

# СПРАВОЧНИК ПО НАЛАДКЕ ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Под редакцией Э. С. Мусаэляна

2-е издание, переработанное и дополненное

## 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. Мирумьяном; разд. 11 - А. А. Клочковым; разд. 13 - А. А. Антюшиным.

## 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 налаживаемого 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 налаживаемом устройстве (панели, щите, пульте) проверяется соответствие выполнения внешнего монтажа принципиальным и монтажным схемам, покачиванием и подергиванием пинцетом за провод контролируется надежность паек, 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 паек, состояние контактных поверхностей. Воздействуя рукой на реле, проверяют ход, перемещение и отсутствие затираний 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 производятся 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 производятся 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 взаимодействия 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 коммутационную 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 непроверенные 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 перемычки 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

Комплектная 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.\*

---

\* 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.

Наиболее полно перечисленным требованиям отвечает комплектная 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 комплектное 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 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 и 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 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;

**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

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 временно замыкающих контактах. Измерение времени осуществляется с помощью встроенного электрического секундомера или внешнего миллисекундомера, для присоединения которого на задней панели предусмотрены специальные зажимы.

Устройство У5052 позволяет 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 аккумулятора батареи.

На регулировочном блоке К513 установлены электроизмерительные приборы: измеритель тока и напряжения с диапазоном измерения по току 0,01; 0,05; 0,25; 1,0; 5,0 А, по напряжению 7,5; 30; 75; 150; 300; 450 В, электрический секундомер типа ПВ-53Щ; на блоке К514 - измерительный трансформатор тока класса 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 мм<sup>2</sup> 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, предотвращающая доступ к выводам, находящимся под напряжением, и замыкающая цепь тока.

Все переключения в цепях защиты, подключение и отключение соединительных шлангов между блоками производятся только при отключенном главном выключателе S10 блока К513. Наличие напряжения на блоке при включении S10 контролируется по сигнальной лампе 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 К515 в этом режиме напряжения на выходе не контролирует, на выходе блока К513 ток отсутствует;

имитацию двухфазного КЗ со сбросом напряжения между поврежденными фазами до заданного значения при одновременной подаче на защиту предварительно отрегулированного, аварийного тока. В этом режиме имеется возможность регулирования напряжения между поврежденными фазами от 0 до 100 В при сохранении симметричности регулируемого напряжения по отношению к напряжению неповрежденной фазы и возможность плавного регулирования угла между аварийным током и напряжением;

имитацию трехфазного КЗ со сбросом напряжения трех фаз до нуля или другой расчетной величины. Допускаемая длительность имитации трехфазного КЗ со сбросом напряжения до нуля - не более 5 с. На блоке К514 установлены электроизмерительные приборы: измеритель напряжения с диапазоном измерения 1,5; 3; 7,5; 30; 75; 150 В и измеритель фазы с рабочими шкалами 0-90°, 0-360° и допустимыми погрешностями  $\pm 5^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$  соответственно. Предусмотрена возможность измерения угла сдвига фаз между током, получаемым от блока К513, 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 К513 и К515 подается с блока К514 по соединительным шлангам, поэтому дополнительно напряжение на зажимы “Сеть” блока К513 подавать не следует. При работе все три блока (К513, К514, К515) 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  $10$  °С отличия от оптимальной температуры  $+20$  °С.

Питание прибора - от сети переменного тока 50 Гц напряжением 110, 127 или 220 В (имеется модификация прибора с напряжением питания только 220 В), допустимое 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 К<sub>1</sub> имеет три положения: Установка предела - головка измерительного прибора включена в цепь зарядного тока, регулировка тока осуществляется потенциометром П<sub>1</sub>; Установка нуля - головка измерительного прибора подключена к схеме лампового вольтметра, основной зарядный конденсатор закорочен, потенциометром П<sub>2</sub> осуществляется установка нуля вольтметра; Измерение - головка измерительного прибора подключена к схеме лампового вольтметра, снята закоротка с конденсатора, прибор готов к измерению. Переключатель К<sub>2</sub>. Пределы выбирает предел измерения. Ключ К<sub>3</sub> - 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 К<sub>4</sub> - Контроль в положении Вкл - подключает параллельно емкости резистор, обеспечивая тем самым на первом пределе “× 1” проверку вольтметра, так как при номинальном токе заряда в этом случае стрелка прибора должна отклониться на всю шкалу. Ключ К<sub>5</sub> включает питание прибора.

Потенциометром  $\Pi_3$  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  $K_3$ .

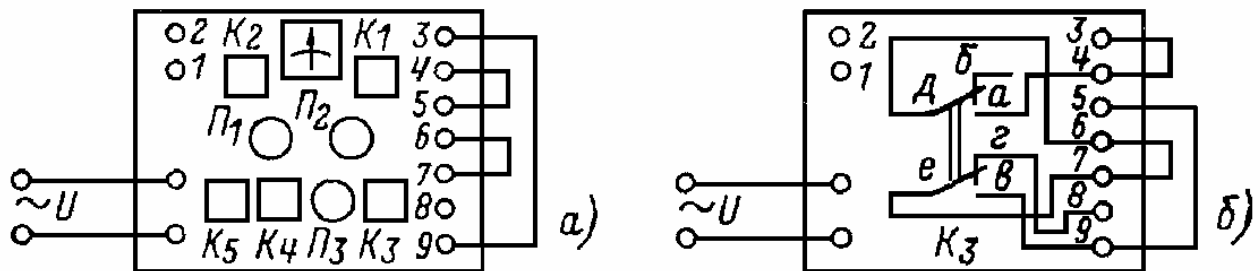


Рис. 1.1. Схема измерения разницы во времени замыкания контактов а-д и в-е ключа  $K_3$  а - когда в-е замыкается ранее а-д; б - когда а-д замыкается ранее в-е

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 “ $\times 1$ ”;
- 4) ключом  $K_5$  подается питание;
- 5) после предварительного прогрева прибора потенциометром  $\Pi_1$  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  $\Pi_2$  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  $\Pi_3$ . Если стрелка не дошла до последнего деления, то потенциометром  $\Pi_3$  показания прибора несколько уменьшают, если стрелка вышла за шкалу, то потенциометром  $\Pi_3$  показания прибора увеличивают;

б) переключатель  $K_1$  переводят в положение Установка нуля, потенциометром  $\Pi_2$  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 а-д и в-е замыкающих контактов пускового ключа  $K_3$  (зажимы 4-6, 7-9) по схеме рис. 1.1 и проверку неодновременности замыкания контакта а-д (зажимы 4-6) и размыкания контакта г-е (зажимы 7-8 по схеме рис. 1.2).

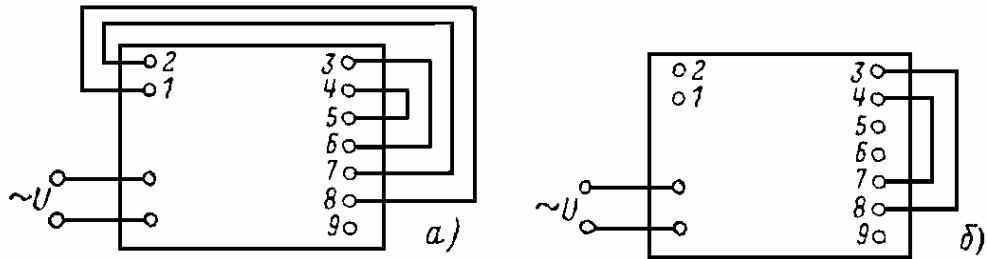


Рис. 1.2. Схема измерения разницы во времени между замыканием контактов а-д и размыканием контактов г-е ключа КЗ: а - когда г-е размыкается ранее замыкания а-д; б - когда а-д замыкается ранее размыкания г-е

Типовые схемы измерения времени срабатывания и возврата реле с замыкающими (з.) и размыкающими (р.) контактами и порядок операции 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.

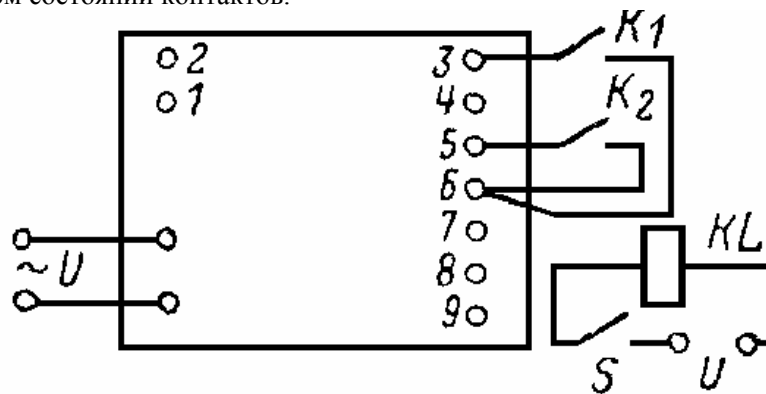


Рис. 1.3. Схема измерения разницы во времени замыкания контактов  $K_1$  и  $K_2$ , когда  $K_1$  размыкается ранее  $K_2$



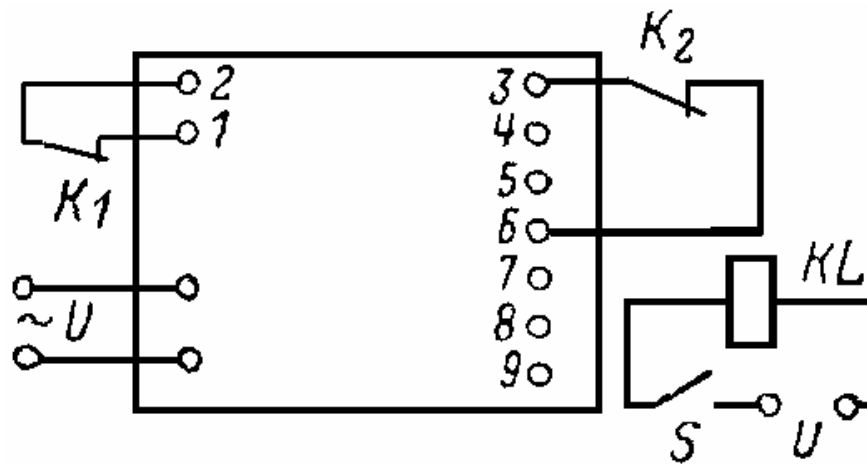


Рис. 1.4. Схема измерения разницы во времени размыкания контактов K1 и K2, когда K1 размыкается ранее K2

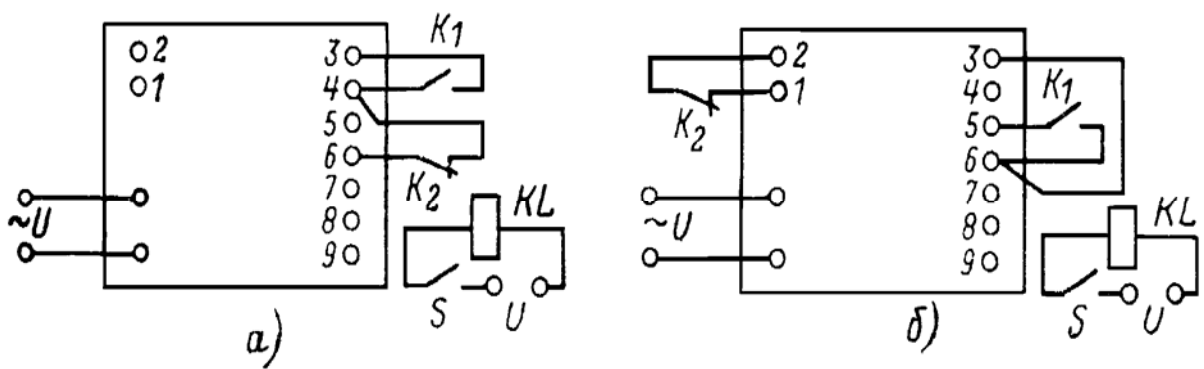


Рис. 1.5. Схема измерения разницы во времени между замыканием контактов K1 и размыканием K2:

а - когда K1 замыкается ранее размыкания K2;  
 б - когда K2 размыкается ранее замыкания K1

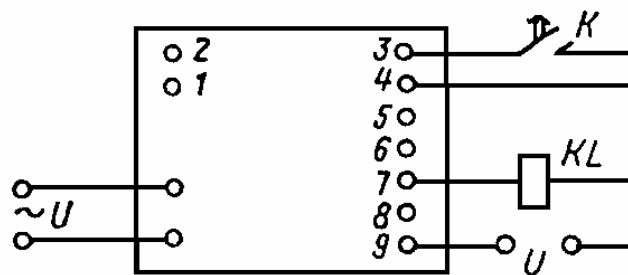


Рис. 1.6. Схема измерения времени замкнутого состояния проскальзывающего (замыкающего) контакта при срабатывании реле

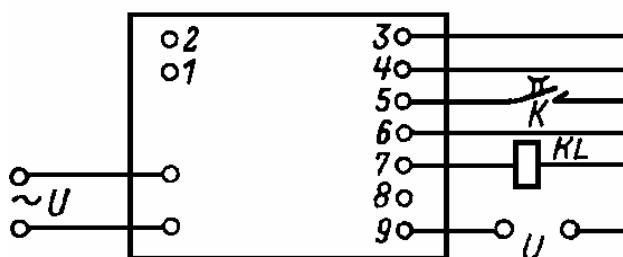


Рис. 1.7. Схема измерения времени разомкнутого состояния проскальзывающего (размыкающего) контакта при срабатывании реле

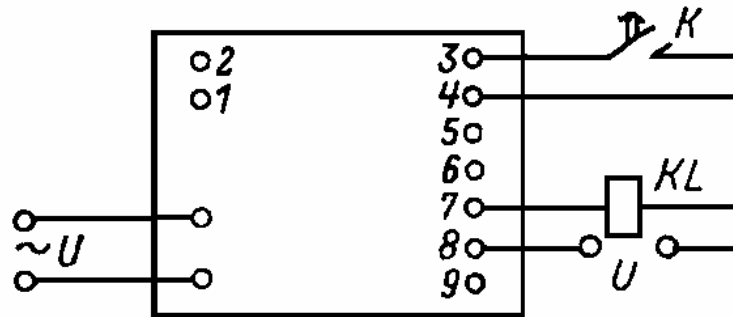


Рис. 1.8. Схема измерения времени замкнутого состояния проскальзывающего (закрывающего) контакта при возврате реле

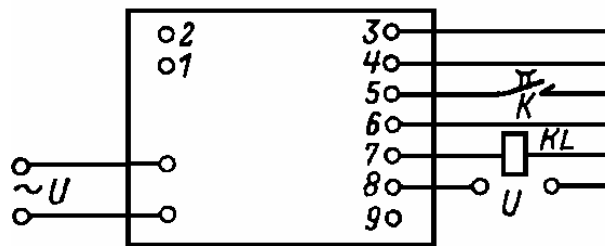


Рис. 1.9. Схема измерения времени разомкнутого состояния проскальзывающего (размыкающего) контакта при возврате реле

Измеритель временных параметров реле типа Ф738 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 диапазонах:  $(10 \div 99) \cdot 10^{-4}$  с,  $(10 \div 99) \cdot 10^{-3}$  с,  $(10 \div 99) \cdot 10^{-2}$  с,  $(10 \div 99) \cdot 10^{-1}$  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.

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  $10^\circ\text{C}$  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 двужначную 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 цифropечатающему 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 - запускающего 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 цифropечатающего 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.

**Таблица 1.4. Характер нагрузки, допустимые напряжения и токи при подключении реле**

Переключатель	Род тока	Характер сопротивления обмотки	Напряжение, В, не более	Ток, А, не более
Тумблер ПУСК	Постоянный	Активный	220	5
		Индуктивный	220	2
	Переменный	Активный	250	1,6
		Индуктивный	250	2
Выключатель ПУСК ДУ	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 ме-

нее 15 мин;

- б) 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, добиваясь 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  $90^\circ$ , 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 рассечку

испытательного зажима или испытательного блока токовых цепей включить гибкую перемычку и пропустить ее через окно токоизмерительных клещей несколько раз. В этом случае действительное значение тока в измеряемой цепи можно определить, разделив показание прибора на число проводников в окне токоизмерительных клещей (рис. 1.10).

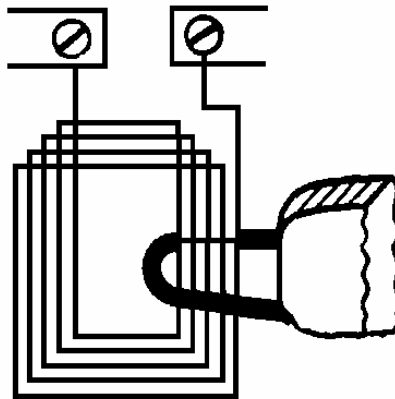


Рис. 1.10. Измерение прибором ВАФ-85 малых токов

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 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 рисккой.

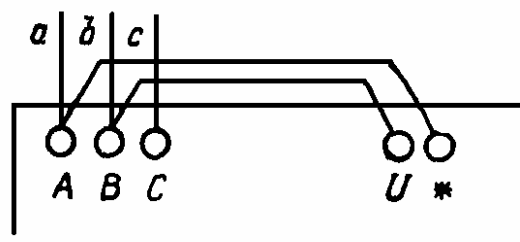


Рис. 1.11. Проверка установки нуля по напряжению

При снятии векторных диаграмм в цепях тока необходимо произвести контроль и корректировку нуля по току. Эту проверку проводят каждый раз, если пересоединялись цепи напряжения прибора при переходе от одной панели защит к другой или отсоединялись токоизмерительные клещи.

Токоизмерительные клещи подсоединяют к выводам прибора \* и I штатным калиброванным соединительным шлангом с соблюдением полярности. Однополярные выводы на приборе, соединительном шланге и токоизмерительных клещах обозначены звездочкой.

Проверку можно произвести двумя способами.

1. Прибор ВАФ-85 в цепи трехфазного питания имеет чисто емкостную нагрузку, поэтому ток в фазах опережает напряжение на угол  $90^\circ$  (рис. 1.12, а). Вектор тока фазы с относительно базисного напряжения  $U_{ab}$  развернут на  $180^\circ$ , т. е. находится в противофазе с  $U_{ab}$ , следовательно, вектор тока  $-I_c$  совпадает с направлением вектора напряжения  $U_{ab}$ . На этом и основана проверка установки нуля по току. При данном трехфазном питании и подключенных токоизмерительных клещах измеряется фаза тока  $-I_c$ , для этого клещи полярной стороной, отмеченной знаком \*, располагают в сторону прибора (рис. 1.2, б) к нагрузке. Вращением фазорегулятора стрелка прибора устанавливается на нуль, и затем производится корректировка положения риски отсчета по нулю лимба.

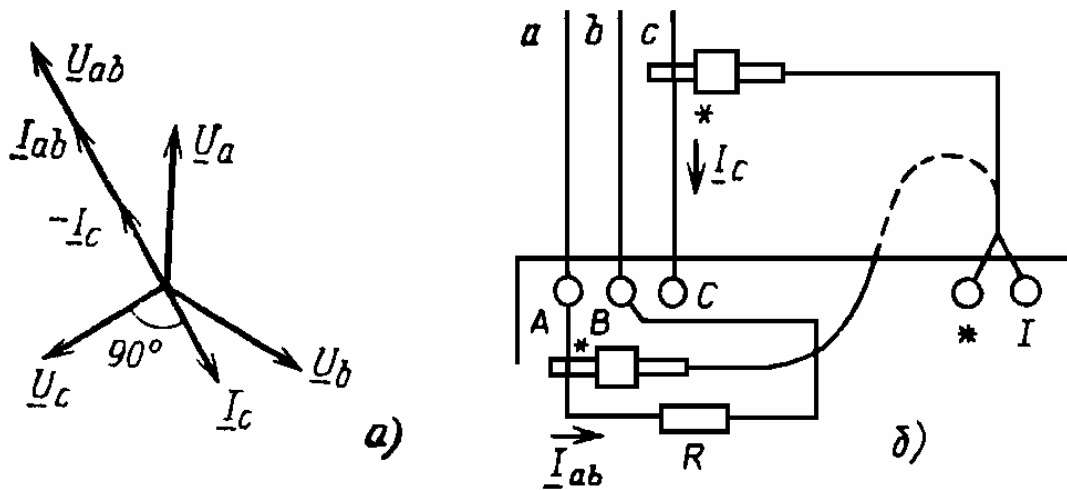


Рис. 1.12. Проверка установки нуля по току:

а - диаграмма токов в фазе С питающей трехфазной системы напряжений ВАФ-85 и в резисторе R, включенном на  $U_{ab}$ ; б - схема измерения токоизмерительными клещами

2. При включении на базисное напряжение  $U_{ab}$  резистора с активным сопротивлением фаза тока в цепи резистора совпадает с фазой напряжения. Поэтому на выводы АВ включается резистор сопротивлением 250-500 Ом (см. рис. 1.12, б) соответствующей мощности и измеряется фаза проходящего через резистор тока. Токоизмерительные клещи располагают полярной стороной к выводу А, иногда риски отсчета, откалиброванные по току и напряжению, могут не совпадать. После проверки и корректировки нуля прибора можно производить снятие векторных диаграмм в цепях напряжения или тока.

При проверках полярный конец измеряемого вектора напряжения всегда подключается к выводу \*. Токоизмерительные клещи, охватывающие 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 мА - U, I ставится в положение мА 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.

Электроработной лабораторией Наладочно-монтажного управления треста "Электромонтаж" (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 А1, сигнал с токоизмерительных клещей через разделительный конденсатор С6 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 С8 поступает на зажимы \* и I ВАФ-85.

На входе 10 микросхемы включена фазосдвигающая RC-цепочка, состоящая из резисторов R9, R10 и конденсатора С7. Конденсатор С5 предотвращает самовозбуждение усилителя по высокой частоте.

Питание усилителя осуществляется параметрическим стабилизатором, переменное напряжение 100-220 В с зажимов А и В ВАФ-85 через конденсаторы С1 и С2 поступает на выпрямительный мост VD1-VD4, амплитуда выпрямленного напряжения ограничивается 33 В стабилитроном V1. Через резистор R2 напряжение подается на стабилитроны V2 и V3, с которых снимается стабилизированное напряжение  $\pm 12$  В для питания микросхемы, конденсаторы С3 и С4 сглаживают пульсации напряжений. Резистор R1 обеспечивает разряд конденсаторов С1 и С2 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.

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 mA - U, I - в положение U, I;
- 4) вставить приставку в гнезда 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.

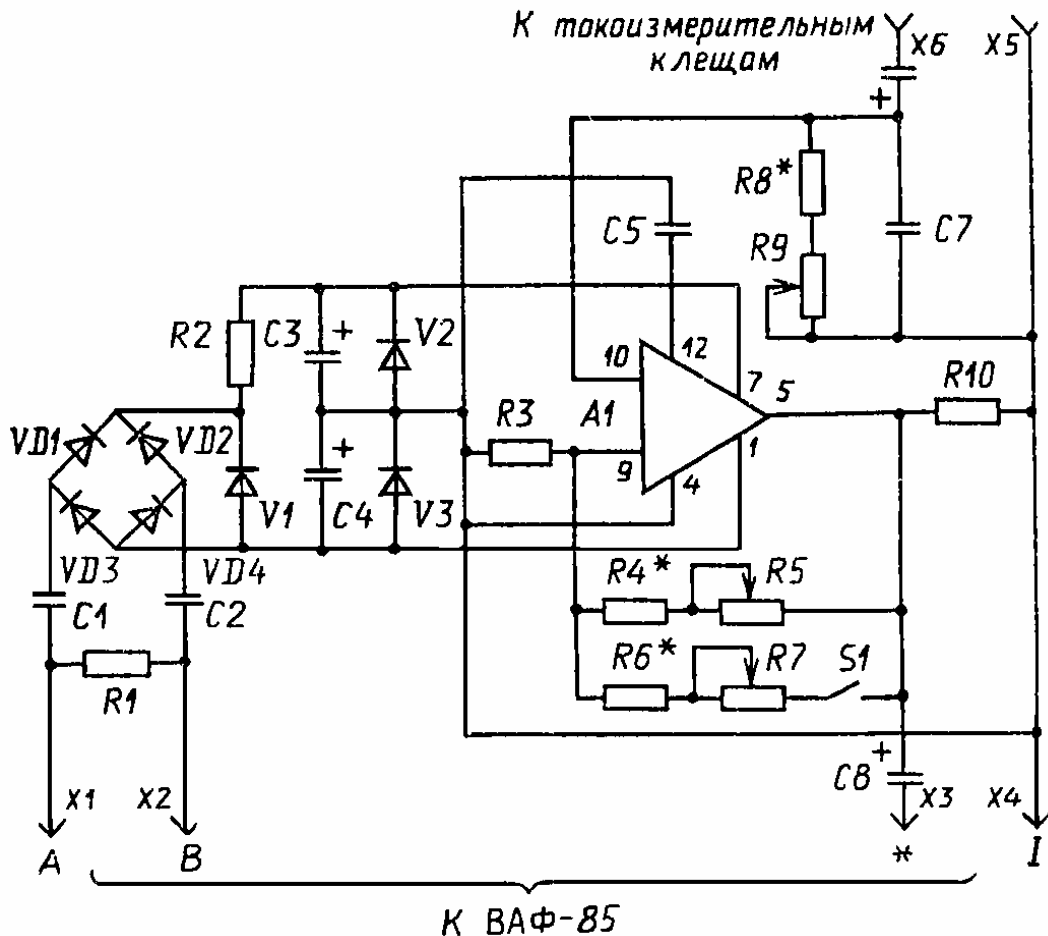


Рис. 1.13. Приставка к ВАФ-85 для измерения малых токов

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: магнит-



ных 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.

**Таблица 1.5. Технические данные устройства**

Напряжение пита- ния, 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.

**Таблица 1.6. Технические данные устройства**

Питание, В	Регулируемые выходные величины	
	$\sim U, В$	$= U, В$
$\sim 220$	0-220	0-250
$\sim 380$ (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 распределительных устройствах 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 электросекундомером и контрольно-измерительный прибор с полупроводниковой защитой от перегрузок.

**Таблица 1.7. Технические данные устройства**

Питание	Выходные величины			
	регулируемые		нерегулируемые	
	$\sim U, В$	$= U, В$	$= U, В$	$\sim U, В$
$\sim 220 В$ 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 шин питания $\pm EY$ ячейки или от постороннего источника постоянного тока)	-	-	220 (питание привода выключателя)	-

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

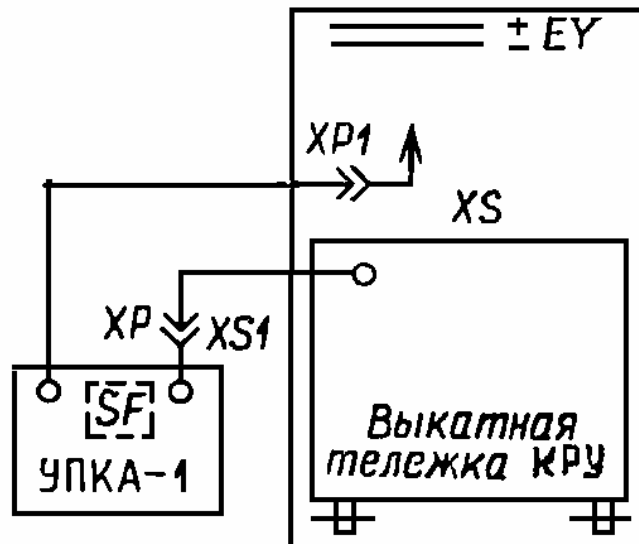


Рис. 1.14. Подключение УПКА-1 при опробовании ячеек КРУ

### 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, радъединяющимися 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 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).

**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- $\infty$	1-1000	2500+250
	$\times 0,1$	0-1000- $\infty$	0,1-100	2500+250
	$\times 0,01$	0-100- $\infty$	0,01-10	2500+250

Перед измерением проверяют исправность прибора. У мегаомметров типа М1101 при положении переключателя пределов "М $\Omega$ " и вращении рукоятки с номинальной частотой при разомкнутых выводах стрелка мегаомметра должна устанавливаться на отметке  $\infty$  шкалы М $\Omega$ . При положении переключателя пределов к $\Omega$  и разомкнутых выводах стрелка логометра при вращении рукоятки должна устанавливаться на отметке  $\infty$  нижней измерительной шкалы к $\Omega$ , при закорачивании выходных зажимов прибора в обоих случаях стрелка устанавливается на нуль соответствующей шкалы.

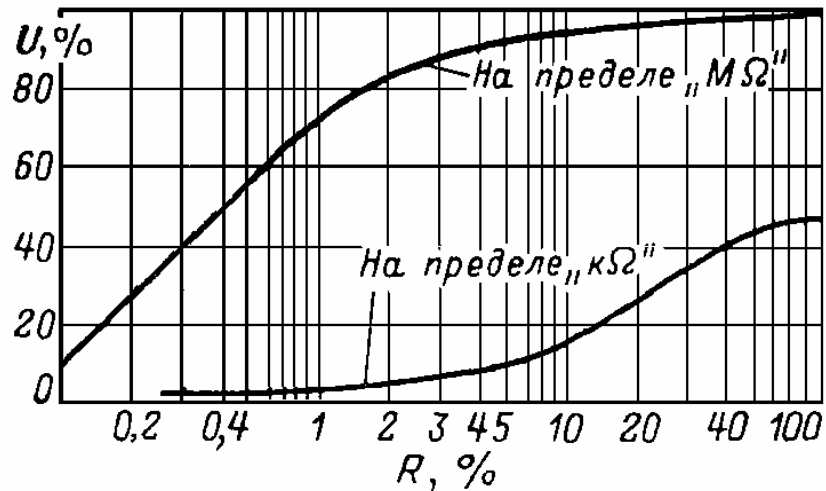


Рис. 1.15. Нагрузочные характеристики мегаомметра серии М1101

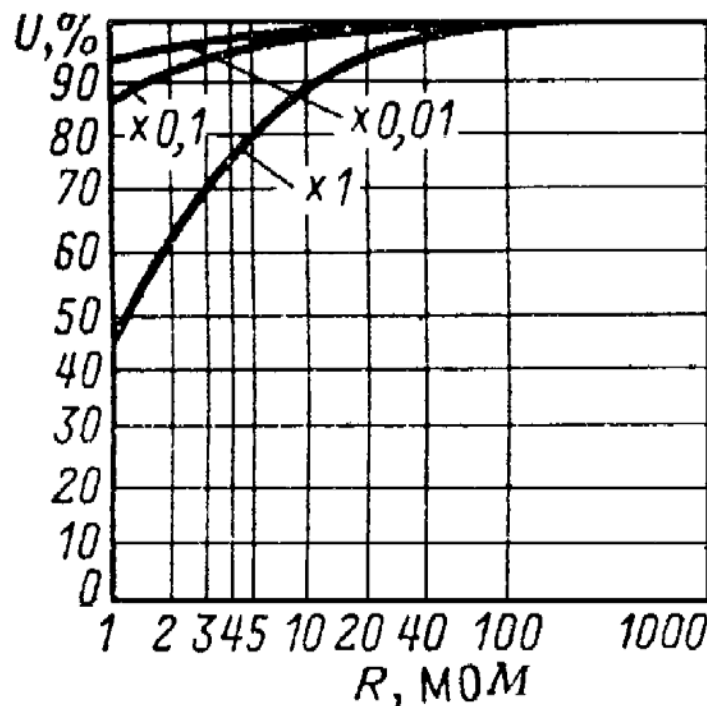


Рис. 1.16. Нагрузочная характеристика мегаомметра типа МС-05

У мегаомметров типа МС-05 при вращении рукоятки с номинальной частотой и разомкнутых выводах стрелка прибора должна устанавливаться на отметке  $\infty$ ; 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.

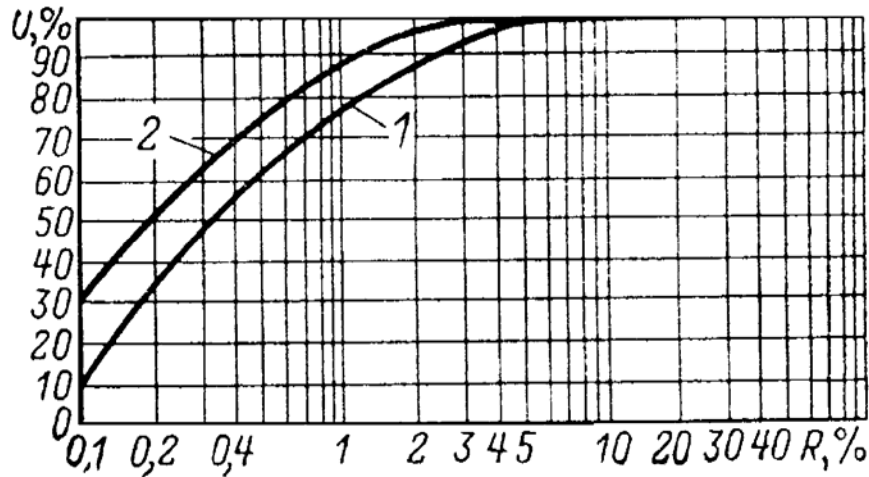



Рис. 1.17. Нагрузочные характеристики мегаомметров серии М4100:  
1 - М4100/1-М4100/4; 2 - М4100/5

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

\* Аналогичный вывод имеет обозначение 3 для других типов прибора.

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

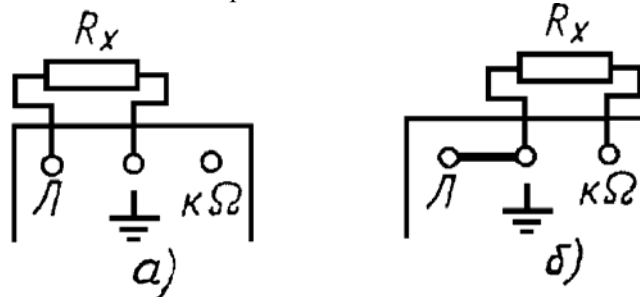


Рис. 1.18. Схема измерения сопротивления изоляции мегаомметрами типов М4100/1-М4100/4: а - на пределе МΩ; б - на пределе кΩ

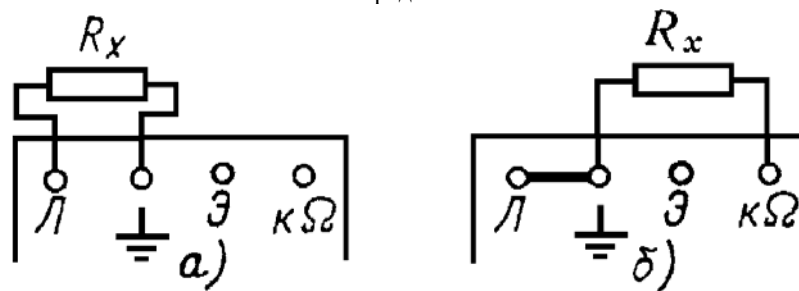


Рис. 1.19. Схема измерения сопротивления изоляции мегаомметром типа М4100/5: а - на пределе МΩ; б - на пределе кΩ

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.

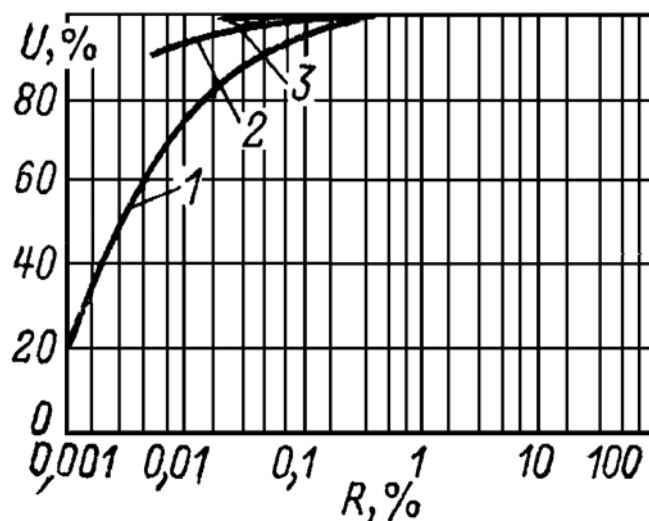



Рис. 1.20. Нагрузочные характеристики мегаомметров типа Ф4100: 1 - на пределе измерения I; 2 - на пределе измерения II; 3 - на пределе измерения III (× 10; × 100; × 1000)

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 отпущения 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.

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 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.

**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
Ф4102/2	0-2000	75-1000	-	1000 ± 50
	0-20 000	750-4000	-	1000 ± 50
	0-500	187,5-2500	-	2500 ± 125
	0-50 000	1875-10 000	-	2500 ± 125

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 шинок 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 З, к проверяемой цепи - провод от вывода Л или кΩ. При измерениях изоляции между разобращенными 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 разобращенных 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 под-

нимают 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 Т должен иметь мощность не менее 200-300 В·А, для регулирования напряжения используют потенциометры или регулировочные трансформаторы ТУВ, 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.

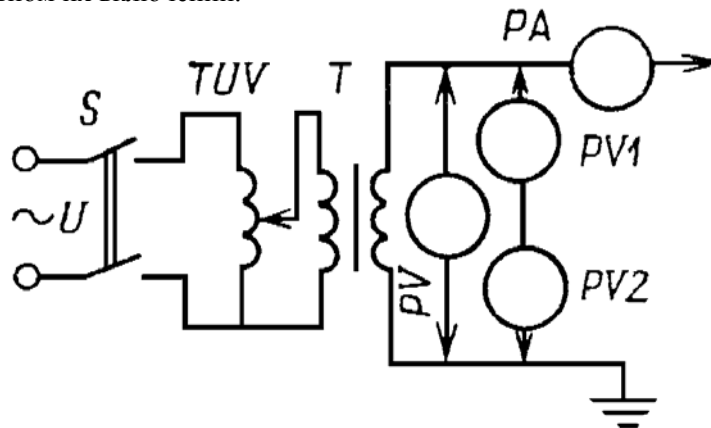


Рис. 1.21. Схема испытания изоляции повышенным напряжением

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 предварительных 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 ТА 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 А, В, С прибора ВАФ-85 подводят предварительно проверенное симметричное напряжение 100 В от вторичных обмоток TV, соединенных в звезду с чередованием фаз а, b, с. По направлению вращения ротора фазоизмерителя проверяют чередование фаз подведенного напряжения, при правильном чередовании а, b, с - вращение происходит по часовой стрелке. Индикацию фазы производят по лимбу, который имеет разметку в градусах: зона вправо от нуля (0-180°) емкостная (С); зона влево от нуля (0-180°) 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  $U_{a0}$ ,  $U_{b0}$ ,  $U_{c0}$ ,  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ ; относительно выводов А, В, С, N определяют заземленную фазу и затем измеряют напряжения каждой вершины разомкнутого треугольника В<sub>Н</sub> (К), F, U, N относительно выводов А, В, С, 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 напряжение реактивной мощности (тока) - вправо; I, IV - индуктивные квадранты; II, III - емкостные квадранты (рис. 1.22).

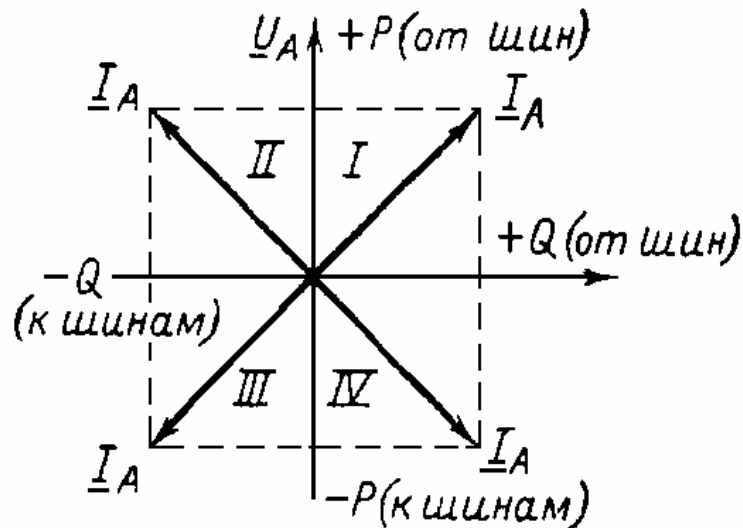


Рис. 1.22. Положение вектора тока фазы А в системе координат при разных направлениях активной и реактивной мощностей

При подготовке прибора ВАФ-85 к снятию векторных диаграмм в токовых цепях визуально проверяют, подключены ли токоизмерительные клещи к прибору с соблюдением полярности, а одним из приведенных выше методов проверяют установку нуля по току. При измерении векторных диаграмм вторичных токов существует постоянное правило - токоизмерительные клещи полярной стороной всегда располагают в сторону полярных выводов трансформаторов тока. При охватывании клещами изолированного проводника с током 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 направление 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 на 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.

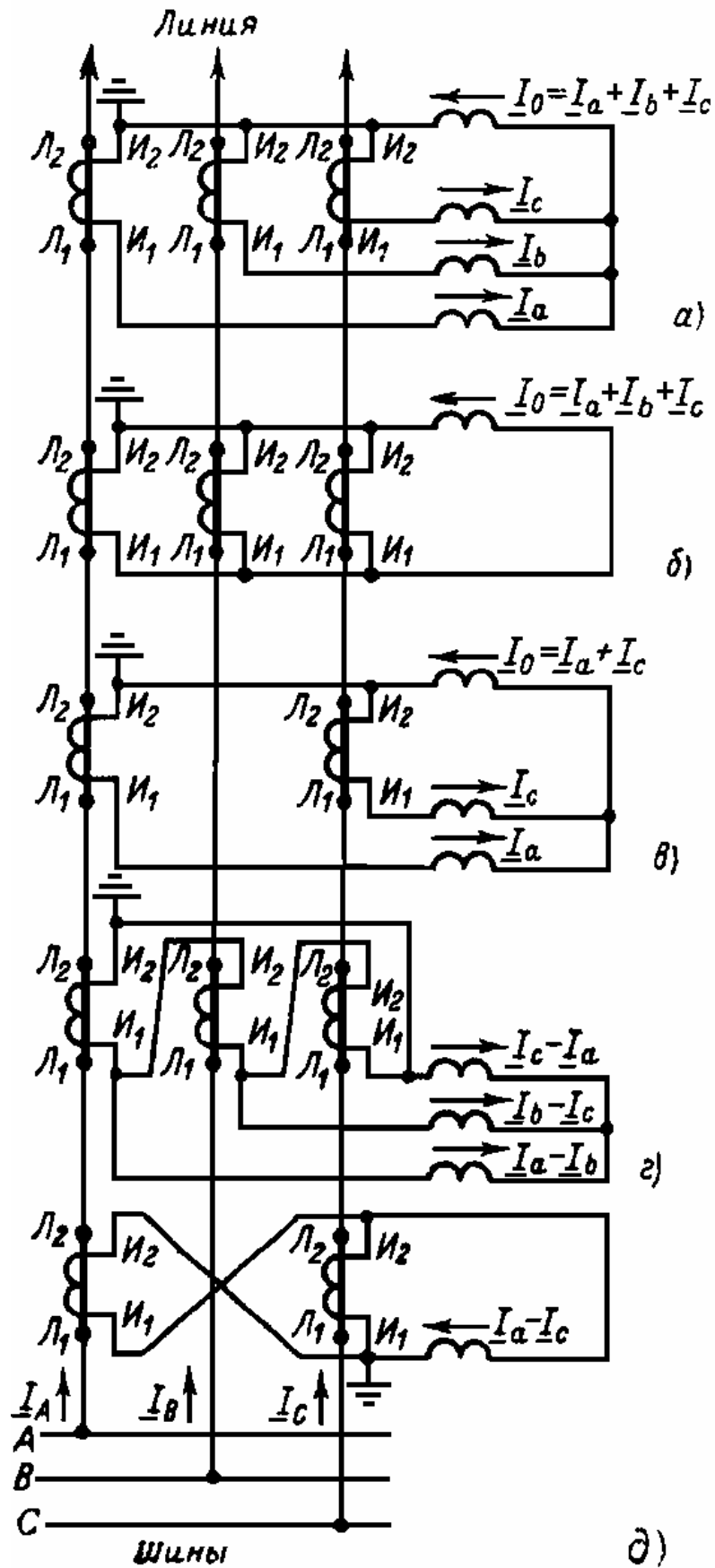


Рис. 1.23. Схемы соединения вторичных обмоток ТА

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 ( $L_1$  1ТА и  $L_1$  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 трансформации схемы в 2 раза меньше, чем  $n_{ТА}$  каждого ТА, а нагрузка на него вдвое больше. Это свойство ТА используют, когда необходимо получить малые или нестандартные коэффициенты трансформации.

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

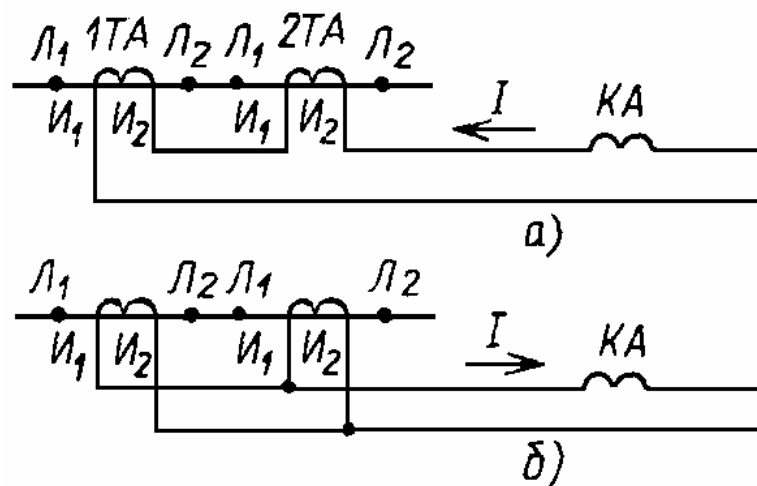


Рис. 1.24. Схемы включения вторичных обмоток двух ТА в одной цепи:  
а - последовательное; б - параллельное

Проверку токовых цепей можно выполнить однофазным или трехфазным током. Проверка однофазным током выполняется по одной из приведенных на рис. 1.25 схем. Нагрузочным устройством ТЛ 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 ТА, соединенных в треугольник, производят дважды, например, если при подаче тока в фазы А-В и В-С, 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 короткую 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  $I_{исп}$ , А, можно рассчитать по упрощенной формуле, не учитывающей падение напряжения в источнике питания:

$$I_{исп} = I_{ном} \frac{U_{исп} \cdot 100}{U_{ном} u_k},$$

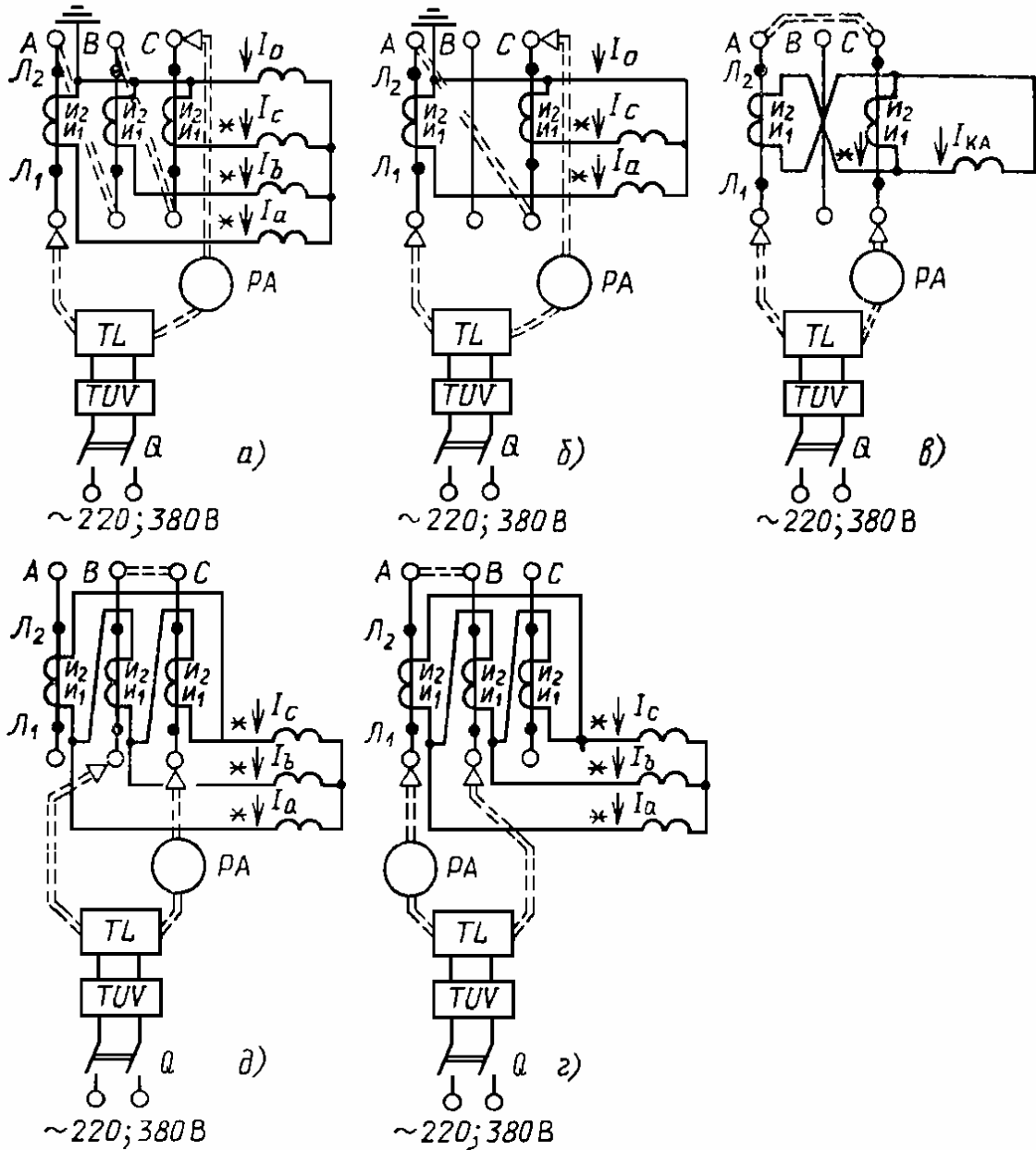
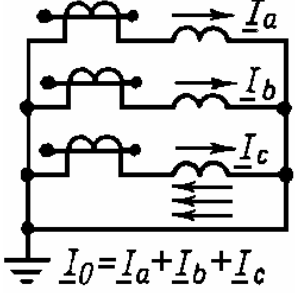
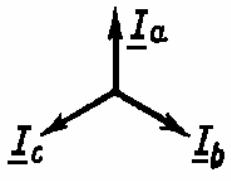
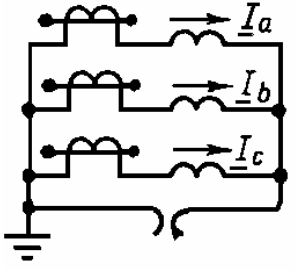
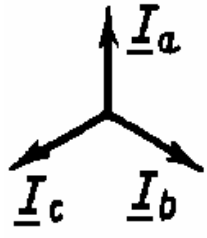
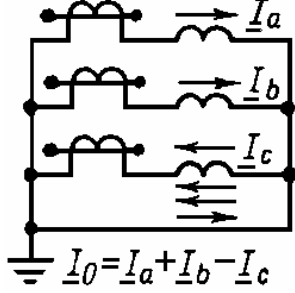
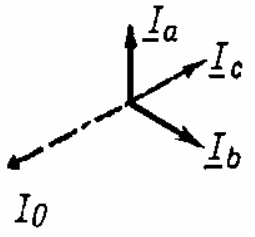
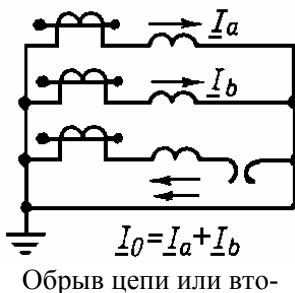
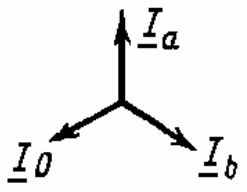


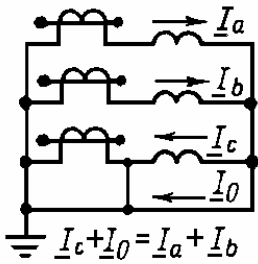
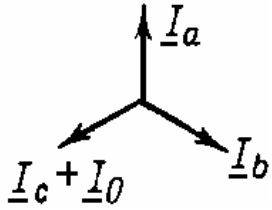
Рис. 1.25. Схемы проверки токовых цепей первичным однофазным током:

а - по схеме звезды; б - по схеме неполной звезды; в - по схеме на разность токов; г - по схеме треугольника, ток подан на фазы АВ; д - по схеме треугольника, ток подан на фазы ВС; Q - рубильник; TUV - регулировочный трансформатор; TL - нагрузочный трансформатор; PA - прибор для измерения первичного тока прогрузки; стрелками указаны места измерения вторичных токов ВАФ-85;

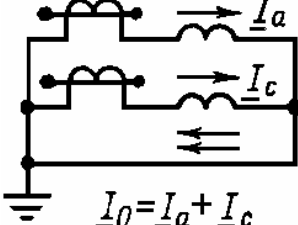
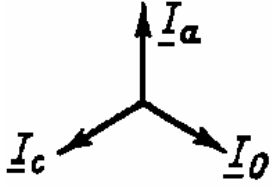
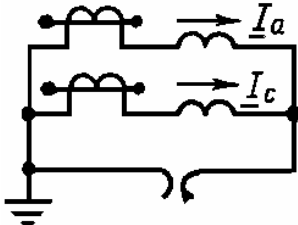
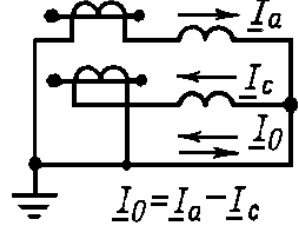
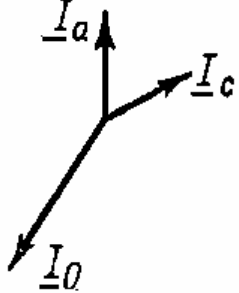
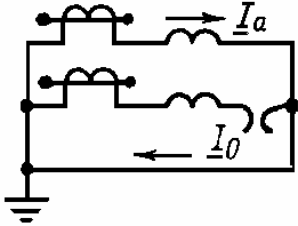

\* - полярная сторона токоизмерительных клещей; = = = - соединения первичной испытательной схемы

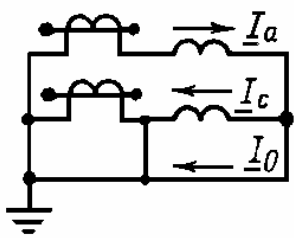
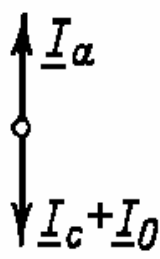
**Таблица 1.13. Возможные неисправности в трехфазных схемах токовых цепей, соединенных в звезду**

Выполнение схемы токовых цепей	Вторичные токи при проверке первичным током по однофазной схеме рис. 1.25, а	Проверка трехфазным током от постороннего источника или током нагрузки	
		Вторичные токи	Векторная диаграмма токов для режима активной нагрузки
 <p><math>\underline{I}_0 = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c</math> Схема выполнена правильно</p>	$\begin{aligned} I_a = I_b = I_c &= \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_0 &= 3 \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$	$\begin{aligned} I_a = I_b = I_c &= \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_0 &= I_{нб} \end{aligned}$	
 <p>Обрыв нулевого провода</p>	$\begin{aligned} I_a \approx I_b \approx I_c &\approx 0 \\ \text{или} &\ll \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_0 &= 0 \end{aligned}$	$\begin{aligned} I_a = I_b = I_c &= \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_0 &= 0 \end{aligned}$	
 <p><math>\underline{I}_0 = \underline{I}_a + \underline{I}_b - \underline{I}_c</math> Вторичная обмотка ТА в фазе С включена с обратной полярностью</p>	$\begin{aligned} I_a = I_b = I_c &= \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_0 &= \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$	$\begin{aligned} I_a = I_b = I_c &= \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_0 &= 2 \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$	
 <p><math>\underline{I}_0 = \underline{I}_a + \underline{I}_b</math> Обрыв цепи или вторичной обмотки ТА фазы С</p>	$\begin{aligned} I_a = I_b &= \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_c &= 0 \\ I_0 &= 2 \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$	$\begin{aligned} I_a = I_b &= \frac{I_1}{n_{TA}} \\ I_c &= 0 \\ I_0 &= \frac{I_1}{n_{TA}} \end{aligned}$	

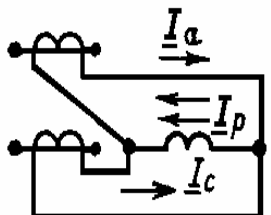
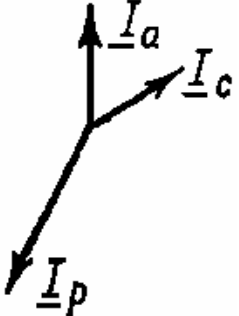
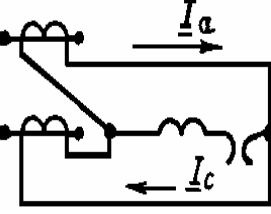
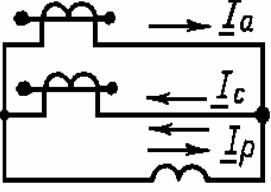
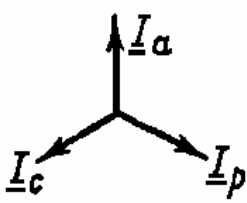
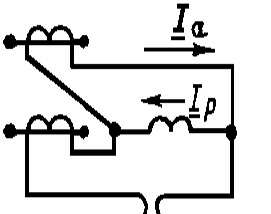

 <p>Закорочен ТА фазы С</p>	$I_a = I_b = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c + I_0 = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_b = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c + I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$	
--	---	---	---

**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 токов для режима активной нагрузки
 <p>Схема выполнена правильно</p>	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$	
 <p>Обрыв нулевого провода</p>	$I_a = I_c \approx 0$ <p>или <math>\ll \frac{I_1}{n_{TA}}</math></p> $I_0 = 0$	$I_a = I_c$ $I_0 = 0$ <p>Токи малы, зависят от параметров ТА</p>	<p>Векторная диаграмма неопределенная</p>
 <p>Вторичная обмотка ТА в фазе С включена с обратной полярностью</p>	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = I_{нб}$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_0 = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TA}}$	
 <p>Обрыв цепи или вторичной</p>	$I_a = I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	$I_a = I_0 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	

<p>обмотки ТА фазы С</p>  <p>Закорочен ТА фазы С</p>	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c + I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c + I_0 = \frac{I_1}{n_{TA}}$	
---	---	---	---

**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
 <p>Схема выполнена правильно</p>	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_p = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_p = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TA}}$	
 <p>Обрыв цепи реле</p>	$I_a = I_c = I_{нб}$ $I_p = 0$	$I_a = I_c$ $I_p = 0$ <p>Токи малы, зависят от параметров ТА</p>	<p>Векторная диаграмма неопределенная</p>
 <p>Схема выполнена неправильно, ТА фазы С включен с обратной полярностью</p>	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_p = I_{нб}$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_p = \frac{I_1}{n_{TA}}$	
	$I_a = I_p = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	$I_a = I_p = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c = 0$	



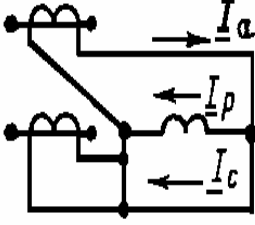

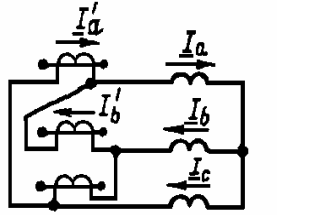
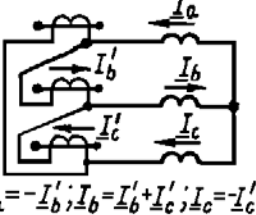
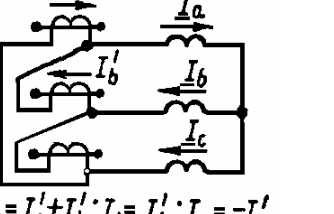
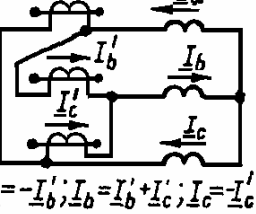
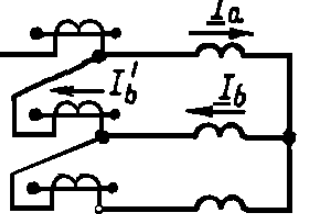
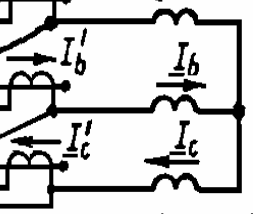
Обрыв цепи или вторичной обмотки ТА фазы С			
 <p>Закорочен ТА фазы С</p>	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_p + I_c$ $I_p + I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_p + I_c$ $I_p + I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	

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

Проверка первичным током по схеме рис. 1.25, 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
 $\underline{I}_a = \underline{I}'_a + \underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b; \underline{I}_c = -\underline{I}'_a$	$I_a = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	 $\underline{I}_a = -\underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b + \underline{I}'_c; \underline{I}_c = -\underline{I}'_c$	$I_b = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$
Схема выполнена правильно			
 $\underline{I}_a = \underline{I}'_a + \underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b; \underline{I}_c = -\underline{I}'_a$	$I_1 = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	 $\underline{I}_a = -\underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b + \underline{I}'_c; \underline{I}_c = -\underline{I}'_c$	$I_b \approx 0$ <p>или <math>\ll \frac{I_1}{n_{TA}}</math></p> $I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$
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			

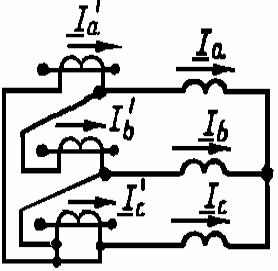
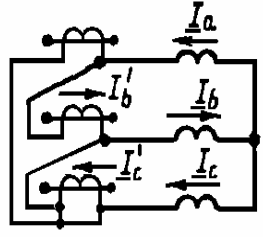
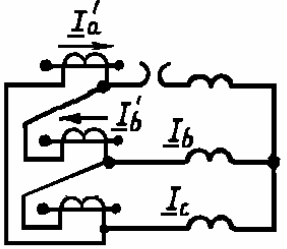
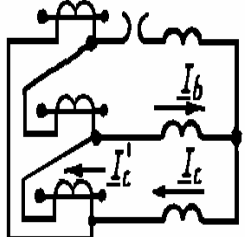
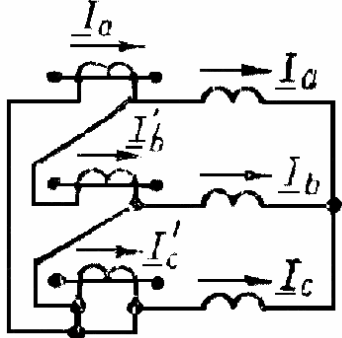
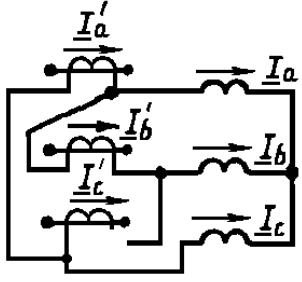
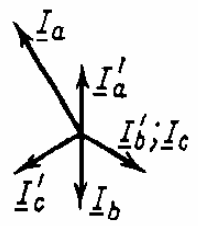
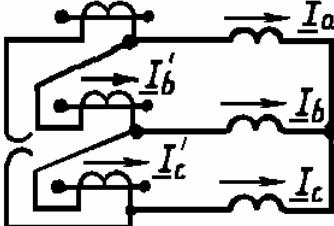
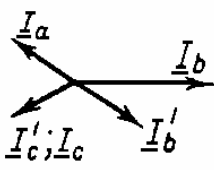
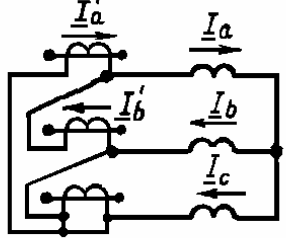
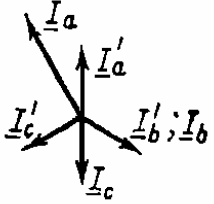
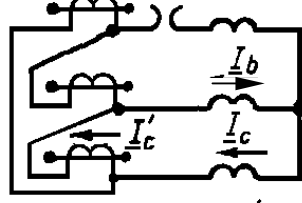
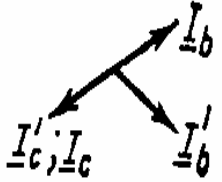
 <p><math>\underline{I}_a = \underline{I}'_a - \underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b; \underline{I}_c = -\underline{I}'_a</math></p>	$I_a = 2 \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	 <p><math>\underline{I}_a = -\underline{I}'_b; \underline{I}_b \approx \underline{I}'_b; \underline{I}_c \approx 0</math> или <math>\ll \frac{I_1}{n_{\Gamma T}}</math></p>	$I_a = \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b \approx \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_c \approx 0$ <p>или <math>\ll \frac{I_1}{n_{TA}}</math></p>
Закорочен ТА фазы С			
 <p><math>\underline{I}_a = 0; \underline{I}_b = \underline{I}_c = \underline{I}'_b = \underline{I}'_c \approx 0</math></p>	$I_a = 0$ $I_b = I_c \approx 0$	 <p><math>\underline{I}_a = 0; \underline{I}_b = \underline{I}_c = \underline{I}'_b = \underline{I}'_c</math></p>	$I_a = 0$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$
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
 <p><math>\underline{I}_a = \underline{I}'_a - \underline{I}'_b; \underline{I}_b = \underline{I}'_b; \underline{I}_c = -\underline{I}'_a</math></p>	$I_a = I_b = I_c = \sqrt{3} \times \frac{I_1}{n_{TA}}$	
Схема выполнена правильно		

 $\underline{I}_a = \underline{I}'_a - \underline{I}'_b; \quad \underline{I}_b = \underline{I}'_b + \underline{I}'_c;$ $\underline{I}_a = -(\underline{I}'_c + \underline{I}'_a)$	$I_a = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TA}}$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TA}}$	
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  $U_{исп}$  - испытательное напряжение, подводимое к трансформатору, В,  $I_{ном}$  и  $U_{ном}$  - номинальный ток, А, и напряжение, В, обмотки трансформатора, на которую подается испытательное напряжение;  $u_k$  - напряжение короткого замыкания прогружаемого трансформатора, %.

Полученное расчетное значение  $I_{исп}$  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 корототку.

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.

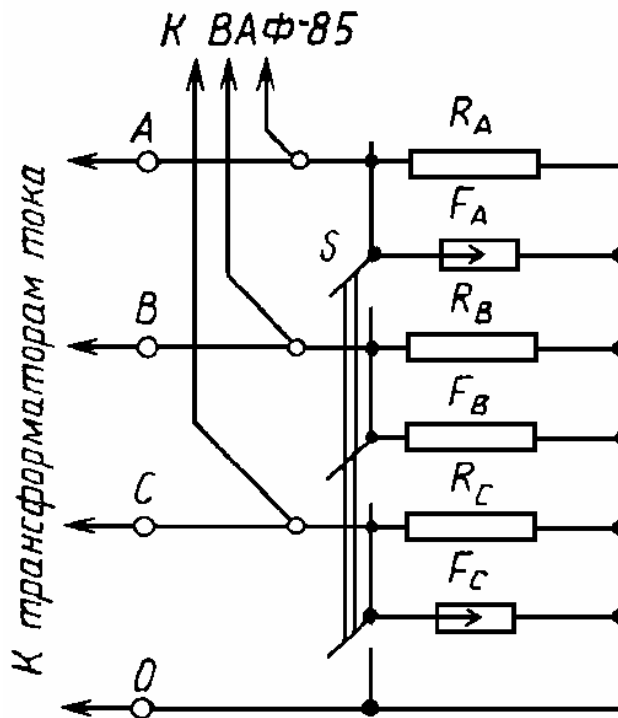


Рис. 1.26. Принципиальная схема включения (а) и схема приспособления (б) для подключения прибора ВАФ-85 во вторичные цепи трансформаторов тока

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 ТА вполне допустимо, так как не может привести к опасному для вторичных обмоток ТА 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 шунтирует 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 берется 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 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;

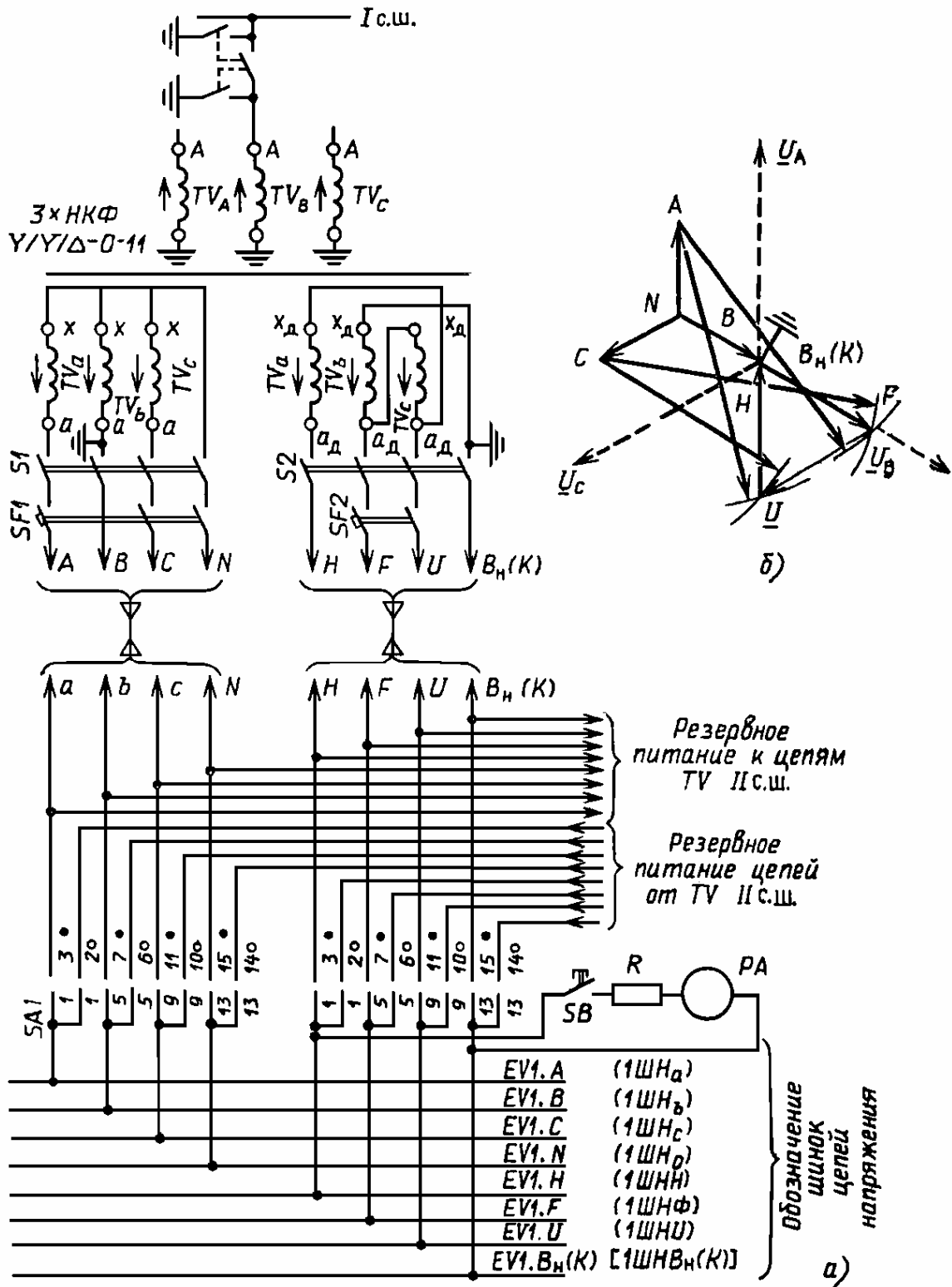


Рис. 1.27. Схема включения трансформаторов напряжения 3 × НКФ на шинах 110 кВ и выше, организация вторичных цепей TV:

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

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

Тип TV	Место установки TV	Расчетный номинальный ток расцепителя $I_{расч}, А$	Принятый $I_{ном}, А$
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:

- потеря напряжения в проводах не должна превышать директивных норм;
- должно обеспечиваться надежное действие защитных автоматических выключателей при КЗ в любой точке вторичных цепей TV;
- 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  $R_{пр}$  в цепи основных обмоток проводится по формуле, Ом,

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

где  $S_{нагр}$  - нагрузка наиболее загруженной фазы TV, В·А;  $U_{ном}$  - номинальное линейное напряжение вторичной цепи TV;  $\Delta U$  - 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, с учетом перспективы развития энергообъекта расчет сечения кабеля иногда проводят не по результатам, полученным по приведенной

формуле, а по максимально допустимым сопротивлениям в фазе.

**Таблица 1.19. Допустимые сопротивления соединительных проводов в цепях**

Тип TV	Максимальная нагрузка, В·А	Максимальное сопротивление провода в фазе, Ом	Место установки, TV
ЗНОМ	250	0,2	Сборные шины, полупотторная 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	
НДЕ-500	100	0,5	Малонагруженные TV в полупотторной схеме
НКФ-330	100	0,5	
НКФ-500	100	0,5	

Сечение жил кабеля  $q$ , мм<sup>2</sup>, определяется по формуле

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

где  $l$  - длина кабеля, м;  $\gamma$  - удельное сопротивление металла жил кабеля, м/(мм<sup>2</sup>·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  $\Delta U$  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).

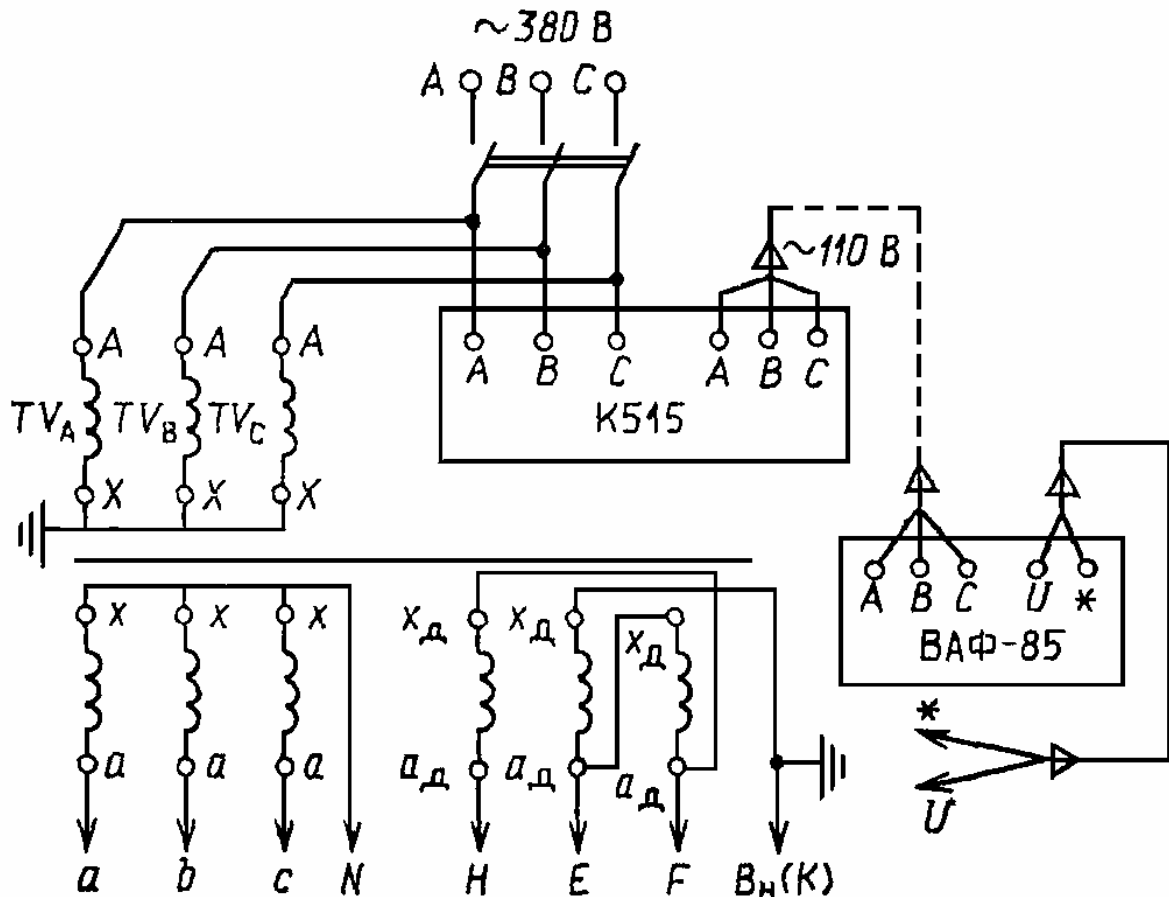


Рис. 1.28. Проверка выполнения цепей TV на пониженном напряжении 0,4 кВ

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 проведено 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  $U_{нб}$  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 электронно-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 3 и заземленным выводом TV, поэтому измерением указанных напряжений не всегда удается 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.

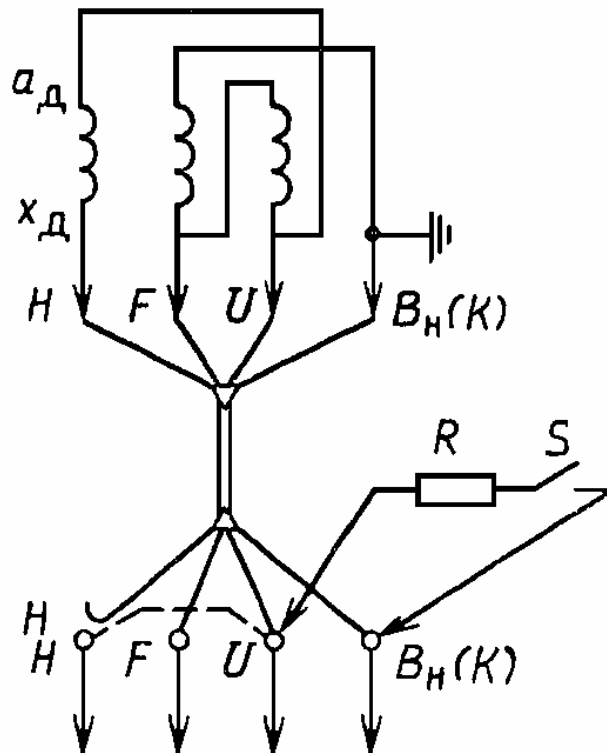


Рис. 1.29. Схема проверки выводов Н и  $B_H$  (К) цепей разомкнутого треугольника

Для этого на ряде зажимов панели, куда приходят кабели от TV, отсоединяют жилу кабеля с маркой Н 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 Н и  $B_H$  (К) подключают резистор  $R = 50 \div 100$  Ом мощностью не менее 100 Вт, чем в цепи проводов  $B_H$  (К) и U разомкнутого треугольника создается ток 1-2 А.

С помощью токоизмерительных клещей прибором ВАФ-85 измеряют токи в цепях  $B_H$  (К) и U на ряде зажимов панели и в цепях  $B_H$  (К) 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  $B_H$  (К) и U должен протекать ток 1-2 А, а в цепи Н 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.

## 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 целостности корпуса, стекол, проверяется крепление деталей, качество паек, 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 - замыкание 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 быстро насыщающиеся 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 отпущенных 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 контакта и мостиком подвижного контакта в крайних положениях якоря должен составлять 2-2,5 мм.

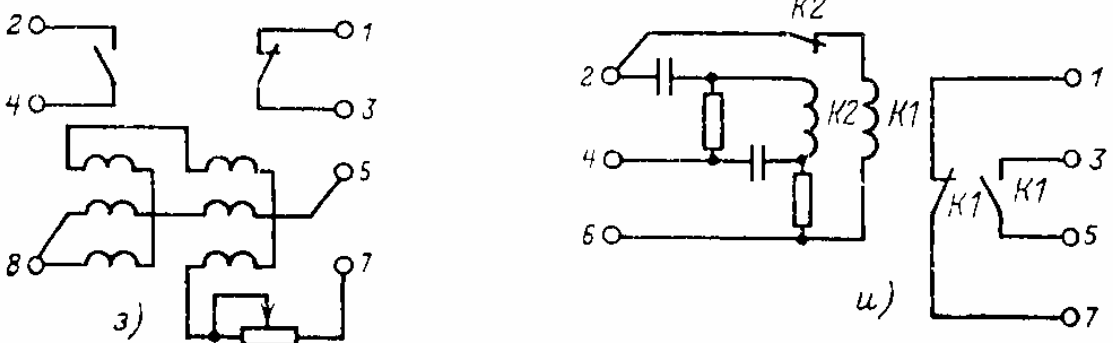
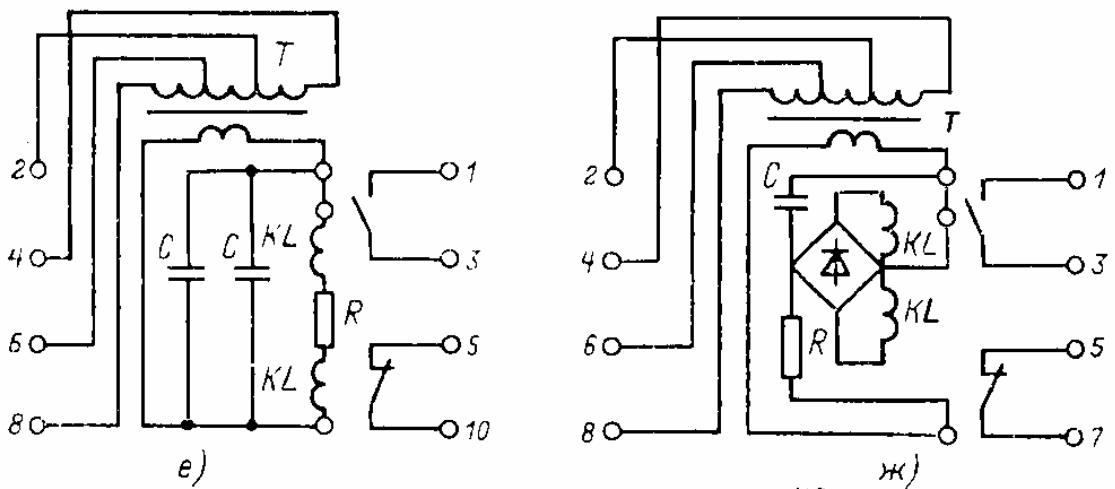
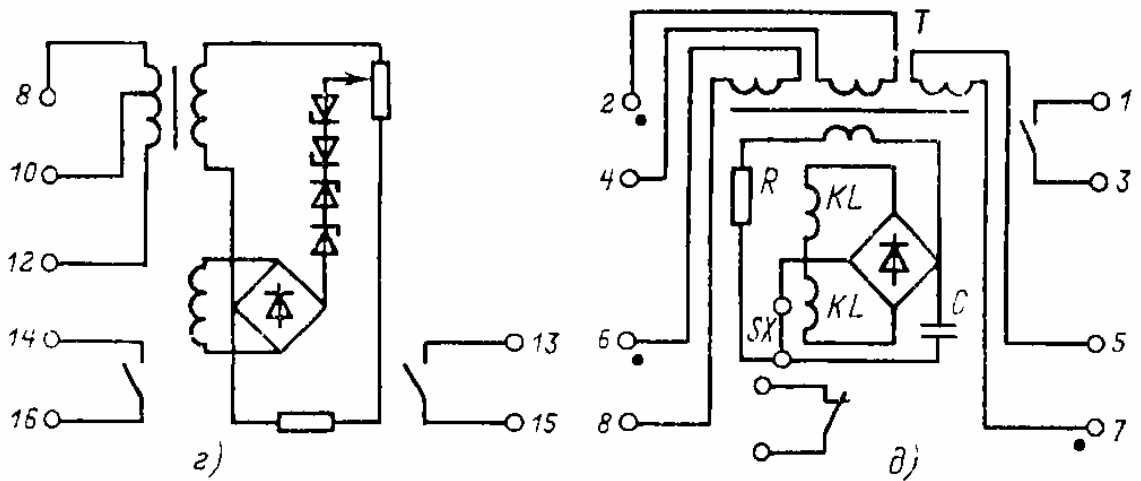
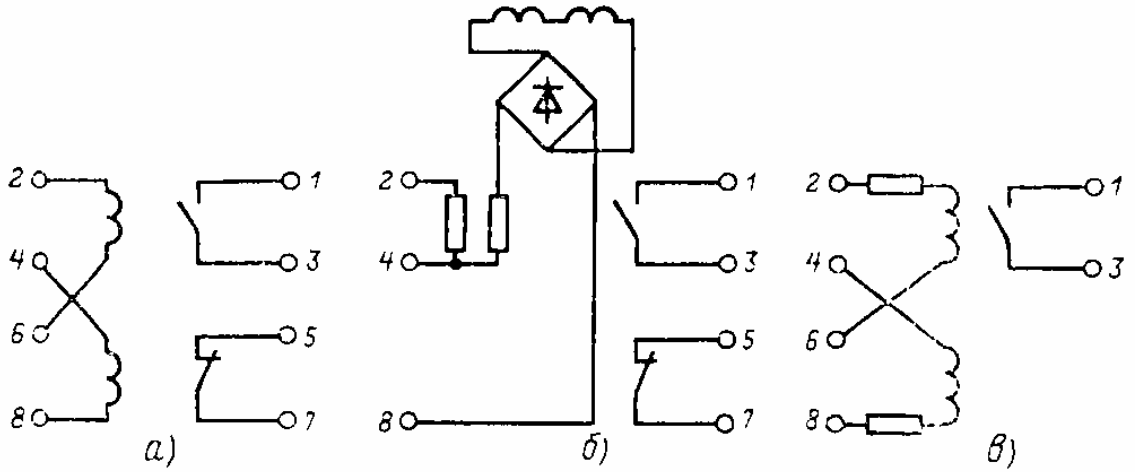


Рис. 2.1. Схемы электрических соединений электромагнитных реле и тока напряжения: а - реле тока РТ-40 и исполнительных органов реле РНТ и ДЗТ; б - реле напряжения РН-53, РН-54, РН 53/60Д; в - реле постоянного напряжения РН-51; г - реле напряжения РН-58; д - реле трехфазного тока РТ-40/Р; е - реле тока с фильтром РТ-40/Ф; ж - то же РТ-40/1Д; з - реле напряжения трехфазное РНБ-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, В·А	Количество катушек × 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-	Данные см. в табл. 2.2	1.1	Данные см. в табл. 2.2	1.1 $I_{НОМ}$	0,7	Данные см. в табл. 2.2		
РТ-40/Р-5	0,26		$I_{НОМ}$ 1.1		1.1 $I_{НОМ}$	0,7			
РТ-40/1Д	0,325-1,3		$I_{НОМ}$ 1.1		1.1 $I_{НОМ}$	0,7			
РТ-40/Ф	0,15-1		$I_{НОМ}$ 1.1		1.1 $I_{НОМ}$	0,8			
РТ-40/Ф	1,75-17,6		$I_{НОМ}$		1.1 $I_{НОМ}$	0,8			
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	6800/15900
РН-54/160	40-160	40-80	110	80-160	220	1,25	1	2 × 6500	6800/15900
РН-53/400	100-400	100-200	220	200-400	440	0,8	1	2 × 1400	24000/57000
РН-54/320	80-320	80-160	220	160-320	440	1,25	1	2 × 1400	24000/57000
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	2550/10200

\* 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			

Проверяют, чтобы упорные винты, ограничивающие поворот якоря, не препятствовали вхождению полюс 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.

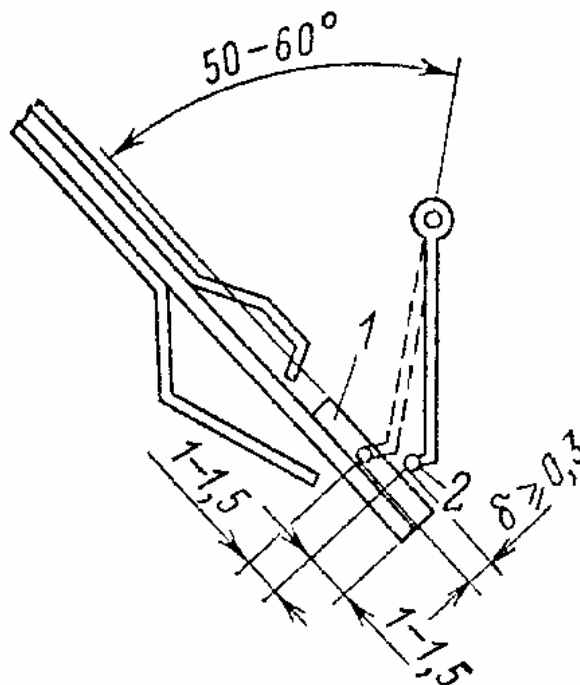


Рис. 2.2. Регулировка контактов реле серий РТ-40 и РН-50: 1 - неподвижный контакт; 2 - подвижный контакт

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

установок.

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 работы реле на крайних делениях шкалы. При увеличении 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, последовательно с которыми включены резисторы. Номинальные напряжения обмоток - 30, 60 или 100 В, однополярные выводы обмоток реле - 2 и 8 (рисунки не приводятся). Шкала реле градуирована в градусах (от 20 до 40). Реле рассчитаны на работу при номинальном напряжении, потребление - не более 6,5 В·А при  $\varphi = 0$ .

**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



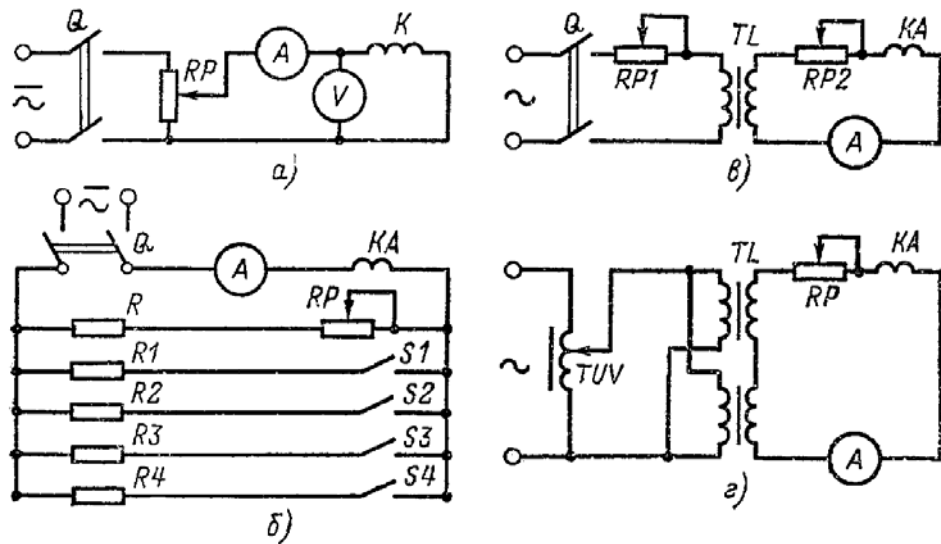


Рис. 2.3. Схемы проверки тока и напряжения срабатывания и возврата реле:  
 а - проверка реле напряжения и токовых реле (до 2-5 А); б - проверка реле тока до 100 А реостатом; в - проверка реле тока с нагрузочным трансформатором; г - то же, но с регулировкой тока автотрансформатором; Q - рубильник; R1- R4 - регулировочные реостаты; RP - потенциометр; R - добавочный резистор; TL – нагрузочный трансформатор; TUV - регулировочный трансформатор; K - проверяемое реле

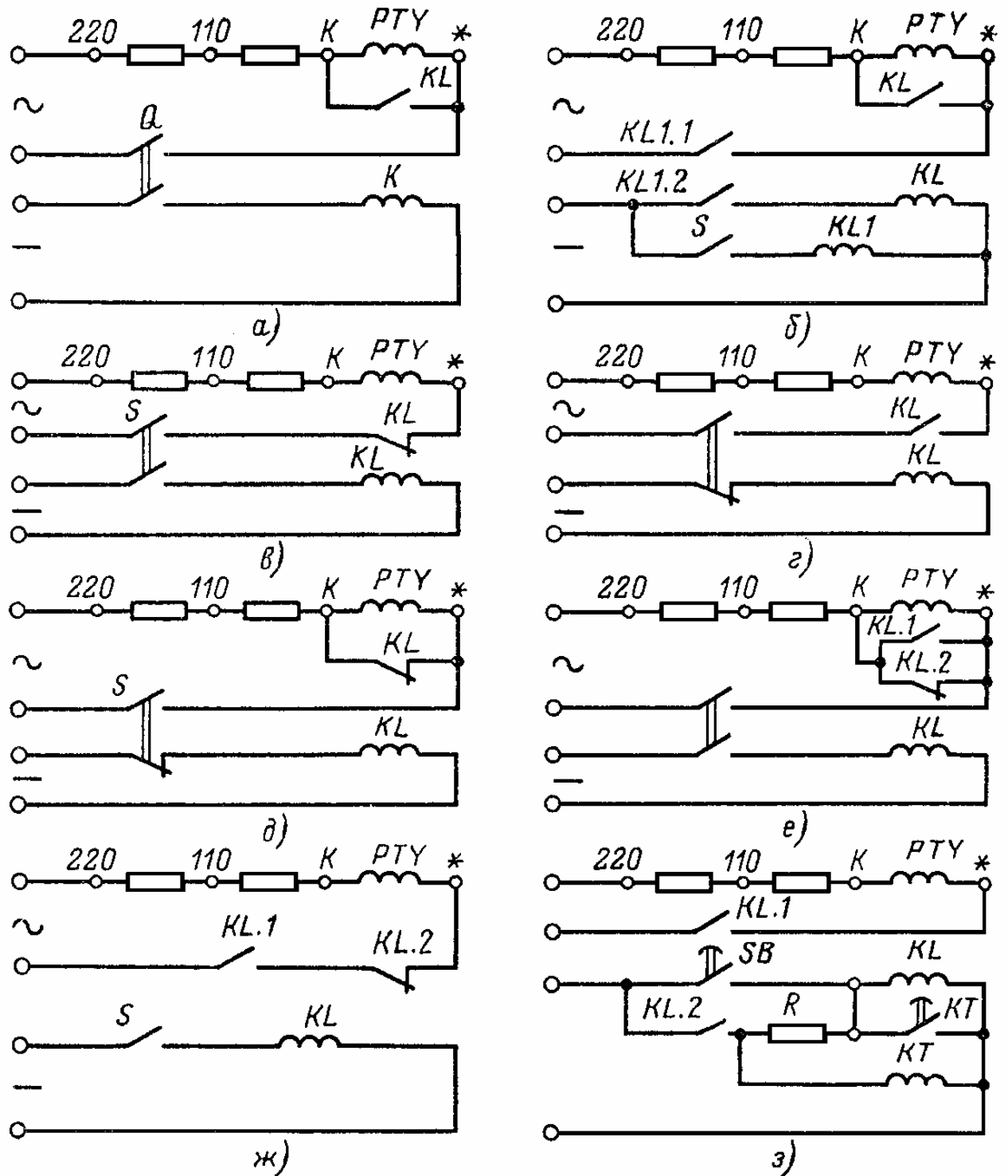


Рис. 2.4. Измерение времени работы контактов реле при помощи электросекундомера ПВ-53:  
 а, б - время замыкания контактов при срабатывании реле; в - время размыкания контактов при срабатывании реле; г - то же при возврате реле; д - время замыкания размыкающих контактов при возврате реле; е - время (продолжительность) бестоковой паузы для переключающих контактов; ж - время перекрытия мостящих контактов (длительность импульса); з - время срабатывания проскальзывающих контактов; KL - проверяемое реле; S – выключатель (пуск схемы); SB - кнопка; PTY - электромагнит электросекундомера; в схеме б и з используется вспомогательное реле KL.1

Проверку срабатывания реле серии РН-55 можно производить двумя способами. Подключают номинальное напряжение к обмотке 1 (60 или 100 В) и к обмотке 2 (30, 60 или 100 В) в зависимости от типа

реле. К обмотке 2 напряжение подают через фазорегулятор. По шкале ставят заданную уставку (по углу). Плавно увеличивая угол фазового сдвига, не изменяя напряжения, проверяют угол, при котором размыкаются контакты, а затем, уменьшая угол сдвига, определяют угол, при котором замыкаются контакты.

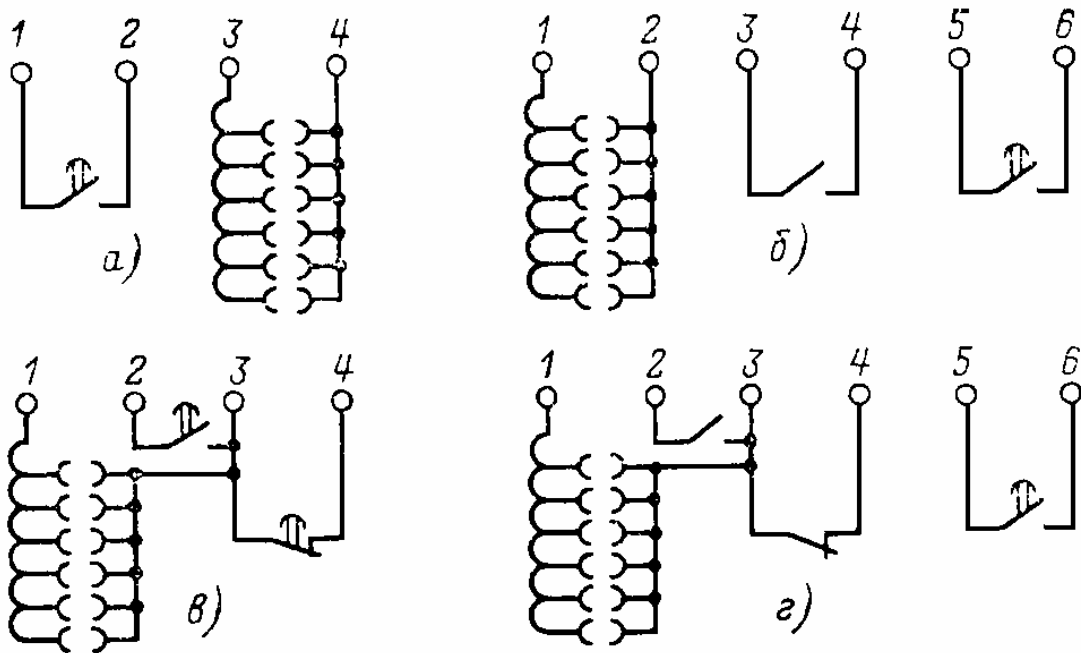


Рис. 2.5. Измерение времени работы контактов реле при помощи миллисекундомера МС-54:  
 а - время замыкания контактов при срабатывании реле; б - время размыкания контактов при срабатывании реле; в - то же при возврате реле; г - время замыкания контактов при возврате реле; д - время бестоковой паузы при срабатывании реле; е - длительность импульса при срабатывании реле (перекрывание мостящих контактов); ж - разновременность замыкания контактов при срабатывании реле; з - то же, но размыкания контактов

Можно проверить угол срабатывания и по однофазной схеме, подавая поочередно к каждой обмотке напряжение

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

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 зависящей 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 отпаек электромагнита) должен завинчиваться 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 свободно 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 и электромагнита. 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.

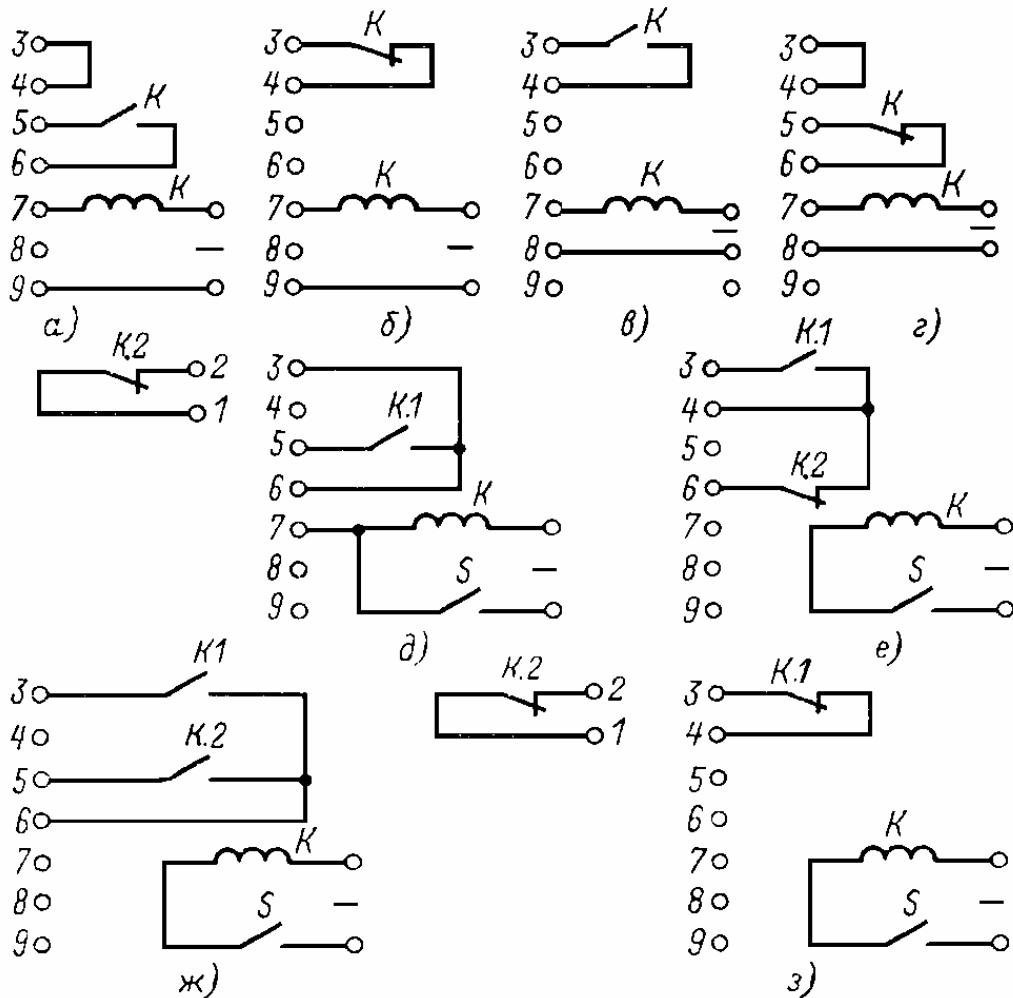


Рис. 2.6. Схема электрических соединений индукционных реле:  
 а - РТ-81, РТ-82, РТ-91; б - РТ-83, РТ-84; в - РТ-85, РТ-95; г - РТ-86

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	$0,5 \pm 0,1 \div 4 \pm 0,25$

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  $R_{\text{д}} \geq 5 Z$  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 скобу, которая расположена внизу рамки, так, чтобы при срабатывании конец скобы приблизился к электромагниту. При этом уменьшится коэффициент возврата реле.

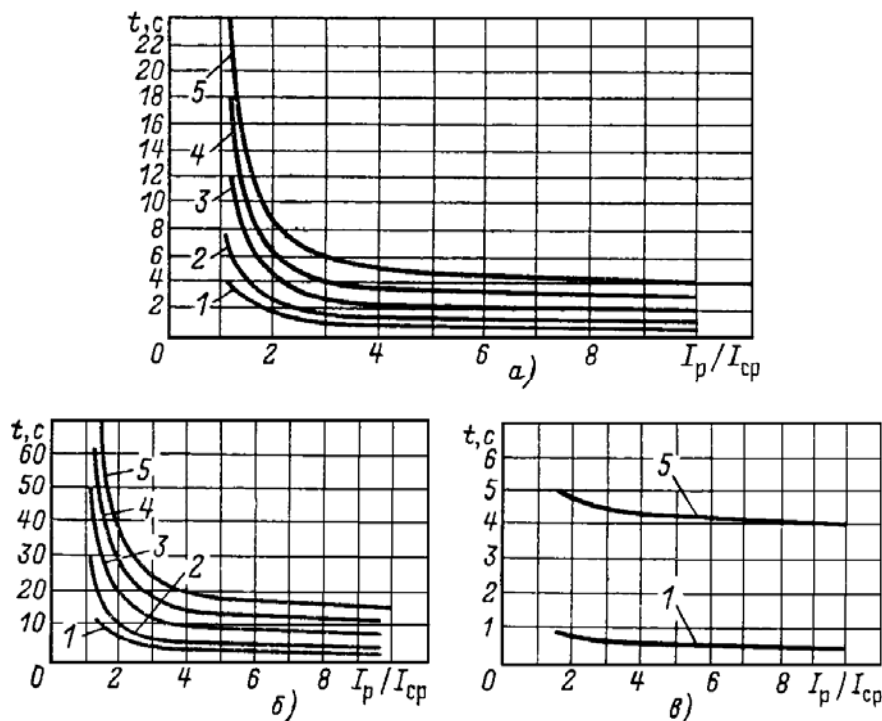


Рис. 2.7. Временные характеристики индукционных реле:  
 а - РТ-81, РТ-83, РТ-85; б - РТ-82, РТ-84, РТ-86; в - РТ-91, РТ-95. Уставки на время срабатывания: 1 - 0,5 с; 2 - 1,0 с; 3 - 2 с; 4 - 3 с; 5 - 4 с (рис. 2.7, а, в); 1 - 2 с; 2 - 4 с; 3 - 8 с; 4 - 12 с; 5 - 16 с (рис. 2.7, б)

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  $k_B$  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 исполнительной команды после получения управляющего сигнала.

У реле с механическим замедлением переключение 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 замыкающего 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 часовой 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.

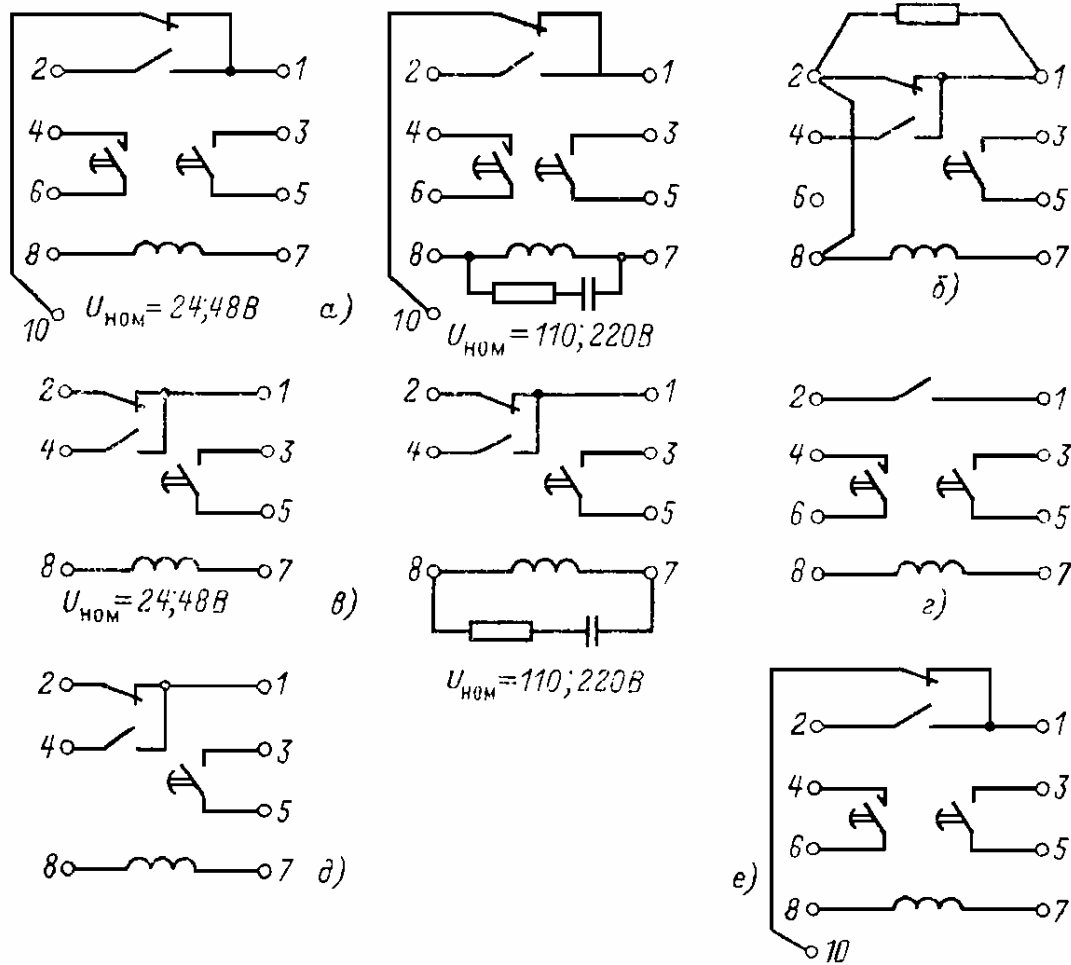


Рис. 2.8. Схемы электрических соединений реле серий ЭВ-100 и ЭВ-200:  
 а - ЭВ-112, ЭВ-122, ЭВ-132, ЭВ-142; б - ЭВ-113, ЭВ-123, ЭВ-133, ЭВ-143; в - ЭВ-114, ЭВ-124, ЭВ-134, ЭВ-144; г - ЭВ-215, ЭА-225, ЭВ-235, ЭВ-245 (при притяннутом якоре); д - ЭВ-217, ЭВ-227, ЭВ-237, ЭВ-247; е - ЭВ-218, ЭВ-228, ЭВ-238,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

Электрические проверки релесерий ЭВ-100 и ЭВ-200. Проверяются 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 про- скальзывающих контактов - по схеме рис. 2.4, з.

Таблица 2.5. Технические данные реле времени с часовым механизмом

Тип реле	Пре- делы уста- вок, с	Макси- мальный разброс, с	Время замк- нутого со- стояния про- скальзы- вающих кон- тактов, с	$\frac{U_{ср}}{U_{НОМ}}$	$\frac{U_{в}}{U_{НОМ}}$	Мощность Р	Примеча- ние
Реле постоянного тока $U_{НОМ}$ - 24, 48, 110 или 220 В; Р, Вт							
ЭВ-112	0,1-1,3	0,06	0,05-0,1	0,7	0,1	30	При на- пряжении $1,1 U_{НОМ}$ реле могут
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	находиться не более 2 мин; ЭВ-113, ЭВ-123, ЭВ-133, ЭВ-143 - длительно
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; Р, В·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, $U_{\text{В}} \leq 0,35$ 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	

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.



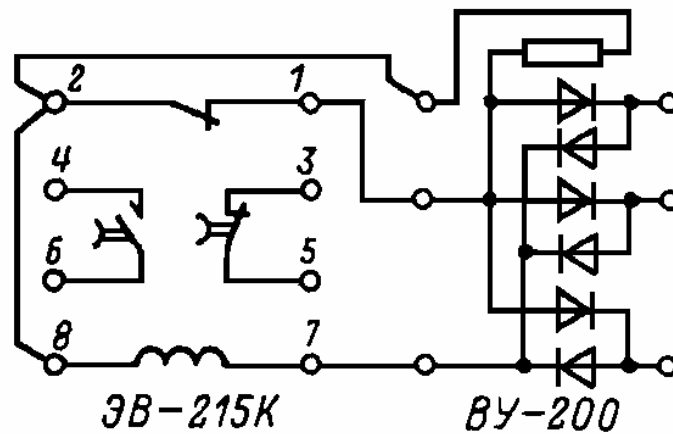


Рис. 2.9. Схема соединений трехфазного реле времени с ВУ-200

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 отдельными 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 устройства, 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).

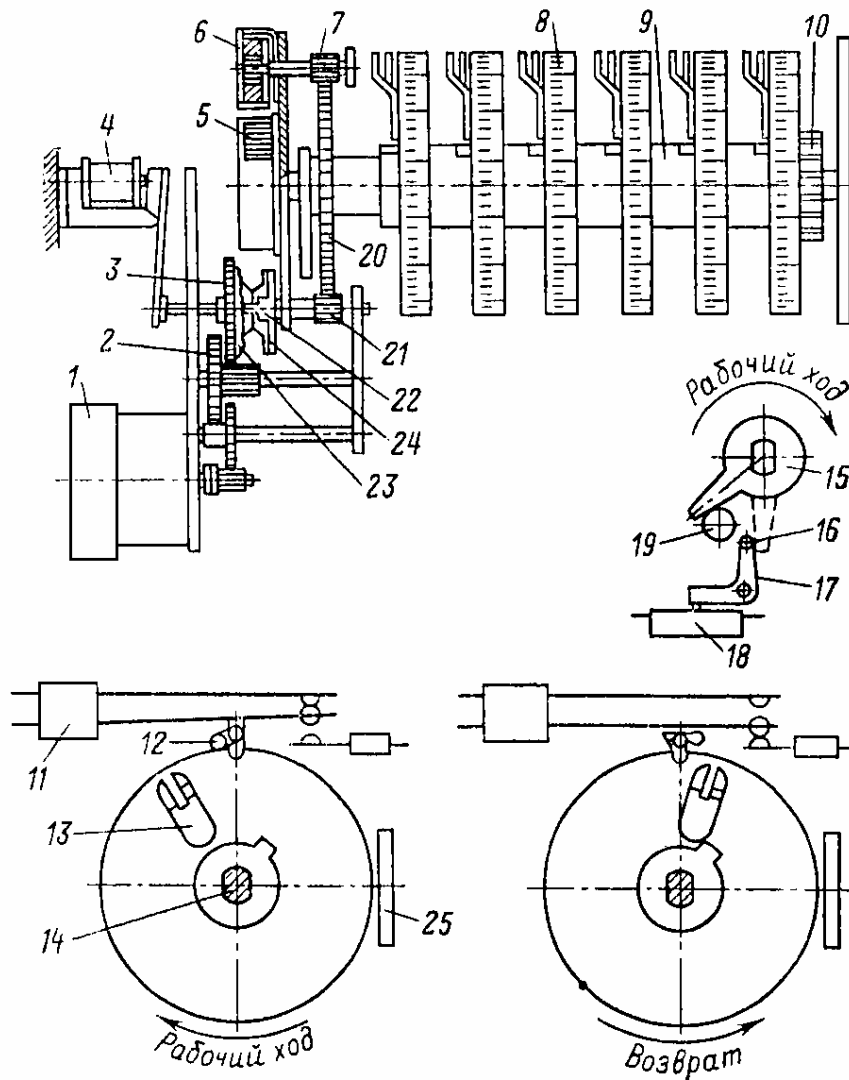


Рис. 2.10. Кинематическая схема реле BC-10:

1 - синхронный двигатель; 2 - редуктор; 3, 22 - диски сцепления; 4 - электромагнит; 5 - возвратная пружина; 6 - центробежный тормоз; 7, 21 - трибки; 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 допускаемом пониженном 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	Напряжение срабатывания по отношению к $U_{ном}$	Потребляемая мощность, В·А	Исполнение контактов
Е52	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	$\pm 5\% + 1с$ $\pm 5\% + 0,25 с$	- 220 - 220	0,85 0,85	30 30	4 р. с выдержкой времени + п. мгно- вен-

						ный (возможна замена р. контакта на з.)
BC-10-31			~ 12, 127, 220			BC-10-31-BC-10-38 по 3 п. контакта
BC-10-32	2-60 с	± 0,2 с		0,9	19	
(BC-10-62)	5-180 с	± 0,7 с	~ 12, 127, 220	0,9	19	BC-10-62-
BC-10-33	15 с-9 мин	± 2 с	~ 12, 127, 220	0,9	19	BC-10-68 по 6 п. контактов
(BC-10-63)						
BC-10-34	1-30 мин	± 7 с	~ 12, 12,7 220	0,9	19	
(BC-10-64)						
BC-10-35	3-90 мин	± 20 с	~ 12, 127, 220	0,9	19	
(BC-10-65)						
BC-10-36	9 мин - 4 ч	± 1 мин	~ 12, 127, 220	0,9	19	
(BC-10-66)	30 мин					
BC-10-37	24 мин - 10 ч	± 2 мин	~ 12, 127, 220	0,9	19	
(BC-10-67)						
BC-10-38	1-24 ч	± 5 мин	~ 12, 127, 220	0,9	19	
(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 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.

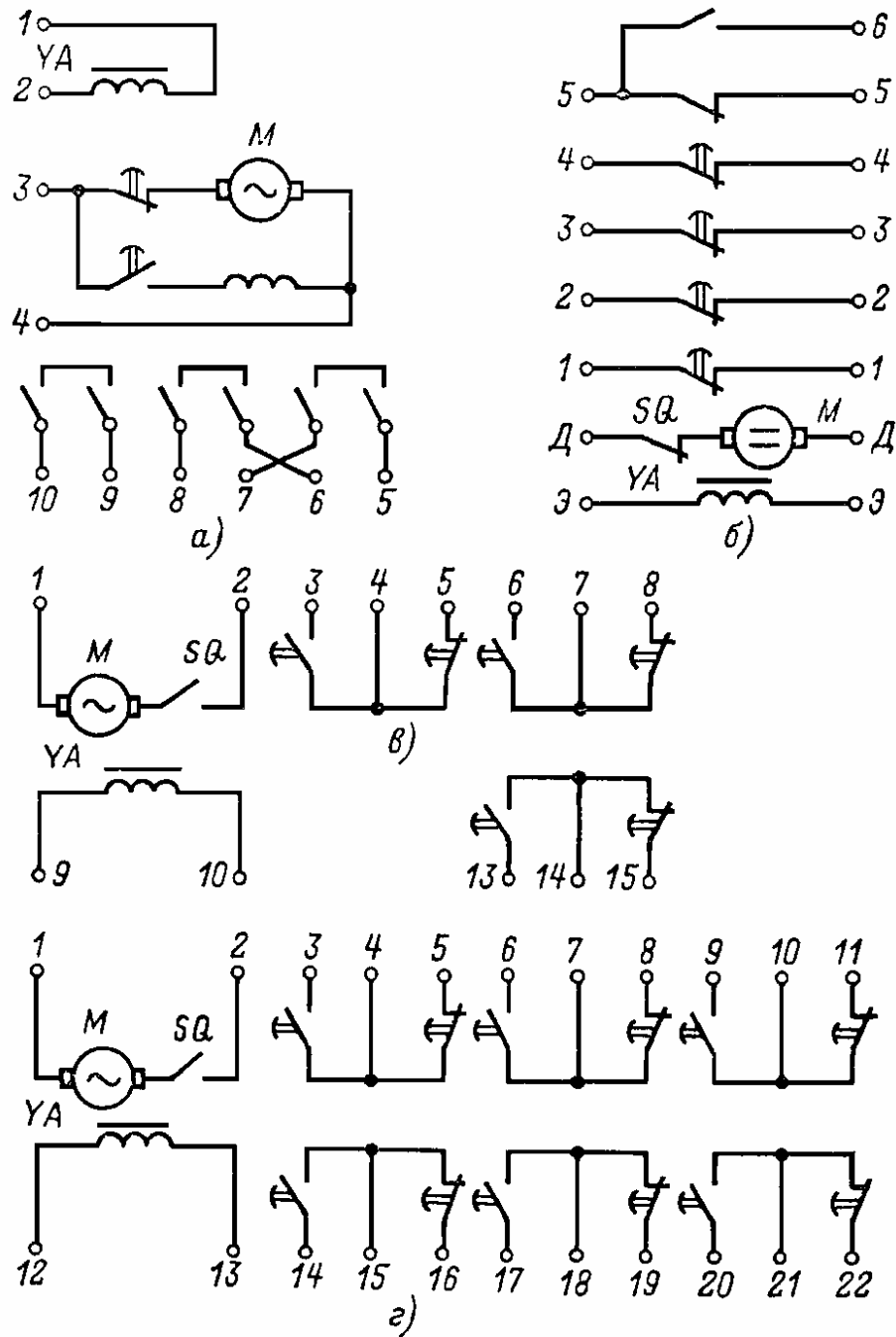


Рис. 2.11. Схемы электрических соединений реле времени с микроэлектродвигателями:  
 а - E-52; б - E512 и E-513; в - реле серий BC-10-31-BC-10-38; г - BC-10-62-BC-10-68

Реле серии РВОЗ 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 контак-

тов 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 быстродействие, 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 замкнута 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 возвращает 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 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.



Таблица 2.7. Технические данные промежуточных реле постоянного тока

Тип реле	Номинальные величины				Напряжение или ток		Потребляемая мощность, Вт	Время		Допускаемый ток, А			Контактная система
	срабатывания		удерживания		срабатывания	возврата		срабатывания, с	возврата, с	коммутации при напряжении 220 В и при нагрузке		длительный	
	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А						индуктивной	активной		
ЭП-1/0,25-ЭП-1/7,5	-	0,25; 0,5; 1; 2,5; 5; 7,5	-	-	$0,5 I_{\text{ном}}$	-	0,5	$\leq 0,04$	-	0,75	-	5	1 з.
ЭП-1/24-ЭП-1/220	24; 48; 110; 220	-	-	-	$0,5 U_{\text{ном}}$	-	0,75; 1,5; 3	$\leq 0,04$	-	0,75	-	5	1 з.
РП-23, РП-24	12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	$0,7 U_{\text{ном}}$	$\geq 0,03 U_{\text{ном}}$	$\leq 6$	$\leq 0,06$	-	0,5	1	5	4 з. + 1 р. (з. контакты можно переделывать в р.); РП-24 имеет указатель срабатывания с ручным возвратом
РП-40	12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	$0,8 U_{\text{ном}}$	-	17	$\leq 0,07$	$\leq 0,03$	1	2	10	4 з. + 4 р. (2 р. можно переделывать в 2 з.)
РП-211	110; 220	-	-	-	$0,5 U_{\text{ном}}$	$0,04 U_{\text{ном}}$	5	0,01	-	0,25	-	10 (10 с)	2 п.
РП-212	110; 220	-	-	-	$0,5 U_{\text{ном}}$	$0,04 U_{\text{ном}}$	6	0,01	-	0,25	-	10 (10 с)	4 з.
РП-213	110; 220	-	-	1; 2; 4	$0,6 U_{\text{ном}}$	$0,04 U_{\text{ном}}$ ; 0,8	8	0,01	-	0,25	-	10 (10 с)	4 з.

РП-214	110; 220	-	-	1; 2; 4	$0,6U_{НОМ}$	$I_{НОМ}$ ; 0,04 $U_{НОМ}$ ; 0,8 $I_{НОМ}$	8	0,01	-	0,25	-	10 (10 с)	4 з.
РП-215	110; 220	-	-	-	$0,5U_{НОМ}$	0,04 $U_{НОМ}$	5	0,01	-	0,25	-	10 (10 с)	2 з. + 2 р..
РП-232	-	1; 2; 4; 8	24; 48; 110; 220	-	$\geq I_{НОМ}$	0,7 $U_{НОМ}$ ; 0,03 $I_{НОМ}$	6	0,06	-	0,5	1	5	2 з. + 2 р.
РП-233	24; 48; 110; 220	-	-	1; 2; 4; 8	$0,7U_{НОМ}$	0,8 $U_{НОМ}$ ; 0,03 $I_{НОМ}$	20	0,03	-	0,5	1	5	3 з. + 1 р.
РП-251	24; 48; 110; 220	-	-	-	$0,7U_{НОМ}$	0,05 $U_{НОМ}$	6-8	0,07- 0,11	-	0,5	1	5	5з .
РП-252	24; 48; 110; 220	-	-	-	$0,7U_{НОМ}$	0,02 $U_{НОМ}$	7	-	0,5-1,1	0,5	1	5	5з .
РУ-253	24; 48; 110; 220	-	-	1; 2; 4; 8	$0,7U_{НОМ}$	0,5 $U_{НОМ}$ ; 0,8 $I_{НОМ}$	15	0,04 (0,07)	-	0,5	1	5	4з .+ 1 р.
РП-221	110;	-	-	-	$0,6U_{НОМ}$	0,04 $U_{НОМ}$	6	0,011	-	2	12 (на	3	2 п.

Все контакты можно переделывать в р.



	220				НОМ	НОМ						замы- кание)		
РП-222	110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	0,04U НОМ	6	0,011	-	2	12 (на замы- кание)	3	4 з.	
РП-223	110; 220	-	-	1; 2; 4	0,6U НОМ	0,04U НОМ	8	0,011	-	2	12 (на замы- кание)	3	4 з.	
РП-224	110; 220	-	-	1; 2; 4	0,6U НОМ	0,8U НОМ	8	0,011	-	2	12 (на замы- кание)	3	4 з.	
РП-225	110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	0,04U НОМ	6	0,011	-	2	12 (на замы- кание)	3	2 з., 2 р.	
РП-254	-	1; 2; 4; 8	110	-	0,7U НОМ	0,65U НОМ	6	0,05	0,5	0,5	1	5	3 з., 1 р.	
РП-255	24; 48; 110; 220	-	-	1; 2; 4; 8	0,7U НОМ	0,5U НОМ ; 0,8I НОМ	6-8	0,05	-	0,5	1	5	5 з.	
РП-352	24; 48; 110; 220	-	-	-	0,7 U <sub>НОМ</sub>	-	25	0,06	-	0,25	2	5	2 з., 2 р.. 2 п.	
РЭВ-81	12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	-	20	0,1	0,25-1,3	1	2	10	1 з.	
РЭВ-84	12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,3- 0,6U НОМ	-	15	0,1	0,15	2	4	10	1 з.	
РЭВ-811	12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	-	0,20	0,3	0,25-1,5	1	2	10	1 з., 1 р.	
РЭВ-812	12; 24; 48; 110;	-	-	-	0,6U НОМ	-	0,20	0,3	0,8-2,8	1	2	10	1 з., 1 р.	

РЭВ-813	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	-	0,20	0,3	2-3,8	1	2	10	1 з., 1 п.
РЭВ-814	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	-	0,20	0,3	3-5,5	1	2	10	1 з., 1 п.
РЭВ-815	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	-	0,20	0,3	0,25-0,9	1	2	10	2 з., 2 п.
РЭВ-816	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	-	0,20	0,3	0,5-1,7	1	2	10	2 з., 2 п.
РЭВ-817	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	-	0,20	0,3	1,2-2,7	1	2	10	2 з., 2 п.
РЭВ-818	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,6U НОМ	-	0,20	0,3	2-3,8	1	1	10	2 з., 2 п.
РЭВ-821	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,25U НОМ	-	20	0,1	0,16	1	2	10	1 з., 1 п.
РЭВ-822	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,65U НОМ	-	20	0,1	0,16	1	2	10	1 з., 1 п.
РЭВ-826	220 12; 24; 48; 110; 220	-	-	-	0,65U НОМ	-	20	0,1	0,16	1	2	10	2 з., 2 п.
РЭВ-881	220 12; 24;	-	-	-	0,6U	-	32	0,5	4,5-9	1	2	10	1 з., 1 п.

РЭВ-882	48; 110; 220	-	-	-	НОМ	-	32	0,5	7-13	1	2	10	1 з., 1 р.
	12; 24; 48; 110; 220				0,6U НОМ								
РЭВ-883	48; 110; 220	-	-	-	НОМ	-	32	0,5	3-7	1	2	10	2 з., 2 р.
	12; 24; 48; 110; 220				0,6U НОМ								
РЭВ-884	48; 110; 220	-	-	-	НОМ	-	32	0,5	5-11	1	2	10	2 з., 2 р.
	12; 24; 48; 110; 220				0,6U НОМ								
МКУ-48	2; 5; 8; 12; 24; 30; 48;	0,02; 0,2; 2,7	-	-	0,8U	-	3	0,035	-	0,25	-	5	2-8 в различных сочетаниях
	60; 110; 220				НОМ 0,8I <sub>НОМ</sub>								
МКУ-48С	24;48; 60; 110; 220	-	-	-	0,8U	-	3	0,06	-	0,25	-	5	2-8 в различных сочетаниях
	60; 110; 220				НОМ								
ПЭ-6	12; 24; 48; 60;	1	-	-	0,8U	-	3	0,035	-	0,25	-	5	4-8 в различных сочетаниях
	110; 220				НОМ 0,8I <sub>НОМ</sub>								

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения контактов: з. - замыкающий, р. - размыкающий, п. - переключающий.

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 регулировки 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. Конструкции реле типов РП-23, РП-24 и серий РП-40, РП-250, РЭВ позволяют 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 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.

**Таблица 2.8. Нормальная регулировка магнитных систем и контактов промежуточных реле**

Тип реле	Зазоры якоря, мм		Контакты, мм		Давление замкнутых контактов, Н (г)
	Якорь 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 контакта на упорную пластину - 20)

При регулировании напряжения срабатывания или возврате 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 воз-

врата 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.

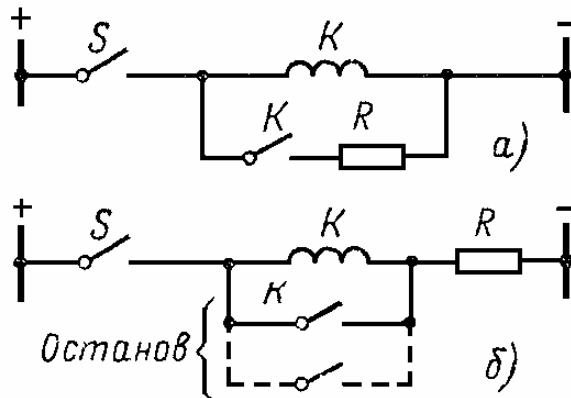


Рис. 2.12. Схемы включения промежуточных реле для увеличения времени возврата реле: а - подключением демпфирующего резистора; б - шунтированием обмотки реле

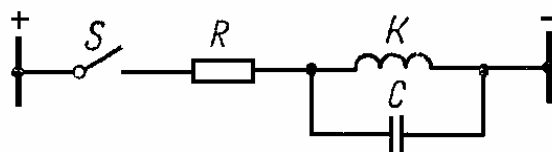


Рис. 2.13. Схема включения реле для увеличения времени срабатывания

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 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 жжим (провал) контактов при работе реле.

**Таблица 2.9. Технические данные сигнальных реле**

Тип реле	Напряжение или ток		Сопротивление катушки, Ом	Потребляемая мощность, Вт	Контактные группы	Допустимый ток контактов, А, при U= -220 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;	$3 I_{ном}$	-	0,3	2 з., или 2 р., или 1 з., 1 р.	0,2	0,5

	0,5; 1 А						
СЭ-2	48; 110; 220 В	1,1 $U_{ном}$	-	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	-	-	-

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 зависимости 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 преобладанием (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).

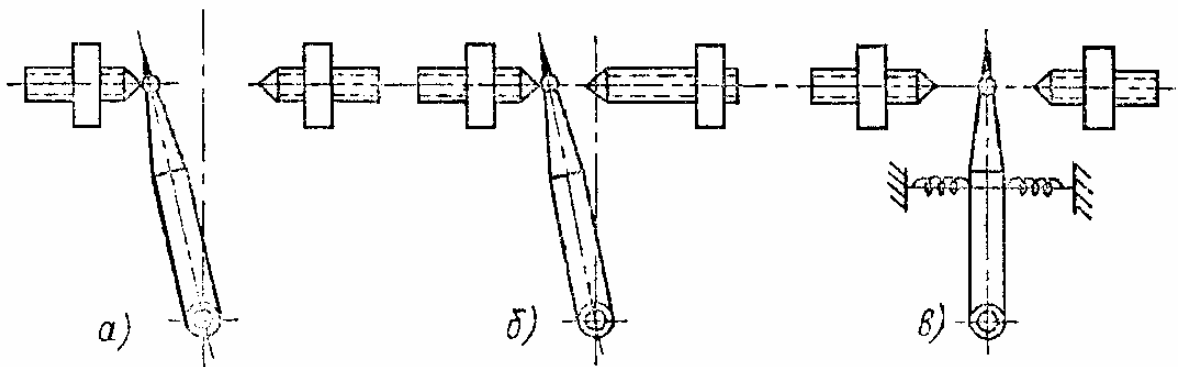


Рис. 2.14. Виды настройки контактных систем поляризованных реле

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 нахождение 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.

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

Номинальное напряжение, В	Обмотки		
	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

Примечание: 1. Начало обмоток обозначено знаком “+”.  
 2. Время срабатывания - не более 60 мс.  
 3. Раствор между контактами - не менее 1,8 мм.

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 выдержать 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 вручную 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 завинтить 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 зазор между подвижным и неподвижными 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 зазоры. 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 зазоре (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 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.

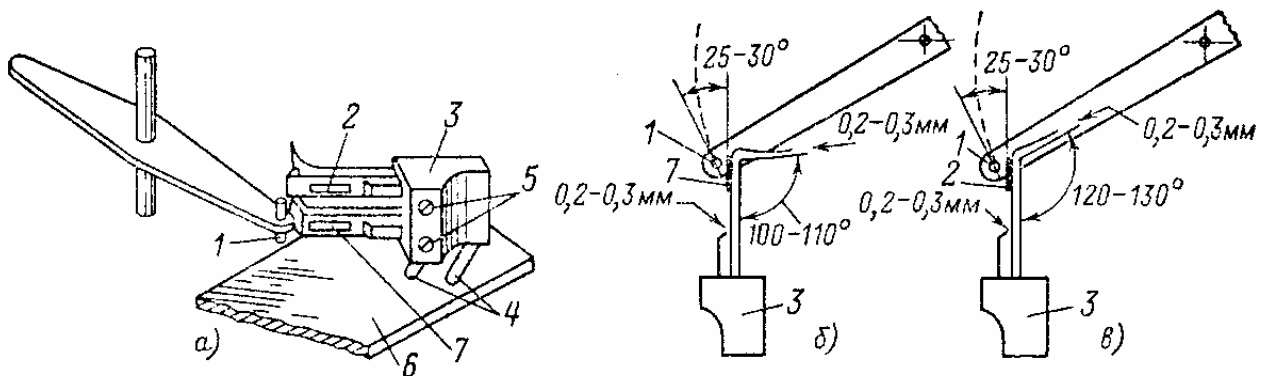


Рис. 2.15. Регулировка контактов реле серии РБМ:

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

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: потребление, самоход по току и напряжению, угол максимальной чувствительности  $\varphi_{м.ч}$ , 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	$\Phi_{мч}$ , град.	Однополярные зажимы	Потребление цепей напряжения, В·А	Номинальный ток, А	Потребление цепей тока, не более, В·А	Добавочные сопротивления		Мощность срабатывания $I_p = I_{ном}$ , В·А	Контактная система
						активное, Ом	емкостное		
РБМ-171/1	- 30	5,8	40	5	10	47	-	3	1 з.
РБМ-271/1	- 45	5,8	35	5	10	47+180	-	4	2 з.
РБМ-171/2	- 30	5,8	40	1	10	47	-	0,6	1 з.
РБМ-271/2	- 45	5,8	35	1	10	47+180	-	0,8	2 з.
РБМ-177/1	70	5,7	35	5	10	390	$2 \times 4$ мкФ, 250 В	3	1 з.
РБМ-277/1	70	5,7	35	5	10	390	$2 \times 4$ мкФ, 250 В	3	2 з.
РБМ-177/2	70	5,7	35	1	10	390	$2 \times 4$ мкФ, 250 В	0,6	1 з.
РБМ-277/2	70	5,7	35	1	10	390	$2 \times 4$ мкФ, 250 В	0,6	2 з.
РБМ-178/1	70	5,7	90	5	10	180	$4 \times 4$ мкФ, 160 В	1	1 з.
РБМ-278/1	70	5,7	90	5	10	180	$4 \times 4$ мкФ, 160 В	1	2 з.
РБМ-178/2	70	5,7	90	1	10	180	$4 \times 4$ мкФ, 160 В	0,2	1 з.
РБМ-278/2	70	5,7	90	1	10	180	$4 \times 4$ мкФ, 160 В	0,2	2 з.
РБМ-275/1	0	5,7	25	5	5	1500 + 2600	10; 0,5; $3 \times 1$ мкФ	10-500	1 з., 1 п.
РБМ-275/2	0	5,7	25	1	5	1500 + 2600	10; 0,5; $3 \times 1$ мкФ	2-100	1 з., 1 п.
РБМ-276/1	$90 \pm 3 \times 5$	5,7	30	5	5	1500 + 2600	10; 0,5; $3 \times 1$ мкФ	10-500	1 з., 1 п.
РБМ-276/2	$90 \pm 3 \times 5$	5,7	30	1	5	1500 + 2600	10; 0,5; $3 \times 1$ мкФ	2-100	1 з., 1 п.
РМП-272/1	180 (1РП) 0 (2РП)	7, 9, 8, 10	-	1	10	-	-	0,14 А	2 з.
РМП-272/2	180 (1РП) 0	7, 9, 8, 10	-	5	10	-	-	0,7 А	2 з.

(2РП)									
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

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 накидным 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 закортить, а подключить к резистору с сопротивлением, 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 междофазных 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 устранять самоход регулировкой полюсов допустимо лишь опытному механику.

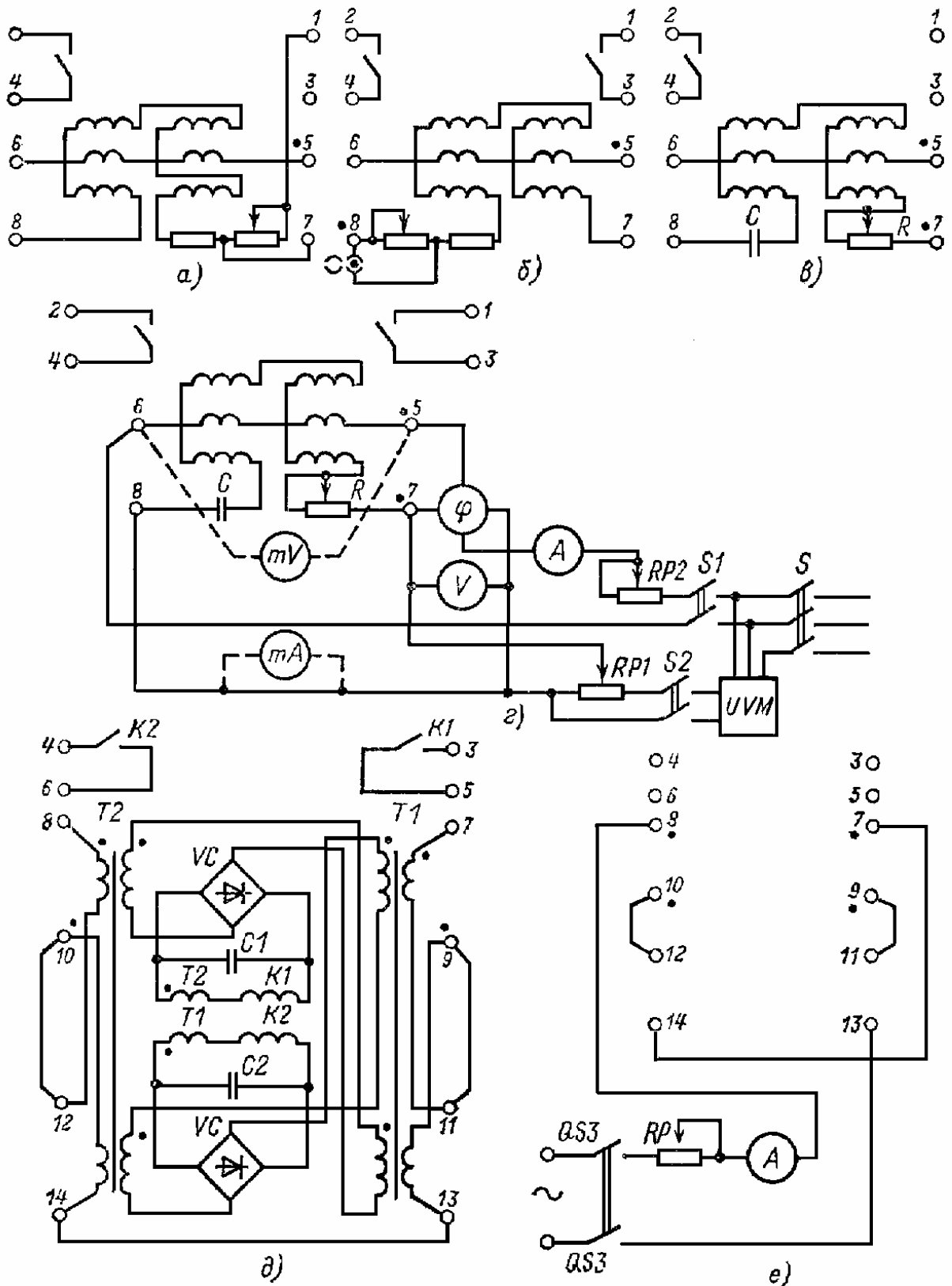


Рис. 2.16. Схемы соединений и проверок реле серий РБМ и РМП:

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°, 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

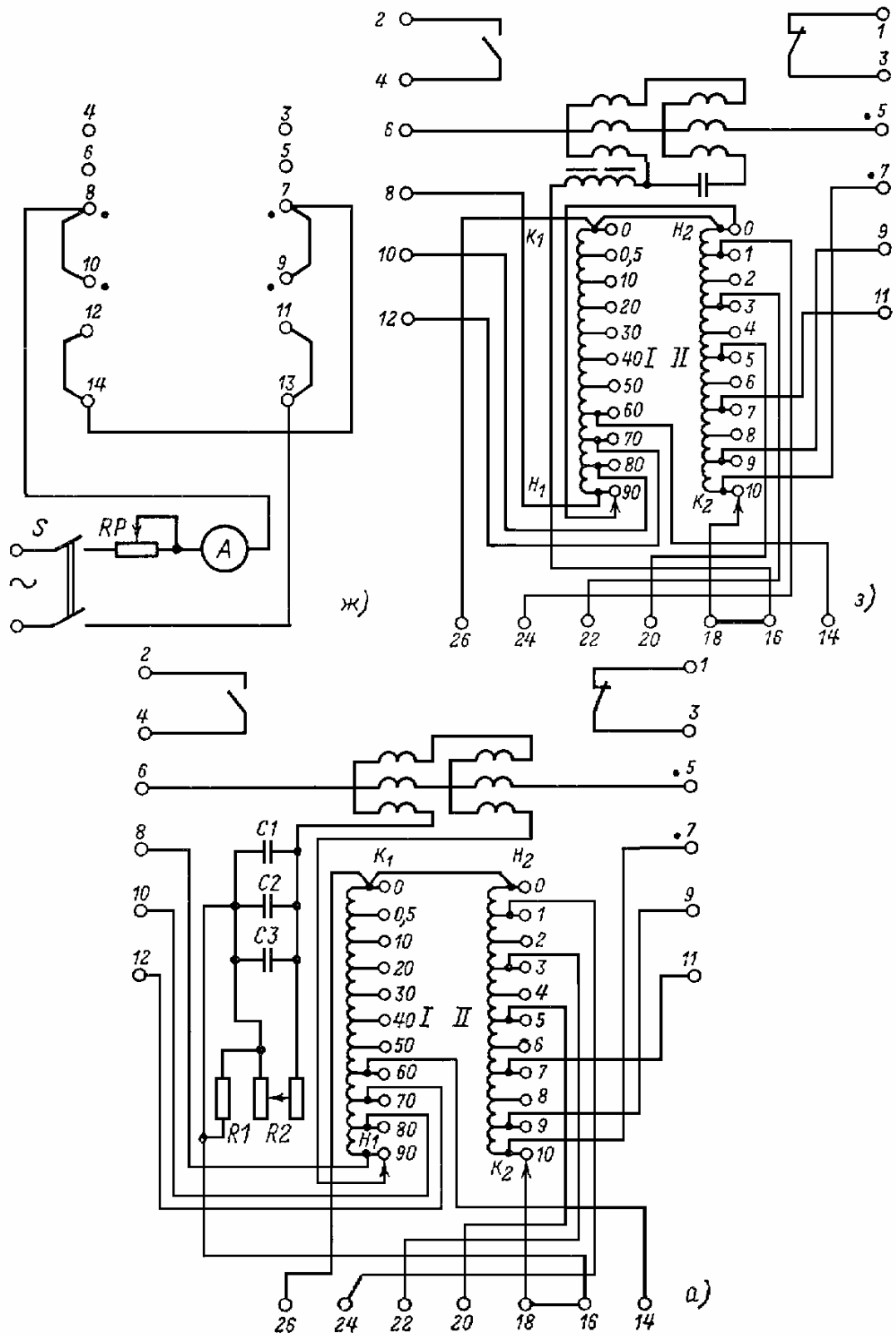


Рис. 2.16. Продолжение

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  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , при которых реле соответственно замыкает и размыкает контакты.

$$\text{Зона действия реле } \varphi_3 = [\varphi_2 - \varphi_1]. \text{ Угол максимальной чувствительности } \varphi_{\text{мч}} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}.$$

Рекомендуется проверить углы  $\varphi_3$  и  $\varphi_{\text{мч}}$  и при изменении фазового сдвига от  $360^\circ$  до  $0^\circ$ . При этом углы  $\varphi_3$ , определенные при изменении углов от  $0$  до  $360^\circ$  и от  $360^\circ$  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  $5^\circ$ . В этом случае регулировка реле считается удовлетворительной, а маркировка выводов - правильной.

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

$$P_{\text{ср}} = I_{\text{ном}} U_{\text{ср}}; P_{\text{в}} = I_{\text{ном}} U_{\text{в}}; k_{\text{в}} = P_{\text{в}} / P_{\text{ср}}.$$

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  $5 P_{\text{ср}}$  и  $10 P_{\text{ср}}$ .

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

$$P_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ном}} I_{\text{к max}} \sqrt{3}}{4 K_I K_U} \text{ или } P_{\text{max}} = \frac{9 U_0 I_{0\text{к}}}{K_{U_{\text{р.т}}} K_I},$$

где  $I_{\text{к max}}$  - максимальный расчетный ток КЗ при междуфазных повреждениях;  $U_0$  и  $I_{0\text{к}}$  - расчетные напряжения и ток нулевой последовательности при однофазном КЗ;  $K_{U_{\text{р.т}}}$  - 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  $10 P_{\text{ср}} \div P_{\text{max}}$ , и фазовом сдвиге  $\varphi_{\text{обр}} = \varphi_{\text{мч}} + 180^\circ$  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 - срабатывание реле;
- 3) по схеме рис. 2.16, ж проверяется чувствительность реле при последовательном соединении обмоток (при параллельном соединении первичных обмоток реле чувствительность заглубляется 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  $K_1$  и  $K_2$  не должны срабатывать.

Если реле срабатывают, то проверяется правильность попарного подбора трансформаторов по ЭДС небаланса. Небаланс проверяется вольтметром с большим входным сопротивлением при вынужденном реле  $K_1$  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 необходи-

мости 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 напряжения ввинчиванием по одному штепсельному винту в пластины / и // (рис. 2.16, з, и). Сумма цифр n на пластинах 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 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°.

У реле типа РБМ-276 при помощи конденсаторов  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  и резисторов R1, R2 устанавливается заданный угол максимальной чувствительности  $\Phi_{\text{мч}}$ .

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:  $U_{\text{НОМ}} = 100 \text{ В}$ ;  $I_{\text{НОМ}} = 1 \text{ А}$  или  $5 \text{ А}$ . Для питания полупроводниковых элементов используются либо переменное 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 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).

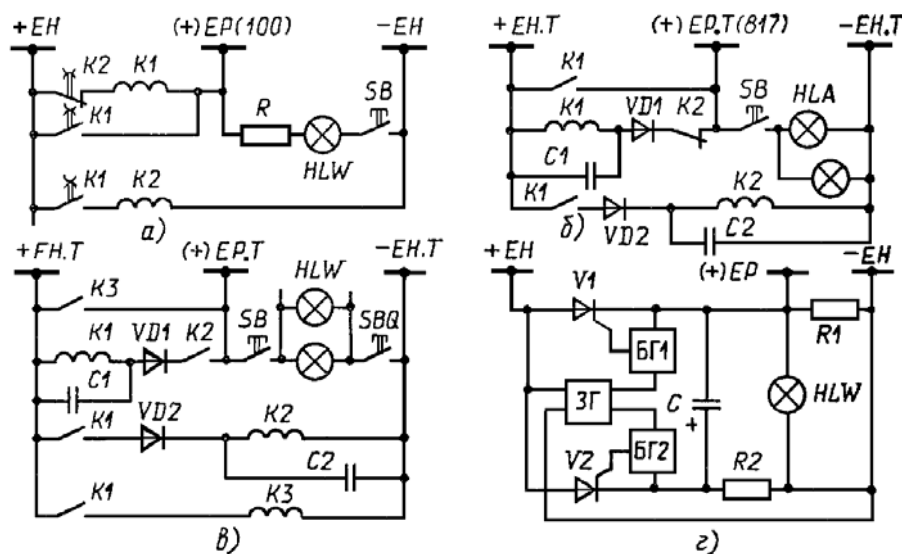


Рис. 2.17. Схемы мигающего света (пульс-пара):

- 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

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 сигнализация 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 запоминающего устройства (указателя), установленного 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.

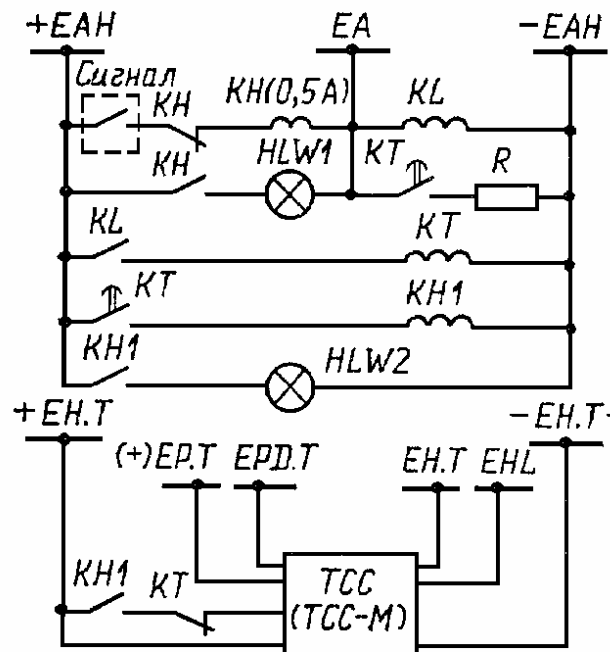


Рис. 2.18 Схема вызывной сигнализации

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. Коммутирующая способность указанных контакторов и реле должна проверяться расчетом и опытом.

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

**Таблица 2.12. Наименование и маркировка шинок в схемах сигнализации**

Обозначение	Наименование шинок, их образование	Примечание
+ ЕС - ЕС	Шинки управления “+” и “-”, от которых питаются цепи управления, защит	Сигнализация положения аппаратов
ЕА.Н	Шинки панельные сигнализации подключаются переключателем выбора питания (SH) к щиту постоянного тока	Питают все цепи центральной сигнализации
+ ЕН - ЕН	Шинки сигнализации. Каждый участок образуется после переключателя отыскания земли (SNG), автоматического выключателя участка, который подключен к шинке ЕАН	-

ЕНР1	Шинки звуковой предупредительной сигнализации без выдержки времени	Пуск реле импульсной сигнализации
ЕНР2	То же, но с выдержкой времени	То же
ЕНР3	Шинка звуковой вызывной сигнализации	В различных РУ
ЕНР4		
ЕН.Т	То же, но технологической сигнализации	-
ЕНА	Шинка звуковой аварийной сигнализации	Пуск реле импульсной сигнализации
ЕНА.Т	То же, но технологической сигнализации	То же
(+) ЕР	Шинка мигания, устройство мигающего света	Сигнализация аварийного отключения
ЕРD	Шинка съема мигания ламп положения выключателей	-
+ ЕР.Т	Шинка мигания технологической сигнализации	Мигание табло технологической сигнализации
ЕРD.Т	Шинка съема мигания технологической сигнализации от реле или кнопки съема мигания	То же
ЕНL	Шинки проверки ламп в табло от ключей проверки ламп	Периодическая проверка исправности ламп
ЕА	Вспомогательные шинки	-
ЕАН	То же, собирающие	-
⊕ ЕС	Шинки зажигания ламп от реле зажигания	При темном щите
⊕ ЕН	Щита (РЗЩ)	

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 шинок сигнализации и их связей;
- 3) наладка отдельных устройств (источников питания, устройств мигания, устройств импульсной звуковой сигнализации, устройств проверки исправности ламп табло, зажигания темного щита) и проверка действия этих устройств от кнопок, ключей и при имитации сигналов;
- 4) проверка и наладка индивидуальных и групповых сигналов.

При проверке шинок сигнализации следует четко представлять назначение каждой шинки (см. табл. 2.12), все электрические связи одноименных шинок 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 К, см. рис. 2.12). На рис. 2.17, б и в в качестве реле К1 и К2 применяют простые мгновенные реле, например РП-23, МКУ-48. Замедление срабатывания и возврата реле К1 и К2 регулируется подбором емкостей конденсаторов С1 и С2. 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 К1 или К2 в схемах рис. 2.17, а, б загораются все лампы, которые подключены к шинке мигания (+) ЕР или (+) ЕР.Т. Эти реле возвращаются с замедлением и медленно размыкают цепь, и если к шинкам (+) ЕР (ЕР.Т) подключено много ламп, то контакты реле подгорают и быстро выходят из строя. Во избежание этого при значительной нагрузке рекомендуется устанавливать дополнительно реле

КЗ, 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.

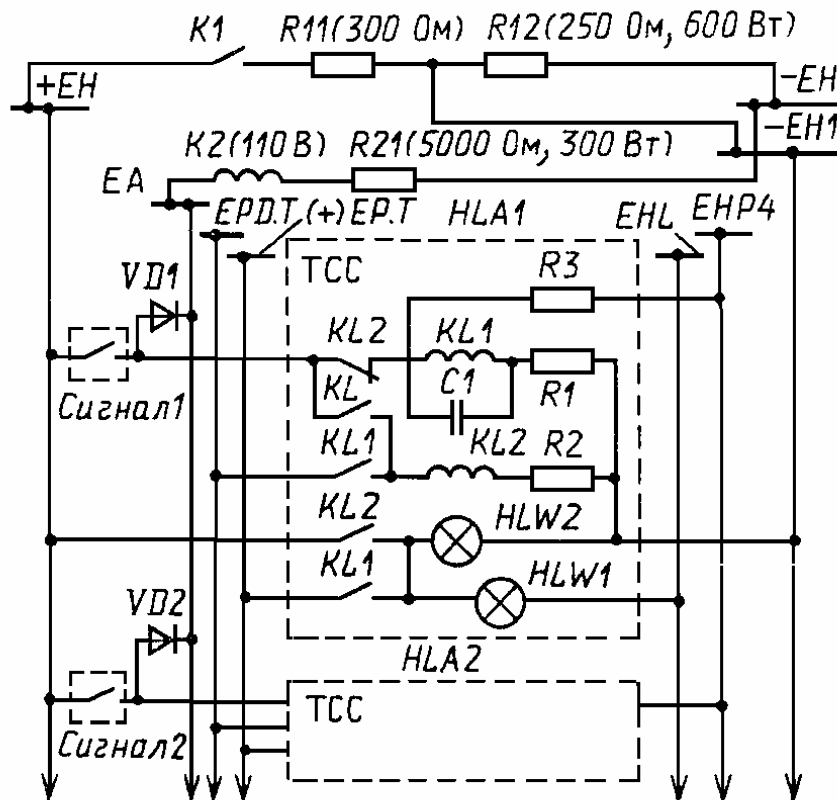


Рис. 2.19. Схема внутренних соединений и вариант включения табло типа ТСС

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

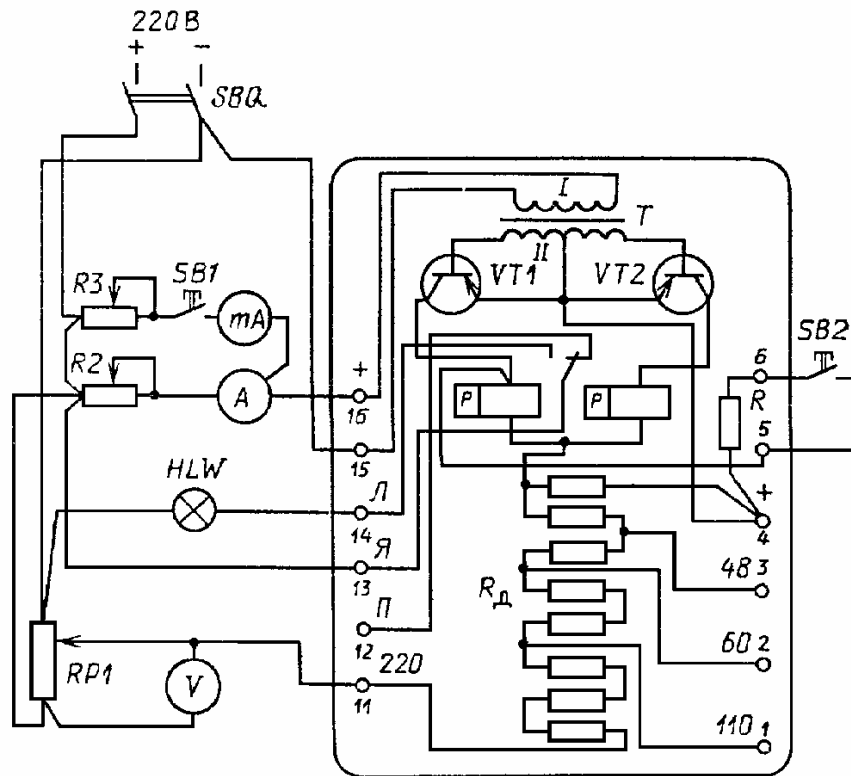


Рис. 2.20. Схема для электрических проверок реле РИС-Э2М

Электрические испытания. Проверяется исправность и производится регулировка поляризованного реле КЛ 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 КЛ типа ТРМ (так же, как РП-4 и РП-5).

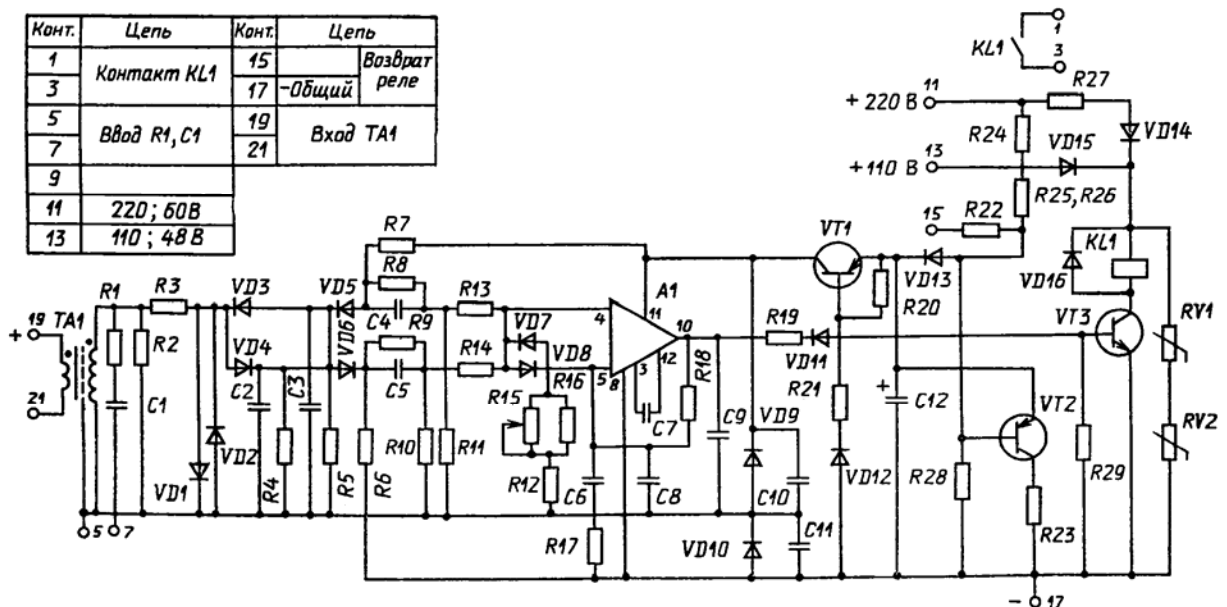


Рис. 2.21. Электрическая схема двухстабильного реле тока серии РТД-11

Соблюдение полярности. Для дальнейшей проверки РИС и РТД 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. При от-

сутствии тока в цепи R2 - амперметр А 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 А устанавливают ток 1,5 А. Определяют 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 ( $1,15 U_{\text{ном}}$ ) и пониженном ( $0,8 U_{\text{ном}}$ ) 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 постоянного 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 перемычку 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.

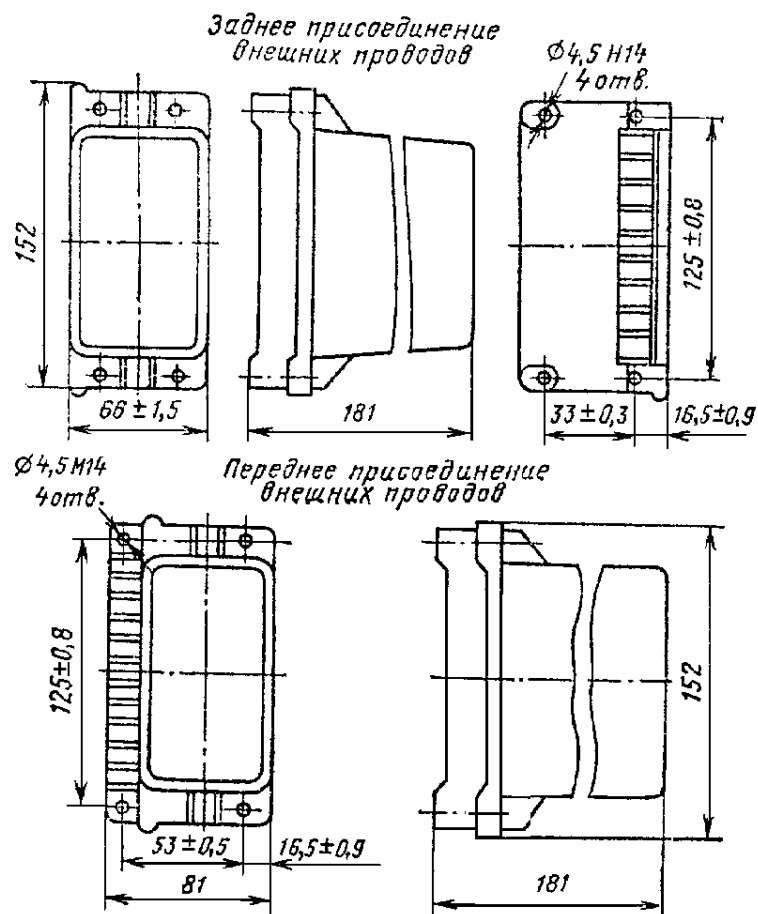


Рис. 2.22. Корпус для реле РТД; цоколь первого, кожух второго габарита унифицированной системы "Сура"

### 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 R1, R4 и R. Значения сопротивлений должны быть по 1000 Ом (сопротивление R является суммой сопротивлений резисторов R2 и R3).

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

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

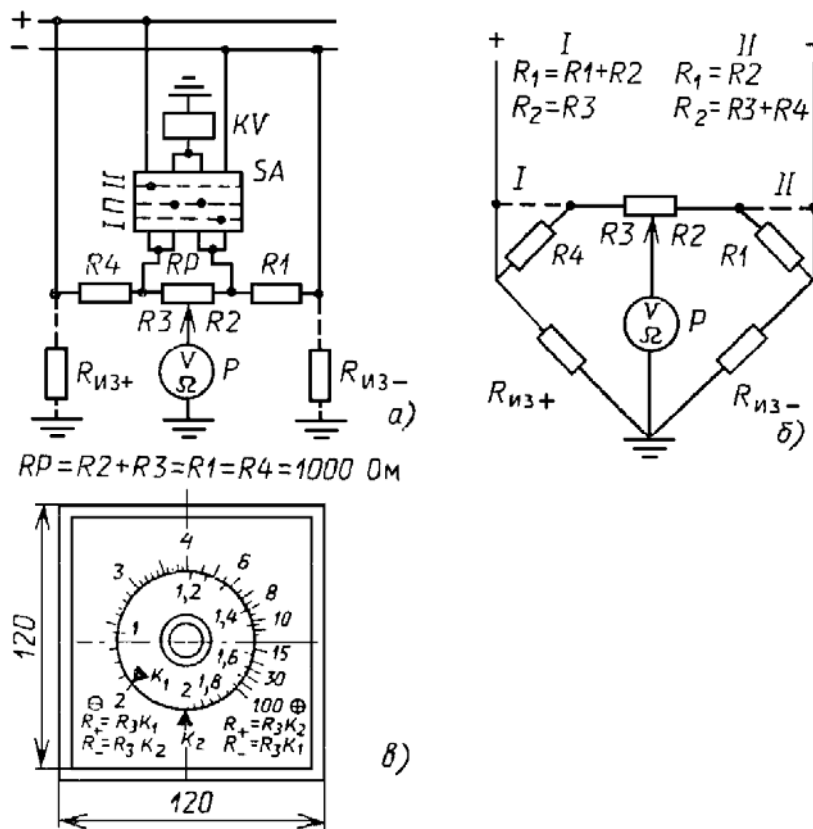


Рис. 2.23. Схема контроля изоляции системы постоянного тока

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  $V\Omega$  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 положение II, тогда прибор  $V\Omega$  показывает сопротивление изоляции системы постоянного тока  $R_3$ . Сопротивление изоляции “+” и на “-“ можно подсчитать и по формулам

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

Аналогичные операции производятся, если ухудшилась изоляция на “-“, только в обратном порядке: сначала устанавливается нулевое положение  $V\Omega$  при положении SA II, а отсчет прибора производится при положении SA I, тогда

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

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 включаются 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 ( $\Phi_{мч} = 45^\circ$  и включенному на ток фазы А и линейное напряжение фаз ВС).

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, подводимый к реле	Напряжение, подводимое к реле	Векторные диаграммы токов и напряжений
------------------------------	------------------------	-------------------------------	--

90-градусная	$\begin{matrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_b \\ \underline{I}_c \end{matrix}$	$\begin{matrix} \underline{U}_{bc} \\ \underline{U}_{ca} \\ \underline{U}_{ab} \end{matrix}$	
30-градусная	$\begin{matrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_b \\ \underline{I}_c \end{matrix}$	$\begin{matrix} \underline{U}_{ac} \\ \underline{U}_{ba} \\ \underline{U}_{cb} \end{matrix}$	
60-градусная с включением на фазные токи	$\begin{matrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_b \\ \underline{I}_c \end{matrix}$	$\begin{matrix} -\underline{U}_c \\ -\underline{U}_b \\ -\underline{U}_a \end{matrix}$	
60-градусная с включением на разность фазных токов	$\begin{matrix} \underline{I}_{ab} \\ \underline{I}_{bc} \\ \underline{I}_{ca} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \underline{U}_{ac} \\ \underline{U}_{ba} \\ \underline{U}_{cb} \end{matrix}$	

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  $I_{an}$ .

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.

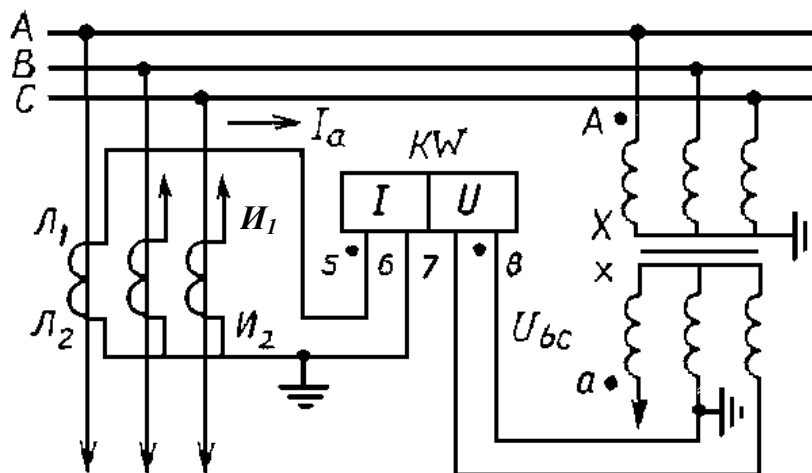




Рис. 3.1. Схема включения реле мощности от междуфазных КЗ

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.

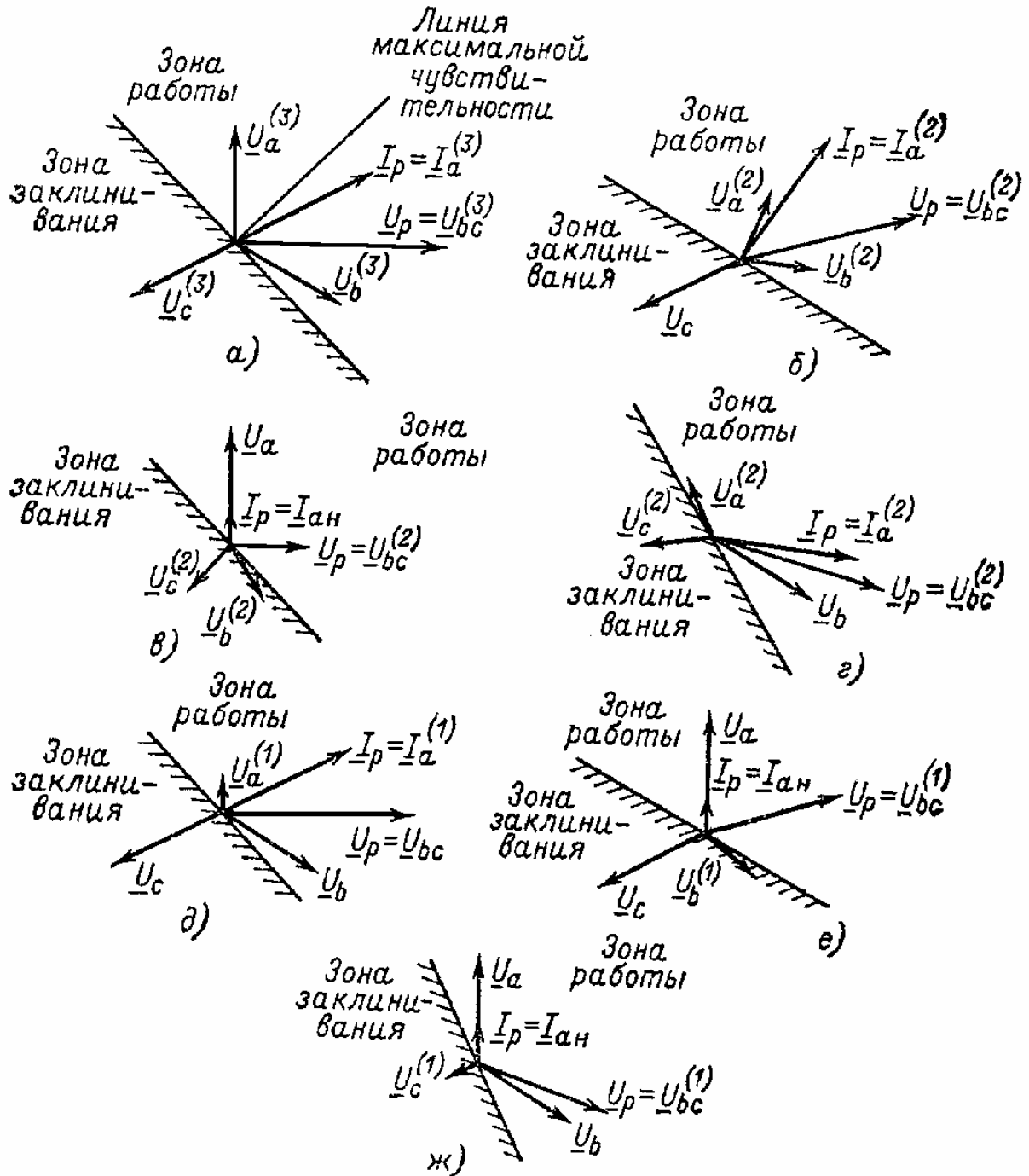


Рис. 3.2. Векторные диаграммы для оценки поведения реле мощности от междуфазных КЗ, включенного по 90-градусной схеме на напряжение  $U_{bc}$  и ток  $I_a$  :

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  $\varphi_{мч} = +70^\circ$  (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 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  $180^\circ$  по отношению к вектору напряжения поврежденной фазы.

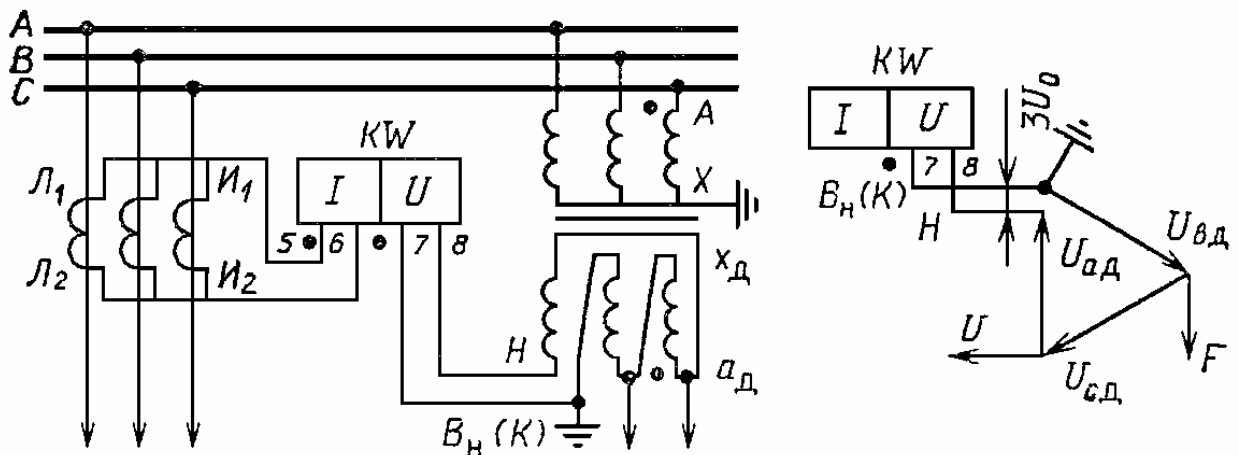


Рис. 3.3. Схема включения реле мощности защиты от замыканий на землю

Из векторных диаграмм, приведенных на рис. 3.4, видно, что при однофазном КЗ в зоне действия защиты угол  $\varphi_p$  между током в поврежденной 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.

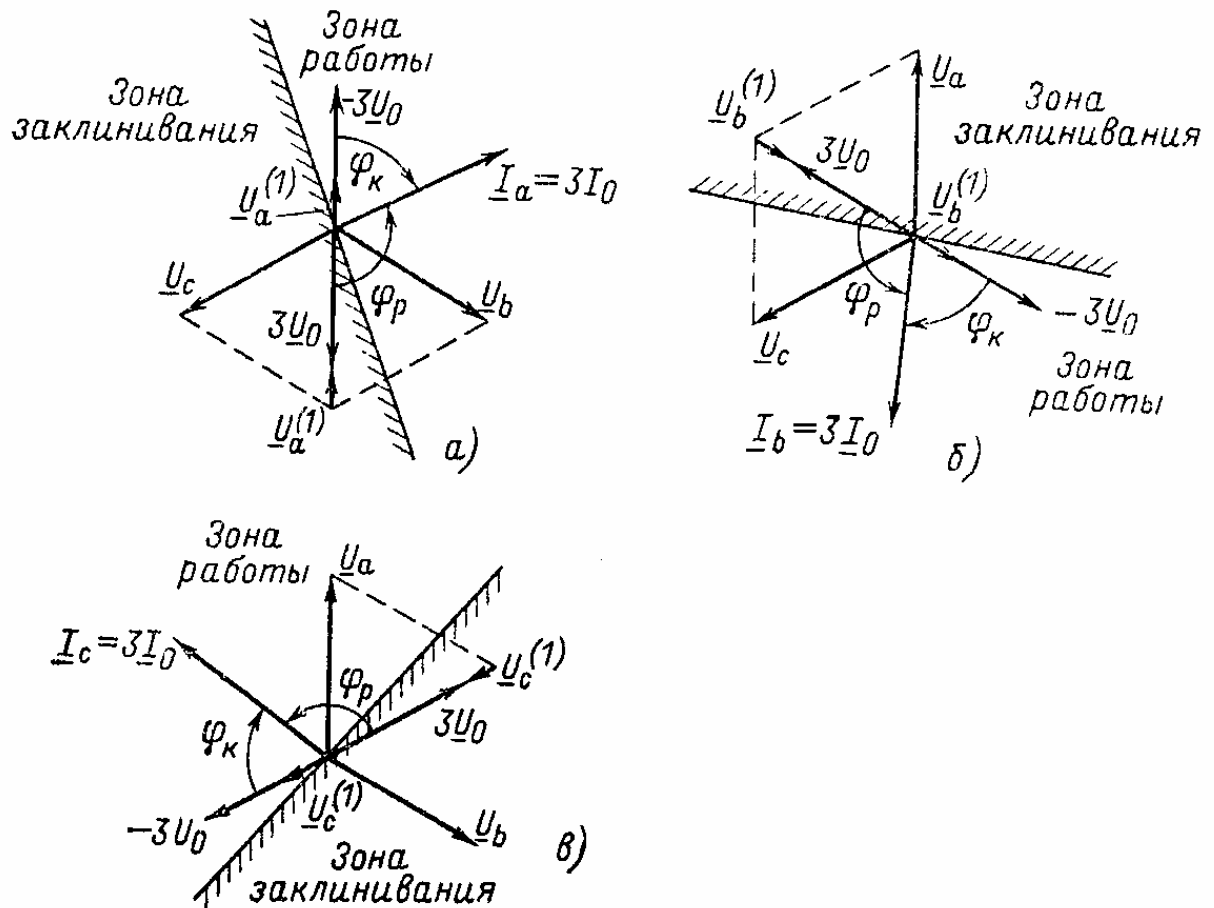


Рис. 3.4. Векторные диаграммы для оценки поведения реле мощности защиты от замыканий на землю, включенного на  $3I_0$  и  $3U_0$  :

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 В<sub>Н</sub> (К).

### 3.3. Конструктивное выполнение устройств МТЗ

Нашедшие широкое применение комплектные 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);

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 испол-

нении - комплект КЗ 17 (рис. 3.11);

трехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности - комплект устанавливается только на панелях типа ЭПЗ 1636, в нем дополнительно установлен блок питания  $\pm 15$  В для нуль-индикаторов реле сопротивления - комплект КЗ 10 (рис. 3.12).

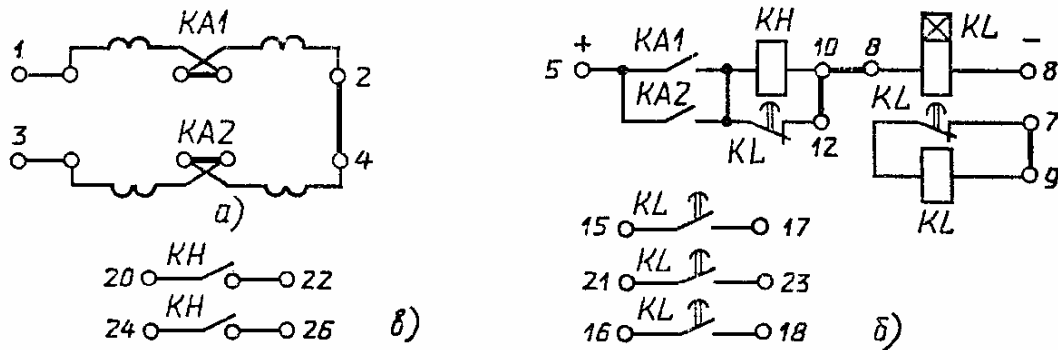


Рис. 3.5. Принципиальная схема комплекта КЗ 9:  
а - цепи переменного тока; б - цепи оперативного постоянного тока; в - цепи сигнализации

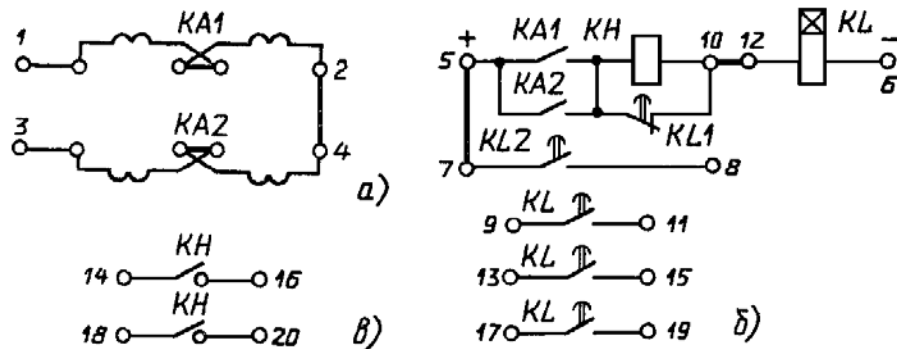


Рис. 3.6. Принципиальная схема комплекта КЗ 9/2:  
а - цепи переменного тока; б - цепи оперативного постоянного тока; в - цепи сигнализации

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

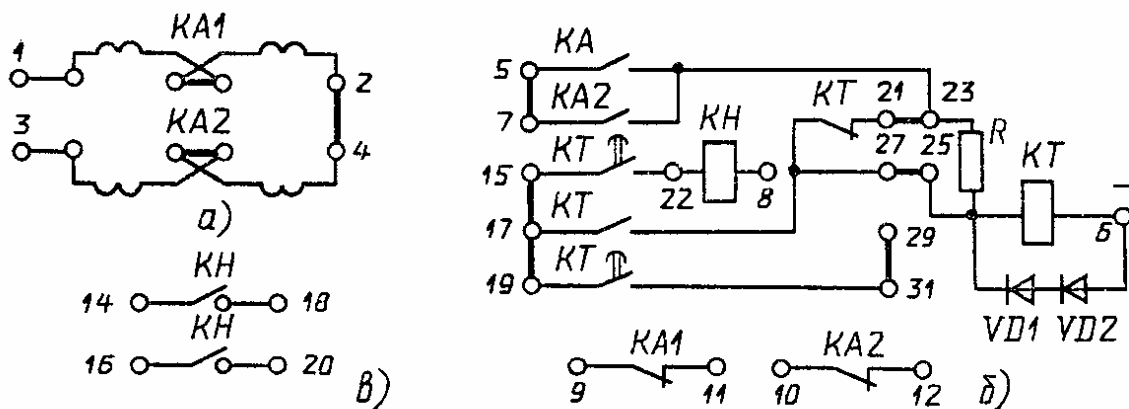


Рис. 3.7. Принципиальная схема комплекта КЗ 12:  
а - цепи переменного тока; б - цепи оперативного постоянного тока; в - цепи сигнализации

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.

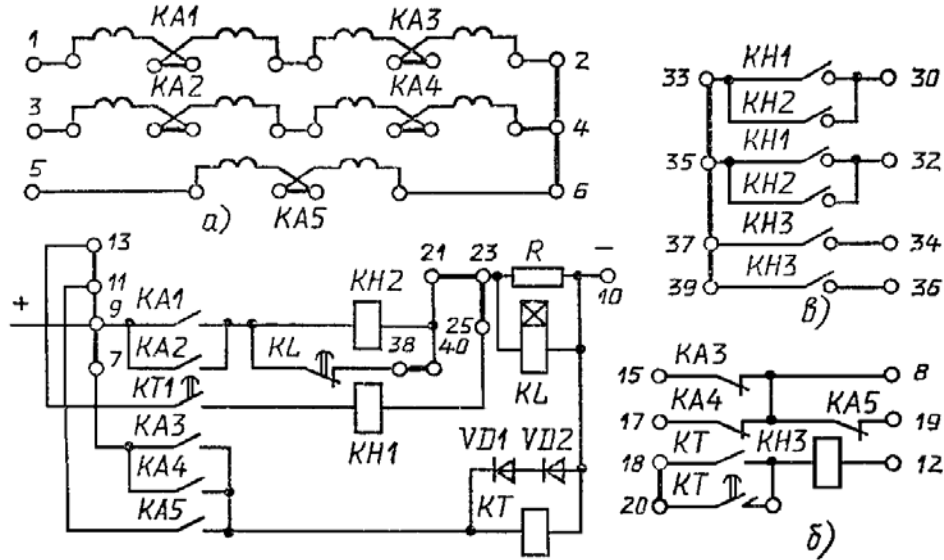


Рис. 3.8. Принципиальная схема комплекта КЗ 13:

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

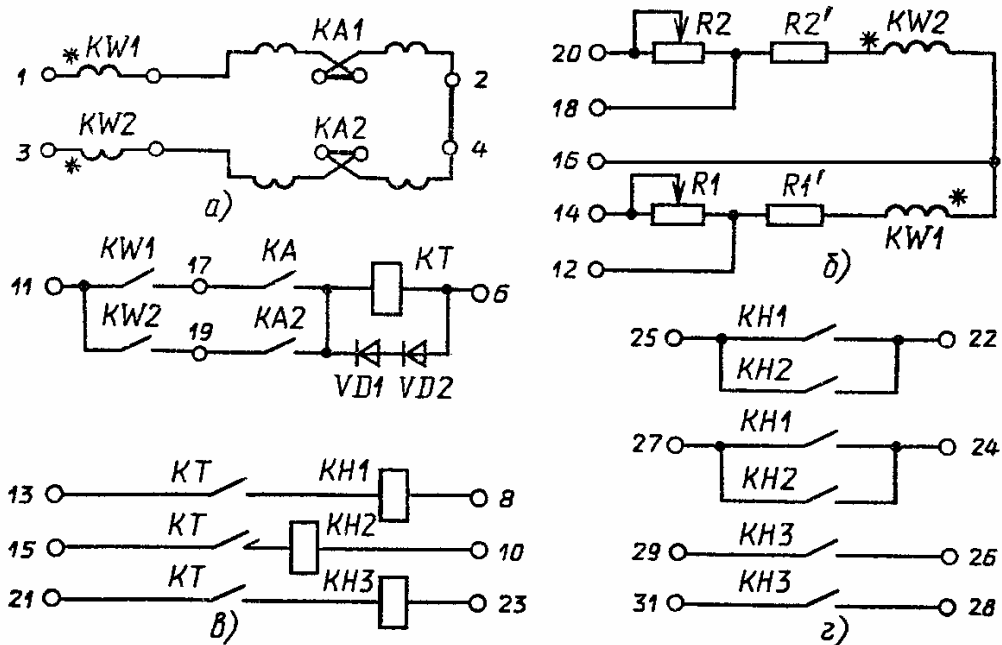


Рис. 3.9. Принципиальная схема комплекта КЗ 14:

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

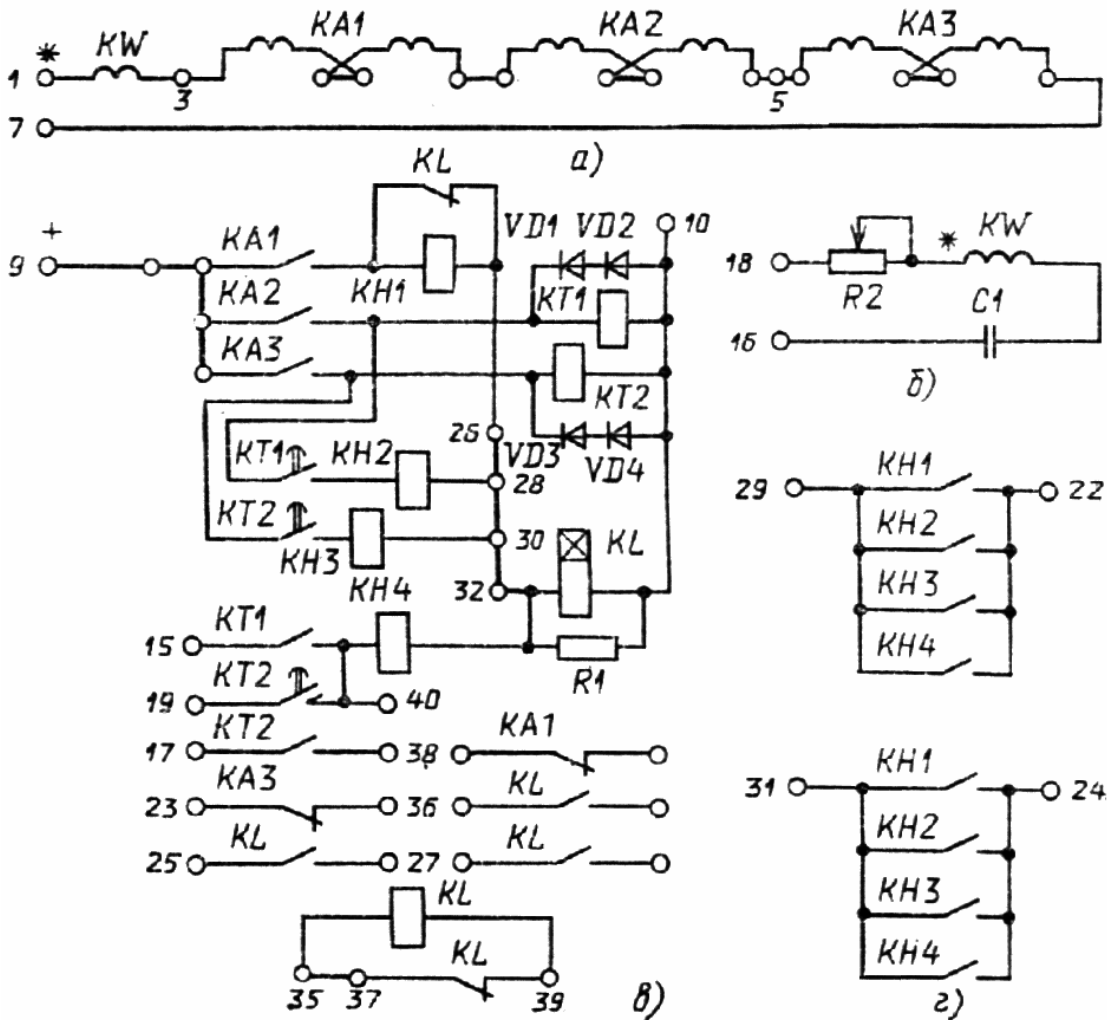


Рис. 3.10. Принципиальная схема комплекта КЗ 15:

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

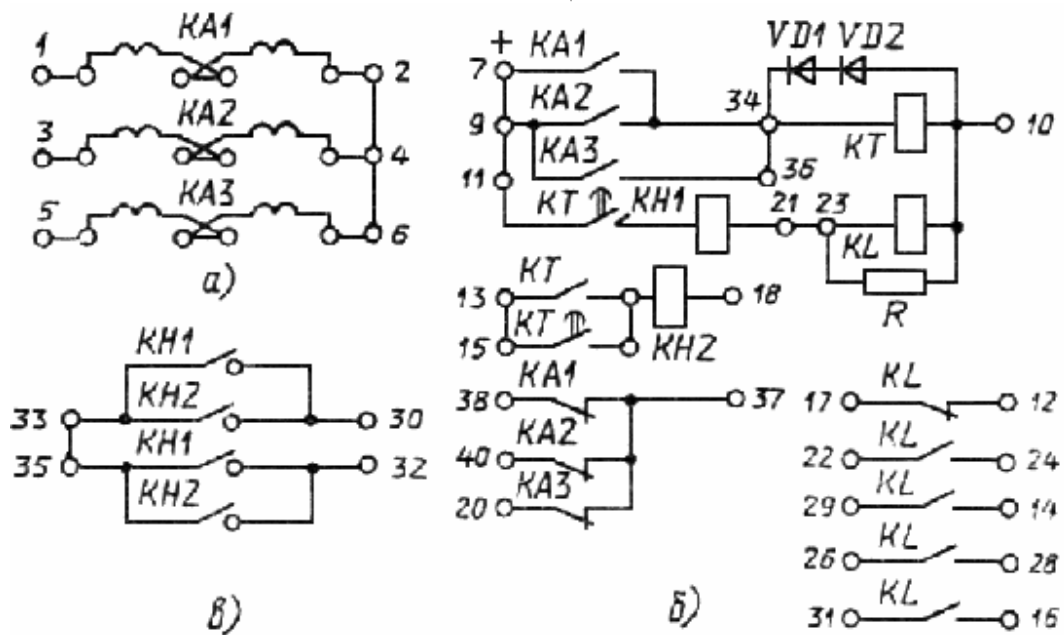


Рис. 3.11. Принципиальная схема комплекта КЗ 17:

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

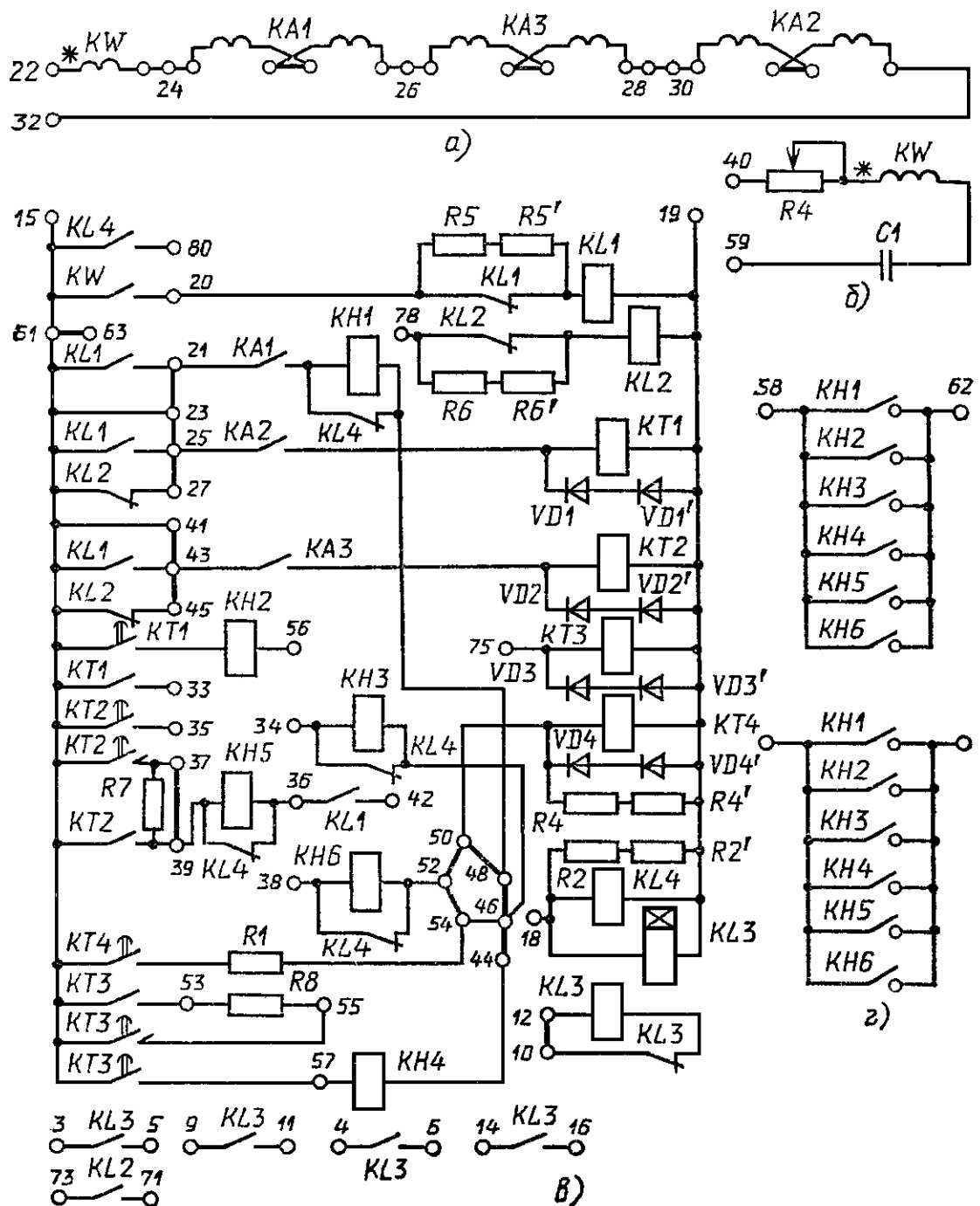


Рис. 3.12. Принципиальная схема комплекта КЗ 10:

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

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 TV на выводы комплекта 16-20 и 16-14  $\varphi_{мч} = -30 \pm 5^\circ$ , а при подключении на выводы 16-18 и 16-12 ( $\varphi_{мч} = -45 \pm 5^\circ$ , 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 напряжение  $3U_0$ , равное 100 В на время не более 1 мин; исполнение Б - если защита рассчитана на длительное вклю-

чение 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 $\Phi_{мч}$ , град.	Минимальная мощность срабатывания при угле $\Phi_{мч}$ , $U_{ном}$ и $I_{ном}$ , В·А
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 КВ и реле тока КА.

Работа четвертой ступени предусмотрена в двух режимах:  
 направленная МТЗ с использованием разрешающего действия КВ;  
 направленная МТЗ с использованием блокирующего действия КВ.

В обоих случаях функции разрешающие и блокирующие выполняет одно реле КВ, но при различных схемах подключения обмотки напряжения к цепям  $3U_0$ . Реле КВ 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 КВ используется как разрешающее, перемычка ряда зажимов панели 53-54 установлена, 54-55 - снята; если КВ используется как блокирующее, перемычка 54-55 установлена, 53-54 - снята. При стандартной схеме подключения цепей напряжения, указанной на рис. 3.3, реле КВ выполняет разрешающее действие, так как работает при КЗ в зоне действия защиты. При срабатывании КВ работает быстроедействующее промежуточное реле-повторитель КЛ, через замыкающие контакты реле КЛ и КА работает реле времени КТ, действующее с выдержкой времени на выходное реле КЛ1.

При подключении цепей напряжения с обратной полярностью (рис. 3.14) реле КВ выполняет блокирующее действие, так как работает при КЗ вне зоны действия защиты "за спиной", у реле на  $180^\circ$  изменяется зона срабатывания, угол максимальной чувствительности становится равным ( $\Phi_{мч} = +70^\circ + 180^\circ = 250^\circ$ ). Использование блокирующих функций реле позволяет значительно повысить чувствительность защиты и обеспечить направленность ее действия при удаленных КЗ, когда реле мощности не работает. При разомкнутом контакте реле КВ реле КЛ находится в обесточенном состоянии, поэтому при установленной перемычке 54-55 для срабатывания защиты достаточно сработать только пусковому реле КА, так как размыкающий контакт КЛ замкнут.

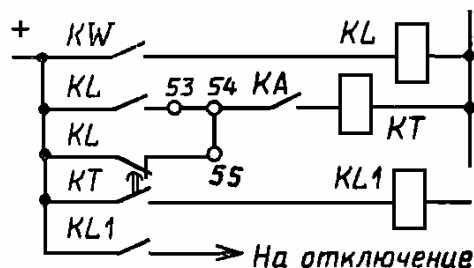


Рис. 3.13. Выполнение оперативных цепей четвертой ступени МТЗ от замыканий на землю панелей ЭПЗ-1636



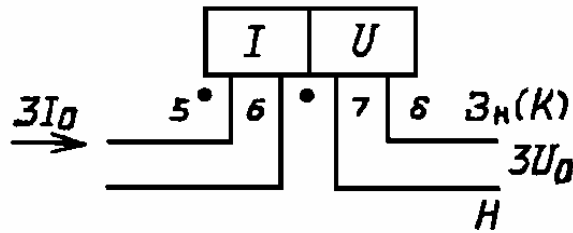


Рис. 3.14. Схема включения блокирующего реле мощности с обратной полярностью

**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
КА1	1РТ (РТ1)	KL	РП	КН	РУ
КА2	2РТ (РТ2)	KL1	(РП1)	КН1	1РУ (РУ1)
КА3	3РТ (РТ3)	KL2	(РП2)	КН2	2РУ (РУ2)
КА4	4РТ	KL3	(РП3)	КН3	3РУ (РУ3)
КА5	5РТ	KL4	(РП4)	КН4	4РУ (РУ4)
KW	PM	KT	PB	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.

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 КА, т. е. ток срабатывания реле КА 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:

- коэффициенты трансформации и схемы соединения трансформаторов тока и напряжения;
- токи срабатывания и время действия каждой ступени защиты;
- 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 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 является из-за несимметрии магнитной системы реле и создает момент на подвижном его контакте на срабатывание или заклинивание.

В защитах от междуфазных 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 поданном 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 поданном 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  $\varphi_{мч} + 180^\circ$ . 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 фазу 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. 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,  $\varphi_n$  - угол между током и напряжением нагрузки. Для защиты от междуфазных КЗ используются реле РМБ-171, включенные по 90-градусной схеме на напряжение  $U_{bc}$  и ток  $I_a$  при  $\varphi_{мч} = -45^\circ$ . Анализируя данный режим, заключаем: при напряжении  $U_{bc} = 100$  В и пропуске 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  $I_b$ .

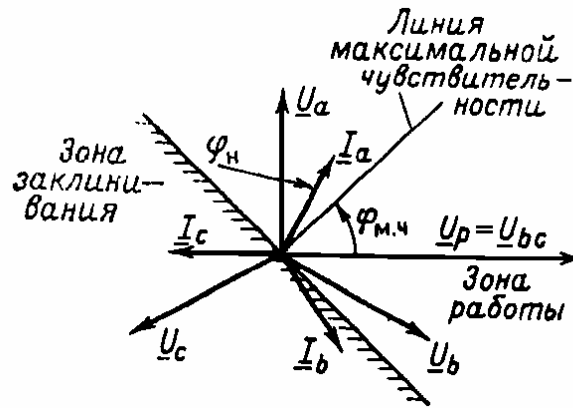


Рис. 3.15. Векторная диаграмма нагрузочного режима с зонами срабатывания и заклинивания реле мощности от междуфазных КЗ, включенного по 90-градусной схеме на  $U_{bc}$  и  $I_a$ ,  $\varphi_{м.ч} = -45^\circ$

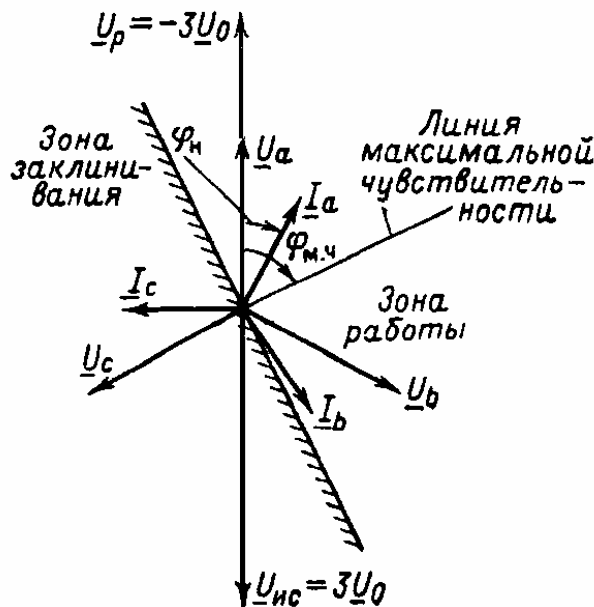


Рис. 3.16. Векторная диаграмма нагрузочного режима с зонами срабатывания и заклинивания реле мощности от замыканий на землю, включенного по схеме рис. 3.3

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  $B_n$  (К) и  $U$  разомкнутого треугольника трансформаторов напряжения  $U_{исп} = 3U_0 = 100$  В, которое находится в противофазе с  $U_a$ . С этим напряжением реле при пропускании тока  $I_a$  имеет момент на срабатывание, при пропускании тока  $I_c$  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, а, 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  $180^\circ$ .

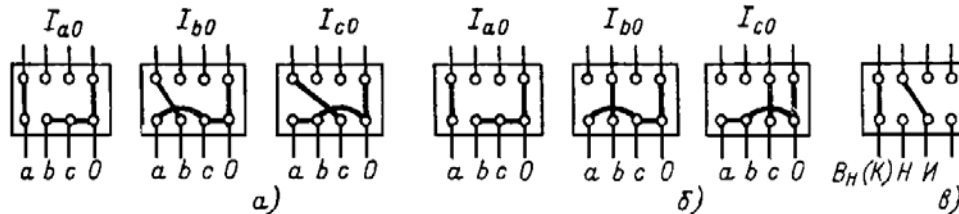


Рис. 3.17. Схемы испытательных блоков токов и напряжения для проверки реле мощности под нагрузкой: а - токовые блоки для проверки защит от междуфазных КЗ, реле включено в фазу А; б - токовые блоки для проверки защит от замыканий на землю; в - блок для подачи напряжения на защиту от замыканий на землю

#### 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:

$$I_p = I_{1B} + I_{2B}.$$

При нормальной работе, качаниях и внешних КЗ (точка К1) первичные токи  $I_{1п}$  и  $I_{2п}$  равны и сдвинуты по фазе на  $180^\circ$ , 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 не одинаковы 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 приближенно принять, что вторичный ток  $I_{1B}$  полностью протекает через исполнительный орган, так как сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока с  $I_{2п} = 0$ , определяемое сопротивлением ветви намагничивания, очень велико, т. е.  $I_p = I_{1B}$ .

Продольная дифференциальная защита генератора обычно выполняется 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  $I_{нб}$ , обусловленных разными потенциалами двух мест заземления при КЗ на землю в пределах станции и ЭДС, наводимыми в петле вспомогательные провода - заземляющий контур.

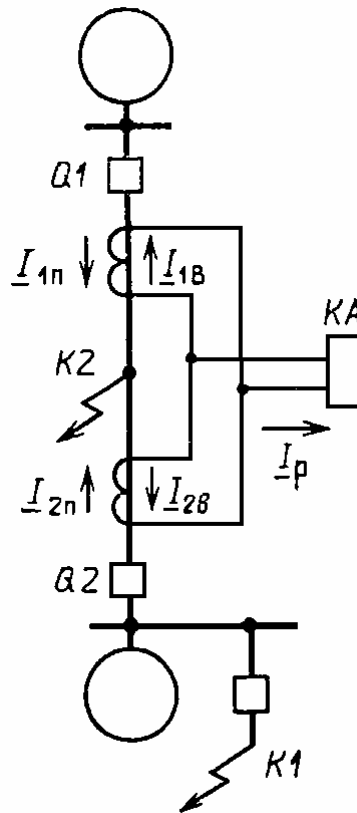


Рис. 4.1. Однолинейная схема дифференциальной токовой защиты

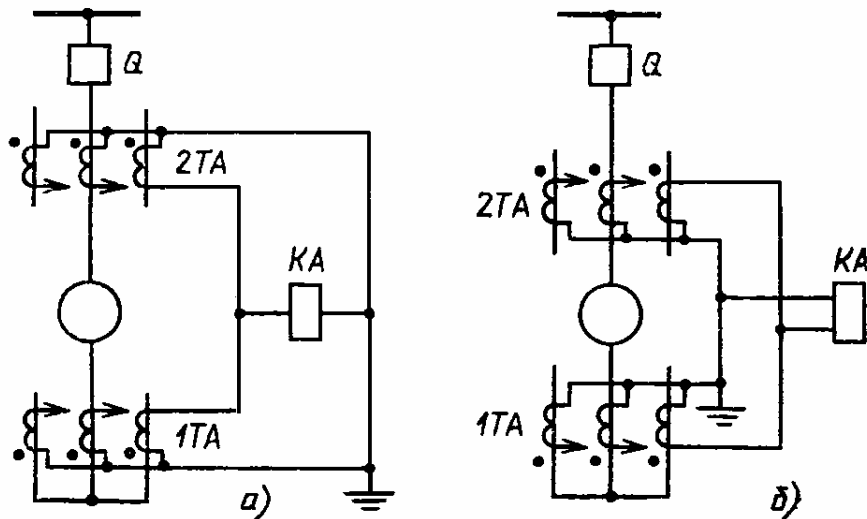


Рис. 4.2. Принципиальная схема продольной дифференциальной токовой защиты генератора:  
а - соединение трансформаторов тока с обратной полярностью; б - соединение трансформаторов тока с прямой полярностью

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 устраняется 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 соединении 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.

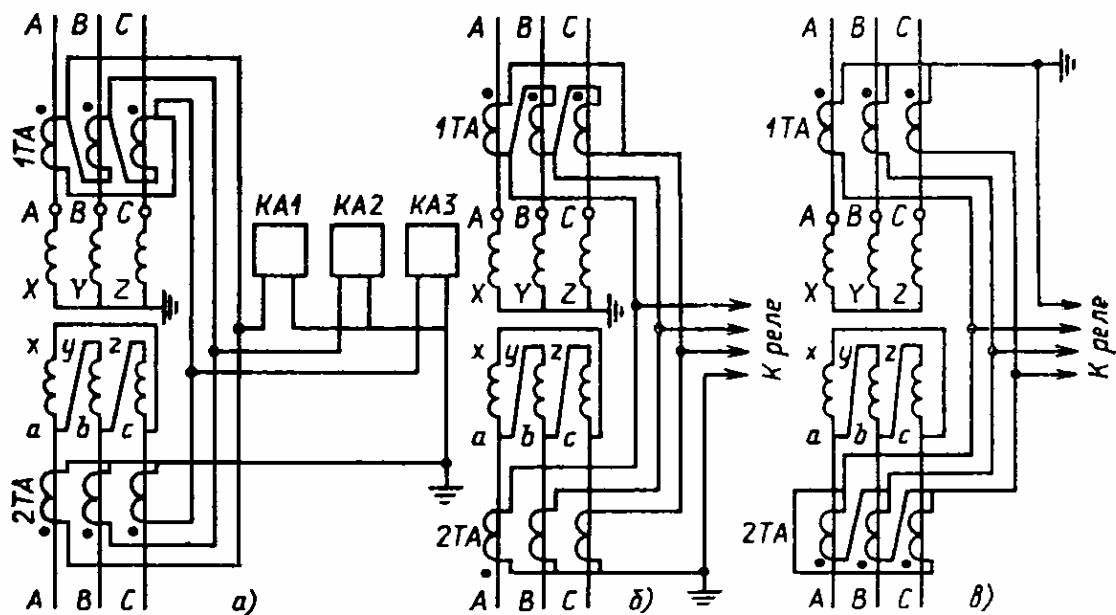


Рис. 4.3. Принципиальная схема продольной дифференциальной токовой защиты трансформатора с соединением обмоток в группу У/Д-11:

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

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

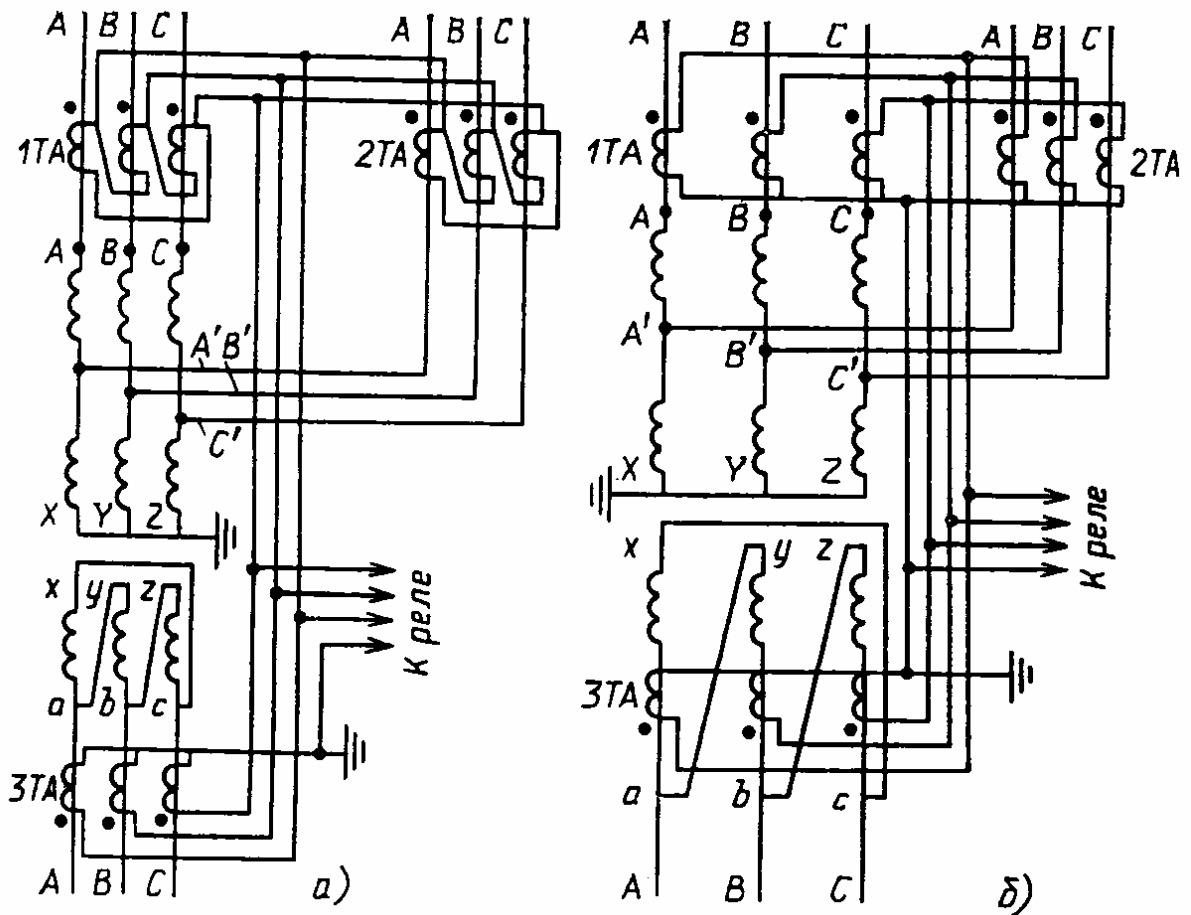


Рис. 4.4. Принципиальная схема продольной дифференциальной токовой защиты автотрансформатора с соединением обмоток У/У/Д-11:

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

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 или встроенные в реле промежуточные трансформаторы. На рис. 4.5 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.



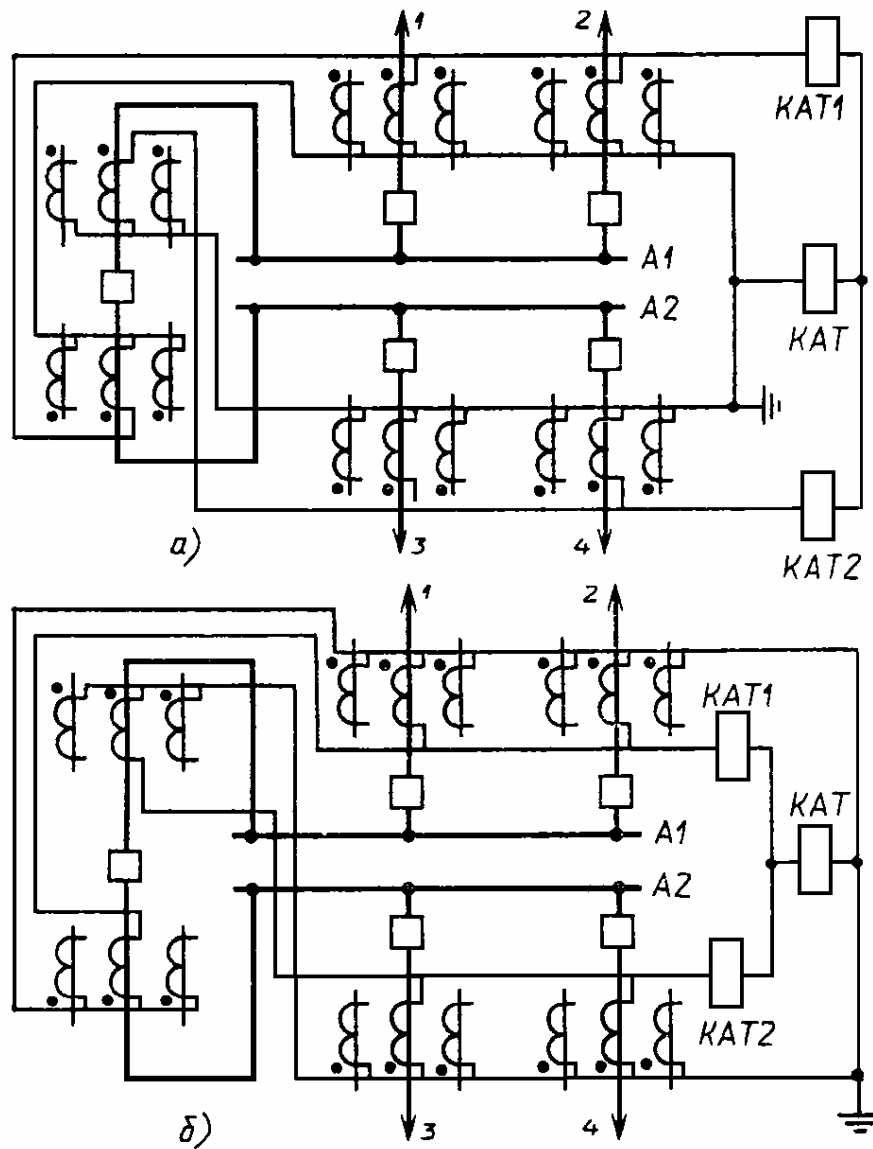


Рис. 4.5. Принципиальная схема дифференциальной защиты шин:

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

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

**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 РЗЗ	-	-	+	-
Вольтметр ВЗ-38 (ВЗ-39, ВЗ-48 и др.)	-	-	+	-
Вольтметр Э515/3 (Э533)	-	-	-	+
Усилительная приставка к ВАФ-85	+	+	+	+

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;
- 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 запрещается, 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 § 2.2 со следующими дополнениями:

- зазоры между полкой якоря и полюсами магнитопровода (при втянутом положении якоря) должны быть одинаковыми и равными 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.

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 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 апериодических 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 ок-

ругляют 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 от 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 от 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.

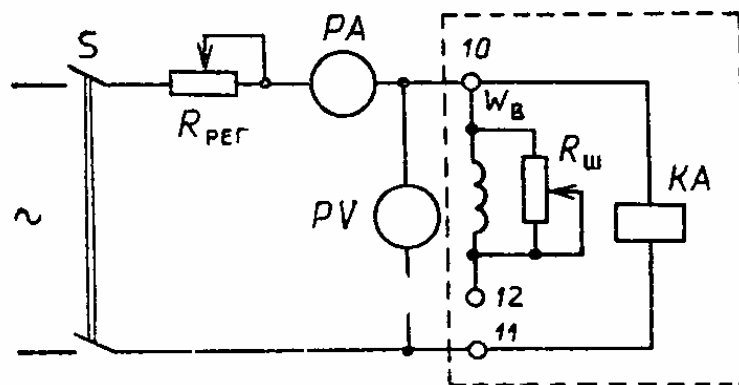


Рис. 4.6. Схема проверки исполнительного органа реле серии РНТ и ДЗТ-11

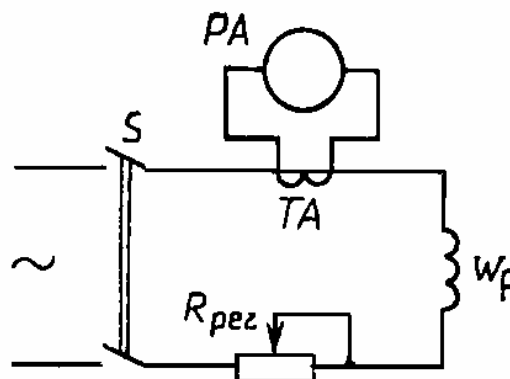


Рис. 4.7. Схема проверки реле РНТ и ДЗТ-11

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 короткозамкну-

той обмотке выставляется заданное значение сопротивления  $R_{\kappa}$ . 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  $100 \pm 5$  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  $1,05 I_{ср}$  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)\*. При первичном токе, соответствующем  $F_{ср} = 100$  А, отсутствие тока в обмотках укажет на их неправильное включение.

\* Здесь и далее обозначения выводов и разъемов реле указаны в соответствии с заводской документацией и не всегда приведены на рисунках.

Проверка коэффициента надежности. Коэффициент надежности определяется по току в исполнительном органе без нарушения его уставки. 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  $F_{ср}$ ,  $2F_{ср}$  и  $5F_{ср}$ . Отношение токов исполнительного реле при  $2F_{ср}$  и  $5F_{ср}$  к току при  $F_{ср}$  и будет коэффициентом надежности при данной кратности:

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

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

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 равной 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  $U_p = f(F_{п})$  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 нормам  $k_{н2}$  и  $k_{н5}$ , 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  $R_{вн} \geq 2000$  Ом. Снимается зависимость вторичного напряжения  $U_p$  от МДС  $F_{п}$  при кратностях  $F_{п} / F_{ср}$ , равных 0,5; 1; 2; 3; 5. Характеристика снимается при разомкнутой и при замкнутой на заданное сопротивление короткозамкнутой обмотке (при изменении  $R_{\kappa}$  от минимальной до максимальной величины характеристика изменяется незначительно). На рис. 4.8 показана область изменения 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  $\varepsilon = f(K)$  снимается при необходимости точной оценки заглубления реле от аperiodической составляющей при заданном  $R_k$ . Характеристика позволяет судить об отстройке от бросков тока с аperiodической 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  $\varepsilon = f(K)$  и сравнивается с заводской (рис. 4.10).

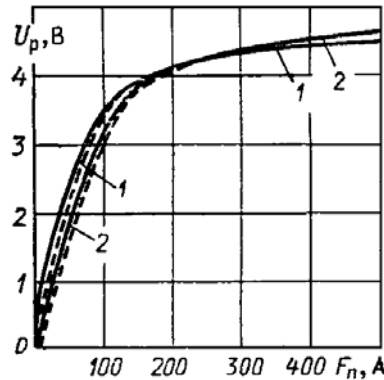


Рис. 4.8. Характеристика намагничивания  $U_p = f(F_n)$  насыщающихся трансформаторов тока реле серии РНТ:

1 - К3 обмотка разомкнута; 2 - К3 обмотка замкнута на  $R_k$

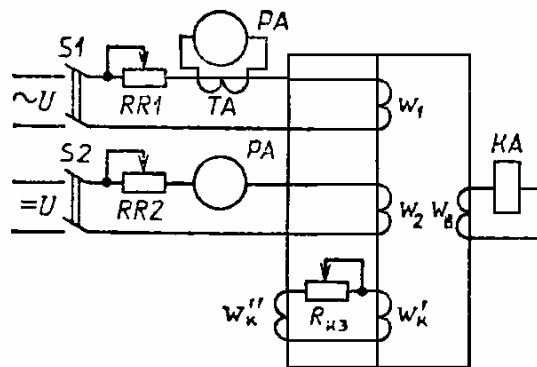


Рис. 4.9. Схема для снятия характеристики  $\varepsilon = f(K)$

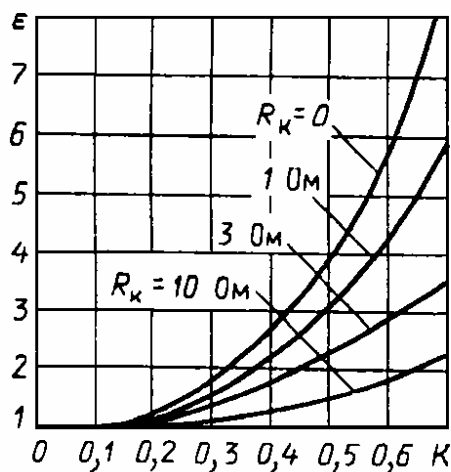


Рис. 4.10. Характеристика отстройки реле серии РНТ от бросков тока с аperiodической составляющей

### 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 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.

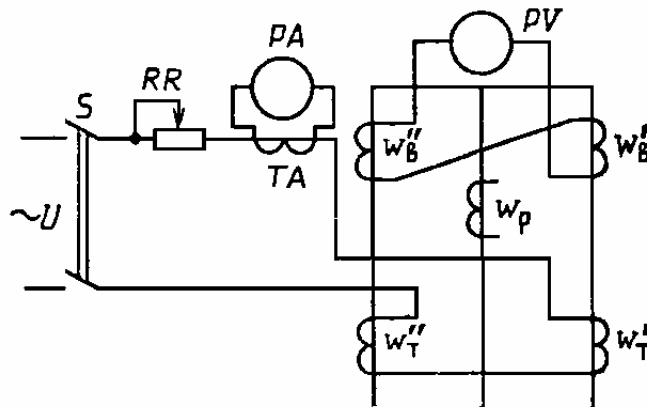


Рис. 4.11. Схема проверки отсутствия взаимной индукции между тормозной и вторичной обмотками

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 наличии 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:  $\omega_T/\omega_p \leq 0,25$ . 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  $180^\circ$ . 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.

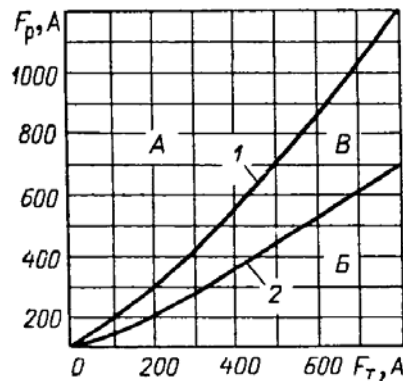


Рис. 4.12. Тормозные характеристики реле серии ДЗТ-11:

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

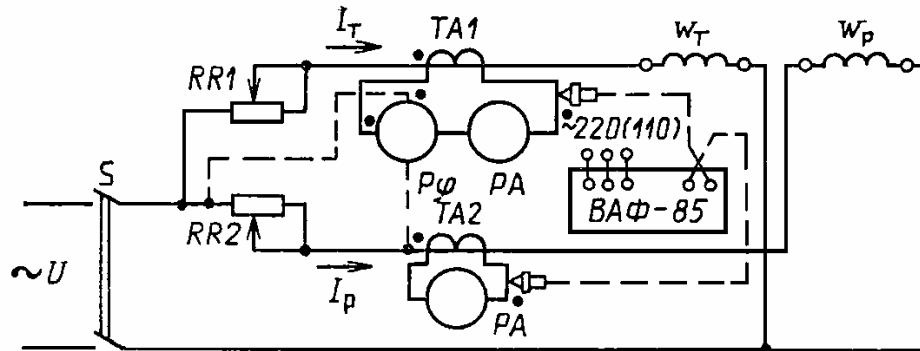


Рис. 4.13. Схема для проверки тормозных характеристик реле серии ДЗТ-11 при угле между токами  $I_P$  и  $I_T$ , равном нулю

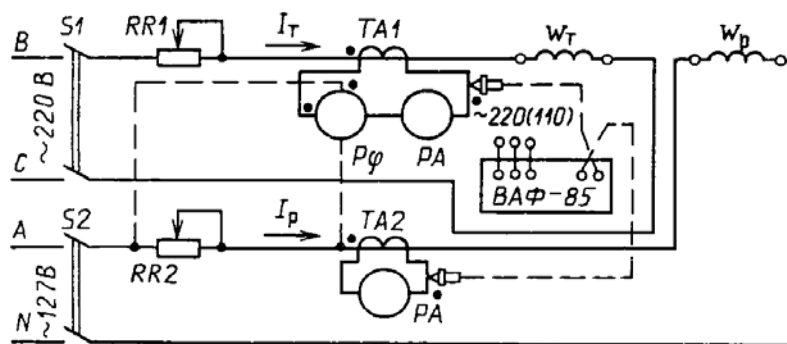


Рис. 4.14. Схема для проверки тормозных характеристик реле серии ДЗТ-11 при угле между токами  $I_P$  и  $I_T$ , равном  $90^\circ$

Проверка минимального эффекта торможения производится при угле между рабочим и тормозным токами, равном 90-120°. 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°, 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 перемычку 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 удается 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 напряжение 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 соединяется 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 диоду VD6.1. Значение напряжений при номинальном напряжении питания между гнездами X2/2а-X2/1а и X2/2а-X2/3а 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-X1/0а и X1/9в-X1/9с.

Искрогасительные контуры проверяются следующим образом. При разомкнутом переключателе SX от регулируемого источника постоянного тока на гнезда разъема X1/9а-X1/0а (X1/9а-X1/8а, X1/9а-X1/4в, X1/9а-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.

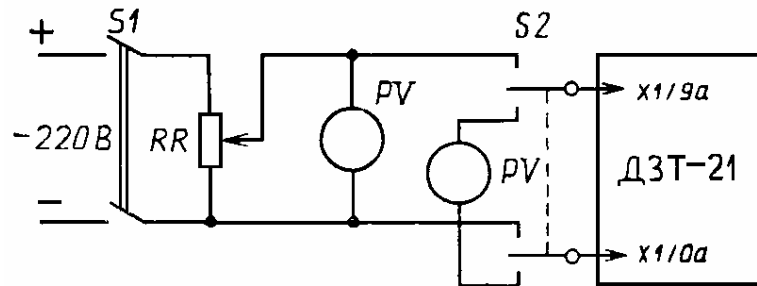


Рис. 4.15. Схема проверки искрогасительного контура выходных цепей МПУ защиты ДЗТ-21 (ДЗТ-23)

При проверке реле KL1 (KL1, KL2, KL3 для ДЗТ-23) напряжение от регулируемого источника постоянного тока подается на гнезда разъема X1/2а-X1/4а (X1/4а-X1/1а, X1/1в-X1/1а, X1/2в-X1/1а 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 X1/9а-X1/0а (X1/9а-X1/8а, 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 X1/0а-X1/9с (X1/8а-X1/9с, X1/4в-X1/9с, X1/5в-X1/9с 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 X1/1с-X1/2с, как среднее из трех-пяти измерений.

Проверка усилителей заключается в измерении напряжений на зажимах платы усилителя в нормальном режиме, когда отсутствует 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  $R_{вн} \geq 10$  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 режима срабатывания усилителя можно достичь замыканием через резистор 10 кОм гнезд X4/1а-X4/4а МРЗД при вынутах из разъема реагирующем органе Э1.

**Таблица 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)	0-0,2
	4-1 (1-2)	12,4-13,5
	11-4 (8-1)	4,8-6,5
	4-8 (5-2; 4-2; 3-2)	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.		

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 ТА1-ТА3 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 ТАУ; проверка промежуточных трансформаторов ТА1 и ТА2; 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 ТАУ. 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  $\omega_2$  и  $\omega_3$  должны быть в пределах 6,8-7,6 В и 16,7-18 В соответственно. Отношение напряжений на обмотках  $\omega_3$  и  $\omega_2$  должно с точностью до 10 % соответствовать выражению  $U_{\omega_3}/U_{\omega_2} = 2,5$ .

Значения измеренных напряжений на обмотках  $\omega_2$  и  $\omega_3$  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 ТА1, ТА2 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 L 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  $U_L = 17,5 \div 20,5$  В, а на частоте  $f=50$  Гц  $U_L = 0 \div 3$  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.

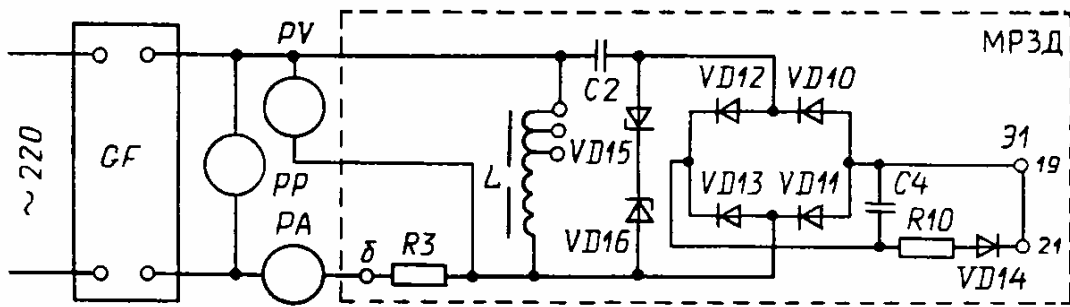


Рис. 4.16. Схема проверки фильтра 2-й гармоники

Проверка реагирующего органа Э1 производится в полной схеме защиты. На зажимы 9 и 10 колодки П1 подается номинальное напряжение оперативного тока. Вход осциллографа подключается к контрольной точке 15 реагирующего органа и к контрольному разъему X4/2a. Входной зажим осциллографа, соединенный с корпусом прибора, должен обязательно подключаться к гнезду X4/2a. От регулируемого источника на зажимы разъема X3/1 и X3/6 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 KL2 (KL4 для ДЗТ-23). Отношение длительности паузы  $t_n$  и импульса  $t_u$  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

$$t_B = t_{Э1} - t_{МПУ},$$

где  $t_{МПУ} = t_{KL1} + t_{KL2(KL4)}$ .

Для измерения  $t_{Э1}$  необходимо выводы переключателя “Пуск” миллисекундомера подключить к гнездам X4/3a и X4/2b проверяемого МРЗД, а выводы “Контакты” - к гнездам X1/1c и X1/2c. Уставка  $t_B$  должна находиться в пределах 21-23,5 мс. Регулирование выдержки времени элемента В производится подбором резистора R12. При исправном реагирующем органе требуемое значение сопротивления R12 находится в пределах 24-30 кОм.

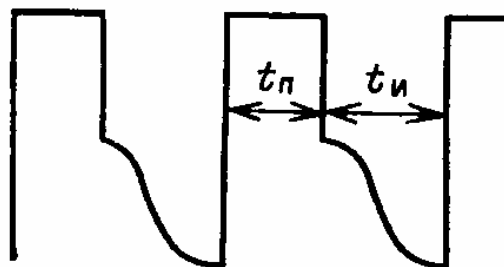


Рис. 4.17. Осциллограмма выходного сигнала РФ в момент срабатывания защиты

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 АА подключается со стороны трансформаторов тока одного из плеч дифференциальной защиты.

Плавным увеличением тока определяется срабатывание чувствительного органа реле при максимальной (крайнее левое положение регулятора  $I_{cp}^*$ ) и минимальной (крайнее правое положение регулятора  $I_{cp}^*$ ) чувствительности. Срабатывание чувствительного органа контролируется по срабатыванию выходного реле KL2 (KL4). Минимальный ток срабатывания чувствительного органа должен быть не более 0,3

$I_{\text{НОМ.ОТВ}}$ , а максимальный - не менее  $0,7 I_{\text{НОМ.ОТВ}}$ . 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

$$I_{\text{ср}}^* = \frac{I_{\text{ср}}}{n_{\text{AT}} I_{\text{НОМ.ОТВ}}}$$

Регулирование заданного тока срабатывания чувствительного органа осуществляется регулятором  $I_{\text{ср}}^*$ , предварительно устанавливаемым в крайнее правое положение. От источника тока подается ток, равный заданному току срабатывания защиты в проверяемом плече. Вращением ручки регулятора  $I_{\text{ср}}^*$  против часовой стрелки достигается срабатывание реле. Положение регулятора  $I_{\text{ср}}^*$  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  $R_{\text{вн}} \geq 10 \text{ кОм}$ , 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 а-б и б-в (см. заводскую схему реле ДЗТ-21). Для вывода из работы чувствительного органа гнезда X4/2а и X4/4а проверяемого МРЗД необходимо соединить временной перемычкой. Плавным изменением тока на входе защиты определяется ток срабатывания и возврата отсечки. При установке переключателя SX2 в положение а-б  $I_{\text{ср.отс}} \leq 6 I_{\text{НОМ.ОТВ}}$ , а в положение б-в  $I_{\text{ср.отс}} = 9 I_{\text{НОМ.ОТВ}}$ . 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 зажимам 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 сопротивлений, 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.

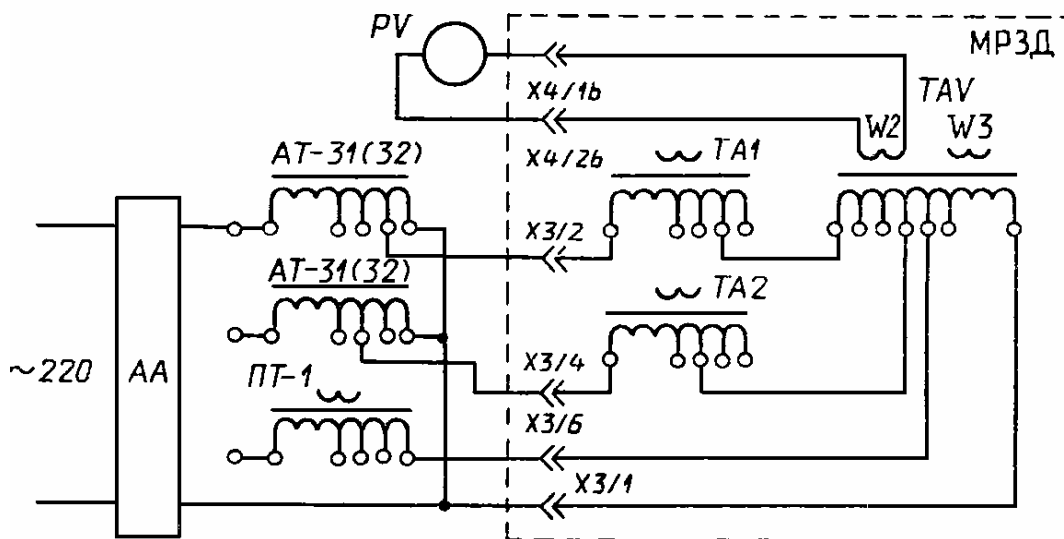


Рис. 4.18. Схема проверки токов срабатывания МРЗД

Проверяется время срабатывания отсечки при  $I=2I_{\text{ср.отс}}$  на рабочей уставке. Миллисекундомер подключается к контактам выходного реле KL2 (KL4) на гнезда X1/1с и X1/2с. 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 ( $I_{\text{ном.отвТА1}} = I_{\text{ном.отвТА2}} = 5$  А). Рабочий ток подается на гнезда X3/1-X3/6, тормозной ток - на гнезда X3/2-X3/4. Коэффициент торможения проверяется при поочередной установке регулятора “ $k_T$ ” (резистор R12) в крайние положения. Переключатель SX3 устанавливается в положение а-б, 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

$$I_T^* = \frac{0,5I_T}{I_{\text{номТА1}}} + \frac{0,5I_T}{I_{\text{номТА2}}}.$$

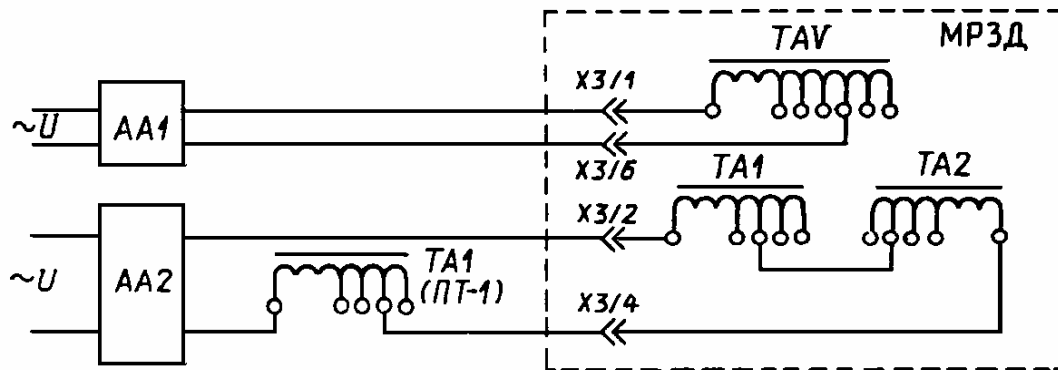


Рис. 4.19. Схема проверки тормозных характеристик МРЗД

При поданном на защиту напряжении оперативного тока измеряется ток в рабочей цепи, соответствующий срабатыванию выходного реле защиты. Коэффициент торможения подсчитывается по формуле

$$k_T = \Delta I_{\text{ср}}^* / \Delta \sum I_T^*,$$

$$\text{где } \Delta I_{\text{ср}}^* = (I_{\text{ср}25} - I_{\text{ср}15}) / I_{\text{ном.отв}} = \Delta I_{\text{ср}} / 5;$$

$$\Delta \sum I_T^* = \frac{\Delta I_T}{2} \left( \frac{1}{I_{\text{номТА1}}} + \frac{1}{I_{\text{номТА2}}} \right) = \frac{25-15}{2} \left( \frac{1}{5} + \frac{1}{5} \right) = 2.$$

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 регулирование (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

$$I_{\text{ср}}^* = I_{\text{ср}0}^* + k_T (I_T^* - I_{T0}^*),$$

где  $I_{\text{ср}}^*$  - относительный ток срабатывания реле при наличии торможения;  $I_{\text{ср}0}^*$  - относительный ток срабатывания реле при отсутствии торможения (см. проверку чувствительного органа реле);  $I_{T0}^*$  - горизонтальный участок тормозной характеристики (переключатель SX3 - в положении а-б,  $I_{T0}^* = 1$ ; SX3 - в положении б-в,  $I_{T0}^* = 0,6$ ).

Фактический ток срабатывания равен

$$I_{\text{ср}} = I_{\text{ном.отв}} I_{\text{ср}}^* = I_{\text{ном.отв}} \left[ I_{\text{ср}0}^* + k_T (I_T^* - I_{T0}^*) \right] = 5 \left[ I_{\text{ср}0}^* + k_T (5 - I_{T0}^*) \right].$$

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 ТА1, ТА2 и приставки дополнительного торможения ПТ-1, если приставка используется. Рабочий ток подается на рабочее ответвление трансреактора ТАУ. Переключатель SX3 устанавливается в заданное положение. Тормозные характеристики снимаются при относительных значениях тормозных токов 0;  $I_{T0}^*$ ; 2; 3; 4; 5, где  $I_{T0}^*$  - относительная величина тока начала торможения.

Значение тормозного тока подсчитывается по формуле

$$I_T = \frac{\sum I_T^*}{0,5 \left( \frac{1}{I_{\text{том.отв ТА1}}} + \frac{1}{I_{\text{том.отв ТА2}}} + \frac{1}{I_{\text{том.отв ПТ-1}}} \right)}$$

Проверяется ток срабатывания реле и определяется коэффициент торможения при  $\Sigma I_T^* = 4$  и  $\Sigma I_T^* = 5$ :

$$k_T = \Delta I_{cp}^* / \Delta \Sigma I_T^* = \Delta I_{cp}^*(5-4),$$

где  $I_{cp}^* = I_{cp} / I_{\text{ном.отв ТАУ}}$ .

По полученным данным строится характеристика торможения  $I_{cp}^* = f(\Sigma I_T^*)$  и определяется длина горизонтального участка характеристики  $I_{T0}^*$  как расстояние до точки пересечения горизонтального и наклонного прямолинейных участков характеристики при их продолжении. Длина горизонтального участка характеристики должна быть равна

$$I_{T0}^* = (0,75 \div 1,15) I_{T0уст}^*,$$

где  $I_{T0уст}^*$  - 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.

**Таблица 4.3. Проверка реагирующего органа**

Режим работы	Контрольные строчки	Напряжение, В
Нормальный	X4/1a-X4/2a	- (12,4 ÷ 13,5)
	X4/3a-X4/2a	4,8-6,5
	15-X4/2a	- (0 ÷ 0,2)
	7-X4/2a	- (0 ÷ 0,2)
	X4/4a-X4/2a	- (0 ÷ 0,2)
Срабатывание	X4/1a-X4/2a	- (12,4 ÷ 13,5)
	X4/3a-X4/2a	4,8-6,5
	15-X4/2a	- (8,5 ÷ 13,5)
	7-X4/2a	- (10,5 ÷ 13,5)
	X4/4a-X4/2a	- (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 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, быстродействие, относительно малое потребление мощности, возможность повышения чувствительности без применения дополнительных реле при опробовании и АПВ шин. Наличие промежуточных трансформаторов тока с регулируемым коэффициентом 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  $85 \pm 3$  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 ТАЛ. Измеряется сопротивление постоянному току вторичных обмоток ТАЛ, которое для всех исполнений должно быть в пределах  $1750 \text{ Ом} \pm 5\%$ . Проверяется полярность 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 ТАЛ 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 ТАЛ, кОм, со стороны вторичной обмотки:

$$Z_2 = U_2 / I_2 .$$

Отклонение действительных значений  $Z_2$  от  $Z_2$  по типовой характеристике (рис. 4.20) при одном и том же токе не должны отличаться более чем на 10 %. Большие отклонения свидетельствуют о неисправности ТАЛ.

Коэффициент трансформации проверяется на рабочем ответвлении первичной обмотки при токе, равном  $2 I_{ном}$ . Вторичные обмотки ТАЛ должны быть подключены к основному блоку ДЗШТ. Отклонение действительных коэффициентов трансформации от расчетных, указанных в табл. 4.4, не должно превышать  $\pm 3 \%$ .

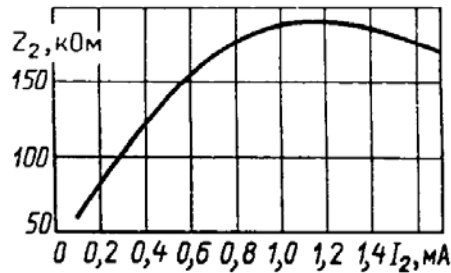


Рис. 4.20. Типовая характеристика намагничивания промежуточных трансформаторов тока

Проверка и настройка частотных фильтров. Для проверки частотных фильтров используется генератор низкой частоты с регулируемым напряжением на выходе. Напряжение от ГНЧ подается поочередно 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.

Таблица 4.4. Расчетные коэффициенты трансформации ТАЛ

$I_{ном}, А$	Ответвления первичной обмотки	$n_{т расч}$
1	30	334
	25	400
	20	500
	15	668
	10	1000
5	6	1670
	5	2000
	4	2500
	3	3340
	2	5000

Испытание фильтра-пробки второй гармоники (L1C1 - 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  $Z = \varphi(f)$  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.

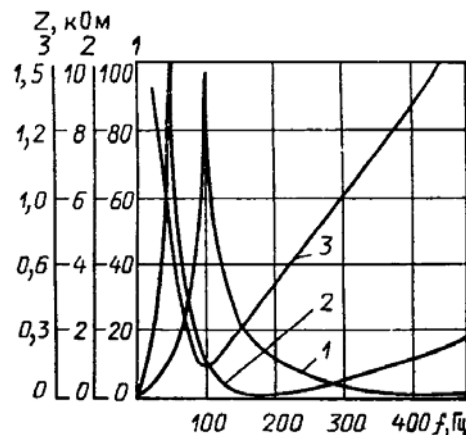


Рис. 4.21. Типовые характеристики частотных фильтров:

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



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 С2 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  $\pm 10\%$ . В случае более существенных отклонений необходимо проверить емкость конденсатора С и подрегулировать воздушный зазор в магнитопроводе дросселя L.

Проверка пусковых органов производится в полной схеме защиты при полностью собранных вторичных цепях ТАЛ по схеме, приведенной на рис. 4.22. Испытания проводятся при имитации однофазных КЗ от трех ТАЛ, 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 АА1 и замкнут выключатель S1, 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 устанавливаются в положения: R1 - на нулевом делении; R4 - на 50 делениях. Устройством АА1 устанавливают заданный ток срабатывания при отсутствии торможения  $I=I_{ср,0}$ . Регулированием резистора R4 добиваются срабатывания пускового органа на выбранном заранее диапазоне. При вставленном измерительном штыре 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  $R_{вн} \leq 200$  Ом (M1200, M1201, M2020 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 АА1 и АА2.

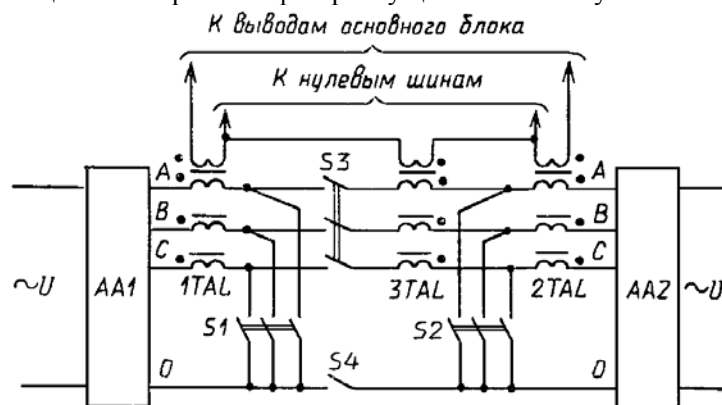


Рис. 4.22. Схема проверки защиты ДЗШТ

На резисторе R1 выставляется 50 делений, переключатель S20 “Ток” блока К514 устройства АА2 устанавливается в положение “Обратно” и замыкаются выключатели S1 и S2 на схеме рис. 4.22. Устройством АА2 устанавливается ток  $I_2 = 0,5 I_{cp0}$ , а устройством АА1 - ток  $I_1 = I_2 + I_d = (k_T + 1,5) I_{cp0}$ , где  $I_2 = 0,5 I_{cp0}$ ;  $I_d = k_T I_T + I_{cp0} = 2 k_T I_2 + I_{cp0} = (k_T + 1) I_{cp0}$ .

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 ТАЛ 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 АА1, а срабатывание пускового органа осуществляется регулированием тока  $I_1$ , получаемого от источника питания АА2 (положение переключателей на блоках К514 устройств АА1 и АА2 не меняется и соответствует предыдущей проверке). При уменьшении количества подключенных вторичных цепей промежуточных трансформаторов тока ТАЛ (вынуты блоки присоединений) увеличивается чувствительность срабатывания пускового органа при отсутствии торможения ( $I_{cp0}$  уменьшается) и уменьшается коэффициент торможения. При полностью вынутых блоках  $I_{cp0}$  может уменьшиться до 40 %, а  $k_T$  - до 20 %.

Тормозные характеристики  $I_{д.ср} = f(I_T)$  снимаются в условиях имитации сквозного КЗ на рабочей установке. Схема проверки та же, что и при настройке коэффициента торможения. С помощью установки АА2 ток  $I_2$  изменяется от нуля до тока внешнего КЗ. Изменяя ток  $I_1$  установкой АА1, добиваются срабатывания пускового органа. Коэффициент торможения подсчитывается по формуле

$$k_T = \frac{I_{д.ср} - I_{cp0}}{I_T},$$

где  $I_{д.ср} = I_1 - I_2$ ;  $I_T = 2 I_2$ .

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  $I_p = f(I_{вх})$ . При имитации внешнего КЗ ток в цепи микроамперметра должен изменить знак на противоположный. Типовые характеристики  $I_p = f(I_{вх})$  приведены на рис. 4.23. Отклонения измеренной характеристики от типовой не должны быть более 10 %.

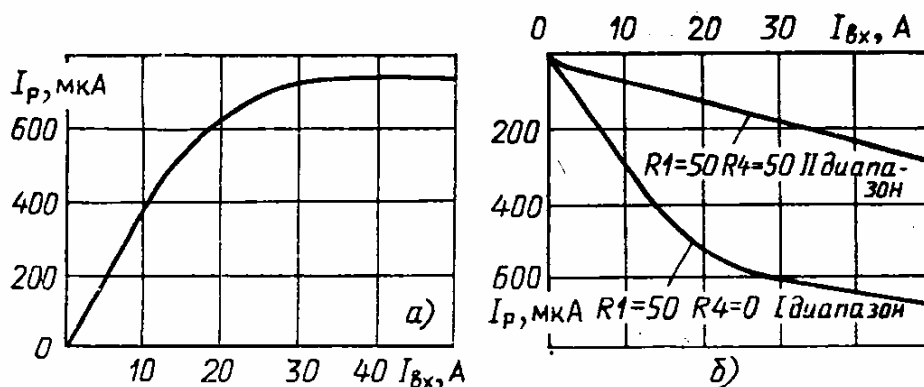


Рис. 4.23. Типовые характеристики  $I_p = f(I_{вх})$  пускового органа:

а - КЗ в зоне защиты; б - внешнее КЗ

Проверка избирательного органа выполняется по схеме, приведенной на рис. 4.22. Для создания усло-

вий 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 начальных токов срабатывания при поочередном питании цепей фаз А, В и С должны быть примерно равными и находиться в пределах  $(0,45 \pm 0,1 \div 1,1 \pm 0,3) I_{ном}$ . Коэффициент возврата избирательного органа должен быть не меньше 0,9. При данных испытаниях токи срабатывания магнитоэлектрических реле измеряются микроамперметром с  $R_{вн} \leq 200$  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 АВ, ВС и СА повторно проверяются токи срабатывания реле K1 и K2, которые должны быть примерно в 2 раза меньше, чем при однофазном КЗ.

Рабочая уставка устанавливается при имитации однофазного КЗ на фазе А. 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  $I_p = f(I_{вх})$ . Типовые характеристики приведены на рис. 4.24. Отклонения измеренной характеристики от типовой не должно быть более 10 %.

Угловые характеристики  $I_{1cp} = f(\varphi)$  при  $I_2 = const = 2 I_{ном}$  и  $I_{2cp} = f(\varphi)$  при  $I_1 = const = 2 I_{ном}$  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 усложнять схему проверки, угол сдвига  $\varphi$  между токами  $I_1$  и  $I_2$  можно производить изменением фазы питающего напряжения устройств AA1 и AA2 (табл. 4.5).

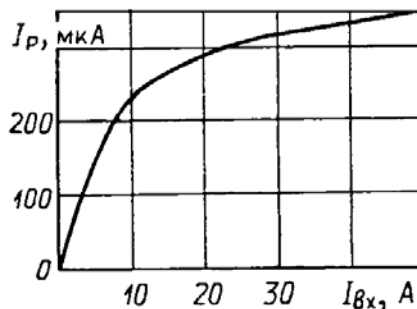


Рис. 4.24. Типовая характеристика  $I_p = f(I_{вх})$  избирательного органа

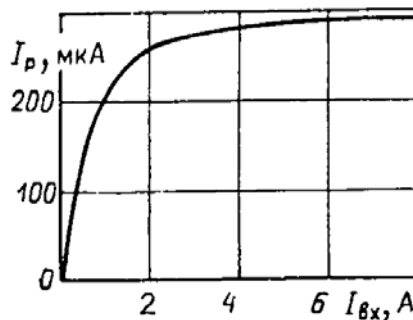


Рис. 4.25. Типовая характеристика  $I_p = f(I_{вх})$  органа контроля цепей тока

**Таблица 4.5. Регулирование угла сдвига фаз токов  $I_1$  и  $I_2$**

$\varphi$ , 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	А-0	Прямо	}	А-0	Прямо
60	В-0	Обратно			
120	С-0	Прямо			
180	А-0	Обратно			
240	В-0	Прямо			
300	С-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 приведена на рис. 4.25. Отклонение измеренной характеристики от типовой более чем на 10 % указывает на неисправность диода VD9.

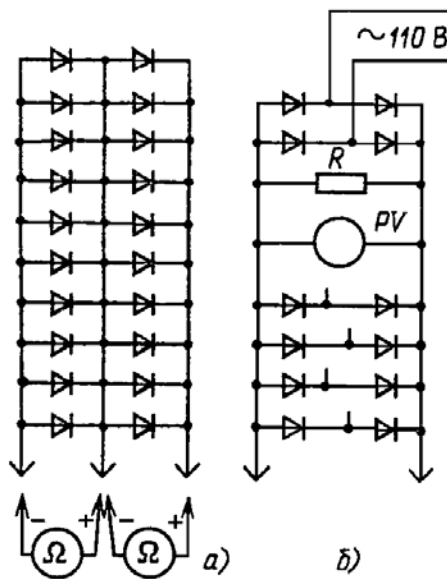


Рис. 4.26. Схемы проверки диодов выпрямительного моста пускового органа и органа контроля исправности цепей тока:

а - измерение обратного сопротивления; б - проверка выпрямительных групп

Дополнительные проверки:

а) проверка диодов VD1-VD40 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. 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  $U_{выпр} = 90 \text{ В}$ . При обрыве цепи диода, входящего в один из полумостов, выпрямленное напряжение снизится примерно в 2 раза;

б) проверка диодов VD41-VD44 пусковых органов производится при отклонениях измеренной характеристики  $I_p = f(I_{вх})$  от типовой более чем на 10 %;

в) проверка диодов VD1-VD12 избирательного органа и резисторов R2-R13 производится по схеме рис. 4.27. При вынудом 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”;

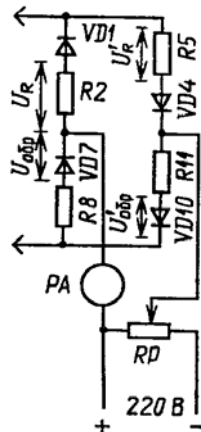


Рис. 4.27. Проверка элементов схемы сравнения избирательного органа

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 перемычки 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 ка-

жду 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, 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  $t = f(I_k / I_{cp})$  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.

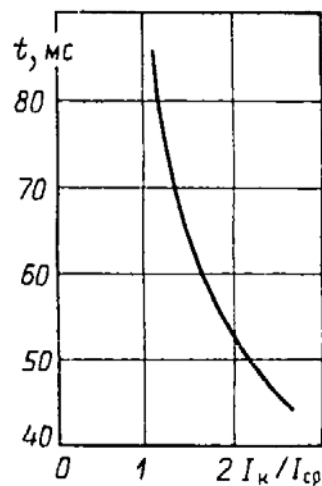


Рис. 4.28. Типовая характеристика времени действия защиты

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 подробно 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 закоротка 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 короткую.

Дифференциальную защиту трансформаторов проверяют созданием уравнивающего тока между параллельно включенными трансформаторами или регулировочным током при наличии на подстанции последовательного регулировочного трансформатора. Уравнивающий ток создается двумя параллельно включенными трансформаторами, переключатели ответвлений которых устанавливаются на различные коэффициенты трансформации. Значение уравнивающего 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,

$$Z_T = \frac{u_k U_{ном}}{100 I_{ном}}.$$

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 "1" 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;

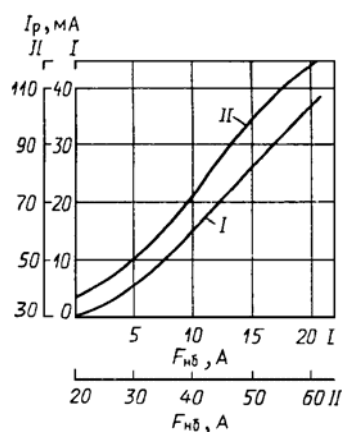


Рис. 4.29. Зависимость тока в исполнительном органе реле серии РНТ от МДС небаланса рабочих обмоток

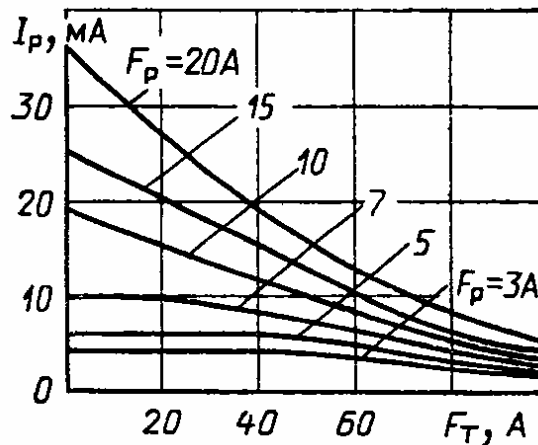


Рис. 4.30. Зависимость тока в исполнительном органе реле серии ДЗТ-11 от МДС небаланса и МДС тормозной обмотки

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 числа 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  $R_{вн} \geq 1000$  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  $\omega_2$  трансформаторов ТАУ 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 трансреакторов 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 об-



моток 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 разьеме 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  $\sum_1^a I$  и  $I_{c.30}$  приведены к одной и той же ступени трансформации, например к входам ТАЛ.

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 ВФ-80/Q. Установочные размеры реле типов РГЧЗ-66 и ВФ-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  $400 \text{ см}^3$  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 полукранами 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 ВФ-80/Q является следующее. Сигнальный 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 переставляться 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).

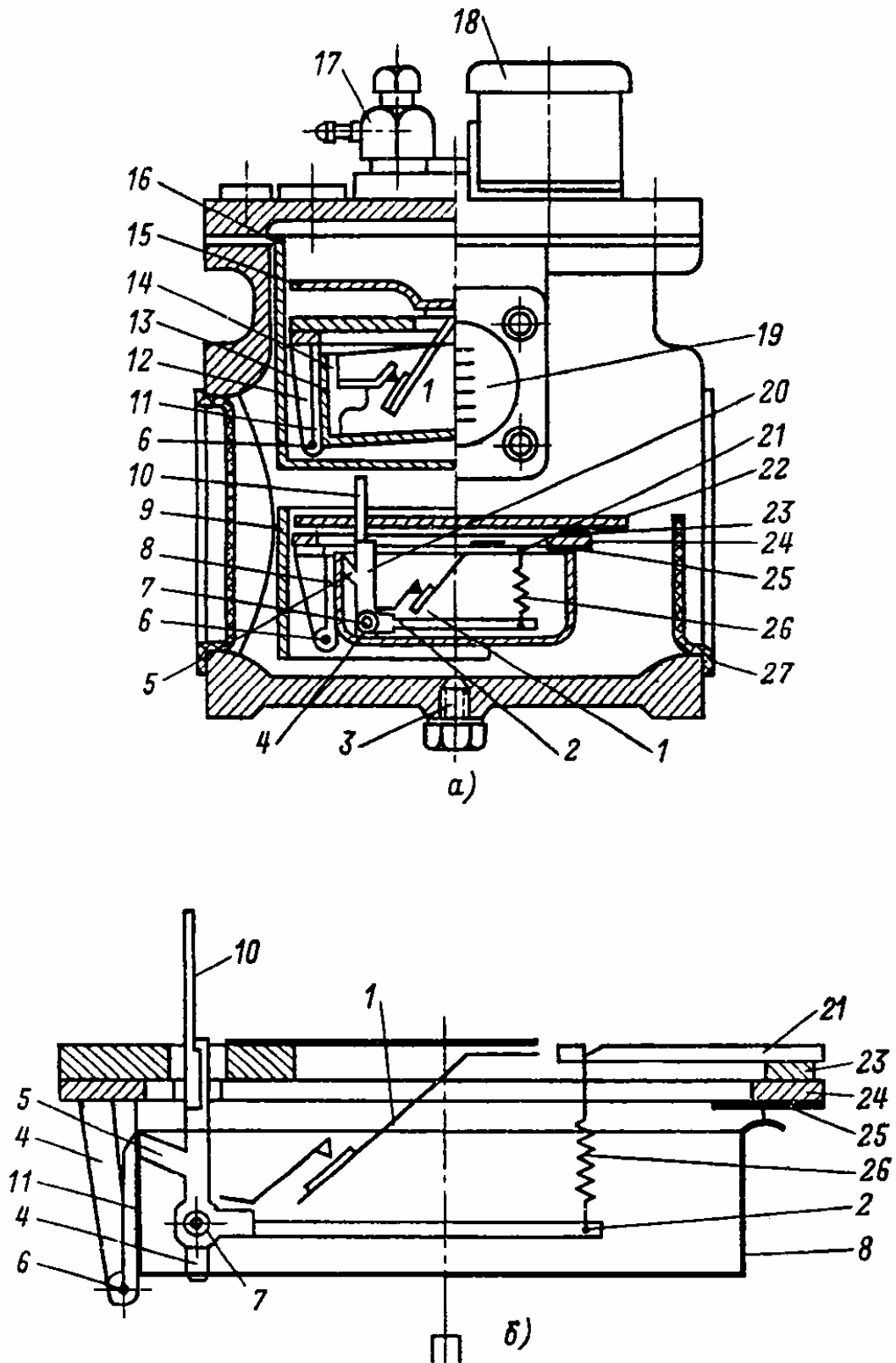


Рис. 5.1. Газовое реле типа РГЧЗ-66:

а - общий вид; б - 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 полуэкран; 10 - сменная "скоростная" пластина; 11 - держатели чашек; 12 - стойка; 13 - верхняя чашка; 14, 20 - изоляционные стойки; 15, 22 - экраны; 16 - верхний полуэкран; 17 - верхний кран; 18 - коробка зажимов; 19 - смотровое стекло; 21 - держатель пружины; 23 - прокладка; 24 - сбросное кольцо; 25 - упорная пластина; 26 - пружина; 27 - транспортные заглушки

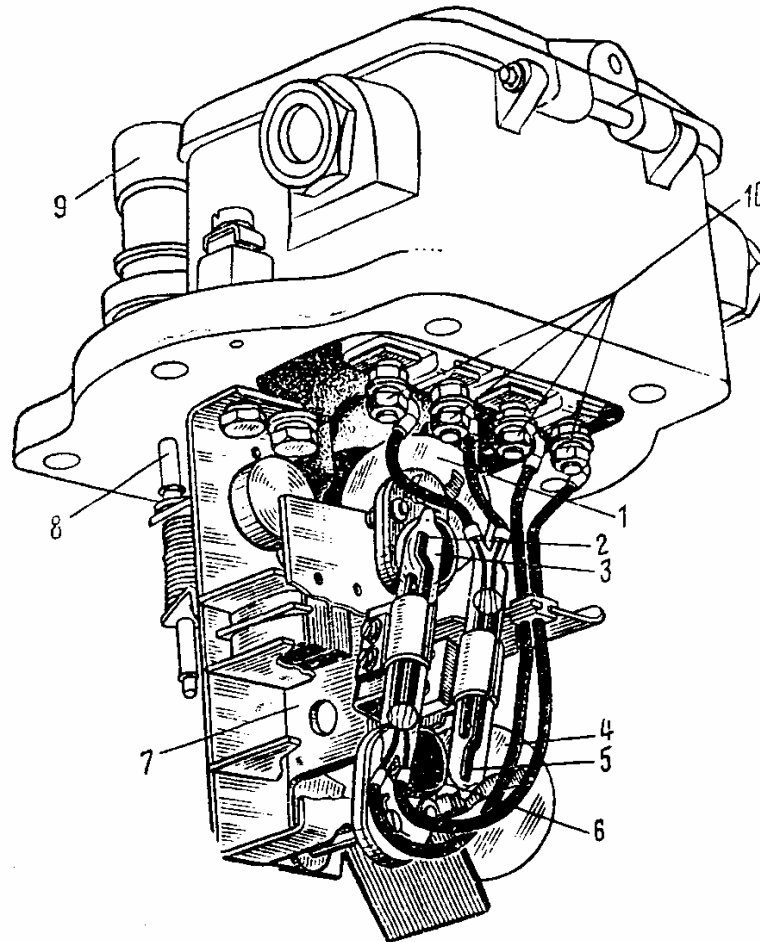


Рис. 5.2. Газовое реле Бухгольца:

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 пластины 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 грубит 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  $1,25 v_{cp}$ , 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 ВФ-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. Электросекун-

домер пускается поплавковым реле 4 и останавливается поплачковым 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 электросекундомом в режиме срабатывания реле, можно определить скорость потока масла при срабатывании газового реле по формуле

$$v_M = V/(St). \quad (5.1)$$

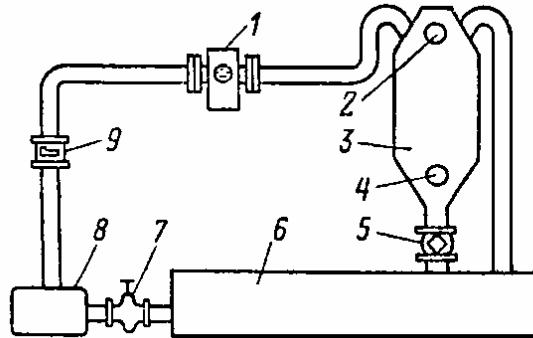


Рис. 5.3. Установка треста “Электроцентромонтаж” для проверки газовых реле

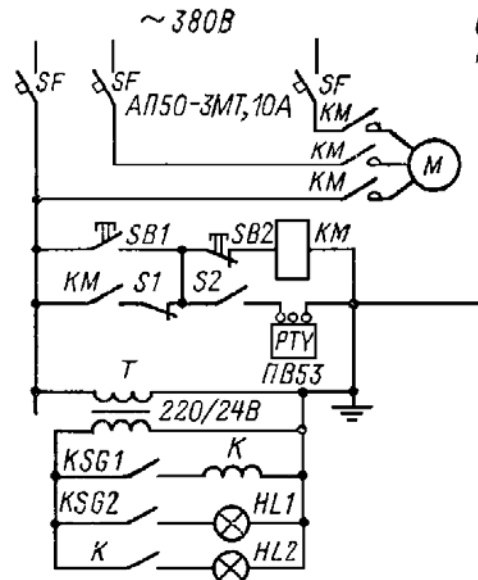


Рис. 5.4. Электрическая схема установки для проверки газовых реле:

К - промежуточное реле; PTY - электросекундомер; SF – автоматический выключатель; KM - магнитный пускатель; М - электронасос; SB1, SB2 – кнопки включения и отключения; S1 и S2 - контакты верхнего и нижнего поплавков; Т - 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 газами по трубопроводу направляется в расширитель. Такие повреждения требуют отключения трансформатора.

Для контроля струи устанавливается либо газовое реле (РГЧЗ-66, ВФ-80/Q), либо специальное струйное реле типа  $\ddot{U}RF$  -25/10 (рис. 5.5); струйное реле во всех режимах работы трансформатора работает на отключение.

Струйное реле  $\ddot{U}RF$  -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 пластину 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.

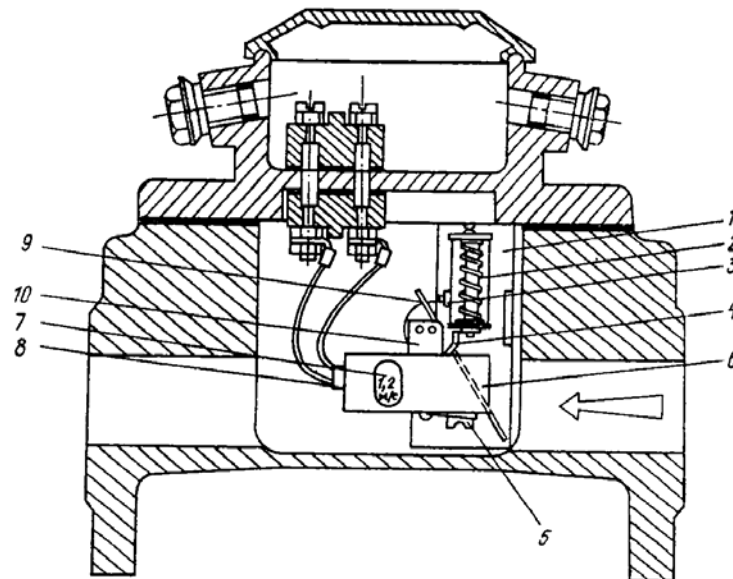


Рис. 5.5. Струйное реле  $\ddot{U}RF$  -25/10

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 контакты геркона 8 снова срабатывают. Так можно проверить исправность реле, его цепей защиты и всей схемы защиты, если эта схема собрана.

Реле  $\ddot{U}RF$  -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		
		$\ddot{U}RF$ -25/10	BF-80/Q	РГЧЗ-66
РНОА	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	-	-
РНТА-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 рас-

ширителю, устанавливается с подъемом на 2-4 %. Между реле и расширителем находится кран, желатель но 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 об разывала 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 незасо ренное дренажное отверстие для стока конденсата.

При монтаже проверяется, чтобы чашки или поплавки перемещались без механических заеданий, арре тиры 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 те чение 1 мин. Герконовые контакты реле Бухгольца следует при испытании изоляции закорачивать, а изо ляцию между разомкнутыми контактами проверять мегаомметром напряжением до 500 В.

Затем подается постоянный ток и замыканием выводов сигнальных и отключающих контактов в короб ке зажимов газового реле имитируется срабатывание контактов и проверяется правильность взаимодей ствия всех элементов защиты в соответствии с требованиями принципиальной схемы. У реле Бухгольца ВФ-80/Q ÜRF -25/10 имитация срабатывания производится нажатием на кнопку опробования. Допускается в качестве струйных устанавливать реле газовой защиты РГЧЗ-66 или ВФ-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 на сосом через верхний кран реле накачивается воздух. Вытеснение масла воздухом можно наблюдать через смотровое стекло. При вытеснении примерно  $400 \text{ см}^3$  (у Бухгольца -  $300 \text{ см}^3$ ) должен сработать сигнал. При продолжении вытеснения масла срабатывает отключающий контакт реле и отключаются соответ ствующие 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 кор пуса 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 устанавли вают кран и автомобильным насосом энергичной подачей воздуха через нижний кран добиваются крат ковременных толчков контактов реле. Иногда добиваются срабатывания реле следующим приемом. При закрытом кране между реле и баком трансформатора через верхний кран реле нагнетается воздух или су хой азот в корпус до максимального вытеснения масла из реле. Затем быстро открывается кран между ре ле и баком трансформатора и одновременно отсоединяется от верхнего краника трубка, по которой пода ется 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 за полняют маслом из расширителя, выпуская газ через верхний кран. При вытеснении из реле всего газа открывают вентиль (кран) со стороны трансформатора. Желательно оснащать такие трансформаторы (ре акторы) реле Бухгольца типа ВФ-80/Q, которые можно вообще не проверять вытеснением масла газом. Для струйных реле проверка скорости срабатывания не производится.

## 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 заво дского изготовления типа ДФЗ-201, ДФЗ-504 и ДФЗ-503.



Проверка реле переменного тока, напряжения и реле постоянного тока релейной части защит особенно-стей 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 за-щиты 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 $3 I_{0уст}$ , 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%
Реле сопротивления:			
минимальная уставка, Ом/фазу	3,5 (для $I_{ном} = 5$ А)	30 (для $I_{ном} = 1$ А)	30 (для $I_{ном} = 1$ А)
максимальная уставка, Ом/фазу	35 (для $I_{ном} = 1$ А)	300 (для $I_{ном} = 1$ А)	300 (для $I_{ном} = 1$ А)
Реле сопротивления:			
угол максимальной чувствительности, град	$70 \pm 5$	$83 \pm 5$	$83 \pm 5$
ток точной работы, А, не более	2,8 (для $I_{ном} = 5$ А)	0,15 (для $I_{ном} = 1$ А)	0,15 (для $I_{ном} = 1$ А)
ток срабатывания реле при $U_p = 0$ , А, не более	3,5 (для $I_{ном} = 5$ А)	0,3 (для $I_{ном} = 1$ А)	0,3 (для $I_{ном} = 1$ А)
Орган манипуляции:			
коэффициент фильтра манипуляции k	4, 6, 8	6, 8, 10	6, 8, 10
напряжение на выходе при токе прямой последовательности, В	8 при k = 8 и I = 2А (для $I_{ном} = 5$ А)	4,58 при k = 10 и I = 0,3 А (для $I_{ном} = 1$ А)	4,58 при k = 10 и I = 0,3 А (для $I_{ном} = 1$ А)
Орган манипуляции:			
угол между током и напряжением	$17^\circ$ при k = 8 и $I_{bc} = 0,6 I_n$	$42^\circ$ при k = 10 и $I_{bc} = 0,5 I_{ном}$	$95^\circ$ при k = 10 и $I_{ao} = 0,3A$
уставка устройства компенсации емкостных токов $y_k$ , 1/Ом	-	-	$5000 \cdot 10^{-6}$ , ступени регулирования 3%
уставка по углу блокировки органа сравнения фаз токов, град.	$\pm 45, \pm 52, \pm 60$	$\pm 50, \pm 57, \pm 65$	$\pm 50, \pm 57, \pm 65$

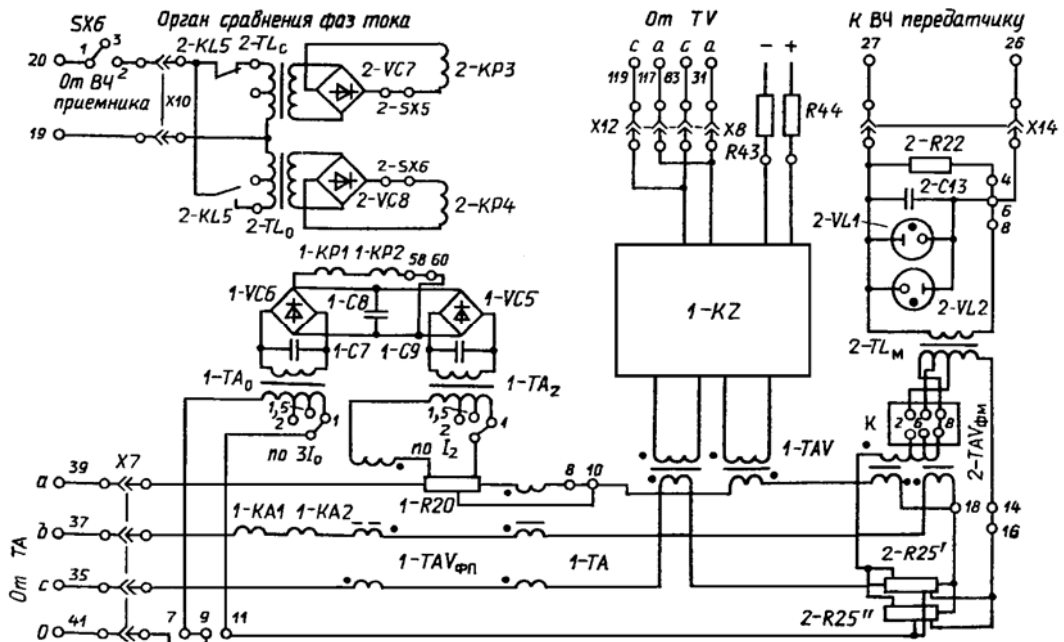


Рис. 9.1. Принципиальная схема панели дифференциально-фазной защиты типа ДФЗ-201

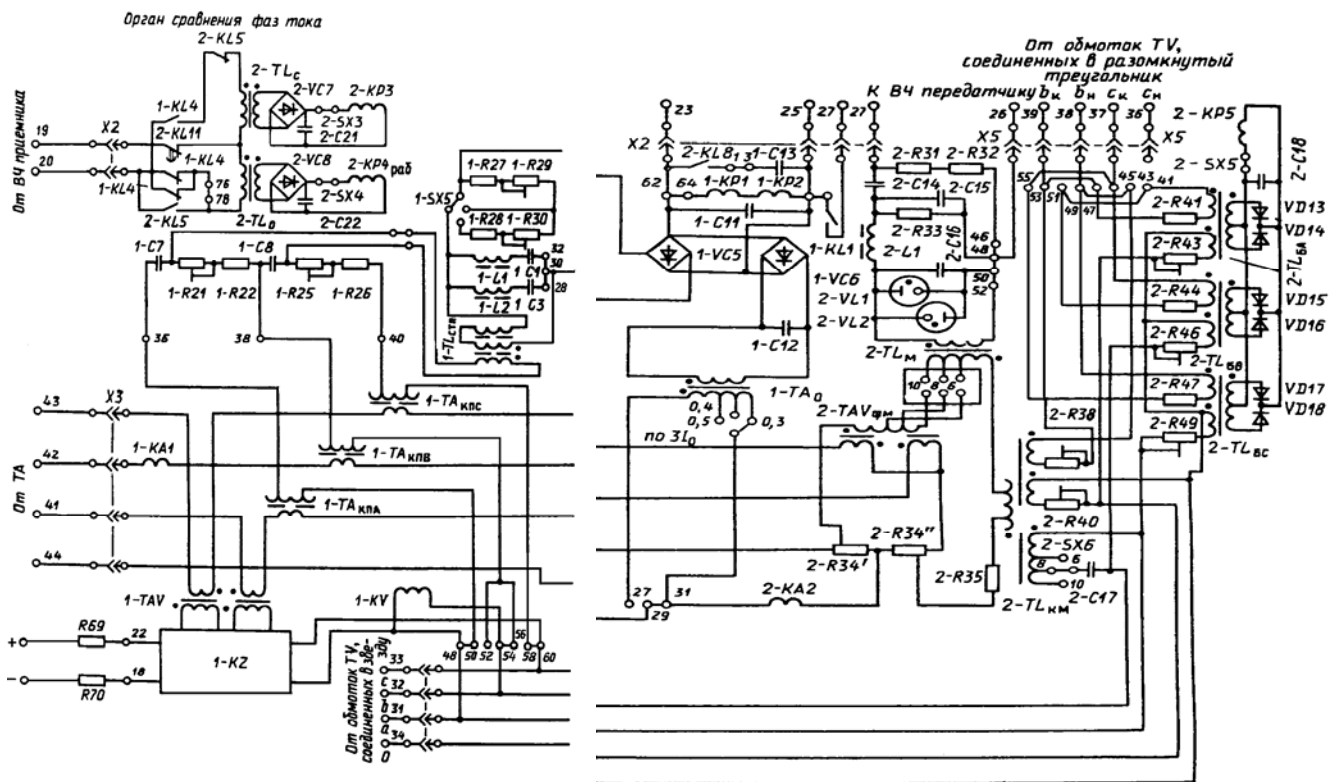


Рис. 9.2. Принципиальная схема панели дифференциально-фазной защиты типа ДФЗ-503

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-KA2 означает, что токовое реле KA2 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 положения штырей контактных разъемов на доске выводов автотрансформатора. Коэффициент возврата, определяемый по напряжению возврата  $U_{в}$ , должен быть не менее 1,1. Затем снимается угловая характеристика реле через каждые  $30^\circ$  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 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  $7 I_{ном}$  при предварительном угле  $\varphi = \varphi_{мч} + 180^\circ$  (токи подаются толчком). Реле не должно срабатывать.

Работа контактной системы реле проверяется при изменении сопротивления срабатывания реле от 0,1 до  $0,9 Z_{ср}$  при токах  $0,7-3 I_{ном}$ .

Проверка фильтров тока и напряжения обратной последовательности и пусковых реле производится согласно указаниям соответствующих параграфов разд. 6. При использовании в защите пуска по току  $3 I_0$  дополнительно проверяется чувствительность пускового органа при совместном пуске по  $I_2 (U_2)$  и  $3 I_0$ .

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-ТА<sub>0</sub> и выпрямительного моста.

При использовании в защите основного пуска по  $U_2$  сначала проверяется ток срабатывания отключающего реле при подведении к панели только тока  $I_{a0}$ , затем при одновременной подаче на панель  $U_{2cp}$  и  $3 I_{0cp}$  измеряется ток в обмотке отключающего реле, который должен примерно в 1,5 раза превышать  $I_{cp}$  реле (с точностью  $\pm 20\%$ ).

У защиты типа ДФЗ-503 дополнительно проверяются частотные фильтры третьей и пятой гармоник и устройство компенсации (уставка  $TA_{кп}$  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 гармоники (150 Гц) должно быть не менее 3,5, а от пятой гармоники (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  $Z_{2к}$  производится при токе 1 А, поочередно подаваемом на вход панели на фазы А0, В0 и С0, при холостом ходе трансформаторов компенсации  $TA_{кп}$ . Сопротивление компенсации подсчитывается по формуле

$$Z_{2к} = U/I,$$

где  $U$  - напряжение, измеренное на вторичной обмотке трансформатора  $TA_{кп}$ .

При отличии измеренного сопротивления  $Z_{2к}$  от заданного более чем на  $\pm 0,5$  Ом производится его регулировка винтами на соответствующей регулировочной доске трансформатора компенсации  $TA_{кп}$ .

Проверка правильности включения трансформаторов компенсации  $TA_{кп}$  производится при имитации двухфазных КЗ “за спиной”. Цепи напряжения защиты питаются от фазорегулятора. При токе  $I = 1$  А, напряжении  $U = \sqrt{3} I Z_{2к}$  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  $TA_{кп}$  при имитации КЗ между фазами В и С, приведены на рис. 9.3.

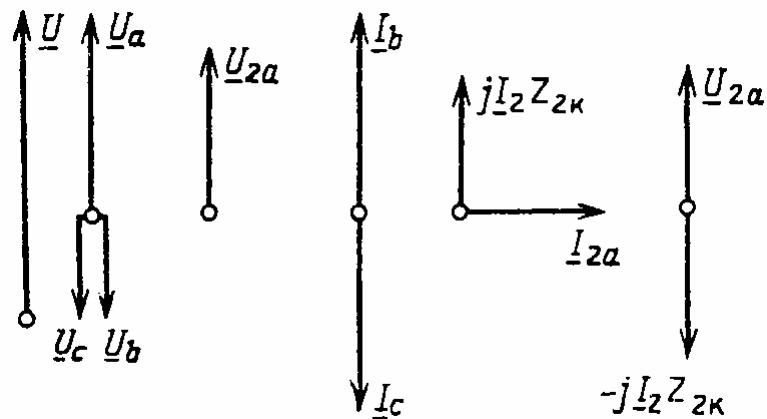


Рис. 9.3. Векторные диаграммы, поясняющие проверку правильности включения трансформаторов компенсации  $TA_{кп}$  при имитации КЗ между фазами В и С защиты типа ДФЗ 503

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  $TA_{кп}$  переключателями отсоединяются от цепей напряжения и отсоединенные зажимы их соединяются в звезду. При такой схеме ток  $I_{2cp}$ , соответствующий срабатыванию реле 1-КР2, зависит от уставок  $U_{2cp}$  по напряжению обратной последовательности и по

сопротивлению компенсации ( $I_{2cp} = U_{2cp} / Z_{2k}$ ). При минимальной уставке по  $U_{2cp} = 5$  В и максимальной уставке по  $Z_{2k} = 36$  Ом ток срабатывания обратной последовательности  $I_{2cp}$  будет составлять примерно 0,14 А.

Проверка пускового органа защиты завершается проверкой действия 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 панельки). Момент зажигания определяется по электронному осциллографу, подключенному на выход органа манипуляции, по изменению формы одной из полувольтной 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 полувольтные кривые 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 нагрузку 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-ТЛ<sub>км</sub> (см. рис. 9.2) для заданного значения проводимости и устройства производится по формуле, %,

$$n = 100 \frac{y_{k,задан}}{y_{k,мах}}.$$

На зажимы В-С цепей напряжения панели защиты подается напряжение  $U_{bc} = 100$  В. При закороченных зажимах А, В, 0 электронным вольтметром измеряется напряжение  $U_M$  на выходе органа манипуляции. После отключения напряжения  $U_{bc}$  на зажимы В-С 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  $90^\circ$ . 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  $\varphi$  между ними добиваются минимального значения напряжения  $U_M$ . При этих условиях угол  $\varphi$  будет равен углу проводимости компенсирующего устройства, значение которого должно быть в пределах  $86-88^\circ$ . Проводимость,  $1/\text{Ом}$ , 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-ТЛ<sub>км</sub> (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 А, В, С) и тока  $I_{a0}$ . Проводимость,  $1/\text{Ом}$ , 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  $\varphi$ ) и, регулируя сопротивление в цепи обмотки трансреактора 2-TL<sub>км</sub> (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<sub>км</sub> на напряжение  $3U_0$ , проверяется при одновременной подаче на панель защиты напряжения  $U_{a0} = 20$  В (зажимы А, В, С закорочены) и напряжения  $U_{a_{HK}}$ , равного по величине  $U_0 = 3\sqrt{3} U_a = 104$  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  $\omega_{bc}$  и  $\omega_{a0}$  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 напрямую последовательно 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 напряжение 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.

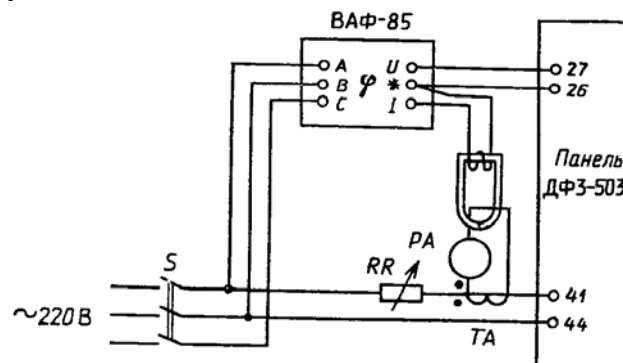


Рис. 9.4. Схема измерения угла между током  $I_{a0}$  на входе панели и напряжением на выходе органа манипуляции защиты типа ДФЗ-503

Полученные значения углов сравниваются с аналогичными углами на другом конце линии. При одинаковых токах при различии углов более  $10^\circ$  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  $15^\circ$  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

$$I_{нагрmin} = I_{бссп} \frac{k-1}{\sqrt{3}} K_{ТА},$$

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-ТЛ<sub>Б</sub>, 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 пофазном 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 определя-



ется четкость работы его контактной системы при поданном на панель постоянном токе. Ток 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  $0,8 U_{\text{ном}}$ . 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 приемопередатчиком 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.

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 работа органа направления мощности. При напряжении  $U = 100 \text{ В}$  и токе  $I = 0,1 \div 0,15 \text{ А}$  реле должно сработать. Векторная диаграмма в этом режиме приведена на рис. 9.6, б.

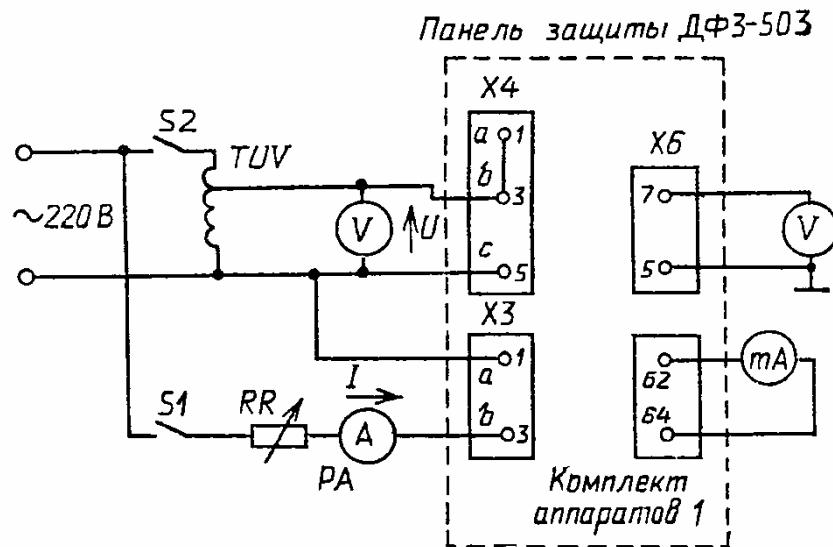


Рис. 9.5. Схема проверки согласования полярностей включения реле сопротивления, компенсирующего устройства пускового органа и устройства емкостной компенсации обратной последовательности органа управления ВЧ передатчиком защиты типа ДФЗ-503

После этого проверяется правильность включения трансформаторов компенсации пускового органа  $1-ТA_{\text{кп}}$  при  $I = 0,5 \text{ А}$  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  $I = 0,05 \text{ А}$  (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  $I = 0,05 \text{ А}$ . При одновременной подаче тока и на-

пряжения (значения не меняются) электронный вольтметр на выходе органа манипуляции должен показать примерно удвоенное значение при раздельной подаче тока и напряжения. Векторные диаграммы для этого режима приведены на рис. 9.6, г.

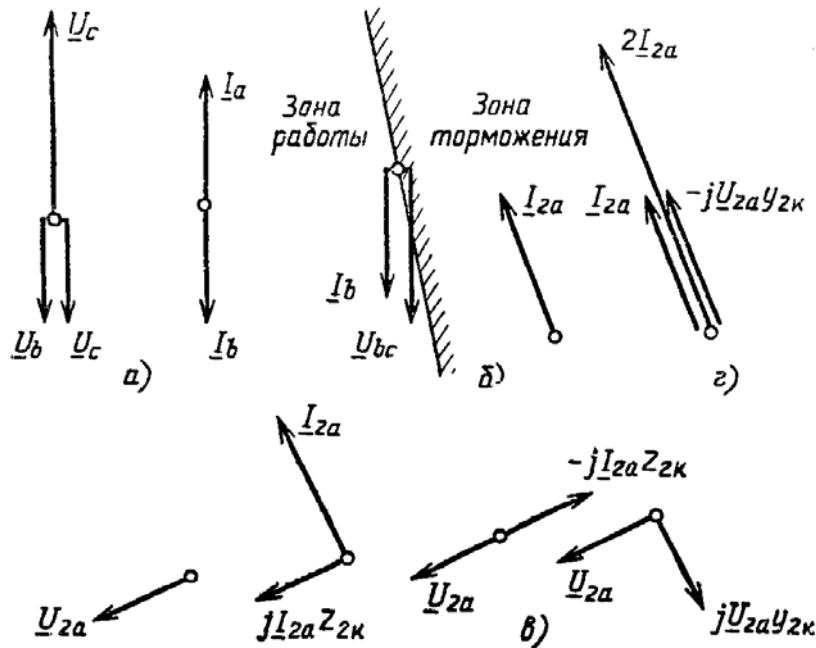


Рис. 9.6. Векторные диаграммы, поясняющие проверку согласования полярностей включения реле сопротивления, компенсирующих устройств пускового органа и устройства компенсации обратной последовательности органа управления ВЧ передатчиком защиты типа ДФЗ-503

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;  $U_{2a} = (1/3)(U_a + a^2 U_b + a U_c)$ ;  $I_{2a} = (1/3)(I_a + a^2 I_b + a I_c)$   $U_{2a} - i I_{2a} Z_{2k} = 0$ ;  
 $I_{2a} - i U_{2k} Z_{2k} = 2I_{2a}$

Проверка поведения выходного реле органа сравнения фаз при КЗ вне защищаемой зоны производится при отключенном 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 по 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-KZ для защит ДФЗ-201 и ДФЗ-504, для защиты ДФЗ-503 - только реле 1-KZ.

### 9.7. Проверка защиты током нагрузки линии

Проверка защиты током нагрузки производится одновременно с обеих сторон линии при полностью сброшенных цепях (сняты только контактные мостики в цепях отключения выключателей и в цепях сигнализации), 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.

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 чередованиях 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 последовательности (в защите типа ДФЗ-503) измеряется ток в обмотках реле 1-КР1 и 1-КР2 (см. рис. 9.2) при прямом и обратном чередовании 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  $U_{2p} = U_{2a} - i I_{2a} Z_{2k}$ ) 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  $I_{\phi}$  и  $U_{\phi}$  - фазные значения тока и напряжения при проверке. Для получения более четких результатов при небольших токах

нагрузки иногда устанавливают максимальную уставку по  $Z_{2к}$  (расчет в этом случае ведется на это значение  $Z_{2к}$ ).

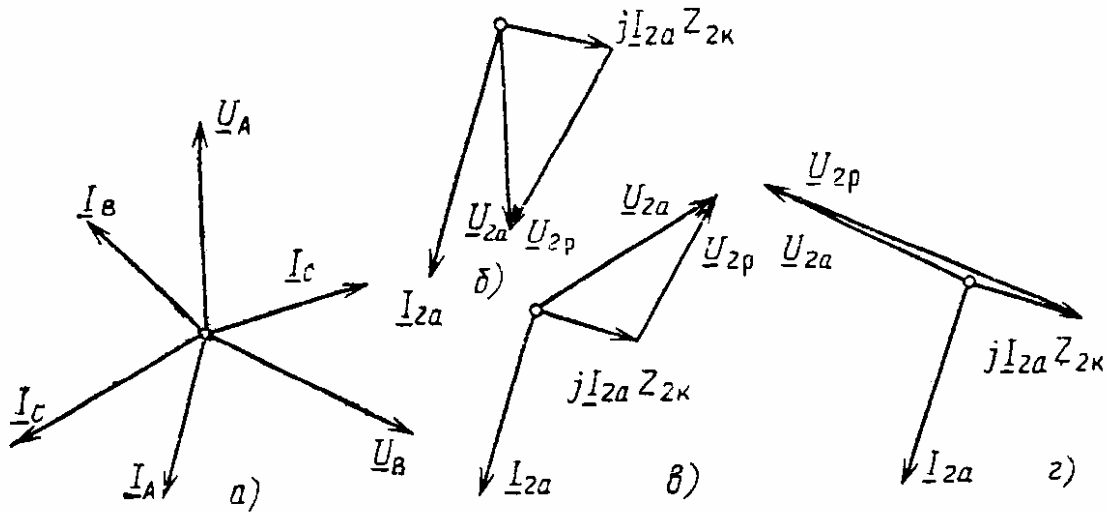


Рис. 9.7. Векторные диаграммы, поясняющие проверку правильности включения компенсирующего устройства пускового органа защиты ДФЗ-503 током нагрузки линии:  
 а - векторная диаграмма первичных токов и напряжения линии; б - отключено напряжение фазы А; в - отключено напряжение фазы В; г - отключено напряжение фазы С

Проверка правильности включения комбинированного фильтра  $I_1 + kI_2$  органа манипуляции. При проверке измеряется ток во вторичной обмотке трансформатора 2-ТЛ<sub>М</sub> (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), измеренного при прямом чередовании, должно быть примерно равно коэффициенту  $k$  комбинированного фильтра. При больших нагрузках, когда загораются стабилитроны, 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 последовательности на входе панели перекрещиваются фазы тока В и С и фазы напряжения В и С. 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 напряжений.

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 В и С), при поочередном подведении только тока одной из фаз тока в фазу А 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 А от соответствующего тока, подводимого к панели защиты;  $j U_{2a} y_{2k} Z_{\phi}$  - напряжение компенсации обратной последовательности (при перекрещенных фазах напряжения В и С);  $U_{2M}$  - 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.

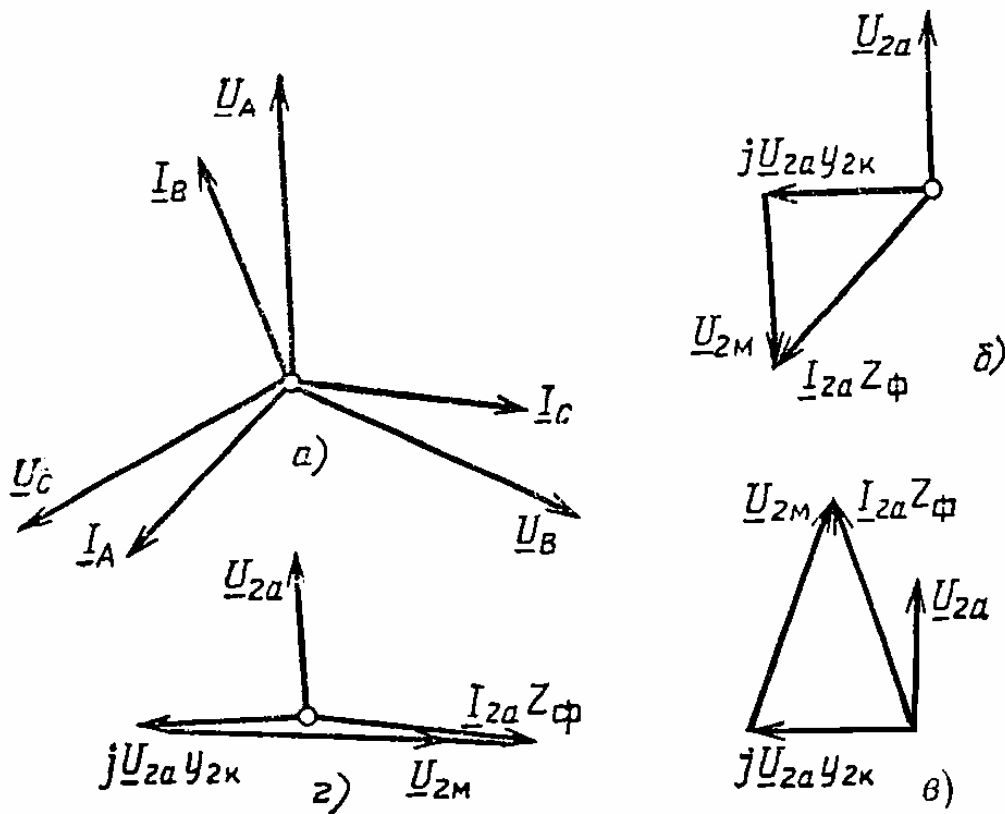


Рис. 9.8. Векторные диаграммы, поясняющие проверку правильности включения компенсирующего устройства емкостных токов обратной последовательности органа манипуляции защиты ДФЗ-503 током нагрузки линии: а - векторная диаграмма первичных токов и напряжений линии; б - к защите подведен ток фазы А; в - к защите подведен ток фазы В; г - к защите подведен ток фазы С

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 (А, В, С, 0 и АВС) 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. Приемопередатчики 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 отраженными импульсами (при одночастотной настройке). При несимметрии 5-8° защиту можно включать в работу, при больших отклонениях необходимо найти и устранить причину.

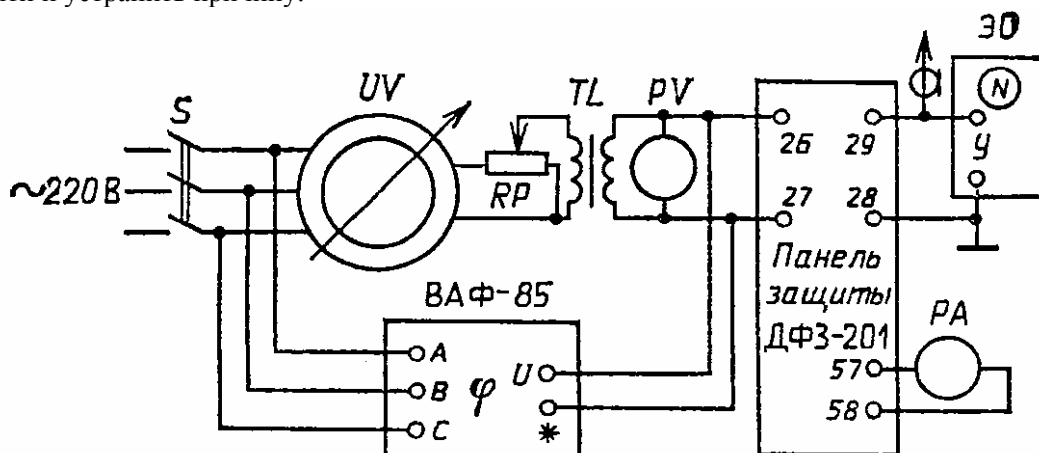


Рис. 9.9. Схема снятия фазной характеристики дифференциально-фазной ВЧ защиты типа ДФЗ-201 при помощи фазорегулятора:

UV - фазорегулятор; ВАФ-85 - вольтамперфазоиндикатор; TL - изолирующий трансформатор; ЭО - электронный осциллограф; 1 - ВЧ кабель

Снятие фазной характеристики производится только при первом включении защиты (или при каких-либо изменениях, касающихся блока сравнения фаз к 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 приемопередатчиков 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 тока в обмотках отключающих поляризованных реле и тока приема должны быть равны нулю на обоих комплектах защиты. На экранах осциллографов середины импульсов обоих передатчиков будут сдвинуты примерно на  $180^\circ$ , 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 ( $6^\circ$  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 полукомплектах к защитам подводятся все три фазы тока по нормальной схеме. Измеряются токи в обмотках отключающих поляризованных реле органа сравнения фаз и тока 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 обеих подстанциях. Цепи тока от защит отключаются, на обоих полукомплектах 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 загрубления 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 загрубления реле 1-1КР и 1-2КР на выходе выпрямительного моста устанавливается дополнительный конденсатор, при этом можно получить загрубление в 1,5 раза.

Возможно применение общего загрубления обоих реле и дополнительного загрубления 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  $\theta$  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  $\psi$ . При значительных углах сдвига ( $20^\circ$  и более) угол  $\psi$  подсчитывается по формуле  $\psi = \theta \pm \alpha$ , где  $\theta$  - угол между токами по концам линии, вызванный емкостными токами;  $\alpha$  - угол, вызванный запаздыванием ВЧ сигналов ( $6^\circ$  на 100 км длины линии); знак плюс принимается на питающем конце, минус - на приемном.

Угол  $\theta$  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  $\psi$  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 ТА 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  $I_2$  ТА1, фазные провода выводят с  $I_1$ ; на W2 в нуль звезды объединяют выводы  $I_1$  ТА2, фазные провода выводят с  $I_2$ . Соединения производятся перемычками, устанавливаемыми на внутренней стороне рядов зажимов.



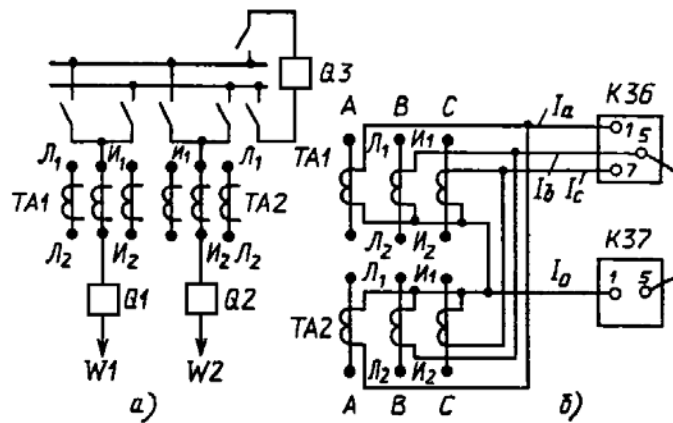


Рис. 10.1. Схема токовых цепей поперечной дифференциальной направленной защиты:  
 а - схема первичных соединений; б - схема подключения токовых цепей комплектов КЗ 6 и КЗ 7

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 ТА1, ТА2, соединенным на разность токов, чем обеспечивается циркуляция по токовым цепям защиты вторичных токов ТА 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.

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 защит выключатель поврежденной линии на противоположном конце, а затем уже работает защита на данном конце.

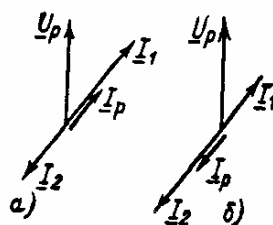


Рис. 10.2. Векторная диаграмма токов в цепях поперечной дифференциальной защиты: а - при КЗ на W1; б - при КЗ на W2

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.

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 между-фазных 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.

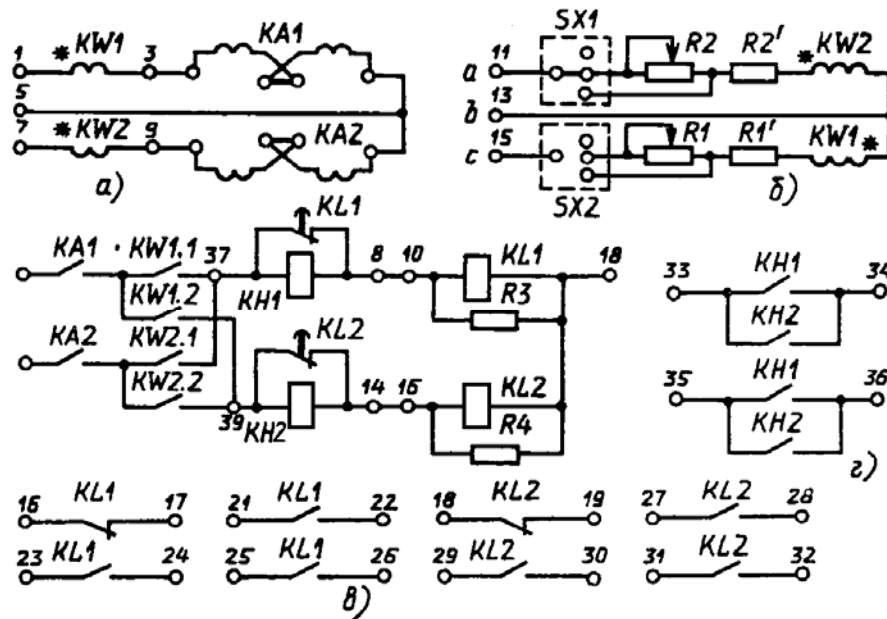


Рис. 10.3. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ 6:  
 а - цепи переменного тока; б - цепи переменного напряжения; в - цепи оперативного постоянного тока; г - цепи сигнализации

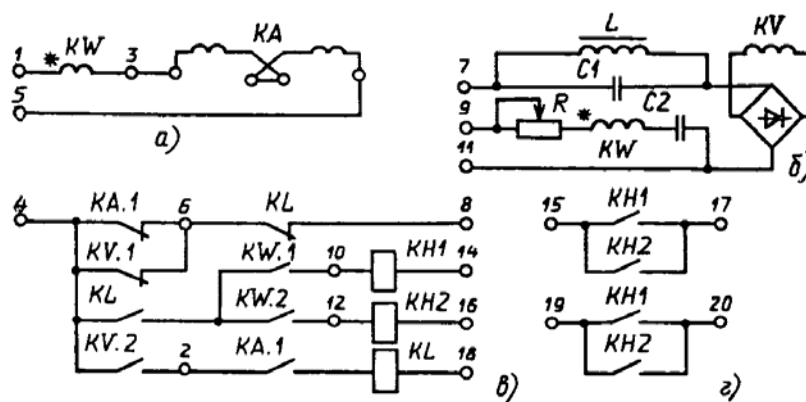


Рис. 10.4. Принципиальная схема комплекта КЗ 7:  
 а - цепи переменного тока; б - цепи переменного напряжения; в - цепи оперативного постоянного тока; г - цепи сигнализации

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):

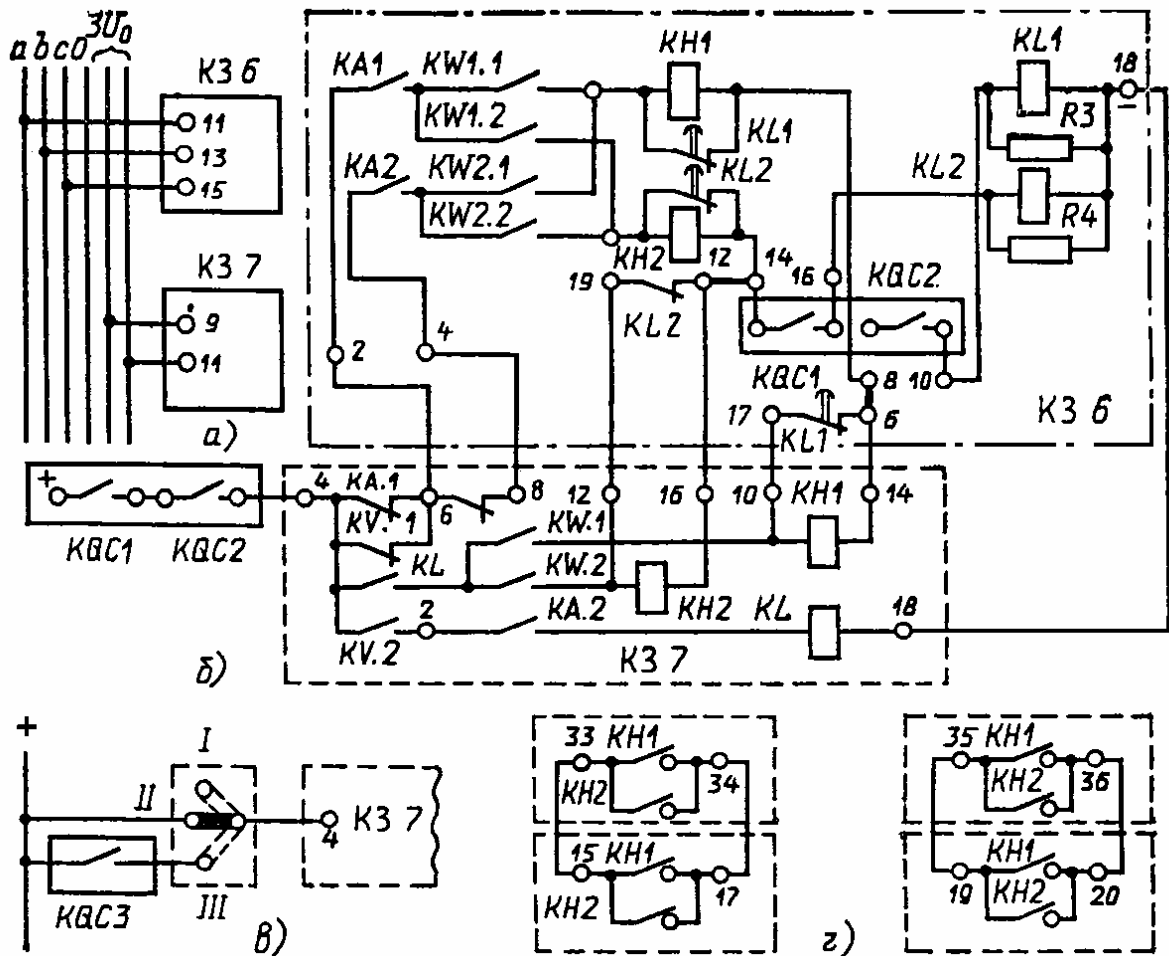


Рис. 10 5. Принципиальная схема соединения комплектов защиты типов КЗ 6 и КЗ 7:

а - цепи переменного напряжения; б - цепи оперативного постоянного тока; в - подача оперативного тока на защиту при наличии шиносоединительного выключателя Q3; г - цепи сигнализации. Части схемы, обведенные пунктирной линией, относятся к комплекту КЗ 6, прерывистой линией - к комплекту КЗ 7, тонкой сплошной линией - контакты реле автоматики схемы управления Q1, Q2 и Q3

- 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 подан 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 разрядников, когда пусковые реле и избира-

тели могут кратковременно замыкать контакты и подавать оперативный ток на обмотку выходного реле. Для исключения при этом ложного выпадения указательных реле КН1 и КН2 их обмотки шунтируются размыкающими контактами реле КЛ1 и КЛ2. Время срабатывания защиты может регулироваться изменением числа демпфирующих шайб на сердечнике реле КЛ1 и КЛ2 в пределах 0,12-0,2 с.

В комплекте защиты КЗ 7 установлены реле максимального тока КА, реле максимального напряжения нулевой последовательности КV (пусковые органы), реле направления мощности КW (избиратель), промежуточное быстродействующее реле КЛ, фиксирующее срабатывание пусковых органов, и указательные реле КН1 и КН2. При однофазных КЗ в зоне действия защиты максимальные реле пусковых органов своими размыкающими контактами КА1 и КV.1 снимают оперативный ток с защиты от междуфазных КЗ для исключения возможного ложного ее срабатывания (см. § 3.1). Реле-повторитель КЛ работает через последовательно соединенные замыкающие контакты КV.2 и КА.2. В зависимости от того, на какой линии произошло КЗ, реле направления мощности замыкает правые контакты КW.1 - работает выходное реле КЛ1 - или левые контакты КW.2 - работает выходное реле КЛ2 (КЛ1 и КЛ2 - реле комплекта КЗ 6). Указательные реле КН1 и КН2 комплекта КЗ 7 шунтируются размыкающими контактами КЛ1 и КЛ2 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 КА, КА1 и КА2 - выполняются на токи до 200 А, реле максимального напряжения КV имеет уставки срабатывания 4-8 В. Последовательно с обмоткой КV включен фильтр L-С1 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 $\Phi_{мч}$ , град.	Номинальная мощность срабатывания при $\Phi_{мч}$ , $U_{ном}$ и токе $I_p = I_{ном}$ , В·А
КЗ 6	РБМ-271/2	1	- 30 ± 5	0,7
	РБМ-271/2	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 ± 5	0,24
	РБМ-278/1	5	+ 70 ± 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. Загрубление 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 КW1 и КW2 комплекта КЗ 6 осуществляется переключателями устройствами SX1 и SX2. При использовании последовательно включенных резисторов

R1-R1' и R2-R2' реле КW1 и КW2 имеют  $\Phi_{мч} = -45 \pm 5^\circ$ , при исключении резисторов R1 и R2  $\Phi_{мч} = -30 \pm 5^\circ$  (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
КА	РТ	КЛ	РП	КН1	1РУ
КА1	1РТ	КЛ1	1РП	КН2	2РУ

KA2	2PT	KL2	2РП	
KV	PH	SX1	ПУ1	
KW1	1PM	SX2	ПУ2	
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 устанавливаются в среднем нейтральном положении. Так как действие каждой пружины ограничено упором и поводки механически жестко не связаны со штифтом, 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  $15-20^\circ$ , так как это может привести к повреждению токопроводящих 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  $15-20^\circ$  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 междуфазных 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  $\Phi_{мч}$  реле, как правило, определяются только для правой пары контактов - они соответ-

ствуют техническим данным, приведенным в табл. 10.1; для левой пары контактов зона работы и  $\varphi_{мч}$  отличаются на  $180^\circ$ . 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? действие 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, но выведенных цепях отключения. Для проверки обе линии включают на параллельную работу, фазируют и проверяют цепи напряжения защиты. Для каждого комплекта ТА снимают векторные диаграммы токов нагрузки и строят их на одном бланке. По характеру первичной нагрузки линий определяют, на какой линии ТА 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 па 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.

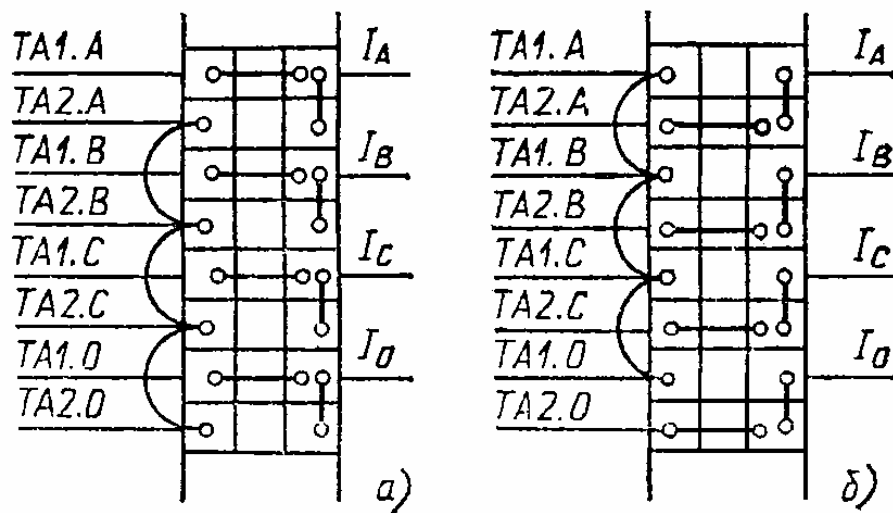


Рис. 10.6. Схема переключений на рядах зажимов панели:

а - при проверке защиты от замыканий на землю, подан ток  $I_b$  ; б - при проверке защиты от междуфазных КЗ, поданы токи W2

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 пропуски тока одной фазы две другие фазы данной группы ТА и все токовые цепи второй группы ТА должны быть закорочены и отключены от панели; не допускается разрыв нулевого провода защиты.

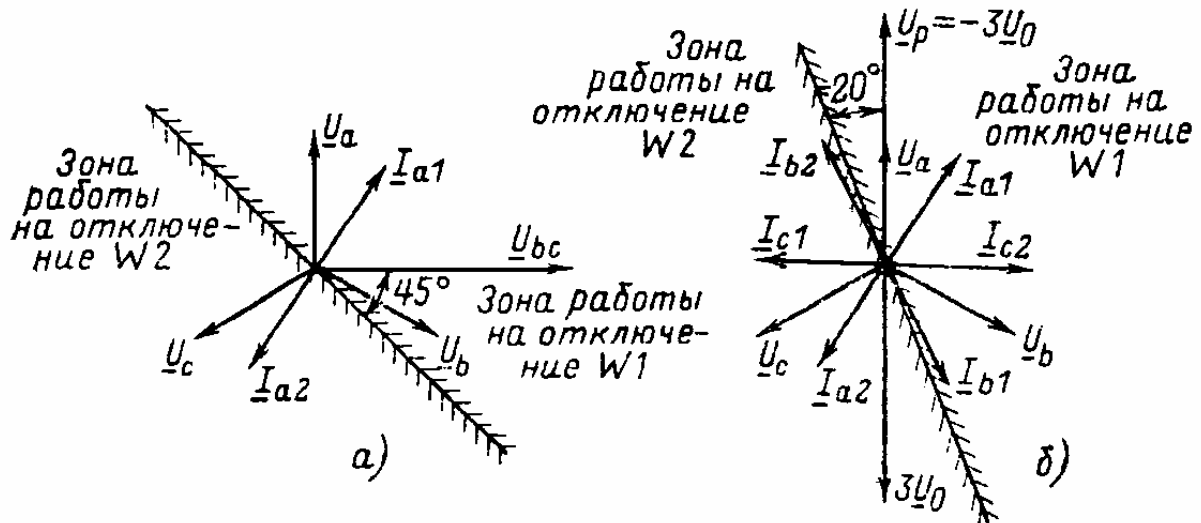


Рис. 10.7. Векторные диаграммы нагрузочного режима с нанесенными зонами срабатывания реле на отключение W1, W2: а - реле типа РБМ-271, включенное на ток  $I_a$  и напряжение  $U_{bc}$ ; б - реле типа РБМ-278, включенное на  $3I_0$  и  $3U_0$

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 кратковременно.

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, характеризуемую коэффициентом  $h$ , дающую одновременное пропорциональное изменение тока срабатывания по току прямой и обратной последовательностей;
- б) регулировку, характеризуемую 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  $I_{ном} = 5$  А и до 1,2 А включительно при  $I_{ном} = 1$  А. Устройство контроля действует на сигнал при снижении изоляции соединительных проводов относительно земли до 20 кОм и менее. Номинальный ток контроля 5,5 мА. Чувствительность защиты при длине соединительных проводов от 0 до 10 км (что соответствует емкости проводов  $C_{пр} = 0 \div 0,5$  мкФ и сопротивлению проводов  $R_{пр} = 0 \div 700$  Ом) и при одностороннем питании не превышает значений, указанных в табл. 11.1.

**Таблица 11.1. Ток срабатывания защиты при различных видах КЗ и коэффициентах  $k$**

Коэффициент $k$	Вид КЗ и номинальный ток защиты							
	Однофазное		Двухфазное		Трехфазное		Ток обратной последовательности	
	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  $h = 1$ ; при  $h = 1,5; 2$  значения, указанные в таблице, умножаются на 1,5 или 2.

На рис. 11.1 дана структурная схема защиты линии, а на рис. 11.2 - принципиальная электрическая схема полукомплекта с блоком А3. Схема второго полукомплекта отличается отсутствием в нем блока А3. Подключение соединительных проводов ко второму полукомплекту показано на рис. 11.2, б.

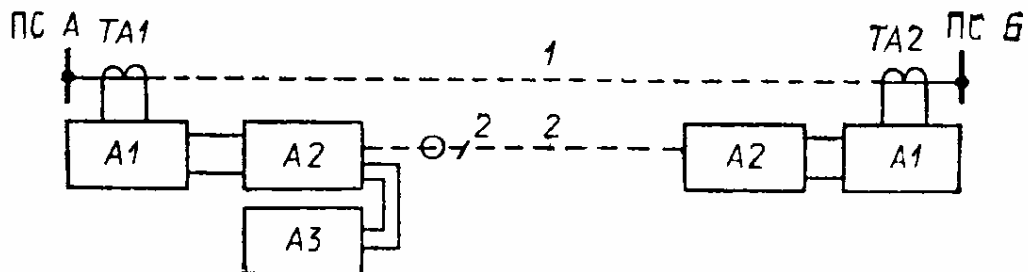


Рис. 11.1. Структурная схема защиты:

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)



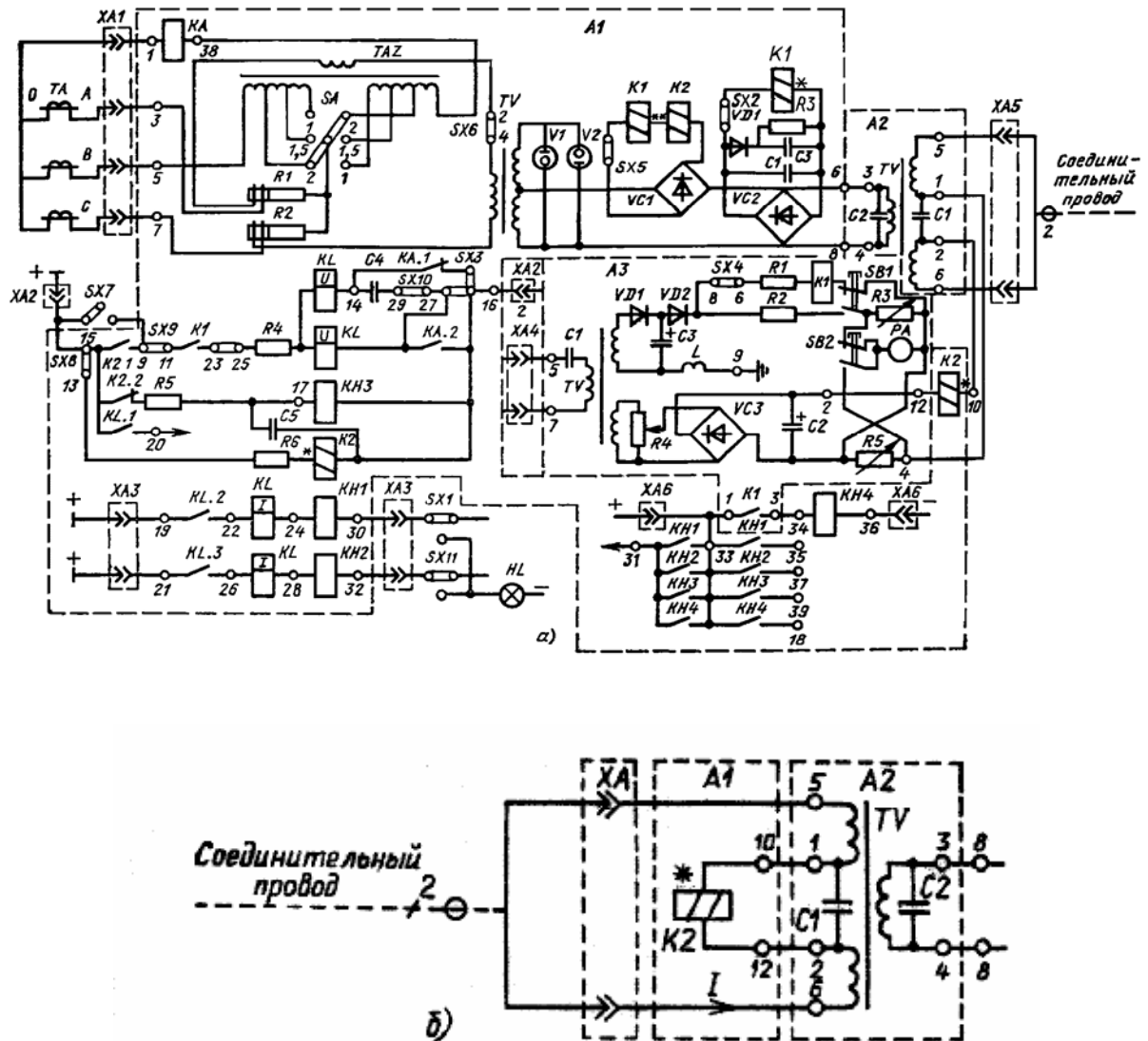


Рис. 11.2. Принципиальная схема (а), подключение соединительных проводов к полуккомплекту, не имеющему блока А3 (б):

1 - направление тока контроля; А1 - блок измерения и логики; ТАЗ (1ТФ) - комбинированный фильтр тока; R1 (1R1), R2 (1R2), R3-R6 (1R5-1R8) - резисторы; TV (1ТП) - промежуточный трансформатор; K1 (1ПП1) - дифференциальное реле; VC1 (1МВ1), VC2 (1МВ2) - выпрямительные мосты; K2 (1ПП2) - реле контроля; KL (1ПП) - промежуточное выходное реле; V1 (1СТ1), V2 (1СТ2) - стабилизаторы напряжения; C1 (1С1), C3-C5 (1С3-1С5) - конденсаторы; VD1 (Д) - диод; KA (1РТ) - реле тока; КН1-КН4 (1РУ1-1РУ4) - реле указательные; SX2, SX5 (1Н1, 1Н2), SX6 - испытательные накладки; SX3 (1Н3), SX4 (1Н4), SA, SX8, SX9, SX10 - режимные накладки; А2 - блок изолирующий; TV (3ТИ) - изолирующий трансформатор; C1 (3С1), C2 (3С2) - конденсаторы; А3 (УК-1) - блок контроля соединительных проводов; TV (2ТН) - насыщающийся стабилизированный трансформатор; VD1 (2Д1), VD2 (2Д2) - диоды; VC3 (2МВ) - диодный мост; K1 (2ПП1) - реле контроля; L (2Д) - дроссель; РА - микроамперметр; C1-C3 (2С1-2С3) - конденсаторы; R1-R5 (2R1-2R5) - резисторы; SB 1(2К1), SB2 (2К2) - кнопки; XА1-XА6 (12ИБ-17ИБ) - испытательные блоки; SX1, SX7, SX11 (9Н-11Н) - оперативные накладки; HL - сигнальная лампа (в скобках даны заводские обозначения)

### 11.2. Проверка элементов схемы защиты

Для проверки подается ток от постороннего источника на вход блока А1 (рис. 11.3). Во избежание перегрева и выхода из строя ТАЗ, R1, R2 подаваемый ток при всех проверках не должен превышать  $7 I_{ном}$ . Ток срабатывания поляризованных реле K1, K2 блока А1 должен быть  $2,4-2,5 \text{ мА} \pm 10\%$ , коэффициент

возврата  $0,4-0,5 \pm 10\%$ . При подаче тока 22-24 мА в тормозную обмотку реле  $K_1$  - ток срабатывания его возрастает до  $4,1 \text{ мА} \pm 10\%$ . Ток срабатывания реле  $K1$  блока  $A3$  должен составлять  $0,8 \text{ мА}$ , ток возврата  $0,2-0,5 \text{ мА}$ . Допускаются отклонения  $\pm 10\%$ . Регулировка поляризованных реле, реле тока, промежуточных и указательных осуществляется по общепринятой методике (см. разд. 2).

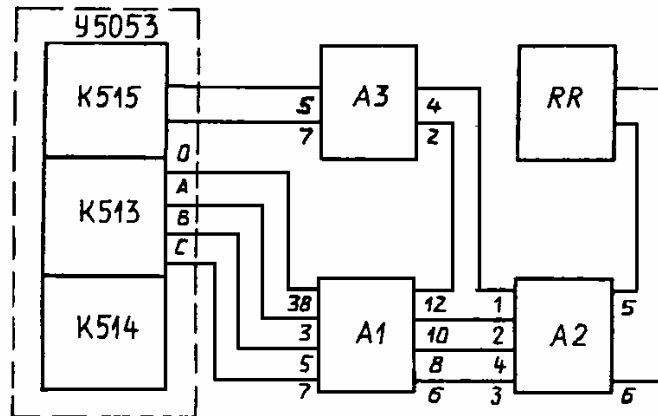


Рис. 11.3. Подключение проверочного устройства типа Y5053 к полукомплекту защиты: K513, K514, K515 - блоки проверочного устройства; RR - реостат типа РПС на 1000 Ом или магазин сопротивлений типа P-33

Напряжение зажигания и правильность включения стабилизаторов напряжения  $V1, V2$  проверяются по схеме рис. 11.4. Для этого на входные зажимы 3-7 блока  $A1$  подается ток от проверочного устройства Y5053 или УПЗ-2. На выводы стабилизаторов напряжения подключаются вольтметр с большим внутренним сопротивлением и осциллограф. Напряжение зажигания фиксируется по началу искажения синусоиды 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.

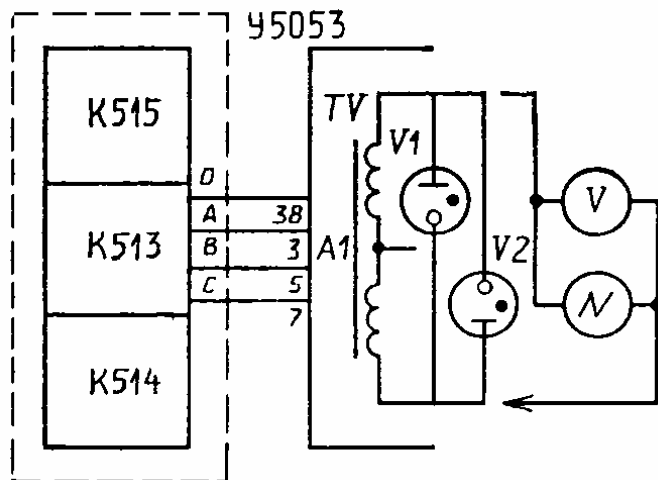


Рис. 11.4. Подключение проверочного устройства типа Y5053 к полу-комплекту защиты для проверки стабилизаторов напряжения: V - вольтметр; N - осциллограф

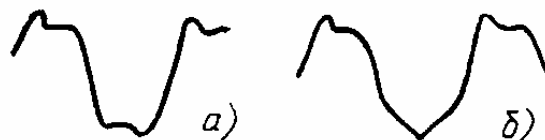


Рис. 11.5. Искажение формы синусоидального напряжения стабилизаторами напряжения: а - при правильном включении стабилизаторов; б - при неправильном включении стабилизаторов

Для проверки коэффициента  $k$  на вход TAZ (зажимы 3-7) блока  $A1$  (рис. 11.6) подается ток  $I_{AC}$ , равный  $0,4 I_{НОМ}$ . На выходе TAZ (зажимы 2-4) перемычки SX6 измеряется напряжение электронным вольт-

метром. Затем на вход (зажимы 5-38) подается такой ток  $I_{B0}$ , чтобы напряжение на выходе было равно предыдущему.

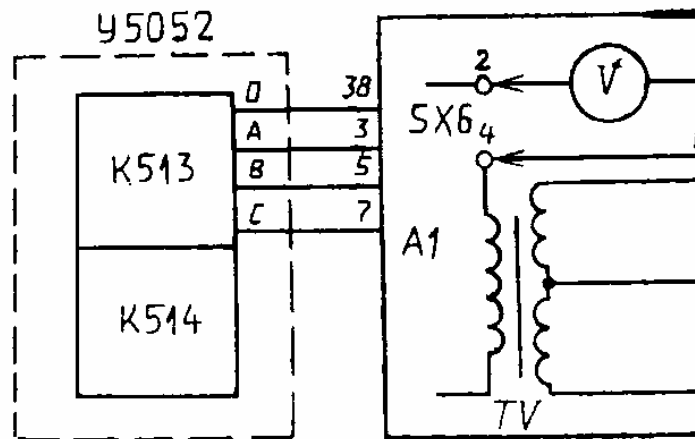


Рис. 11.6. Подключение проверочного устройства типа У 5052 к полукомплекту защиты для проверки коэффициента  $k$

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 мегомметром 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  $1 \text{ А/мм}^2$  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

$$C_{пр} = \frac{I_{пр} \cdot 10^3}{314U_{пр}},$$

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 пока-

зание микроамперметра, равное 55 делениям.

#### 11.4. Комплексная проверка

Для комплексной проверки защиты изготавливают эквивалент соединительных проводов (рис. 11.7), имеющий параметры  $R=R_{\text{пр}}/4$ ,  $C=C_{\text{пр}}$ ; 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.

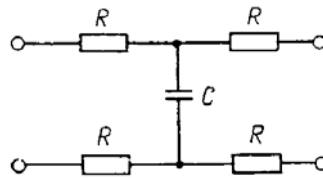


Рис. 11.7. Эквивалент соединительных проводов

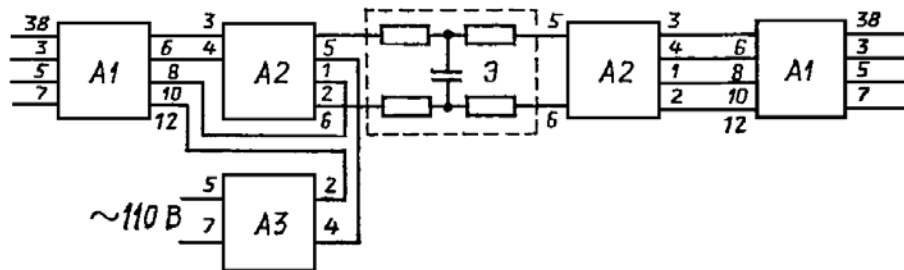


Рис. 11.8. Схема для комплексной проверки защиты:

А1 - блок измерения и логики; А2 - блок, изолирующий; А3 - блок контроля соединительных проводов; Э - эквивалент проводов

Фиксируется срабатывание дифференциального реле К1 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.

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 К2 блока А3.

#### 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, ТАЗ блока А1 поочередно подают фазы токовых цепей АВС-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 К1 - около 0. Напряжение измеряется также при перекрещенном подключении соединительных проводов. Значение напряжения зависит от угла между векторами токов, подаваемых в одноименные зажимы ТАЗ блоков А1. Переключение проводов равнозначно повороту подключаемой фазы на  $180^\circ$ .

На ВЛ с отпайками и на кабельных линиях одноименные векторы тока по концам линии развернуты менее чем на  $180^\circ$  из-за влияния нагрузки отпайки или емкостного сопротивления кабеля. При фазировке защиты отпайку желательно отключить. Одноименность векторов тока во всех случаях определяется путем снятия векторных диаграмм прибором типа ВАФ-85 и их сравнения с показаниями приборов, контро-

лирующих перетоки мощностей по концам линии. После определения наименований фаз токовых цепей с двух сторон линии они подключаются к одноименным зажимам ТАЗ блоков А1.

Для проверки коэффициента  $k$  на вход ТАЗ блока А1 подается симметричная трехфазная система токов АВС-0 прямой, затем обратной последовательности АСВ-0. Электронным вольтметром измеряется напряжение на разомкнутой обмотке TV блока А1 (при снятой перемычке SX6). Отношение напряжения, показываемого вольтметром при обратном чередовании фаз токов на входе ТАЗ, к напряжению при прямом чередовании должно быть равно коэффициенту  $k \pm 8\%$ .

Проверяется действие реле К2 контроля соединительных проводов при их обрыве и замыкании. При обрыве проводов должны сработать реле К2 блоков А1 обоих полукомплектов, при замыкании проводов между собой - реле К2 блока А1 полукомплекта, не имеющего блока контроля АЗ. Замыкание соединительных проводов на землю имитируют, соединяя поочередно жилы проводов с контуром заземления. При этом должны сработать реле К1 блока АЗ и указательное реле КН4.

### Раздел двенадцатый

## НАЛАДКА СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ МОЩНЫХ ЭНЕРГООБЛОКОВ

### 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 переменного тока, определяемой значением сопротивления изоляции цепей ротора относительно земли. Основные элементы и цепи защиты приведены на схеме рис. 12.1.

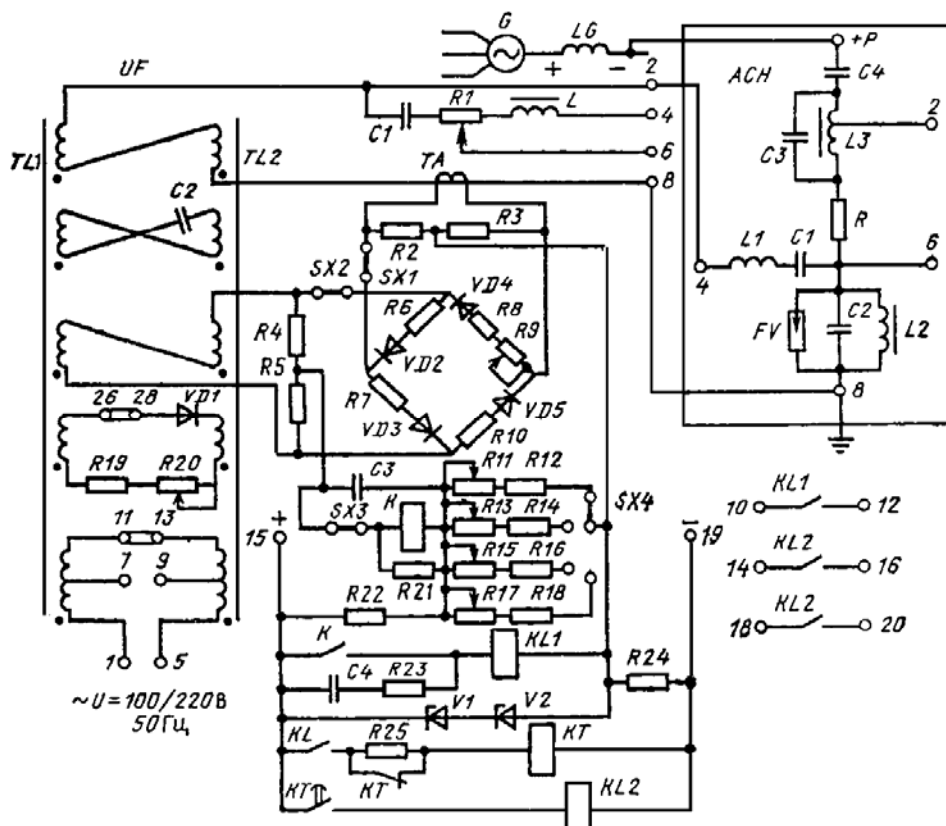


Рис 12.1. Устройство защиты типа КЗР-3 и схема его подключения к цепям возбуждения через вспомогательное устройство АСН

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 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 пары 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 "+P"), 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; L3-C23 - 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.

Наложённый 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 ТА 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 нагрузочных 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 К 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 ТА, которое определяет протекание тока через один из открытых диодов. 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 электромашинном 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  $66 \pm 10$  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 уставку 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  $230 \pm 10$  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 переключки SX3, переключка SX4 должна занимать положение, соответствующее рабочей уставке. Если при соблюдении всех перечисленных 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.

Реле постоянного тока KL1, KL2 и КТ 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 шлицованных 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.

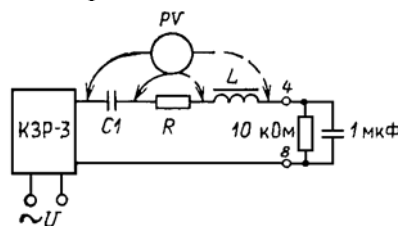


Рис. 12.2. Схема настройки C1-L фильтра комплекта КЗР-3

Резонансный контур С3-L3, С4 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 РА 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 АСН настраивается контур С2-L2 изменением зазора в сердечнике дросселя L2 (при проверке вольтметр PV отключен).

При настройке и проверке данных контуров измерения напряжений и токов производятся в цепях переменного тока частотой 25 Гц, а это накладывает на измерительные приборы дополнительные требования по их частотному диапазону применения. Для измерения напряжения следует применять переносные комбинированные электронные приборы типа ВК26 (ранее выпускались ВК7-9; ВК7-15 и др.), обеспечивающие измерение напряжений с 20 Гц.

При проверке контура С2-L2 можно обойтись без миллиамперметра, работающего на пониженной частоте, если в цепь между зажимами 8 (КЗР-3 и АСН) включить балластный резистор  $R_B$  сопротивлением 3-5 Ом и измерять на нем напряжение (рис. 12.3, б). Вместо измерительного прибора можно использовать электронно-лучевой осциллограф, который позволяет наглядно контролировать напряжение элементов схемы; при необходимости можно сравнить измеряемые величины с калиброванным сигналом.

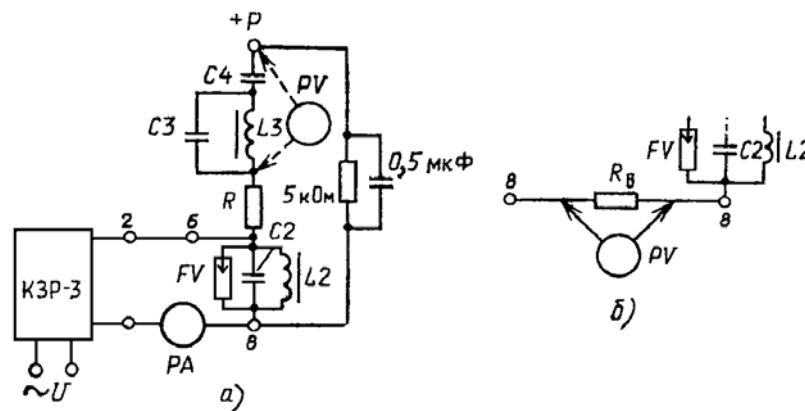


Рис. 12.3. Схемы настройки частотных фильтров вспомогательного устройства АСН  
а - с использованием вольтметра PV и миллиамперметра РА; б - с использованием одного вольтметра PV

В исключительных случаях, при отсутствии необходимого вольтметра или осциллографа все измерения можно производить и оценивать качественно на минимум тока и максимум-минимум напряжения распространенными комбинированными приборами типа Ц4315, Ц4352 и другими приборами, имеющими нижний диапазон частоты 45 Гц.

При проверке контура L1-C1 соединительный провод с зажима 6 устройства АСН переключают на зажим 4, вольтметром измеряют распределение напряжений на C1 и L1, при этом напряжение на дросселе должно быть на 2-5 % больше, чем на конденсаторе, а настройку производят изменением зазора сердечника дросселя.

Настройку рабочей уставки производят при полностью собранных 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 мегомметром 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 P33 подключают между контуром заземления и поочередно обоими полюсами цепей возбуждения, настройку  $R_{cp}$  производят при реальной емкости шин одним из регулированных резисторов R11, R13, R15, R17 при заданном сопротивлении  $R_{cp}$ , установленном на P33. Если имеется отличие в  $R_{cp}$  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	МДЧ	KL1	1РП	ACH	BY2
TL1, TL2	1ТП, 2ТП	KL2	2РП	C1-C4	1C-4C
VD1-VD5	1Д-5Д	КТ	РВ	L1-L3	1L-3L
C1-C4	1C-4C	К	РТ	FV	РЗ
V1, V2	1СТ, 2СТ	SX1-SX4	1Н-4Н		
L	Др				

Примечание. На заводской схеме резисторы имеют цифровой индекс перед буквенным обозначением от 1R до 25R, на схеме рис. 12.1 аналогичный цифровой индекс - после.

Многokратным изменением в полной схеме сопротивления мостом в сторону увеличения R определяют  $R_B$ , при уменьшении повторно проверяют  $R_{cp}$ , по измеренным величинам определяют  $k_B$ , который должен быть не более 2:

$$k_B = \frac{R_B}{R_{cp}} \leq 2.$$

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 ЗЗГ-1

Блок-реле типа ЗЗГ-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].

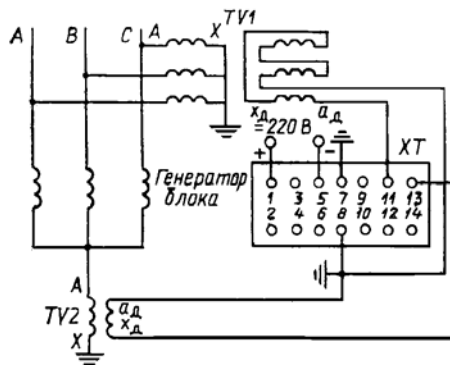


Рис. 12.4. Схема подключения блок-реле типа ЗЗГ-1 к цепям напряжения

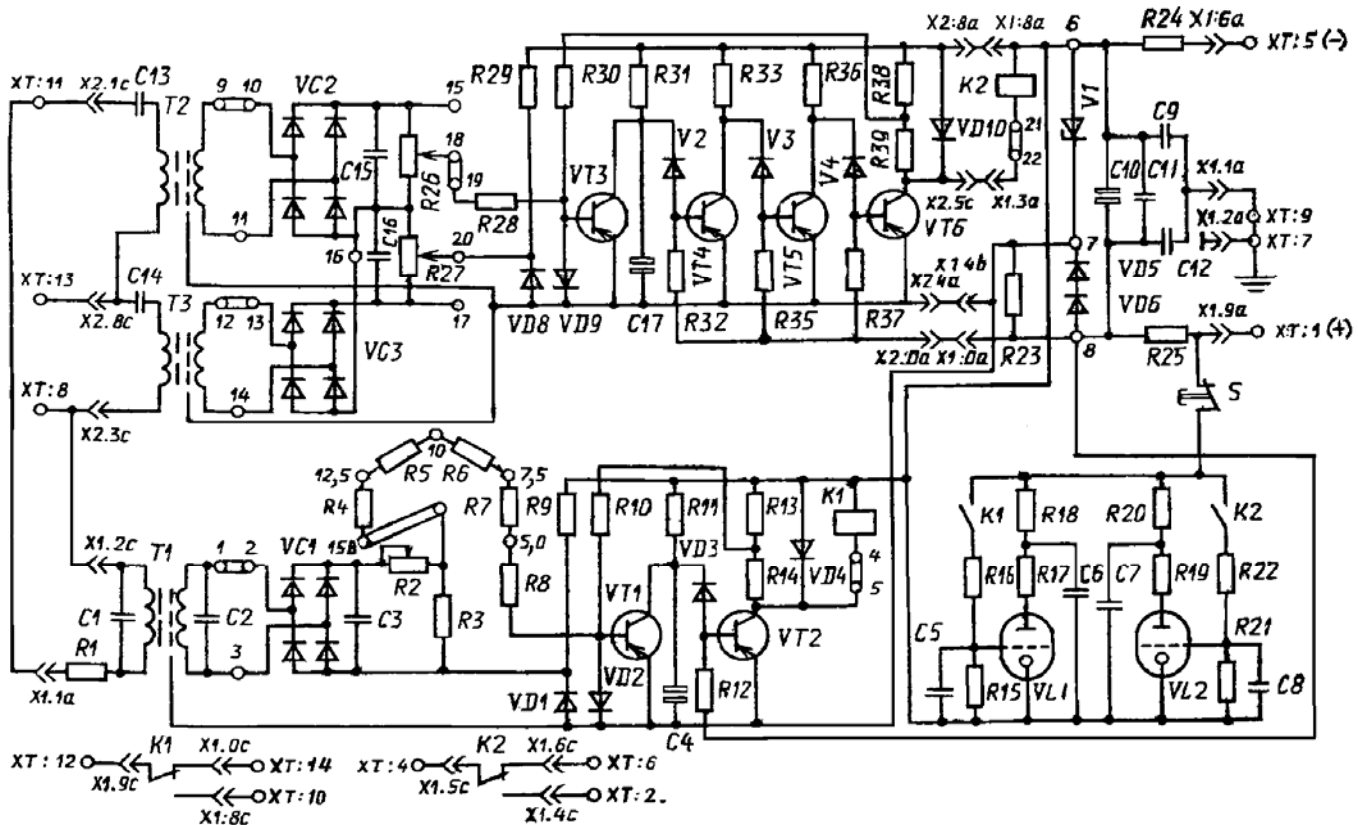


Рис. 12.5. Принципиальная схема блок-реле типа 33Г-1

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; загрузившее 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. Диод VD3, включенный на вход выходного транзистора VT2, обеспечивает релейный режим его работы, конденсатор C4 улучшает помехоустойчивость реле. Исполнительный орган реле K1, включенный в цепь коллектора VT2, 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.  $\underline{U}_H = \underline{U}_B = 0,5 E_3$ ;  $\underline{U}_C = 0$ .

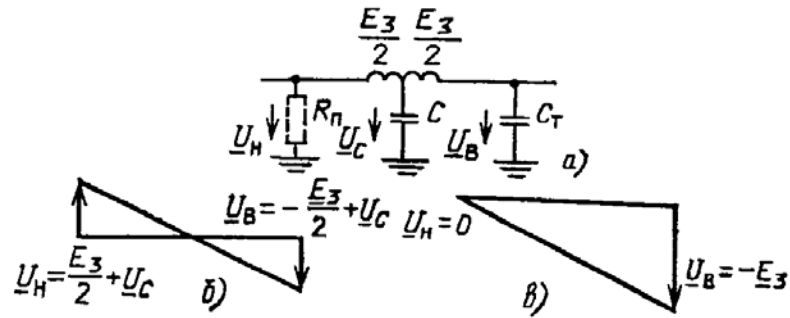


Рис. 12.6. Напряжение третьей гармоники в обмотке статора генератора:

а - схема замещения; б - распределение напряжения третьей гармоники вдоль обмотки в нормальном режиме; в - то же при замыкании на землю нейтрали генератора; С - емкость обмотки генератора;  $C_T$  - емкость шин 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

На вход рабочей цепи (выводы ХТ : 11-ХТ : 13 на рис. 12.5) подается сумма векторов напряжений - модуль  $I \underline{U}_n + \underline{U}_b I$ ; на вход цепи торможения (выводы ХТ : 8-ХТ : 13) - напряжение  $I \underline{U}_n I$ . В нормальном режиме (без замыкания на землю) в обмотке суммарное напряжение  $I \underline{U}_n + \underline{U}_b I$  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  $I \underline{U}_n + \underline{U}_b I$  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  $I \underline{U}_b + \underline{U}_n I = 0$  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, установленного в нейтрали при идентичных параметрах первичной обмотки, должно быть 100 В.

На входе рабочей и тормозной цепей установлены фильтры Т2-С13, Т3-С14, настроенные на частоту 150 Гц (см. рис. 12.5). Выпрямленные напряжения рабочей и тормозной цепей сглаживаются емкостями С15, С16 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 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  $I \underline{U}_n I$  является тормозным; напряжение, приложенное к резистору R26 и пропорциональное  $I \underline{U}_b + \underline{U}_n I$ , 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 К2 - промежуточное реле типа РП-220.

Конденсатор С17 обеспечивает повышение помехоустойчивости реле.

Блок питания реле состоит из стабилитрона V1, диодов VD5, VD6, резисторов R23-R25 и конденсаторов С9-С11. Он обеспечивает питание цепей стабилизированным напряжением оперативного тока:  $U_{6-7} = 12 \pm 1,2$  В;  $U_{7-8} \leq 2$  В.

В ЗЗГ-1 предусмотрена отдельная сигнализация срабатывания исполнительных реле К1 и К2, контакты

которых используются в схеме световой сигнализации на тиратронах VL1 и VL2. При срабатывании K1 загорается тиратрон VL1 “К<sup>(1)</sup>, удаленное от нейтрали”, при срабатывании K2 загорается тиратрон VL2 “К<sup>(1)</sup> 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 мегомметром 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 V1 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 обратной трансформации трансформаторами напряжения. Фиксацию срабатывания ведут по индикаторной лампе, подключенной на выводы K1 XT : 10 и XT : 12, или при медленном повышении напряжения по тиратрону. Напряжение  $U_{ср}$  регулируют ступенчато резисторами R4-R7 и плавно R2. Коэффициент возврата  $k_v \geq 0,8$ .

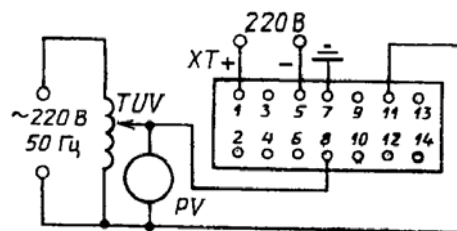


Рис. 12.7. Схема настройки реле максимального тока первой гармоники блок-реле 33Г-1

При значительном отличии  $U_{ср}$  от уставки иногда требуется произвести настройку входного фильтра R1, C1, T1, C2 (см. рис. 12.5) на частоту 50 Гц. При неизменном по величине и частоте напряжении на входе XT : 8 - XT : 11 перемещением магнитного шунта изменяют индуктивность T1. Вольтметром, включенным на вторичную обмотку T1, фиксируют максимум напряжения на зажимах 3-2 при введенной накладке 1-2 и надежно закрепляют в этом положении шунт.

Если требуется проверить работу усилителя, то при отсутствии входного сигнала, когда VT1 открыт,  $U_{эк} < 0,3$  В (напряжение эмиттер - коллектор); когда VT2 закрыт,  $U_{эк} > 10,5$  В,  $U_{бэ} > 0,15$  В (напряжение

база - эмиттер); при измерениях (+) прибора подключают к выводу триода, указанному первым. При срабатывании реле когда VT1 закрыт,  $U_{эк} > 10,5 \text{ В}$ ; когда VT2 открыт,  $U_{эк} < 0,15 \text{ В}$ .

Проверку реле напряжения третьей гармоники с торможением (реле НТГ) выполняют в два этапа:  
 лабораторная проверка работоспособности реле;  
 настройка рабочей уставки на работающем генераторе.

Цель лабораторной проверки - выявить возможные повреждения устройства и получить данные, необходимые при настройке уставки.

Проверку настройки на резонансную частоту 150 Гц рабочей С13-Т2 и тормозной С14-Т3 цепей реле проводят отдельно при отключенном оперативном токе. Напряжение питания 1-5 В от звукового генератора подают соответственно на входные зажимы реле: рабочей цепи - ХТ : 11 - ХТ : 13, тормозной - ХТ : 13 - ХТ : 8. Для исключения взаимного влияния цепей при проверке рабочей цепи размыкают накладку 12-13, при проверке тормозной цепи - накладку 9-10. Поддерживая неизменной величину напряжения на входе, генератором изменяют частоту питания в пределах  $150 \pm 50 \text{ Гц}$ . По максимальному значению показания вольтметра, включенного на вторичную обмотку трансформатора Т2 или Т3, измеряют напряжение  $U_{9-11}$  или  $U_{12-14}$  и фиксируют резонансную частоту, которая должна быть  $150 \pm 6 \text{ Гц}$ . При проверке необходимо использовать вольтметр с высоким входным сопротивлением, проверяемые трансформаторы Т2 и Т3 должны находиться в режиме нагрузки, для чего необходимо установить перемычки 9-10 или 12-13. Дополнительно 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 Т2, Т3 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 ХТ : 11 - ХТ : 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  $U_{15-16} = U_{18-16}$ .

Следует измерить также напряжение срабатывания в этом режиме при частоте 50 Гц и по полученным результатам определить коэффициент ослабления фильтром напряжения промышленной частоты.

$$k_{\phi} = U_{ср \ 50 \text{ Гц}} / U_{ср \ 150 \text{ Гц}},$$

$k_{\phi}$  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.

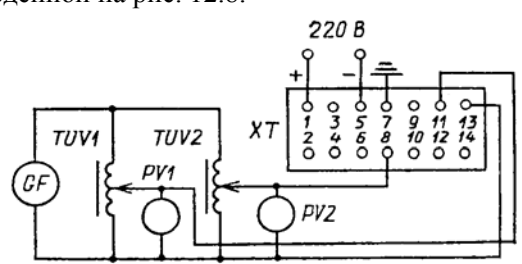


Рис. 12.8. Схема настройки реле третьей гармоники блок-реле 33Г-1

Под коэффициентом торможения в соответствии с заводской документацией понимается отношение рабочего напряжения к тормозному, которые измерены в момент срабатывания:

$$k_T = U_{ХТ:11-ХТ:13} / U_{ХТ:8-ХТ:13}.$$

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  $U_{20-16} = U_{17-16}$ . Регулировочным трансформатором TUV1 устанавливают любое фиксированное значение рабочего напряжения  $U_{ХТ:13-ХТ:11}$  в пределах от 1 до 10 В и проверяют, чтобы реле К2 сработало. Затем повышают тормозное напряжение регулировочным трансформатором TUV2 до значения большего, чем установленное рабочее, и фиксируют возврат реле К2. Плавно 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 ЗЗГ-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  $Z_\infty^*$  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 накладках 9-10 и 12-13 измеряют напряжение  $U_{9-11}$  и  $U_{12-14}$  :

$$\bar{Z}_\infty^* = U_{12-14} / U_{9-11}.$$

Основным параметром, определяющим выбор срабатывания  $\bar{Z}_{cp}^*$ , является коэффициент надежности  $k_H$ , диапазон изменения которого от  $k_{Hmin}$  до  $k_{Hmax}$  рассчитывается по приведенному выражению

$$k_{Hmin} = \sqrt{\frac{1 + 4Z_\infty^* \frac{U_{cp1}^2}{k_\phi^2 U_{9-11}^2}}{1 + \frac{U_{cp1}^2}{k_\phi^2 U_{9-11}^2}}} \leq k_H \leq$$

$$\leq \frac{Z_\infty^* \frac{1 - 4U_{cp1}}{100}}{4U_{cp1}} = k_{Hmax},$$

где  $U_{cp1}$  - уставка срабатывания реле первой гармоники, В;  $k_\phi$  - измеренный коэффициент ослабления фильтром напряжения промышленной частоты (если измерение не производилось,  $k_\phi$  принимается 25-30).

По рекомендации ВНИИЭ принимаемый коэффициент надежности должен быть  $k_H \geq 3$ , с уставкой срабатывания он связан следующим выражением:

$$k_H = Z_\infty^* / Z_{cp}^*,$$

где  $Z_{cp}^* = \frac{U_{12-14}}{U_{9-11}}$  в момент срабатывания.

Рассчитывая по формуле  $k_{Hmin}$  и  $k_{Hmax}$ , определяют  $Z_{cpmin}^*$  и  $Z_{cpmax}^*$ ; при выборе уставки должно выполняться условие

$$Z_{cpmin}^* \leq Z_{cp}^* < Z_{cpmax}^*.$$

Как правило, устанавливают  $Z_{cp}^*$ , близкое к  $Z_{cpmin}^*$ . Реле НТГ в зависимости от  $Z_{cp}^*$  имеет различные зоны защиты обмотки статора:

при  $Z_{cp}^* > 1$  реле НТГ имеет две зоны:

от нейтрали к выводам с защитой части обмотки генератора, определяемой по формуле, в процентах

всей обмотки, принимаемой за 100%:

$$\alpha = \frac{1}{2 + 1/Z_{cp}^*} 100;$$

от выводов к нейтрали с защитой части обмотки генератора, определяемой по формуле, в процентах всей обмотки и вся сеть генераторного напряжения

$$\alpha = \frac{1}{2 - 1/Z_{cp}^*} 100;$$

при  $Z_{cp}^* < 1$  реле НТГ имеет одну зону работы генератора, которая определяется по формуле в процентах обмотки

$$\alpha = \frac{1}{2 + 1/Z_{cp}^*} 100.$$

При непосредственной настройке уставки  $Z_{cp}^*$  уровень регулирования напряжения рабочей цепи резистором R26 и напряжения тормозной цепи резистором R27 определяется рабочим и тормозным коэффициентами регулирования (соответственно  $K_{p,p}$ ,  $K_{p,t}$ ):

$$K_{p,p} = \frac{U_{18-16}}{U_{15-16}}; K_{p,t} = \frac{U_{20-16}}{U_{17-16}}.$$

Из этих выражений с определенными допущениями можно получить

$$N = \frac{K_{p,t}}{K_{p,p}} = \frac{U_{20-16}U_{15-16}}{U_{17-16}U_{18-16}} = \frac{k_H}{Z_{\infty}^*} = \frac{1}{Z_{cp}^*}.$$

При принятом  $Z_{cp}^*$  вычисляют отношение

$$N = \frac{K_{p,t}}{K_{p,p}} = \frac{1}{Z_{cp}^*}.$$

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  $K_{p,t} = 1/Z_{cp}^* = U_{20-16}/U_{17-16}$ . 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  $k_H$  настроенной уставке  $Z_{cp}^*$ :

$$k_H = \frac{Z_{\infty}^*}{Z_{cp}^*} = \frac{U_{12-14}}{U_{9-11}} \cdot \frac{U_{15-16}}{U_{18-16}} \cdot \frac{U_{20-16}}{U_{17-16}} \geq 3.$$

После завершения регулирования уставки рекомендуется от проверочного устройства при частоте 50 Гц провести изменение напряжения срабатывания реле НТГ в двух режимах:

при подаче напряжения  $U_{XT:11-XT:13}$  и разомкнутой накладке 12-13;

при подаче напряжения  $U_{XT:11-XT:13}$  и замкнутой накладке 12-13, когда из-за параллельной цепи С14-Т3; С1, Т1-Р1 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 К1 и К2 комплекта КРС-2.

Блок-реле типа КРС-2 предназначен для использования в различных схемах релейной защиты в качест-

ве 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  $3 I_0$ .

Рис. 12.9. Схема включения комплекта КРС-2 во вторичные цепи трансформаторов тока и напряжения

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 обеспечивают стабилизацию режима работы выходных транзисторов VT нуль-индикаторов. Стабилитроны V1, V2, V3 и резистор R28 служат для создания необходимого времени возврата исполнительных реле.

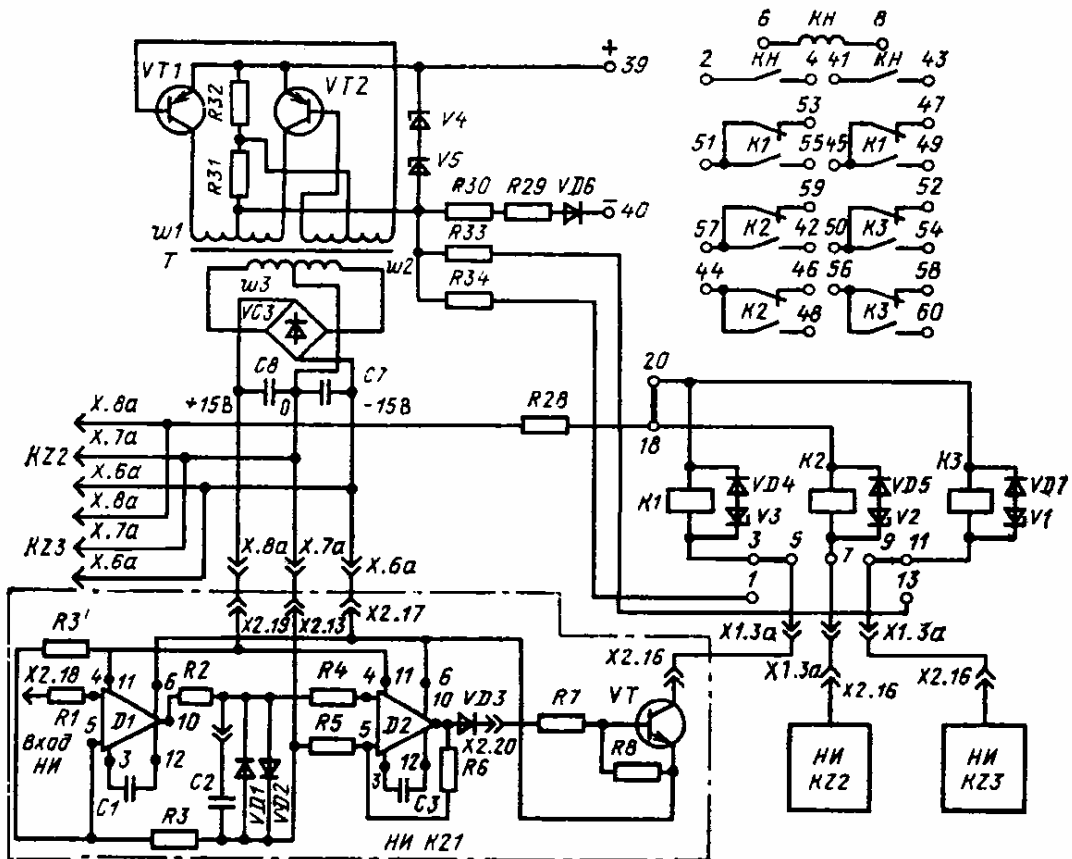
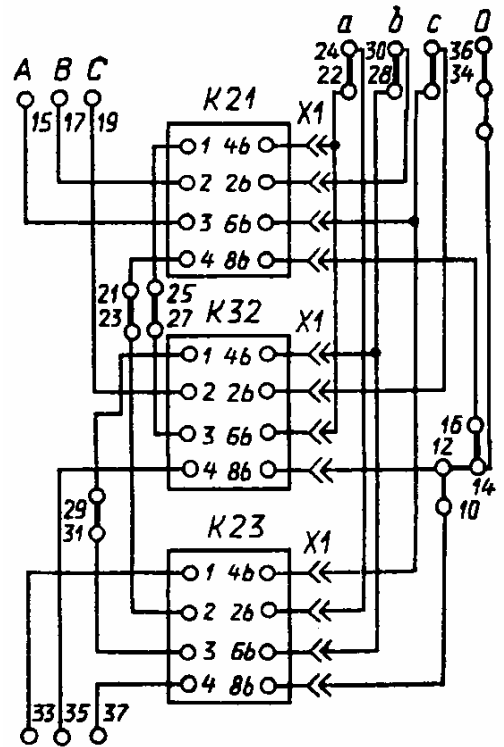


Рис. 12.10. Оперативные цепи комплекта КРС-2

Блок питания нуль-индикаторов, установленный в комплекте, практически не отличается от применяе-



мых 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 КЗ комплектов ДЗ-2 (рис. 12.11).

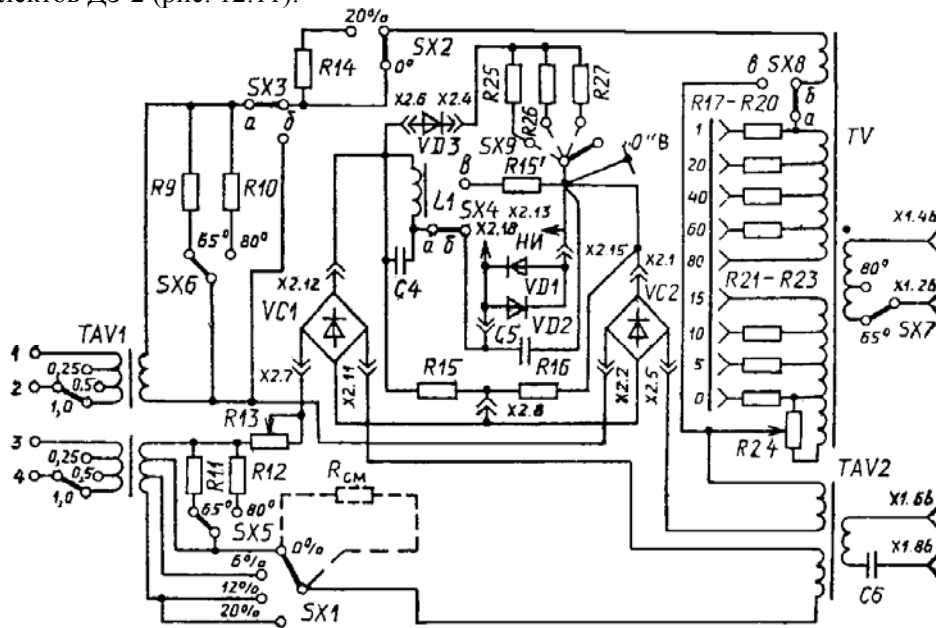


Рис. 12.11. Схема реле сопротивления комплекта КРС-2

Такое выполнение обеспечивает работу дистанционных органов при близких КЗ 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 переключки 21-23, 29-31 и установить их между выводами 21-29-35, эти переключения позволяют полностью отделить неиспользуемое реле КЗ3 по токовым цепям (рис. 12.12). В цепях напряжения следует снять переключки 22-24, 34-36, 10-12-14-16, а соединительные провода от цепей TV а, б, с подключить на выводы комплекта 22, 28-30, 36; выходные цепи реле следует разделить, КЗ1 действует на К1, КЗ2 - на К2.

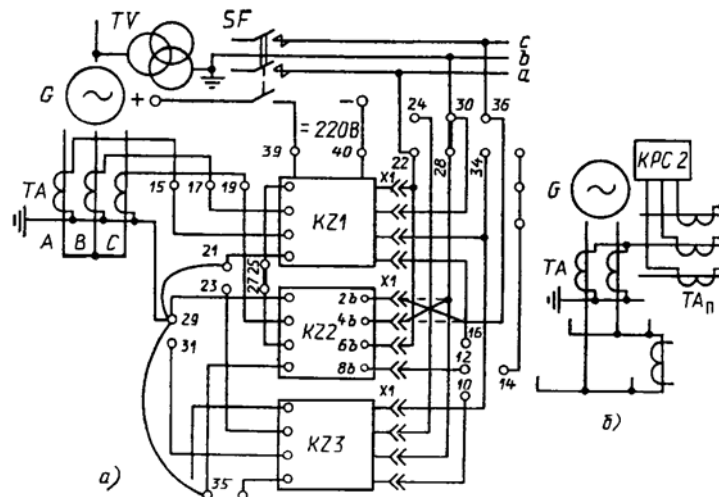


Рис. 12.12. Использование комплекта КРС-2 для выполнения защиты блока генератор - трансформатор:  
 а - подключение комплекта КРС-2 [жирными линиями показаны вновь устанавливаемые переключатели и вновь монтируемые цепи напряжения реле КЗ2; пунктирными линиями показаны демонтируемые (заводские) провода]; б – включение комплекта КРС-2 в цепи дополнительных трансформаторов тока ТА<sub>п</sub>

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, фаз-

ные провода к реле подводят от выводов ТА со стороны обмотки статора, нуль трансформаторов тока 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<sub>п</sub> с коэффициентом трансформации 10/5 А.

Вторичная уставка срабатывания реле подсчитывается по формуле

$$Z_{ср} = Z_{ср.п} \frac{K_{ТА}}{K_{ТВ}} K_{ТАп},$$

где  $K_{ТА}$  - коэффициент трансформации ТА;  $K_{ТВ}$  - коэффициент трансформации TV;  $K_{ТАп}$  - коэффициент трансформации промежуточных трансформаторов тока ТА<sub>п</sub>, если они используются;  $Z_{ср.п}$  - первичная уставка срабатывания, Ом/фазу.

Реле сопротивления КЗ1 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°.

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 КЗ2 комплекта КРС-2,

выполняющее функции защиты от потери возбуждения, должно иметь характеристику, расположенную в III и IV квадрантах (рис. 12.13).

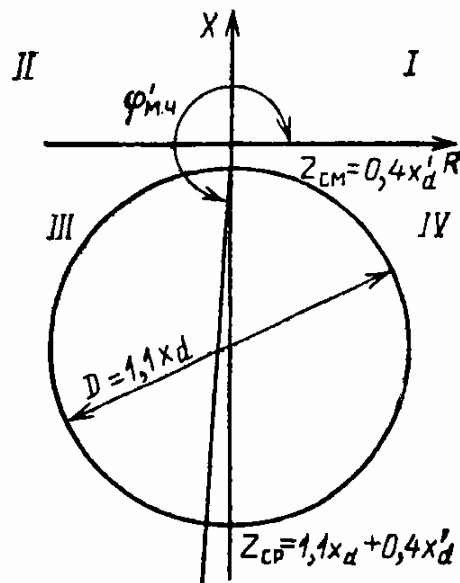


Рис. 12.13. Характеристика реле KZ2 защиты от потери возбуждения генератора

По результатам многочисленных испытаний и исследований принято, что характеристика реле должна соответствовать следующим требованиям:

круговая характеристика должна иметь смещение в III-IV квадранты, равное  $Z_{cm} = 0,4 x d'$ , этим обеспечивается срабатывание реле при асинхронном режиме работы генератора с полной нагрузкой и замкнутой накоротко обмоткой ротора:

диаметр окружности характеристики принимают равным  $1,1 x d$  для обеспечения надежной работы реле при потере возбуждения ненагруженного генератора;

угол максимальной чувствительности реле при этом желательно иметь равным  $270^\circ$ .

Чтобы реле KZ2 могло максимально соответствовать перечисленным выше требованиям, в заводскую схему исполнения данного реле вносят небольшие изменения. По заводской схеме реле KZ2 включено на

разность токов  $I_b - I_c$  и напряжение  $U_{bc}$  (см. рис. 12.9) при  $\varphi_{mч} = 80^\circ$  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 X1 (см. рис. 12.12). Провод фазы b отпаивают от X1.4b, провод фазы c - от X1.2b и, поменяв провода местами, надежно припаивают их. Провод фазы c присоединяется к зажиму X1.4b - начало обмотки TV реле, а провод фазы b - к зажиму X1.2b, при этом угол максимальной чувствительности изменяется по сравнению с указанным в заводской документации на  $180^\circ$  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  $\varphi_{mч}$  к  $270^\circ$ , накладки SX5 и SX6 размыкают, накладку SX7 устанавливают в положение  $80^\circ$ , при таких переключениях угол максимальной чувствительности реле  $\varphi_{mч}$  достигает  $265-267^\circ$ , 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  $R_{cm}$  (рис. 12.11). Резистор МЛТ-2, сопротивление которого в пределах 1-2,5 кОм уточняется при наладке, включается под заводские винты в гнезда вместо наклейки SX1 в положение  $0^\circ$ , наклейка SX2 устанавливается в положение  $0^\circ$ , точная регулировка  $Z_{cm}$  выполняется резистором R13. В справочниках и заводской документации на генераторы значения  $x_d$  и  $x_d'$  приводятся в относительных единицах, необходимые первичные уставки  $Z_{cm.п}$  и  $Z_{ср.п}$  можно рассчитывать по формулам, Ом,

$$Z_{\text{см.п}} = \frac{0,4U_{\text{ном}}^2 x'_d \cdot 100}{S_{\text{ном}}}; Z_{\text{ср.п}} = \frac{U_{\text{ном}}^2 \cdot 100}{S_{\text{ном}}} (1,1x_d + 0,4x'_d),$$

где  $U_{\text{ном}}$  - номинальное напряжение генератора, В;  $S_{\text{ном}}$  - номинальная мощность генератора, В·А;  $x_d$ ,  $x'_d$  - реактивные сопротивления генератора в относительных единицах.

Пересчет полученных первичных значений во вторичные уставки срабатывания реле проводят в полном соответствии с расчетом уставки реле КЗ1.

В связи с некоторым отличием реле КЗ2 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  $270^\circ$  по двум контрольным точкам  $Z_{\text{см}}$  и  $Z_{\text{ср}}$ . Параметры срабатывания реле  $Z_{\text{см}}$  и  $Z_{\text{ср}}$ , взаимно связаны, регулирование уставки изменением числа витков N и положением резистора R24 влияет и на значение  $Z_{\text{см}}$ , включение  $R_{\text{см}}$  и изменение сопротивления R13 влияют на значение  $Z_{\text{ср}}$ , 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  $R_{\text{см}}$  и R24, а затем R13 и число витков N; тем не менее расчетное число витков может существенно отличаться от выставленных при  $Z_{\text{ср}}$ . Снятие круговой характе-

ристики и определение  $\Phi_{\text{мч}}$  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  $Z_{\text{ср}}$  бывает достаточно большим, проверку круговой характеристики и настройку  $Z_{\text{ср}}$  обычно производят при заводском значении тока 10 %-ной точности или чуть большем.

После окончательной регулировки уставок и фиксации положения регулировочных резисторов R13, R24 определяют ток на входе нуль-индикатора (накладка SX4) при токе  $I_{bc} = I_{\text{н}}$  и зашунтированных цепях напряжения в двух режимах: при установленном  $R_{\text{см}}$  и при  $R_{\text{см}}$ , зашунтированном временной перемычкой.

Данные результаты могут потребоваться для периодического контроля в процессе эксплуатации. Проверку правильности включения дистанционных органов КЗ1 и КЗ2 выполняют при пусковых испытаниях энергоблока в опыте КЗ, когда генератор работает на трехфазную закоротку, установленную за блочным трансформатором. Если проверка обоих реле проводилась последовательно одним проверочным устройством, достаточно проверить реле КЗ1, чтобы сделать вывод о правильном включении комплекта. Для реле КЗ1 опыт КЗ генератора - самый наглядный режим, когда реле должно работать. При подготовке к проверке необходимо вывести оперативными накладками цепи отключения защит с использованием КЗ1 и КЗ2, подать на комплект оперативный ток для обеспечения возможной работы нуль-индикаторов и вывести смещение характеристики реле КЗ1 в III квадрант.

В опыте КЗ генератора фиксируют срабатывание исполнительного органа реле К1, микроамперметром в рассечке а-б накладки SX4 измеряют ток, который должен иметь направление на срабатывание нуль-индикатора.

В опыте XX генератора при номинальном напряжении проверяют в рассечке SX4 максимальный тормозной ток, несрабатывание исполнительного реле К1. 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 а, б, с, 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  $I_{*2}^2$  - 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  $t_{\text{доп}}$  :

$$t_{*2\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{доп}}} \int_0^{t_{\text{доп}}} I_{*2}^2 dt}.$$

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 характеристикой 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 симметричному составляющему обратной последовательности;

входное преобразующее устройство ВПУ, выпрямляющее напряжения 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;

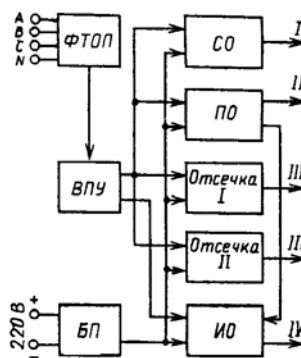


Рис. 12.14. Структурная схема блок-реле РТФ-6М:

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

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 пи-

тания 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  $0,8 U_{ном}$  до  $1,1 U_{ном}$  во всем диапазоне рабочих температур. Для защиты контактов магнитоэлектрических реле от повышения напряжения используются стабилитроны VD1-VD3, включенные последовательно с резисторами R9, R10.

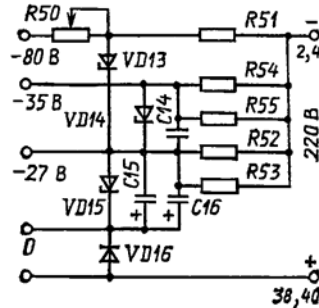


Рис. 12.15. Схема цепей блока питания РТФ-6М

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  $R_{вн} \geq 20 \text{ кОм/В}$ , должны соответствовать данным, приведенным ниже:

Место измерения*	40-I	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	-	-

\* 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 ТА1, ТА3, трансреактора ТАВ2, резисторов R13, R14 и конденсаторов C8-C12. Трансформатор ТА1 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 ТА3 и трансреактор ТАВ2 включены на разность токов фаз В и С. Вторичные обмотки ТА3 и ТАВ2 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 индуктивности, 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 па минимум небаланса производится переменным резистором R14, а компенсация угловой погрешности трансформатора ТА1 и трансреактора ТАВ2 - емкостями C8-C10.

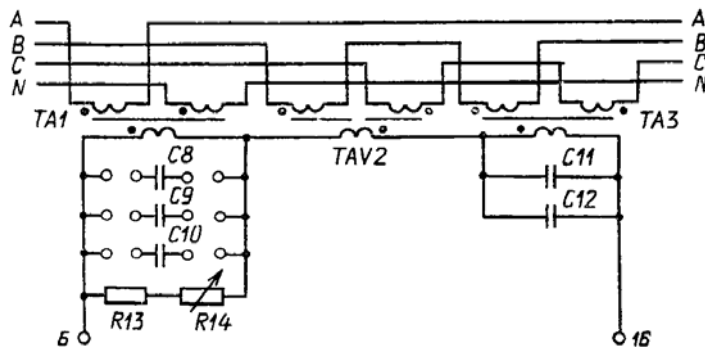


Рис. 12.16. Фильтр тока обратной последовательности РТФ-6М

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.

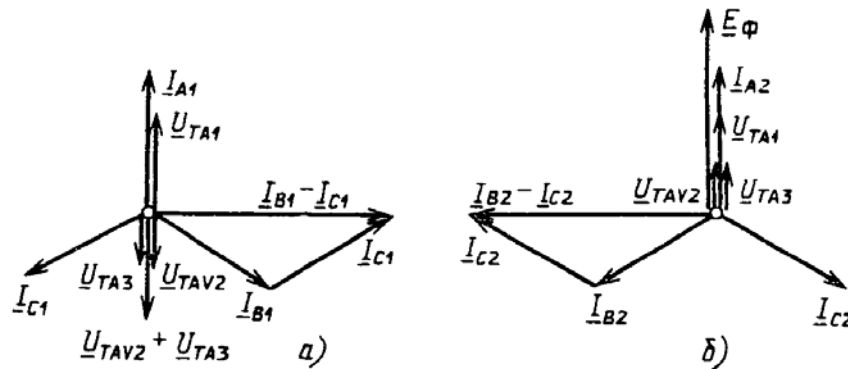


Рис. 12.17. Векторные диаграммы ФТОП:

а - при токе прямой последовательности; б - при токе 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  $R_{\text{вн}} \geq 20$  кОм/В на зажимах 6-16, должна быть не более 1 В. Регулировка ФТОП производится резистором R14 и переключением конденсаторов С8-С10 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-С6, конденсатора С7, 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 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  $0,7 I_{\text{ном}}$  до  $I_{\text{ном}}$ . Согласующий трансформатор TL4 отделяет цепи интегрального органа от остальных элементов защиты, имеющих связь по цепям питания. Вторичная обмотка  $\omega_2$  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 С6-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 С7, 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 характеристики интегрального органа при токе  $I_2 > 1,5 I_{\text{ном}}$ .

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  $\sqrt{3} I_{\text{ном}}$ . Регулирование напряжения осуществляется резисторами R15, R16. Для измерения напряжения используется вольтметр постоянного тока с  $R_{\text{вн}} \geq 20$  кОм/В (M1200, M1201, M2038 и др.).

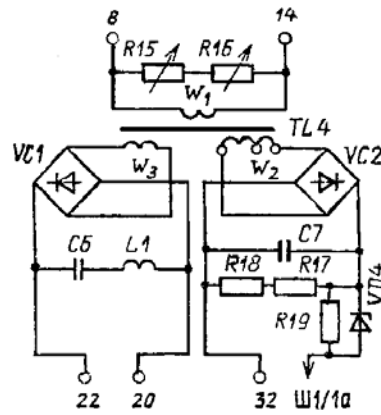


Рис. 12.18. Входное преобразовательное устройство РТФ-6М

Настройка фильтра-шунта С6-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.

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 ЕС включено магнитоэлектрическое реле К1 типа М237/054, 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 его 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 ЕС изменит направление и реле К1 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 К1-К4 параллельно им включены искрогасительные контуры R1-C1-R4-C4. Контакты магнитоэлектрических реле действуют на свои выходные реле КЛ1-КЛ4 типа РМУГ. Выдержки времени создаются с помощью дополнительных реле времени.

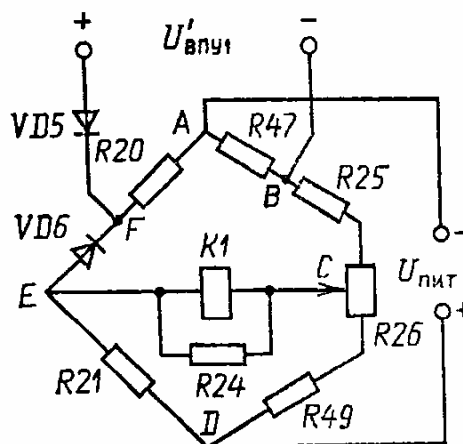


Рис. 12.19. Упрощенная схема сигнального органа

Настройка уставок производится при имитации КЗ на фазах АВ с пересчетом на ток обратной последовательности:



$$I_{*2} = \frac{I_2}{I_{НОМ}} = \frac{I_k^{(2)}}{\sqrt{3}I_{НОМ}}$$

Срабатывание ступеней защиты фиксируется соответствующими выходными реле KL1-KL4. В точки а-б накладок XB1-XB4 включается микроамперметр (M1200, M1201 или др.) для измерения рабочего и тормозного токов магнитоэлектрических реле. Значения рабочего к тормозного токов должны находиться и пределах 50-100 мкА.

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 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 конденсатора 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 сработает с меньшей выдержкой времени, чем после полного охлаждения.

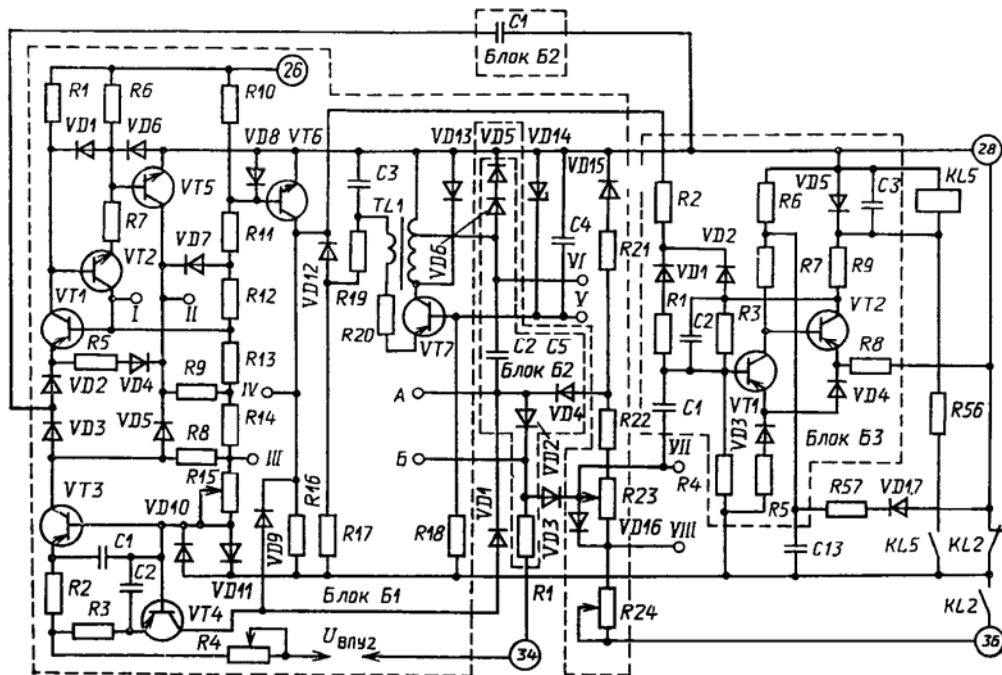


Рис. 12.20. Схема интегрального органа РТФ-6М

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, откроет токостабилизирующий транзистор VT3 и по цепи диод VD10 - коллектор транзистора VT3 - диод VD3 начинается заряд конденсатора C1 блока Б2. 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, DV5 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 Б2 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 током 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 Б2 заряжается через токостабилизирующий транзистор VT4, управляемый напряжением от ВПУ аналогично транзистору VT3 и диодным ключом VD9 (блок Б1), VD1 (блок Б2). 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 отводится 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, откроются диоды VD2, VD3 блока Б2 и коммутирующие импульсы, снимаемые с части 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 А.

При возврате пускового органа KL2 конденсаторы C2-C5 переключаются на разряд по цепи диод VD2 - резистор R1 - размыкающие контакты реле KL2. Ток разряда изменяется 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.

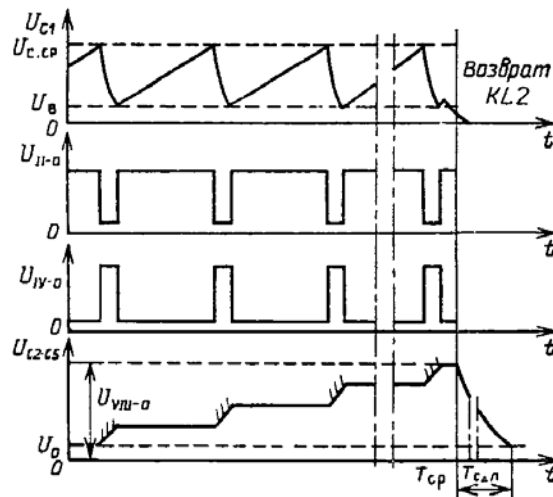


Рис. 12.21. Графики зависимости  $U_{C1}=f(t)$ ;  $U_{И-0}=f(t)$ ;  $U_{ИV-0}=f(t)$ ;  $U_{C2-C5}=f(t)$

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 напряжением, 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.

Выходной триггер (блок Б3) 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 удерживаться 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 зафиксируется 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 отпирающего 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 кон-

трольной 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 HV1 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 А при имитации КЗ на фазах АВ 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  $t_{cp} = A/I_{*2}^2 = A$ , должно быть меньше величины А 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 Б (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 А. При токе обратной последовательности  $I_{*2}=1$  резистором R23 добиваются времени срабатывания интегрального органа на 3% меньше заданной уставки по величине А. Затем снимается временная характеристика при токах  $I_{*2}$ , равных 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0, и имитации КЗ на фазах АВ, ВС, СА. 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.

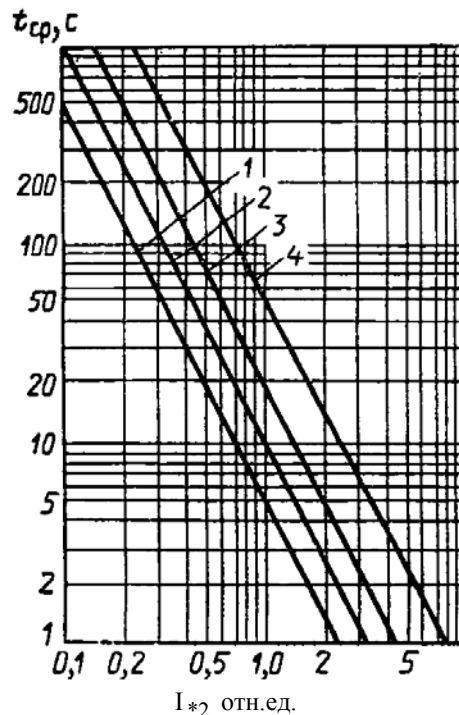


Рис. 12.22. Кривые зависимости времени срабатывания интегрального органа от кратности тока обратной последовательности: 1 - для А-5; 2 - для А-10; 3 - для А-20; 4 - для А-45

При проверке времени срабатывания интегрального органа при импульсном воздействии тока обратной последовательности пусковой орган KL2 должен быть подтянут во избежание разряда конденсаторов по цепи 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  $51 \text{ кОм}$ ;

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 ФТОП, проверка токов срабатывания органов с независимой выдержкой времени, проверка времени срабатывания интегрального органа.

**Таблица 12.2. Характеристика полного охлаждения блок-реле**

Исполнение блок-реле по постоянной А	Уставка по А	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

Измерение напряжения небаланса ФТОП 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  $1,3 \text{ В}$ .

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. Плавно увеличивая ток генератора, измеряют токи срабатывания органов отсечек. Токи 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  $10\%$ .

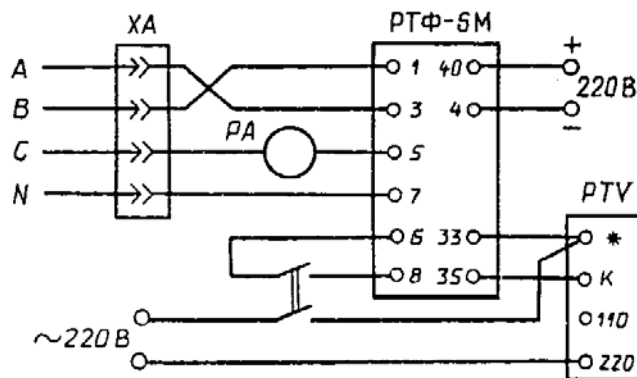


Рис. 12.23. Схема проверки времени срабатывания интегрального органа на работающем генераторе

По окончании проверок все цепи восстанавливаются и производится повторное измерение напряжения небаланса ФТОП.

### 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 перегруз-

как 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:

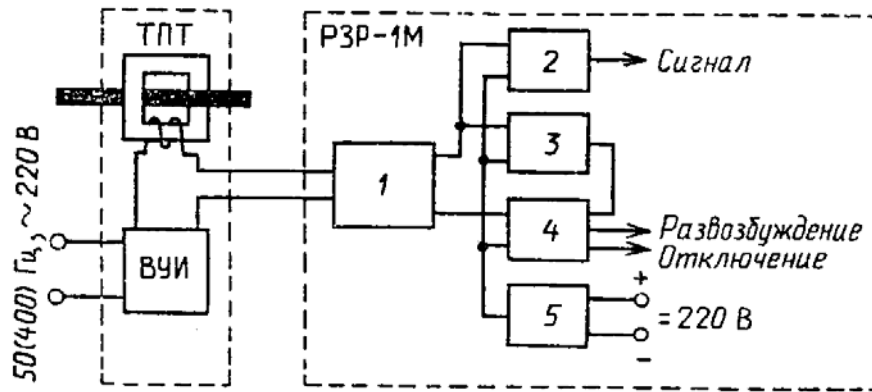


Рис. 12.24. Структурная схема блок-реле РЗР-1М:

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; ..... генератора выше его длительно допустимого значения;

пусковой орган, контролирующей 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 стабилизированного 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 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 ..... 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 соединении 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.

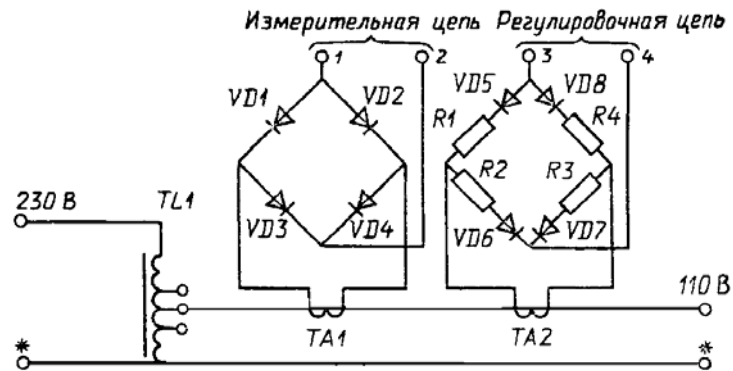


Рис. 12.25. Вспомогательное устройство ВЧИ

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 полувольт 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 беличьей клетки проходят провода от возбуждителя к об-

мотке ротора. При работе генератора ток возбуждения создает вращающееся магнитное поле, индуцирующее токи в стержнях беличьей 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.

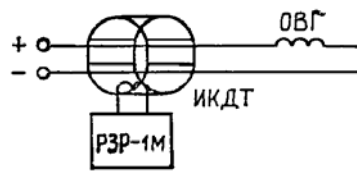


Рис. 12.26. Схема включения индукционного короткозамкнутого датчика тока ИКДТ

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 гальваническое 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).

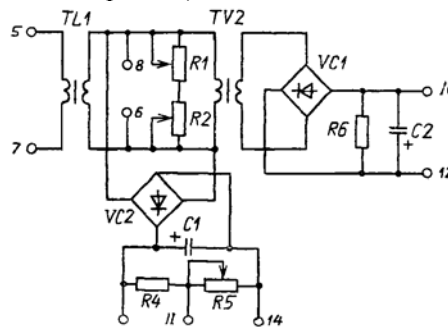


Рис. 12.27. Входное преобразовательное устройство РЗР-1М

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 Б2 и коммутирующие импульсы блокинг-генератора попадут на вход триггера первой ступени (блок Б3) и опрокинут его. При этом сработает 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 неустранимой, конденсаторы C2-C5 заряжаются импульсами тока до срабатывания выходного триггера второй ступени (блок Б4) и выходного реле второй ступени KL4. Уставки интегрального органа 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.

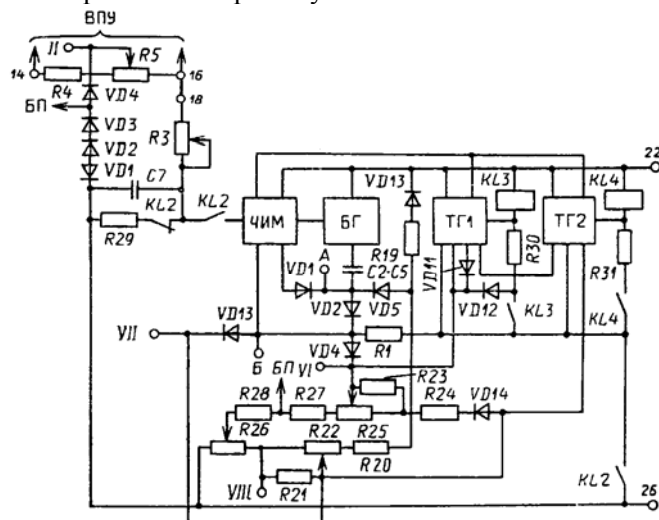


Рис. 12.28. Интегральный орган РЗР-1М

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.

Место измерения*	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

\* Здесь и далее обозначения выводов, точек и разъемов указаны в соответствии с заводской документацией.

При проверке блока питания уровни напряжений в контрольных точках должны соответствовать данным, приведенным ниже:

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

$$I_{cp} = I_{*p} I_{ном}$$

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 0,8-1,5В.

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 R3 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 относительным токам ротора 1,1; 1,2; 1,5 и 2,0. Время срабатывания первой и второй ступеней должно соответствовать данным табл. 12.3.

**Таблица 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 R1 и R2 на зажимах 10-12 выставить напряжение, равное  $16 \pm 0,5$  В, изменяя ток ротора, снять характеристику  $U_{10-12} = f(I_{рот})$  и сравнить ее с характеристикой  $U_{10-12} = f(I_{вх})$ , снятой при проверке ВПУ, затем плавным увеличением тока ротора проверить уставки срабатывания сигнального и пускового органов.