, ТВВ (кроме ТВВ-1000-4 и ТВВ-1200-2) — 8; ТВВ-1000-4 и ТВВ-1200-2 — 6. В условиях переходного процесса при несимметричных КЗ ток обратной последовательности может изменяться во времени. При этом допустимая длительность его теплового действия определяется среднеквадратичным значением за время $t_{\text{доп}}$:

$$t_{*2\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{доп}}} \int_0^{t_{\text{доп}}} I_{*2t}^2 dt}.$$

Поскольку перегрузка генератора в несимметричных режимах и при несимметричных КЗ зависит только от токораспределения обратной последовательности в системе, во избежание повреждения генератор должен быть отключен с выдержкой времени, не превышающей $t_{\text{доп}}$. Эту функцию и выполняет токовая защита обратной последовательности с зависимой интегральной характеристиккой выдержки времени типа РТФ-6М.

Структурная схема блок-реле приведена на рис. 12.14. В состав комплекта РТФ-6М входят следующие элементы:

блок питания БП, служащий для питания основных органов блок-реле и их выходных реле стабилизированным напряжением постоянного тока;

фильтр тока обратной последовательности ФТОП, преобразующий несимметрию токов на входе блок-реле в переменное напряжение, пропорциональное симметричным составляющим обратной последовательности;

входное преобразующее устройство ВПУ, выпрямляющее напряже-

ния на входах органов блок-реле пропорционально относительному току обратной последовательности;

сигнальный орган *СО*, сигнализирующий о достижении тока обратной последовательности определенного уровня;

пусковой орган *ПО*, определяющий минимальное значение тока обратной последовательности, начиная с которого осуществляется защита генератора от несимметричных перегрузок с действием на отключение;

два органа *Отсечка I* и *Отсечка II*, срабатывающие на отключение генератора с независимой выдержкой времени;

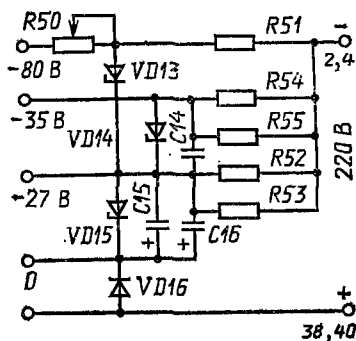
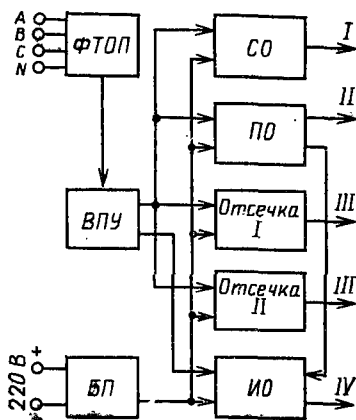


Рис. 12.14. Структурная схема блок-реле РТФ-6М:

I — сигнал о перегрузке; *II* — сигнал о пуске органа с зависимой выдержкой времени; *III* — отключение генератора от органов с независимой выдержкой времени; *IV* — отключение генератора с зависимой выдержкой времени

Рис. 12.15. Схема цепей блока питания РТФ-6М

интегральный орган *ИО*, имеющий интегрально-зависимую характеристику выдержки времени, соответствующую допустимой длительности протекания токов обратной последовательности в генераторе.

Блок питания (рис. 12.15) состоит из резисторов *R50—R55*, стабилитронов *VD13—VD15*, фильтров для защиты от помех *C14—C16* и диода *VD16*. Резистор *R50* предназначен для регулирования напряжения питания органов без выдержки времени. Резисторы *R11*, *R12* (на рисунке не показаны) образуют делитель напряжения, подключенный к минусу источника питания и к средней точке делителя опорного напряжения интегрального органа. Средняя точка делителя напряжения подключена к точке нулевого потенциала схемы через конденсатор *C5*. Эта цепь служит для компенсации погрешности при

изменении напряжения питания в диапазоне от $0,8 U_{\text{ном}}$ до $1,1 U_{\text{ном}}$ во всем диапазоне рабочих температур. Для защиты контактов магнитоэлектрических реле от повышения напряжения используются стабилизаторы $VD1-VD3$, включенные последовательно с резисторами $R9, R10$.

Проверка питания заключается в настройке уровней напряжения в контрольных точках при поданном напряжении 220 В оперативного тока на зажимы 40-4. Напряжения, измеренные вольтметром постоянного тока с $R_{\text{вн}} \geq 20 \text{ кОм/В}$, должны соответствовать данным, приведенным ниже:

Место измерения ¹	40-1	28-III	28-VII	28-VIII	28-26	28-36
Напряжение, В	$75 \pm 0,5$	$21 \pm 0,5$	19,5—20	20,5—21	24—30	7—8,5
Орган регулирования	R50	R15	R23	R24	—	—

¹ Здесь и далее обозначения выводов, точек и разъемов реле указаны в соответствии с заводской документацией и не всегда приведены на рисунках.

Перед измерением напряжений необходимо зажим 40 соединить с точкой II (обмотка KL2).

Фильтр тока обратной последовательности ФТОП (рис. 12.16) состоит из трансформаторов $TA1, TA3$, трансреактора $TAV2$, резисторов $R13, R14$ и конденсаторов $C8-C12$. Трансформатор $TA1$ одной из первичных обмоток включается на ток фазы А, а другой обмоткой, имеющей в 3 раза меньшее количество витков, — в нулевой провод для компенсации влияния токов нулевой последовательности. Трансформатор $TA3$ и трансреактор $TAV2$ включены на разность токов фаз В и С. Вторичные обмотки $TA3$ и $TAV2$ включены встречно для того, чтобы совпали по фазе напряжение на емкостной нагрузке $C11, C12$ и ЭДС трансреактора. Каждая из этих составляющих равна половине падения напряжения в резисторах $R13, R14$, совпадающего по фазе с током фазы А. Применение в качестве реактивных элементов емкостей и индуктивностей, сопротивления которых, приведенные к первичной стороне трансформаторов, при номинальной частоте примерно одинаковы, позволяет снизить небаланс и погрешности фильтра от изменения частоты в пределах $\pm 10\%$ номинального значения. Настройка ФТОП на минимум небаланса производится переменным резистором $R14$, а компенсация угловой погрешности трансформатора $TA1$ и трансреактора $TAV2$ — емкостями $C8-C10$.

При подаче на ФТОП тока прямой последовательности активная и реактивная составляющие равны и противоположны по фазе (рис. 12.17). При подаче на ФТОП тока обратной последовательности активная и реактивная составляющие равны и совпадают по фазе, на выходе фильтра появляется напряжение, пропорциональное току обратной последовательности.

Настройка ФТОП производится при имитации двухфазных КЗ. При снятых перемычках 6-8 и 14-16 на фазы АВ, ВС и СА поочередно подается ток $\sqrt{3} I_{\text{ном}}$. Разница между напряжениями, измеренными

вольтметром с $R_{вн} \geq 20 \text{ кОм/В}$ на зажимах 6-16, должна быть не более 1 В. Регулировка ФТОП производится резистором $R14$ и переключением конденсаторов $C8-C10$ на последовательное, параллельное или смешанное соединение.

Входное преобразовательное устройство ВПУ (рис. 12.18) состоит из регулируемых резисторов $R15$, $R16$, согласующего трансформатора $TL4$, выпрямительных мостов $VC1$, $VC2$, фильтра второй гармоники $L1-C6$, конденсатора $C7$, резисторов $R17-R19$ и стабилитрона $VD4$. На входах органов блок-реле напряжение определяется только кратностью тока обратной последовательности по отношению к номинальному току генератора и в определенных пределах не должно зависеть

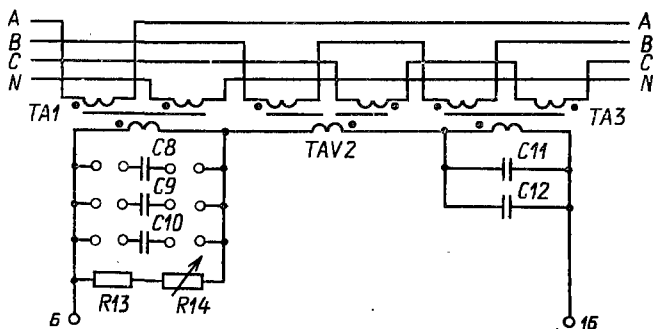


Рис. 12.16. Фильтр тока обратной последовательности РТФ-6М

от значения номинального вторичного тока генератора. Для изменения входного напряжения органов блок-реле при настройке ФТОП предусмотрены резисторы $R15$, $R16$, регулирование которых позволяет устанавливать на входе напряжение, соответствующее номинальному току генератора при его значениях во вторичных цепях от $0,7 I_{ном}$ до $I_{ном}$. Согласующий трансформатор $TL4$ отделяет цепи интегрального органа от остальных элементов защиты, имеющих связь по цепям питания. Вторичная обмотка ω_2 трансформатора имеет две отпайки для различных исполнений блок-реле по диапазонам регулировки уставок по постоянной А. На выходе вторичных обмоток включены выпрямительные мосты $VC1$ и $VC2$. Для сглаживания выпрямительного напряжения моста $VC1$ применен фильтр-шунт $C6-L1$, настроенный на частоту 100 (120) Гц. Нагрузкой моста является делитель входного напряжения органов без выдержки времени ($R22$, $R23$, $R29$, $R30$, $R36$, $R42$, $R43$). Сглаживание выпрямленного напряжения моста $VC2$ производится конденсатором $C7$, а нагрузкой являются резисторы $R17$ и $R18$ совместно с входным сопротивлением интегрального органа. Резистор $R19$ и стабилитрон $VD4$ вместе с входным сопротивлением интегрального органа представляет собой нелинейную цепь, необходимую для коррекции характеристик интегрального органа при токе $I_2 > 1,5 I_{ном}$.

Настройка входного преобразовательного устройства сводится

к выставлению напряжения на выходе моста $VC1$ (зажимы 20-22) в пределах $(60 \pm 0,5)$ В. Для этого необходимо предварительно разомкнуть перемычку 32-34 на входе интегрального органа, на зажимы 40-4 подать напряжение постоянного тока 220 В и на вход ФТОП (зажимы 1-3) подать ток, равный $\sqrt{3} I_{ном}$. Регулирование напряжения осуществляется резисторами $R15$, $R16$. Для измерения напряжения используется вольтметр постоянного тока с $R_{вн} \geq 20$ кОм/В (M1200, M1201, M2038 и др.).

Настройка фильтра-шунта $C6-L1$ на частоту 100 (120) Гц производится от генератора низкой частоты. Для этой цели на зажимы 18-22 через миллиамперметр переменного тока при разомкнутой перемычке 18-20 подводится напряжение частотой 100(120) Гц. Изменением воздушного зазора дросселя $L1$ добиваются максимального показания миллиамперметра.

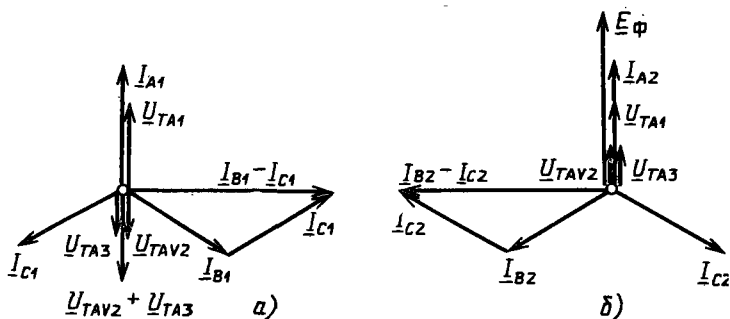


Рис. 12.17. Векторные диаграммы ФТОП:

а — при токе прямой последовательности; б — при токе обратной последовательности

Органы с независимой выдержкой времени собраны по однотипным схемам, различающимся только параметрами некоторых резисторов. На рис. 12.19 приведена упрощенная схема сигнального органа, представляющая собой четырехплечий мост $ACDE$, к точкам A и D которого подводится напряжение от блока питания $БП$, а к точкам B и F — от делителя напряжения с выхода $ВПУ$ (зажимы 20-22). В диагональ моста EC включено магнитоэлектрическое реле $K1$ типа M237/054, обмотка которого шунтирована демпфирующим резистором $R24$. Сопротивления плеч моста подобраны таким образом, чтобы при отсутствии напряжения на выходе $ВПУ$ по обмотке реле проходил ток в тормозном направлении, значение которого регулируется в пределах 50—100 мкА резистором $R26$. Потенциалы точек B и F подобраны таким образом, что и при отсутствии напряжения от $ВПУ$ или достаточно малом значении диод $VD5$ заперт и ток, проходящий через него, пренебрежимо мал. При увеличении напряжения с выхода $ВПУ$ диод $VD5$ начинает отпираться, а диод $VD6$ запирается. Ток в диагонали EC изменит направление и реле $K1$ сработает. Для изменения

диапазонов уставок органов с независимой выдержкой времени без изменения параметров схем сравнения предусмотрена возможность ступенчатого изменения напряжения на делителе входного напряжения ($R22, R23, R29, R30, R36, R42, R43$). Плавное регулирование уставок осуществляется переменными резисторами $R26, R33, R39$ и $R46$. Для надежной работы контактов магнитоэлектрических реле $K1—K4$ параллельно им включены искрогасительные контуры $R1—C1—R4—C4$. Контакты магнитоэлектрических реле действуют на свои выходные реле $KL1—KL4$ типа РМУТ. Выдержки времени создаются с помощью дополнительных реле времени.

Настройка уставок производится при имитации КЗ на фазах АВ с пересчетом на ток обратной последовательности:

$$I_{*2} = \frac{I_2}{I_{\text{ном}}} = \frac{I_K^{(2)}}{\sqrt{3} I_{\text{ном}}}.$$

Срабатывание ступеней защиты фиксируется соответствующими выходными реле $KL1—KL4$. В точки $a—б$ накладок $XB1—XB4$ включается микроамперметр ($M1200, M1201$ или др.) для измерения рабочего и тормозного токов магнитоэлектрических реле. Значения рабочего и тормозного токов должны находиться в пределах 50—100 мкА.

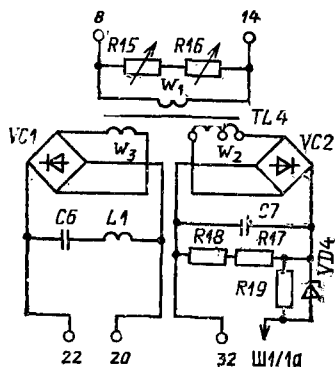


Рис. 12.18. Входное преобразовательное устройство РТФ-6М

совмещенной частотно-импульсной и амплитудно-импульсной модуляции. В результате конденсатор заряжается импульсами тока неизменной продолжительности, амплитуда которых прямо пропорциональна, а длительность интервалов между импульсами обратно пропорциональна относительному току обратной последовательности. При исчезновении перегрузки по току обратной последовательности конденсатор переключается на разряд, имитирующий охлаждение генератора. Напряжение на конденсаторе уменьшается по экспоненте. Время полного охлаждения генератора соответствует времени снижения напряжения кон-

Интегральный орган (рис. 12.20) состоит из частотно-импульсного модулятора (ЧИМ), интегратора, блокинг-генератора, триггера и выходного реле. Для получения интегрально-зависимой характеристики времени в схеме интегрального органа используется заряд конденсатора током, среднее значение которого пропорционально квадрату относительного тока обратной последовательности. Время заряда конденсатора до определенного потенциала обратно пропорционально среднему значению зарядного тока, т.е. квадрату тока обратной последовательности. Подающийся на интегральный орган ток от ВПУ преобразуется в необходимый зарядный ток с использованием

денсатора от наибольшего значения до нуля после перегрузки, соответствующей порогу срабатывания интегрального органа, т.е. достижению максимально допустимого нагрева генератора. При повторной перегрузке генератора током обратной последовательности, возникшей до полного разряда конденсатора, интегральный орган срабатывает с меньшей выдержкой времени, чем после полного охлаждения.

Частотно-импульсный модулятор преобразует входное выпрямленное напряжение в однополярные импульсы напряжения прямоугольной формы постоянных амплитуды и продолжительности, длительность пауз между которыми обратно пропорциональна входному напряжению. В нормальном режиме цепи питания интегрального органа разорваны замыкающим контактом пускового органа $KL2$. При достижении тока обратной последовательности, достаточного для срабатывания пускового органа, последний срабатывает и подает напряжение питания на ЧИМ, при этом диод $VD11$ закрывается. Напряжение, поступающее от ВПУ, открывает токостабилизирующий транзистор $VT3$ и по цепи диод $VD10$ — коллектор транзистора $VT3$ — диод $VD3$ начинается заряд конденсатора $C1$ блока $B2$. Напряжение на емкости $C1$ при неизменном токе заряда увеличивается по линейному закону. В процессе заряда конденсатора $C1$ транзисторы $VT1$, $VT2$ и $VT5$ зашунтированы заряжающимся конденсатором, а транзистор $VT6$ насыщен за счет тока базы, протекающего по резисторам делителя напряжения $R11$ — $R15$. Диоды $VD2$, $VD4$, $VD5$ и $VD7$ заперты, на выходе модулятора (коллектор $VT6$) — режим паузы.

При увеличении напряжения на конденсаторе $C1$ до значения, равного напряжению на базе транзистора $VT1$, через его базу начнет нарастать ток. Транзисторы $VT1$, $VT2$ и $VT5$ перейдут в режим насыщения, и конденсатор $C1$ блока $B2$ начнет разряжаться через диод $VD2$ и далее по нескольким параллельным цепям: транзисторы $VT1$ — $VT2$ — резистор $R7$ — переход база—эмиттер транзистора $VT5$; резистор $R5$ — диод $VD4$ — переход коллектор — эмиттер транзистора $VT5$; переход эмиттер — база транзистора $VT1$ — эквивалентное сопротивление делителя опорного напряжения $R12$ — $R15$ — диод $VD7$ — переход коллектор — эмиттер транзистора $VT5$. В течение всего времени разряда транзистор $VT5$ находится в режиме насыщения, диод $VD3$ заперт, а $VD5$ открыт. Ток коллектора $VT3$ отводится через насыщенный транзистор $VT5$ и диод $VD5$ к источнику питания, чем обеспечивается независимость разряда конденсатора от входного тока. Транзистор $VT6$ заперт током смещения через резистор $R10$, и на коллекторе $VT6$ формируется импульс, управляющий работой интегратора и блокинг-генератора. При разряде конденсатора $C1$ ток в диоде $VD2$ уменьшается, и когда разность между током разряда конденсатора $C1$ и то-

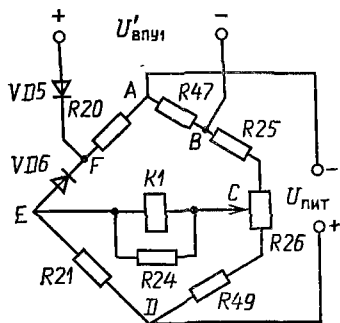


Рис. 12.19. Упрощенная схема сигнального органа

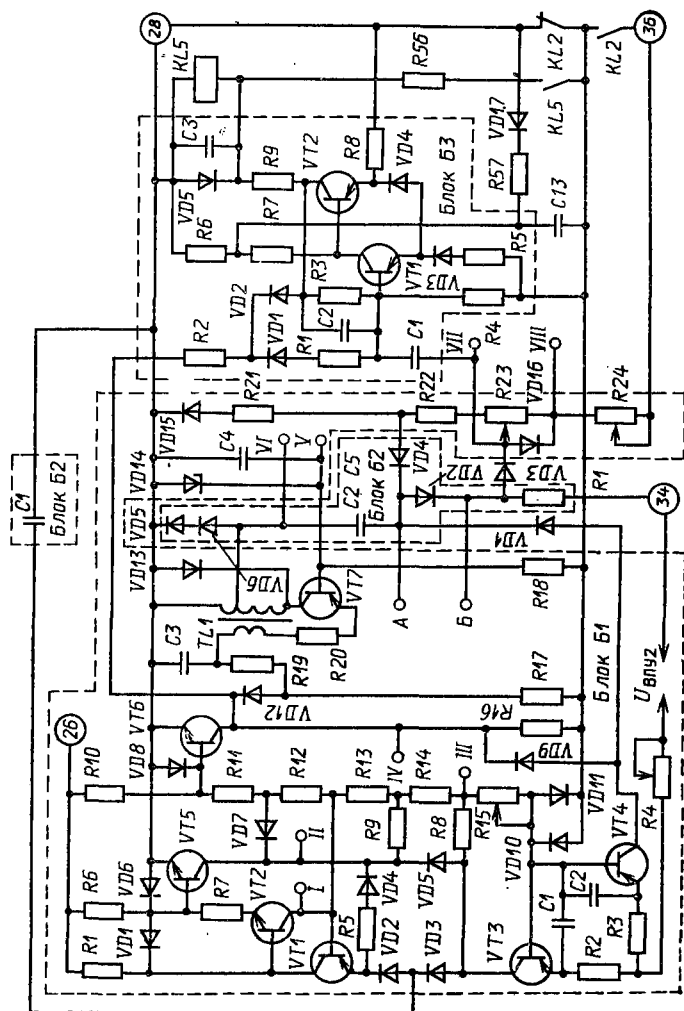


Рис. 12.20. Схема интегрального органа РТФ-6М

ком смещения через резистор $R5$ будет меньше тока, удерживающего транзисторы $VT1$ и $VT2$ в режиме насыщения, они благодаря сильной обратной положительной связи переходят в режим отсечки. Весь цикл повторяется.

Нелинейность преобразования тока обратной последовательности в ток заряда конденсатора $C1$, вызванная падением напряжения в диодах моста и зависимостью коэффициента передачи тока эмиттера от значения тока, компенсируется введением цепи подзаряда конденсатора $C1$ от точки III делителя опорного напряжения через резистор $R8$. Влияние тока подпитки велико при малых токах обратной последовательности. Ток разряда $C1$, а следовательно, и время разряда не изменяются. Поэтому ширина и амплитуда импульсов на выходе модулятора постоянны. Интервал между импульсами зависит от времени заряда $C1$, которое обратно пропорционально зарядному току $C1$ и току обратной последовательности. При возврате пускового органа конденсатор $C1$ разряжается через эквивалентное сопротивление всей схемы и размыкающие контакты реле $KL2$.

Интегратор представляет собой преобразователь входного напряжения от ЧИМ, пропорционального току обратной последовательности, в выдержку времени. Блок интегрирующих конденсаторов $C2—C5$ в блоке $B2$ заряжается через токостабилизирующий транзистор $VT4$, управляемый напряжением от ВПУ аналогично транзистору $VT3$ и диодным ключом $VD9$ (блок $B1$), $VD1$ (блок $B2$). Диодный ключ, управляемый импульсами модулятора, преобразует ток коллектора транзистора $VT4$ в импульсы зарядного тока. Во время паузы транзистор $VT6$ насыщен, диод $VD9$ открыт и ток коллектора $VT4$ отводит-ся через насыщенный транзистор $VT6$ к источнику питания. В то же время диод $VD1$ закрыт и блок конденсаторов $C2—C5$ отключен от зарядной цепи. Во время импульсов на выходе ЧИМ диод $VD9$ закрывается, а диод $VD1$ открывается и ток коллектора $VT4$ заряжает конденсаторы $C2—C5$. В процессе заряда напряжение конденсаторов повышается и когда оно превысит уровень напряжения на движке потенциометра $R23$, открываются диоды $VD2$, $VD3$ блока $B2$ и коммутирующие импульсы, снимаемые с частн обмотки блокинг-генератора, поступят на вход триггера и вызовут его срабатывание. Резистором $R23$, включенным в делитель опорного напряжения $R21—R24$, меняется время заряда блока конденсаторов $C2—C5$, что в свою очередь ведет к изменению уставки по постоянной A .

При возврате пускового органа $KL2$ конденсаторы $C2—C5$ переключаются на разряд по цепи диод $VD2$ —резистор $R1$ —размыкающие контакты реле $KL2$. Ток разряда изменится по экспоненциальному закону и имитирует охлаждение ротора после устранения несимметричного режима. В нормальном режиме на конденсаторах $C2—C5$ имеется начальное напряжение 2—3 В, так как блок конденсаторов через диод $VD4$ подключен к резистору $R21$ делителя опорного напряжения.

На рис. 12.21 приведены графики, поясняющие работу частотно-импульсного модулятора и интегратора.

Блокинг-генератор является источником коммутирующих импульсов. Он выполнен на транзисторе $VT7$, включенном по схеме с общей базой. Во время паузы модулятора транзистор $VT7$ закрыт отрицательным смещением, поданным от транзистора $VT6$ через диод $VD12$, обмотку импульсного трансформатора $TL1$ и резисторы $R19$, $R20$. Во время импульса модулятора $VD12$ закрыт положительным напряже-

нием, а конденсатор $C3$ начинает заряжаться через резисторы $R17$ и $R19$. Когда напряжение на конденсаторе $C3$ превысит напряжение на стабилитроне $VD14$, транзистор $VT7$ открывается и за счет положительной обратной связи между цепями коллектора и эмиттера генерирует импульс через импульсный трансформатор $TL1$. Длительность импульса определяется временем разряда конденсатора $C3$ через резистор $R20$, переход эмиттер — база транзистора $VT7$ и индуктивность трансформатора $TL1$. По окончании импульса транзистор $VT7$ закрывается и снова начинает заряжаться конденсатор $C3$. Длительность паузы между импульсами определяется временем заряда конденсатора. В режиме паузы модулятора конденсатор $C3$ разряжается через резистор $R19$, диод $VD12$ и транзистор $VT6$.

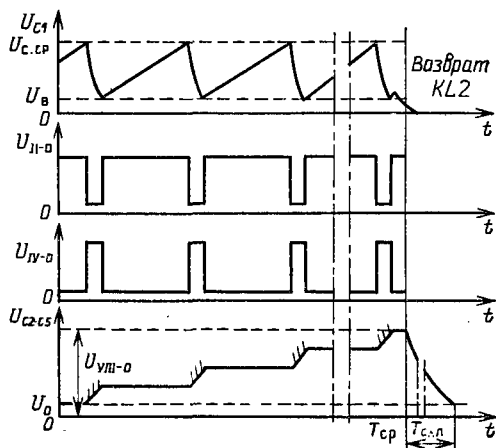


Рис. 12.21. Графики зависимости $U_{C1}=f(t)$; $U_{II-0}=f(t)$; $U_{IV-0}=f(t)$; $U_{C2-C5}=f(t)$

Выходной триггер (блок БЗ) выполнен на транзисторах $VT1$ и $VT2$ с коллекторной $R3$ и эмиттерной $R5$ обратной связью. В нормальном режиме транзистор $VT1$ открыт током смещения, поступающим через катушку реле $KL5$, резисторы $R9$ и $R3$, а транзистор $VT2$ закрыт. Во время паузы ЧИМ через насыщенный транзистор $VT6$, резисторы $R2$, $R1$, $R3$ и диоды $VD1$, $VD2$ на базу $VT1$ подается дополнительный ток смещения, который заглубляет триггер, переводя транзистор $VT1$ в режим глубокого насыщения. Во время импульса ЧИМ дополнительный ток смещения исчезает и чувствительность триггера повышается. Если в этот момент от блокинг-генератора на вход триггера через конденсатор связи $C1$ поступит коммутирующий импульс, достаточный для уменьшения тока базы транзистора $VT1$ до нуля, последний закроется и откроется транзистор $VT2$, который будет удерживать

живаться током смещения через резисторы $R6$ и $R7$. При опрокидывании триггера сработает выходное реле $KL5$ и самоудержится через свой замыкающий контакт. Чтобы предотвратить возврат триггера во время паузы ЧИМ, дополнительный ток смещения отводится от базы транзистора $VT1$ через открытый диод $VD2$ и коллекторный переход транзистора $VT2$. Помехоустойчивость триггера обеспечивается шунтированием обмотки выходного реле триггера конденсатором $C3$, за счет чего создается замедление срабатывания реле. Так как длительность переключающих импульсов блокинг-генератора мала, то для заряда $C3$ через резистор $R9$ и коллектор транзистора $VT2$ требуется 3—4 переключающих импульса. При кратковременной одиночной помехе конденсатор $C3$ не успевает зарядиться и триггер не зафиксирован в сработавшем состоянии. При срабатывании триггера от интегратора поступает пакет из 5—10 импульсов — этого достаточно для нормальной работы схемы.

Возврат триггера происходит за счет снятия напряжения питания при размыкании замыкающего контакта пускового органа $KL2$. При подаче напряжения питания возникновение отпирающего тока в цепи базы транзистора $VT2$ задерживается на время заряда конденсатора $C13$ через резистор $R6$, что вполне достаточно для отпирания транзистора $VT1$ и установки триггера в начальное положение. Разряд конденсатора $C13$ происходит через резистор $R57$, диод $VD17$ и размыкающий контакт $KL2$.

Проверка ЧИМ заключается в измерении осциллографом амплитуды и продолжительности импульсов, а также длительности пауз между импульсами. Проверка производится при поданном на вход блок-реле токе $0,5 I_{*2}$ и I_{*2} и напряжении постоянного тока 220 В. Осциллограф подключается к зажиму 28 и контрольной точке IV (измеряется напряжение коллектор—эмиттер транзистора $VT6$). Амплитуды и продолжительность импульсов должны быть постоянны, а длительность пауз должна изменяться обратно пропорционально входному току.

При проверке блокинг-генератора осциллограф подключается к контрольной точке VI и зажиму 28. Для создания на выходе блокинг-генератора непрерывных импульсов необходимо зажим 28 соединить с контрольной точкой II . В этом случае транзистор $VT6$ закроется и на выходе ЧИМ появится постоянный сигнал. Продолжительность импульсов должна находиться в пределах 8—12 мкс, паузы — 500—700 мкс, амплитуда импульсов составляет 0,8—1,5 В.

Проверка времени срабатывания интегрального органа производится на максимальной уставке по постоянной величине A при имитации КЗ на фазах AB с пересчетом на ток обратной последовательности (см. настройку уставок органов с независимой выдержкой времени) при $I_{*2}=1$. Предварительно проверяется и в случае необходимости регулируется резистором $R23$ потенциал между зажимом 28 и контрольной точкой VII , который должен находиться в пределах 19,5—20 В. Время срабатывания интегрального органа, рассчитанное по формуле $t_{ср} = A/I_{*2}^2 = A$, должно быть меньше величины A на 3 %. Регулировка времени срабатывания осуществляется переменным резистором $R4$ (изменение зарядных токов). Для сокращения времени настройки необходимо между измерениями включать на 3—7 с между точкой B

(блок Б2) и зажимом 34 через нефиксированную кнопку разрядный резистор МЛТ-0,5 (51 кОм). Промежутки между измерениями в этом случае должны быть 10—15 с.

Временная характеристика интегрального органа проверяется на заданной уставке по постоянной величине A . При токе обратной последовательности $I_{*2}=1$ резистором $R23$ добиваются времени сраба-

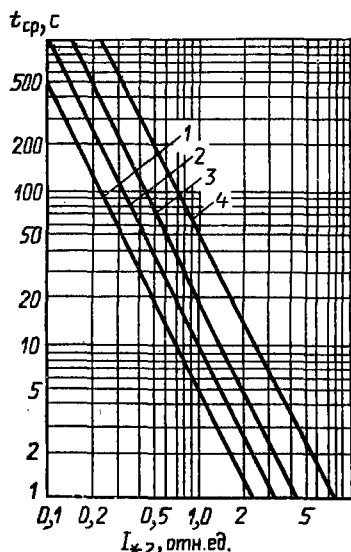


Рис. 12.22. Кривые зависимости времени срабатывания интегрального органа от кратности тока обратной последовательности:

1 — для $A=5$; 2 — для $A=10$; 3 — для $A=20$; 4 — для $A=45$

тывания интегрального органа на 3 % меньше заданной уставки по величине A . Затем снимается временная характеристика при токах I_{*2} , равных 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0, и имитации КЗ на фазах AB , BC , CA . В случае отклонения характеристики от расчетной на 10 % и более в ту или иную сторону производится ее корректировка в необходимую сторону при $I_{*2}=1$. Расчетная зависимость времени срабатывания интегрального органа приведена на рис. 12.22.

При проверке времени срабатывания интегрального органа при импульсном воздействии тока обратной последовательности пусковой орган $KL2$ должен быть подтянут во избежание разряда конденсаторов по цепи

при полного охлаждения ротора после устранения несимметричного режима.

Проверка уставки по времени полного охлаждения производится в следующей последовательности:

измеряется время срабатывания T_1 интегрального органа при токе обратной последовательности 0,3—0,5 I_{*2} как среднее трех измерений. В промежутках между измерениями разрядную цепь интегрального органа необходимо шунтировать резистором 51 кОм;

при том же токе обратной последовательности производится по три измерения времени срабатывания интегрального органа с перерывами между моментом возврата пускового органа и его последующего пуска, равными минимальным и максимальным значениям, приведенным в табл. 12.2. Среднее значение времени срабатывания интегрального органа T_2 (минимальный перерыв) должно быть меньше 0,95 T_1 , а T_3 (максимальный перерыв) — больше или равно 0,95 T_1 .

Проверка блок-реле на работающем генераторе совмещается с опытом трехфазного КЗ блока генератор—трансформатор. В объем проверки входит измерение напряжения небаланса $\PhiТОП$, проверка токов

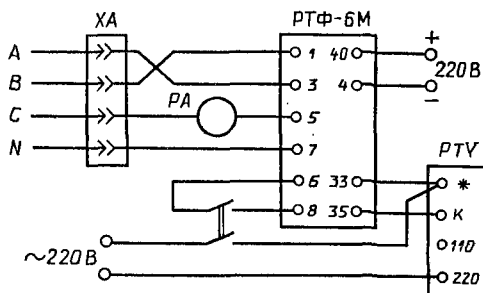
Таблица 12.2. Характеристика полного охлаждения блок-реле

Исполнение блок-реле по постоянной A	Уставка по A	Время полного охлаждения $T_{\text{охл}}$, с
5—10	5	От 126 до 234
	10	От 168 до 312
10—20	10	От 126 до 234
	20	От 168 до 312
20—45	20	От 115 до 215
	45	От 168 до 312

срабатывания органов с независимой выдержкой времени, проверка времени срабатывания интегрального органа.

Измерение напряжения небаланса $\PhiТОП$ производится при токе прямой последовательности, равном номинальному. Напряжение небаланса, измеренное вольтметром с $R_{\text{вн}} \geq 20 \text{ кОм/В}$, на зажимах 20-22 (рис. 12.18) не должно превышать 1,3 В.

Рис. 12.23. Схема проверки времени срабатывания интегрального органа на работающем генераторе



Перед проверкой токов срабатывания органов с независимой выдержкой времени необходимо на испытательном блоке перекрестить две фазы токовых цепей и в одну из фаз включить контрольный амперметр. Плавное увеличение тока генератора, измеряют токи срабатывания органов отсечек. Ток срабатывания пускового и сигнального органов не проверяются ввиду их незначительности.

Проверка времени срабатывания интегрального органа производится по схеме рис. 12.23 при токах $0,5-0,6 I_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}}$. Разница в показаниях секундомера при указанных токах не должна превышать 10 %.

По окончании проверок все цепи восстанавливаются и производится повторное измерение напряжения небаланса $\PhiТОП$.

12.5. Блок-реле типа РЗР-1М

Как отмечалось выше, турбогенераторы с непосредственным охлаждением обмоток характеризуются малой перегрузочной способностью. Для защиты ротора турбогенератора от повреждений при перегрузках по току возбуждения применяется блок-реле типа РЗР-1М. Защита автоматически ограничивает длительность режима форсировки возбуждения в зависимости от кратности тока ротора по отношению к его номинальному значению и отключает генератор от сети с гашением поля при авариях в системе возбуждения, вызывающих длительное протекание по обмотке ротора тока недопустимой величины. Ток ротора подается в защиту от датчика тока. Структурная схема блок-реле приведена на рис. 12.24. В состав комплекта РЗР-1М входят следующие элементы:

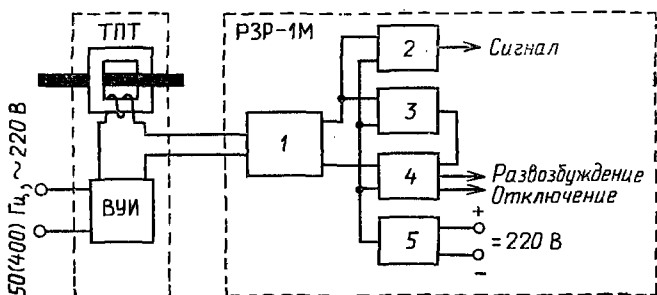


Рис. 12.24. Структурная схема блок-реле РЗР-1М:

1 — входное преобразовательное устройство; 2 — сигнальный орган; 3 — пусковой орган; 4 — интегральный орган; 5 — блок питания

входное преобразовательное устройство, служащее: для гальванического разделения входных цепей основных органов реле, имеющих связь по цепям питания; для компенсации несоответствия между номинальными токами ротора генератора и устройства для измерения тока ротора; для преобразования переменного тока в выпрямленные и сглаженные напряжения, пропорциональные току ротора защищаемого генератора; сигнальный орган, сигнализирующий об увеличении тока ротора генератора выше его длительно допустимого значения;

пусковой орган, контролирующий пуск и возврат интегрального органа реле;

интегральный орган, учитывающий накопление тепла в обмотке ротора в процессе перегрузки и охлаждение ротора после устранения перегрузки. Интегральный орган имеет две ступени срабатывания, одна из которых действует на развозбуждение генератора, а вторая — на отключение генератора от сети и гашение поля;

блок питания, служащий для получения необходимых уровней ста-

билинированного напряжения постоянного тока для питания основных органов и их выходных реле.

В качестве датчика тока при тиристорном и высокочастотном возбуждении используется трансформатор постоянного тока (ТПТ), поставляемый в комплекте с вспомогательным устройством (ВУИ). Трансформатор постоянного тока представляет собой магнитный усилитель, в котором управляющей обмоткой является токоведущий стержень, по которому протекает ток ротора. Стержень проходит внутри двух замкнутых магнитопроводов, выполненных из ферромагнитного материала с высокой проницаемостью. Рабочая обмотка расположена на обоих магнитопроводах, причем на каждом магнитопроводе намотано четыре

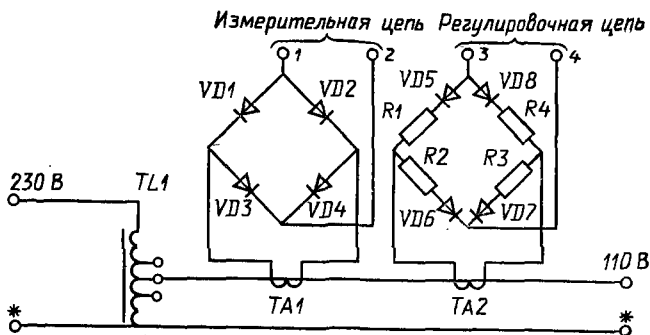


Рис. 12.25. Вспомогательное устройство ВЧИ

секции, соединенные между собой параллельно. Между собой обмотки обоих магнитопроводов могут быть соединены либо последовательно-встречно (ТПТ типа И514/1,5; И514/2,0; И514/2,5), либо параллельно (ТПТ типа И514/3; И514/4; И514/6 и И528). Параллельное включение обмоток на каждом магнитопроводе уменьшает влияние на трансформатор внешних магнитных полей и асимметрии расположения шины в окне трансформатора. Рабочая обмотка питается от источника переменного напряжения через вспомогательное устройство, содержащее автотрансформатор, два трансформатора переменного тока, систему выпрямителей и токоограничивающих сопротивлений к ним (рис. 12.25). В зависимости от величины первичного (постоянного) тока изменяется степень подмагничивания магнитопровода, что в свою очередь изменяет магнитную проницаемость материала магнитопровода. Это вызывает изменение реактивного сопротивления трансформатора, в результате чего происходит изменение переменного тока в рабочей обмотке трансформатора. Для предотвращения трансформации переменного тока из рабочей обмотки в управляющую соединение обмоток, размещенных на разных магнитопроводах, выполняется встречно. При таком включении обмоток МДС, создаваемые управляющей и рабочей обмотками, в одном из сердечников будут суммироваться, а в другом — вычитаться,

что приведет к наведению в управляющей обмотке встречных взаимно компенсирующихся ЭДС.

Все качественные показатели устройства нормируются заводом-изготовителем по среднему значению тока рабочей обмотки. Однако при использовании устройств в качестве датчиков входной величины выпрямленный ток на выходе ВУИ, пропорциональный току ротора, необходимо сглаживать. Значение сглаженного тока зависит от коэффициента формы кривой входного сигнала, а линейность характеристик преобразования — от постоянства коэффициента формы при изменении первичного тока в заданном диапазоне. Форма кривой тока рабочей обмотки при последовательном и параллельном соединении обмоток сердечников ТПТ существенно различается. Она определяется изменениями магнитного состояния сердечников. При параллельном соединении ток в рабочей обмотке каждого сердечника и форма его кривой не зависят от другого сердечника. Кривая тока имеет вид отрезков полу-волн синусоиды с изменяющимися амплитудой и углом отсечки в зависимости от значений измеряемого постоянного тока и напряжения питания рабочих обмоток. При этом коэффициент формы кривой, амплитудное и действующее значения тока рабочей обмотки, непосредственно подающегося в защиту, не пропорциональны измеряемому току и зависят от частоты, напряжения питания и сопротивления нагрузки. При последовательном соединении по рабочим обмоткам обоих сердечников проходит один и тот же ток, который не может иметь такие же отличия от синусоиды, как суммарный ток рабочих обмоток при параллельном соединении. Ток рабочей обмотки имеет трапецеидальную форму. Этому соответствуют примерно одинаковые среднее, действующее и амплитудное значения тока, которые практически не зависят от частоты, напряжения питания ТПТ и сопротивления нагрузки. Кроме того, ТПТ с последовательным и параллельным соединением рабочих обмоток ведут себя по-разному при переходных процессах, вызванных подачей, снятием либо скачкообразным изменением питающего переменного напряжения или подачей и снятием первичного постоянного тока. При последовательной схеме соединения переходный процесс практически отсутствует и выходной сигнал полностью повторяет измеряемый ток без искажений, а колебания питающего напряжения в допустимых пределах не влияют на выходной сигнал. При параллельном соединении при подаче измеряемого тока выходной сигнал появляется с запаздыванием и нарастает до установившегося значения с некоторой постоянной времени. При отключении измеряемого тока выходной сигнал также спадает по экспоненте. При скачкообразном изменении питающего напряжения в выходном сигнале появляются выбросы, амплитуда которых в несколько раз может превышать установившееся значение выходного сигнала. Эти выбросы сравнительно медленно затухают во времени и могут приводить к ложной работе защит и систем, включенных на выходе устройства.

В связи с вышеизложенным питание входных цепей защиты типа РЗР-1М, а также измерителя перегрузки ротора (ИПР) в системе автоматического регулятора возбуждения от ТПТ с параллельным соединением рабочих обмоток недопустимо. Поэтому до выпуска промышленностью ТПТ на номинальные токи 3 кА и более с последовательным соединением обмоток необходимо осуществлять переключение обмоток сердечников ТПТ с параллельной схемы на последовательную. При этом

сохраняются все свойства ТПТ, а его параметры изменяются следующим образом:

номинальный вторичный ток уменьшается в 2 раза;

оптимальное напряжение питания вторичной цепи ТПТ от автотрансформатора ВУИ возрастает в 2 раза (выполняется переходом на другое ответвление автотрансформатора);

максимально допустимое приведенное сопротивление вторичной цепи возрастает в 4 раза.

При бесщеточном возбуждении в качестве датчика используется индукционный короткозамкнутый датчик тока ИКДТ (рис. 12.26), представляющий собой неподвижную короткозамкнутую «беличью клетку», которая охватывает вал генератора. Внутри белничьей клетки проходят

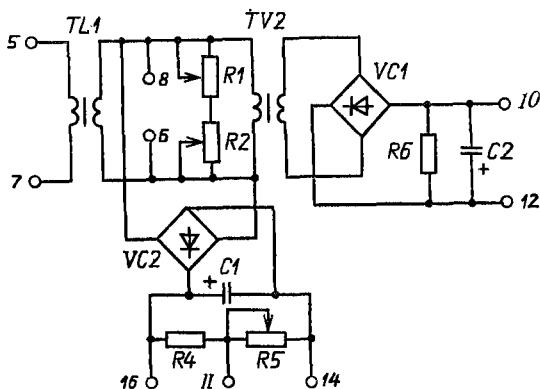
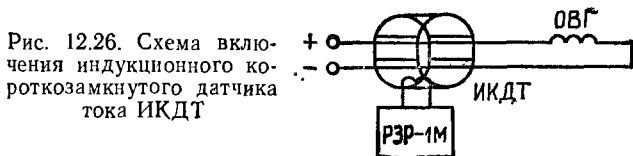


Рис. 12.27. Входное преобразовательное устройство РЗР-1М

провода от возбудителя к обмотке ротора. При работе генератора ток возбуждения создает вращающееся магнитное поле, индуцирующее токи в стержнях белничьей клетки. Эти токи замыкаются через трансформатор тока, во вторичную цепь которого включается защита РЗР-1М. С помощью ИКДТ на защиту подается синусоидальный переменный ток, пропорциональный току ротора.

В состав входного преобразовательного устройства (ВПУ), показанного на рис. 12.27, входят промежуточный трансформатор $TL1$, согласующий трансформатор напряжения $TV2$, выпрямительные мосты

$VC1$, $VC2$, сглаживающие конденсаторы $C1$, $C2$ и резисторы $R1$, $R2$, $R4$ — $R6$. Трансформатор $TL1$ служит для изменения уровня контролируемых токов до значений, удобных для дальнейшего преобразования и регулировки. Трансформатор $TV2$ осуществляет гальваннческое разделение входных цепей основных органов реле. Регулируемые резисторы $R1$ и $R2$ позволяют получить необходимые уровни напряжений на входах основных органов реле при номинальном токе ротора. Резистором $R5$ устанавливается требуемая стабилизация напряжения на входе интегрального органа (изменение масштаба входного напряжения).

Принципы выполнения и построения схем основных органов и блока питания защиты РЗР-1М аналогичны примененным в токовой защите обратной последовательности, выполненной на блок-реле типа РТФ-6М. Отличие заключается в следующем: в защите РЗР-1М имеется всего два органа с независимой выдержкой времени: пусковой и сигнальный; на пусковой и сигнальный органы подается напряжение 35 В (вместо 80 В у защиты РТФ-6М).

Интегральный орган учитывает накопление тепла в обмотке ротора при перегрузке и охлаждение ротора после устранения перегрузки. Зависимая от тока характеристика выдержек времени срабатывания интегрального органа соответствует выражению

$$t_{cp} = \frac{A}{[K(I_{*p} - B)]^2} = \frac{A}{I_{вх}^2},$$

где A — постоянная, учитывающая накопление тепла в роторе; K , B — коэффициенты, зависящие от вида характеристик и диапазона уставок; $I_{*p} = I_{рот}/I_{рот.ном}$ — относительный ток ротора; $I_{вх} = K(I_{*p} - B) = KI_{*p} - C$ при $KI_{*p} > C$.

Для получения характеристики по выражению $t_{cp} = A/I_{вх}^2$ в схеме интегрального органа используется заряд конденсатора импульсами тока постоянной длительности, частота и амплитуда которых пропорциональны входному сигналу $I_{вх}$. Выражение $I_{вх} = KI_{*p} - C$ описывает кусочно-линейное преобразование во входной сигнал интегрального органа, которое необходимо осуществить с входным напряжением, пропорциональным току ротора. Указанное преобразование осуществляется с помощью стабилитрона $VD1$, включенного последовательно в цепь входного тока интегрального органа. Допуск на напряжение стабилизации осуществляется резистором $R5$ в схеме ВПУ, а подстройка входного тока — резистором $R3$.

Схема интегрального органа представлена на рис. 12.28. Реализация характеристик выдержек времени осуществляется аналогично защите с блок-реле РТФ-6М. Интегральный орган состоит из частотно-импульсного модулятора, блокинг-генератора, двух триггеров и двух выходных реле. Принцип действия устройств и выполнение схем указанных узлов интегрального органа идентичны примененным в защите РТФ-6М. Однако в интеграторе защиты РЗР-1М делитель опорного напряжения ($VD13$, $VD14$, $R19$ — $R28$) собран по другой схеме в связи с наличием второй ступени защиты. При заряде конденсаторов $C2$ — $C5$, когда их напряжение превысит уровень напряжения на движке потенциометра $R25$, откроются диоды $VD2$, $VD4$ в блоке $B2$ и коммутирующие импульсы блокинг-генератора попадут на вход триггера первой ступени (блок $B3$) и опрокинут его. При этом срабаты-

ет и самоудержится выходное реле $KL3$ первой ступени и защита действует на развозбуждение генератора. При срабатывании $KL3$ плюс через его контакты попадет на диод $VD4$, который запирается и отключает конденсаторы $C2—C5$ от потенциометра $R25$. Если перегрузка осталась неустраненной, конденсаторы $C2—C5$ заряжаются импульсом тока до срабатывания выходного триггера второй ступени (блок $B4$) и выходного реле второй ступени $KL4$. Уставки интегрального ор-

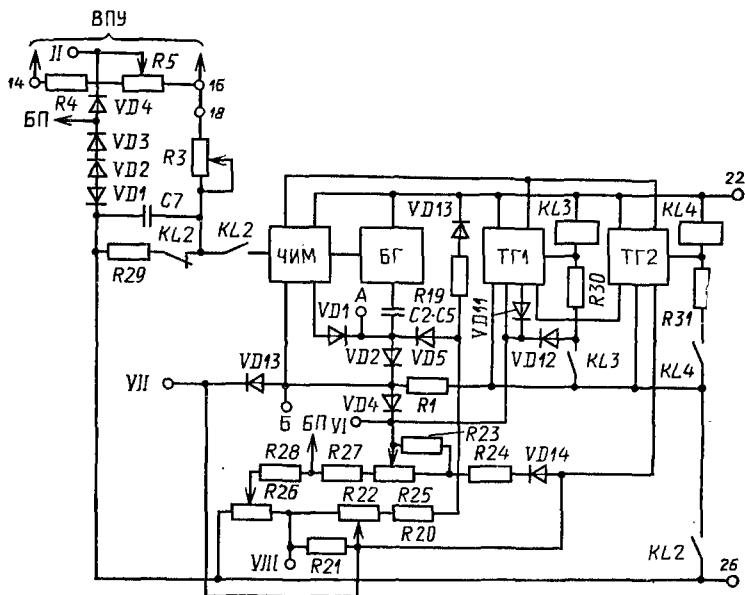


Рис. 12.28. Интегральный орган РЗР-1М

гана устанавливаются для первой ступени защиты потенциометром $R25$, а для второй ступени — потенциометром $R22$. Время срабатывания первой ступени всегда меньше времени срабатывания второй ступени, так как делитель опорного напряжения выполнен так, что опорное напряжение первой ступени является частью (0,7—0,8) опорного напряжения второй ступени.

Проверка и настройка характеристик блок-реле РЗР-1М производится аналогично проверке и настройке блок-реле РТФ-6М. Различие заключается в подаваемом на вход блок-реле токе и в устанавливаемых уровнях напряжений в контрольных точках.

При проверке блока питания уровни напряжений в контрольных точках должны соответствовать данным, приведенным ниже:

Место измерения ¹	I-III	22-20	22-26	22-VI	22-VII	22-VIII	22-I
Напряжение, В	35± ±0,5	11,5— 14	24—30	15,5— 16	19,5— 20	20,5— 21	10± ±0,5
Орган регулирования	R20	—	—	R25	R22	R26	R13

¹ Здесь и далее обозначения выводов, точек и разъемов указаны в соответствии с заводской документацией.

Напряжения измеряются вольтметром постоянного тока с $R_{вн} \geq 20 \text{ кОм/В}$ (M1200, M1201, M2038 и др.).

Установка уровней напряжения осуществляется при сработавшем реле *KL2*. Для его срабатывания необходимо замкнуть зажим 1 с контрольной точкой 1 на плате *П5*.

Проверка входного преобразовательного устройства производится подачей на вход блок-реле (зажимы 5-7) переменного синусоидального тока промышленной частоты, соответствующего номинальному току ротора генератора. Регулировкой переменных резисторов *R1* и *R2* на зажимах 10-12 устанавливается напряжение, равное $16 \pm 0,5 \text{ В}$.

Для последующей коррекции уставки, связанной с различием формы кривой тока при наладке и рабочем режиме, снимается характеристика $U_{10-12} = f(I_{вх})$.

Настройка уставок сигнального и пускового органов производится подачей на зажимы 5-7 переменного синусоидального тока, рассчитываемого по формуле

$$I_{ср} = I_{*р} I_{ном}.$$

Регулировка уставок осуществляется переменными резисторами *R11* и *R18*. Срабатывание реле фиксируется по срабатыванию соответствующих выходных реле *KL1* и *KL2*. Уставка сигнального органа всегда должна быть меньше уставки пускового органа.

Проверка ЧИМ производится измерением длительности импульсов и пауз при подаче на вход блок-реле значений тока, достаточных для срабатывания пускового органа. Осциллограф подключается к контрольной точке III и зажиму 22. Длительность импульсов должна оставаться постоянной, а длительность пауз должна изменяться обратно пропорционально входному току.

При проверке блокинг-генератора осциллограф подключается к контрольной точке IV и зажиму 22. Контрольную точку II необходимо соединить с зажимом 22. Длительность паузы должна быть в пределах 500—700 мкс, а амплитуда импульсов — в пределах 0,8—1,5 В.

Время срабатывания интегрального органа калибруется на максимальной уставке в следующей последовательности:

в расщелку переключки между зажимами 16-18 включается микроамперметр и на вход блок-реле (зажимы 5-7) подается ток, соответствующий 0,8 номинального тока ротора;

регулировкой переменного резистора *R5* ток в цепи микроамперметра снижается до нуля;

микроамперметр отключается и на вход блок-реле подается ток, соответствующий двукратному номинальному току ротора;

изменяя резистором R_3 зарядные токи ЧИМ и интегратора, добиваются времени срабатывания второй ступени 19—21 с (28,5—31,5 с).

С целью сокращения времени настройки интегрального органа необходимо между измерениями включать на 5—10 с между точкой Б блока Б2 и зажимом 24 через нефиксируемую кнопку разрядный резистор МЛТ-0,5 — 100 кОм. Очередной пуск блок-реле в этом случае должен производиться не ранее чем через 20 с.

По окончании калибровки интегрального органа проверяются временные характеристики обеих ступеней при токах, соответствующих отнositельным токам ротора 1,1; 1,2; 1,5 и 2,0. Время срабатывания первой и второй ступеней должно соответствовать данным табл. 12.3.

Т а б л и ц а 12.3. Временная характеристика интегрального органа

Исполнение блок-реле	Ступень защиты	Время срабатывания интегрального органа, с, при токе ротора I_{*p}			
		1,1	1,2	1,5	2,0
I	I	480	215	50	16
	II	600	265	60	20
II	I	480	250	74	24
	II	600	310	92	30

Проверка уставки по времени полного охлаждения производится по времени срабатывания второй ступени при токе ротора $I_{*p}=1,5$ в следующей последовательности:

измеряется время срабатывания как среднее значение трех измерений с включением в промежутках между измерениями разрядного резистора 100 кОм;

повторяются по три измерения с промежутками между ними, равными 450 и 750 с. При этом время срабатывания второй ступени должно отличаться от предыдущих измерений более чем на 5 % при промежутке 450 с ($t_2 < 0,95 t_1$) и не более чем на 5 % при промежутке 750 с ($t_3 \geq 0,95 t_1$).

Проверка блок-реле на работающем генераторе производится совместно с датчиком тока. В связи с тем что настройка и регулировка блок-реле производилась подачей на его вход переменного синусоидального тока промышленной частоты, не учитывающего форму кривой тока в рабочем режиме, необходимо произвести коррекцию уставки. Для этого при номинальном токе ротора необходимо регулировкой резисторов R_1 и R_2 на зажимах 10-12 выставить напряжение, равное $16 \pm 0,5$ В, изменяя ток ротора, снять характеристику $U_{10-12} = f(I_{\text{рот}})$ и сравнить ее с характеристикой $U_{10-12} = f(I_{\text{вх}})$, снятой при проверке ВПУ, затем плавным увеличением тока ротора проверить уставки срабатывания сигнального и пускового органов.

*Раздел тринадцатый***НАЛАДКА УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
И АВТОМАТИКИ НА ПЕРЕМЕННОМ
ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ****13.1. Общие сведения**

Строительство электрических подстанций напряжением до 110 кВ с короткозамыкателем и отделителем на стороне высокого напряжения не требует наличия мощного источника питания приводов выключателей с большими токами потребления, в связи с чем такие подстанции стремятся проектировать на переменном оперативном токе и, как правило, без оперативного обслуживания. Оперативные сигналы передаются на диспетчерские пункты с помощью телемеханики.

В настоящее время существуют следующие основные способы выполнения релейной защиты на переменном оперативном токе:

- 1) использование реле прямого действия, встроенных в приводы выключателей, отделителей, короткозамыкателей. Применяются типы реле РТМ, РТВ;
- 2) применение схем с дешунтированием катушки отключения выключателя, включенной во вторичную цепь трансформаторов тока защищаемого присоединения;
- 3) использование блоков питания оперативных цепей, запитываемых от трансформаторов тока и напряжения, а также от трансформаторов собственных нужд, имеющих надежный источник питания с автоматическим включением резерва (АВР);
- 4) использование энергии предварительно заряженных конденсаторов — применяется в качестве резервного источника питания совместно с блоками заряда при включении выключателя на КЗ и низкой посадке напряжения оперативного тока для обеспечения надежного отключения выключателя;
- 5) использование комплектных устройств питания электромагнитов включения выключателей 6—10 кВ типа УҚП.

**13.2. Аппаратура, применяемая в устройствах РЗА
на переменном оперативном токе**

Встроенные реле прямого действия. Реле прямого действия встраиваются в приводы выключателей 6—10 и 35 кВ типа ППМ-10, ПП-67 К, ПП-67, ПП-61, ПП-61 К, ВМП10П, ВМПП-10, ВММ-10, ППВ-10.

Например, в состав привода ПП-67 входят: электромагнит включения 220 В, электромагнит отключения 220 В, электромагнит релейного отключения 220 В, двигатель завода пружины 220 В, вспомогательные контакты выключателя КСА-10, вспомогательные контакты аварийного отключения КСА-2, вспомогательные контакты готовности привода КСА-4, два реле максимального тока мгновенного действия 220 В, 5 А типа РТМ.

Для управления отделителями и короткозамыкателями применяются приводы типа ШПО, имеющие встроенные электромагниты отключе-

Таблица 13.1. Основные технические данные реле РТМ к приводам ПП-61, ПП-67 и ПП-61К, ПП-67К

Вариант исполнения	Номинальный воздушный зазор, мм	Уставка тока срабатывания по отпайкам	Пределы регулирования тока срабатывания воздушным зазором		Потребляемая мощность при токе срабатывания, В · А		Сопротивление при токе срабатывания, Ом		Обмоточные данные	
			Зазор, мм	Ток срабатывания, А	Сердечник отпущен	Сердечник подтянут	Сердечник отпущен	Сердечник подтянут	Число витков	Диаметр провода, мм
РТМ-I	36	5	34—47	4,8—7,4	16	58	0,64	2,32	257	1,56
		7,5		7,2—10,8	20	67	0,36	1,19	184	
		10		9,6—15,5	28	90	0,28	0,9	155	
		15		14,6—22	26	73	0,12	0,32	92	
РТМ-II	36	10	34—47	9,2—14,4	23	71	0,23	0,71	150	1,81
		15		14,2—20,5	20	62	0,089	0,275	105	
		20		18,4—30,5	28	79	0,07	0,197	75	
		25		23—41	40	100	0,064	0,16	68	
РТМ-III	40	30	34—47	25—38	66	220	0,073	0,245	76	1,81
		40		33—58	108	310	0,068	0,193	69	
		50		43—67	143	345	0,057	0,138	57	
		60		54—81	104	200	0,029	0,056	30	
РТМ-IV	52	75	44—57	54—108	210	570	0,0375	0,1	57	2,44
		100		68—150	365	800	0,0365	0,08	51	
		125		94—200	420	800	0,027	0,05	36	
		150		104—260	330	570	0,015	0,024	20	
ТЭО-I	36	1,5	34—47	1,4—2,1	20	—	—	—	900	0,9
ТЭО-II	36	3	34—47	2,9—4,5	20	—	—	—	450	1,08

Примечание. Для намотки катушек применяется провод марки ПЭЛБО или ПБД.

Таблица 13.2. Основные технические данные реле РТВ к приводам ПП-61, ПП-67 и ПП-61К

Вариант исполнения реле	Уставка тока срабатывания по отпайкам, А	Потребляемая мощность при токе срабатывания, В · А		Сопротивление при токе срабатывания, Ом		Обмоточные данные		
		Сердечник опущен	Сердечник поднят	Сердечник опущен	Сердечник поднят	Число витков	Марка провода	Диаметр провода, мм
РТВ-I РТВ-IV	5	40	112	1,6	4,45	307	ПЭЛБО	1,81
	6	36	101	1,0	2,8	258		
	7,5	41	118	0,73	2,1	218		
	10	40	113	0,4	1,13	156		
РТВ-II РТВ-V	10	40	114	0,4	1,14	151	ПБД	2,44
	12,5	40	114	0,26	0,73	120		
	15	44	125	0,2	0,555	106		
	17,5	45	125	0,15	0,41	92		
РТВ-III РТВ-VI	20	37	107	0,092	0,268	69	ПБД	2,44
	25	41	116	0,066	0,186	59		
	30	44	126	0,049	0,14	52		
	35	52	142	0,043	0,116	48		

Примечания: 1. Независимая часть характеристики у реле РТВ разных исполнений начинается при кратности тока реле к току срабатывания, равной 1,2—1,7 и 2,5; 3,5 для реле РТВ-I, РТВ-II, РТВ-III и РТВ-IV, РТВ-V, РТВ-VI соответственно. Выдержка времени регулируется плавно от 0 до 4 с, разброс по времени в независимой части характеристики составляет $\pm 0,3$ с для ПП-61 и $\pm 0,2$ с для ПП-67.

2. Коэффициент возврата реле при работе в зависимой части характеристики — 0,6; в независимой части — 0,75—0,8 и 0,95—0,98 для реле РТВ-I—РТВ-III и РТВ-IV—РТВ-VI соответственно.

ния 220 В, а также привод типа ШПК, имеющий два встроенных реле максимального тока мгновенного действия РТМ с минимальным током срабатывания 5 А (или 3,5 А), и электромагнит включения короткозамыкателя 220 В соответственно.

В табл. 13.1, 13.2 приведены основные технические данные реле прямого действия и электромагнитов дистанционного управления.

Реле времени РВМ-12 и РВМ-13. Реле времени РВМ-12 имеет максимальную выдержку времени 4 с и реле типа РВМ-13 — 10 с. Максимальный разброс времени срабатывания реле от тока срабатывания до тока, соответствующего 20-кратному току по отношению к току сра-

батывания, для реле РВМ-12 составляют 0,12 с и для реле РВМ-13 — 0,25 с.

Реле надежно работает при последовательном соединении секций трансформаторов реле при токах 2,5 А и более и при параллельном соединении — при токах 5 А и более. Потребление реле при токе, равном двукратному току по отношению к току срабатывания, не превышает 8 В·А. Реле допускает длительное протекание по первичным обмоткам насыщающихся трансформаторов тока 10 А и в течение 10 с — тока 75 А (при последовательном соединении секций первичных обмоток). Длительно допустимый ток через контакты — 5 А.

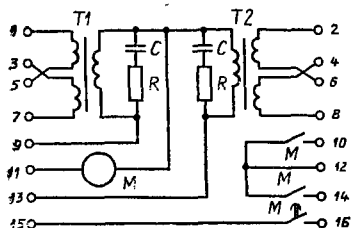


Рис. 13.1. Схема внутренних соединений реле времени РВМ-12

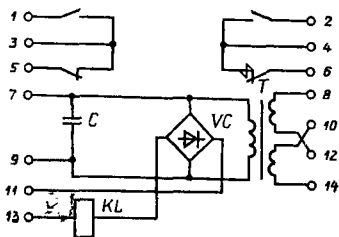


Рис. 13.2. Схема внутренних соединений промежуточного реле РП-341

Основным элементом является синхронный электродвигатель M , который запускается с помощью контактов реле тока. Ротор синхронного электродвигателя вращается с определенной скоростью, что обеспечивает точность установленной выдержки времени. Реле имеет также два насыщающихся трансформатора $T1$ и $T2$. Схема реле приведена на рис. 13.1.

Промежуточное реле типа РП-341. Реле применяется в схемах с дешунтированием катушки отключения. Схема внутренних соединений реле приведена на рис. 13.2.

Первичные обмотки промежуточного насыщающегося трансформатора T включаются во вторичные цепи трансформаторов тока. Ко вторичной обмотке трансформатора T через выпрямительный мост подключено реле постоянного тока KL клапанного типа. Благодаря наличию насыщающегося трансформатора ток во вторичной обмотке даже при очень больших кратностях тока в первичной обмотке не превышает некоторого заданного значения. Значение тока определяется допустимым током для выпрямителей и контактов управляющих реле.

При последовательном соединении первичных обмоток промежуточного трансформатора реле срабатывает при токе 2,5 А, а при параллельном соединении обмоток — при токе 5 А. При токе, равном удвоенному току срабатывания реле, потребляемая мощность составляет 6 В·А. Реле РП-341 допускает длительное протекание по первичной

обмотке при параллельно соединенных секциях насыщающегося трансформатора тока 10 А и в течение 4 с — тока 150 А.

Усиленные переключающие контакты способны шунтировать и дешунтировать отключающие катушки выключателей при переменном токе до 150 А, если управляемая цепь питается от трансформатора тока и ее полное сопротивление при токе 3,5 А не более 4,5 Ом.

Реле тока типа РТ-85. Реле является комбинированным и состоит из двух элементов — электромагнитного и индукционного. Электромагнитный элемент представляет собой реле тока мгновенного действия. Индукционный элемент — реле тока с зависимой от значения тока выдержкой времени — используется для выполнения максимальной токовой защиты с выдержкой времени.

Реле РТ-85/1 имеет номинальный ток 10 А и регулировку тока срабатывания индукционного элемента от 4 до 10 А, реле РТ-85/2 — номинальный ток 5 А и регулировку тока срабатывания индукционного элемента от 2 до 5 А. Время срабатывания в независимой части характеристики реле регулируется в пределах от 0,5 до 4 с.

Переключающий контакт способен шунтировать и дешунтировать цепь с сопротивлением 4,5 Ом при токах до 150 А. Особенностью работы контактов при дешунтировании является то, что в процессе переключений цепь замкнута на тот или иной резистор. Это необходимо в связи с возможностью появления в разомкнутой вторичной обмотке трансформатора тока высокого напряжения.

Указательные реле типа РУ-21 выпускаются для работы на постоянном токе, но могут быть использованы и на переменном оперативном токе.

13.3. Источники выпрямленного оперативного тока

Комплектные устройства питания электромагнитов включения выключателей типа УКП. Комплектные устройства питания УКП-220 и УКП-380 (в дальнейшем — устройства питания) предназначены для питания электромагнитов включения выключателей с током потребления до 320 А. В режиме включения выключателей на КЗ и исчезновения при этом переменного напряжения устройства питания обеспечивают включение выключателей с током потребления электромагнитов до 150 А.

Устройства питания состоят из двух основных сборочных единиц: устройства УКП1 — устройства выпрямителя с распределительным (шкаф № 1);

устройства УКП2 — устройства накопителя (шкаф № 2).

Устройство УКПМ состоит из УКП1 и УКП2, вмонтированных в один шкаф.

Устройства питания обеспечивают включение одного маломасляного выключателя с электромагнитным приводом на номинальное напряжение 6—35 кВ в режиме снижения выпрямленного оперативного напряжения до 50 % номинального и менее вследствие включения на КЗ.

Устройства имеют: контроль выпрямленного напряжения; контроль исправности узла накопителя; контроль изоляции выпрямленного напряжения; защиту от токов КЗ на стороне выпрямленного напряжения, внутренних замыканий и токов перегрузки.

В табл. 13.3 приведены основные технические данные устройств типа УКП.

Таблица 13.3. Основные технические данные устройств типа УКП

Наименование параметра	Норма для типополнения	
	УКП-220 УКПМ-220	УКП-380 УКПМ-380
Напряжение питающей сети трехфазное, В	220	380, 400, 415, 440 с нулевым прово- дом
Выпрямленное напряжение в режиме ХХ, В	297	257, 270, 280, 297
Номинальное выпрямленное напряжение в режиме нагрузки, В	230	230
Допустимые отклонения выпрямленного напряжения и напряжения питающей сети, %	+10; —15	+10; —15
Максимальный выпрямленный ток нагрузки с выходом через накопитель, А	150	150
Максимальный выпрямленный ток нагрузки с выходом без накопителя, А	320	320
Пределы величин нагрузки на выходах: «150 А», А	55—150	55—150
«320 А», А	150—320	150—320
Характер нагрузки	Импульс- ный	Импульсный
Длительность импульса нагрузки, с	1	1
Минимально допустимое время между импульсами, с	0,5	0,5
Количество импульсов в цикле, не более, при токе:		
320 А	4	4
150 А	5	5
100 А	10	10
Время между циклами, мин	10	10

13.4. Источники переменного оперативного тока

Трансформаторы тока и напряжения. В схемах релейной защиты на переменном оперативном токе трансформаторы тока и напряжения служат источниками питания оперативных цепей.

Особенностью схем являются относительно небольшая длительная нагрузка на источники переменного тока и напряжения и резкое увеличение нагрузки при работе защиты или автоматики, особенно когда подключаются электромагниты отключения и включения.

При выполнении схемы и ее наладке необходимо знать основные параметры трансформаторов тока — класс точности, номинальные вторичные нагрузки, кратность насыщения сердечников, максимальную кратность вторичного тока, кривые 10 %-ной погрешности. Для транс-

форматоров напряжения необходимо знать класс точности и максимальную мощность, отдаваемую трансформаторами в этом классе.

Максимальные погрешности трансформаторов напряжения целесообразно принять такими же, как и у трансформаторов тока, а именно — 10 % по коэффициенту трансформации и 7° по углу [2].

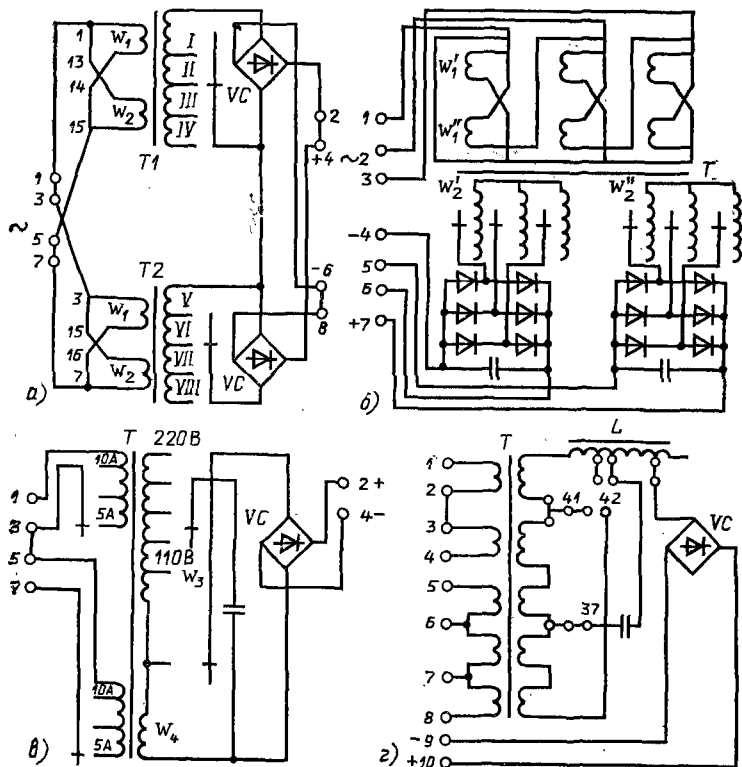


Рис. 13.3. Схема электрическая принципиальная блоков питания:

а — блока питания БПН-11; б — блока питания БПН-1002; в — блока питания БПТ-11; г — блока питания БПТ-1002

Блоки питания с помощью промежуточных трансформаторов и выпрямителей преобразуют переменное напряжение или ток, получаемые от измерительных трансформаторов или трансформаторов собственных нужд, в выпрямленное оперативное напряжение 110 или 220 В.

К блокам питания напряжения (БПН), включаемым в цепи транс-

форматоров напряжения или собственных нужд, относятся блоки питания типа БПН-11/1, БПН-11/2, БПН-1002, БПЗ-401. К блокам питания тока (БПТ), включаемым в цепи трансформаторов тока, относятся блоки питания БПТ-11, БПТ-1002, БПЗ-402.

Блоки питания БПЗ-401 и БПЗ-402 предназначены также для заряда блоков конденсаторов, энергия которых используется для приведения в действие электромагнитов отключения (включения) коммутационных аппаратов. На рис. 13.3 приведены принципиальные схемы блоков питания напряжения БПН-11, БПН-1002 и токовых типов БПТ-11, БПТ-1002. На рис. 13.4 приведены принципиальные схемы блоков питания и заряда БПЗ-401 и БПЗ-402.

Технические данные приведены в табл. 13.4, 13.5, 13.6.

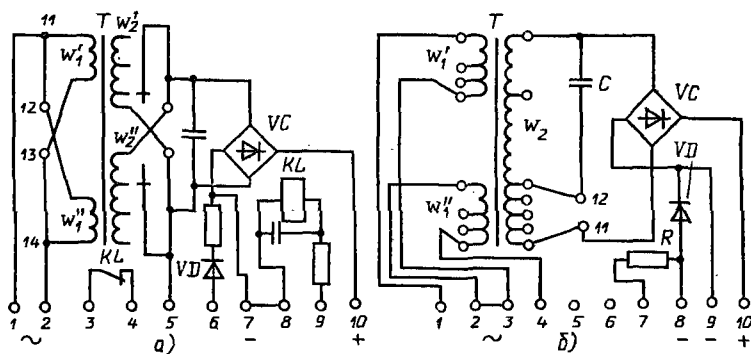


Рис. 13.4. Схема электрическая принципиальная блоков питания и заряда:

а — блока БПЗ-401; б — БПЗ-402

Технические данные блока питания БПН-1002.

- 1) Номинальное входное напряжение блока 100, 110, 127, 220, 380 В. Блок может включаться на напряжение 115, 230, 400, 440 В.
- 2) Блок питания в длительном режиме работы допускает включение на напряжение, превышающее на 10 %, указанное в п. 1, при этом ток нагрузки не должен превышать:

для установки выходного напряжения 110 В — 6,4 А;

для установки выходного напряжения 220 В — 3,2 А.

- 3) Сопротивление изоляции между токоведущими электрически не связанными цепями, а также между ними и корпусом блока составляет не менее 50 МОм.

Технические данные блока питания БПТ-1002.

- 1) При плавном увеличении тока в первичной обмотке и при отсутствии нагрузки на выходе феррорезонанс наступает при намагничивающей силе в первичной обмотке трансформатора блока, равной 840 ± 100 А·вит.

2) Выходное напряжение при протекании тока 10 А по всем секциям первичной обмотки трансформатора блока указано в табл. 13.5.

3) Блок выдерживает на входе на уставке по току феррорезонанса

Т а б л и ц а 13.4. Технические данные блоков питания БПН и БПТ

Наименование параметров	Значения параметров для блоков питания		
	БПН-11/1	БПН-11/2	БПТ-11
Уставки по току наступления феррорезонанса, А:			
при включении одной первичной обмотки	—	—	5; 7,5; 10
при последовательном включении первичных обмоток	—	—	2,5; 3,75; 5
Номинальное входное напряжение, В	100, 110, 127, 220	100, 110, 127, 220	—
Номинальное выходное напряжение, В	110	24	220, 110, 24
Потребляемая мощность при отсутствии нагрузки на выходе, В·А, не более:			
при входном токе 9,5 А на уставке «5» и последовательном соединении первичных обмоток	—	—	95
при номинальных входных напряжениях 100, 110, 220 В	9	9	—
при номинальном входном напряжении 127 В	12	12	—

Т а б л и ц а 13.5. Выходные напряжения блока БПТ-1002

Сопrotивление нагрузок, Ом	Уставка 110 В	уставка 220 В
Бесконечность	Не более 130	—
10	Не менее 90	—
Бесконечность	—	Не более 260
40	—	Не менее 180

**Т а б л и ц а 13.6. Технические данные блоков питания и заряда
БПЗ-401 и БПЗ-402**

Наименование параметров	БПЗ-401	БПЗ-402
Уставка по току наступления феррорезонанса, А	—	4,65; 6,0; 8,5; 9,3; 12,0; 17
Номинальное входное напряжение, В	100, 110, 127, 220	—
Номинальное выходное напряжение, В	110, 220	110, 220
Номинальное напряжение заряда, В	400±5 %	400±5 %
Время заряда конденсаторов емкостью 200 мкФ до напряжения 0,8, установившегося при номинальном входном напряжении для блоков БПЗ-401, при входном токе $3I_{уст}$ для блоков БПЗ-402, мс, не более	70	70
Длительно допустимое сопротивление нагрузки (режим блока питания), Ом:		
уставка по выходному напряжению 110 В	150	150
уставка по выходному напряжению 220 В	600	520
Номинальное допустимое сопротивление нагрузки, Ом:		
уставка по выходному напряжению 110 В	50	50
уставка по выходному напряжению 220 В	200	200
Максимальная емкость заряжаемых конденсаторов, мкФ	2000	2000

«5 А» в течение 5 с ток 50 А, в течение 1 с — ток 120 А при нагрузке:
 для уставки номинального выходного напряжения 110 В — 10 Ом;
 для уставки номинального выходного напряжения 220 В — 40 Ом.

4) Длительно допустимый ток нагрузки блока:

для уставки выходного напряжения 110 В — 7 А;
 для уставки выходного напряжения 220 В — 3,5 А.

5) Сопротивление изоляции между токоведущими электрически не связанными цепями, а также между ними и корпусом блока составляет не менее 50 Мом.

Блоки питания и заряда БПЗ-401, БПЗ-402 предназначены для питания выпрямленным током схем (устройств) релейной защиты и автоматики, выполненных на номинальное напряжение 110 и 220 В при суммарной потребляемой мощности 100 Вт в длительном режиме и 200 Вт

в кратковременном режиме или для заряда блоков конденсаторов суммарной емкостью до 2000 мкФ, энергия которых используется для приведения в действие электромагнитов отключения (включения) коммутационных аппаратов.

Сопротивление изоляции между токоведущими электрически не связанными цепями, а также между ними и корпусом блока составляет не менее 50 МОм.

18.5. Схемы устройств релейной защиты и автоматики на переменном оперативном токе

В качестве примера приведено несколько типовых схем устройств РЗА на переменном оперативном токе, применяемых для трансформаторных подстанций типа КТПБ 110/6—10 кВ и 110/35/6—10 кВ.

Схема организации переменного оперативного тока, цепей управления, сигнализации и телемеханики. Питание цепей осуществляется от трансформаторов собственных нужд. Шинки 1ЕС, 2ЕС, 1ЕН, 2ЕН образуются от шинк обеспеченного питания ЕУ.Н, ЕУ.О, питающихся от стабилизатора напряжения ТSV1 (рис. 13.5). Схемы выполняются с автоматическим включением резервного источника питания (контакты КЛ1, КЛ2). Питание оперативным током от трансформаторов напряжения применяется для цепей АВР.

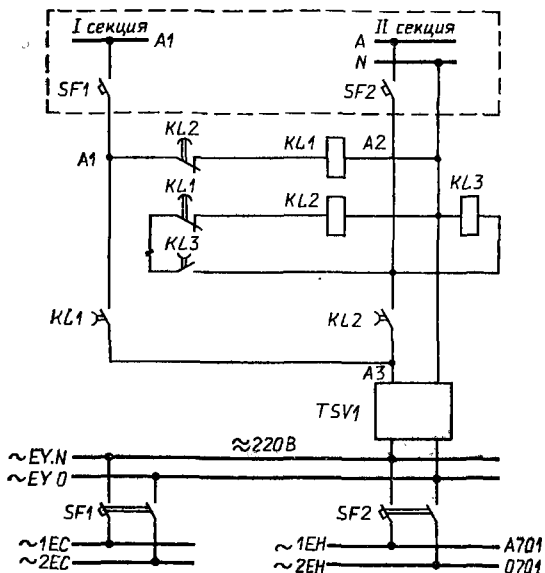


Рис. 13.5. Схема организации переменного оперативного тока

Цепи управления, сигнализации, телемеханики. На рис. 13.6 представлена схема управления выключателем. Шинки управления запитываются через автоматический выключатель SF типа АП-50/2 МТ с $I_{кор} = 3,5 I_{ном}$. Включение выключателя может осуществляться как непосредственно ключом управления, так и по цепям АПВ и телеуправления, для чего предусмотрен переключатель положения типа ПКЧЗ-12Е3035. Отключение также может осуществляться по цепям телеотключения, например при АЧР.

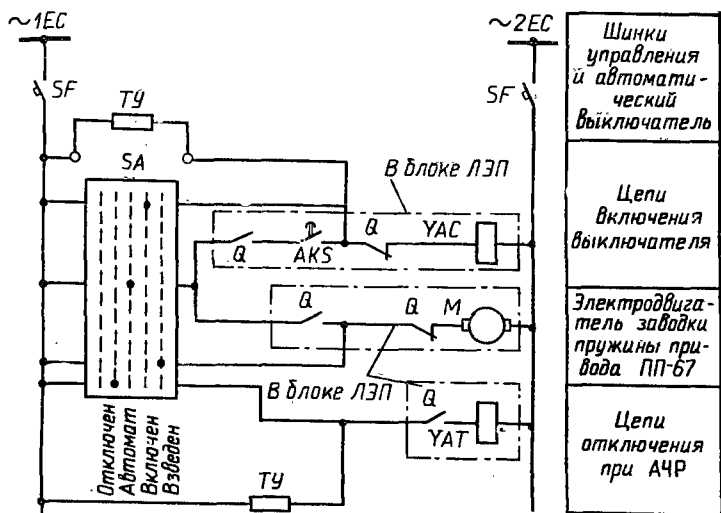


Рис. 13.6. Принципиальная схема управления выключателем

Максимальная защита. Поясняющая схема и цепи защиты даны на рис. 13.7. В схеме используются встроенные реле прямого действия РТМ1, РТМ2, промежуточные реле $KL1$, $KL2$ типа РП-341, реле времени KT типа РВМ-12. Защита выполнена на переменном оперативном токе с дешунтированием катушек отключения. Амперметр PA служит для измерения тока линии.

Защиты силового трансформатора 110/6—10 кВ. На рис. 13.8 представлена поясняющая схема защиты, трансформатора, а на рис. 13.9 — токовые цепи и цепи оперативного тока дифференциальной токовой защиты, максимальной токовой защиты, защиты от перегрузки, реле обдува трансформатора и реле контроля тока короткозамыкатели. В схеме используются реле типа ДЗТ-11 ($KAW1$, $KAW2$), РТ 40/Р5 ($KSA1$), РТ 40 ($KA1—KA4$), реле промежуточное РП-321 ($KLF1$, $KLF2$), реле времени РВМ 12 ($KT1$).

На рис. 13.10 приведена схема цепей оперативного тока газовой защиты трансформатора (контакты $KSG1$, $KSG2$) и цепи отключения от-

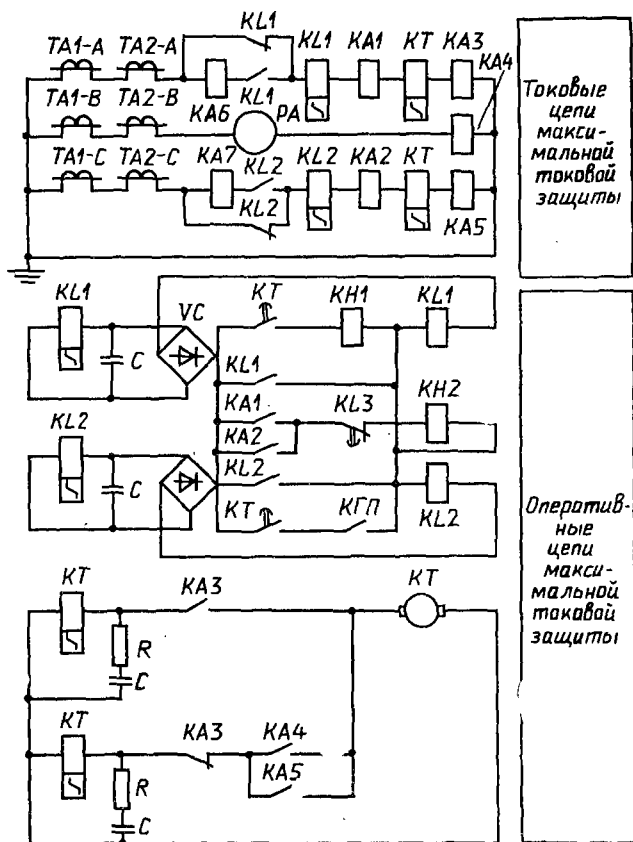


Рис. 13.7. Принципиальная схема токовых цепей и оперативных цепей максимальной токовой защиты линии 35 кВ

делителя и включения короткозамыкателя с использованием блока питания и заряда конденсаторов типа БПЗ-401 (УГС1) на 220 В, подключаемого к шинкам ЕУ.Н, ЕУ.О блоков конденсаторов БК-402 на 80 мкФ и 400 В и БК-401 на 40 мкФ и 400 В.

Включение короткозамыкателя производится от действия защит (контакты *KLF3*, *KLF4*) на электромагнит включения короткозамыкателя *УАС1—QN1* 220 В. Отключение отделителя производится контактом реле блокировки *KLB1* с контролем отсутствия тока линии (*KSA1*) и тока через короткозамыкатель (*KAB1*).

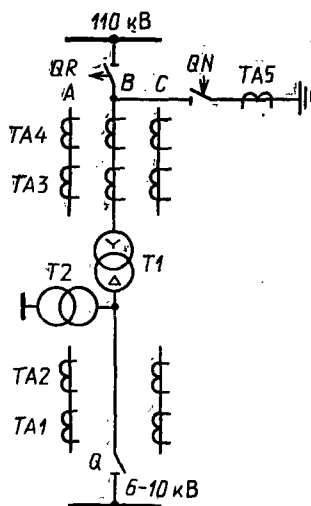


Рис. 13.8. Поясняющая схема защиты
силового трансформатора 110/6—
10 кВ

На схеме показаны цепи заряда и разряда блоков конденсаторов, лампы и сопротивления разряда блоков конденсаторов, применяемых в реальной схеме.

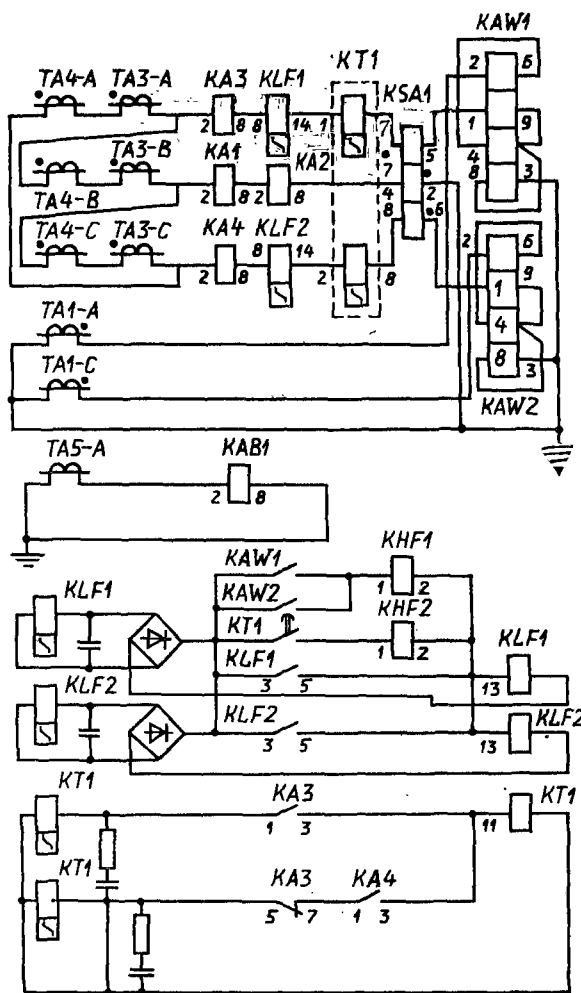
Питание газовой защиты по рассмотренной схеме допустимо только при наличии дифференциальной защиты трансформатора.

13.6. Особенности наладки устройств РЗА на переменном оперативном токе

Проверка реле прямого действия при новом включении выполняется в следующем объеме:

- внешний осмотр;
- проверка механической части реле;
- проверка отключающего механизма привода и совместная регулировка его с реле;
- проверка схемы включения реле;
- проверка сопротивления изоляции и испытание повышенным напряжением;
- проверка электрических характеристик реле.

При внешнем осмотре проверяется состояние обмотки реле и ее выводов. Для проверки механической части реле проверяется исправность всех деталей. При необходимости реле разбирается. При обнаружении ржавчины на деталях реле, погнутых и помятых гильз, погнутых бойков, винтов, шпилек, разбитых деталей из пластмассы поврежденные детали должны заменяться исправными. При сборке реле не допускает-



Дифференциальная токовая защита, максимальная токовая защита от перегрузки, реле обдувки, реле контроля тока в линии

Реле контроля тока короткозамыкателя

Выходные цепи дифференциальной максимальной токовой защиты и защиты от дуговых замыканий на стороне 110 кВ

Цепи оперативного тока

Рис. 13.9. Схема токовых цепей и цепей оперативного тока дифференциальной защиты, максимальной защиты, защиты от перегрузки силового трансформатора 110/6—10 кВ

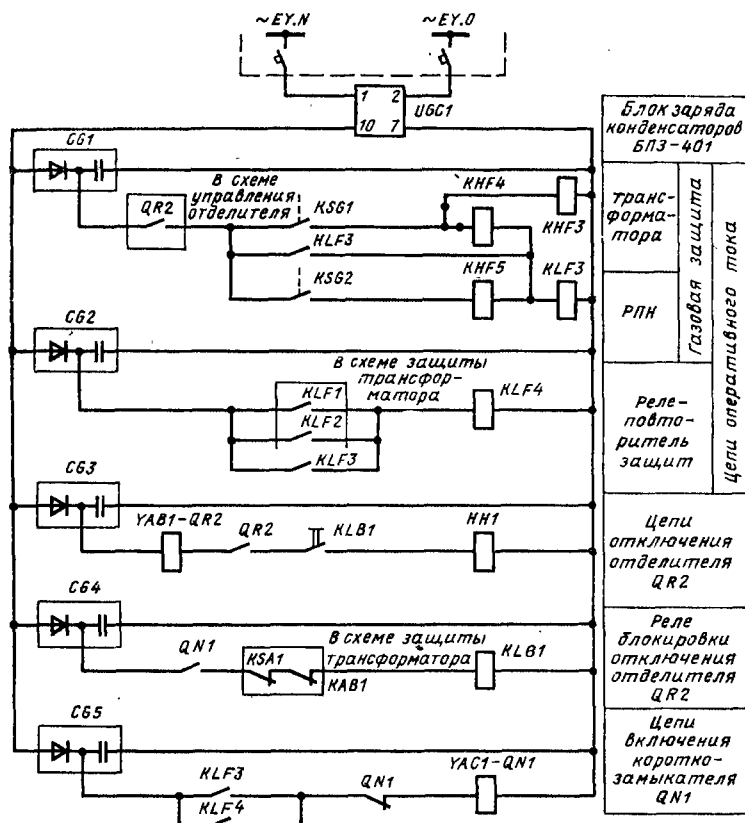


Рис. 13.10. Схема цепей оперативного тока газовой защиты силового трансформатора 110/6—10 кВ и цепи отключения отделителя и включения короткозамыкателя

ся применение каких-либо видов смазки. Проверенные реле устанавливаются в привод, и проверяется отсутствие перекосов и свободное движение всех подвижных частей. После этого производится проверка отключающего импульса механизма привода и совместная регулировка его с реле.

Согласование хода бойка реле и электромагнитов с отключающим механизмом приводов производится для каждого реле и электромагнита, установленного в приводе. При этом должны выполняться следующие условия:

для реле РТМ и электромагнитов отключения касание бойком лапки отключающей планки должно происходить как можно позже, когда их сердечники имеют наибольшее тяговое усилие. Расстояние от бойка до лапки отключающей планки должно быть не менее 6 мм;

для всех реле и электромагнитов запас хода бойка после расцепления отключающего механизма должен быть около 2 мм.

Проверка сопротивления изоляции и испытание ее повышенным напряжением выполняются в полной схеме. Поэтому предварительно должны быть собраны цепи переменного тока и напряжения, цепи управления и проверена правильность соединений, соответствие их принципиальным и монтажным схемам и затяжка всех контактных соединений.

Сопротивление изоляции измеряется мегаомметром на 1000 В относительно корпуса и между собой. Сопротивление изоляции для каждого присоединения должно быть не ниже 1 МОм. При удовлетворительных результатах производится испытание изоляции всех цепей относительно корпуса напряжением 1 кВ переменного тока в течение 1 мин.

Проверка электрических характеристик реле и электромагнитов выполняется в следующем объеме.

У реле РТМ и токовых электромагнитов отключения проверяется ток срабатывания на всех уставках или отпайках; настраивается заданная уставка тока срабатывания, измеряется полное время срабатывания при кратности тока в реле 1 и 1,5.

У реле РТВ проверяется ток срабатывания на всех уставках или отпайках, устанавливается заданная уставка тока срабатывания и выдержка времени в независимой части характеристики или при заданном токе, снимается зависимость $t_{ср} = f(I_{ср})$ на рабочей уставке, измеряется коэффициент возврата реле в зависимой и независимой частях характеристики.

У реле минимального напряжения проверяется напряжение срабатывания и возврата реле, устанавливается заданная выдержка времени, измеряется ток в реле при минимальном напряжении.

У блокирующего реле отделителя проверяется ток срабатывания реле, проверяется реле на вибрацию до максимального значения тока КЗ при включенном короткозамыкателе.

У электромагнитов отключения и включения проверяется напряжение срабатывания и возврата, измеряется ток электромагнита при номинальном напряжении.

Схемы регулирования тока. При настройке реле типов РТМ и РТВ учитывается погрешность трансформаторов тока. Настройку уставок реле независимо от результатов расчетов ведут так, чтобы автоматически учитывались погрешности трансформаторов тока. В большей мере это относится к реле типа РТВ, имеющим значительное сопротивление обмоток и зависимость от тока выдержку времени. Настройка реле от постороннего источника без учета погрешностей трансформаторов тока может привести к тому, что при действительном КЗ выдержка времени его значительно увеличится по сравнению с расчетной. Схема проверки реле типа РТВ приведена на рис. 13.11.

В этой схеме на обмотку реле КАТ, включенную параллельно вторичной обмотке трансформатора тока, подается ток. При таком включении сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока включено последовательно с сопротивлением ветви намагничивания. Сопротив-

ление вторичной обмотки применяемых трансформаторов тока (десятые доли ома) значительно меньше сопротивления обмотки реле (2—5 Ом) и ветви намагничивания (десятки ом), поэтому им можно пренебречь. Проверка по схеме рис. 13.11 дает очень небольшую ошибку. По этой же схеме необходимо проверять реле типа РТМ [22].

Напряжение срабатывания электромагнитов включения и отключения проверяется при действии их на привод. Проверка электромагнитов постоянного и переменного тока выполняется по схеме рис. 13.12.

Напряжение срабатывания электромагнитов включения не должно

Рис. 13.11. Схема проверки РТВ

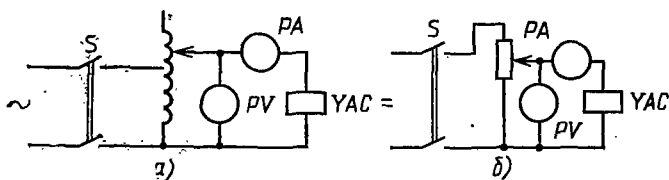
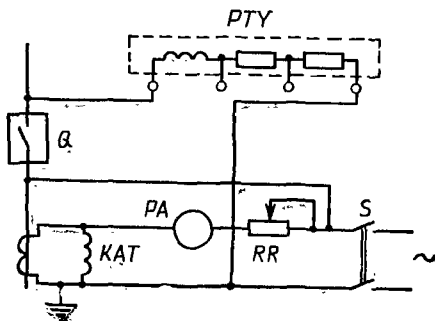


Рис. 13.12. Схема проверки электромагнитов включения и отключения:

а — электромагнитов переменного тока; б — электромагнитов постоянного тока

превышать 0,8 номинального напряжения. Напряжение срабатывания электромагнитов отключения не должно превышать 0,65 номинального напряжения. Напряжение возврата электромагнитов не регламентируется, но они должны четко возвращаться в исходное положение при снижении напряжения до нуля.

Установка заданной выдержки времени и снятие характеристик для реле РТВ производится после регулировки заданной уставки по току срабатывания при определенном значении тока в независимой части характеристики.

Предварительно устанавливается заданный ток или ток, соответствующий независимой части характеристики (примерно четырехкратный ток срабатывания). Установленный ток подают в обмотку реле

толчком и измеряют время срабатывания. Снимается зависимость времени срабатывания от тока в реле $t_{ср} = f(I_p)$ на рабочей уставке. Рекомендуется время определять при токах, равных 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 тока срабатывания.

Разброс времени срабатывания в независимой части характеристики для реле разных заводов не должен превышать 0,2—0,3 с. Разброс следует учитывать при согласовании со смежными защитами.

Производится настройка заданных уставок реле РТВ по схеме рис. 13.13, и после этого коэффициент возврата измеряется как в независимой, так и в зависимой части характеристики.

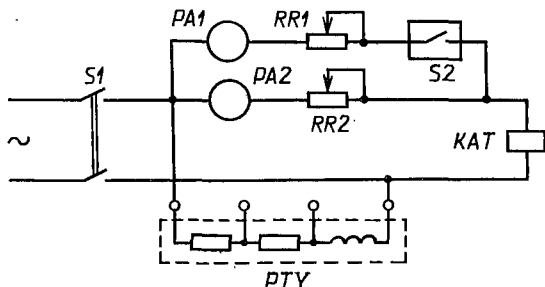


Рис. 13.13. Схема проверки коэффициента возврата реле РТВ

При включенном выключателе $S1$ и отключенном $S2$ реостатом $RR2$ по амперметру $PA2$ устанавливается предполагаемый ток возврата реле KAT , равный 0,8—0,7 тока срабатывания. Затем включается выключатель $S2$ и реостатом $RR1$ по амперметру $PA1$ устанавливается примерно 2—3-кратный ток срабатывания. Выключатель $S1$ отключается, секундомер PTU устанавливается на нуль и выключатель $S1$ снова включается. По секундомеру отсчитывается время на 0,5—0,7 с меньше выдержки времени проверяемого реле в независимой части характеристики, и в этот момент выключатель $S2$ отключается. Таким образом имитируется сквозное КЗ для данного реле и отключение его своей защитой.

Опытным путем подбирается максимальное значение тока в цепи $PA2$, $RR2$, при котором реле тока KAT после отключения выключателя $S2$ возвращается в начальное положение. Этот ток и будет током возврата при работе реле в независимой части характеристики.

Аналогично измеряется ток возврата реле и при работе реле в зависимой части характеристики. В этом случае суммарный ток в цепи реле устанавливается равным 1,2—1,5 тока срабатывания.

Необходимо отметить, что при настройке реле типа РТВ измеряется сумма времени срабатывания реле и времени отключения выключателя до начала размыкания контактов.

Наладка промежуточных реле типа РП-341 выполняется в том же объеме, что и наладка промежуточных реле других типов с некоторыми особенностями. При наладке механической части реле РП-341 необхо-

дим обратить особое внимание на регулирование силовых контактов, обеспечивающих безразрывное переключение цепей трансформаторов тока в схемах с дешунтированием катушек отключения приводов выключателей. Как уже отмечалось, усиленные контакты этих реле способны шунтировать и дешунтировать цепь при вторичных токах до 150 А. Контакты нормального исполнения реле РП-341 способны размыкать цепь переменного тока мощностью 450 В·А при токе до 2 А и напряжении до 220 В и замыкать цепь мощностью 1000 В·А при токе до 15 А и напряжении до 220 В.

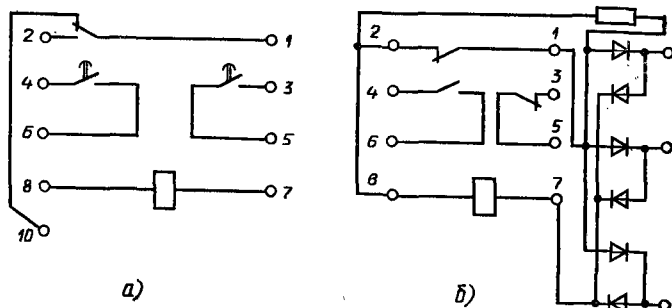


Рис. 13.14. Схема внутренних соединений реле времени:

а — РВ-218, РВ-248; б — РВ-215 К, РВ-245 К

Проверяется ток срабатывания, возврата реле и ток надежной работы. При проверке ток регулируется реостатом. Этим обеспечивается синусоидальная форма, необходимая для правильной настройки реле с насыщающимися трансформаторами. Ток подается на зажимы реле 8-14.

Для оценки состояния выпрямительного моста в реле снимается характеристика зависимости выпрямленного напряжения на зажимах реле 11-13 от тока в первичной обмотке насыщающегося трансформатора до вторичного расчетного тока КЗ.

Наладка реле времени типа РВ-200. Реле предназначено для работы на переменном оперативном токе для создания регулируемой выдержки времени. Пуск реле РВ-217—РВ-248 происходит при подаче напряжения на его обмотку.

Для реле РВ-215—РВ-245, пуск которых происходит при снятии напряжения с обмотки, привод механизма дополнен вспомогательным рычагом и заводной пружиной. Схемы внутренних соединений реле времени РВ 218, РВ-248, РВ-215 К, РВ-245 К приведены на рис. 13.14.

Технические характеристики реле РВ-200 даны в табл. 13.7.

Реле РВ-215—РВ-245 в комплекте с выпрямительным устройством ВУ-200 работают в трехфазных схемах и обозначаются соответственно РВ-215 К—РВ-245 К.

В объем проверки реле при новом включении входит: проверка ме-

Таблица 13.7. Технические характеристики реле времени РВ-200

Тип реле	Диапазон уставок, с	Номинальное напряжение $U_{ном}$, В	Сопротивление обмотки, Ом	Контакты	
				с выдержкой времени	мгновенный
РВ-215	0,1—1,3	100	Не нормируется	Основной и временно замыкающий	Переключающий
РВ-225	0,25—3,5	127			
РВ-235	0,5—9,0	220			
РВ-245	1,0—20	380			
РВ-215К	0,1—1,3	100	210	Основной и временно замыкающий	—
РВ-225К	0,25—3,5	220	1000		
РВ-235К	0,5—9,0	—	—		
РВ-245К	1,0—20	—	—		
РВ-217	0,1—1,3	100	Не нормируется	Основной	Переключающий
РВ-227	0,25—3,5	220			
РВ-237	0,5—9	—			
РВ-247	1,0—2,0	—			
РВ-218	0,1—1,3	—	—	Основной и временно замыкающий	Переключающий
РВ-228	0,25—3,5	—	—		
РВ-238	0,5—9,0	—	—		
РВ-248	1,0—20	—	—		

Примечание. Для реле указанных типов при $1,1U_{ном}$ термическая стойкость длительная.

ханической части и внешний осмотр; проверка состояния изоляции, искрогасительного контура, выпрямительного устройства ВУ-200; измерение сопротивления постоянному току цепи обмотки реле (для термически стойких реле); проверка напряжения срабатывания и возврата, а также времени срабатывания.

При проверке механической части реле РВ-215—РВ-245 необходимо учитывать, что часовой механизм должен быть установлен так, чтобы при втянутом якоре и полностью заведенном механизме между роликом и основным качающимся рычагом был зазор 0,5—1 мм. Учитывается также, что при отпущенном якоре между пальцем заводного рычага часового механизма и вспомогательным рычагом должен быть зазор не менее 0,5 мм.

Проверка состояния изоляции, как правило, производится в полной схеме.

Проверка искрогасительного контура заключается в проверке его элементов.

Проверка выпрямительного устройства ВУ-200 выполняется, если напряжение срабатывания или возврата реле выходит за нормируемые пределы, а также при работе реле с повышенной вибрацией.

Проверка напряжений срабатывания и возврата реле производится с помощью переносного устройства УПЗ-1 (блок К-500) или У5053 (блок К-513). Напряжения измеряются приборами класса точности не

ниже 1,5. Напряжение срабатывания реле РВ-217—РВ-248 определяют при подаче напряжения на реле толчком. Напряжение срабатывания реле РВ-215—РВ-245 определяют при плавном снижении напряжения. За напряжение срабатывания принимается напряжение, при котором отпадает якорь реле. Напряжение возврата этой группы определяется при подаче напряжения на реле толчком. За напряжение возврата принимается напряжение, при котором якорь реле мгновенно втягивается в сердечник.

При всех измерениях напряжение срабатывания и возврата должно соответствовать указанным в табл. 13.8 значениям.

Регулирование напряжений срабатывания и возврата реле не предусмотрено. Обычно значения напряжений находятся в допустимых пределах. При отклонении напряжения срабатывания и возврата от значений, приведенных в табл. 13.8, эти значения могут быть получены

Таблица 13.8. Напряжения срабатывания и возврата реле РВ-200

Тип реле	$U_{\text{ср}}/U_{\text{ном}}$	$U_{\text{в}}/U_{\text{ном}}$
РВ-217—РВ-248	$\leq 0,85$	$\geq 0,05$
РВ-215—РВ-245	$0,05—0,55$	$\leq 0,8$
РВ-215К—РВ-245К	$\leq 0,35$ (при трехфазном питании) $\leq 0,55$ (при двухфазном питании)	$\leq 0,8$

установкой возвратной пружины нормальной жесткости.

Проверить отсутствие вибрации контактов реле в подтянутом положении якоря.

Проверка времени срабатывания производится в следующем объеме: измеряется время срабатывания реле на рабочей уставке и на всех уставках тех реле, уставки на которых изменяются оперативным персоналом (например, реле времени в схеме защиты обходного выключателя); измеряется время замкнутого состояния временно замыкающих контактов.

Проверку производят с помощью переносного устройства УПЗ-1 (блок К-500) или У5053 (блок К-513). Измерение времени срабатывания реле следует производить при номинальном значении напряжения.

Разброс времени срабатывания реле, отклонение среднего значения времени срабатывания от уставки по шкале и время замкнутого состояния временно замыкающих контактов при срабатывании реле должны находиться в соответствии со значениями, приведенными в табл. 13.9.

Проверка реле времени типа РВМ при новом включении производится в следующем объеме: проверка механической части и монтажа элементов реле; проверка изоляции мегаомметром 1000 В; испытание электрической прочности изоляции всех токоведущих частей относительно корпуса напряжением 1000 В 50 Гц в течение 1 мин; проверка электрических характеристик; определение напряжения трогания элект-

Таблица 13.9. Разброс значений и отклонение от уставки времени срабатывания реле РВ-200

Диапазон уставок, с	Разброс значений, с	Отклонение от уставки, с		Время замкнутого состояния времени замыкающих контактов, с
		минимальной	максимальной	
0,1—1,3	0,06	$\pm 0,05$	$\pm 0,15$	0,05—0,12
0,25—3,5	0,12	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$	0,1—0,4
0,5—9,0	0,25	$\pm 0,12$	$\pm 0,5$	0,25—0,75
1,0—20	0,8	$\pm 0,2$	$\pm 1,5$	0,6—1,6

родвигателя, В, напряжения срабатывания электромагнитного сцепления, В; напряжения возврата электромагнитного сцепления, В; настройка реле на рабочих уставках при $U_{ном}$ и проверка четкости работы реле при $0,8 U_{ном}$.

Наладка устройств типа УКП. Схема устройства УКП 1-380 представлена на рис. 13.15. Схема устройства УКП1-220 незначительно отличается от схемы УКП1 380 и здесь не приводится. Особенности схемы УКП1-380 следующие. Переключателем $S1$ осуществляется переключение с рабочей линии на резервную и отключение устройств питания от питающей сети. Сопротивления $R1-R6$ определяют ток нагрузки на выводах «320 А», сопротивления $R7-R9$ —на выводах «150 А».

Переключатели $S3-S5$, $S6$ коммутируют устройство в различных режимах работы. Защита от токов КЗ на стороне выпрямленного напряжения осуществляется быстродействующими предохранителями $F1-F12$ для УКП1-220 и $F1-F6$ для УКП1-380. Сигнальные контакты предохранителей включены в цепь питания указательного реле $K5$. Автоматический выключатель SF защищает устройство питания от внутренних КЗ и перегрузок. Размыкающий контакт реле $K3$ с выдержкой времени 1 с действует на указательное реле $K6$ при исчезновении выпрямленного напряжения.

Наладка устройства заключается в проверке изоляции и опробовании в различных режимах.

Сопротивление изоляции измеряется относительно корпуса с помощью вольтметра поочередным подключением к шинам «+» и «—».

Устройство УКП2 (рис. 13.16) содержит катушку индуктивности $L3$, в которой происходит накопление электромагнитной энергии при подаче напряжения на электромагнит включения выключателей и систему коммутации, обеспечивающую быстрое подключение указанной катушки к электромагниту в случае включения выключателя на КЗ, сопровождающееся резким снижением напряжения.

Устройство имеет два режима работы: «Работа» и «Опробование». В режиме «Работа» переключатель $S2$ устанавливается в положение «Работа», переключатель $S1$ — в положение 1 «Выключено».

При подаче напряжения на электромагнит включения выключателя через первичную обмотку трансформатора тока $TA2$ проходит ток по цепи $X1$ («+» питания), зажимы $L1-L2$ трансформатора тока $TA2$, ди-

од $VD6$, $X4$, электромагнит включения выключателя, $X3$ («—» питания). На зажимах $H1-H2$ вторичной обмотки трансформатора $TA2$ индуцируется импульс напряжения, обеспечивающий открытие тиристора $V5$, в результате чего:

- начинает протекать ток в катушке $L3$;
- начинается заряд конденсаторов $C2-C4$ по цепи $X2$, $VD2$, $R3$, $V5$, $X3$;

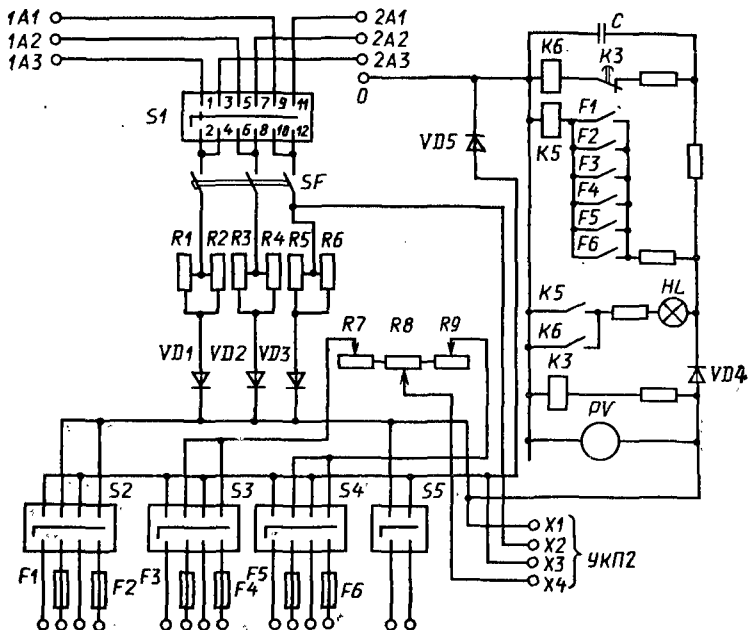


Рис. 13.15. Электрическая принципиальная схема устройства типа УКПН-380

в) начинает протекать ток по цепи $X1$, $VD4$, $R9$, $R4$, $R5$ первичная обмотка трансформатора $TA1$, $V5$, $X3$;

г) срабатывает реле $K1$, а затем $K2$.

Контакты реле $K1$ и $K2$ шунтируют вторичную обмотку трансформатора тока $TA2$, обеспечивая однократность подачи отпирающего импульса на управляющий электрод тиристора $V5$.

Если включение выключателя сопровождается возникновением $K3$ в сети, напряжение питания УКП2 резко уменьшается, что приводит к резкому уменьшению тока в первичной обмотке трансформатора тока $TA1$. При этом на вторичной обмотке $TA1$ формируется импульс откры-

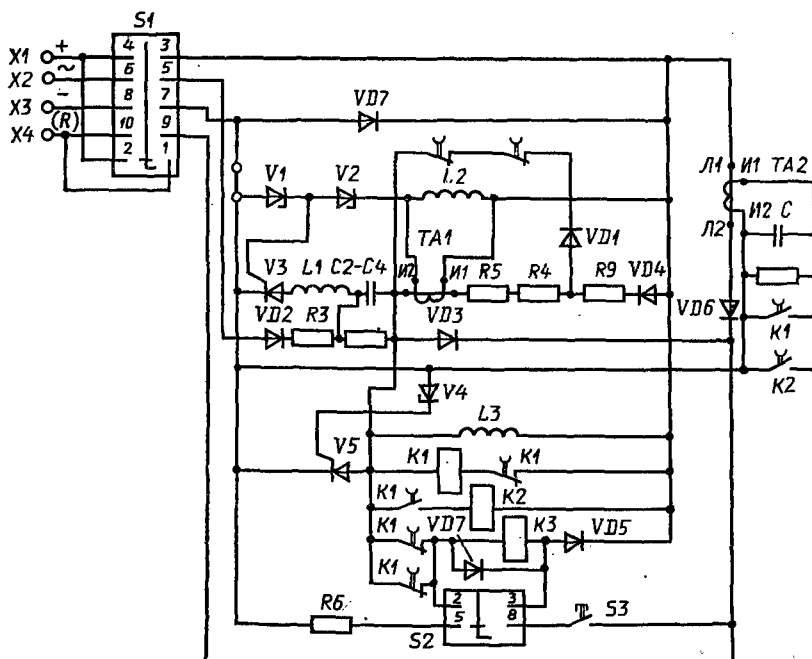


Рис. 13.16. Электрическая принципиальная схема устройства УКП2

вающий тиристор $V3$, после чего начинается разряд конденсаторов $C2—C4$ через катушку $L1$, тиристоры $V3$, $V5$. Ток разряда запирает тиристор $V5$. Электромагнитная энергия, запасенная в катушке $L3$, выделяется в электромагните включения выключателя (разряд происходит по цепи $L3$, $VD3$, $X4$, электромагнит выключателя, $X3$, $VD7$, $L3$), обеспечивая включение выключателя на КЗ с посадкой механизма привода на защелку в соответствии с требованиями ГОСТ 687—78 Е.

Режим «Опробование» предусмотрен с целью проверки исправности элементов схемы и работоспособности устройства. В этом режиме переключатель $S2$ переводится в положение «Опробование» (замыкаются контакты 5-8, размыкаются 2-3), после чего замыкается кнопка $S3$. При этом через первичную обмотку трансформатора $TA2$ проходит ток, ограниченный резистором $R6$. Импульс на вторичной обмотке $TA2$ открывает тиристор $V5$, и схема работает аналогично режиму «Работа» при нормальном включении выключателя.

Разряд индуктивности $L3$ в режиме «Опробование» происходит через диод $VD7$, указательное реле $K3$ и диод $VD5$ (по цепи $L3$, контакты реле $K1$, $VD7$, $K3$, $VD5$, $L3$). Срабатывание указательного реле сви-

детельствует об исправности элементов схемы и ее работоспособности.

Измерение сопротивления изоляции производится между выводами токоведущих цепей, не связанных между собой электрически, а также между выводами этих цепей и корпусом. Оно должно быть не менее 10 Мом. Испытания проводятся мегаомметром на напряжение 1000 В.

Для включения в работу в устройстве УКП1 необходимо: переключатель S1 установить в положение 1 «Работа», переключатель S7 (для устройства питания УКП1-220) — в среднее положение; включить автоматический выключатель S2; включить переключателями S3, S4, S5 нужный выход; показание вольтметра при этом должно соответствовать напряжению холостого хода.

В устройстве УКП2 необходимо: переключатель S1 установить в положение 1 «Включено», переключатель S2 — в положение «Опробование»; нажать кнопку S3, при этом в исправном УКП2 должен выпасть указатель реле K3; переключатель S2 перевести в положение «Работа», указательное реле вернуть в исходное положение.

Измерение сопротивления изоляции в устройстве УКП1-220 производится следующим образом:

переключатель S7 устройства УКП1-220 устанавливается в среднее положение «Выпрямленное напряжение», измеряется напряжение; переключатель S7 устанавливается в положение « $U_{из}$ », фиксируются показания вольтметра « $U_{из}$ », В;

переключатель S7 устанавливается в положение « $U_{из+}$ », фиксируются показания вольтметра « $U_{из+}$ », В;

определяется сопротивление изоляции «минус», Ом, по формуле

$$R_{из-} = \frac{129 \cdot 10^3 (U_d - U_{из-} + U_{из+})}{U_{из+}};$$

определяется сопротивление изоляции шины «плюс», Ом, по формуле

$$R_{из+} = \frac{129 \cdot 10^3 (U_d - U_{из-} + U_{из+})}{U_{из-}};$$

переключатель S7 устанавливается в среднее положение.

В устройстве УКП2 выполняются следующие измерения и регулировки:

измерение индуктивности и активного сопротивления катушек L2 и L3. Параметры этих катушек должны быть в пределах: L2—L—1 мГн $\pm 10\%$; R—3,0 Ом $\pm 10\%$; L3—L—88 мГн $\pm 10\%$; R—0,9 Ом $\pm 5\%$;

проверка и регулировка реле K1 и K2. Обращается внимание на зазор между подвижным и неподвижным контактами (должен быть не менее 2,5 мм), на провал контактных мостиков (должен быть не менее 0,5 мм), на воздушный зазор между якорем и скобой электромагнита в сработанном состоянии (должен быть не менее 0,5 мм для предотвращения залипания якоря из-за остаточного намагничивания).

Проверка блоков питания. Производится внешний осмотр на отсутствие механических повреждений; проверяется монтаж и состояние механической части; производится проверка надежности крепления всех элементов, качества паяк и болтовых соединений.

Проверка изоляции производится при вынутом из блока питания поляризованном реле P типа РП-7 (блока БПЗ-401), закороченных кон-

денсаторах и полупроводниковых выпрямителях мегаомметром на напряжение 1000 В. При этом проверяется сопротивление изоляции входных и выходных токоведущих цепей между собой и относительно корпуса (должно быть не менее 50 Мом) и сопротивление изоляции поляризованного реле мегаомметром 500 В. (Проверяется также сопротивление изоляции между обмотками, контактами и магнитопроводом реле при различных положениях якоря — оно должно быть не менее 100 Мом.)

После измерения сопротивления изоляции производится испытание электрической прочности изоляции токоведущих цепей напряжением 1000 В, 50 Гц в течение 1 мин.

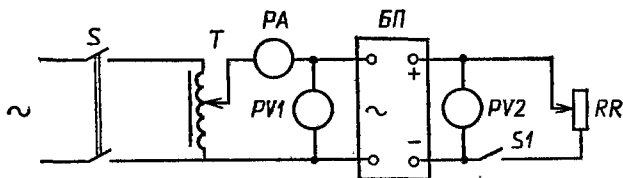


Рис. 13.17. Схема проверки блока питания БПН-11

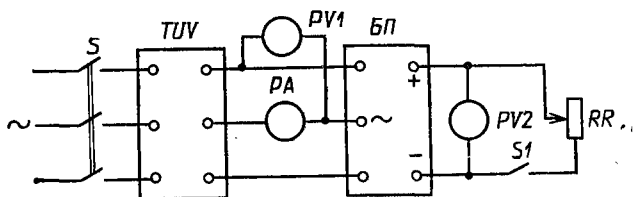


Рис. 13.18. Схема проверки блока питания БПН-1002

Проверка блока питания на рабочих уставках на холостом ходу производится у блоков БПН-11, БПН-1002, БПЗ-401 по схеме, приведенной на рис. 13.17 или 13.18 (для блока БПН-1002).

При холостом ходе блока питания (ключ SA1 отключен) плавно увеличивается напряжение на его входе от нуля до номинального значения. При напряжении 10—15 % и 100 % номинального измеряется ток холостого хода и выходное напряжение. Ток холостого хода при напряжении на выходе 10—15 % номинального должен составлять не более 10—25 % $I_{ном.х}$, а выходное напряжение — 10—15 % значений, измеренных при номинальном напряжении.

У блоков БПТ-11, БПТ-1002, БПЗ-402 проверка производится по схеме, приведенной на рис. 13.18.

При холостом ходе блока питания (ключ SA1 отключен) плавно увеличивается ток на входе от нуля до тока наступления феррорезонанса. За ток наступления феррорезонанса принимается максимум входного тока, после которого наблюдается резкое уменьшение тока при практически неизменном положении регулятора автотрансформатора. Если

ток соответствует техническим характеристикам (см. табл. 13.4), то блок питания считается исправным.

Проверка блоков питания на рабочих уставках под нагрузкой производится по схеме, приведенной на рис. 13.17 или 13.18.

При проверке блоков питания под нагрузкой длительное протекание тока максимальной нагрузки недопустимо, поэтому измерения в этом режиме следует производить быстро, а питание подавать в схему проверки кратковременно.

На выход блока подключается резистор с сопротивлением, соответствующим эксплуатационной нагрузке в режиме максимального потребления.

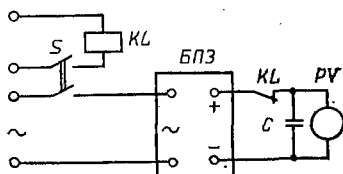


Рис. 13.19. Схема проверки времени заряда блока конденсаторов

Измеряется напряжение на выходе блока питания при подаче на его вход напряжения, равного 0,8; 1,0; 1,1 номинального входного напряжения (для блоков БПН-11, БПН-1002, БПЗ-401), или тока, равного 1,0; 1,2; 1,25 уставки наступления феррорезонанса (для блоков БПТ-11, БПТ-1002, БПЗ-402).

По результатам измерений определяется напряжение (ток) надежной работы, т. е. минимальное напряжение (ток) на входе блока питания, при котором обеспечивается напряжение на его выходе, равное 0,8 номинального выходного напряжения.

Проверка поляризованного реле при подключенной нагрузке блока БПЗ-401 производится по схеме рис. 13.17 при подключенной нагрузке (ключ SA1 включен). Напряжение срабатывания реле Р, измеренное на входе блока питания, должно быть не более 0,7 номинального входного напряжения, коэффициент возврата — не менее 0,25.

Определение времени заряда блока конденсаторов до напряжения $0,8 U_{ном}$ (для блоков БПЗ-401, БПЗ-402) производится по схеме, приведенной на рис. 13.19, с использованием промежуточного реле KL, время срабатывания которого должно приблизительно соответствовать нормируемому времени заряда конденсаторов. Для этого включается ключ S и после срабатывания реле KL сразу измеряется напряжение на блоке конденсаторов, которое должно быть не менее 0,8 номинального входного напряжения. Время заряда должно быть не более 70 мс.

Время заряда блока конденсаторов от БПЗ-401 определяется при номинальном входном напряжении, от БПЗ-402 — при трехкратном токе уставки по току наступления феррорезонанса.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Обозначения элементов электрических схем, принятые в книге

Обозначение	Наименование элемента
AV	Устройство регулирования напряжения
AC	Устройство АВР
AK	Устройство (комплект) реле токовых защит
AKB	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
EA.A	Шинка вспомогательная напряжения (A790)
EA.C	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)
+EH	Шинка сигнализации «+»
-EH	Шинка сигнализации «-»
EHA	Шинка сигнализации аварийной
ENP	Шинка сигнализации предупредительной
ENT	Шинка сигнализации технологической
(+) EP	Шинка мигания
EPD	Шинка съема мигания
ES1.A	Шинка напряжения синхронизации (A610)
ES1.C	Шинка напряжения синхронизации (C610)
ES2.A	Шинка напряжения синхронизации (A620)

Продолжение прилож. 1

Обозначение	Наименование элемента
ES2.C	Шинка напряжения синхронизации (С620)
ESD	Шинка напряжения синхронизации (А780)
EV1.A	Шинка напряжения (1Т с обмотками, соединенными в звезду)
EV1.B	Шинка напряжения (1Т с обмотками, соединенными в звезду, В600)
EV1.C	Шинка напряжения (1Т с обмотками, соединенными в звезду, С600)
EV1.N	Шинка напряжения нейтрали (1Т с обмотками, соединенными в звезду, С600)
EV1.H	Шинка напряжения нейтрали (1Т с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник, Н600)
EV1.U	Шинка напряжения нейтрали (1Т с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник, И600)
EV1.K	Шинка напряжения (1Т с обмотками, соединенными в разомкнутый треугольник)
EV1.F	Шинка напряжения (1Т 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
KAW	Реле тока с торможением
KAZ	Реле тока фильтровое
KB	Реле блокировки
KH	Реле указательное
KHA	Реле импульсной сигнализации
KL	Реле промежуточное, исполнительный орган
KM	Контактор, пускатель
KQC	Реле положения «Включено»
KQT	Реле положения «Отключено»
KSG	Реле газовое
KSV	Реле контроля цепей напряжения
KT	Реле времени
KV	Реле напряжения
KW	Реле мощности

Обозначение	Наименование элемента
KZ	Реле сопротивления
L	Реактор, дроссель, дугогасительная катушка
M	Двигатель
PA	Амперметр
PC	Счетчик импульсов
PF	Частотомер
PHE	Указатель положения
PO	Осциллограф
PQ	Указатель РПН
PS	Синхроноскоп
PT	Секундомер, часы
PTY	Секундомер электрический (с электромагнитным приводом)
PTV	Секундомер электронный
PV	Вольтметр
PW	Ваттметр
R	Резистор
RP	Потенциометр
RR	Реостат
Q	Рубильник, выключатель силовых цепей
S	Рубильник, выключатель вспомогательных цепей, коммутационное устройство
SA	Переключатель, ключ вторичных цепей
SAB	Переключатель, ключ в цепях блокировки
SB	Кнопка
SF	Автоматический выключатель
SG	Блок испытательный
SQ	Путевой выключатель конечный
SX	Накладка оперативная
T	Трансформатор
TA	Трансформатор тока
TAN	Трансформатор тока нулевой последовательности
TAV	Трансреактор
TL	Трансформатор промежуточный, нагрузочный, безопасности
TUV	Трансформатор регулировочный
TV	Трансформатор напряжения
UV	Фазорегулятор, преобразователь напряжения
UVM	Фазорегулятор моторный
V	Электронный прибор
VC	Выпрямитель
VD	Диод, стабилитрон
VL	Электровакуумный прибор
VS	Тиристор
VT	Транзистор
X	Устройство соединительное

Продолжение прилож. 1

Обозначение	Наименование элемента
XA	Испытательный блок
XG	Испытательный зажим
XN	Соединение неразборное
XP	Соединение контактное, штырь
XS	Соединение контактное, гнездо
XT	Соединение разборное
XW	Соединение ВЧ
YAC	Электромагнит включения
YAT	Электромагнит отключения

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Спецификация на приставку П-77-1 к ВАФ-85

Обозначение по схеме	ГОСТ, ТУ	Тип	Количество, шт.
R1	ГОСТ 7113—66, ВД 7113-71	МЛТ-0,5 $510\text{K} \pm 10\%$	1
R2	ГОСТ 7113—66, ВД 7113-71	МЛТ-0,5 $360\text{ Ом} \pm 10\%$	1
R3	ГОСТ 7113—66, ВД 7113-71	МЛТ-0,25 $1\text{к} \pm 10\%$	1
R4*	ГОСТ 7113—66, ВД 7113-71	МЛТ-0,25 15—25к	1
R6*	ГОСТ 7113—66, ВД 7113-71	МЛТ-0,25 3,5—6к	1
R8*	ГОСТ 7113—66, ВД 7113-71	МЛТ-0,25 5—20к	1
R10	ГОСТ 7113—66, ВД 7113-71	МЛТ-0,25 $1\text{к} \pm 10\%$	1
R5, R7, R9	ОЖО, 468, 047, МРТУ	СПО-0,15 $3,3 \pm 20\%$	3
C1, C2	ОЖО, 461, 077, МРТУ	К76-3 $1,5 \times 250\text{ В} \pm 10\%$	2
C3, C4	ОЖО, 464, 031, МРТУ	К50-6 $20 \times 15\text{ В}^{+80\%}_{-20\%}$	2
C5	ОЖО, 460, 020, ТУ	КЛС-1 1000 пф $\pm 20\%$	1
C6	ОЖО, 464, 044, МРТУ	К53-1А $0,22 \times 20\text{ В} \pm 20\%$	1

Продолжение прилож. 2

Обозначение по схеме	ГОСТ, ТУ	Тип	Количество, шт.
C7	ОЖО, 463, 032, ТУ	МБМ $1,0 \times 160 \text{ В} \pm 10 \%$	1
C8	ОЖО, 464, 044, МРТУ	К53-1А $1,5 \times 30 \text{ В} \pm 20 \%$	1
V1—V4	Ц23, 362, 003	КД105 В	4
V5	ГОСТ 17126—71	Д816 В	1
V6, V7	ГОСТ 14913—69	Д814	2
A1	БКО, 348, 095 ТУ	Микросхема К1УТ401Б	1
X1—X4	ГАО, 364, 008 ТУ	Штепсель ШПЧ-2	4
X5, X6	ГАО, 564, 010 ТУ	Розетка РД1	1

* Подбирается при настройке.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Новые реле (устройства); их краткая характеристика

Внедрение в последнее время новых устройств в релейной защите привело к появлению реле и комплектов, выполненных с широким применением микроэлектроники, технические данные наиболее распространенных из них приведены ниже.

Реле максимального тока серий РСТ 11, РСТ 13, РСТ 12, РСТ 14 применяются в качестве измерительных реле в схемах релейной защиты и автоматики энергосистем. Реле в основном используются в различных комплектных устройствах, от которых требуется повышенная устойчивость к механическим воздействиям.

Номинальные данные: реле серий РСТ 11, РСТ 13 предназначены для применения в цепях переменного тока частотой 50 Гц, реле серий РСТ 12, РСТ 14 — в цепях частотой 60 Гц. Напряжение питания реле серий РСТ 11, РСТ 12 — переменное 220 В; реле серий РСТ 13, РСТ 14 — постоянное 220 В. Пределы уставок тока срабатывания реле всех серий с индексом: 04—(0,05—0,2) А; 09—(0,15—0,6) А; 14—(0,5—2,0) А; 19—(1,5—6,0) А; 24—(5—20) А; 29—(15—60) А; 32—(30—120) А. Коэффициент возврата на любой уставке не менее 0,9. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле максимального напряжения серий РСН 14, РСН 15 и минимального напряжения серий РСН 16, РСН 17 применяются в качестве измерительных реле в схемах релейной защиты и автоматики энергосистем. Реле в основном используются в комплектных устройствах, от которых требуется повышенная устойчивость к механическим и ударным воздействиям.

Номинальные данные: реле серий РСН 14, РСН 15, РСН 16, РСН 17 предназначены для применения в цепях переменного напряжения частотой 50 или 60 Гц. Напряжение питания реле серий РСН 15, РСН 17 — переменное 220 В, реле серий РСН 14, РСН 16 — постоянное 220 В. Пределы уставок напряжения срабатывания реле серий РСН 14, РСН 15 с индексом: 23—(12—60) В; 25—(15—75) В; 28—(40—200) В; 30—(50—250) В; 33—(80—400) В; реле серий РСН 16, РСН 17 с индексом: 23—(12—60) В; 28—(40—200) В; 33—(80—400) В. Коэффициент возврата на любой уставке реле максимального напряжения не менее 0,9, реле минимального напряжения 1,1. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле сдвига фаз РСФ 11 взамен РН-55, предназначены для применения в схемах автоматического повторного включения ЛЭП с двусторонним питанием в качестве органа, контролирующего наличие напряжения на линии и угол сдвига фаз напряжения на линии и напряжения на шинах станции или подстанции. Реле отличаются повышенной устойчивостью к механическим воздействиям.

Номинальные данные приведены в табл. ПЗ.1.

Т а б л и ц а ПЗ.1. Номинальные данные реле

Тип реле	Напряжение, В		Частота, Гц
	первой цепи (от шин)	второй цепи (от линии)	
РСФ 11-09	60	30	50 или 60
РСФ 11-12	60	60	
РСФ 11-13	100	30	
РСФ 11-16	100	60	
РСФ 11-20	100	100	

Уставки срабатывания реле по углу сдвига фаз при номинальных напряжениях: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70°. Регулировка угла — дискретная. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле мощности РМ 11 взамен РБМ-171, **РМ 12** взамен РБМ-178 предназначены для применения в качестве органа направления мощности.

Номинальные данные: напряжение 100 В; ток 1 или 5 А; частота 50 Гц; напряжение оперативного постоянного тока 220 или 110 В; угол максимальной чувствительности РМ 11 ($-30 \pm 5^\circ$) с возможностью переключения на угол ($-45 \pm 5^\circ$); РМ 12 ($70 \pm 5^\circ$); коэффициент возврата не менее 0,8. Напряжение срабатывания реле типа РМ 11 — не более 0,25 В; напряжение срабатывания реле типа РМ 12 регулируется ступенями ($1,0 \pm 0,1$) В; ($2,0 \pm 0,2$) В; ($3,0 \pm 0,3$) В. Область (зона) срабатывания реле по углу не менее 165 и не более 180°.

Реле тока обратной последовательности РТФ 8 взамен РТФ 1М предназначены для защиты различных электрических установок при несимметричных КЗ.

Номинальные данные: ток 1 или 5 А; напряжение оперативного постоянного тока 220 или 110 В; коэффициент возврата 0,95. Диапазон

регулировки уставок по току обратной последовательности (0,3—1,2) $I_{ном}$, реле имеет один реагирующий орган с двумя замыкающими контактами.

Реле тока обратной последовательности РТФ 9 взамен РТФ-7 предназначены для защиты генераторов и трансформаторов при несимметричных КЗ и перегрузке токами обратной последовательности.

Номинальные данные: ток 1,5 или 10 А; напряжение оперативного постоянного тока 220 или 110 В; коэффициент возврата 0,95. Диапазон регулировки уставок по току обратной последовательности: первого реагирующего органа (0,04—0,16) $I_{ном}$; второго реагирующего органа (0,4—1,6) $I_{ном}$. Реле имеет два реагирующих органа с двумя замыкающими контактами каждый.

Реле напряжения обратной последовательности РСН 13 взамен РНФ-1 предназначены для использования в качестве органа, реагирующего на напряжение обратной последовательности при возникновении несимметричных КЗ.

Номинальные данные: напряжение входной воздействующей величины — 100 В; частота 50 или 60 Гц; напряжение постоянного тока вспомогательной воздействующей величины 220 В; коэффициент возврата 0,9. Диапазон регулирования уставок по напряжению обратной последовательности (6—24,6) В, реле имеет реагирующий орган с одним замыкающим и одним размыкающим контактами.

Реле тока дифференциальное РСТ 15, РСТ 16 взамен РНТ-565 предназначены для использования в схемах дифференциальной защиты одной фазы электродвигателей 6—10 кВ и силовых трансформаторов.

Номинальные данные: ток 5 А; частота РСТ 15 50 Гц, РСТ 16 60 Гц; напряжение оперативного постоянного тока 220 В; коэффициент возврата не менее 0,75; время срабатывания — не более 0,04 с. Реле имеет следующие уставки по току срабатывания $I_{ср}^*$ в долях номинального тока 0,4; 0,5; 0,65; 0,9; 1,2 при коэффициенте кратности шкалы $K=1$, предусмотрена также возможность дискретного увеличения уставок в 2 раза ($K=2$). Реле имеет один замыкающий контакт.

Блок защиты генераторов типа БРЭ 1301 предназначен для применения в схемах защиты от замыкания на землю в обмотке статора генераторов энергоблоков; БРЭ 1301.01 взамен ЗЗГ-1 для энергоблоков, в нейтрали обмотки статора генератора которых установлен трансформатор напряжения или дугогасящий реактор; БРЭ 1301.02 взамен ЗЗГ-2 для энергоблоков с изолированной нейтралью.

Номинальные данные: напряжение питания 100 В; частота 50 или 60 Гц; напряжение оперативного постоянного тока 220 В. Уставка срабатывания реле напряжения 5; 10; 15; 20 В. Пределы регулирования относительного сопротивления (коэффициента торможения реле с торможением для БРЭ 1301.01) 0,3—3,0. Отношение скачкообразно изменившегося напряжения после замыкания обмотки статора на землю к напряжению до замыкания при срабатывании реле производной (для БРЭ 1301.02) $1,25 \pm 0,125$. Блок имеет два исполнительных органа (выходных реле) с одним переключающим контактом каждый.

Комплексное устройство защиты ЯРЭ 2201 предназначено для установки в комплектные распределительные устройства напряжением 6—10 кВ и выполняет все функции защиты и автоматики одного или нескольких присоединений. Устройство представляет собой набор блоков, различные сочетания которых позволяют выполнить различные виды

защит: максимальную токовую, токовую с зависимой выдержкой времени, дифференциальную токовую, защиту от замыканий на землю, устройство автоматического включения резервного питания, автоматического повторного включения и т. д. Блоки устройства размещены в cassette, заключенной в металлическую оболочку.

Номинальные данные: переменное напряжение 100 В; переменный ток 5 А; частота 50 Гц; напряжение оперативного постоянного тока 110 или 220 В.

Блок реле сопротивлений типа БРЭ 2801 взамен КРС-1 предназначен для использования в качестве пусковых или измерительных дистанционных органов в различных схемах релейной защиты и реагируют на установленное значение комплексного сопротивления на входных зажимах.

Номинальные данные: переменный ток 1 или 5 А; переменное напряжение 100 В; частота 50 или 60 Гц. Напряжение оперативного постоянного тока 110 или 220 В. Исполнение по сопротивлению срабатывания 5(1) или 20(4) Ом на фазу (в скобках приведены данные для исполнения на 5 А).

Характеристика срабатывания реле сопротивления может иметь вид окружности или эллипса, проходящих через начало координат, смещенных в I или III квадрант или с центром в начале координат, что определяется режимными переключками на лицевой панели реле. Для исполнения по сопротивлению срабатывания 5(1) Ом на фазу минимальные значения уставок, регулируемые переключением в цепях тока 1,25(0,25); 2,5(0,5); 5(1) Ом на фазу; диапазон токов 10 %-ной точности для реле данного исполнения 0,28—40 А (1,4—200) А.

Шафы дистанционной и токовой защиты типов ШДЭ 2801, ШДЭ 2802 взамен ЭПЗ-1636 предназначены для использования в качестве основной или резервной защиты ЛЭП 110—220 кВ с двусторонним питанием, а также в качестве резервной защиты линий 330 кВ необорудованных ОАПВ.

Шаф ШДЭ 2801 содержит основной комплект защит, в который входят:

1) дистанционная защита, предназначенная для действия при всех видах многофазных КЗ. Содержит три ступени, каждая из которых выполняется с помощью трех дистанционных измерительных органов, устройство блокировки при неисправностях в цепях напряжения и органы выдержки времени, обеспечивающие требуемое замедление ступеней;

2) четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности, предназначенная для действия при КЗ на землю. Защита содержит по одному измерительному органу тока в первой, второй и третьей ступенях, два измерительных органа тока в четвертой ступени, орган направления мощности двустороннего действия, выполненный в виде двух реле, и органы выдержки времени, обеспечивающие требуемое замедление ступеней;

3) токовая отсечка от многофазных замыканий в двухрелейном исполнении;

4) реле УРОВ, включаемое на токи трех фаз;

5) преобразовательный блок питания и стабилизатор напряжения.

Шаф ШДЭ 2802 содержит основной комплект защит, входящий

в шкаф ШДЭ 2801, а также резервный комплект защит, в который входят:

1) дистанционная защита, содержащая две ступени, каждая из которых выполняется с помощью трех дистанционных измерительных органов, и органов выдержки времени, обеспечивающих требуемое замедление ступеней. Предусмотрено совместное действие дистанционной защиты резервного комплекта с устройством блокировки при качаниях и блокировки при неисправностях в цепях напряжения основного комплекта, при этом при исчезновении оперативного постоянного тока основного комплекта дистанционная защита резервного комплекта остается в действии. Предусмотрена возможность срабатывания второй ступени дистанционной защиты резервного комплекта без пуска от устройства блокировки при качаниях;

2) двухступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности, выполненная аналогично органам защиты основного комплекта;

3) преобразовательный блок питания и стабилизатор напряжения.

Блоки шкафа расположены в кассетах, схемы защит выполнены с широким применением микроэлектроники; на плите, устанавливаемой в нижней части шкафа, размещены элементы схемы опробования и выходные реле.

Номинальные данные: переменный ток 1 или 5 А; переменное напряжение 100 В; частота 50 или 60 Гц. Напряжение оперативного постоянного тока 110 или 220 В.

Список литературы

1. **Переносные устройства для наладки электроустановок**/О. А. Гильчер, А. К. Кудрявцев, В. П. Кудряков и др. М.: Энергия, 1980.
2. **Общая инструкция по проверке устройств релейной защиты, электроавтоматики и вторичных цепей.** М.: Энергия, 1975.
3. **Фокин Г. Г., Хомяков М. Н.** Панели дистанционных защит ПЗ-2/1 и ПЗ-2/2. М.: Энергия, 1975.
4. **Таубес И. Р.** Релейная защита мощных турбогенераторов. М.: Энергоиздат, 1981.
5. **Вавин В. Н.** Релейная защита блоков генератор—трансформатор. М.: Энергоатомиздат, 1983.
6. **Гомберг А. Е.** Описание, монтаж и наладка газового реле. М.: Главтехстройпроект Минэнерго СССР//Экспресс-информация. № 9, 1969.
7. **Инструкция по наладке и эксплуатации газовой защиты с реле РГЧЗ-66М:** М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1971.
8. **Инструкция по эксплуатации газовых реле BF/80/Q и струйных реле ORF 25/10 защиты трансформаторов и устройств РПН:** М.: СПО «Союзтехэнерго», 1979.
9. **Справочник реле защиты и автоматики**/Под ред. М. Э. Хейфица. М.: Энергия, 1972.
10. **Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций**/Под ред. Э. С. Мусаэляна. М.: Энергоатомиздат, 1984.
11. **Инструкция по наладке, проверке и эксплуатации реле прямого действия.** М.: СПО ОРГРЭС, 1975.
12. **Гельфанд Я. О., Голубев М. П., Царев М. И.** Релейная защита и электроавтоматика на переменном оперативном токе. — 2-е изд., перераб. и доп./Под ред. М. И. Царева. М.: Энергия, 1973.

Предметный указатель

Автоматические выключатели в цепях ТН 51

Блок питания:

БПЗ 349, 352, 366

БПН 346, 365

БПТ 347

нуль-индикатора 218, 221, 313

Блок реле:

ЗЗГ-1 303

КРС-1 229

КРС-2 311

РЗР-1М 332

РТФ-6М 319

Векторные диаграммы напряжения 34

— — — — — тока 34, 124

Вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85 18, 48, 54

Вольтметр-омметр 107, 109

Газовая защита 351, 353, 355

Газовые реле 163, 166

Дистанционный орган:

ДЗ-2 220, 243, 251, 253

КРС-1 229, 243, 253

КРС-2 312

Защита дифференциальная 57, 126, 354

генераторов 126

поперечная параллельных ЛЭП 279

продольная ЛЭП 289

трансформаторов 127, 129

шин 128, 131

— типа ДЗШТ 148, 161

электродвигателей 128

— дифференциально-фазная ЛЭП 255

— от замыканий на землю обмоток статора 303

— — — — — присоединений 110—220 кВ с глухозаземленной нейтралью 112

— — — — — 6—10 кВ с изолированной нейтралью 196, 207, 213

— — — — — потери возбуждения генератора 315

Зона действия реле 96

Измерение времени прибором Ф-291 17

— — — — — Ф-738 15

— — — — — ЭМС-54 11

— фазы напряжения 18, 24

— — — — — тока 18, 22, 24, 48

Измерительные трансформаторы 57, 345

Комплект дистанционной защиты ДЗ-2 215, 220

Комплектное испытательное устройство:

У5052 8

У5053 8, 48, 54, 242

УПЗ-1 8

УПЗ-2 8, 242

Комплектные устройства максимальных токовых защит (МТЗ):

КЗ9; КЗ9/2; КЗ-12; КЗ-14;

КЗ-15; КЗ-17 114

КЗ-10 115

КЗ6; КЗ7 281

Контакты вспомогательные 56

Контур подпитки дистанционных реле 221, 245, 251

Контроль изоляции сети постоянного тока 107

Коэффициент возврата 57, 61, 66

— — — — — надежности 310

— — — — — ослабления частоты 50 Гц

фильтром 309

— — — — — торможения 309

Магнитный делитель частоты 297
Максимальной чувствительности
угол дистанционных реле 215,
221, 241, 246, 252

— — — реле направления мощно-
сти 90, 96, 109, 284, 286

Мегаомметр:

М1101 27

МС-05 27

М4100 28

Ф4100 30

Метод симметричных составляю-
щих 173

Напряжение небаланса разомкну-
того треугольника цепей ТН 123

— стабилизации 219, 237, 300, 307

Настройка органа манипуляции
ДФЗ 263

— — сравнения фаз ДФЗ 262

— пусковых органов ДФЗ 260

— фильтров обратной последова-
тельности 175, 261

Определение углов блокировки
ДФЗ 275

Осмотр аппаратуры 5, 121, 233,
299, 307

Переносные испытательные устрой-
ства проверки:

присоединений 0,4 кВ 24

— 6 кВ 25

простых реле 25

Приставка к прибору ВАФ-85 22

Проверка вторичных цепей напря-
жения 123, 181, 185, 249, 287

— — — тока 123, 178, 183, 249, 287

— защит током нагрузки 123, 249,
271, 276, 287

— компенсации емкостных токов
линии 264

— — пусковых органов 262

— синхронизма 62

Расчет уставок дистанционных
реле сопротивления 241, 314

Реагирующий орган схемы срав-
нения:

магнитоэлектрическое реле М
237/054 (МЭР) 217, 234, 300, 312

полупроводниковый нуль-индика-
тор 217, 221, 233, 236, 312

Реле времени:

защит на переменном оператив-
ном токе РВМ-12, РВМ-13, РТВ
342, 351, 356, 361

моторные серий ВС; Е 68, 71

полупроводниковые серий ВЛ,
РВ 75, 359

с часовым механизмом серий ЭВ
68, 71

Реле:

газовые 163, 166

дифференциальные ДЗТ, РНТ
57, 61, 132, 135, 351

— ДЗТ-21, ДЗТ-23 139, 161

импульсной сигнализации 100,
104

индукционные направления мощ-
ности 90, 109, 112

— токовые серий РТ-80, РТ-90
65, 344

мощности обратной последова-
тельности типа РМОП-2 185

напряжения серий РН-50 57, 62

обратной мощности 97

повторители 57

поляризованные 88, 104

промежуточные серий РП, РЭВ
75, 84, 343, 351

разборка 56

ревизия 57, 122, 285

смазка 56

струйные 168

тока нулевой последовательно-
сти серий РТЗ 198, 209

— серий РТ 57, 344

электромагнитные 57

Самоход реле мощности 92, 122,
286

Сброс обратной мощности 96, 123

Сечение жилы кабеля в цепях ТН
53

Сигнализация защиты 98, 303, 307,
351

— замыкания на землю типа
УСЗ-2/2, УСЗ-3М 202, 205, 211

— реле 87, 104, 109

Соединение вторичных обмоток
трансформаторов напряжения:

в звезду 35, 49, 53, 303

в разомкнутый треугольник 35,
49, 54, 303

- тока в звезду 36, 112
- в неполную звезду 37
- в треугольник 37, 253
- на разность двух фаз 37, 279
- параллельное 38
- последовательное 38
- Сопротивление изоляции:
 - измерение 5, 27, 33, 235, 353, 360, 366
 - испытание 5, 33, 56, 90, 107, 132, 170
 - контроль 107
- Сопротивление провода в цепях ТН 52
- Стабилизация напряжения 219
- Струйные реле 168
- Схемы включения реле мощности
 - от замыканий на землю 112
 - — — — — междуфазных КЗ 110
- Устройство блокировки при качаниях типа КРБ-125 215, 229, 239, 249
- — — — — КРБ-126 215, 226, 238, 249
- — — — — неисправностях цепей напряжения дистанционной защиты 215, 223, 239, 250
- — — — — ДФЗ 268
- защиты типа КЗР-3 296
- комплектное питания УКП 344, 362
- УРОВ 57
- Фазная характеристика 275
- Фазочувствительная схема 298
- Фильтр-реле:
 - РНФ-1М 182
 - РТ-2 180, 184
 - РТФ-1М 178, 183
 - РТФ-7 181, 184

Содержание

Предисловие	3
Раздел первый. Аппаратура, особенности измерений и проверок при наладке устройств релейной защиты	5
1.1. Организация работ	5
1.2. Измерительные приборы и устройства	8
1.3. Проверка изоляции вторичных цепей	26
1.4. Векторные диаграммы в цепях тока и напряжения	34
1.5. Вторичные цепи трансформаторов тока и их проверка	36
1.6. Вторичные цепи трансформаторов напряжения и их проверка	49
Раздел второй. Проверка и настройка релейной аппаратуры и вторичных устройств общего назначения	56
2.1. Общие требования по наладке вторичных устройств	56
2.2. Электромагнитные реле тока и напряжения	57
2.3. Индукционные реле тока	65
2.4. Реле времени	68
2.5. Электромагнитные промежуточные и сигнальные реле	75
2.6. Поляризованные реле	88
2.7. Реле мощности	90
2.8. Наладка устройств аварийной, технологической, предупредительной и командной сигнализации	98
2.9. Наладка устройств контроля изоляции сети постоянного тока	107
Раздел третий. Наладка направляемых максимальных токовых защит (МТЗ)	109
3.1. Схемы включения реле направления мощности в защитах от междуфазных КЗ	109
3.2. Схемы включения реле направления мощности на фильтры тока и напряжения нулевой последовательности	112
3.3. Конструктивное выполнение устройств МТЗ	113
3.4. Особенности наладки комплектных защит	121
3.5. Проверка защит под нагрузкой	123
Раздел четвертый. Наладка дифференциальных защит генераторов, трансформаторов (автотрансформаторов), электродвигателей и шин	126
4.1. Принципы выполнения дифференциальных токовых защит, объем их проверок и необходимые приборы	126

4.2. Проверка и настройка дифференциальных реле с насыщенными трансформаторами тока серии РНТ . . .	132
4.3. Проверка и настройка дифференциальных реле с магнитным торможением серии ДЗТ-11	135
4.4. Проверка дифференциальной токовой защиты типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23)	139
4.5. Проверка дифференциальной защиты шин с торможением типа ДЗШТ	148
4.6. Комплексная проверка защит	157
4.7. Проверка защиты рабочим током и напряжением . . .	159
Раздел пятый. Наладка защит трансформаторов с газовыми и струйными реле	163
5.1. Конструкция газовых реле	163
5.2. Проверки и испытания газовых реле до установки их на защищаемом аппарате	166
5.3. Струйные реле	168
5.4. Монтаж реле и проверка смонтированной защиты . .	170
Раздел шестой. Наладка защит с использованием фильтров обратной последовательности	172
6.1. Основные технические данные фильтра-реле	172
6.2. Основные положения метода симметричных составляющих	173
6.3. Методы настройки фильтров обратной последовательности	175
6.4. Проверка фильтра-реле напряжения обратной последовательности	182
6.5. Проверка фильтра-реле тока обратной последовательности	183
6.6. Проверка реле направления мощности обратной последовательности	185
6.7. Комплексная проверка защит с фильтрами обратной последовательности	188
6.8. Проверка защит рабочим током и напряжением . . .	189
Раздел седьмой. Наладка защит от замыканий на землю и устройств сигнализации в сетях с малым током замыкания на землю	193
7.1. Принципы выполнения защит и устройств сигнализации при однофазных замыканиях на землю	193
7.2. Основные технические данные защит и устройств сигнализации	196
7.3. Проверка защит и устройств сигнализации	206
7.4. Комплексная проверка защит и устройств сигнализации	213
7.5. Проверка защит и устройств сигнализации рабочим током и напряжением	213
Раздел восьмой. Наладка дистанционных защит	215
8.1. Краткие технические сведения	215
8.2. Выполнение элементов защиты	217
8.3. Наладка устройств и комплектов защиты	232
8.4. Наладка дистанционных реле сопротивления	241
8.5. Комплексная проверка защиты	248

8.6. Проверка защиты рабочим током и напряжением . . .	249
8.7. Выполнение дистанционной защиты блока трансформатор—линия с использованием типовой панели ЭПЗ-1636 . . .	252
Раздел девятый. Наладка дифференциально-фазных высокочастотных защит линий	255
9.1. Основные технические данные защит серии ДФЗ . . .	255
9.2. Проверка и настройка пусковых органов	260
9.3. Проверка и настройка органа манипуляции	263
9.4. Проверка и настройка органа сравнения фаз	267
9.5. Проверка блокировки при неисправностях цепей напряжения защиты типа ДФЗ-503	268
9.6. Комплексная проверка защиты	268
9.7. Проверка защиты током нагрузки линии	271
9.8. Особенности проверки защит на линиях с ответвлениями и на прогяженных линиях 220—500 кВ	278
Раздел десятый. Наладка поперечных дифференциальных направленных защит от междуфазных КЗ и замыканий на землю	279
10.1. Схемы включения реле направления мощности поперечных дифференциальных защит	279
10.2. Особенности наладки и проверки поперечных дифференциальных направленных защит под нагрузкой	285
Раздел одиннадцатый. Наладка продольных дифференциальных защит линий	289
11.1. Основные технические данные защиты типа ДЗЛ-2 . . .	289
11.2. Проверка элементов схемы защиты	292
11.3. Проверка соединительных проводов и устройств контр-роля	294
11.4. Комплексная проверка	294
11.5. Проверка защиты рабочим током и напряжением	295
Раздел двенадцатый. Наладка специальных устройств релейной защиты мощных энергоблоков	296
12.1. Устройство защиты от замыканий на землю систем возбуждения генераторов типа КЗР-3	296
12.2. Блок-реле защиты типа ЗЗГ-1	303
12.3. Блок-реле типа КРС-2	312
12.4. Блок-реле типа РТФ-6М	319
12.5. Блок-реле типа РЗР-1М	332
Раздел тринадцатый. Наладка устройств релейной защиты и автоматики на переменном оперативном токе	340
13.1. Общие сведения	340
13.2. Аппаратура, применяемая в устройствах РЗА на переменном оперативном токе	340
13.3. Источники выпрямленного оперативного тока	344
13.4. Источники переменного оперативного тока	345

13.5. Схемы устройств релейной защиты и автоматики на перемениом оперативном токе	350
13.6 Особенности наладки устройств РЗА на переменном оперативном токе	353
Приложение 1. Обозначения элементов электрических схем, принятые в книге	368
Приложение 2. Спецификация на приставку П-77-1 к ВАФ-85	371
Приложение 3. Новые реле (устройства); их краткая характеристика	372
Список литературы	377
Предметный указатель	378

Справочное издание

Антюшин Анатолий Андреевич, Гомберг Александр Ефимович,
Караваев Вадим Петрович, Ключков Алексей Алексеевич,
Колесников Леонид Федорович, Мирумян Михаил Михайлович

СПРАВОЧНИК по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций

Редактор издательства Л. Л. Жданова
Художественный редактор В. А. Гозак-Хозак
Технический редактор О. Д. Кузнецова
Корректор И. А. Володяева
ИБ № 938

* Сдано в набор 05.07.88. Подписано в печать 14.03.89. Т-09223. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 20,16. Усл. кр.-отт. 20,16. Уч.-изд. л. 26,39. Тираж 55 000 экз. Заказ № 131. Цена 1 р. 60 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Госкомиздате СССР
600000. г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7