

А. Б. БАРЗАМ, Т. М. ПОЯРКОВА

ЛАБОРАТОРНЫЕ
РАБОТЫ
ПО РЕЛЕЙНОЙ
ЗАЩИТЕ
И АВТОМАТИКЕ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством энергетики и электрификации СССР в качестве учебного пособия для учащихся энергетических и энергостроительных техникумов



6П2.13

Б 24

УДК 621.316.925(07)

Барзам А. Б. и Пояркова Т. М.

Б 24 Лабораторные работы по релейной защите и автоматике. Учеб. пособие для энерг. и энергостроительных техникумов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1976.

288 с. с ил.

Излагается содержание лабораторных работ, предусмотренных программой изучения курса «Релейная защита» электротехнических специальностей энергетических техникумов; описываются методика выполнения работ, способы регулировки реле и отдельных элементов устройств, методы настройки на рабочие уставки, методы определения электрических характеристик, способы проверки исправности измерительных трансформаторов и комплектных реле и панелей.

Первое издание пособия выходило в 1967 г. Настоящее, второе, издание дополнено новыми типами реле и устройств защты. Книга рассчитана на учащихся энергетических и энергостроительных техникумов.

**Б 30311-245
051(01)-76 21-76**

6П2.13

© Издательство «Энергия», 1976.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие электрификации СССР, осуществляемое в соответствии с решениями партии и правительства, обусловило широкое внедрение электроустановок во все области промышленности и быта. Работа электроустановок требует их квалифицированного технического обслуживания. Устройства релейной защиты и противоизвайной автоматики создают возможность надежной и экономичной работы как отдельных объектов энергосистемы, так и всей энергосистемы в целом и являются неотъемлемой частью ее отдельных звеньев. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике призваны закрепить знания, получаемые при изучении теоретического курса. Второе издание книги содержит описания лабораторных заданий курса и указаний по их выполнению. Темы работ определены учебной программой и рекомендованы предметными комиссиями электротехников Министерства энергетики и электрификации СССР.

Ограниченный объем книги привел к необходимости исключить рассмотрение некоторых работ, имеющихся в первом издании; учитывается, что практические навыки по ним учащиеся смогут получить при прохождении производственной практики на электрических станциях или подстанциях.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность всем лицам, давшим замечания по улучшению материалов первого издания книги и принявшим участие в его обсуждении, организованном Управлением

учебных заведений Министерства энергетики и электрификации СССР. Авторы благодарят инж. Микерина Б. Ф. за замечания, данные при рецензировании рукописи, и инж. Баумштейн К. И. за редактирование.

Все замечания и пожелания по совершенствованию книги авторы просят направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, изд-во «Энергия».

Авторы

ГЛАВА ПЕРВАЯ

УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1-1. Общие положения

Учебные лабораторные работы по релейной защите должны закрепить знания, полученные при изучении теоретических разделов дисциплины, дать основные сведения о конструкциях аппаратуры, научить методам настройки на рабочие параметры [1—4, 7, 14, 26]. Учащиеся должны обучаться самостоятельно составлять испытательные схемы и проверять взаимодействие отдельных элементов в соответствии с логикой схемы. Учебные лабораторные занятия имеют также целью привить учащегося к последующей практической эксплуатационной деятельности, где проверки устройств являются обязательным условием обеспечения правильной работы.

Ознакомление учащихся с заданием лабораторного занятия и подготовка к нему в части изучения теоретических основ предстоящего испытания должны производиться заранее, с тем чтобы наиболее эффективно использовалось время, отводимое учебным планом на занятие в помещение лаборатории.

Описания работ, приведенные в книге, следует рассматривать не как незыблемый эталон, а только как методическое пособие для постановки работы, уточненной применительно к конкретным условиям и возможностям учебного заведения. Схемы и данные эксперимента должны учащимися заноситься в «рабочую тетрадь» с последующим оформлением результатов каждым учащимся в виде протокола-отчета и построением характеристик, полученных в результате измерений.

Примерная форма учебного протокола отчета приведена в табл. 1-1. Можно использовать форму протокола,

Таблица 1-1

**Протокол-отчет по лабораторному испытанию
устройств защиты**

Наименование учебного заведения	Протокол испыта- ния (наименование работы)	Испытания проводил учащийся _____
		группы _____
		отделения _____
		в составе бригады _____
		Бригадир _____

1. Цель работы _____
2. Схема испытания _____
3. Испытуемое оборудование _____

№ по схеме	Наименование и тип аппарата	Заводской номер	Примечание

A. Примененная измерительная и испытательная аппаратура

Наименование прибора	Система	Заводской номер	Номиналь- ные вели- чины	Класс точ- ности	Примечание

5. Эскизы оборудования и внутренние схемы соединений испытуемого оборудования (если это требуется заданием или необходимо для пояснения результатов испытания)
6. Результаты испытания и характеристики (по данным опыта) _____
7. Заключение _____

Подпись _____

Работа принята (подпись) _____

Оценка _____

рекомендуемую инструкцией по проверке соответствующего устройства защиты и автоматики.

Если работа выполняется в лаборатории предприятия, дополнительно должна быть сделана отметка начальника лаборатории о приеме работы и ее оценке. Такая форма позволяет учащимся заочных отделений выполнять лабораторные задания, оговоренные учебной программой, по месту постоянной работы в лабораториях служб защиты и автоматики.

Учебные лабораторные работы целесообразно проводить по схемам и программам, в наибольшей степени приближающимся к применяемым в реальных условиях эксплуатации. Однако учебные работы ни по времени проведения, ни по своему назначению не могут и не должны полностью повторять все виды эксплуатационных проверок. Непосредственное участие в таких проверках должно происходить во время производственной практики на электрических станциях или в электрических сетях.

Учебные программы предусматривают проверку в лаборатории только параметрических характеристик устройств релейной защиты (т. е. параметров срабатывания, возврата, времени действия и взаимосвязи элементов), поэтому в книге не рассматриваются методы проверок: механической исправности реле и измерительных трансформаторов, тепловых испытаний аппаратуры, исправности электрической изоляции, вибростойкости устройств, влияние на работу окружающей среды (влаги, химической агрессивности среды), атмосферного давления, хотя эти условия влияют в определенной степени на изменение параметрических характеристик.

Оставлять устройство в эксплуатации считается допустимым, если при проверке эти характеристики (разбросы измерений) не выходят за пределы, гарантируемые заводами-изготовителями или оговоренные ОСТ. Исправление дефектов аппаратуры, регулировка контактов, ремонт и замена неисправных деталей в объемы учебных лабораторных работ не входят; поэтому ниже под терминами «испытание реле» или «испытание устройства защиты», или «испытание измерительных трансформаторов» понимаются лишь проверка и выявление основных параметрических характеристик соответствующих устройств и аппаратов.

1-2. Изменение тока и напряжения и их измерение

Для измерения тока и напряжения в контрольных цепях применяются реостаты, потенциометры, автотрансформаторы, нагрузочные трансформаторы и электрические контуры R , C , L .

Реостаты и потенциометры. Реостаты применяются для изменения значения тока, потенциометры — для изменения значения напряжения как в цепях постоянного, так и переменного тока. Должно быть указано значение номинального тока и полное сопротивление. Схемы включения показаны на рис. 1-1. В схеме на рис. 1-1,б для исключения возможности полного разрыва тока и появления дуги в момент достижения ползунком крайнего положения предусмотрен механический упор.

Для предотвращения возможности перегорания обмотки реостата, имеющего плавную регулировку в процессе перемещения движка, последовательно с регулируемой частью R_1 (рис. 1-2) включается нерегулируемая часть R_2 . Ее сопротивление должно ограничивать ток в цепи до значения

$$I_{\text{пред}} = U_{\text{сети}} / R_2. \quad (1-1)$$

Этот ток должен соответствовать длительно допустимому по условию термической стойкости как регулируемого, так и нерегулируемого реостатов. Плавное регулирование достигается включением регулируемого резистора R_1 и нерегулируемого R_2 последовательно (рис. 1-2,а) или параллельно с магазином сопротивлений (рис. 1-2,б).

При выборе сопротивления потенциометра надо учитывать, что через его часть *ам* (рис. 1-3) проходит ток, равный

$$I_{\Sigma} = I_{\text{n}} + I_{\text{p}}, \quad (1-2)$$

Рис. 1-1. Включение потенциометра (а) и нагрузочного сопротивления (б и в); б — рекомендуемая схема; в — нерекомендуемая.

где I_n — ток, ответвляющийся в потенциометр; I_p — ток, проходящий через нагрузку (обмотку реле).

С целью уменьшения влияния нагрузки на величину регулируемого напряжения обычно сопротивление по-

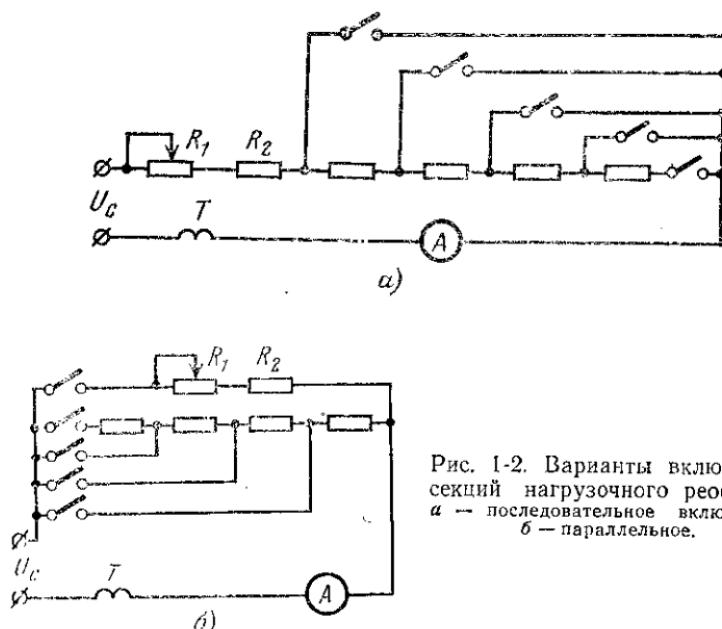


Рис. 1-2. Варианты включения секций нагрузочного реостата.
а — последовательное включение;
б — параллельное.

тенциометра выбирают примерно в 10 раз меньше сопротивления нагрузки, чтобы $I^2 \approx 1,1I_p$:

$$R_n = U_{\text{ном}} / 1,1I_p. \quad (1-3)$$

Например, если по условию термической стойкости это сопротивление должно выдерживать ток не менее 2 А, то сопротивление потенциометра, включаемого на напряжение 220 В, должно быть равно:

$$R_n = 220 / 1,1 \cdot 2 = 100 \text{ Ом.}$$

Обычно выбирают сопротивление потенциометра 0,5—1 Ом на 1 В напряжения источника питания. Применяют реостаты и потенциометры для регулирования

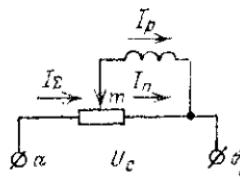


Рис. 1-3. Распределение токов, проходящих по потенциометру и нагрузке.

тока и напряжения в цепях как постоянного, так и переменного тока.

Автотрансформаторы применяются для регулирования значений переменного тока и напряжения (рис. 1-4). Обмотка автотрансформатора должна длительно допускать прохождение тока в испытуемой цепи. При испытаниях устройств релейной защиты автотрансформаторы

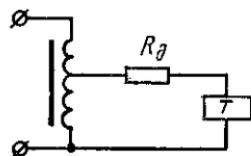


Рис. 1-4. Регулировка тока в цели испытуемого реле при помощи автотрансформатора.

R_d — добавочное нерегулируемое сопротивление.

используются в тех случаях, когда требуется обеспечить правильную синусоидальную форму тока (предполагается, что такую форму имеет первичное напряжение); применение в этих случаях реостатов для регулирования тока, проходящего через цепь испытуемого реле, искажает его форму.

Нагрузочные трансформаторы применяются в случаях, когда надо получить в испытуемой цепи большие значения переменного тока (100 А), а кратковременно даже 1000—3000 А.

Питание первичной обмотки нагрузочного трансформатора производится от сети переменного тока 127—220 В. Различным сочетанием включений секций вторичной обмотки изменяют коэффициент трансформации, чем выполняется грубая ступенчатая регулировка тока в испытуемой цепи. Плавная регулировка достигается либо тем, что питание первичной обмотки нагрузочного трансформатора производится через регулировочный автотрансформатор, либо тем, что последовательно с первичной обмоткой нагрузочного трансформатора включается реостат, имеющий плавную регулировку.

Контуры R , C , L позволяют изменять значение и фазу напряжения, снимаемого с активного, индуктивного и емкостного сопротивлений. Изменение напряжения можно производить при помощи любого элемента схемы, изменяя потенциальную диаграмму (рис. 1-5). Распространение имеют контуры R , L и R , C (рис. 1-5, б—д). При испытаниях следует учитывать, что катушки индуктивности наряду с индуктивным сопротивлением содержат и активное, которое вносит погреш-

ность в измерение. Также надо иметь в виду зависимость угла поворота вектора напряжения, снимаемого с элементов контура, и величины этого напряжения от частоты переменного напряжения.

При измерении токов и напряжений класс точности приборов для измерения токов (амперметров) и напряжения (вольтметров) должен быть 0,5—1,5 [2, 3]. Шка-

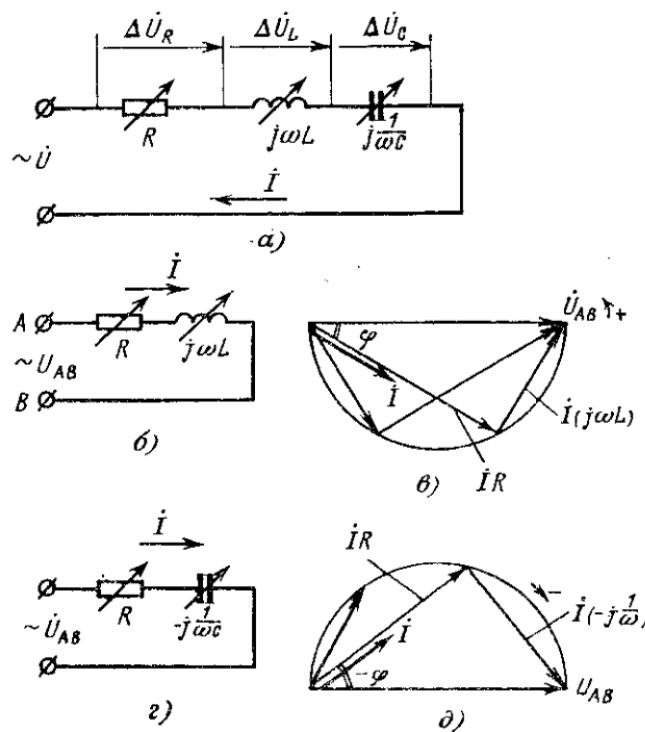


Рис. 1-5. Электрические цепи, содержащие последовательно соединенные резистор, емкость и индуктивность.

ли прибора должна соответствовать ожидаемым пределам измерений; показания прибора при измерении рабочих параметров должны располагаться в средней части. Схема измерения должна учитывать сопротивление и измерительного прибора, так и проверяемого аппарата. Для измерения токов до 1 А применяются амперметры с полным сопротивлением до 1 Ом, а для изме-

рения напряжения до 30 В — вольтметры с сопротивлением 1000 Ом/В и более. Для уменьшения погрешности измерения целесообразно применять вольтметры с возможно большим сопротивлением (катодные вольтметры).

В схеме, приведенной на рис. 1-6, а, амперметр измеряет сумму токов нагрузки и вольтметра. Погрешность измерения невелика в том случае, если сопротивление вольтметра значительно превосходит сопротивление нагрузки. Схема применяется, например, при измерении мощности, потребляемой токовой обмоткой реле.

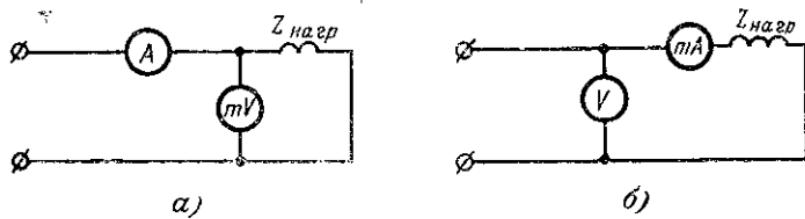


Рис. 1-6. Включение измерительных приборов.

а — сопротивление вольтметра значительно больше сопротивления нагрузки;
б — сопротивление нагрузки значительно больше сопротивления амперметра.

В схеме, приведенной на рис. 1-6, б, вольтметр измеряет сумму падений напряжений на нагрузке и амперметре. Погрешность измерения незначительна в том случае, если сопротивление нагрузки много больше сопротивления амперметра (миллиамперметра). Схема применяется, например, при измерении мощности, потребляемой обмоткой напряжения реле.

При измерениях в цепях с искаженной формой кривой тока и напряжения реле и измерительные приборы должны реагировать на одно и то же значение электрической величины (действующее, мгновенное, максимальное). Если проверяются электромагнитные реле, реагирующие на действующие значения электрических величин, то приборы в измерительных цепях должны быть электромагнитными или электродинамическими; если реле реагируют на средние значения выпрямленных токов, должны применяться магнитоэлектрические приборы.

При отсутствии необходимых типов приборов настройка испытуемого реле может производиться по шкале вспомогательного реле, если оно предварительно про-

градуировано и реагирует на те же электрические параметры.

При измерении малых токов и напряжений вблизи цепей с большими токами следует принимать меры для исключения влияния на результаты измерений магнитных полей. Наиболее эффективно применять астатические приборы и производить скрутку прямого и обратного проводов в измерительных цепях. Отсутствие влияния магнитных полей от посторонних источников проверяется перемещением прибора относительно проводов с большим током — показание приборов при этом не должно изменяться.

1-3. Измерение времени действия реле

Для измерения времени действия реле и всего устройства в целом применяют электрические секундомеры, электронные миллисекундомеры и осциллографы.

Электрические секундомеры представляют собой приборы, включаемые в сеть переменного тока нормальной частоты в момент подачи напряжения на испытуемое устройство и автоматически останавливающиеся в момент срабатывания последнего. Прибор показывает время между указанными операциями, т. е. время нахождения воспринимающей системы секундомера под напряжением.

Электрическая схема секундомера показана на рис. 1-7. Для определения времени срабатывания замыкающих контактов реле включение секундомера производится по схеме на рис. 1-8, а; для определения времени срабатывания размыкающих контактов — по схемам на рис. 1-8, б, в. Большое распространение получили секундомеры типа ПВ-52 и ПВ-53-Л.

В секундомере типа ПВ-52 измерительный механизм

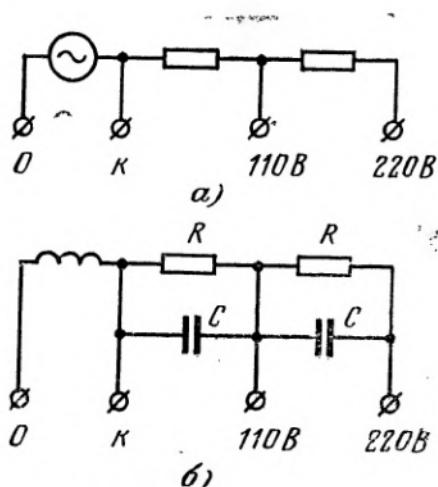


Рис. 1-7. Схемы включения электрического секундомера с пусковым органом в виде синхронного электродвигателя (а) и вибратора (б).

$R=14 \text{ Ом}$; $C=4 \mu\text{Ф}$.

приводится в движение электродвигателем переменного тока, подключаемым к напряжению последовательно с добавочным сопротивлением. В секундомерах типа ПВ-53-Л, выполненных по предложению ЦСРЗАИ Челябэнерго (рис. 1-9), якорь 2 располагается между полюсами постоянного магнита 1. Обмотка 3, укрепленная на якоре, подсоединяется к источнику переменного тока номинальной частоты $f_{\text{ном}}$. При прохождении тока

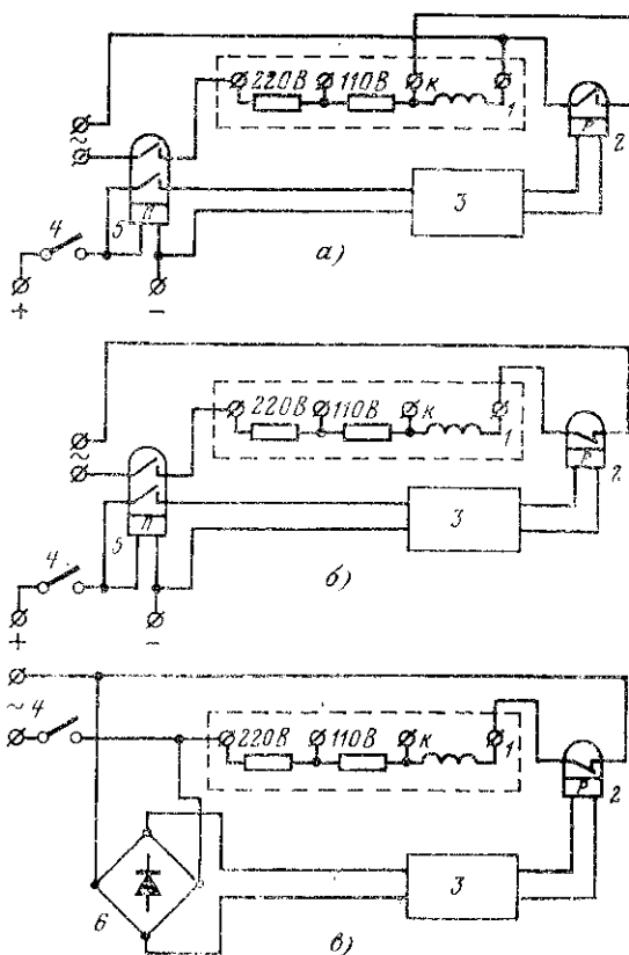


Рис. 1-8. Включение электрического секундомера для измерения времени действия контактов реле.
 а — замыкающих; б, в — размыкающих (б — при наличии постоянного оперативного тока; в — без него); 1 — секундомер; 2 — выходное реле; 3 — аппаратура для регулирования параметров срабатывания; 4 — ключ; 5 — промежуточное реле для одновременного включения цепей постоянного и переменного тока; 6 — выпрямитель.

по обмотке якорь колеблется с частотой $f_{\text{ном}}$, вызывая вращение колес зубчатой передачи (через ось 4 и ведущий поводок 5). Число зубьев у шестеренок 6, 7, 8 подобрано так, что при частоте 50 Гц колесо 6 с укрепленной на оси стрелкой 11 совершает один оборот за 1 с. Стрелка перемещается по шкале, отградуированной на десятые и сотые доли секунды. На одной оси с шестеренкой 8 укреплена стрелка 12; она вращается в 10 раз медленнее, что позволяет отсчитывать целые доли секунды. Возврат стрелок в исходное положение производится путем нажатия кнопки 14, упирающейся в толкателями 15 и 16 через рамку 13 и фигурные диски 9 и 10. Последние связаны жестко с указателями 11 и 12 и имеют возможность поворачиваться вокруг осей зубчатых колес 6 и 8, с которыми они связаны силой трения. Общий вид секундомера показан на рис. 1-9, б.

Если частота сети отлична от номинальной (50 Гц), то показания секундомеров должны быть пересчитаны по выражению

$$t_{\text{факт}} = t_{\text{сек}} \cdot 50/f,$$

где $t_{\text{сек}}$ — показание секундомера при частоте сети f во время проведения опыта (отличной от 50 Гц).

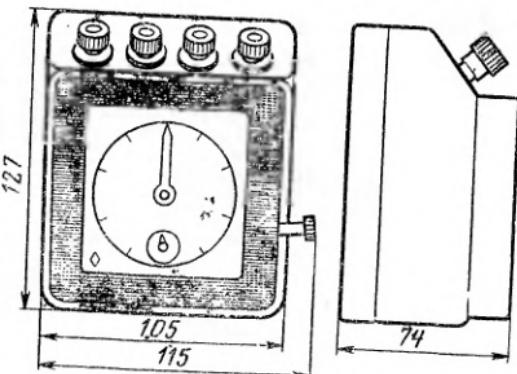
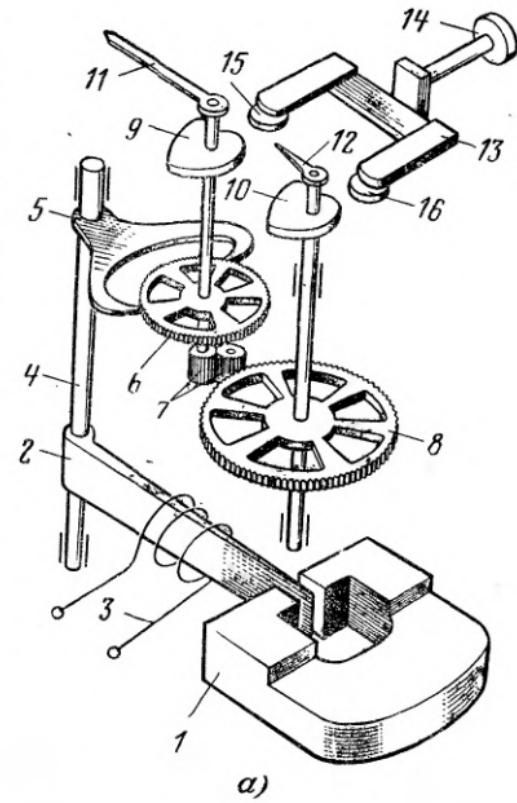


Рис. 1-9. Электрический секундомер типа ПВ-53-Л.

а — кинематические соединения;
б — общий вид.

Электронные секундомеры (миллисекундомеры) применяются для измерения времени срабатывания реле 5—500 мс. В приборе фиксируется значение разности потенциалов на обкладках конденсатора, заряжаемого от источника постоянного стабилизированного тока, за время t с момента включения тока до момента его отключения.

Разность потенциалов на обкладках конденсатора равна:

$$\Delta U = q/C; \quad (1-4)$$

здесь C — емкость конденсатора; q — количество электричества.

При этом

$$q = It, \quad (1-5)$$

где I — зарядный ток стабильной величины.

Измерение величины ΔU позволяет определить время, в течение которого производился заряд конденсатора:

$$t = \Delta U C / I = \Delta U / k, \quad (1-6)$$

где k — постоянная прибора.

Постоянное значение зарядного тока в электронном миллисекундомере типа ЭМС-54 завода «Энергоприбор» достигается при помощи включения электронной лампы с обратной связью между сеткой и цепью анод — сетка — катод (рис. 1-10). При включении рубильника по

цепи анод — катод — емкость начинает проходить зарядный ток, величина которого определяется характеристикой лампы (ее сопротивлением) и величинами емкости и установочного сопротивления. По мере заряда конденсатора на нем увеличивается напряжение и уменьшается напряжение на остальной части цепи; при этом ток, проходящий по цепи, стремится уменьшиться.

Для сохранения постоянного значения тока автоматически осуществляется уменьшение сопротивления цепи лампы из-за наличия обратной связи между сеткой

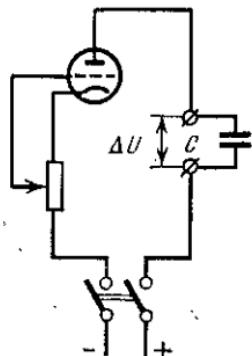


Рис. 1-10. Принципиальная схема устройства стабилизатора тока с использованием электронной лампы.

лампы и катодом, выполненной при помощи резистора, включенного последовательно в цепь зарядного тока. При уменьшении тока, проходящего через сопротивление, уменьшается падение напряжения на сопротивлении и отрицательное смещение на сетке лампы уменьшается, что обусловливает автоматическое увеличение тока. При увеличении тока падение напряжения увеличивается, отрицательное смещение на сетке увеличивается и ток в цепи уменьшается. Таким образом происходит почти безынерционное регулирование тока на заданное значение вне зависимости от значения напряжения на емкости.

Для измерения ΔU на конденсаторе к его зажимам приключается катодный вольтметр с большим входным сопротивлением. Измерения должны производиться в рабочей части шкалы прибора (в диапазоне 20—100% ее длины). Пределы измерений прибора можно варьировать изменением либо зарядного тока, либо цены деления вольтметра. В миллисекундомере типа ЭМС-54 используется последний способ.

Электронный миллисекундомер ЭМС-54 (рис. 1-11) содержит: конденсатор C , нормально разряженный и заражаемый в течение отрезка времени, подлежащего определению; электронное устройство — стабилизатор зарядного тока; ламповый вольтметр; выпрямители для питания цепей; пусковой ключ для одновременного включения цепи заряда конденсатора и обмотки проводимого реле; выходные зажимы, к которым подключаются испытуемые реле и их контакты.

На рис. 1-12 приведены схемы подключения миллисекундомера ЭМС-54 для измерения времени срабатывания и возврата реле с замыкающими и размыкающими контактами. Схемы миллисекундомеров других типов имеют некоторые отличия (например, миллисекундомеры с полупроводниковыми приборами), поэтому при использовании прибора для проведения лабораторной работы необходимо предварительно ознакомиться с ~~задачкой~~ инструкцией и схемой включения.

1-4. Измерения быстропроходящих электрических процессов

Для точной фиксации длительности исследуемого процесса и характера изменения измеряемого электри-

ческого параметра

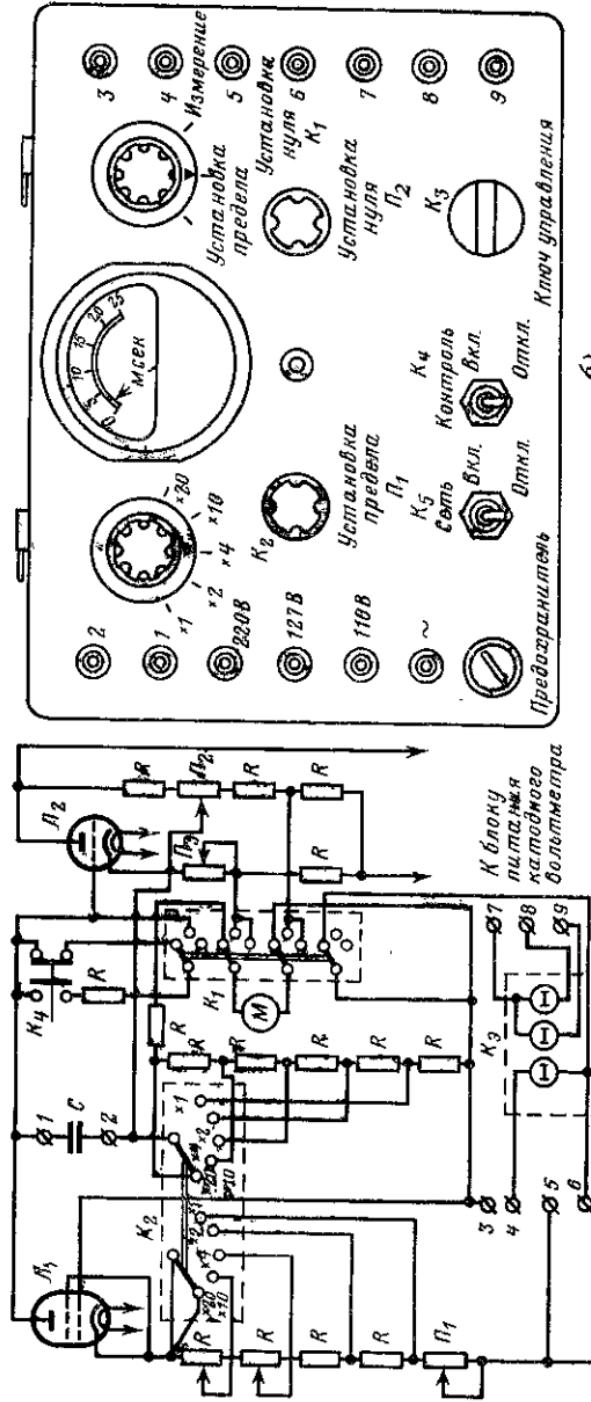


Рис. 1-11. Электронный миллисекундомер типа ЭМС-54.

Схема — принципиальная схема (без блока питания); δ — передняя панель; M — макроамперметр; K_1 — переключатель микроамперметра; K_2 — переключатель установки пределов измерений; K_3 — пусковой ключ внешних цепей; K_4 — переключатель катодного вольтметра; H — регулятор установки предела измерений; H_3 — регулятор установки нуля микроамперметра.

ческого параметра во времени применяются осциллографы — устройства, регистрирующие изменение измеряемого тока или преобразованных в ток других величин (напряжения, частоты, мощности, вибрации установки, моментов замыкания и размыкания контактов, длительности того или иного процесса и т. п.). Для фиксации быстропроходящих изменений электрических величин при авариях также находят применение регистрирующие приборы с ускоренным при возникновении нарушения движением бумажной ленты. Для суждения о характере доаварийного режима и переходного процесса устанавливают автоматические осциллографы с магнитной записью и последующим стиранием так, чтобы магнитная память оставалась на время, требуемое для включения системы, фиксирующей на бумагу или фотоленту прохождение процесса. Для этой

цели также используются так называемые «турбографы» — самоиз消ящие приборы, фиксирующие в случае возникновения нарушения предаварийный режим и производящие последующую ускоренную запись процесса.

Устройство светолучевого зеркального осциллографа изображено на рис. 1-13 [5]. Поток световых лучей от монтической лампочки 1 через линзу 2, диафрагму 3 попадает на зеркало 4, укрепленное на рамке петли магнитометра. Через собирательную линзу 5 световой

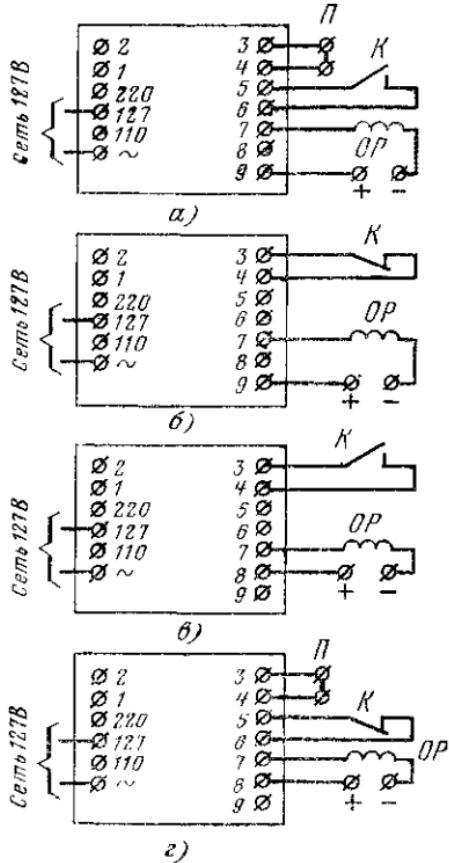


Рис. 1-12. Схемы включения для определения времени срабатывания реле с замыкающими (а) и размыкающими (б) контактами; в, г — для определения времени возврата реле.

π — перемычка; К — контакт испытуемого реле; ОР — его обмотка.

пучок преобразуется в светящуюся точку на фотобумаге (фотоленте) 6. Последняя приводится в движение механизмом 7, вследствие этого колебания зеркала 4 гальванометра преобразуются в кривую на движущейся ленте — эта кривая называется осциллограммой.

В осциллографах лабораторного типа аппаратура включается в действие перед осциллографированием

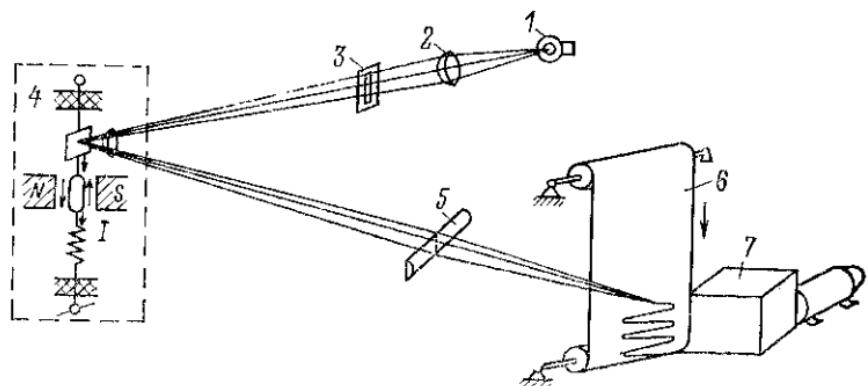


Рис. 1-13. Пояснение действия светолучевого осциллографа.

измеряемых величин. Предварительно настройка масштабов записи производится переключением светового потока на матовое стекло. Масштаб регулируется подбором шунтов, ограничивающих ток, заходящий в измерительную систему гальванометра, в соответствии с ее чувствительностью. Автоматические осциллографы включаются в действие пусковым устройством при появлении нарушений. Предварительно должна быть произведена регулировка масштабов и расположение осциллограмм различных каналов по ширине фотоленты. Пусковое устройство включает осциллограф с временем, не превышающим 10—20 мс, с одновременным включением отметчика времени возникновения аварийного режима. Для уменьшения количества расходуемой фотоленты осциллограф включается на время 0,1—0,15 с при кратковременном возникновении несимметрии электрических величин и на 0,5—9,0 с при длительности аварийного режима более 0,15 с. В осциллографах лабораторных и автоматических имеется, как правило, несколько гальванометров-шлейфов, что позволяет одновременно регистрировать различные электрические величины по нескольким каналам.

В электронных осциллографах поток электронов, попадающий на экран кинескопа и вызывающий его свечение, отклоняется (разворачивается) в горизонтальном и вертикальном направлениях в зависимости от заряда отклоняющих систем. Этот заряд пропорционален измеряемому току, значение которого может меняться во времени. Инерция электронных осциллографов весьма

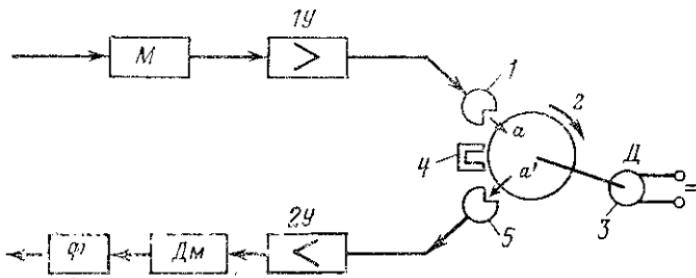


Рис. 1-14. Структурная схема электронного осциллографа с магнитной памятью.

мала, и они используются во многих случаях испытания быстродействующей аппаратуры. Работа электронных осциллографов и их схемы подробно рассматриваются в курсе электронной и высокочастотной техники.

Принцип действия автоматических осциллографов с записью доаварийных процессов измеряемых величин показан на рис. 1-14. Измеряемый ток преобразуется модулятором M в серию высокочастотных импульсов, которые после усиления (усилитель $1Y$) проходят по цепи обмотки записывающей головки 1 . Барабан 2 с наложенной на нем магнитной лентой вращается двигателем 3 с постоянной частотой вращения. Головка 4 , содержащая постоянный магнит, стирает запись на магнитном барабане перед подходом точки a — начала записи к головке 1 , что позволяет начать новую запись. Головка воспроизведения 5 преобразует через усилитель $2Y$, демодулятор Dm и фильтр низких частот записанные сигналы в ток, проходящий через восприимчивающую систему светолучевого или электронного осциллографа. Так как пусковой орган включает фотодиодную осциллографов с некоторым запаздыванием $t_{зап}$ относительно начала аварийного процесса, то время магнитной задержки, выполняемой вращением барабана, должно быть больше времени запаздывания $t_{зап}$.

т. е. время достижения точкой a положения a' при равномерном вращении двигателя 3 должно быть больше времени $t_{\text{зап}}$. Отечественная промышленность выпускает

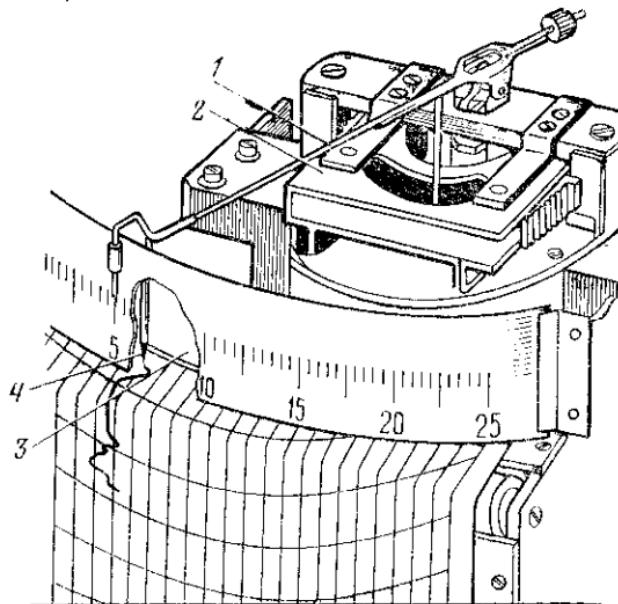


Рис. 1-15. Регистрирующий прибор с ускоренной записью показаний при авариях.

автоматические осциллографы с записью доаварийных процессов типа НО22 [5].

Регистрирующие приборы с ускоренной записью показаний при авариях (рис. 1-15) фиксируют измеряемые

величины (ток, напряжение, частоту) при скоростях движения бумаги 60 мм/ч, а в аварийных режимах 3600 мм/ч. Каждое срабатывание пускового устройства, передающего лентопротяжный механизм на ускоренный ход, обусловливает срабатывание спускового приспособления и действие механизма протяжки бумаги в течение заданного времени (например, в течение 24 с).

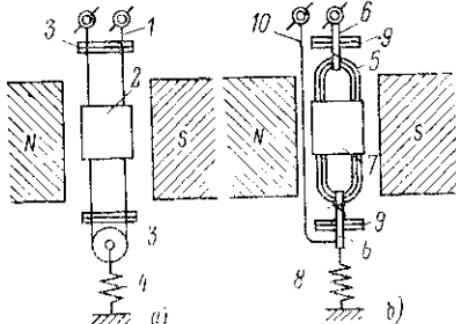


Рис. 1-16. Устройство магнитоэлектрических гальванометров.

a — петлевой; *b* — рамочный; 1 — петля; 2 — зеркало; 3 — опорные призмы; 4 — пружина; 5 — рамка; 6 — растяжки; 7 — зеркало; 8 — пружина; 9 — опорные призмы; 10 — выводной проводник.

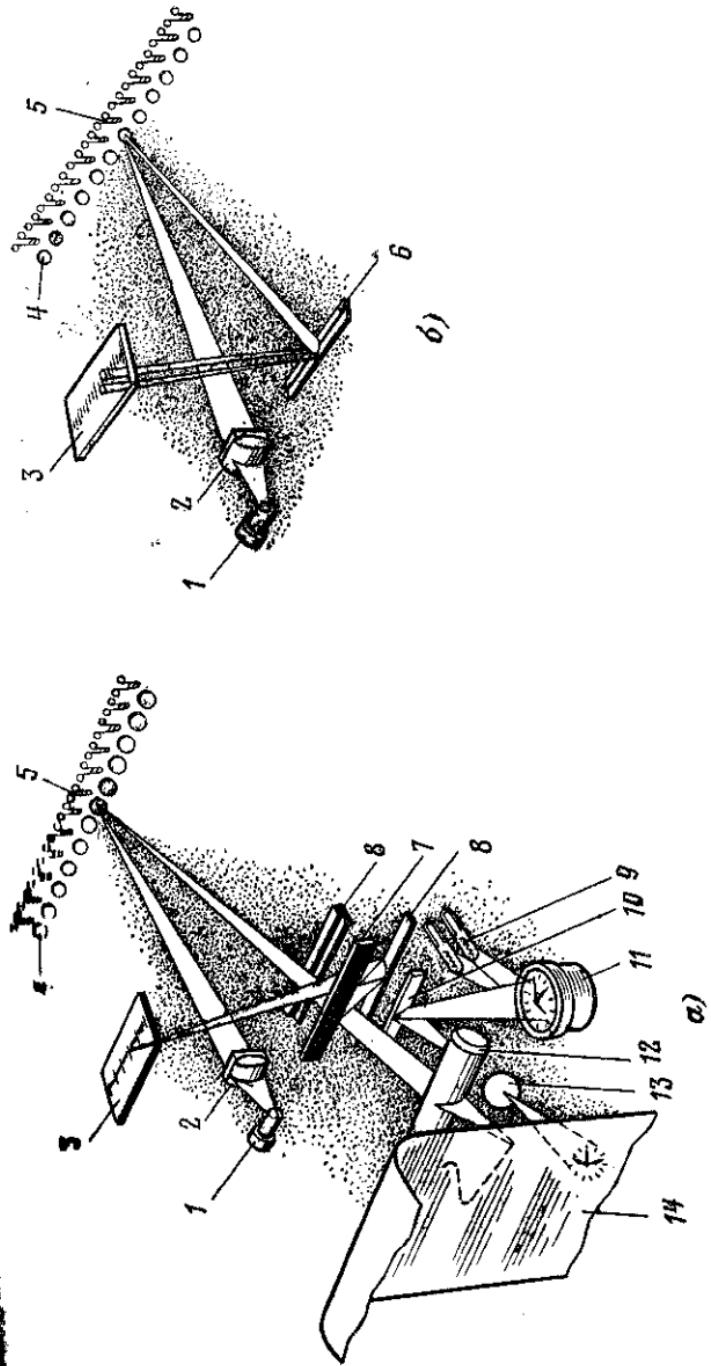


Рис. 1-17. Оптическая система осциллографа типа Н-13.

а — рабочее положение; *б* — положение при действии пускового устройства;
1 — положение при настройке; 2 — оптическая система форсажа при действии пускового устройства; 3 — цилиндрическая линза; 4 — фокусирующая линза; 5 — экран; 6 — зеркало из двух полос для настройки гальванометра; 7 — отражательное зеркало; 8 — зеркало для направления светового пучка на экран; 9 — подсвет экрана; 10 — отражательное зеркало для проектирования изображения циферблата часов на фототенту; 11 — циферблат часов; 12 — объектив; 13 — линза; 14 — фотолента.

Запись показаний прибора производится на бумаге 4 при помощи металлической трубы 1, наполненной пастой (или погруженной одним концом в чернильницу 2, а другим касающуюся через стеклянный капилляр 3 движущейся бумажной ленты). К трубке пишущего устройства приделан указатель-стрелка. На рис. 1-16 пояснено устройство петлевого и рамочного гальванометров, а на рис. 1-17 — действие оптической системы прибора (применительно к автоматическому светочувствительному двенадцатишлифовому осциллографу типа Н-13).

1-5. Изменение угла между векторами тока и напряжения и его измерение

Изменение угла между векторами тока и напряжения производится при помощи фазорегулятора, который представляет собой или заторможенный асинхронный двигатель или поворотный трансформатор, т. е. аппарат, первичная обмотка которого подключена к сети переменного напряжения, а вторичная обмотка, связанная с первичной индуктивно, может поворачиваться на требуемый угол.

При этом вектор вторичного напряжения U_2 поворачивается на этот уже угол ϕ относительно вектора первичного U_1 (рис. 1-18). Фазорегуляторы выполняются трехфазными и однофазными.

На рис. 1-19 показаны схемы и векторные диаграммы коммутаторного фазорегулятора системы В. З. Никитского. Токовая обмотка испытуемого реле, для которого требуется создать угловой сдвиг между током и напряжением, включается через реостат на ток, совпадающий по направлению с фазным или междуфазным напряжением. Обмотка напряжения испытуемого реле через потенциометр включается на то или иное фазное или междуфазное напряжение. Различные сочетания токов и напряжений, подводимых к обмоткам реле, позволяют получать различные углы сдвига между током I_p и напряжением U_p .

Измерения могут производиться непосредственно фазометром, фазовольтметром и вольтамперфазоиндикатором.

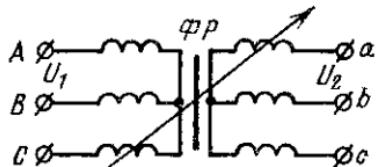
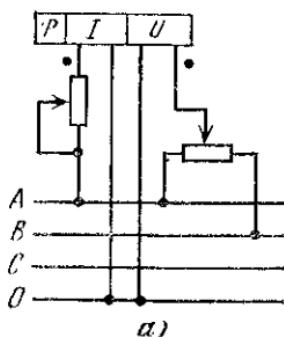
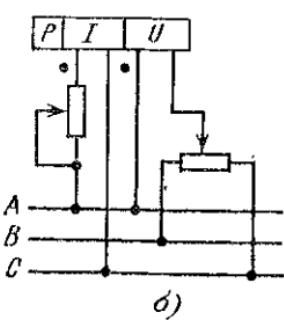
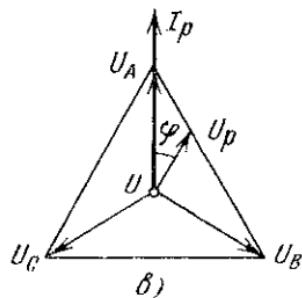


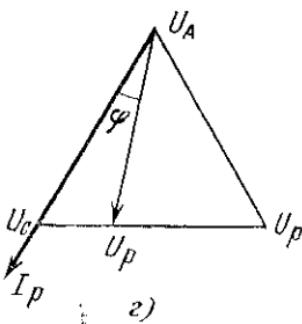
Рис. 1-18. Схема фазорегулятора.



a)



б)



в)

Рис. 1-19. Коммутаторный фазорегулятор.

а — схема включения на фазные напряжения; б — схема включения на междуфазные напряжения; в, г — векторные диаграммы.

ром (ВАФ) и косвенно при помощи ваттметра и вольтметра.

Использование ваттметра (косвенный метод измерения, рис. 1-20). Активная мощность P , измеряемая ваттметром, равна:

$$P = UI \cos \varphi.$$

Напряжение U измеряется вольтметром, а ток I амперметром. Угол определяется по показаниям приборов

$$\varphi = \arccos(P/UI). \quad (1-7)$$

Способ не позволяет определить знак угла, т. е. нет возможности определить, отстает или опережает вектор тока вектор напряжения [$\cos \varphi = \cos(-\varphi)$]. При углах φ , близких к 90° , получение точных показаний затруднено.

Использование вольтметра. Двухобмоточное реле с обмотками 1 и 2 должно быть подключено к трехфазной

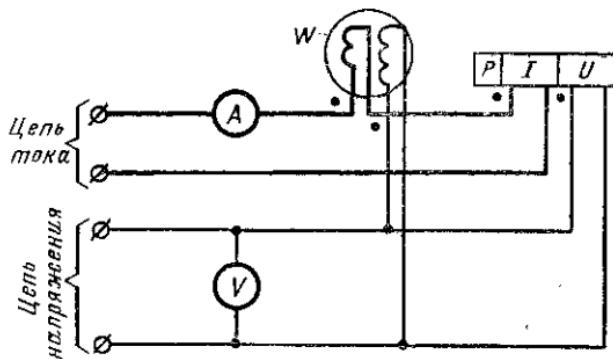


Рис. 1-20. Измерение угла между векторами тока и напряжения методом ваттметра.

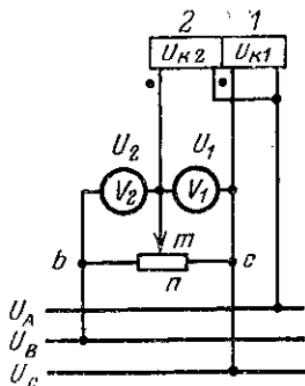


Рис. 1-21. Измерение угла φ между напряжениями U_{k1} и U_{k2} с использованием потенциометра и вольтметра.

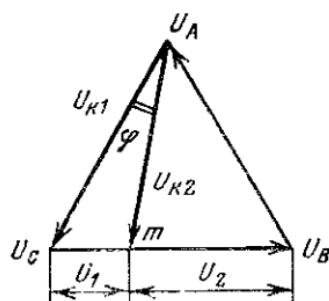


Рис. 1-22. Потенциальная диаграмма.

системе напряжений так, чтобы вектор напряжения, питающего обмотку 2, опережал на угол φ вектор напряжения, питающего обмотку 1 (рис. 1-21). Обмотка 1

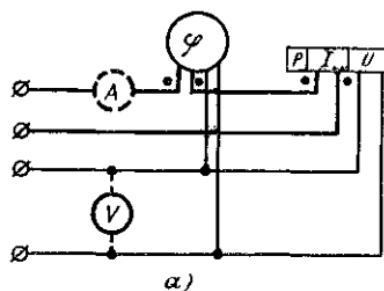
включается на напряжение $U_{k1} = U_{CA}$, а обмотка 2 — на напряжение $U_{k2} = U_{mA}$ между точкой m потенциометра P и зажимом фазы A . Потенциометр P включен на напряжение U_{BC} . Если перемещением движка потенциометра изменять местоположение точки m , регулируя тем самым угол φ между векторами U_{CA} , U_{mA} , то угол φ находится непосредственно из потенциальной диаграммы (рис. 1-22), на которой положение точки m на векторе U_{BC} определяется соотношением

$$cm/bm = U_1/U_2,$$

где U_1 и U_2 — показания вольтметра V_1 , V_2 .

Использование фазометра. Способ наиболее простой. Круговой фазометр включается по схеме, изображенной на рис. 1-23. Значение угла определяется непосредственно по шкале прибора.

Иногда при испытаниях реле мощности и сопротивления, а также для построения векторных диаграмм то-



Режим	I → + P Q	II → + P Q	III ← - P Q	IV ← - P Q
Векторная диаграмма				
Возможный диапазон φ	0° + 90°	0° - 90°	-90° - 180°	+90° + 180°
Положение переключате- ля квадрантов	Приемник инд.	Приемник емк.	инд. Генератор	емк. Генератор
Отсчет угла				

б)

Рис. 1-23. Измерение угла между векторами тока и напряжения при помощи фазометра.

а — схема; б — поясняющая таблица при использовании фазометра с переключением внутренних соединений.

ков и напряжений применяют электродинамический фазометр типа ЭЛФ. Этот тип фазометра с номинальными данными 5—10 А и 110—220 В конструктивно выполнен так, что градуировка шкалы в электрических градусах соответствует градуировка в угловых градусах. Фазометр снабжен 90°-ной шкалой, но дает возможность измерять угол в пределах 0—90—180—270—360°. Пределы измерений меняются переключателем квадрантов, при изменении положения которого меняется внутренняя

схема прибора. Отсчет угла производится в соответствии с указанием инструкции по эксплуатации прибора.

Для измерения угла ϕ между током и напряжением фазометр должен быть включен так, чтобы его обмотка напряжения находилась под воздействием заданного напряжения, а обмотка тока обтекалась заданным током (например U_A и I_A). При этом должна учитываться маркировка выводов обмоток — начало обмотки обозначается звездочкой (генераторные зажимы).

Для уяснения метода измерения угла между током и напряжением с помощью однофазного фазометра ниже рассматриваются различные режимы (рис. 1-23,б):

направление активной и реактивной мощностей — от шин в линию ($+P$, $+Q$). В зависимости от соотношения между мощностями $\phi = 0 \div +90^\circ$. Такой режим соответствует подключению активно-индуктивной нагрузки. Для измерения значения угла ϕ переключатель квадрантов должен быть установлен в положение *Приемник — индуктивность*; отсчет угла ϕ производится по шкале прибора от нулевого положения вправо (вектор тока отстает от вектора напряжения);

направление перетока активной мощности осталось прежним, а реактивной изменилось на противоположное ($+P$, $-Q$). Этот режим соответствует подключению активно-емкостной нагрузки, $\phi = 0 \div -90^\circ$ (вектор тока опережает вектор напряжения). Переключатель квадрантов следует устанавливать в положение *Приемник — емкость* и отсчет по шкале прибора производить так же, как в первом случае, но со знаком минус;

перетоки активной и реактивной мощности направлены от линии к шинам ($-P$, $-Q$). Это возможно, когда на противоположном конце линии подключен генератор, подающий питание к шинам рассматриваемой подстанции при наличии активно-индуктивной нагрузки на ней. При таком режиме $\phi = -90 \div -180^\circ$. Переключатель квадрантов должен быть установлен в положение *Генератор — индуктивность*; измерение угла ϕ производится, как указано на рис. 1-23,б (третья колонка), справа налево; полученное значение прибавляется к 90° . При этом результат берется со знаком «минус», так как вектор тока I опережает вектор напряжения U ;

условие, аналогичное предыдущему, но на подстанции предполагается активно-емкостная нагрузка ($-P$,

$|Q|$, $\phi = 90^\circ \div 180^\circ$. Положение переключателя квадрантов *Генератор — емкость*. Отсчет угла производится так же, как в предыдущем случае, но угол ϕ берется со знаком «плюс».

Использование фазовольтметра. Принцип работы фазовольтметра поясняется на рис. 1-24. Обмотка статора поворотного фазорегулятора (сельсина) питается трехфазным напряжением. К обмотке ротора подключено быстродействующее поляризованное реле, замыкающие контакты каждого полупериода переменного тока (вибратор), которое является механическим однополупериодным выпрямителем.

Поляризованное реле при замыкании контактов подключает цепь вольтметра магнитоэлектрической системы к напряжению U_x .

Показание магнитоэлектрического прибора пропорционально среднему значению измеряемой синусоидальной величины за полупериод, поэтому максимальное показание вольтметра будет в случае совпадения векторов напряжения U_x и $U_{\Phi,р}$ по фазе; минимальное — при сдвиге фаз на 180° (рис. 1-25).

Пусть требуется определить угол между некоторыми измеряемыми напряжениями U'_x и U''_x . Приложим к зажимам фазовольтметра напряжение U'_x . Будем поворачивать ротор фазорегулятора до тех пор, пока показания вольтметра станут минимальными (или максимальными).

На оси ротора фазорегулятора укреплена стрелка, перемещающаяся по круговой шкале диска. Диск можно вращать вокруг оси ротора фазорегулятора. Повернем этот диск так, чтобы «нуль» шкалы совпадал с направлением стрелки, когда положение ротора фазорегулятора соответствует минимальному (или максимальному) показанию вольтметра.

Приложим затем к зажимам фазовольтметра напряжение U''_x , отключив предварительно источник напряжения U'_x . Если вектор U''_x не совпадает с вектором U'_x , минимальное (или максимальное) показание вольт-

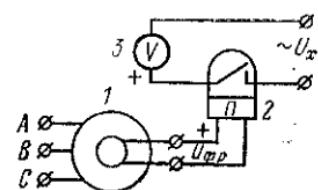


Рис. 1-24. Принципиальная схема фазовольтметра.

1 — фазорегулятор; 2 — поляризованное быстродействующее реле; 3 — магнитоэлектрический вольтметр.

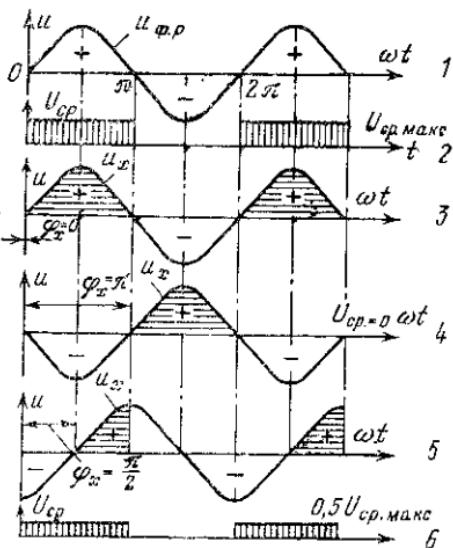


Рис. 1-25. Диаграммы, поясняющие работу фазовольтметра.

1 — синусоида опорного напряжения $U_{\phi,p}$; 2 — среднее значение напряжения U_x за полупериод при $\Phi_x=0$ ($U_V=U_{V\max}$); 3, 4, 5 — синусоиды сравниваемого напряжения U_x при $\Phi_x=0$, $\Phi_x=\pi$ и $\Phi_x=\pi/2$ соответственно; 6 — среднее значение напряжения U_x за полупериод при $\Phi_x=\pi/2$; ($U_V=0,5U_{V\max}$) при $\Phi_x=\pi$; $U_V=0$.

органа используется магнитоэлектрический прибор типа М-4204, включаемый по однополупериодным схемам выпрямления.

Устройством ВАФ-85 можно измерить [6, 7]: значение и фазу напряжений (пределы измерения 1, 5, 25, 125, 250 В);

значение и фазу тока без разрыва цепи тока, используя комплектно поставляемые токоизмерительные клещи (пределы измерения 1, 5, 10 А);

величину тока в пределах 10, 50, 250 мА при входном сопротивлении устройства соответственно равном 5; 0,3; 0,04 Ом.

С помощью устройства ВАФ-85 можно определить порядок чередования фаз в трехфазной сети, а также

метра будет достигнуто при другом угле поворота ротора фазорегулятора. Стрелка, связанная с осью ротора, займет другое положение в пространстве и по шкале укажет угол сдвига между напряжениями U'_x и U''_x (шкала должна быть заранее проградуирована). В настоящее время промышленностью выпускается ВАФ-85, в котором использован описанный выше метод измерения углов сдвига φ (принцип, предложенный В. З. Никитским).

Измерение токов, напряжений и углов между ними вольтамперфазондикаторами. Промышленность выпускает вольтамперфазондикаторы типа ВАФ-85, представляющие собой переносное комбинированное устройство, схема которого показана на рис. 1-26,а и внешний вид при снятой крышке — на рис. 1-26,б.

В качестве измерительного

органа используется магнитоэлектрический прибор типа

М-4204, включаемый по однополупериодным

схемам выпрямления.

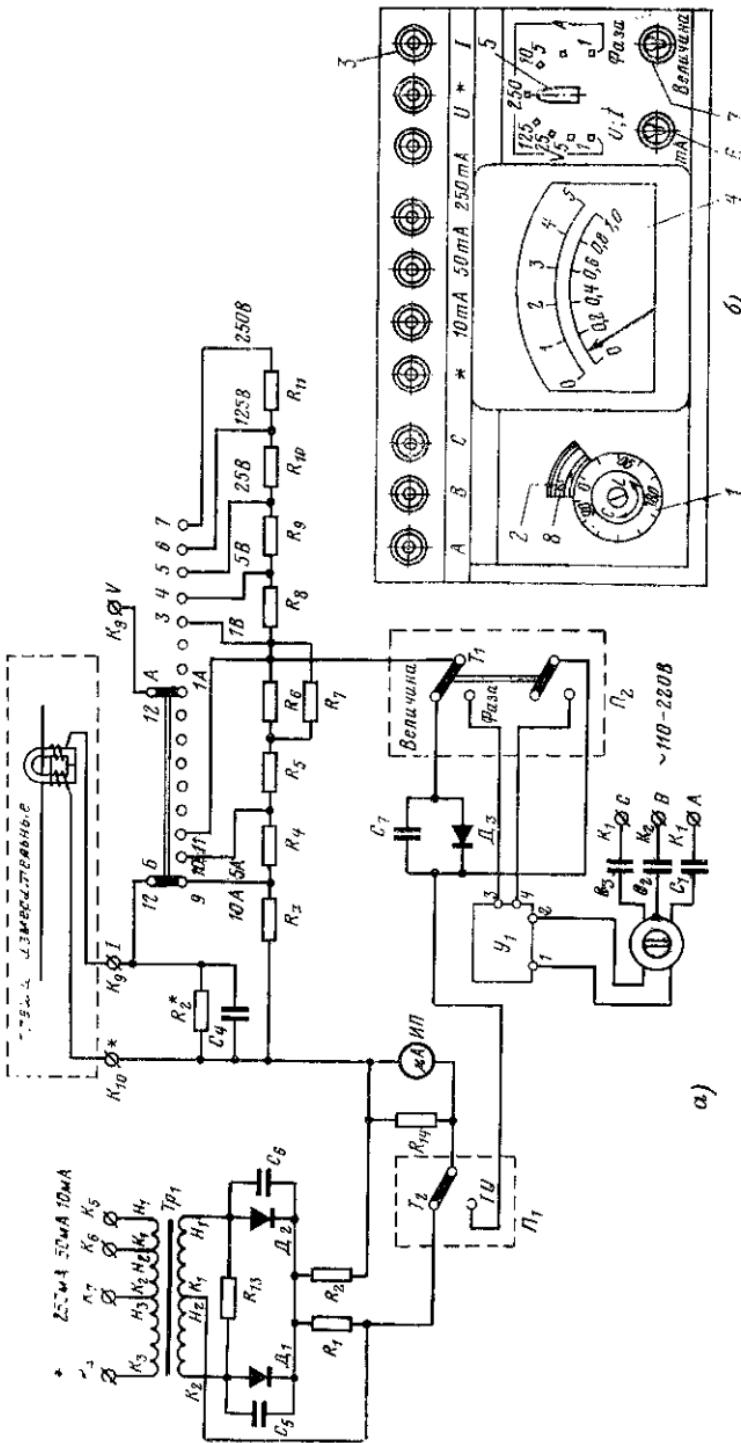


Рис. 1-26. Вольтамперфазометр.

a — принципиальная схема; *b* — вид на панель прибора; *1* — полважная пластина; *2* — контактный винт; *3* — измерительный прибор; *4* — переключатель пределов; *5* — переключатель H_1 ; *6* — переключатель H_2 ; *7* — переключатель H_3 ; *8* — контактный винт.

направление и значение магнитной индукции. Погрешность измерений не превышает $\pm 5\%$.

Для измерения тока в пределах 1, 5, 10 А или напряжения в пределах 1—250 В переключатель P_2 устанавливается в положение «Величина»; переключатель пределов измерений AB на соответствующий (или максимальный) предел по току или по напряжению; переключатель P_1 — в положение IU . Измеряемое напряжение подается к зажимам K_{10} (отмечен *) и $K_8(V)$. При измерении тока проводник с измеряемым током охватывается токоизмерительными клещами, от которых гибкий шнур с вилкой на конце включается в гнезда $K_{10} (*)$ и $K_9(I)$; маркировка у штырей вилки должна соответствовать маркировке, указанной на панели прибора.

Если измеряемый ток меньше нижнего предела измерения, можно обхватить магнитопровод клещей несколько раз проводником, по которому проходит измеряемый ток, и полученный результат измерений разделить на количество витков (для подготовки такого измерения обычно приходится обесточивать измеряемую цепь).

Для измерения малых токов используется промежуточный трансформатор T_P , включаемый в разрыв измеряемой цепи зажимами K_4 и 10 (50, 250 мА) (K_5 , K_6 , K_7). Переключатель P_1 устанавливается в положение T_2 . При этом входное сопротивление оказывается настолько малым, что устройство может использоваться для измерения тока небаланса в схемах релейной защиты.

Для измерения фазы тока или напряжения переключатель P_2 устанавливается в положение *Фаза*; переключатель P_1 — в положение IU . К зажимам A , B , C подводится напряжение от трехфазной цепи 110—220 В. Порядок чередования фаз определяется по направлению вращения диска фазорегулятора, приходящего в движение при освобождении тормоза. Вращение диска по часовой стрелке свидетельствует о правильном (прямом) чередовании фаз. Перед подготовкой измерений для определения фазы тока или напряжения должно быть обращено внимание на правильность подсоединения цепей — при определении фазы тока сторона магнитопровода токоизмерительных клещей, обозначенная *, должна быть обращена к генераторному концу токопровода; напряжение должно подводиться так, что-

бы к зажиму \ast присоединялся генераторный конец или конец, соответствующий принятому началу вектора напряжения.

В рассматриваемом устройстве нулевое положение диска соответствует условно подаче к зажимам $K_{10}(\ast)$ и $K_b(V)$ напряжения U_{AB} . Поэтому за исходный принимается вектор напряжения U_{AB} . Для измерения угла диск всегда вращается по часовой стрелке до тех пор, пока указатель измерительного прибора не установится на пуль. После этого производят отсчет угла по делениям, напечатанным на диске (в градусах). Угол будет определен правильно, если при незначительном смещении диска стрелка прибора будет перемещаться в ту же сторону, что и лимб. Стрелки на диске, обозначенные буквами L , C , указывают при этом, в какую сторону относительно вектора напряжения U_{AB} будет смещен вектор измеряемого тока или напряжения: L — в сторону отставания, C — в сторону опережения.

При измерении угла сдвига между векторами двух величин вначале определяются углы между каждой из измеряемых величин относительно вектора напряжения U_{AB} , а затем находится разность этих углов.

1-6. Лабораторные испытательные стенды

Для облегчения работы по испытанию устройств релейной защиты в лабораторных условиях применяются стационарные испытательные стенды. Ряд лабораторий учебных заведений и производственных служб изготавливают такие стенды местными силами. Отечественной промышленностью освоено производство испытательного стенда, на котором можно производить проверку простых и сложных устройств релейной защиты (например, стенд Рижского опытного завода Латвэнерго типа СР). Стенд поставляется комплектно с измерительными приборами и аппаратурой для регулирования электрических величин в цепях испытуемых устройств защиты [Л. 8]. Стенд предназначен для проверки, регулировки и настройки вторичных реле различных типов, а также для проверки комплектных устройств релейной защиты и автоматики. Питание стенда производится от трехфазной сети 220/127 В (при мощности питающего трансформатора 50 кВ·А) и от сети постоянного тока 220 В (при мощности источника 6 кВт). В зависимости от типа

проверяемого реле и программы испытания должны быть использованы те или иные цепи стенда. Стенд содержит следующие основные элементы:

переключающие устройства в виде пакетных выключателей или переключателей типов КФ, ПВ-2, ПП-3, с помощью которых к выходным зажимам цепи может быть подано питание от различных фаз, а также от сети или фазорегулятора;

регулирующие устройства (потенциометры, нагрузочные реостаты, фазорегулятор), позволяющие плавно изменять в нужном диапазоне напряжение, ток и угол между ними;

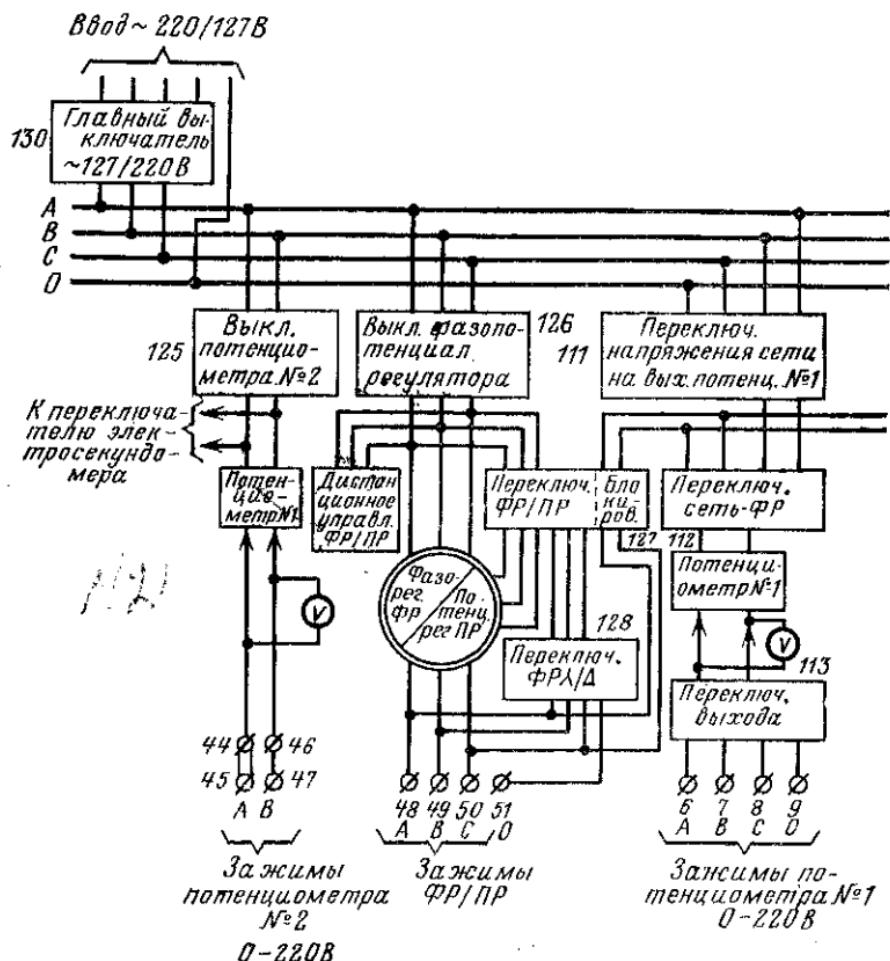


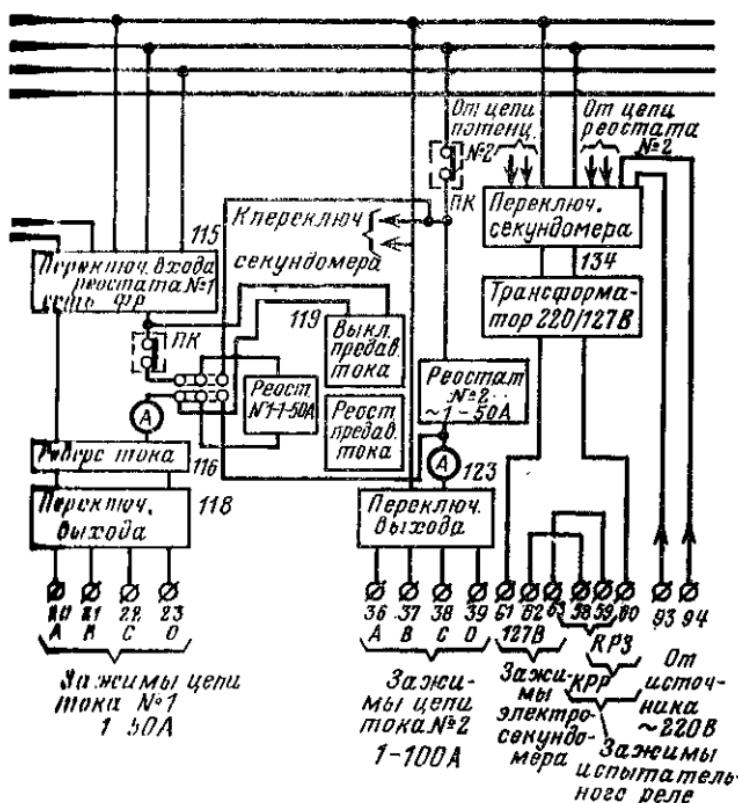
Рис. 1-27а. Упрощенная принципиальная схема цепей переменного

Контрольные измерительные приборы — амперметры и вольтметры;

выходные зажимы для подключения к ним обмоток проверяемых реле, секундометра, вспомогательных аппаратов и различных лабораторных измерительных приборов.

Предусмотренная в схеме стенда аппаратура позволяет создавать различные режимы по току и напряжению, а также по взаимному расположению векторов токов и напряжений, что необходимо при проверке сложных реле и настройке защиты. Имеется возможность имитировать аварийные режимы путем скачкообразного изменения напряжения (в сторону уменьшения) и тока (в сторону увеличения).

Контрольные приборы, предусмотренные в различных цепях, и вся коммутационная аппаратура смонтированы на средней части вертикальной панели стенда.



токи испытательного стенда Рижского опытного завода Латвэнерго.

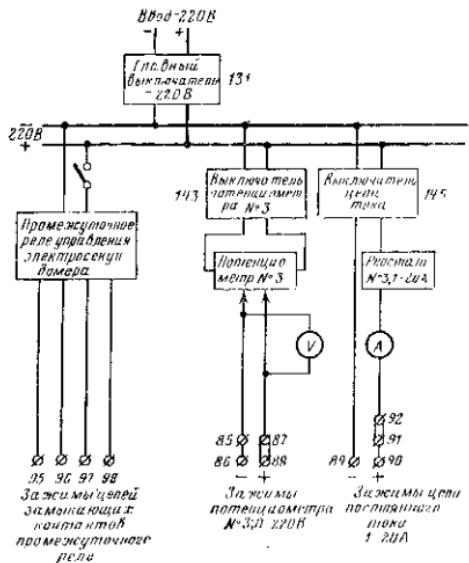


Рис. 1-276. Упрощенная принципиальная схема цепей постоянного тока испытательного стенда Рижского опытного завода Латвэнерго.

принципиальная схема стенда приведена на рис. 1-27.

Особенности выполнения некоторых цепей стенда:

цепь напряжения переменного тока № 1 с диапазоном регулирования 0—220 В (рис. 1-27, а). В цепи предусмотрена возможность плавного изменения напряжения потенциометром № 1, выполненным из трех взаимно связанных реостатов, а также изменения напряжения скачкообразно от предаварийной величины (порядка 100 В) до желаемой послеаварийной (послеаварийный режим при скачкообразном изменении напряжения допускается кратковременно — не более 0,5 мин).

На выходные зажимы может быть подано любое фазное и междуфазное напряжение как от сети, так и от фазорегулятора. Данная цепь используется при проверке и настройке реле сопротивления, мощности и т. п.;

цепь напряжения переменного тока № 2. Цель предусматривает плавную регулировку напряжения с помощью потенциометра № 2 от 0 до 220 В. На выходные зажимы подается междуфазное напряжение U_{AB} . Эта

около каждого аппарата имеется табличка с надписью, поясняющей его назначение. Дополнительно указывается режим в цепи, соответствующий данному положению переключателя.

Предусмотрены сигнальные лампы, фиксирующие наличие напряжения на стенде и срабатывание проверяемых реле. Каждый выходной зажим снабжен соответствующим обозначением. Рукоятки регулирующих устройств (потенциометров и нагрузочных реостатов) помещены на вертикальной лицевой части стендада. Проверяемые реле закрепляются на специальной стойке, установленной на столе. Упрощенная

Цепь может быть использована при проверке реле на-
прижения, сигнальных и промежуточных реле перемен-
ного тока;

цепь напряжения постоянного тока (рис. 1-27,б). Для
регулирования напряжения в пределах 0—220 В пред-
усмотрен потенциометр № 3. К выходным зажимам
Цепи подключаются параллельные обмотки сигнальных
и промежуточных реле постоянного тока, а также по-
мощнических, кодовых и других реле;

цепь переменного тока № 1. В цепи установлен на-
груженный реостат № 1, позволяющий плавно изменять
ток от 1 до 50 А. Питание на выходные зажимы может
быть подано от сети (с любых двух фаз) и фазорегу-
лятора. Предусмотрена возможность имитации предава-
рийного нагружочного режима. Цепь используется при
проверке токовых, промежуточных и сигнальных реле
в последовательным включением обмоток;

трехфазная цепь фазопотенциал-регулятора. Диапа-
зон измений угла $0 \div \pm 190^\circ$ (возможно $0 \div 360^\circ$). Диа-
лон изменений напряжения 0—420 В. Фазопотенциал-
регулятор имеет дистанционное электрическое управле-
ние со стенда;

цепь измерения времени действия испытуемых реле.
Питание к электросекундомеру, подключаемому к соот-
ветствующим зажимам, может быть подано от сети
220 В, от входа цепи напряжения № 2 либо от цепи
реостата № 2;

цепь пускового контактора. Главные цепи тока
управляются пусковым контактором стенда. Кроме того,
с помощью контактора скачкообразно изменяется напря-
жение на выходе потенциометра № 1.

1.7. Комплектные переносные испытательные устройства

Для облегчения выполнения проверок устройств ре-
лейной защиты, смонтированной на релейных щитах или
в распределительных устройствах электрических стан-
ций и подстанций, ряд энергосистем изготавливали
переносные устройства, содержащие аппаратуру, тре-
бующуюся для производства наладочных или испыта-
тельных работ. Для обеспечения удобства транспорти-
ровки аппарата монтировалась в чемоданах. Тресту
ОГР РЭС было поручено произвести отбор лучших ва-

риантов, их доработать и передать для промышленного освоения [7, 9, 10].

Ниже приводится описание переносного устройства для испытания простых и сложных типов релейной защиты типа УПЗ-2, изготавливаемого заводом Точэлектроприбор (г. Киев) в соответствии с рекомендациями ОРГРЭС. Описание составлено в соответствии с данными заводской инструкции и повторяет ряд ее разделов.

Основные технические данные. Устройство для удобства транспортировки и возможности раздельного использования его частей выполнено по блочному принципу и состоит из трех отдельных блоков: К-500 — блок регулировочный, К-501 — блок нагрузочный и К-502 — приставка для проверки сложных защит (рис. 1-28). Для работы все три блока соединяются между собой гибкими многожильными кабелями — жгутами со штекерными разъемами.

Блоки комплектного устройства К-500 и К-501 образуют самостоятельное основное устройство для проверки простых защит, выпускаемое отдельно под названием УПЗ-1.

Устройство УПЗ-1 может быть использовано для проведения следующих работ:

проверка и настройка на заданные уставки всех типов простых электромеханических реле переменного тока, реагирующих на одну электрическую величину (ток, напряжение), промежуточных реле, реле времени, контакторов, автоматов постоянного тока;

проверка коэффициента трансформации трансформаторов тока и снятие вольт-амперных характеристик трансформаторов тока;

проверка вторичным током простых защит, выполненных на вторичных реле тока и напряжения, устройств АВР и АПВ трансформаторов, АПВ шин и высоковольтных линий электропередачи 3—10 и 35 кВ;

проверка первичным током защит присоединений 3—10 или 35 кВ, оборудованных трансформаторами тока с коэффициентом трансформации до 150/5.

Комплектное устройство УПЗ-2 позволяет производить наладку и проверку всех сложных реле, реагирующих на две электрические величины и угол между ними.

Питание устройства может производиться от трехфазной сети переменного тока 50 Гц 220 или 380 В.

Устройство рассчитано на длительность работы под нагрузкой в течение 30 мин. При этом потребляемая устройством мощность не должна превышать 1000 В·А.

При работах с комплектом УПЗ-2 в процессе наладки и проверки сложных защит устройство УПЗ-1 используется в качестве источника регулируемого однофазного переменного тока либо при проверке оперативных цепей защиты как источник регулируемого выпрямленного напряжения. В указанных режимах устройство УПЗ-1 обеспечивает возможность получения, изменения и измерения следующих электрических величин:

постоянного (выпрямленного) напряжения;
однофазного переменного тока;

максимальный вторичный ток равен 25 А при использовании предвключенного резистора.

Приставка К-502 дополнительно позволяет:

подавать на испытуемую панель защиты симметричное трехфазное напряжение от встроенного в приставку фазорегулятора нормальным «предаварийным» режиме;
при переключении схемы в положение, соответствующее аварийному режиму, плавно изменять напряжение в двух фазах от нуля до максимума 100—110 В симметрично относительно третьей «нейтральной» фазы;

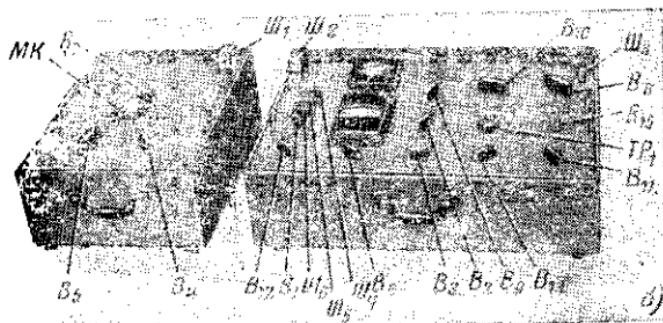
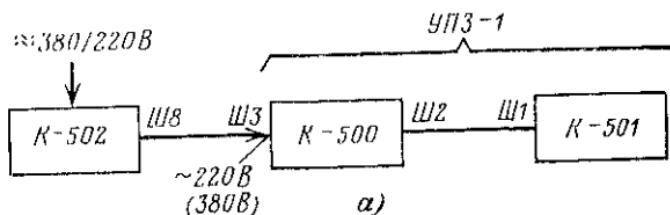


Рис. 1-28. Элементы испытательных устройств УПИЗ-1, УПИЗ-2.

a — блок-схема; *b* — внешний вид блоков К-500 и К-501; *c* — внешний вид блока К-502; К-500 — блок регулировочный; К-501 — нагрузочный; К-502 — приставка; *B* — рукоятки выключателей; *Ш* — разъемы; *Tr*, *R*, *Фр* — регулировки трансформаторов, резисторов, фазорегулятора; *Ки* — кнопка прибора; *МК* — контактный мост.

плавно изменять фазу напряжения относительно тока, подводимого к испытуемой панели от нагрузочного трансформатора устройства УПИЗ-1 при имитации аварийного режима;

имитировать внезапные двухфазные и трехфазные к. з. (со сброшеным напряжением от нормального предаварийного до заранее установленной величины при имитации двухфазных к. з. и до нуля — при имитации близких трехфазных к. з.);

имитировать режим двухфазного к. з. ценой напряжения испытуемой защиты;

подавать и изменять в пределах 0,5—5 А выпрямленный ток в удерживающие (последовательные) обмотки реле постоянного тока при напряжении 3,5 В;

контролировать чередование фаз напряжения, снимаемого с ротора фазорегулятора приставки.

Особенность действия устройства УПЗ-2 заключается в том, что оно позволяет подвести к целям испытуемой защиты симметричное трехфазное, «предаварийное» напряжение нормального режима и затем внезапно перенести защиту в «аварийный» режим путем одновременного снижения напряжений в двух фазах до ранее заданного «аварийного» значения и подачи тока к. з. в «поврежденные» фазы с заданным углом сдвига этого тока относительно аварийного треугольника напряжений.

При этом одновременно запускается электросекундомер, измеряющий время действия защиты от момента подачи аварийного режима до срабатывания защиты на отключение выключателя.

Устройство позволяет также плавно изменять любую из трех электрических величин: ток, напряжение и угол между ними независимо друг от друга.

Встроенные в блоки К-500 и К-502 приборы позволяют производить все измерения, необходимые при испытаниях отдельных реле и устройств защиты в целом. Схемы испытательных устройств приведены на рис. 1-29, 1-30.

Трехфазное питание 220 или 380 В подается на зажимы 23—25 приставки К-502 (рис. 1-29) и через предохранители поступает на ламели переключателей $B16$ и $B17$.

Рукояткой переключателя $B16$ обмотки статора соединяются в звезду (при напряжении 380 В) либо в треугольник (при напряжении 220 В). Кроме того, через рукоятку переключателя $B16$, минуя предохранители приставки, две фазы напряжения питания подводятся к розетке штепсельного разъема $Ш8$, откуда через соединительный кабель и вилку разъема $Ш3$ блока К-500 поступают на его входные зажимы 1—2 (при питании напряжением 220 В) либо 1—3 (при питании напряжением 380 В) (рис. 1-30). Таким способом при работе с комплектом УПЗ-2 производится питание устройства УПЗ-1.

Включение фазорегулятора $ФР$ приставки К-502 под напряжение производится переключателем $B17$.

В отключенном положении $B17$ размыкает обмотки статора $ФР$, вследствие чего напряжение на его роторе отсутствует. В отключенном положении $B17$ замыкает в звезду резисторы $R19—R21$, подготавливая схему приставки для проверки самоходов у направленных реле сопротивления панелей дистанционных защит.

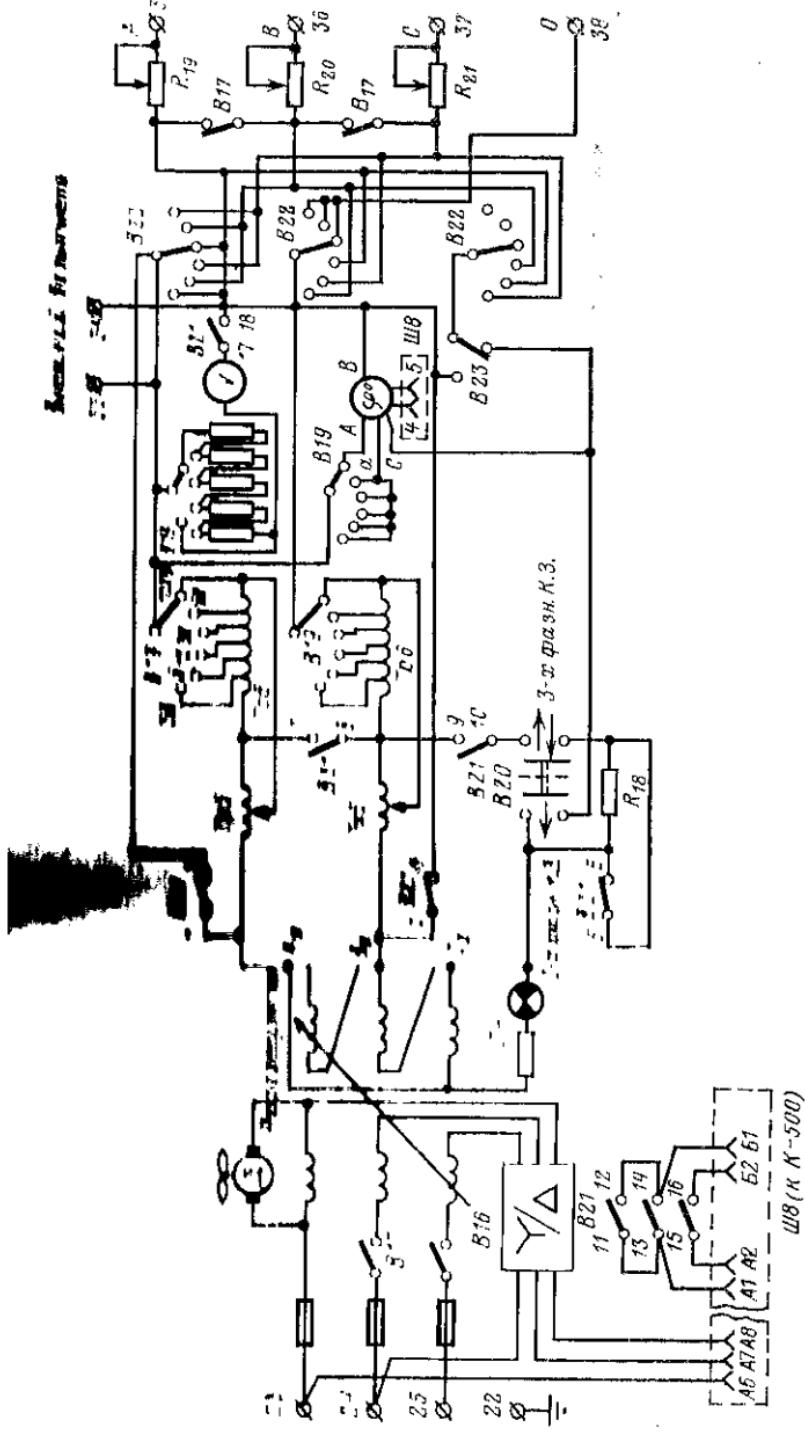
С ротора фазорегулятора, соединенного в треугольник, трехфазное напряжение через командный переключатель $B21$ подводится к двухобмоточному регулировочному автотрансформатору $Tр5$ (от фаз A и B ротора) и на резистор $R18$ от фазы C ротора.

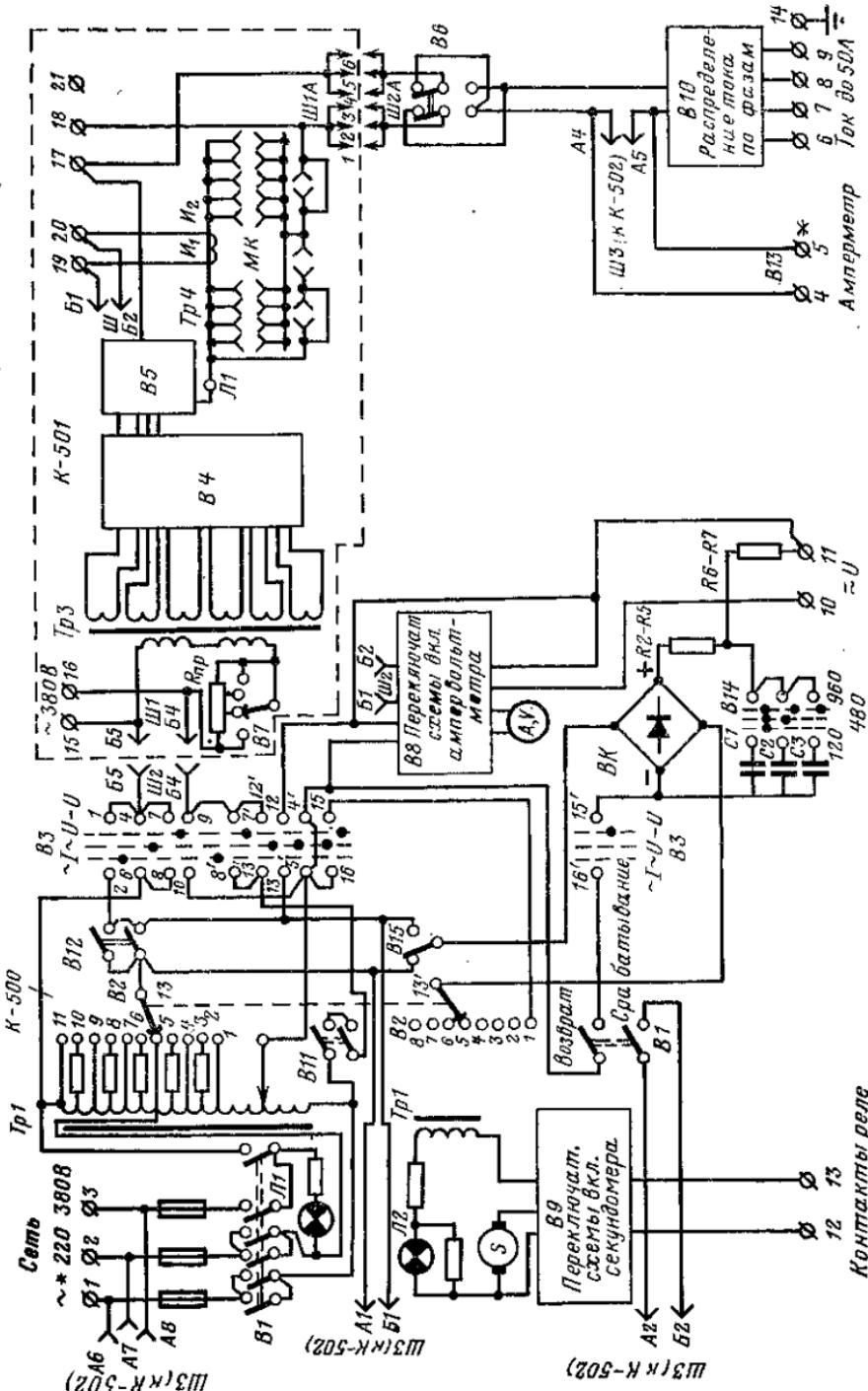
Резистор $R18$ служит для ограничения тока ротора в режиме имитации трехфазного к. з. при комплексных проверках дистанционных защит.

Напряжение, поданное от приставки к УПЗ-1 через предохранители блока К-500 и его сетевой выключатель $B1$ (рис. 1-30), подводится к регулировочному автотрансформатору $Tр1$, от которого

Рис. 1-29. Принципиальная схема блока К-502.

41





Через режимный трехпозиционный переключатель $B3$ и командный переключатель $B2$ поступает либо на нагрузочный трансформатор $Tp3$ блока К-501, либо на выпрямительный мост BK .

Из одной позиции переключатель $B3$ подает напряжение от $Tp1$ непосредственно к зажимам 10—11 блока К-500, минуя выпрямитель. В этом режиме, используемом при работе УПЗ-1, отдельно от зажимов 10—11 можно снимать переменное напряжение, регулируемое от 0 до 380 В.

Для регулирования аварийного напряжения приставкой К-502 напряжения фаз A и B ротора фазорегулятора жестко подводятся к началам полуобмоток одноименных фаз автотрансформатора $Tp5$, концы которых заведены на контакты 7—8 командного переключателя $B21$, разомкнутых в нормальном режиме (рис. 1-29).

С движков автотрансформатора $Tp5$ напряжение подводится к полуобмоткам индукционного делителя напряжения — автотрансформатора $Tp6$. Полуобмотки $Tp6$ в нормальном режиме разомкнуты теми же контактами 7—8 переключателя $B21$, что и $Tp5$. Отводные зажимы полуобмоток $Tp6$ выведены на ламели переключателя ступеней напряжения $B19$, со щеток которого «аварийное» напряжение поступает на распределительный переключатель $B22$. Со щеток $B22$ через резисторы $R19—R21$ напряжение поступает на выходные зажимы A , B , C (зажимы 35—38) приставки.

Когда командный переключатель $B21$ находится в нормальном режиме, регулировочный $Tp5$ и делительный $Tp6$ трансформаторы шунтированы замкнутыми контактами $B21$, и напряжение ротора подается непосредственно к щеткам переключателя $B22$, а от него через резисторы $R19—R21$ на панель испытуемой защиты. Тем самым создается симметричный предварительный режим питания цепей напряжения защиты.

При переводе переключателя $B21$ в положение, соответствующее аварийному режиму, полуобмотки трансформаторов $Tp5$ и $Tp6$ дешунтируются и соединяются между собой замкнувшимися контактами переключателя $B21$. При этом к двум фазам испытуемой защиты подводится уже не полное напряжение AB ротора, а напряжение, величина которого определяется положением движков $Tp5$ и переключателя ступеней напряжения $B19$.

Для регулирования тока устройством УПЗ-1 (рис. 1-30) режимный переключатель $B3$ должен находиться в позиции 1. При включении сетевого выключателя $B1$ напряжение 220 и 380 В, поданное от приставки, поступает на регулировочный автотрансформатор $Tp1$, имеющий ступенчатую регулировку с плавной подрегулировкой в пределах каждой ступени. Ступенчатая регулировка выполняется переключателем $B2$ без разрыва цепи благодаря наличию у него промежуточных проскальзывающих контактов, к которым присоединены через токоограничивающие резисторы промежуточные отводы внутренней обмотки $Tp1$. Плавная регулировка производится при помощи движка, скользящего по защищенной от изоляции дорожке внешней регулировочной обмотки $Tp1$.

Через контакты переключателя $B3$ и гибкий кабель (через разъемы III—Ш2) блоки К-500 и К-501 соединяются между собой. В этом случае регулируемое напряжение от $Tp1$ подводится к первичной обмотке нагрузочного трансформатора $Tp3$ и предвключенному резистору R_{up} , присоединенным последовательно. Сопротивление $R_{up}=200$ Ом; имеются отпайки от 20 и 70 Ом. Отпайки заведены на ползунковый переключатель без разрыва цепи $B7$.

Предвключенный резистор предназначен для исправления формы кривой тока при проверке реле, обладающих зависимостью тока срабатывания от формы кривой этого тока.

Переключателями *B4* и *B5* секции и катушки вторичной обмотки двухкатушечного стержневого трансформатора *Tr3* могут пересоединяться с последовательного на параллельное или смешанное соединение, обеспечивая тем самым изменение пределов снимаемого с трансформатора вторичного тока в 8 раз. Через тот же соединительный кабель и разъемы *Ш1*, *Ш2* вторичный ток *Tr3* подводится к переключателю реверса тока *B6*, а от него через распределительный переключатель *B10* к выходным зажимам 6—9, служащим для подключения цепи тока до 50 А блока К-500.

Для измерения тока в блоке К-501 установлен измерительный трансформатор тока *Tr4*.

Во вторичную измерительную обмотку *Tr4* включается переключателем *B8* ампервольтметр, встроенный в блок К-500.

При подключении разъемом *Ш3* (точки *A4*, *A5* устройства К-502) зажимы 4—5 блока К-500, нормально закороченные перемычкой *B13*, должны быть разомкнуты.

Схема имитации внезапных к. з. Переход от симметричного предаварийного нормального режима к аварийному производится, как сказано ранее, командным ключом приставки переключателем *B21* (рис. 1-29). При этом одновременно со сбросом напряжения ключ *B21* подает аварийный ток в токовые цепи испытуемой защиты и запускает электросекундомер.

Подготовка имитируемого режима к. з. выполняется переключателем *B20*. Для имитации двухфазного к. з. переключатель шунтирует ограничительный резистор *R18* (рис. 1-29), обеспечивая тем самым подачу на защиту полного напряжения неповрежденной фазы.

В положении, соответствующем трехфазному к. з., переключатель *B20* подготавливает цепь замыкания фазы *C* ротора с двумя другими фазами через резистор *R18*.

В момент перевода командного ключа *B21* в положение, соответствующее аварийному режиму, резистор *R18* включается между средней точкой обмотки автотрансформатора *Tr5*, образуемой замыканием между собой его полуобмоток, и фазой *C_p*.

При имитации трехфазного к. з. с посадкой напряжения до нуля рукоятка движков *Tr5* предварительно выводится в нулевое положение. Поэтому при положении *B20*, имитирующем трехфазное к. з., в момент включения ключа *B21* оказываются замкнутыми между собой выходные цепи всех трех фаз напряжения (после автотрансформатора *Tr5* и резистора *R18*).

При этом цепи напряжения испытуемой панели защиты оказываются замкнутыми на обесточенные резисторы *R19*—*R21*, а ротор фазорегулятора — на несимметричную звезду нагрузки из резистора *R18* и двух встречно включенных полуобмоток автотрансформатора *Tr5*, находящегося в этом случае в режиме к. з. Так как сопротивление *Tr5* в этом режиме мало, фазорегулятор сильно перегружается и его необходимо быстро отключить. Поэтому переключатель *B20* из положения, соответствующего трехфазному к. з., быстро возвращается в исходное положение и режим трехфазного к. з. длится только несколько секунд, несмотря на то что переключатель удерживается рукой оператора в этом положении.

При помощи контактов командного переключателя $B21$ при его установке в положение, соответствующее аварийному режиму, выполняются следующие операции:

размыкающими контактами $1-2$ и $3-4$ дешунтируются обмотки T_{rb} и T_{rb} , а контактами $5-6$ — резистор $R18$; замыкающими контактами $7-8$ объединяются полуобмотки фаз A и B автотрансформаторов T_{rb} и T_{rb} .

замыкается первичная токовая цепь от блока К-500 к нагрузочному трансформатору T_{r3} блока К-501 контактами $11-12$ и $13-14$, соединенными параллельно;

контактами $15-16$ пускается электросекундомер;

контактами $9-10$ выполняется имитация трехфазного к. з., подготовленного предварительно переключателем $B20$, до перевода УПЗ в положение, соответствующее аварийному режиму;

контактами $17-18$ замыкается цепь вольтметра для измерения напряжения в исследуемом режиме.

Цепи регулирования и измерения угла сдвига фаз и измерения напряжения на выходе приставки. Угол сдвига фаз напряжения на выходе приставки относительно тока, подводимого к защите от блока К-500, регулируется фазорегулятором. Для удобства фазировки при сборке и после ремонта на валу ротора укреплен указатель с нанесенными на нем градуировками двух цветов: черными цифрами нанесены деления и оцифровка, действительные при включении статора фазорегулятора в треугольник, красными — в звезду; в связи с этим шкала с красными цифрами сдвинута относительно черной на 30° .

Измерение угла сдвига производится встроенным в приставку трансформаторным фазоизмерителем Ф-572. Токовая цепь прибора Ф-572 питается от УПЗ-1 через соединительный кабель и разъемы $Ш8-Ш3$ последовательно с цепями тока испытуемой панели защиты.

Напряжение к фазоизмерителю Ф-572 подводится от делителя T_{rb} через щитки переключателя $B19$ (непосредственно или через добавочный резистор, встроенный внутрь прибора). Цепи напряжения приставки сфазированы с выходной целью тока устройства УПЗ-1.

Измерение напряжения, соответствующего аварийному режиму на выходе приставки, производится встроенным вольтметром. Для предотвращения повреждения вольтметра, включенного на чувствительный предел шкалы, при восстановлении нормального режима, когда к прибору подводилось бы полное напряжение 100—120 В, один из проводов, подключающих вольтметр к схеме, заведен через контакты $17-18$ командного переключателя $B21$, разомкнутые в положении «нормальный режим».

Контроль положения контактов испытуемых реле. Схемой УПЗ-2 предусмотрена возможность действия контактов испытуемых реле либо на неоновую лампу, либо на секундомер или сигнальную лампочку блока К-500.

Схема присоединения электросекундомера изменяется переключателем $B9$ (рис. 1-30) в зависимости от вида контактов (замыкающие или размыкающие) и измерения времени срабатывания или времени возврата. Тем же переключателем действие контактов переходит на сигнальную лампу, если не требуется измерение времени.

Правила работы с УПЗ-2 при комплексных испытаниях защиты.
Комплексные испытания панелей сложных защит проводятся путем имитации различных видов к. з.: двухфазных, трехфазных с посадкой напряжения до нуля и двойных замыканий на землю (например, для дистанционных панелей защит).

В предаварийном режиме на панель должно быть подано симметричное трехфазное напряжение 100 В. Имитация двухфазных к. з. и двойных замыканий на землю должна производиться подачей на панель заданного значения напряжения между поврежденными фазами и напряжения в пределах 0,87 поминального между третьей здоровой неповрежденной фазой и поврежденными.

Имитация трехфазных к. з. может выполняться только с посадкой до нуля напряжения сразу во всех трех фазах. Одновременно с посадкой напряжения должен быть подан ток определенной величины, сдвинутый по фазе относительно предаварийного напряжения на заданный угол. Все три величины: ток, напряжение и угол между ними — регулируются заранее при включенном сетевом выключателе *B1* блока К-500 (рис. 1-30).

Контакты выходного промежуточного реле панели защиты предварительно заводятся на зажимы 12—13 блока К-501.

Имитация к. з. выполняется повторным переводом переключателя *B21* (рис. 1-29) в положении, соответствующем аварийному режиму. При этом сброс напряжения и подача тока происходят толчком и практически одновременно.

Измерение времени действия защиты при имитации к. з. Для измерения времени действия защиты свободные контакты выходного реле испытуемой панели защиты должны соединяться с зажимами 12—13 блока К-500 (рис. 1-30). Переключатель *B9* схемы электросекундомера устанавливают в требуемое положение, проверяют нулевое положение стрелки секундомера и переводом командного переключателя *B21* (рис. 1-29) приставки в положение, соответствующее аварийному режиму, запускают секундомер одновременно со сбросом напряжения и подачей тока.

Для выявления разброса времени действия защиты следует производить не менее десяти измерений для каждой точки временной характеристики.

1-8. Ознакомление со стендами для проверки устройств релейной защиты. Лабораторная работа

Цель работы. Ознакомление со специальными стендами, предназначенными для проверки на них различных типов реле и устройств релейной защиты в лабораторных условиях.

А. Учебный лабораторный стенд. В производственных и учебных лабораториях испытание отдельных реле и устройств релейной защиты часто производят на специальных стенах, изготавливаемых из подручного материала. Такие стены содержат, как правило, испытательную и измерительную аппаратуру, вмонтированную в тумбу стола, горизонтальное поле которого пред-

назначается для установки испытуемых реле и дополнительных приборов. К горизонтальной плоскости стола прикреплена вертикальная стенка с прорезями для установки держателей с укрепленными на них аппаратами. Держатели допускают производить легко замену аппаратов и таким образом создается возможность быстрой сборки испытуемой схемы.

Для одновременного замыкания нескольких цепей, что необходимо, например, при определении времени действия реле, обычно устанавливают промежуточные быстродействующие реле. Для фиксации замыкания или размыкания контактов реле используют указательные (сигнальные) реле и контрольные лампы, в частности неоновые. Электропитание к стенду должно быть подано от источников постоянного и переменного тока, мощности которых соответствуют потреблению энергии испытуемыми устройствами.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с устройством лабораторного учебного стенда. Сделать эскиз стенда и указать параметры всей аппаратуры, установленной на нем.

2. Составить и собрать схему, позволяющую производить плавную регулировку тока в испытуемой цепи в пределах 1—20 А.

3. Составить и собрать схему, позволяющую производить плавное регулирование напряжения в испытуемой цепи в пределах 0—127 В.

4. Подать электропитание к испытуемым цепям и убедиться в правильном выборе аппаратуры.

5. Составить и собрать схему для получения тока в испытуемой цепи 5 А и напряжения 100 В с возможностью плавного изменения угла сдвига фаз тока и напряжения в пределах 0—360°, с использованием фазорегулятора, имеющегося на стенде.

6. Составить и собрать схему для получения тока в испытуемой цепи 5 А, напряжения 100 В и угла сдвига между векторами тока и напряжения $\varphi = -45^\circ$ при отсутствии фазорегулятора.

Указания по выполнению работы. 1. Для измерения тока, напряжения и угла между ними использовать вольтамперфазометр ВАФ-85. При работе с прибором придерживаться следующей последовательности:

подавая на зажимы A, B, C прибора ВАФ-85 питание от трехфазной цепи 110—220 В, проверить правиль-

ность порядка чередования фаз (рис. 1-31), при последующих измерениях сохраняя его неизменным;

проверить правильность нулевого положения диска, для чего: подвести к входным зажимам прибора ВАФ-85 напряжение U_{AB} , т. е. установить перемычки $A-\ast$ и

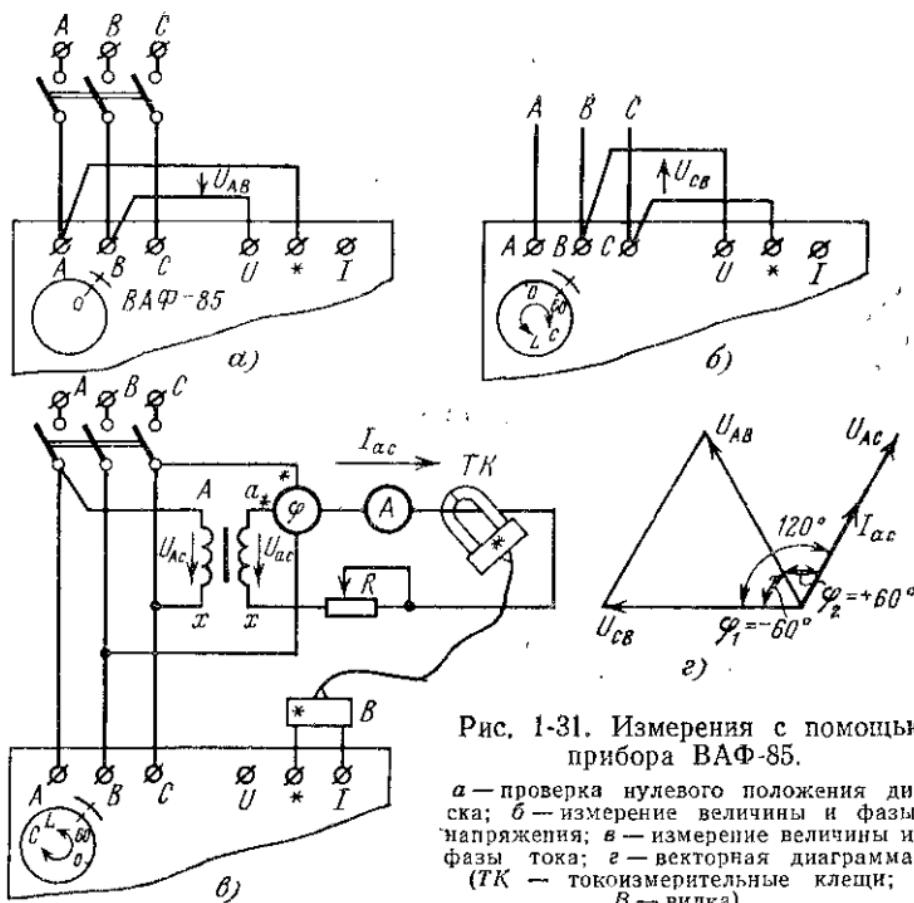


Рис. 1-31. Измерения с помощью прибора ВАФ-85.

а — проверка нулевого положения диска; б — измерение величины и фазы напряжения; в — измерение величины и фазы тока; г — векторная диаграмма (TK — токоизмерительные клещи; B — вилка).

$B-U$ (рис. 1-31, а), подать питание и убедиться, что нулевое положение лимба соответствует нулевому положению стрелки измерительного прибора. Если «нуль» диска не совпадает с риской на планке, закрепленной на корпусе, необходимо отпустить прижимной винт, сместить планку так, чтобы нуль лимба установился против риски, и вновь закрепить винт. Снять перемычки:

подвести к зажимам $\ast-U$ напряжение, фазу и значение которого требуется определить (например, напряжение U_{CB} , (рис. 1-31, б)). Вращая диск фазорегулятора прибора ВАФ-85 по часовой стрелке, добиться такого положения, при котором стрелка прибора установится

на пуль. Записать величину и знак угла по положению диска против риски (в данном случае $\varphi_1 = -60^\circ$);

не меняя схемы включения прибора, имерить величину подведенного к нему напряжения;

собрать схему для измерения величины и фазы тока (рис. 1-31,*в*), для чего, пользуясь токоизмерительными клещами, измерить величину тока, проходящего по заданной цепи, убедиться, что показания прибора ВАФ-85 соответствуют показаниям контрольного амперметра. Проверив правильность расположения магнитопровода и щипки токоизмерительных клещей, определить фазу измеряемого тока (для рассматриваемого случая $\varphi_2 = +60^\circ$);

по полученным результатам измерения построить векторную диаграмму. Определить по диаграмме угол сдвига между векторами двух заданных величин (в рассмотренном случае угол сдвига между вектором напряжения U_{cv} и вектором тока I_{ac} составляет 120° [рис. 1-31,*г*]).

2. При подготовке опытов по регулированию тока, напряжения и углов между ними проверить возможность выполнения задания с аппаратурой, установленной на стенде и дополнительно используемой из резерва лаборатории.

3. Схемы электрических соединений цепей тока и напряжения для проведения измерений предварительно согласовать с преподавателем.

Контрольные вопросы. 1. Какая измерительная и регулировочная аппаратура предусматривается на лабораторном испытательном стенде? Назначение отдельных устройств.

2. Какой диапазон токов может быть получен в испытательной цепи лабораторного стенда?

3. Способы, позволяющие изменять угол между векторами тока и напряжения в испытательных цепях лабораторного стенда при проверках сложных устройств релейной защиты.

4. Назначение фазорегулятора в устройстве лабораторного стенда для проверки устройств защиты.

5. Способы, позволяющие измерять угол между векторами тока и напряжения, подводимыми к испытуемому реле. Оценка этих способов с точки зрения простоты производства опыта.

6. Порядок работы с прибором ВАФ-85 при проведении измерений тока, напряжения и угла между ними.

Б. Лабораторный испытательный стенд промышленного изготовления по типу СР опытного завода Латвэнерго. Испытательный стенд типа СР является сложным устройством, позволяющим производить многоцеле-

вые испытания, в частности имитировать симметричные и несимметричные к. з. с разными остаточными напряжениями. Стенд поставляется комплектно с устройствами для выполнения измерений в двухфазных и трехфазных цепях, а также с устройствами, позволяющими достигнуть значительных токов (20 А и более) в измерительных цепях тока. В стенде имеется фазорегулятор, с помощью которого можно менять угол между током и напряжением в диапазоне 0—360°.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с кратким описанием стенда и его упрощенной схемой (см. § 1-6).

2. Пользуясь принципиальной схемой стенда, детально разобраться в особенностях выполнения цепи напряжения переменного тока № 1. Найти на вертикальной панели стенда все коммутационные аппараты (№ 110, 111, 112, 113), измерительные приборы и выходные зажимы (№ 1—9), относящиеся к рассматриваемой цепи. Обе рукоятки грубой (большая) и плавной (малая) регулировки потенциометра № 1 установить в положение, соответствующее минимальному значению напряжения.

3. К любым двум выходным зажимам данной цепи (например, зажимам *A* и *B* на рис. 1-32,*a*) подключить вольтметр с пределом измерения не ниже 250 В.

4. Для подготовки схемы установить переключатели цепей в положение, указанное на том же рисунке. В случае необходимости плавного изменения напряжения на выходных зажимах *A* и *B* между выводами 4 и 5 в соответствии с внутренней схемой стенда (рис. 1-32,*a*, *b*) должна быть предусмотрена накладка.

5. Включить главный выключатель стенда (130); наличие напряжения фиксируется сигнальной лампой, расположенной над выключателем.

6. Поворачивая рукоятки потенциометра № 1 вправо, проверить возможный диапазон регулирования напряжения.

7. Подготовить схему для имитации повреждения в сети (снижение напряжения), для чего:

установить с помощью потенциометра напряжение на выходных зажимах, соответствующее аварийному режиму (принять величину остаточного напряжения 50 В);

отключить главный выключатель (130). Установить накладки в положение, указанное на рис. 1-32,*b* — при этом на выход будет подано напряжение U_{AB} , соответ-

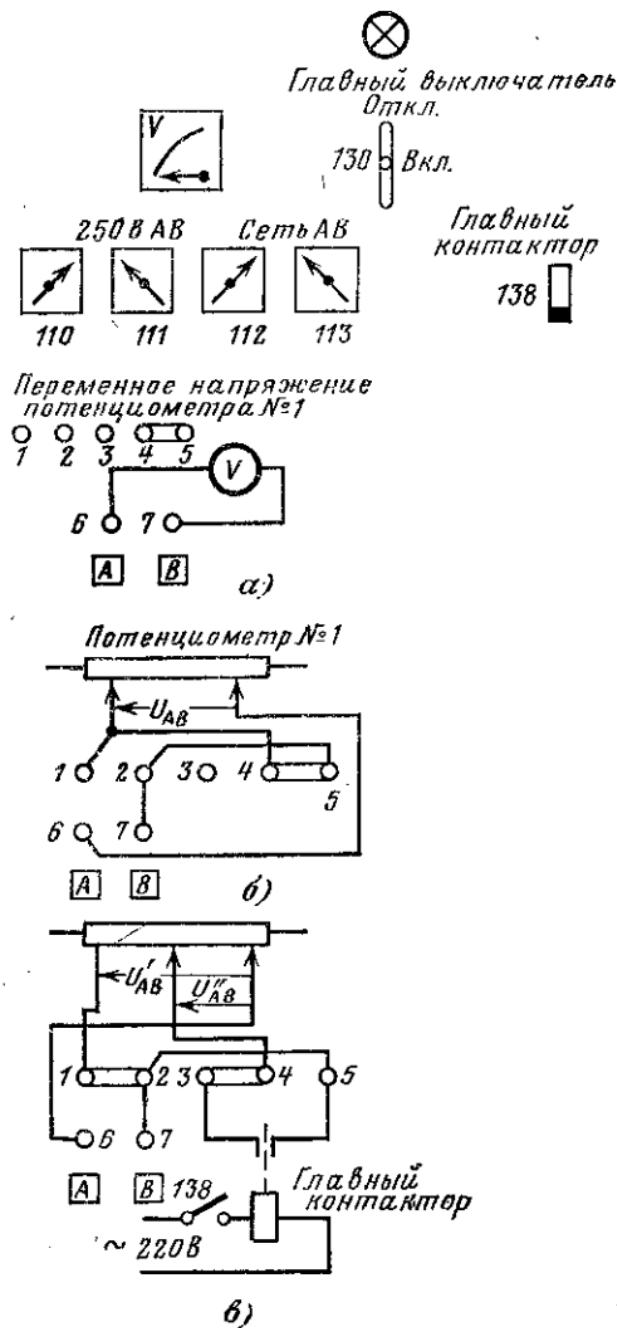


Рис. 1-32. Расположение коммутационной аппаратуры и внутренние соединения цепи переменного тока.

а — исходное положение; б — схема для плавного регулирования напряжения; в — имитация к. з.

ствующее предаварийному режиму и равное примерно 100 В.

8. Включить главный выключатель и измерить величину напряжения предаварийного режима.

9. Кратковременно (не более чем на 0,5 мин) включить главный контактор стенда (выключателем 138). Записать показания вольтметров. Из схемы на рис. 1-32,в видно, что при замыкании контактов главного контактора часть потенциометра оказывается закороченной и на выходные зажимы подается пониженное напряжение, соответствующее «аварийному» режиму.

10. Отключить главный выключатель.

11. Подключить к тем же зажимам А и В вместо вольтметра минимальное реле напряжения. Установить на реле напряжения уставку срабатывания 60 В.

12. Включить главный выключатель и убедиться, что контакты реле разомкнуты.

13. Замкнуть кратковременно выключатель главного контактора; убедиться, что реле замкнуло контакты. Обосновать поведение реле.

Примечание. Ознакомление с другими цепями стенда может быть произведено по указанию преподавателя при выполнении лабораторных работ с другими типами реле.

Контрольные вопросы. 1. Отличие лабораторного стенда заводского производства от учебных стендов местного изготовления.

2. Для чего предусматривается возможность регулировки остаточного переменного напряжения в стенде типа СР? Как достигается регулировка этой величины?

3. При помощи каких устройств в стенде типа СР достигается изменение направления вектора напряжения в испытуемой цепи по отношению к вектору тока одноименной фазы?

4. Назначение выключателя 138 в цепи главного контактора.

5. Укажите последовательность операций для подачи к испытуемому реле напряжения:

переменного напряжения к обмотке 120 В;

постоянного напряжения 120 В к контактам реле.

1-9. Ознакомление с комплектным переносным устройством типа УПЗ-2. Лабораторная работа

Цель работы. 1. Ознакомить учащихся с испытательным устройством типа УПЗ-2, используемым для проверки простых и сложных релейных защит у места их установки в эксплуатации.

2. Научить их пользоваться отдельными блоками устройства для получения требуемых значений электри-

ческих величин, по которым производится регулировка аппаратуры релейной защиты.

С учетом того, что на выполнение лабораторной работы отводится ограниченное время, учащимся предлагается произвести небольшое число измерений на выходных зажимах блоков при регулировании величин тока, напряжения и угла сдвига между ними, а также при имитации аварийного режима.

Испытания отдельных реле и устройств защиты могут быть выполнены после общего знакомства с рассматриваемым устройством по указанию преподавателя в виде дополнительной работы.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с блок-схемой устройства УПЗ-2, его принципиальной схемой и описанием действия.

Найти на лицевой стороне комплектов К-500, К-501, К-502 все зажимы, переключатели, а также надписи, поясняющие положения переключателей. Для этих целей воспользоваться инструкцией завода-изготовителя, прикладываемой к каждому комплекту устройств, и описанием, приведенным в § 1-7 (см. рис. 1-28—1-30).

2. Проверить диапазон регулирования напряжения переменного тока на выходных зажимах регулировочного блока К-500, для чего:

соединить входные зажимы блока К-500 (зажимы 1—2) с источником питания 220 В (предварительно источник питания должен быть отключен);

к выходным зажимам блока (зажимы 10—11) подключить контрольный вольтметр с номинальным значением, соответствующим техническим данным испытуемого устройства;

режимный трехпозиционный переключатель *B3* установить в положение $\sim U$;

переключателем *B8* включить измерительный прибор для измерения напряжения; внутренний переключатель прибора установить на диапазон измеряемого напряжения;

установить переключатель *B2*, выполняющий ступенчатую регулировку напряжения, снимаемого с автотрансформатора *Tpl*, в положение 1, а движок того же автотрансформатора в нулевое положение;

подать напряжение на блок и включить главный выключатель *B1*; убедиться по сигнальной лампе *L1* в том,

что к регулировочному автотрансформатору $Tp1$ подано напряжение;

включить оперативный выключатель $B12$ и, воздействуя на движок и переключатель $B2$ автотрансформатора, проверить диапазон изменения напряжения на выходных зажимах блока. При этом должны совпадать показания контрольного и встроенного в блок приборов. Регулирование напряжения сверх 150 В производить только в присутствии преподавателя;

снизить регулируемое напряжение до нуля. Отключить выключатели $B12$, $B1$ и выключатель питания блока. Отсоединить контрольный вольтметр.

3. Проверить диапазон регулирования переменного тока с помощью устройства УПЗ-1, входящего составной частью в комплект УПЗ-2; при этом регулировочный блок К-500 используется совместно с нагрузочным блоком К-501. Последовательность выполнений операций следующая:

с помощью гибкого кабеля со штепсельными разъемами $Ш1$ и $Ш2$ соединить два блока между собой;

режимный переключатель $B3$ блока К-500 установить в положение $\sim I$; пользуясь схемой, убедиться, что через переключатель $B3$ и гибкий кабель регулируемое напряжение от автотрансформатора $Tp1$ подается к первичной обмотке нагрузочного трансформатора $Tp3$ блока К-501;

к выходным зажимам блока К-500 (зажимы 6—7, соответствующие току до 50 А) подключить контрольный амперметр; соединить перемычкой $B13$ зажимы 4—5; переключатель $B6$ установить в положение *прямо*; обеспечить возможность переключателем $B10$ подачу питания к зажимам 6—7 (зажимы AB);

переключателем $B8$ включить прибор блока для измерения тока;

с помощью переключателей $B4$ и $B5$ на нагрузочном трансформаторе $Tp3$ блока К-501 предусмотреть возможность получения на выходе тока, равного 5 А. Установить на измерительном трансформаторе тока $Tp4$ того же блока соответствующий коэффициент трансформации;

подать питание на устройство и включить выключатели (вначале $B1$, затем $B12$);

изменяя напряжение, снимаемое с регулировочного трансформатора $Tp1$, установить в цепи ток 5 А. Убе-

диться, что показания контрольного прибора соответствуют показанию прибора блока;

отключить выключатели $B12$ и $B1$; предусмотреть возможность установки и измерения тока 10 А; включить выключатели $B12$ и $B1$ и убедиться в правильности полученных результатов;

проделать то же самое для значений токов 20 и 30 А, после чего снизить напряжение на выходе автотрансформатора $Tp1$. Затем отключить выключатели $B12$ и $B1$;

снять питание с устройства и отсоединить питающие провода.

4. Проверить возможность имитации аварийных режимов при совместном использовании для этой цели устройства УПЗ-1 с блоком К-502. Последовательность выполнения работы:

с помощью гибкого кабеля с разъемами $Ш3$, $Ш8$ соединить блоки К-500 и К-502;

на входные зажимы блока К-502 (зажимы 23, 24 и 25) подать питание от трехфазной цепи 220 В (до этого источник питания отключен);

к выходным зажимам блока (зажимы 35, 36 и 37) подключить три вольтметра с пределом измерения 150 В;

подавая на блок питание от сети и включая выключатели $B1$ блока К-500 и $B17$ блока К-502, убедиться по сигнальным лампам $L1$ и $L4$ в наличии напряжения на обоих блоках; по показаниям трех вольтметров проверить величину напряжения на выходе блока, т. е. установить нормальный режим;

отключить выключатели $B1$ и $B17$ и подготовить соответствующими переключениями заданный аварийный режим на регулирующих устройствах. Установить пределы по току и напряжению и пределы измерения приборов блока: принять величину тока двухфазного к. з. $I_{k.z}^{(2)}=30$ А, остаточные напряжения при имитации трехфазного к. з. $U_{ост}=0$, при имитации двухфазного к. з. между фазами A и B остаточное напряжение $U_{остав}=-50$ В, угол к. з. $\Phi_{k.z}=+60^\circ$; снять перемычку $B13$ между зажимами 4—5 блока К-501;

при разомкнутой цепи тока (главный выключатель $B1$ отключен, а выключатель $B12$ находится в положении, соответствующем возврату) установить переключатель $B20$ в положение, соответствующее двухфазному

к. з., переключатель $B21$ в положение, соответствующее аварийному режиму, переключателем $B19$ и движком $Tp5$ отрегулировать заданное значение напряжения U_{AB} для имитации двухфазного к. з.;

выключателем $B1$ включить цепь тока и, воздействуя на фазорегулятор, установить по прибору нужный угол к. з.;

вернуть переключатель $B21$ в положение *нормальный режим* и отрегулировать ток;

переводом переключателя $B21$ в положение *аварийный режим* выполнить имитацию двухфазного к. з. и произвести запись показаний всех приборов;

построить векторную диаграмму токов и напряжений, соответствующую заданному виду к. з.;

по разрешению преподавателя к выходным зажимам устройства К-502 (к зажимам 35—37) вместо вольтметров подключить три реле напряжения минимального действия, установив на них напряжение срабатывания $U_{ср}=60$ В; объяснить работу реле при имитации двухфазного к. з.;

имитацию трехфазного к. з. выполнить кратковременно с возможно более быстрым отключением тока. Значение тока в фазе установить $I_{к.з}^{(3)}=35$ А. Испытание проводить в присутствии преподавателя в последовательности, оговоренной заводской инструкцией.

Указания к проведению работы. Перед выполнением работы необходимо убедиться в том, что

вилки гибких жгутов плотно входят в разъемы $Ш1$, $Ш2$, $Ш3$, $Ш8$;

главный выключатель $B1$ и переключатель $B17$ находятся в положении *отключено*;

положение переключателя $B16$, указываемое стрелкой, соответствует номинальному напряжению питающей сети.

При выполнении испытаний следует помнить, что все переключения на выводах устройства и на зажимах проверяемой панели релейной защиты можно производить только при отключенном выключателе $B1$.

При использовании устройства УПЗ-1 без приставки К-502 в штепсельный разъем $Ш3$ должна быть вставлена вилка $Ш7$.

Контрольные вопросы. 1. Какие типы реле и комплекты релейной защиты могут быть проверены с помощью устройства УПЗ-1 при использовании:

только одного блока К-500;
двух блоков К-500 и К-501.

2. Какие типы реле и комплекты релейной защиты могут быть испытаны с помощью устройства УПЗ-2?

3. Можно ли с помощью устройства УПЗ-1 проверить время действия реле?

4. Преимущества переносных испытательных устройств, смонтированных заранее в чемоданах, по сравнению с устройствами, монтируемыми для испытаний на месте установки панели защиты.

5. Почему в устройстве УПЗ-2 не допускается длительная имитация режима трехфазного к. з. со снижением напряжения на трех фазах до нуля?

6. Каким образом в устройстве УПЗ-2 достигается возможность регулирования угла φ между векторами одноименных фаз тока и напряжения?

7. Какие преимущества имеет выполнение устройства УПЗ-2 в виде трех отдельных переносных блоков для облегчения работы эксплуатационного персонала?

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРОВЕРКА ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕ, РЕАГИРУЮЩИХ НА ОДНУ ИЗМЕРЕЯМУЮ ВЕЛИЧИНУ

2-1. Общие положения

Исполнительная система реле, реагирующих на одну измеряемую величину, срабатывает, если значение этой величины достигнет некоторого определенного уровня — параметра срабатывания $I_{ср}$. Исполнительная система из сработавшего положения возвращается в исходное при снижении измеряемой величины до величины возврата I_v . Для реле максимального тока соответственно различают ток срабатывания $I_{ср}$ и ток возврата I_v . Для таких реле коэффициент возврата

$$k_v = I_v / I_{ср} < 1. \quad (2-1)$$

Для максимального реле напряжения, учитывая, что ток в воспринимающей системе пропорционален приложенному напряжению:

$$k_v = U_v / U_{ср} < 1. \quad (2-2)$$

У минимального реле напряжения срабатывание происходит при снижении контролируемого параметра, а возврат при увеличении. Для таких реле $k_v > 1$. Минимальное реле напряжения с контактами, замыкающими-
ся при срабатывании, можно рассматривать как максимальное реле напряжения с контактами, размыкающи-
ми при срабатывании (и наоборот).

Коэффициент возврата является важным параметром, определяющим исправность реле и возможность его применения в различных устройствах защиты. При испытаниях коэффициент возврата должен быть определен для каждого реле, входящего в схему защиты, и сравнен с данными, регламентированными ГОСТ.

Проверка параметров срабатывания и возврата проводится как при плавном, так и при толчкообразном изменении параметра в зависимости от функций, выпол-



Рис. 2-1. Включение в цепь контролируемого контакта неоновой лампы.

няемых реле. Например, для токового реле устройства защиты от к. з. ток срабатывания и ток возврата должны быть определены при толчкообразном изменении, а для токового реле устройства сигнализации перегрузки — как при плавном, так и при толчкообразном изменении.

При испытании должно быть проверено отсутствие вибрации контактов при значениях токов (напряжений), близких к токам (напряжениям) уставки, и при значениях, превышающих в 10—15 раз уставку. Отсутствие вибрации контролируется по схеме рис. 2-1 с применением неоновой лампы. Вибрацию контактов можно четко обнаружить при осциллографировании тока в цепи, управляемой контактами. Должна быть также проверена работоспособность контактной системы при наличии в цепи нагрузки, соответствующей фактической (например, промежуточного реле, реле времени).

Если производится несколько измерений, то из-за разброса в действии реле и погрешности в измерениях результаты опытов несколько отличаются. Среднее значение определяется по выражению

$$a_{ср} = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n)/n, \quad (2-3)$$

где n — количество произведенных измерений.

В ГОСТ 711-62 [3] допускается предельное значение разброса тока срабатывания вторичных реле тока косвенного действия не более $\pm 4\%$. Разброс рассчитывается по формуле, %:

$$\Delta I_{ср} = \frac{I_{ср. макс} - I_{ср. мин}}{0,5 (I_{ср. макс} + I_{ср. мин})} \cdot 100, \quad (2-4)$$

где $I_{ср.макс}$ и $I_{ср.мин}$ — максимальное и минимальное значения тока срабатывания, полученные при измерениях в пяти опытах.

Для реле, снабженных шкалой, по которой допускается производить уставку срабатывания без ее проверки по приборам, регламентируется величина погрешности $\gamma_{ср} \pm 5\%$. Для токовых реле погрешность, %:

$$\gamma_{ср} = \frac{I_{ср.изм} - I_{уст}}{I_{уст}} \cdot 100, \quad (2-5)$$

где $I_{ср.изм}$ и $I_{уст}$ — значения токов срабатывания, измеренные прибором и по шкале. Если производится регулировка по шкале в период эксплуатации дежурным персоналом, проверке подлежат все значения шкалы. При определении токов срабатывания и возврата важно наблюдать за поведением исполнительной системы реле, т. е. за отсутствием затирания осей в подшипниках и подпятниках, отсутствием искрения контактов, плавностью их замыкания и отхода, достаточностью нажатия и т. п. Поэтому предварительная настройка реле на заданные уставки должна производиться при снятом кожухе, а окончательная — при надетом и закрепленном кожухе.

Несоответствие электрических параметров реле его паспортным данным косвенно указывает на наличие механической неисправности. Она выявляется тщательным осмотром с использованием увеличительного стекла (для электромеханических реле). Применяются лупы с пяти-шестикратным увеличением. Внимание должно быть обращено на состояние монтажа и выявление и устранение коррозии, пылинок, заусенцев, соринок (особенно вблизи контактов и подпятников). Следует проверить плавность хода подвижных частей, их балансировку и регулировку подпятников (продольный осевой люфт должен быть не более 0,2—0,3 мм). Необходимо убедиться в достаточной величине давления контактов, используя для этого граммометр (рис. 2-2). Отсутствие заедания контактов и правильность их хода должны быть обеспечены при различ-

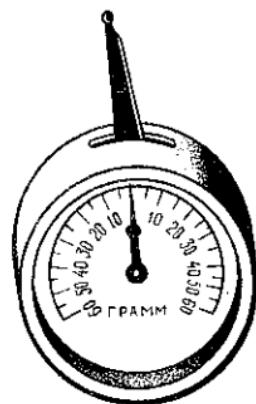


Рис. 2-2. Граммометр.

ных положениях рычага, регулирующего натяжение установочной пружины (при ее наличии). У спиральных пружин должно быть проверено отсутствие касания между витками пружины при любом угле затяжки в пределах шкалы. При периодических проверках особое внимание должно быть обращено на чистоту контактов — отсутствие подгаров и деформаций.

Должно быть обращено внимание на состояние механического крепления и, в частности, на затяжку гаечных болтовых и винтовых соединений и на наличие конт-

гаек или удерживающей смазки для предохранения от вывихивания при вибрации. Необходимо проверить тщательность подгонки и крепления кожуха. Надетый кожух не должен касаться подвижных частей и магнитопровода.

Если в процессе контрольного осмотра или при определении основных параметров при испытании выявлена неисправность и ее устранение требует переборки деталей, следует неисправный аппарат заменить новым. На месте установки реле допуска-

Рис. 2-3. Приспособление для проверки изгиба оси.

ется производить только несложную регулировку с использованием специального инструмента. Наборы инструментов для персонала релейных служб защиты в настоящее время выпускаются промышленностью в переносных чемоданах. Для зачистки и полировки контактов применяют напильники с мелкой насечкой или без нее (воронила).

Для выявления изгиба оси, на которую насыжаются подвижные детали реле, используется устройство, показанное на рис. 2-3. При наличии изгиба оси ее проворот в упорах устройства вызовет колебание стрелки пружинного прибора. Эта стрелка связана с «пальцем», прижимающимся пружиной к поверхности исследуемой оси [11].

На изменение параметров срабатывания и возврата может оказать влияние остаточное намагничивание. Для его устранения, например для токового реле, после первоначального измерения тока срабатывания подаются плавно токи до $(5 \div 10) I_{ср}$ (но не более 100 А) и толчком снимаются до нуля.

Опыт проводится 5 раз для одной и той же кратности тока в реле, после чего определяются повторно токи срабатывания и возврата. На основании результатов измерений определяется разброс, вызванный остаточным намагничиванием.

Форма кривой тока, проходящего по испытуемой цепи во время лабораторных проверок, должна быть синусоидальной, т. е. такой, какой она будет в реальных условиях эксплуатации. Для этого в схемах проверки реле с использованием автотрансформатора или нагрузочного трансформатора последовательно с обмоткой реле должен быть включен дополнительный резистор R_d так, чтобы $R_d/x_2 = 5 \div 10$, где R_d , x_2 — суммарные активное и реактивное сопротивления испытуемой цепи (нагрузочного трансформатора или автотрансформатора, добавочного резистора и обмотки реле).

Форма кривой тока (напряжения) может быть проверена по показаниям осциллографа или прибором — анализатором гармоник.

Анализатор гармоник представляет собой электронный вольтметр, измеряющий падение напряжения на сопротивлении резистора R_d в испытуемой цепи, подключенный через фильтры, пропускающие ток основной, второй, третьей и других гармоник. Отношение показания вольтметра при включении его через фильтр n -й гармоники к показанию при включении через фильтр основной гармоники определит содержание тока n -й гармоники в контролируемом токе (напряжении). При первичном синусоидальном токе искажение формы кривой тока в испытуемой цепи может произойти за счет насыщения сердечника испытуемого реле (например, у реле типа РТ-80, реле с быстронасыщающимся трансформатором БНТ) и магнитопровода нагрузочного трансформатора.

Сопротивление цепей реле постоянному току (омическое сопротивление) измеряется при помощи четырехплечего моста. Полное сопротивление цепей реле переменному току измеряется при помощи амперметра и

вольтметра, включенных по схемам, приведенным на рис. 1-6.

Время действия реле определяется при помощи электрического секундомера, электронного миллисекундомера, а для быстродействующих реле осциллографом. Строится характеристика

$$t = f(P_{\text{факт}}/P_{\text{уст}}),$$

где $P_{\text{факт}}$ — фактическое значение параметра, обуславливающего действие реле (тока, напряжения); $P_{\text{уст}}$ — уставка срабатывания.

Безотказность работы и стабильность уставок проверяются повторением опыта 10—20 раз.

Определяется потребляемая мощность, В·А:

$$S = IU.$$

2-2. Испытания электромагнитных реле переменного тока и напряжения. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с конструкциями электромагнитных реле переменного тока и напряжения, выпускаемых отечественной промышленностью (типы реле: РТ-40 и РН-50); выяснение принципиальных отличительных признаков; определение основных параметров реле — тока (напряжения) срабатывания и возврата, коэффициента возврата, потребления мощности; определение времени действия реле.

Конструкция реле РТ-40 поясняется рис. 2-4. Электромагнит 1 (П-образный, с двумя катушками 2, соединяемыми последовательно или параллельно) притягивает ферромагнитный якорь 3. Последний при перемещении поворачивает контактный мостик 5, жестко связанный с осью. С этой же осью связана противодействующая пружина 4. Ее натяжение (закручивание) регулируется при помощи рычага 6. Замыкание цепи контактами 5 происходит при их соприкосновении с контактными пружинами. На рис. 2-5 пояснено выполнение крепления контактных пружин a и b к неподвижному держателю v .

При прохождении тока по обмотке реле магнитный поток, создаваемый этим током, намагничивает подвижный якорь. Возникающая при этом электромагнитная сила, действующая на якорь, будет обуславливать врашающий момент, поворачивающий подвижную систему

по часовой стрелке. Этому перемещению препятствует спиральная пружина, создающая противодействующий момент. Для надежного срабатывания реле необходимо, чтобы вращающий момент превосходил момент сопротивления пружины, трения и массы подвижной системы. Равенство моментов определяет граничное условие,

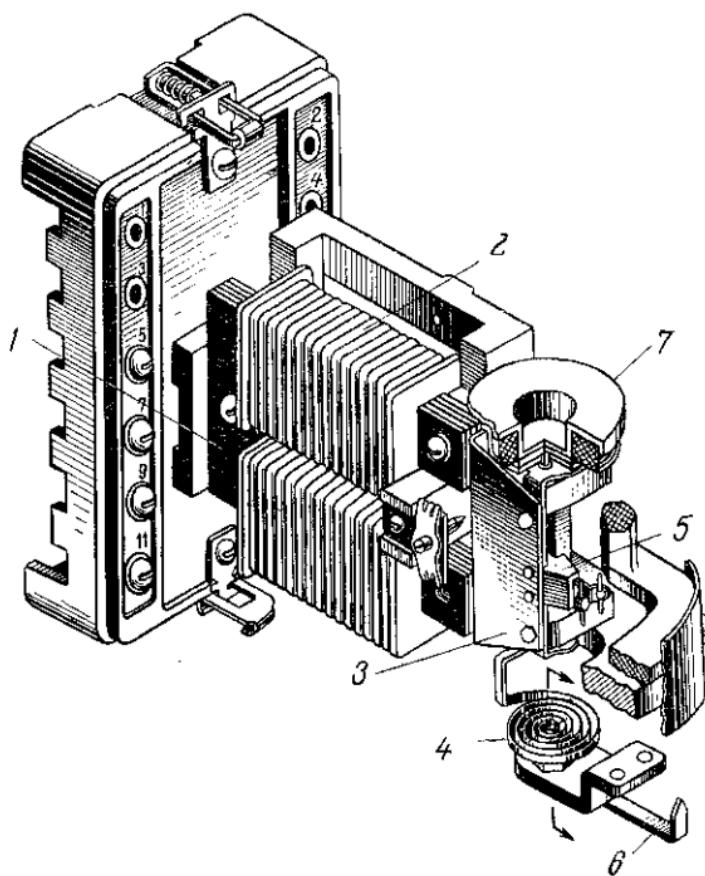


Рис. 2-4. Выполнение реле типов РТ-40 и РН-50.

т. е. условие срабатывания реле. Отсюда следует, что для реле подобного типа наиболее простым способом изменения тока срабатывания является изменение натяжения пружины. Если ослабить закручивание пружины 4 (рис. 2-4), т. е. сдвинуть указатель 6 влево по шкале, то ток срабатывания реле уменьшится. У реле типа РТ-40 при перемещении указателя от крайнего левого в крайнее правое положение ток срабатывания увеличивается в 2 раза.

Ток срабатывания реле РТ-40 можно также менять путем переключения обмоток катушек с последовательного соединения на параллельное — в последнем случае ток, проходящий по каждой из катушек, уменьшается

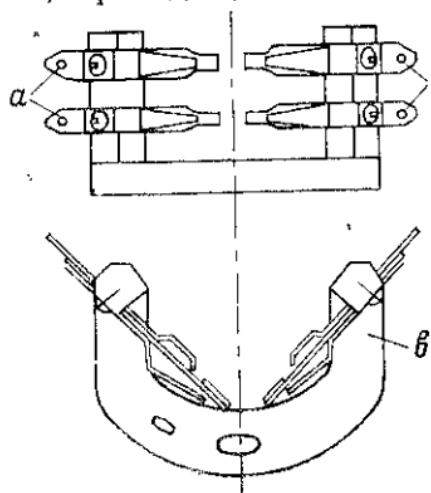


Рис. 2-5. Крепление неподвижных контактов у реле РТ-40 и РН-50.

в 2 раза и соответственно в 2 раза уменьшается намагничивающая сила. Выводы катушек имеют маркировку 2, 4, 6 и 8. Шкала реле программируется на заводе для последовательного соединения секций обмотки, поэтому при включении секций параллельно уставку срабатывания реле надо увеличивать в 2 раза. Для согласованного включения секций реле должно быть подключено к контролируемой цепи всегда крайними зажимами (зажимами 2 и 8). При последовательном соединении

секций накладкой соединяются средние зажимы 4—6; при параллельном соединении устанавливаются две накладки: одна между зажимами 2—4, другая — 6—8.

При прохождении по обмотке реле переменного тока

$$i_p = I_{p,\max} \sin \omega t \quad (2-6)$$

якорь реле притягивается с усилием

$$F = k^2 I_{p,\max}^2 \sin^2 \omega t, \quad (2-7)$$

где k — коэффициент пропорциональности; ω — угловая частота переменного тока.

Так как

$$\sin^2 \omega t = 0.5 (1 - \cos 2\omega t), \quad (2-8)$$

то

$$F = k^2 \left[\left(\frac{I_{p,\max}}{\sqrt{2}} \right)^2 (1 - \cos 2\omega t) \right]. \quad (2-9)$$

Следовательно,

$$F = k^2 I_p^2 - k^2 I_p^2 \cos 2\omega t. \quad (2-10)$$

Из этого выражения видно, что притяжение якоря обусловлено постоянным усилием

$$F_{\text{постоян}} = k^2 I_p^2 \quad (2-11)$$

и знакопеременным усилием

$$F_{\text{пер}} = k^2 I^2 p \cos 2\omega t. \quad (2-12)$$

Знакопеременное усилие с частотой, удвоенной по сравнению с частотой сети, вызывает вибрацию якоря и, связанной с ним контактной системы.

Для уменьшения вибрации контактов в конструкции реле РТ-40 предусмотрены совместный ход подвижного и неподвижного контактов и специальное устройство — гаситель вибраций 7 (рис. 2-4), представляющий собой барабанчик, закрепленный на общей оси с якорем. Кроме того, за счет инерционности гасителя вибрации достигается более равномерный врачающий момент (так же как при наличии тяжелого маховика на оси, вращаемой многотактным двигателем).

У реле напряжения типа РН-50 подобный гаситель вибраций отсутствует. Для снижения вибраций подвижной системы обмотка реле этого типа, состоящая из двух секций, соединенных последовательно, включается в контролируемую цепь напряжения посредством выпрямительного моста (рис. 2-6). Мост собран из полупроводниковых диодов и обеспечивает двухполупериодное выпрямление переменного тока. В этом случае через обмотку проходит пульсирующий ток, который можно разложить на переменную составляющую

$$i_{\text{пер}} \approx 0,5I_{\text{p. макс}} \sin 2\omega t \quad (2-13)$$

и постоянную составляющую

$$I_{\text{пост}} \approx 0,5I_{\text{p. макс}}. \quad (2-14)$$

Знакопеременное усилие, действующее на подвижную систему и обусловливающее вибрацию, в этом случае равно:

$$F_{\text{пер}} \approx 0,25k^2 I^2 p \cos 4\omega t \quad (2-15)$$

и оказывается значительно меньшим, чем для электромагнитных реле типа РТ-40.

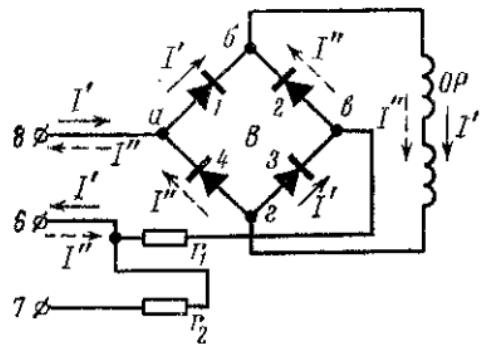


Рис. 2-6. Схема включения обмоток реле напряжения.

Для реле напряжения, подключенного к трансформатору напряжения по схеме двухполупериодного выпрямления, влияние знакопеременного усилия, вызванного переменной составляющей выпрямленного тока, оказывается в меньшей степени, чем для реле тока с малым числом витков, включенного на выпрямленный ток трансформаторов тока. Происходит это вследствие того, что обмотка многовиткового реле напряжения представляет для переменной составляющей большее сопротивление, чем для постоянной составляющей. Это обстоя-

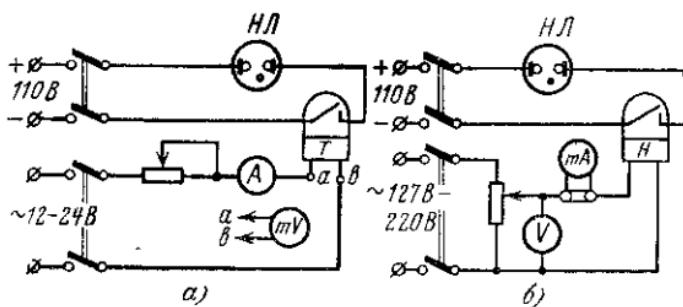


Рис. 2-7. Схемы испытания реле тока (а) и напряжения (б).

тельство обуславливает снижение амплитуды переменной составляющей и, следовательно, амплитуды знакопеременного усилия, меняющегося с частотой 4 фазети.

Для изменения предела регулирования напряжения срабатывания в схеме реле РН-50 предусмотрено два добавочных резистора. При подключении реле в цепь крайними выводами напряжение срабатывания увеличивается в 2 раза. Соответственно в 2 раза увеличивается уставка на шкале.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с устройством и электрической схемой исследуемого реле.

2. Составить эскиз реле и схему внутренних соединений с указанием маркировки выводов.

3. В соответствии со схемой испытания (рис. 2-7) и параметрами реле подобрать аппаратуру — измерительные приборы и регулирующие устройства для проверки реле на учебном лабораторном стенде; собрать испытательную схему.

4. Для каждого оцифрованного деления шкалы путем плавного увеличения тока или напряжения зафиксировать ток или напряжение срабатывания реле макси-

мального тока (напряжения); уменьшая величину тока или напряжения определить ток (напряжение) возврата. Результаты занести в табл. 2-1.

Таблица 2-1

$I_{уст}(U_{уст})$	$I_{ср}(U_{ср})$	$I_B(U_B)$	$k_{B1}(k_BU)$	Примечание

5. Повторить опыт, изменив пределы параметров срабатывания в 2 раза.

6. Убедиться с помощью неоновой лампы и промежуточного реле, включенных в исполнительную цепь контактов, в отсутствии искрения и вибрации контактов.

7. Для одной заданной уставки проверить работу реле тока при резком (толчкообразном) изменении тока. Для этого, установив в цепи ток, равный току срабатывания реле, отключить выключатель; затем наблюдать за работой реле при включении выключателя. Реле должно надежно сработать. Убедиться, что при уменьшении величины тока на 5% тока уставки реле не срабатывает.

8. Измерить мощность, потребляемую обмоткой реле при минимальной уставке. Измерение произвести с использованием амперметра и вольтметра: $S_{p.t} = UI_{уст.мин}$ и $S_{p.h} = IU_{уст.мин}$.

9. Измерить время действия реле тока при $I_p = 1,2I_{уст}$ и $I_p = 3I_{уст}$. Измерение произвести с использованием миллисекундомера (рис. 2-8,а). Измерить время возврата (время размыкания контактов) минимального реле напряжения при $U_p = 1,2U_{уст}$ (схему включения миллисекундомера выполнить по рис. 2-8,б).

10. Включить реле типа РТ-40 в цепь постоянного тока и проверить, как изменится значение тока срабатывания по сравнению с условием работы реле в цепи переменного тока. Объяснить полученный результат.

Указания по выполнению работы. 1. Проверку отсутствия вибраций и искрения контактов сделать один раз с использованием неоновой лампы, другой раз — с использованием промежуточного выходного реле при токах $I_p = I_{уст}$ и $I_p = 10I_{уст}$.

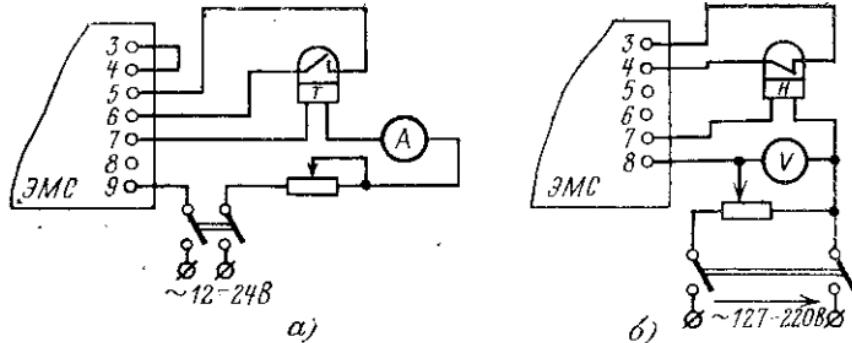


Рис. 2-8. Измерение времени действия реле максимального тока (а) и минимального напряжения (б).

2. Окончательные уставки срабатывания проверять при надетом кожухе реле, предварительную настройку уставок можно производить при снятом кожухе. Проверить, как влияет на изменение уставки срабатывания наличие или отсутствие кожуха на реле.

3. Заключение о пригодности реле в эксплуатации сделать после сравнения данных опыта по определению коэффициента возврата и времени действия с каталожными данными (при отсутствии вибрации и искрения контактов [12].)

Контрольные вопросы. 1. Почему у реле типа РТ-40 при параллельном соединении секций обмотки ток срабатывания увеличивается в 2 раза?

2. При переключении секций обмоток реле РТ-40 надо соблюдать определенную полярность включения обмоток. Будет ли работать реле при токе, равном току срабатывания, указанному на шкале, если секции соединены встречно-последовательно?

3. Причины появления вибрации контактов электромагнитных реле переменного тока. Способы уменьшения величины вибраций, примененных для реле РТ-40 и РН-50.

4. Объясните применение разных схем измерения при определении мощности, потребляемой обмотками реле типа РТ-40 и РН-50.

5. Можно ли применять реле типа РТ-40 и РН-50 для контроля цепей постоянного тока. Сохраняется ли при этом уставка реле, отрегулированная для цепи переменного тока?

6. Поясните, почему у реле типа РТ-40 электромагнит набран шихтованным железом с изоляцией пакетов относительно друг друга?

7. Почему для максимальных реле (тока, напряжения) коэффициент возврата меньше единицы, а для минимальных реле — больше единицы?

8. Объясните, почему с увеличением кратности тока в обмотке реле по отношению к току уставки у максимальных реле уменьшается время срабатывания?

9. Когда время срабатывания реле большее — при работе реле на размыкание или при работе на замыкание? Объясните причину.

10. Для регулирования напряжения срабатывания реле РН-50 используется включение добавочного резистора; каким образом можно еще изменить напряжение срабатывания этого реле?

2-3. Испытание электромагнитных реле времени, промежуточных и указательных. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с действием вспомогательных электромагнитных реле, применяемых в устройствах релейной защиты и автоматики в качестве отдельных аппаратов; проверка основных характеристик этих реле.

К таким реле отнесены: реле времени (реле для создания временной задержки исполнительного органа), промежуточные реле и указательные (сигнальные) реле.

Реле времени обеспечивают необходимое замедление в действии, требуемое логикой работы соответствующего устройства релейной защиты или автоматики.

Реле времени подразделяются:

по роду выполнения воспринимающей системы — на реле постоянного и переменного тока;

по роду регулировки механизма задержки — на реле с перегулируемой, плавно регулируемой и ступенчато регулируемой выдержкой времени;

по роду создания задержки — с электрическим, электромагнитным, жидкостным (например, масляным), механическим (в частности, при помощи часового механизма) устройством или комбинацией устройств, например реле с моторным приводом.

В качестве реле времени, включаемых в цепь переменного оперативного тока, можно использовать реле постоянного тока при условии выпрямления переменного напряжения. Спецификой выполнения конструкции реле времени переменного тока является выполнение механизма воспринимающей системы в виде периодомера (например, аналогично электрическому секундомеру) или с небольшим синхронным двигателем, подключаемым ко вторичной цепи трансформаторов тока (обычно через промежуточный насыщающийся трансформатор). В устройствах автоматики, содержащих так называемые программные реле, работа которых проходит при нормальном напряжении в сети (не в условиях понижения напряжения при к. з. и не при глубоком измене-

ний частоты), втягивающие катушки или синхронные двигатели подключаются к трансформаторам напряжения или переменному напряжению установок собственного расхода объектов.

Реле времени с часовым механизмом выпускаются отечественной промышленностью для питания от сети постоянного тока (один тип устройства) и от сети переменного тока (другой тип). Основной частью устройства является точный часовой механизм, изготавливаемый специальным часовым заводом. Изменение уставки времени срабатывания производится путем изменения расстояния между неподвижным и подвижным контактами, равномерное движение которого производит часовой механизм после срабатывания спускового устройства. Пределы регулировки времени у реле времени Чебоксарского электроаппаратного завода 0,1—1,3; 0,25—3,5; 0,5—9 и 2—20 с. На большие времена срабатывания промышленностью выпускаются моторные реле времени постоянного и переменного тока. Это многоступенчатые реле с регулировкой времени от 0 до 20 мин. Гарантируются «цена деления» 15 с и время возврата не более 1 с [12].

Малые времена замедления создаются за счет собственного времени действия электромагнитных реле и могут составлять у разных типов реле 0,01—0,06 с. Специальные реле с короткозамкнутой обмоткой или медной втулкой на магнитопроводе создают время на срабатывание до 0,12 с, а на отпускание до 1,2 с. Указанные значения времени достигаются вследствие размагничивающего действия токов в короткозамкнутой обмотке или медной втулке. У некоторых типов реле короткозамкнутая обмотка включается после замыкания контакта реле при его срабатывании.

Влияние на время притяжения или отпускания якоря короткозамкнутой обмотки или медного кольца на магнитопроводе можно пояснить следующим образом.

Для того чтобы якорь реле притянулся к сердечнику, усилие, создаваемое электромагнитом и обусловленное потоком Φ , должно быть равно или больше усилия противодействующих сил F_d :

$$\Phi^2 = \Phi_{cp}^2 \geq k_1 F_d, \quad (2-16)$$

где k_1 — коэффициент пропорциональности.

Для того чтобы якорь отошел от сердечника, надо, чтобы

$$\Phi^2 = \Phi_{\text{в}}^2 \leq k_2 F, \quad (2-17)$$

где k_2 — коэффициент пропорциональности.

В момент включения обмотки реле под постоянное напряжение ток, проходящий по обмотке реле, и, следовательно, поток Φ_1 в сердечнике, обусловленный этим током, изменяется от нуля до некоторого конечного зна-

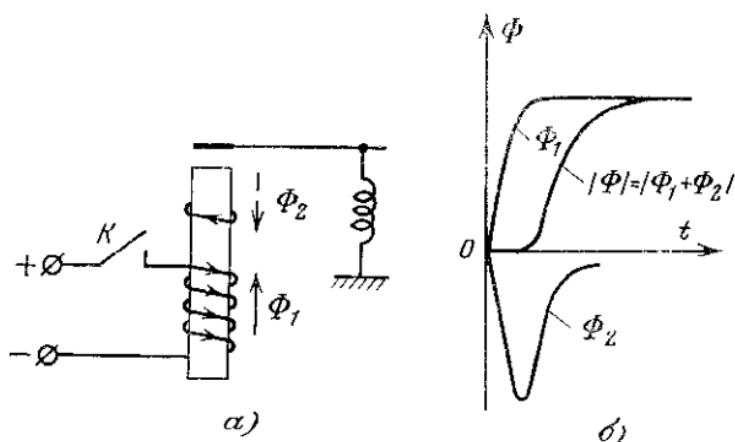


Рис. 2-9. Влияние короткозамкнутого витка на неподвижном сердечнике на время притяжения якоря при включении обмотки реле.

а — схема; б — изменение магнитных потоков; K — контакт пускового реле.

чения $\Phi_{\text{макс}}$ (рис. 2-9, а, б). Изменение происходит не сразу, а по экспоненциальному закону. В короткозамкнутой обмотке или медном кольце при изменяющемся потоке Φ_1 индуцируется ток, направленный противоположно току в обмотке,

$$i_2 = e_2 = -\frac{d\Phi_1}{dt} = \frac{di_1}{dt}. \quad (2-18)$$

Ток i_2 тем больше, чем резче изменение тока i_1 во времени и чем меньше сопротивление короткозамкнутой обмотки $Z_{\text{к.з.обм}}$:

$$i_2 = e_2 / Z_{\text{к.з.обм}}. \quad (2-19)$$

После прекращения переходного процесса ток i_2 становится равным нулю.

Ток i_2 возбуждает поток Φ_2 . Его направление в соответствии с правилом Ленца противоположно направ-

лению основного потока Φ_1 . Поток Φ_2 размагничивает сердечник. Суммарный поток

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2, \quad (2-20)$$

определяющий силу притяжения, под воздействием потока Φ_2 уменьшается, а время, в течение которого поток Φ достигает установившегося значения, увеличивается, что и обуславливает замедление притяжения якоря реле.

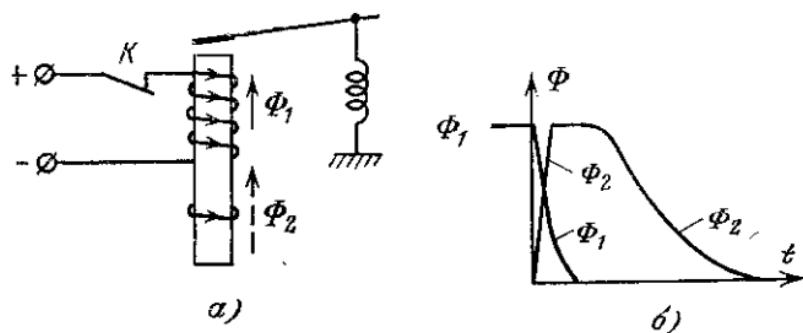


Рис. 2-10. Влияние короткозамкнутого витка на время отпадания якоря при отключении обмотки реле.

a — схема; *б* — изменение магнитных потоков; *K* — контакт пускового реле.

Замедление отпадания якоря при обесточении реле достигается при наличии короткозамкнутой обмотки за счет того, что при отключении источника тока резко уменьшается магнитный поток Φ_1 (рис. 2-10,*a, б*). Вследствие этого в короткозамкнутой обмотке возникает ток, обусловливающий возникновение потока Φ_2 . Направление тока i_2 и потока Φ_2 совпадает с направлением тока и потока в режиме, предшествующем моменту отключения обмотки реле от источника постоянного тока. Поток Φ_2 подмагничивает сердечник и затухает во времени.

Суммарный магнитный поток $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ поддерживается некоторое время на уровне, близком к начально-му значению до момента отключения контакта *K*, что и обуславливает задержку отпадания якоря.

Наличие короткозамкнутой обмотки на магнитопроводе создает замедление как при включении, так и при отключении тока. Эти времена, однако, разные, так как величины магнитных потоков, пронизывающих якорь и

сердечник реле, зависят от расстояния между ними и различны для включенного и отключенного реле.

В реле типа РПВ-58 устройства автоматического повторного включения время готовности устройства к действию регулируется при помощи конденсаторного реле времени.

В схемах с конденсаторным реле времени срабатывание выходного реле при замыкании контакта K (рис. 2-11) возможно только в том случае, если в емкости C накоплен заряд, энергии которого достаточно для того, чтобы выходное реле хотя бы кратковременно замкнуло свой контакт (после этого выходное реле самоудерживается).

Напряжение на конденсаторе, после того как он разрядился и вновь был включен под напряжение, возрастает не сразу и достигает значения $U_C = k_3 U_{cp}$ через некоторое время t , где U_{cp} — напряжение срабатывания выходного реле (для устройства по схеме рис. 2-11 U_{cp} определяется напряжением зажигания стабилизатора); k_3 — коэффициент запаса, учитывающий, что разряд конденсатора на обмотку реле после замыкания контакта K происходит по экспоненциальному закону, а реле обладает некоторым временем действия ($k_3 = 2,5 \div 3,5$ и определяется опытным путем для конкретных типов реле).

Конденсатор заряжается по закону

$$U_C = U_{bat} (1 - e^{-t/RC}), \quad (2-21)$$

где R — активное сопротивление зарядного контура; U_{bat} — напряжение батареи постоянного тока.

Время заряда, спустя которое напряжение на конденсаторе достигает значения, при котором выходное реле может сработать, равно:

$$t_{sap} = RC \ln U_{bat} / (U_{bat} - k_3 U_{cp}). \quad (2-22)$$

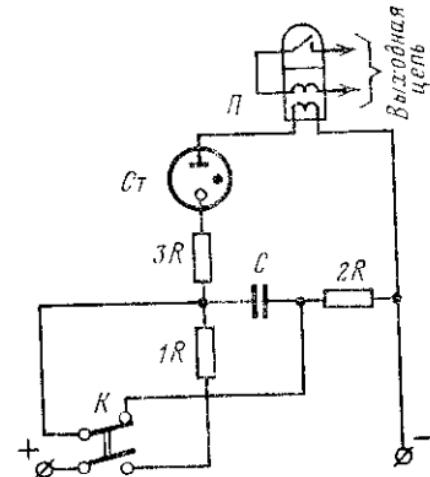


Рис. 2-11. Вариант схемы конденсаторного реле времени.

K — контакты пускового органа; $1R \div 3R$ — резисторы; C — конденсатор; Ct — стабилитрон; P — двухобмоточное реле мгновенного действия.

Для обеспечения термической стойкости реле, длительно находящегося под напряжением, используется схема включения, приведенная на рис. 2-12.

Последовательно с обмоткой реле включен добавочный резистор, нормально закороченный мгновенным контактом реле времени, размыкающимся после того, как

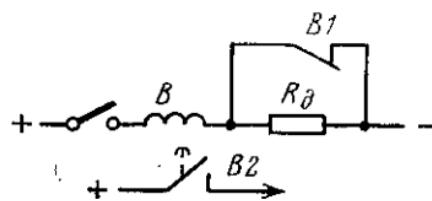


Рис. 2-12. Включение добавочного резистора R_d для обеспечения термической стойкости реле времени.

подвижной якорь реле втянулся. Коэффициент возврата реле времени $k_v = 0,3$. Сопротивление обмотки реле времени R_p подлежит измерению.

Значение сопротивления добавочного резистора R_d определяется из условия, чтобы после его включения якорь реле оставался втянутым.

До того, как реле времени разомкнет свой мгновенный контакт, по его обмотке проходит ток

$$I_p = U_{\text{ном}} / R_p, \quad (2-23)$$

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное значение напряжения.

После того как мгновенный контакт разомкнется, значение тока уменьшится и станет равным

$$I'_p = \frac{U_{\text{ном}}}{R_p + R_d}. \quad (2-24)$$

Этот ток может быть снижен до тока возврата

$$I_v = k_v k_3 I_p, \quad (2-25)$$

где k_3 — коэффициент запаса ($k_3 = 1,2$).

Таким образом,

$$\frac{U_{\text{ном}}}{R_p + R_d} = 0,3 \cdot 1,2 U_{\text{ном}} / R_p, \quad (2-26)$$

откуда

$$\frac{1}{R_p + R_d} = \frac{0,36}{R_p}, \quad (2-27)$$

или $R_d = 0,36(R_p + R_d)$;

$$0,64R_p = 0,36R_d, \quad (2-28)$$

т. е. $R_d = 1,8R_p$.

После включения добавочного резистора ток, проходящий через обмотку реле, уменьшается и станет равным

$$I'_p = \frac{1}{2.8} I_p \approx 0.36 I_p.$$

Если время, в течение которого при токе I_p реле могло быть включено по условию термической стойкости, составляло 2 мин, то при токе, уменьшенном в 2,8 раза, это время составит: $t'_{\text{доп}} = (2,8)^2 t_{\text{доп}} \approx 15$ мин.

Промежуточное реле используют для:

увеличения числа цепей, управляемых одним контактом пускового реле;

электрического разделения или объединения различных цепей;

переключений в целях переменного или постоянного тока (напряжения) в соответствии с программой работы устройства;

коммутации больших токов в целях при недостаточной мощности контакта исполнительных органов устройств защиты (автоматики).

Чтобы обеспечить надежное воздействие контакта промежуточного реле на управляемый механизм при кратковременном срабатывании пускового органа защиты (автоматики), часто промежуточное реле выполняют с так называемой удерживающей обмоткой.

На рис. 2-13 приведена схема, поясняющая работу промежуточного реле, имеющего две обмотки: параллельную и последовательную — удерживающую. При кратковременном замыкании контакта P_1 промежуточное реле $РП$ срабатывает. Замыкается цепь управляемого аппарата, например катушки электромагнита отключения выключателя (при включенном выключателе его блок-контакт $БК$ замкнут). Исчезновение тока в параллельной обмотке, которое произойдет после размыкания контакта P_1 , не приведет к размыканию контактов реле $РП$ до тех пор, пока не будет отключен выключатель и пока не разомкнутся блок-контакты $БК$.

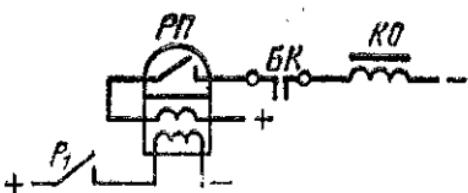


Рис. 2-13. Включение последовательной удерживающей обмотки промежуточного реле.

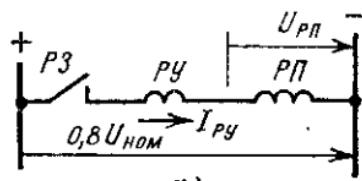
Замкнутое состояние контакта реле $РП$ обусловлено наличием тока в последовательной обмотке.

При использовании промежуточных реле для переключения цепей переменного тока трансформаторов тока контакты реле выполняют так, чтобы такое переключение производилось без разрыва цепи.

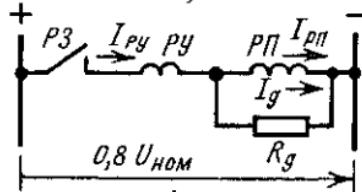
В процессе эксплуатации возможны случаи снижения уровня оперативного напряжения. Поэтому все типы промежуточных реле, имеющих параллельную обмотку, должны четко срабатывать при напряжении, равном 70% номинального.

Указательные (сигнальные) реле выполняются двух типов — с параллельным или последовательным включением обмотки воспринимающей системы реле в контролируемую цепь оперативного тока.

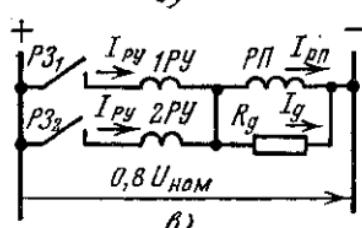
Указательное реле с параллельным включением обмотки по схеме присоединения к оперативному напряжению не отличается от схемы включения



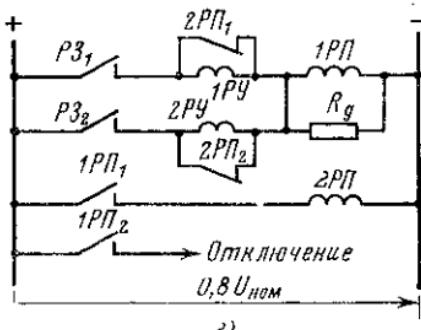
a)



б)



в)



г)

Рис. 2-14. Схемы включения указательных реле.

а — при последовательном включении обмотки указательного реле $P_{РУ}$; *б* — при подключении добавочного резистора параллельно обмотке исполнительного реле; *в* — распределение токов по элементам выходной цепи при одновременном действии двух защит; *г* — с дешиентированной обмоткой $P_{РУ}$ после срабатывания исполнительного реле.

промежуточного реле с параллельной обмоткой. Указательное реле с последовательным включением обмотки воспринимающей системы (рис. 2-14) накладывает ряд требований на построение схемы присоединения и выбор параметров электрической цепи. Исходными для выбора указательных реле такого типа являются следующие положения.

Для надежного срабатывания указательного реле ток в его последовательной обмотке должен превышать значение тока срабатывания, т. е.

$$I_{p.y} = k_{n.p} I_{sp.p.y}, \quad (2-29)$$

где k_n — коэффициент надежности ($k_n \approx 1,2$).

Надение напряжения на обмотке указательного реле, включенной последовательно с обмоткой промежуточного реле, действие которого контролируется, не должно превышать 10% при снижении общего напряжения оперативного тока до 0,8 номинального.

Выбор обмоточных данных последовательной обмотки указательного реле и схемы ее включения производится так. Зная сопротивление обмотки промежуточного реле, последовательно с которой намечается включение последовательной обмотки указательного реле, определяется ток, проходящий по цепи без учета сопротивления обмотки указательного реле. С учетом возможности снижения напряжения до 80% номинального в цепи постоянного оперативного тока

$$I_{p.y} = 0,8U_{nom}/R_{p.n}, \quad (2-30)$$

здесь $R_{p.n}$ — сопротивление обмотки промежуточного реле, определенное по данным каталога или измеренное опытным путем.

При выводе формулы (2-30) принимается, что на включение промежуточного реле действует одна цепь (одна защита).

Введем коэффициент надежности $k=1,2$ и определим расчетное значение тока срабатывания указательного реле

$$I_{sp.p.y} = I_{p.y}/1,2. \quad (2-31)$$

По полученному значению тока срабатывания выбирается тип указательного реле и соответственно определяется сопротивление его обмотки. Далее вычисляется напряжение на промежуточном реле

$$U_{p.n} = \frac{0,8U_{nom}}{R_{p.y} + R_{p.n}} R_{p.n}, \quad (2-32)$$

где $R_{p.n}$ — сопротивление обмотки промежуточного реле.

Если полученное значение окажется больше или равно напряжению, при котором промежуточное реле четко срабатывает, т. е. если

$$U_{p.n} \geq 0,7U_{nom.p.n}, \quad (2-33)$$

то выбранное указательное реле может быть включено в схему. Если условие (2-33) не соблюдается, т. е. $U_{\text{р.п}} < 0,7U_{\text{ном.р.п.}}$, то следует применить другой тип указательного реле с меньшим сопротивлением обмотки. Ток срабатывания указательного реле при этом окажется большим. Для увеличения тока, проходящего через обмотку указательного реле, параллельно обмотке промежуточного реле включают добавочный резистор (рис. 2-14,б). Для определения сопротивления добавочного резистора R_d поступают следующим образом.

Ток, который должен проходить по цепи указательного реле,

$$I_{\text{р.у}} = 1,2I_{\text{ср.р.у.}} \quad (2-34)$$

Ток, проходящий по обмотке промежуточного реле, создающий н. с. для надежного срабатывания этого реле,

$$I_{\text{р.п.}} = 0,7U_{\text{ном}}/R_{\text{р.п.}} \quad (2-35)$$

Ток, проходящий по добавочному резистору,

$$I_d = I_{\text{р.у}} - I_{\text{р.п.}} \quad (2-36)$$

Значение сопротивления добавочного резистора

$$R_d = 0,7U_{\text{ном}}/I_d \quad (2-37)$$

Если возможно одновременное срабатывание нескольких защит (например, двух), предварительно следует задаться типом указательного реле, рассчитанного на ток (рис. 2-14,в)

$$I_{\text{р.у}} = 0,8U_{\text{ном}}/nR_{\text{р.п.}}, \quad (2-38)$$

где n — количество одновременно срабатывающих защит (например, 2).

Ток срабатывания указательного реле должен быть равен $I_{\text{ср.р.у.}} = I_{\text{р.у.}}/1,2$.

Затем в предположении действия только одной защиты проверяется падение напряжения на обмотке промежуточного реле; в этом случае падение напряжения на обмотке промежуточного реле наименьшее. Как правило, при учете возможности одновременного срабатывания нескольких защит для обеспечения действия указательных реле требуется увеличить ток, проходящий по обмоткам этих реле. Для этого параллельно обмотке

промежуточного реле включается добавочный резистор R_d (рис. 2-14,в); расчетное выражение имеет вид:

$$U_{p.p} = \frac{0,8U_{nom}}{R_{p.y} + R_{\Sigma}} R_{\Sigma} > 0,7U_{nom.p.p}, \quad (2-39)$$

где

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_{p.p}} + \frac{1}{R_d}. \quad (2-40)$$

Ток в цели каждой обмотки указательного реле при одновременном срабатывании n защит должен быть:

$$I_{p.y} = \frac{0,8U_{nom}}{n \left(\frac{R_{p.y}}{n} + R_{\Sigma} \right)} > 1,2I_{sp.p.y}. \quad (2-41)$$

Для увеличения четкости действия указательных реле в некоторых случаях применяют схему, принцип работы которой пояснен на рис. 2-14,г. Нормально обмотка указательного реле в цепи каждой из защит закорочена контактами выходного промежуточного реле 2РП. При действии защиты (одной или нескольких) обмотка промежуточного реле 1РП оказывается включенной под напряжение $U \geq 0,8U_{nom}$. Реле 1РП надежно срабатывает. Одновременно с подачей отключающей команды контакты 2РП-1, 2РП-2 размыкают цепи, шунтирующие обмотки сигнальных реле. При этом напряжение на выводах обмотки промежуточного реле 1РП уменьшается, но реле продолжает оставаться в сработавшем положении, так как для промежуточных реле обычного выполнения $k_b = 0,3 \div 0,5$.

Расчет указательных реле по схеме, приведенной на рис. 2-14,г, может быть, следовательно, произведен по приведенным ранее выражениям (2-38) — (2-41), но вместо напряжения срабатывания выходного промежуточного реле $U_{nom.p.p}$ должно быть подставлено напряжение возврата

$$U_{v.p.p} = k_b U_{nom.p.p}. \quad (2-42)$$

Задание на работу. 1. Ознакомиться с конструкциями реле времени, подлежащих испытаниям. Списать паспортные данные каждого реле. Составить схемы внутренних соединений. Выяснить разницу между отдельными типами испытуемых реле, а также между реле,

предназначенными для использования в цепях постоянного (серия ЭВ-100) и переменного тока (серия ЭВ-200).

2. Собрать схему для проверки электрических характеристик испытуемого реле времени (рис. 2-15).

3. Определить напряжение срабатывания реле, т. е. минимальное напряжение, при котором якорь реле сразу втягивается до упора (напряжение срабатывания определяется при подаче на обмотку реле напряжения толчком).

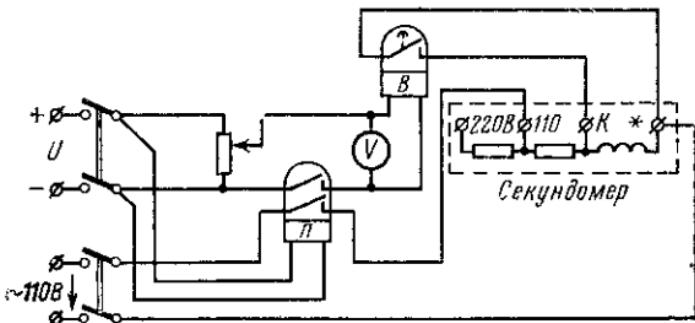


Рис. 2-15. Проверка реле времени, работающего на постоянном токе.

4. Подведя к обмотке реле времени напряжение, равное номинальному, произвести 10 раз измерение времени действия:

для одной заданной уставки;

для минимальной по шкале;

для максимальной по шкале.

Полученные результаты измерений занести в табл. 2-2.

Таблица 2-2

Измерение времени действия реле времени
типа _____ зав. № _____.

К реле подведено номинальное напряжение В

Уставка по шкале, с	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная										
Минимальная										
Заданная										

Максимальный разброс . . . с.

5. Определить и занести в таблицу данные максимального разброса уставок.

6. При наличии у реле времени проскальзывающего контакта определить длительность его замыкания (рис. 2-16).

7. Определить мощность, потребляемую реле времени при номинальном напряжении (при проведении опыта включить в цепь обмотки реле миллиамперметр).

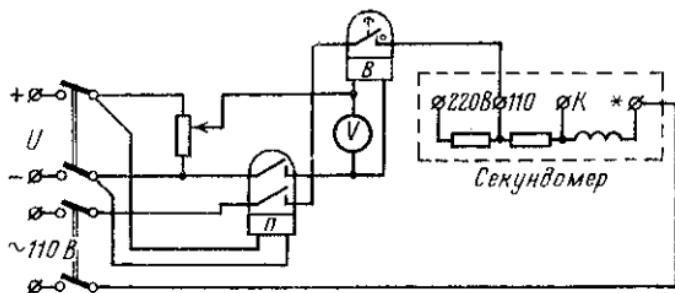


Рис. 2-16. Измерение длительности замыкания проскальзывающего контакта реле времени.

8. Составить заключение о пригодности испытуемого реле для эксплуатации.

9. Ознакомиться с конструкциями различных типов промежуточных реле постоянного и переменного тока (по указанию преподавателя). Вычертить принципиальные схемы каждого реле (реле с последовательными и параллельными обмотками, реле с удерживающими обмотками, реле с замедлением при срабатывании, реле с замедлением при возврате). Зафиксировать паспортные данные.

10. Собрать схему для проверки электрических характеристик испытуемых реле (рис. 2-17).

11. Определить напряжение (ток) срабатывания и возврата.

12. Проверить однополярные выводы обмоток реле с несколькими обмотками. Для этого после определения напряжения и тока срабатывания каждой обмотки в отдельности к одной из обмоток подается ток или напряжение, близкое к тому (напряжению) срабатывания, и в этом режиме определяется ток или напряжение срабатывания второй обмотки. Если новые значения будут

меньше полученных ранее, то однополярными окажутся выводы обмоток, соединенные с одноименными полюсами источника питания. Однополярные выводы маркируются звездочкой (*).

13. Определить время действия промежуточных реле различных типов при срабатывании и возврате (см. рис. 1-12). Результаты измерений записать в табл. 2-3.

Таблица 2-3

Тип промежуточного реле	Время, с			
	при срабатывании	при возврате		
	максимальное из 10 опытов	минимальное из 10 опытов	максимальное из 10 опытов	минимальное из 10 опытов

14. Выполнить расчет и выбрать тип указательных реле по заданным параметрам промежуточного реле:
для случая работы только одной защиты;
для случая одновременной работы двух защит.

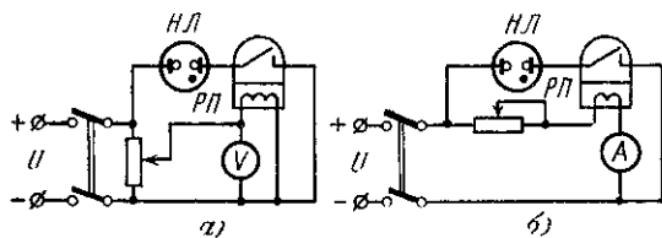


Рис. 2-17. Проверка параметров срабатывания промежуточных реле.

a — с параллельной обмоткой; *b* — с последовательной.

15. Собрать схему, приведенную на рис. 2-18,*a* или *b*. Установить постоянное оперативное напряжение, равное 80% номинального, и убедиться в правильности работы всех реле.

Указания по выполнению работы. 1. Вывод о пригодности установки реле в эксплуатационные условия следует сделать после сравнения полученных результатов

измерений с соответствующими значениями, гарантированными заводом-изготовителем и указываемыми в каталогах [12].

2. Для определения времени действия промежуточных реле в диапазоне 0,02—0,2 с следует использовать

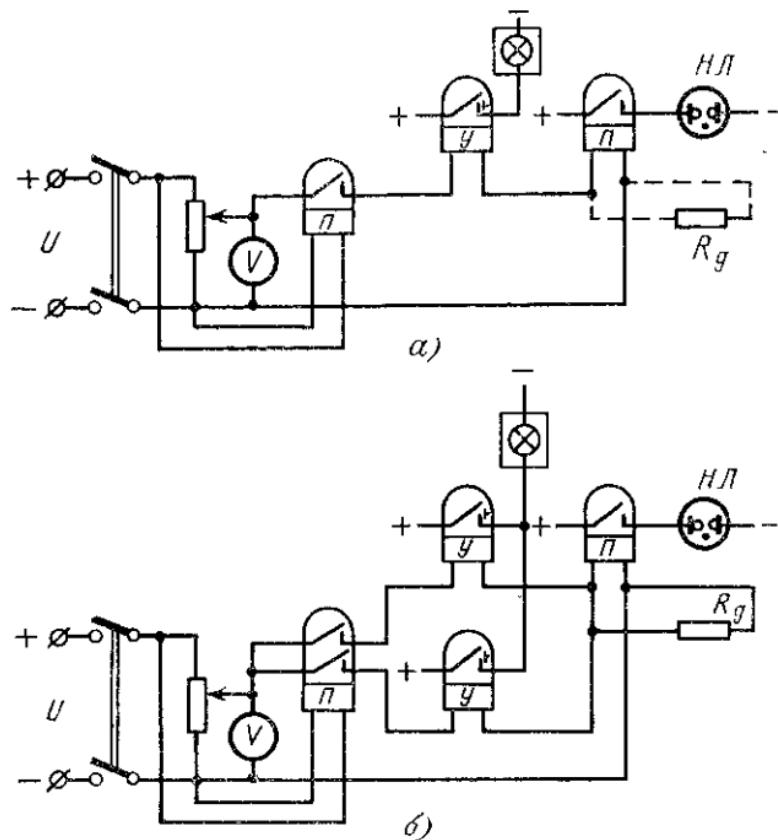


Рис. 2-18. Проверка работы указательных реле.
а — при действии одной защиты; б — при одновременном действии двух защит.

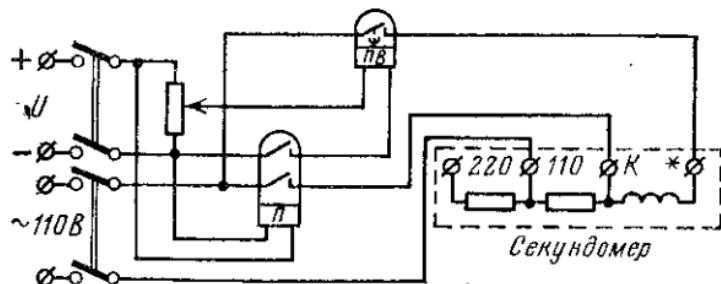


Рис. 2-19. Измерение с помощью электрического секундометра времени замедления контактной системы при обесточении обмоток промежуточного реле.

электронный миллисекундомер (рис. 1-12). Для определения времени действия реле, превышающего 0,2 с, применить электросекундомер (см. рис. 2-15, 2-19).

3. Для выполнения п. 14 задания должны быть предварительно установлены тип промежуточного реле, его схема включения, количество одновременно действующих защит и номинальное напряжение оперативного постоянного тока.

4. Имитацию одновременности срабатывания двух защит возможно достичнуть при установке в схеме на рис. 2-18,б промежуточного реле с двумя замыкающими контактами.

Контрольные вопросы. 1. Какие типы электромагнитных реле могут быть отнесены к категории вспомогательных реле. Каково назначение таких реле?

2. Конструктивное отличие в выполнении промежуточных реле постоянного и переменного тока.

3. Можно ли промежуточное реле электромагнитного типа, предназначенное для работы в сети 110 В постоянного тока, включить в цепь 110 В переменного тока и обеспечить четкую работу реле? Можно ли электромагнитное промежуточное реле, предназначенное для работы в сети 110 В переменного тока, использовать для установки в сети 110 В постоянного тока?

4. Объясните работу электросекундомера при определении времени действия промежуточных реле на замыкание и размыкание цепи.

5. Обоснуйте необходимость работы вспомогательных реле при снижении напряжения оперативного тока. При каком уровне снижения напряжения должна быть обеспечена четкая работа вспомогательных реле?

6. Назначение удерживающих обмоток у промежуточных реле.

7. Назначение маркировки однополярных выводов многообмоточных промежуточных реле.

8. Можно ли указательные реле постоянного тока применить для сигнализации срабатывания контактов реле в цепи переменного тока?

9. Имеется промежуточное электромагнитное реле, рассчитанное на напряжение постоянного тока 110 В. Требуется использовать это реле в сети постоянного тока 220 В. Как этого можно достигнуть?

10. Назначение добавочного резистора, предусмотренного в реле времени типа ЭВ-113, ЭВ-123, ЭВ-133, ЭВ-143.

11. Объясните причину разброса времени действия реле времени при его неизменной уставке.

12. Зависит ли погрешность реле времени электромагнитного типа с часовым механизмом от значения уставки на реле? Зависит ли погрешность этого реле от максимального значения уставки на шкале реле?

13. На реле времени типа ЭВ-100 требуется установить время действия 1 с при минимально возможном разбросе. Какое реле более целесообразно использовать для этой цели: со шкалой 0,1—1,3 с или со шкалой 0,5—9 с?

2-4. Испытание индукционных реле тока. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с конструкцией и способами регулирования характеристик срабатывания индукционного реле тока типа РТ-80 Чебоксарского электроаппаратного завода.

Реле типа РТ-80 (рис. 2-20) по принципу действия является комбинированным реле, состоящим из двух элементов: одного индукционного с вращающимся диском, другого электромагнитного клапанного типа. Такое исполнение дает возможность работать с двумя временными характеристиками: ограниченно зависимой характеристикой времени действия и с независимой (в качестве мгновенной отсечки).

Основными органами являются электромагнит 1 с расположенной на нем обмоткой 19, постоянный тормозной магнит 6 и диск 3, расположенный между полюсами электромагнита, на которых имеются короткозамкнутые витки (медные кольца) 2.

При прохождении тока по обмотке реле в зазоре между полюсами создаются магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , сдвинутые в пространстве на некоторый угол ψ . Эти потоки пронизывают диск и создают вращающий момент:

$$M_{\text{вр}} = k' \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi. \quad (2-43)$$

Так как потоки Φ_1 и Φ_2 пропорциональны току, проходящему через обмотку реле, а угол ψ постоянен, то

$$M_{\text{вр}} = kI^2, \quad (2-44)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

При значительном увеличении тока происходит насыщение магнитопровода и прямая пропорциональность между потоками и током в обмотке нарушается; при дальнейшем увеличении тока поток перестает увеличиваться. Вследствие этого вращающий момент, а значит, и частота вращения диска перестают возрастать и характеристика зависимости времени действия реле от тока $t=f(I)$ приобретает ограниченно зависимый характер (рис. 2-21).

При вращении диска в поле постоянного магнита в теле диска возникают вихревые токи, которые, взаимодействуя с полем постоянного магнита, создают дополнительную силу, действующую на диск.

При определенной частоте вращения, т. е. при определенном значении тока в обмотке, образуется результирующая F' двух сил F_3 и F_m (рис. 2-20,б), которая обуславливает врачающий момент, достаточный для поворота рамки 4, и зацепление зубчатого сегмента 8 с червяком 7, находящимся на оси с диском.

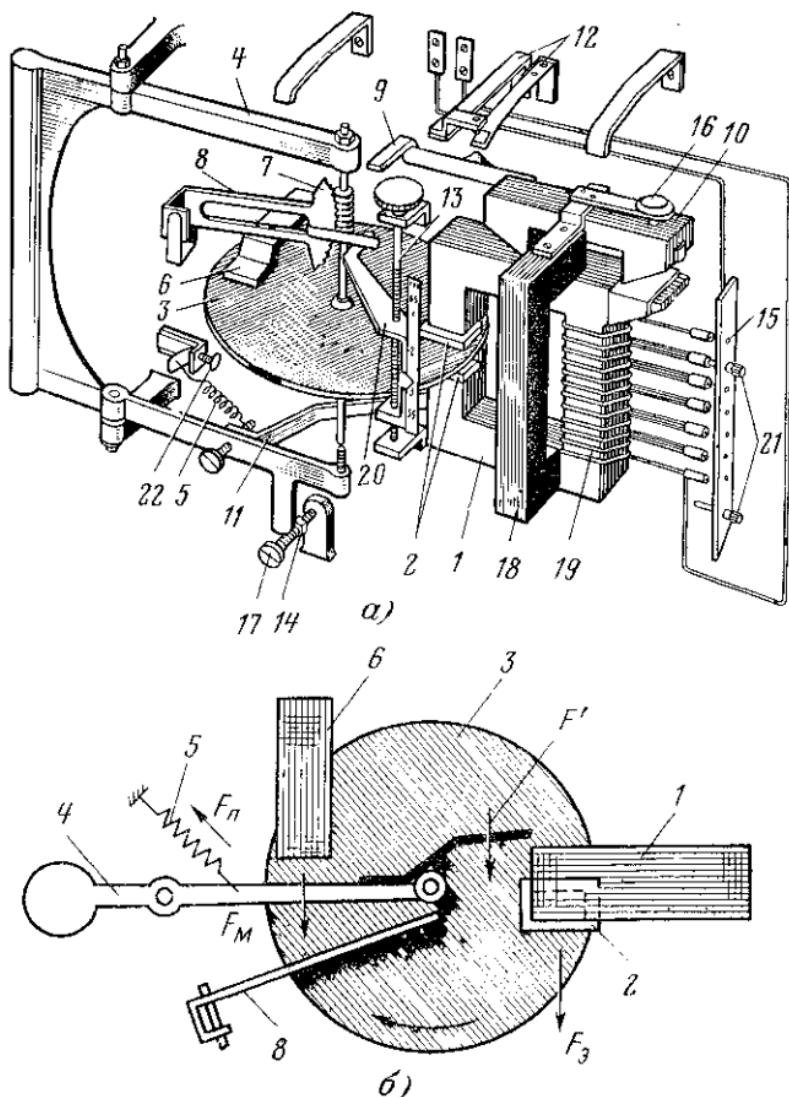


Рис. 2-20. Реле тока серии РТ-80.

а — конструкция; **б** — силы, действующие на подвижную систему; 1 — электромагнит; 2 — короткозамкнутые витки; 3 — алюминиевый диск; 4 — подвижная рамка; 5 — пружина; 6 — постоянный магнит; 7 — червяк; 8 — подвижной сегмент; 9 — коромысло; 10 — якорь отсечки; 11 — скоба; 12 — контакты; 13 — регулировочный винт; 14 — регулировочная гайка; 15 — контактная колодка; 16 — регулировочный винт отсечки; 17 — упорный винт; 18 — магнитопровод электромагнитного элемента; 19 — обмотка реле; 20 — движок; 21 — контактные винты; 22 — регулировочный винт пружины.

Регулировка тока срабатывания реле, т. е. тока, при котором происходит упомянутое сцепление, производится путем изменения числа витков обмотки электромагнита, имеющей отпайки, выведенные на контактную колодку 15. Для увеличения тока срабатывания следует уменьшить число витков. Нужное значение устанавливается с помощью контактных винтов 21.

Время срабатывания реле зависит как от частоты вращения диска (а значит, и от тока), так и от хода (расстояния) подвижного сегмента от начального положения до контактного мостика 9—12. Первоначальное положение сегмента устанавливается регулировочным винтом 13 и движком 20.

Цифры на вертикальной шкале против движка указывают время действия реле в независимой части характеристики (при токе, равном десятикратному значению тока уставки).

Работа реле РТ-80 в качестве мгновенно действующей отсечки с независимой от тока выдержкой времени обеспечивается электромагнитным элементом. Неподвижным сердечником является магнитопровод индукционного элемента реле. Изменение тока срабатывания отсечки производится регулировочным винтом 16, изменяющим длину воздушного зазора между полюсным наконечником подвижного якоря 10 и полюсом неподвижного электромагнита. Цифры на винте указывают кратность тока срабатывания отсечки к току уставки срабатывания реле в начале зависимой части характеристики.

По сравнению с мощностью, потребляемой электромагнитным реле типа РТ-40, мощность обмоток индукционного реле типа РТ-80 и сопротивление обмоток имеют значительно большие значения. Если обмотка реле РТ-80 подключена к маломощному источнику тока, происходит искажение формы кривой тока настолько, что может произойти неправильное действие токовой отсечки. По этим причинам регулировка тока срабатывания

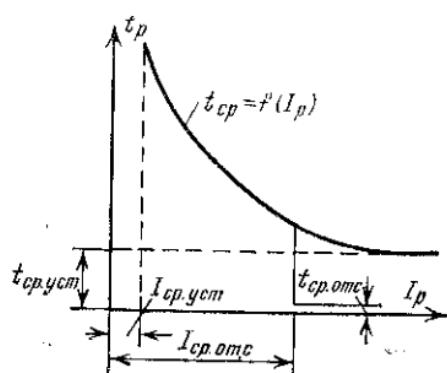


Рис. 2-21. Характеристики индукционного реле.

электромагнитного элемента реле РТ-80 во время наладочных испытаний должна производиться при питании реле от мощного источника тока синусоидальной формы.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с конструкцией индукционного реле тока типа РТ-80. Списать паспортные данные. Начертить внутреннюю схему.

2. На учебном лабораторном стенде собрать схему для снятия электрических характеристик реле (рис. 2-22).

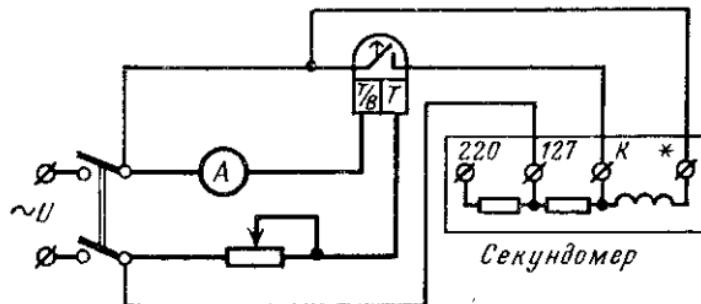


Рис. 2-22. Испытание реле тока типа РТ-80.

3. Для каждого значения уставки на шкале токов срабатывания $I_{уст}$ определить действительный ток срабатывания $I_{ср}$, ток возврата I_v и коэффициент возврата k_v . Данные занести в табл. 2-4.

Таблица 24

Измеряемая величина	Номера опытов		
	1	2	3
$I_{уст}$			
$I_{ср}$			
I_v			
k_v			

4. Установить на реле заданные преподавателем значения тока срабатывания и выдержки времени в независимой части характеристики. Вывести отсечку из работы путем поворота до отказа регулировочного винта, при котором будет наибольший подъем подвижной части

электромагнитного элемента по отношению к неподвижной части электромагнита.

5. При заданных уставках срабатывания и выведенной отсечке снять характеристику реле $t_{\text{ср}} = f(I_p/I_{\text{ср}})$. Результаты измерений занести в табл. 2-5.

Таблица 2-5

**Характеристика индукционного реле РТ-80 при уставке тока срабатывания ... А и времени срабатывания ... с
(уставки по шкале реле)**

Измеряемая величина	Номера опытов				
	1	2	3	4	5
Ток, проходящий по обмоткам реле I_p , А					
Кратность тока по отношению к заданному току срабатывания $k_p = I_p/I_{\text{ср}} (k_p = 1 \div 10)$					
Время срабатывания $t_{\text{ср}}$, с					

6. По полученным результатам построить характеристику и сравнить ее с заводской.

7. При двукратном значении тока в реле по отношению к току уставки ($k_p=2$) произвести 5 раз измерение времени и определить разброс времени срабатывания.

8. Установить кратность токовой отсечки, равную 4. Снять характеристику $t_{\text{ср}} = f(I_p/I_{\text{ср}})$ при введенной отсечке. Построить характеристику. Сравнить с характеристикой п. 5.

9. По указанию преподавателя снять характеристику реле при других заданных значениях уставок.

10. Определить мощность, потребляемую реле при токе, проходящем по обмотке, равном току уставки.

11. Сравнить полученные результаты опытов с данными, указанными в каталоге; сделать заключение о пригодности реле для эксплуатации.

Указания к проведению работы. 1. Все испытания должны производиться при синусоидальном токе в обмотке реле (по одной из схем рис. 2-23).

2. В течение времени, пока производится регулировка тока, проходящего в цепи обмотки реле, эту обмотку следует закорачивать для того, чтобы она не находилась длительно под большим током.

3. Изменение уставок реле путем переключения установочным винтом различных витков обмоток электромагнита должно производиться при отключенной или закороченной обмотке реле. Если изменение уставки требуется производить с включенной в токовую цепь обмоткой реле, то вначале должен быть ввинчен второй установочный винт в гнездо, соответствующее новой уставке, а затем вывинчен винт из гнезда старой уставки и ввернут в холостое гнездо.

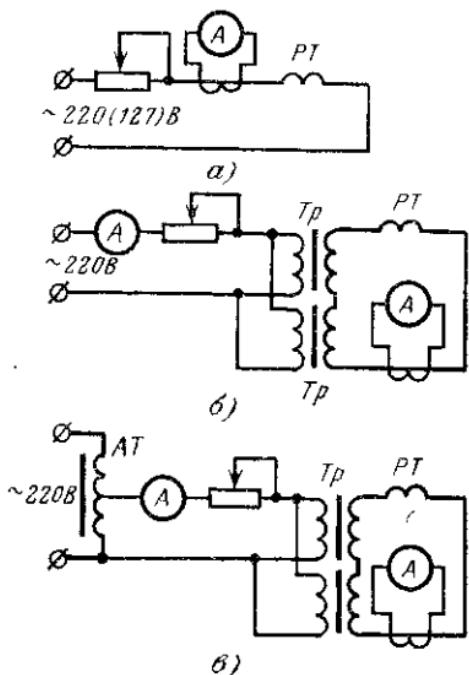


Рис. 2-23. Варианты схем регулирования тока при испытании реле типа РТ-80.

a — при $R_{\text{реост}}/R_{\text{реле}} \geq 5$; *б* — при использовании трансформатора 120/12 В; *в* — при использовании трансформатора 120/12 В и автотрансформатора на 9 А.

На рисунке показано положение коммутационной аппаратуры, используемой при проведении испытания. Упрощенная принципиальная схема подключения реле приведена на рис. 2-24, б.

6. Измерения для определения характеристик срабатывания реле следует производить при надетом кожухе.

4. При выполнении п. 3 задания отсечка должна быть выведена. Для удобства наблюдения за работой реле и фиксации момента зацепления сегмента с червячной передачей следует отрегулировать уставку времени срабатывания на наибольшее значение по шкале.

5. При испытании реле на стенде типа СР Рижского опытного завода Латвэнерго подключение реле и измерительных приборов производится в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2-24, а. На этом же рисун-

ке показано положение коммутационной аппаратуры, используемой при проведении испытания. Упрощенная принципиальная схема подключения реле приведена на рис. 2-24, б.

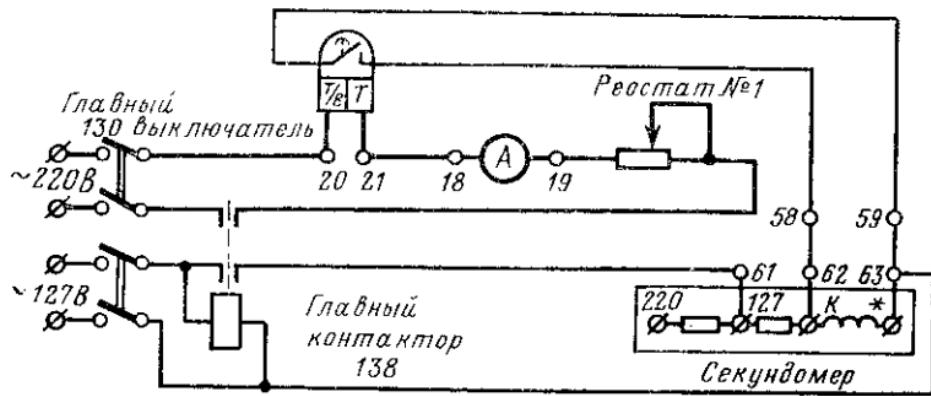
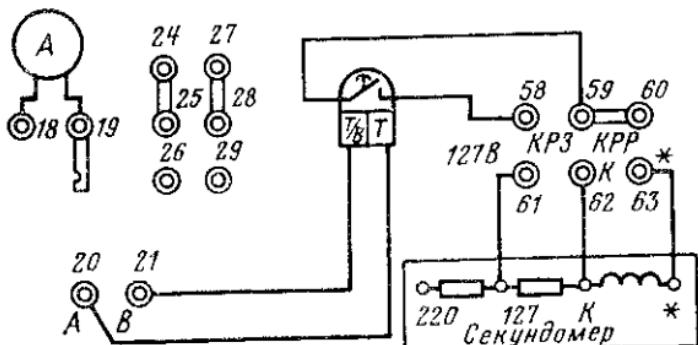
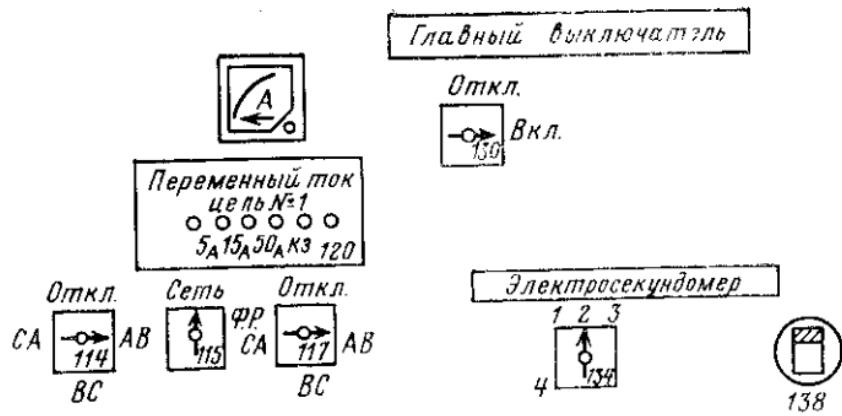


Рис. 2-24. Испытание индукционного реле тока РТ-80 на лабораторном стенде СР.

a — схема подключения реле и положение коммутационной аппаратуры;
b — принципиальная схема испытания реле.

Контрольные вопросы. 1. Назовите основные элементы реле РТ-80.

2. Объясните, как получается ограниченно зависимая характеристика реле РТ-80.

3. Объясните действие токовой отсечки в реле РТ-80.

4. Как регулируются параметры срабатывания реле РТ-80 в зависимой и независимой частях характеристики? Как производится изменение тока срабатывания токовой отсечки реле?

5. Причины, приводящие к изменению характеристики реле РТ-80 при несинусоидальной форме кривой тока.

6. Когда время действия реле РТ-80, работающего в зависимой части характеристики, больше: при введенной или выведенной отсечке? Объясните причину изменения характеристики.

7. Почему характеристики реле РТ-80, заданные кривыми $t = f(I_p/I_{p\text{уст}})$, сохраняются неизменными при одной и той же кратности тока в цепи обмотки для разных уставок I_{cp} ?

2-5. Испытания полупроводникового реле напряжения. Лабораторная работа

Цель работы — выявить особенности параметрических характеристик реле напряжения с полупроводниковыми элементами по сравнению с электромагнитными реле напряжения переменного тока, ознакомиться с методами определения исправности полупроводниковых элементов, проверить двухполупериодные выпрямительные устройства на полупроводниках.

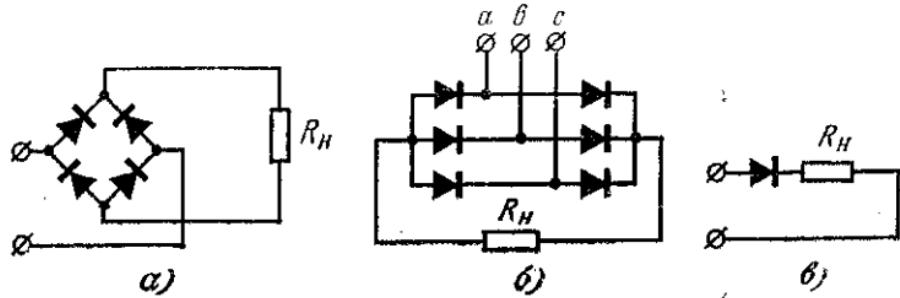


Рис. 2-25. Схемы выпрямления.

В настоящее время в устройствах релейной защиты полупроводники имеют большое применение. Распространены двухполупериодная мостовая схема выпрямления (рис. 2-25, а) и трехфазная мостовая схема выпрямления (рис. 2-25, б). При трехфазном выпрямлении происходит лучшее сглаживание пульсаций выпрямленного тока. Однополупериодное выпрямление (рис. 2-25, в) применяется главным образом в цепях постоянного тока для

«развязки» цепей и устранения обходных связей (рис. 2-26).

В схемах выпрямления необходимо предусматривать сглаживание переменной составляющей выпрямленного тока. Для этого используются емкость и индуктивность, включенные со стороны выпрямленного тока (напряжения). Наличие емкости, включенной параллельно обмотке реле, замедляет действие последнего в момент включения тока. Если реле обладает значительной индуктив-

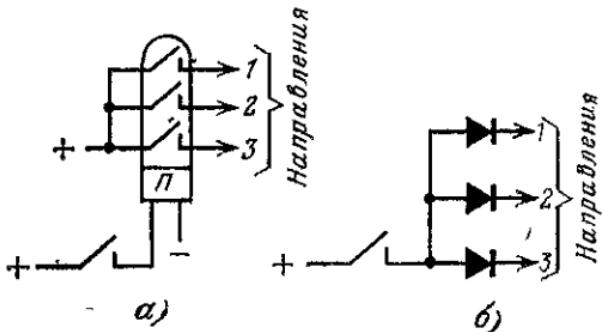


Рис. 2-26. Разделение цепей при помощи контактов реле (а) и при помощи полупроводников (б).

ностью, нет надобности в специальном сглаживании переменной составляющей выпрямленного тока, так как реле мало чувствительно к переменному току высоких частот.

Применение двухполупериодной схемы выпрямления в органе сравнения абсолютных значений величин U_1 и U_2 пояснено на рис. 2-27; в качестве реагирующего реле использовано поляризованное магнитоэлектрическое реле.

Применение опорных диодов (кремниевых) в качестве стабилитронов, т. е. устройств, на выходе которых поддерживается постоянное значение напряжения при изменяющемся значении проходящего по цепи тока, позволяет создавать реле, имеющие повышенный коэффициент возврата. На рис. 2-28 приведена схема реле напряжения типа РН-58,

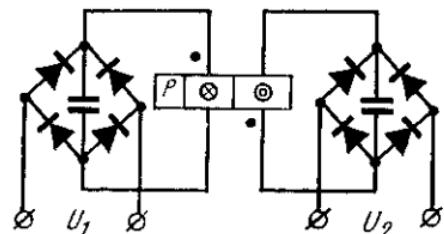


Рис. 2-27. Схема сравнения.

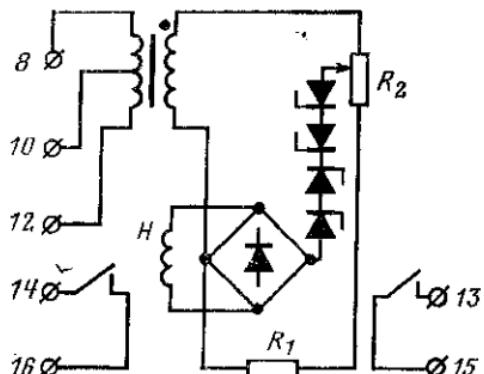


Рис. 2-28. Схема реле напряжения типа РН-58.

имеющего коэффициент возврата $k_{\text{в}}=0,95$ вместо коэффициента возврата $k_{\text{в}}=0,80$ у реле типа РН-50 (оба типа реле используют полупроводниковые элементы, измерительная система работает на выпрямленном токе, схему реле типа РН-50 см. на рис. 2-6).

Воспринимающая система реле РН-58 включена на ток

$$I_p = (k_{\text{уст}} U_p - U_{\text{оп}}) / R, \quad (2-45)$$

где $k_{\text{уст}}$ — коэффициент трансформации промежуточного трансформатора; U_p — напряжение на зажимах реле; $U_{\text{оп}}$ — опорное напряжение, формируемое стабилитронами; R — сопротивление обмотки реле.

Реле срабатывает, если ток, проходящий по обмотке I_p , станет равным току срабатывания, т. е.

$$I_{\text{ср}} = (k_{\text{уст}} U_{\text{ср}} - U_{\text{оп}}) / R, \quad (2-46)$$

где $U_{\text{ср}}$ — напряжение срабатывания устройства.

Реле вернется в исходное положение, если ток, проходящий по обмотке реле I_p , станет равным току возврата

$$I_{\text{в}} = (k_{\text{уст}} U_{\text{в}} - U_{\text{оп}}) / R. \quad (2-47)$$

Из (2-46), (2-47) следует, что

$$k_{\text{уст}} U_{\text{ср}} = I_{\text{ср}} R + U_{\text{оп}} \quad (2-48)$$

и

$$k_{\text{уст}} U_{\text{в}} = I_{\text{в}} R + U_{\text{оп}}. \quad (2-49)$$

Разделив (2-49) на (2-48), получим:

$$k_{\text{в, устр}} = \frac{U_{\text{в}}}{U_{\text{ср}}} = \frac{I_{\text{в}} R + U_{\text{оп}}}{I_{\text{ср}} R + U_{\text{оп}}}. \quad (2-50)$$

Так как

$$I_{\text{в}} = k_{\text{в, реле}} I_{\text{ср}}, \quad (2-51)$$

$$k_{\text{в, устр}} = \frac{k_{\text{в, реле}} I_{\text{ср}} R + U_{\text{оп}}}{I_{\text{ср}} R + U_{\text{оп}}}; \quad (2-52)$$

$$k_{\text{в. устр}} = \frac{k_{\text{реле}} + \frac{U_{\text{оп}}}{I_{\text{ср}} R}}{1 + \frac{U_{\text{оп}}}{I_{\text{ср}} R}}. \quad (2-53)$$

Если коэффициент возврата исполнительного реле H , встроенного в реле напряжения РН-58 (рис. 2-28), $k_{\text{реле}}=0,8$, а отношение опорного напряжения к падению напряжения в реле при токе срабатывания равно 3, то $k_{\text{в. устр}} = \frac{0,8+3}{1+3} = 0,95$.

Основной характеристикой полупроводникового прибора, подлежащей проверке и определяющей исправное состояние его, является значение сопротивления в прямом и обратном направлениях, т. е. зависимость $U=f(I)$.

Падение напряжения на полупроводниковом приборе должно измеряться катодным вольтметром с большим входным сопротивлением.

При обратном включении повышение амплитуды напряжения не должно допускаться выше $U_{\text{обр}}$, гарантированной заводом-изготовителем. В случае пробоя полупроводникового прибора его сопротивление при обратном направлении тока мало, полупроводниковый прибор теряет свои вентильные свойства и должен быть заменен.

Характеристики $U=f(I)$ должны проверяться при разных температурах, соответствующих температурным режимам, при которых могут работать устройства; лабораторными испытаниями выявляется разброс характеристик в пределах изменения температуры окружающей среды.

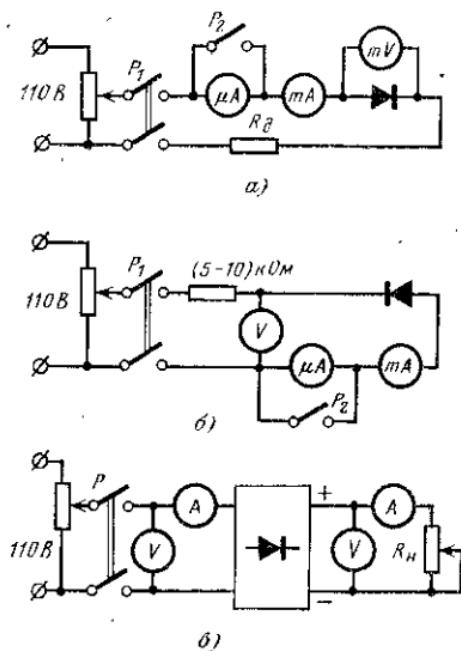


Рис. 2-29. Схемы испытания полупроводников и выпрямителей.

a — снятие зависимости $I_{\text{пр}}=f(U)$ при прямом прохождении тока; *b* — снятие зависимости $I_{\text{обр}}=f(U)$ при обратном прохождении тока; *c* — снятие зависимости выпрямленного тока и напряжения от тока и напряжения на входе.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с выполнением полупроводникового реле напряжения Чебоксарского электроаппаратного завода типа РН-58 и выяснить отличие его от реле типа РН-50.

2. Снять характеристики полупроводниковых приборов, входящих в реле типа РН-58.

3. Собрать двухполупериодную мостовую схему выпрямления; выявить постоянную и переменную составляющие в выпрямленном токе.

Указания по выполнению работы. 1. Схема для снятия характеристики $I_{\text{пр}}=f(U)$ при прямом прохождении тока по диоду показана на рис. 2-29,а.

Сопротивление вольтметра должно быть не менее 10—20 кОм/В.

Если микроамперметр не используется для отсчета показаний, он должен быть закорочен рубильником P_2 .

2. Схема для снятия характеристики $I_{\text{обр}}=f(U)$ при обратном прохождении тока показана на рис. 2-29,б. Сопротивление микроамперметра $R_{\mu A} \leq 0,01 R_{\text{обр}}$. Когда микроамперметр не используется для отсчета показаний, он должен быть зашунтирован рубильником P_2 .

3. Схема для определения зависимости тока выхода выпрямительного моста $I_{\text{вых}}$ или напряжения выхода $U_{\text{вых}}$ от напряжения входа $U_{\text{вх}}$ или тока входа $I_{\text{вх}}$ показана на рис. 2-29,в.

4. Указания по определению коэффициента возврата реле типа РН-50 приведены в § 2-2.

Контрольные вопросы. 1. Преимущества и недостатки полупроводникового реле напряжения по сравнению с электромагнитным реле напряжения переменного тока.

2. Преимущества и недостатки разделения электрических цепей при помощи полупроводниковых элементов по сравнению с разделением цепей контактами промежуточных реле.

3. Укажите области возможного применения схем сравнения с использованием полупроводниковых элементов.

4. Причины появления пульсации на стороне выпрямленного переменного тока при двухполупериодном и трехфазном выпрямлении

Для какой из этих схем пульсации больше?

5. Назначение стабилитронов в устройстве реле РН-58.

6. Почему значение сопротивления полупроводникового элемента при прямом и обратном направлениях тока характеризует исправность элемента? При каком направлении тока сопротивление больше и во сколько раз (ориентировочно)?

7. Приведите известные Вам принципиальные схемы реле различных типов, содержащие полупроводниковые элементы. Поясните работу этих реле.

2-6. Испытание реле понижения частоты. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с действием реле понижения частоты, настройка реле понижения частоты на заданные уставки, выяснение влияния на работу реле понижения частоты снижения напряжения, выяснение возможности использования конструкции реле понижения частоты для выполнения реле повышения частоты (в устройствах делительной автоматики).

Реле понижения частоты имеют широкое применение. Кроме устройств, указанных в задании, эти реле применяются в устройствах автоматического пуска гидрогенераторов и в комплекте защиты синхронных двигателей [25]. Реле повышения частоты применяются в устройствах, отделяющих тепловые станции от гидроэлектрических.

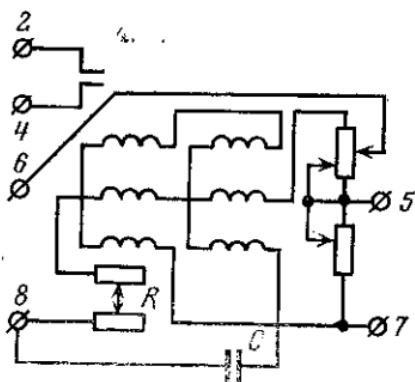


Рис. 2-30. Схема реле понижения частоты типа ИВЧ-3.

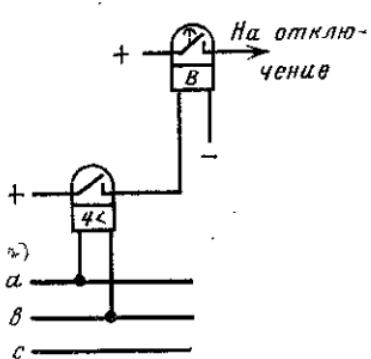


Рис. 2-31. Включение реле частоты в устройствах частотной разгрузки.

ских станций при сбросе последними нагрузки, и в устройствах, отключающих часть генераторов станции при увеличении частоты вращения для облегчения ресинхронизации энергетических систем. В последние годы реле частоты используются для воздействия на аппаратуру регулирования частоты вращения турбины с целью выполнения защиты от разноса при опасном увеличении числа оборотов в единицу времени.

Реле частоты могут выполняться на различных принципах. Имеют большое распространение индукционные реле типов ИВЧ-3 и ИВЧ-015 Чебоксарского электроаппаратного завода (рис. 2-30). Освоено производство

реле частоты типа РЧ-1 на полупроводниковых элементах.

Описания реле приведены в [13]. Полная схема внутренних соединений реле частоты типа РЧ-1 сложна и ее проверка при проведении лабораторной работы в силу ограниченного времени не предусмотрена.

Реле понижения частоты могут быть переделаны в реле повышения частоты. Для этого, например, в реле типа ИВЧ достаточно изменить местоположение контактной системы или направление вращения подвижной системы реле. Реле частоты типа РЧ-1 по сравнению с реле типа ИВЧ имеет преимущество в том, что его действие значительно в меньшей степени подвержено влиянию изменения напряжения.

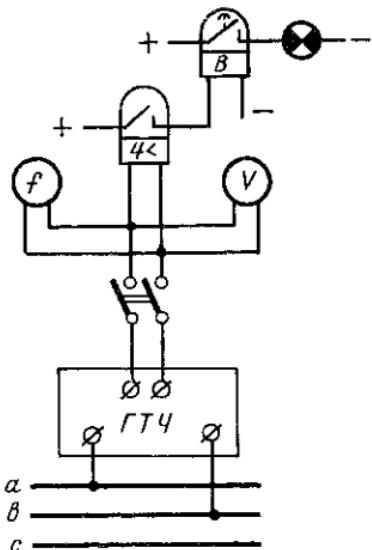


Рис. 2-32. Настройка реле частоты на заданную уставку.

При снятии напряжения с обмотки реле частоты типа ИВЧ за счет затухания магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 в контурах реле с разными постоянными временем контакты реле могут кратковременно замыкаться. Поэтому в устройствах АЧР на выходе должно быть установлено реле времени с временем действия не менее 0,5 с (рис. 2-31); при использовании реле РЧ-1 время действия выходного реле может быть снижено до 0,2 с.

Настройка реле частоты на заданную уставку производится с использованием генератора технической частоты (ГТЧ) (рис. 2-32). Этот аппарат в ис-

полнении ОЗАП Мосэнерго представляет собой ламповый генератор синусоидального напряжения с частотой, регулируемой пятью ступенями в диапазонах 43—45; 44,5—47; 46,5—48; 47,8—51 и 50,8—54 Гц. В пределах каждой ступени имеется возможность плавного изменения частоты. Генератор промышленной частоты получает питание от сети переменного тока 220 или 127 В. При напряжениях питания, превышающих эти значения больше, чем на 5%, питание ГТЧ должно производиться через лабо-

раторный автотрансформатор так, чтобы напряжение на зажимах не превосходило 220 или 127 В (если это требование не соблюдено, возможен пробой электролитических конденсаторов в аппарате).

Задание на работу. 1. Выяснить принцип работы используемого реле понижения частоты. Указать различие в выполнении реле понижения и повышения частоты.

2. При помощи ГТЧ отрегулировать реле понижения частоты на частоту срабатывания 47,0 Гц.

3. Определить разброс в уставках срабатывания и возврата реле понижения частоты при пятикратном повторении опыта.

4. Проверить действие реле частоты при снятии с него напряжения толчком. Испытать работу схемы, приведенной на рис. 2-32, при снятии с реле частоты напряжения. Определить при помощи электрического секундометра минимальное время, которое должно быть на реле времени для отстройки от кратковременного замыкания контактов реле частоты.

5. Определить зависимость частоты срабатывания реле частоты с $f_{ср}=47,0$ Гц от напряжения на его зажимах в диапазоне изменения значения напряжения 20 - 110 В. Сделать заключение о целесообразности включения реле частоты через стабилизирующий трансформатор. Каждое измерение производить 3 раза.

Указания по выполнению работы. 1. При отсутствии в лаборатории ГТЧ можно для регулировки реле частоты использоваться двигателем-генератором переменного тока.

2. Определение частоты срабатывания и возврата реле частоты следует производить при плавном изменении частоты на зажимах реле. При тех же условиях должны быть выявлены разбросы реле по частотам срабатывания и возврата (плавное изменение частоты на зажимах реле соответствует фактической работе реле в условиях эксплуатации).

Контрольные вопросы. 1. Для каких целей используются реле понижения частоты?

2. Принципы действия реле понижения частоты и реле повышения частоты. Какие изменения надо сделать, чтобы превратить реле понижения частоты в реле повышения частоты?

3. Изменение уставок срабатывания и возврата у реле ИВЧ и РПЧ. Для каких целей требуется менять уставку возврата, после того как реле частоты сработало?

4. Причины, вызывающие кратковременное срабатывание контактов реле частоты при снятии напряжения.
5. Назначение стабилизатора напряжения в схемах присоединения реле частоты типа ИВЧ к источнику напряжения.
6. Положение контактов реле понижения частоты при отсутствии напряжения на обмотке реле.

2-7. Испытание фильтр-реле тока и напряжения обратной последовательности. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с устройствами фильтр-реле тока и напряжения обратной последовательности и проверка их основных электрических характеристик.

Фильтр-реле состоит из фильтра тока или напряжения обратной последовательности, к выходным зажимам которого подсоединенено реагирующее реле. Фильтр-реле могут представлять собой электрически и магнитно-связанные устройства.

Фильтром тока (напряжения) обратной последовательности называется такое устройство, при подведении к которому системы трехфазных несимметричных токов (напряжений) на выходе появляется ток (напряжение), пропорциональный только составляющей тока (напряжения) обратной последовательности на входе фильтра. Для фильтра напряжений обратной последовательности

$$\dot{U}_{\text{вых.х.х}} = m_{x.x} \dot{U}_{\text{вх2}}, \quad (2-54)$$

где $\dot{U}_{\text{вых.х.х}}$ — напряжение холостого хода на выходе фильтра (нагрузка не подключена), измеренное вольтметром с большим внутренним сопротивлением; $\dot{U}_{\text{вх2}}$ — составляющая обратной последовательности напряжений, подводимых к входным зажимам фильтра; $m_{x.x}$ — коэффициент пропорциональности, называемый отношением холостого хода.

Для фильтра токов обратной последовательности аналогично

$$\dot{I}_{\text{вых}} = m_{k.z} \dot{I}_{\text{вх2}}, \quad (2-55)$$

где $I_{\text{вых}}$ — ток на выходе фильтра в режиме к. з. (выходные зажимы замкнуты); $I_{\text{вх2}}$ — составляющая обратной последовательности токов, подводимых к входным зажимам фильтра; $m_{k.z}$ — коэффициент пропорциональности.

В фильтр-реле напряжений обратной последовательности типа РНФ-1М (рис. 2-33,*a*) используется двухпленочный активно-емкостный фильтр. К входным зажимам

фильтра 2, 4, 6 подводятся междуфазные напряжения U_{AB} и U_{BC} , не содержащие составляющей нулевой последовательности. К выходным зажимам подключается исполнительный элемент—реле напряжения типа РН-50, обмотка которого включается на фильтр через двухполюсник 12-7.

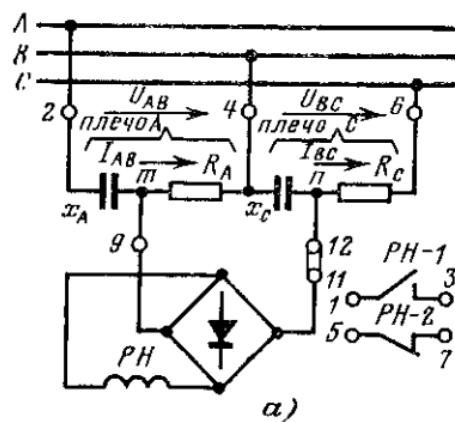
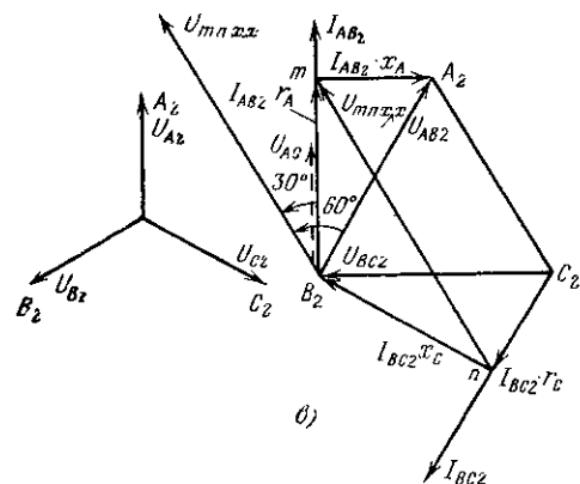
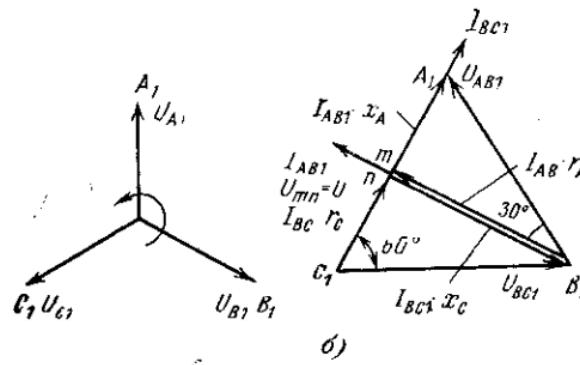


Рис. 2-33. Фильтр-реле напряжения обратной последовательности.

а — схема; б — векторная диаграмма при подведении к фильтру системы напряжений прямой последовательности; в — при подведении обратной последовательности.



лупериодный выпрямительный мост с кремниевыми диодами.

Анализ работы фильтра ведется с помощью топографических диаграмм (рис. 2-33, б, в) при х. х., т. е. при отсутствии нагрузки на его выходе (накладка 11—12 снята), и поочередной подаче на фильтр системы симметричных напряжений прямой и обратной последовательностей [14, 16].

Как следует из первой топографической диаграммы (рис. 2-33, б), равенство потенциалов выходных зажимов фильтра (точка *m* совпадает с точкой *n*) обеспечивается при подведении к фильтру системы напряжений прямой последовательности при условии, что

$$R_A = \sqrt{3} x_A; \quad x_C = \sqrt{3} R_C, \quad (2-56)$$

т. е.

$$R_A/x_C = x_A/R_C. \quad (2-57)$$

При этом вектор тока в плече *A* опережает вектор напряжения U_{AB} на 30° , а в плече *C* вектор напряжения U_{BC} — на 60° .

Если к фильтру подведена система симметричных напряжений обратной последовательности, то потенциалы точек *m* и *n* оказываются неравными, на выходе фильтра появляется некоторое напряжение U_{mn} (рис. 2-33, в). Если за исходное в качестве входного напряжения \dot{U}_{bx2} принять междуфазное напряжение \dot{U}_{AB2} , т. е. $\dot{U}_{bx2} = \dot{U}_{AB2}$, то

$$U_{mnx.x} = 1,5e^{j60^\circ} U_{AB2}, \quad (2-58)$$

где $1,5e^{j60^\circ} = m_{x.x}$ — коэффициент, показывающий, что на выходе фильтра при подведении к нему системы междуфазных напряжений обратной последовательности появится напряжение, в 1,5 раза большее междуфазного напряжения U_{AB2} и сдвинутое по фазе относительно него на угол 60° (в сторону опережения).

Если же за входное принять фазное напряжение $\dot{U}_{bx2} = \dot{U}_{A2}$, то

$$\dot{U}_{mnx.x} = 1,5 \sqrt{3} e^{j30^\circ} \dot{U}_{A2}; \quad (2-59)$$

$$m_{x.x} = 1,5 \sqrt{3} e^{j30^\circ}. \quad (2-60)$$

При несимметричных к. з. защищаемого объекта напряжения могут быть представлены в общем случае геометрической суммой составляющих напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей. Но так как система напряжений прямой последовательности не вызывает появления напряжения на выходе данного фильтра, то при несимметричных к. з. напряжение на выходе будет определяться только составляющей обратной последовательности.

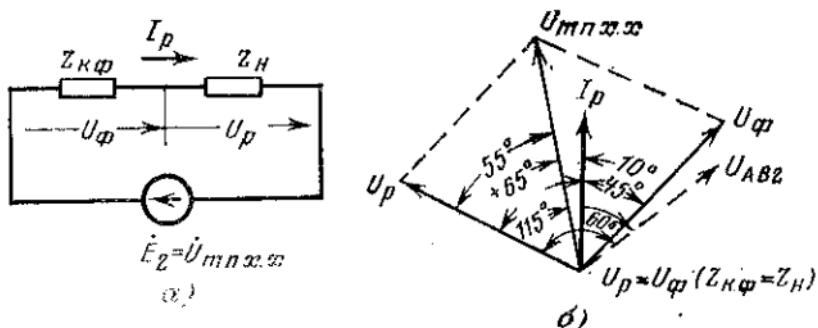


Рис. 2-34. Работа фильтра напряжений обратной последовательности под нагрузкой.

а — схема замещения нагруженного фильтра; б — векторная диаграмма для случая $Z_{к.φ} = Z_H$.

Работа фильтра при подключении к нему нагрузки несколько изменяется. При использовании метода наложения схема замещения нагруженного фильтра принимает вид, представленный на рис. 2-34, а.

Нагрузка (например, реле) с сопротивлением Z_H подключается к выходным зажимам фильтра, который заменен сопротивлением к. з. $Z_{к.φ}$, представляющим собой сопротивление самого фильтра, измеренное со стороны выходных зажимов при закороченных входных зажимах (сопротивлением источников по сравнению с внутренним сопротивлением фильтра можно пренебречь); включенная в цепь нагрузки э. д. с. E_2 равна напряжению х.х. фильтра (равны абсолютное значение и фаза).

Из рис. 2-34, а видно, что

$$U_p = \frac{U_{mnх.х} Z_H}{Z_{к.φ} + Z_H}. \quad (2-61)$$

Максимальная чувствительность схемы фильтр-реле достигается, когда $Z_H = Z_{к.φ}$, т. е. когда сопротивление реле равно сопротивлению к. з. фильтра. Векторная ди-

граммой нагруженного фильтра показана на рис. 2-34,б. Если принять угол полного сопротивления фильтра $Z_{\text{к.ф}}$ равным -45° (характер сопротивления емкостный), а угол полного сопротивления нагрузки $Z_h = +65^\circ$ (сопротивление нагрузки имеет индуктивный характер), то из построения окажется, что фаза напряжения на реле будет сдвинута относительно фазы подведенного напряжения \dot{U}_{AB2} на угол $60 + 55 = 115^\circ$, где 60° — угол сдвига $\dot{U}_{mnx,x}$ относительно вектора \dot{U}_{AB2} , а 55° — угол сдвига $\dot{U}_{mnx,x}$ относительно вектора \dot{U}_p .

Данное положение следует учитывать в тех случаях, когда работа реле определяется не только значением U_p , но и его фазой по отношению к току, подводимому к реле.

Значение напряжения на обмотке реле также несколько уменьшается. Так, для фильтр-реле типа РНФ-1М [12] отношение напряжения на обмотках выходного реле к величине междуфазового напряжения обратной последовательности, подаваемого на входные зажимы фильтра, составляет 1,1, т. е.

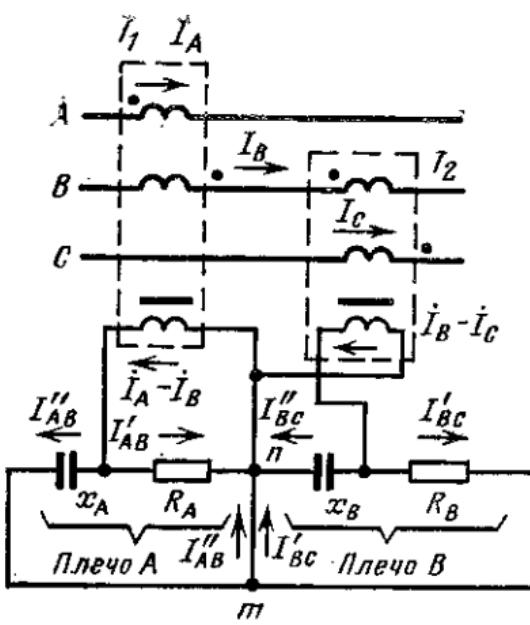
$$U_p = 1,1 U_{\text{м.ф.2}}. \quad (2-62)$$

В комплект фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-7 входит двухплечий активно-емкостный фильтр. Питание фильтра осуществляется от цепи трехфазного тока при помощи двух промежуточных трансформаторов тока T_1 и T_2 , соединенных по схеме, исключающей попадание в фильтр составляющих нулевой последовательности. Принципиальная схема фильтра и векторные диаграммы, поясняющие его работу в режиме к. з., когда точки m и n соединены между собой, приведены на рис. 2-35.

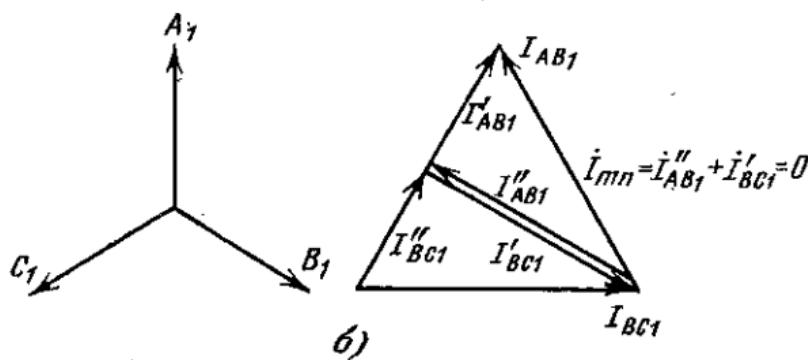
Диаграммы построены для случая, когда коэффициенты трансформации трансформаторов равны 1. Сопротивления в плечах фильтра удовлетворяют соотношениям

$$\left. \begin{aligned} R_A &= \sqrt{3} x_A; \\ x_B &= \sqrt{3} R_B. \end{aligned} \right\} \quad (2-63)$$

Из векторных диаграмм следует, что при прохождении по цепи токов прямой последовательности ток на выходе фильтра в цепи mn отсутствует (рис. 2-35,б).



а)



б)

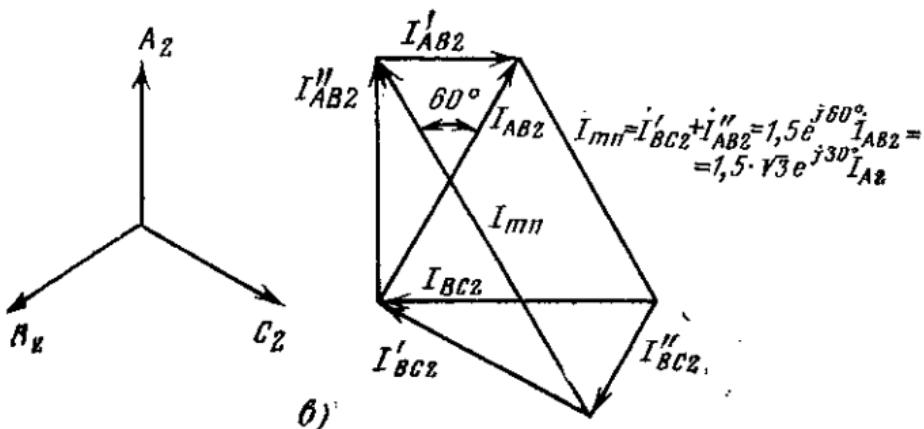


Рис. 2-35. Фильтр реле тока обратной последовательности.
а — схема; б — векторная диаграмма при включении фильтра на систему токов прямой последовательности; в — при включении на систему обратной последовательности.

Если же по цепи проходит ток обратной последовательности, то на выходе появится ток:

$$I_{mn2} = 1,5 \sqrt{3} e^{j30^\circ} I_{A2} \quad (2-64)$$

и коэффициент $m_{k.z}$ в соответствии с рис. 2-35,в равен

$$m_{k.z} = \frac{|I_{mn2}|}{|I_{A2}|} = 1,5 \sqrt{3} e^{j30^\circ}. \quad (2-65)$$

Так же как у фильтров напряжения обратной последовательности, максимальная мощность на выходе фильтра будет в том случае, когда

$$Z_p = Z_{\Phi.x.x}, \quad (2-66)$$

где $Z_{\Phi.x.x}$ — сопротивление х. х. (внутреннее сопротивление самого фильтра, измеренное со стороны выходных зажимов при разомкнутых входных зажимах).

Полная схема фильтр-реле РТФ-7/1 показана на рис. 2-36. К выходным зажимам фильтра токов обратной последовательности (ФТОП) подключен выпрямительный мост B с обмотками двух поляризованных реле

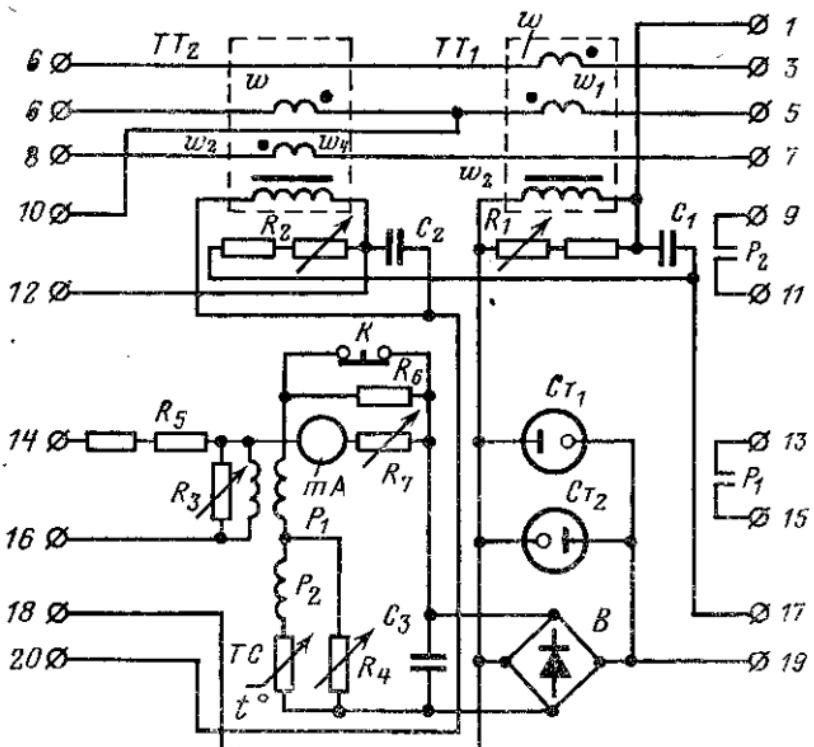


Рис. 2-36. Схема фильтр-реле типа РТФ-7/1.

P_1 и P_2 типа РП-7. Для ограничения напряжения на выпрямителях при к. з. предусмотрены два стабилитрона C_{st_1} и C_{st_2} . Миллиамперметр, включенный последовательно с обмотками реле, позволяет измерять токи обратной последовательности. Токи срабатывания регулируются: у реле P_1 (более чувствительного) изменением сопротивления R_3 в цепи тормозной обмотки, у реле P_2 (более грубого) сопротивлением R_4 .

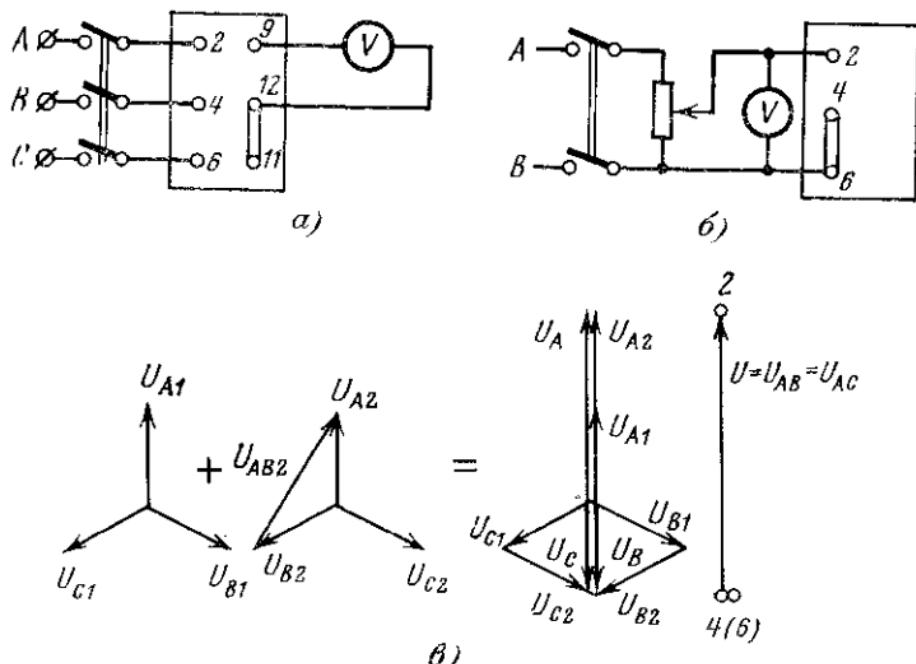


Рис. 2-37. Испытание фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М.

а и б — схемы испытания; в — поясняющие векторные диаграммы.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с устройством фильтр-реле напряжения обратной последовательности; синсать паспортные данные и начертить схему внутренних соединений.

2. Проверить с помощью фазоуказателя порядок чередования фаз питающей цепи, междуфазное напряжение которого должно быть 100—127 В.

3. Измерить значение трех междуфазных напряжений. Их значения не должны отличаться друг от друга больше, чем на 1,5 В.

4. Подключив к выходным зажимам фильтра вольтметр (рис. 2-37, а), измерить значение напряжения не-

баланса при подведении к фильтру системы напряжений прямой последовательности $U_{\text{нб.ф}}$ (указать тип вольтметра и его внутреннее сопротивление).

5. С разрешения преподавателя произвести регулировку фильтра путем изменения регулируемых резисторов так, чтобы $U_{\text{нб}}$ не превышало 2 В.

6. При той же схеме питания фильтра измерить распределение напряжений на его элементах (x_A , R_A , x_C , R_C).

Необходимо, чтобы соотношение падений напряжений составляло (с точностью до 1—2%):

$$U_{x_C}/U_{R_C} = U_{R_A}/U_{x_A} = \sqrt{3}. \quad (2-67)$$

7. По полученным данным построить в масштабе векторную диаграмму фильтра.

8. Подать на фильтр систему междуфазных напряжений обратной последовательности и измерить напряжение на его выходе. Определить отношение х. х. $m_{\text{x.x.}}$.

9. Проверить уставки срабатывания фильтр-реле при имитации двухфазного к. з., для чего:

собрать схему, приведенную на рис. 2-37, б;

для каждого значения уставки на шкале исполнительного реле путем плавного увеличения напряжения зафиксировать значение, при котором контакты реле надежно замыкаются, т. е. определить напряжение срабатывания $U_{\text{ср}}$;

плавно уменьшая напряжение, зафиксировать напряжение возврата реле U_b .

Определить коэффициент возврата. Результаты измерений занести в табл. 2-6. Проанализировать их.

Таблица 2-6

Измеряемая величина	Номера опытов		
	1	2	3
$U_{\text{уст.}}, \text{В}$			
$U_{\text{ср}}, \text{В}$			
$U_b, \text{В}$			
k_b			

Учесть, что вольтметр измеряет междуфазное напряжение обратной последовательности, увеличенное в $\sqrt{3}$ раз (см. рис. 2-37, б, в) $U_v = \sqrt{3} U_{\text{м.ф2}}$, а шкала реле градуируется в значениях напряжения обратной последовательности на входе устройства.

10. Ознакомиться с устройством фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-7; списать паспортные данные и начертить схему внутренних соединений.

11. Определить ток небаланса на выходе фильтр-реле тока обратной последовательности при подаче системы токов прямой последовательности, равных номинальным значениям 5 А (рис. 2-38, а).

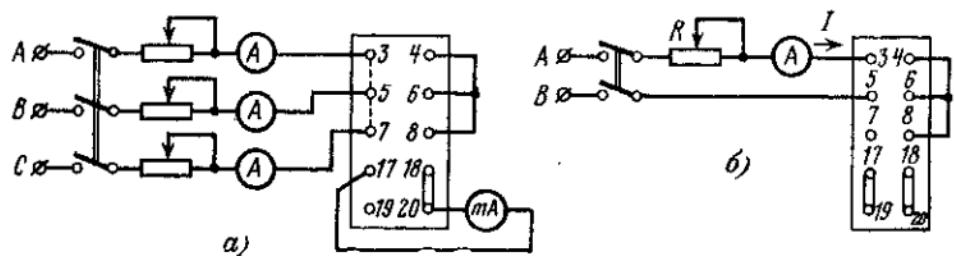


Рис. 2-38. Испытание фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-7/1.

a — измерение тока небаланса; *b* — включение амперметра *I* и резистора *R* для определения уставок срабатывания.

12. Проверить значение токов срабатывания реле P_1 и P_2 для заданных уставок. Имитировать при этом двухфазное к. з., для чего: собрать схему (рис. 2-38, б); плавно увеличивая ток первичной цепи, зафиксировать значение, при котором срабатывает реле P_1 , а затем при последующем увеличении тока — реле P_2 . Следует учитывать, что при двухфазном к. з. составляющая тока обратной последовательности определяется величиной $I_2^{(2)} = I_k^{(2)} / \sqrt{3}$.

При токе, равном току срабатывания, определить ток в цепи обмотки реле P_1 и P_2 , используя для этого миллиамперметр, встроенный в устройство РТФ-7.

Указания к выполнению работы. 1. При измерении напряжения небаланса фильтра напряжений обратной последовательности следует пользоваться вольтметром с большим внутренним сопротивлением (3—5 кОм/В).

2. Так как увеличенное значение напряжения небаланса может быть вызвано наличием высших гармоник

в рабочем напряжении, настройку фильтра желательно производить с помощью электронного осциллографа (рис. 2-39).

Электронный осциллограф дает возможность: обнаружить присутствие высших гармоник; отфильтровать эти гармоники и настроить фильтр обратной последовательности на основную гармонику; определить максимальное значение небаланса основной гармоники.

Предварительно перед настройкой фильтра от постороннего источника на вход Y (*вертикальное усиление*) осциллографа должно быть подано синусоидальное

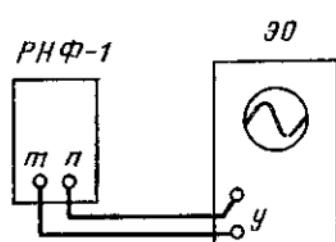


Рис. 2-39. Настройка фильтра напряжений обратной последовательности с помощью осциллографа.

напряжение, изменяющееся с частотой 50 Гц. Воздействуя на рукоятку *Частота плавно*, произвести регулировку так, чтобы на экране установился один период кривой вспомогательного напряжения. Не изменяя положения всех рукояток осциллографа, снять с пластины Y вспомогательное напряжение и подвести напряжение с выходных зажимов фильтра. Для получения на экране достаточной амплитуды прове-

ряемого напряжения следует воздействовать на рукоятку *Вертикальное усиление*. По полученной на экране кривой можно судить о наличии высших гармоник — кривая напряжения не будет чисто синусоидальной. Настройкой следует стремиться свести к нулю амплитуду первой гармоники в кривой напряжения небаланса.

3. Напряжение, подводимое к зажимам 2—4 (6) фильтр-реле типа РНФ-1М при выполнении п. 9, имитирует междуфазное напряжение U_{AB} или U_{AC} в точке металлического двухфазного к. з. между фазами *B* и *C*. Диаграмма фазных напряжений построена на основании метода симметричных составляющих, из которого известно, что при рассматриваемом повреждении $\dot{U}_{A1} = \dot{U}_{A2} = 0,5 \dot{U}_A$ (рис. 2-37,в).

4. Перед испытанием фильтр-реле тока обратной последовательности следует установить перемычки на входных зажимах фильтра (показаны пунктиром на рис. 2-38,а) и отрегулировать с помощью реостатов одинаковые значения токов в фазах; только после этого,

сняв перемычки, можно подать питание на фильтр и продолжать испытание.

Контрольные вопросы. 1. В каких защитах используются фильтр-реакторы токов и напряжений обратной последовательности?

2. Почему к фильтру напряжения обратной последовательности целесообразно подавать систему междуфазных, а не фазных напряжений?

3. Почему при отклонении частоты от 50 Гц напряжение небаланса активно-емкостного фильтра возрастает?

4. В каких случаях и зачем необходимо знать угол сдвига между векторами U_{AB2} и U_p ?

5. Почему измерение величины U_{mnxx} должно производиться с помощью вольтметра, имеющего большое внутреннее сопротивление?

6. Доказать, что при взаимной перемене зажимов 4 и 6 (см. рис. 2-33) устройство будет представлять собой фильтр напряжений прямой последовательности.

7. Каковы должны быть параметры прибора, используемого для измерений I_{ab} и I_{mnxx} , при испытании фильтра тока обратной последовательности?

8. С помощью векторной диаграммы определить, какой ток будет проходить по цепи реле фильтра токов обратной последовательности при обрыве одной из фаз со стороны входа рассматриваемого фильтра (к. з. в первичной цепи тока отсутствует; нагрузка первичной цепи до ее обрыва симметрична).

9. Как проверяется чувствительность защит, использующих фильтры токов и напряжений обратной последовательности?

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРОВЕРКА ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ, РЕАГИРУЮЩИХ НА ДВЕ И БОЛЕЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

3-1. Общие положения

Устройства защиты, реагирующие на две и более электрические величины, по сравнению с реле, реагирующими на одну электрическую величину, являются более сложными аппаратами. Сложность определяется необходимостью измерить несколько электрических величин и обеспечить работу исполнительного органа в зависимости от заданного соотношения между этими величинами. Так как измерительные органы присоединяются к трансформаторам тока и напряжения, то действие в соответствии с функциональным назначением зависит от значения измеряемых токов, напряжений и углов между ними. Сочетание и сравнение значений упомянутых электрических величин может производиться как в самом реле (например, у реле мощности или дистанционных реле

индукционных типов), так и во внешних цепях, содержащих статические элементы в виде добавочных трансформаторов, трансреакторов, устройства «сравнения» (например, в устройствах реле мощности или дистанционных, выполненных с использованием полупроводниковых элементов). Выходным органом устройств, содержащих схемы сравнения на статических элементах, является реле, реагирующее на одну электрическую величину, сформированную указанными статическими элементами.

Примером выполнения органа сравнения при помощи трансформаторов тока может быть продольная дифференциально-токовая защита, включенная на разность токов «начала» и «конца» защищаемой зоны.

В некоторых случаях работа выходного реле устройства защиты ставится в зависимость от воздействия дополнительных электрических величин (например, дифференциальное реле с торможением в защите типа ДЗЛ).

При ознакомлении в лаборатории с защитами, реагирующими на две и более электрические величины, учащиеся должны ясно представлять как назначение изучаемой защиты, так и то, какими математическими соотношениями описывается процесс, вызывающий требуемое действие. Проверка устройства защиты должна подтвердить, что испытуемая аппаратура отвечает своему назначению с требуемой точностью.

Лабораторные стенды, на которых проверяются отдельные реле или комплекты защиты, реагирующие на две и более электрические величины, должны позволять производить изменение этих величин в нужных пределах, т. е. должны быть оборудованы устройствами для изменения тока, напряжения и угла между ними; также должна иметься аппаратура из промежуточных трансформаторов тока, напряжения, трансреакторов, лабораторных автотрансформаторов, потенциометров и фазорегуляторов, позволяющих воссоздать ту или иную требуемую схему сравнения электрических величин.

3-2. Испытание реле направления мощности. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с конструкцией и методами проверок основных электрических характеристик реле направления мощности.

Органы направления мощности применяются в различных устройствах релейной защиты для определения знака мощности при к. з. Они могут выполняться или в виде реле, например на индукционном принципе, или в виде устройств с использованием полупроводниковых элементов. В данной лабораторной работе рассматриваются вопросы, связанные с проверкой индукционных реле мощности, имеющих большое применение в эксплуатации.

Конструкция реле показана на рис. 3-1. Магнитопровод 1, набранный из листов стали, имеет четыре выступающих полюса. Между полюсами для уменьшения сопротивления магнитному потоку расположен неподвижный стальной сердечник 2. В воздушный зазор, образованный полюсами и сердечником, помещается подвижной элемент реле — алюминиевый полый цилиндр 3 (бара-банчик), поворачивающийся вокруг оси. Обмотка тока реле состоит из двух секций 5, расположенных на противоположных полюсах. Секции соединены последовательно. Обмотка питается от трансформатора тока, установленного в цепи защищаемой линии. Обмотка напряжения реле выполняется из четырех секций 4, соединенных последовательно. Секции расположены на ярме. Такое расположение по сравнению с расположением обмотки на полюсах позволяет увеличить общее число витков обмотки; это приводит к увеличению н. с. и потока, а следовательно, и к повышению чувствительности реле. Обмотка напряжения реле питается от трансформатора напряжения защищаемой линии. Реле направления мощности в зависимости от назначения мо-

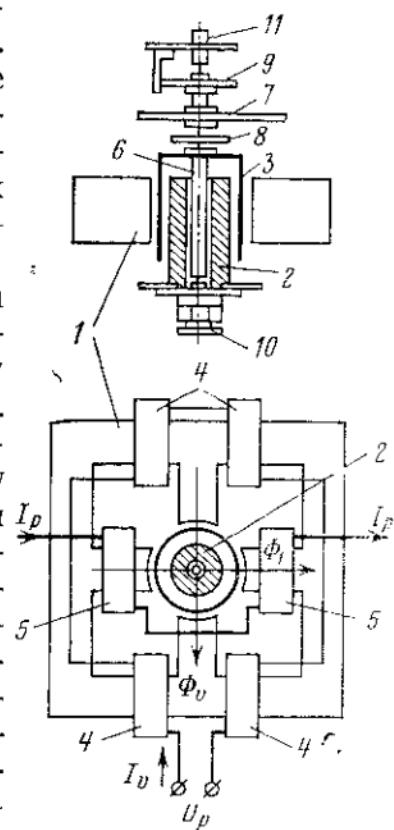
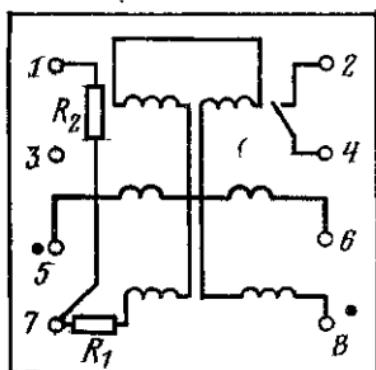


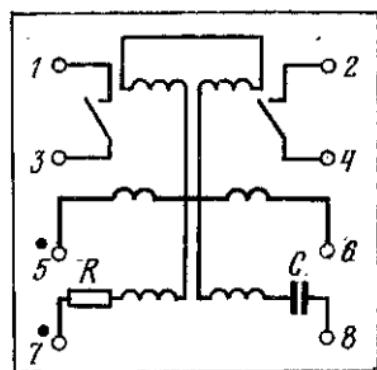
Рис. 3-1. Конструкция реле направления мощности.

1 — ярмо; 2 — сердечник, имеющий срез по образующей; 3 — подвижной алюминиевый цилиндр (бара-банчик); 4 — четыре катушки параллельной обмотки; 5 — две катушки последовательной обмотки; 6 — ось; 7 — подвижной контакт; 8 — пружина; 9 — спиральная пружина; 10 — нижний подпятник; 11 — верхний подпятник.

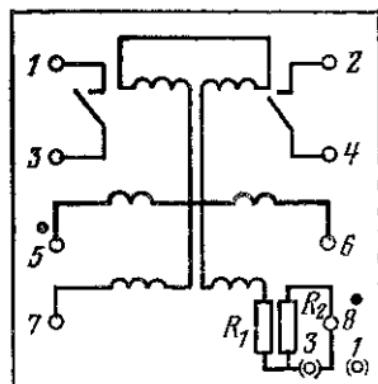
гут иметь один или два контакта (реле одностороннего или двустороннего действия). Первые используются в схемах направленных защит для определения знака мощности при к. з. (реле типа РБМ-171, РБМ-178), вторые — в схемах направленных поперечных дифференциальных защит параллельных линий для определения



a)



b)



в)

Рис. 3-2. Схемы внутренних соединений реле направления мощности.

а — реле типа РБМ-171/1; *б* — реле типа РБМ-271; *в* — реле типа РБМ-277 (РБМ-278).

повреждением линии (реле типа РБМ-271, РБМ-277, РБМ-278). Кроме того, реле направления мощности отличаются по обмоточным данным катушек (обмотки тока рассчитываются на 5 или 1 А) и добавочными устройствами, предусмотренными в цепи обмотки напряжения для получения различных углов между векторами тока в этой цепи и подведенного напряжения. Схемы внутренних соединений основных типов реле показаны на рис. 3-2.

При включении реле токи, проходящие по его обмоткам, создают магнитные потоки Φ_I и Φ_U , сдвинутые в пространстве на 90° (за счет расположения обмотки на магнитопроводе) и по фазе на некоторый угол ψ (рис. 3-3). Каждый из потоков дважды пронизывает алюминиевый цилиндр и индуцирует в нем вихревые

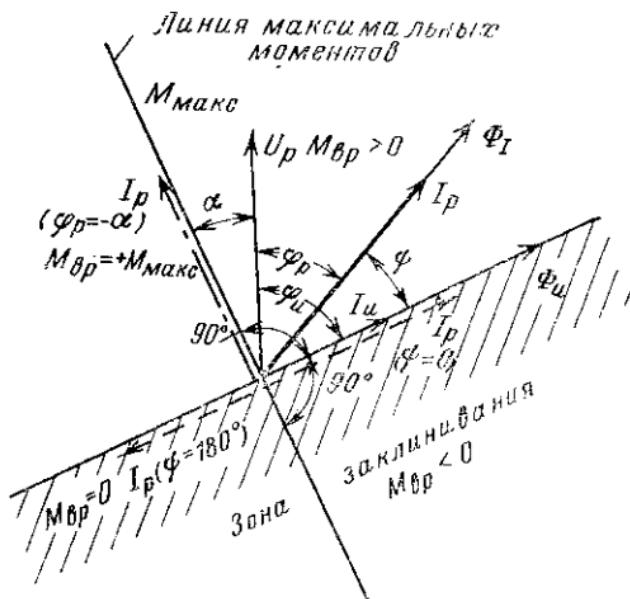


Рис. 3-3. Векторная диаграмма реле направления мощности смешанного типа.

токи. Известно, что вращающий момент, действующий на подвижную систему, определяется выражением [23]

$$M_{\text{вр}} = k' \Phi_I \Phi_U \sin \psi. \quad (3-1)$$

При отсутствии насыщения магнитной системы поток Φ_I будет пропорционален току в последовательной обмотке I_p , а поток Φ_U пропорционален I_u ; тогда

$$M_{\text{вр}} = k I_p U_p \sin \psi. \quad (3-2)$$

Векторная диаграмма реле направления мощности представлена на рис. 3-3. Пренебрегая потерями в стали, векторы потоков Φ_I и Φ_U можно представить совпадающими по фазе с векторами соответствующих токов I_p и I_u . Значения угла φ_u (угла между вектором тока в обмотке напряжения I_u и подводимым к ней напряжением U_p) определяются только параметрами цепи напря-

жения и для каждого типа реле является неизменным. В зависимости от положения вектора I_p по отношению к вектору U_p создаются две области, характеризующиеся положительными и отрицательными значениями момента. Линия перехода от положительных моментов к отрицательным будет при $\psi=0$ и $\psi=180^\circ$, когда вектор тока I_p оказывается совпадающим или в противофазе с вектором I_U (на рис. 3-3 вектор I_p для рассматриваемого случая показан пунктиром). При этих углах, как следует из выражения (3-1), значение вращающего момента оказывается равным нулю:

$$M_{bp} = k' \Phi_I \Phi_U \sin \psi = 0. \quad (3-3)$$

Поэтому линия изменения знака момента иначе называется линией нулевых моментов. На векторной диаграмме угол α дополняет до 90° угол φ_U . Угол ψ может быть выражен так: $\psi=90^\circ-\alpha-\varphi_p$ или $\psi=90^\circ-(\varphi_p+\alpha)$. Выражение вращающего момента примет вид:

$$\left. \begin{aligned} M_{bp} &= k I_p U_p \sin [90^\circ - (\varphi_p + \alpha)]; \\ M_{bp} &= k I_p U_p \cos (\varphi_p + \alpha). \end{aligned} \right\} \quad (3-4)$$

В зависимости от значения угла φ_U различаются три типа реле:

реле активного типа (косинусное реле) при $\varphi_U=90^\circ$, т. е. при $\alpha=0$. Для такого реле

$$M_{bp} = k I_p U_p \cos \varphi_p; \quad (3-5)$$

реле реактивного типа (синусное реле) при $\varphi_U=0$, т. е. при $\alpha=90^\circ$

$$M_{bp} = k I_p U_p \sin \varphi_p; \quad (3-6)$$

реле смешанного типа ($0 < \alpha < 90^\circ$), для которого

$$M_{bp} = k I_p U_p \cos (\varphi_p + \alpha). \quad (3-7)$$

На рис. 3-3 приведена векторная диаграмма для реле смешанного типа. Контактная система реле выполнена так, что в случае, когда поток Φ_I опережает по фазе поток Φ_U , вращающий момент направлен в сторону замыкания контактов: реле работает ($M_{bp} > 0$ — зона действия). Если поток Φ_I отстает по фазе от потока Φ_U , момент направлен в сторону размыкания контактов: реле не действует ($M_{bp} < 0$ — зона недействия).

Как следует из выражения (3-7), если $\varphi_p = -\alpha$, т. е. когда вектор тока I_p опережает вектор напряжения U_p на угол α , при одних и тех же значениях тока и напряжения вращающий момент на реле наибольший (вектор тока I_p для данного случая показан штрихпунктирной линией):

$$M_{bp} = kI_p U_p \cos 0 = +M_{bp\text{ макс.}}$$

Угол, при котором создается максимальный вращающий момент на реле, называется углом максимальной чувствительности и обозначается $\varphi_{м.ч.}$, а линия, проходящая под этим углом по отношению к вектору напряжения U_p , называется линией максимальных моментов.

Для реле типов РБМ-171/1 и РБМ-171/2 при подключении их к трансформатору напряжения зажимами 8—7 (см. рис. 3-2,а) последовательно с обмоткой напряжения реле оказывается включенным только резистор R_1 . В этом случае $\varphi_u = 60^\circ$ и $\alpha = 90^\circ - \varphi_u = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$. Угол максимальной чувствительности оказывается равным $\varphi_{м.ч.} = -30^\circ$.

Если указанные выше реле подключены к трансформатору напряжения зажимами 8—1, последовательно с обмоткой напряжения реле будут включены два резистора: R_1 и R_2 . В этом случае угол $\varphi_u = 45^\circ$, а $\varphi_{м.ч.} = -45^\circ$. Такое значение угла максимальной чувствительности имеют реле типов РБМ-271/1 и РБМ-271/2.

Реле типов РБМ-171 и РБМ-271 содержатся в комплектах защит от междуфазных к. з., где они используются в качестве органа направления мощности.

В комплектах защит нулевой последовательности от замыканий на землю в сетях с большим током замыкания на землю используются реле типов РБМ-177, РБМ-178; РБМ-277, РБМ-278. Угловые характеристики этих реле вследствие изменения внутренней схемы резко отличаются от характеристик предыдущих типов реле.

Векторная диаграмма представлена на рис. 3-4. Угол φ_u вследствие наличия в цепи обмотки напряжения емкости ($x_C > x_L$) оказывается отрицательным: $\varphi_u = -20^\circ$. Выражение вращающего момента для этих реле:

$$\begin{aligned} M_{bp} &= kI_p U_p \sin \varphi = kI_p U_p \cos (\varphi_p + 110^\circ) = \\ &= kI_p U_p \sin (\varphi_p + 20^\circ). \end{aligned} \quad (3-8)$$

Полярность обмоток данного реле указана заводом так, что положительный момент на реле будет в том

случае, когда поток параллельной обмотки Φ_U оказывается опережающим относительно потока Φ_I . В этом случае знак момента становится положительным и определяется выражением

$$M_{\text{зр}} = +kI_p U_p \sin(\varphi_p + 20^\circ).$$

Следовательно, угол максимальной чувствительности $\varphi_{\text{м.ч.}} = +70^\circ$.

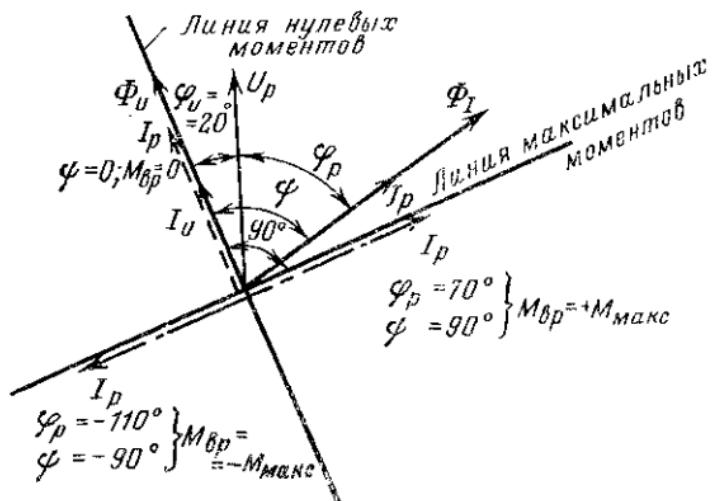


Рис. 3-4. Векторная диаграмма реле направления мощности нулевой последовательности в защите от замыкания на землю в сетях с большим током замыкания на землю.

Проверка электрических характеристик реле направления мощности производится по схеме, представленной на рис. 3-5 [15].

При сборке схемы следует обращать особое внимание на включение реле и фазометра; токи в их обмотках должны совпадать и быть направлены от «начала» обмоток (генераторные зажимы) к «концам» обмоток.

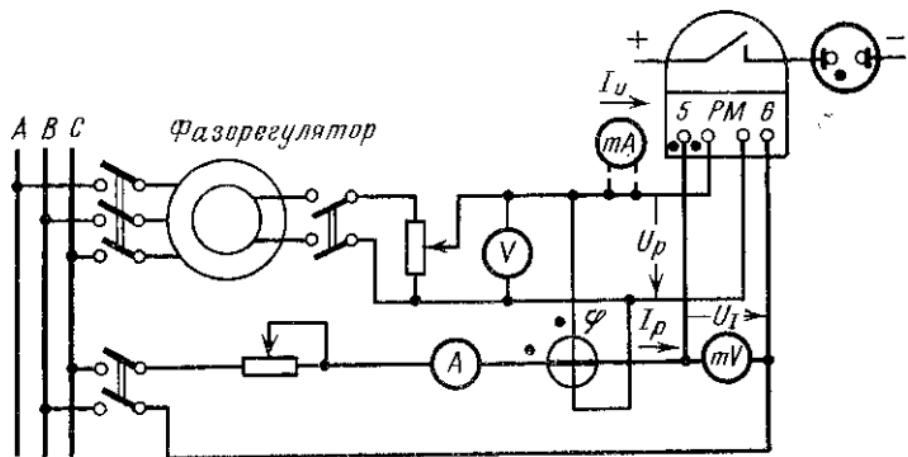
Для проверки отсутствия витковых замыканий в обмотках тока и напряжения следует определить мощность, потребляемую обмотками реле при номинальных данных: обмотки тока при $I_p = 5$ А (1 А), обмотки напряжения — при $U_p = 100$ В:

$$S_U = U_{\text{ном}} I_U; \quad (3-9)$$

$$S_I = I_{\text{ном}} U_I. \quad (3-10)$$

Полученные результаты сравниваются с величинами, указанными в каталоге; расхождение допустимо на 10—12%.

Существенным недостатком рассматриваемой конструкции реле мощности является возможность появления самохода. Самоходом называется возникновение дополнительного вращающего момента, а следовательно, и перемещения подвижной системы реле при наличии пита-



Чис. 3-5. Схема испытания реле направления мощности.

ния только одной обмотки, когда основной вращающий момент отсутствует. Различаются самоход от тока (например, при обрывах цепи напряжения) и самоход от напряжения (например, при отсутствии тока на защищаемой линии). Причиной возникновения дополнительного момента является асимметрия магнитной системы. При идеально выполненнном реле, когда воздушный зазор между всеми полюсами и сердечником на всем участке одинаковый и сердечник расположен точно в центре, магнитная система симметрична — самоход отсутствует. Направление момента, обусловленного самоходом, может быть как в сторону замыкания контактов, так и в сторону размыкания их. В первом случае самоход может привести к ложному действию защиты, например при близком расположении места к. з. на смежном участке, когда $U_p=0$, а знак мощности к. з. — от линии к шинам. Во втором случае вследствие загрубления реле возможен отказ в действии защиты. Самоход у реле должен быть устранен совсем или сведен к минимуму.

Устранение самохода производится поворотом стального сердечника вокруг его оси. Сердечник имеет срез,

с помощью которого можно выравнивать величину магнитного сопротивления, сведя к минимуму асимметрию магнитной системы. Спиральная пружина при этом должна быть полностью ослаблена.

Отсутствие самохода выясняется имитацией указанных выше режимов.

Проверка самохода от тока в комплектах направленных защит от междуфазных к. з. производится при подаче на реле тока, равного максимальному току к. з. при повреждении на смежном участке. Проверка самохода от напряжения должна производиться при подведении к обмотке напряжения 110 В.

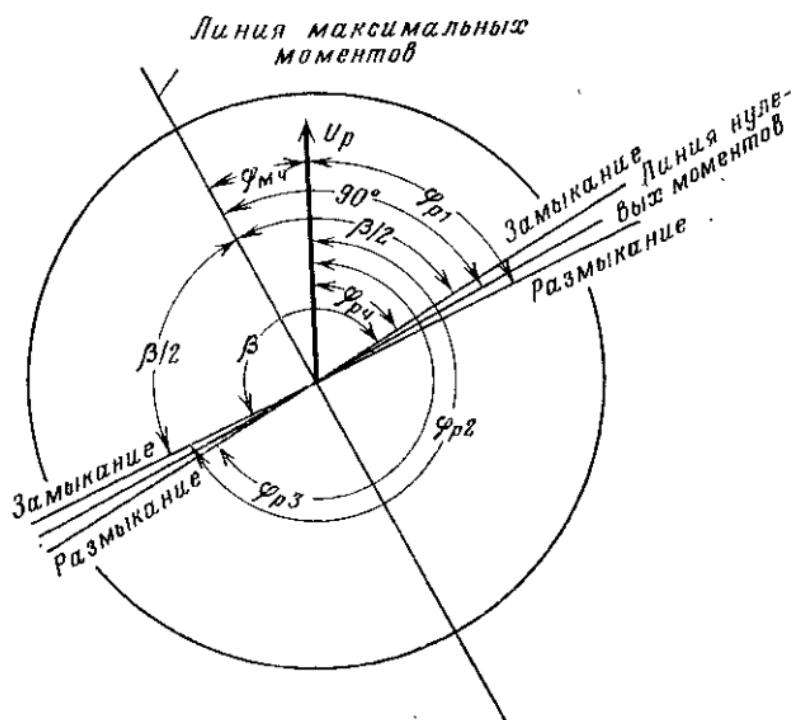


Рис. 3-6. Определение угла максимальной чувствительности $\varphi_{m\cdot\text{ч}}$ графическим путем.

Проверка зоны действия реле, определение угла максимальной чувствительности и проверка однополярных зажимов производятся с использованием схемы на рис. 3-5. Порядок проведения работы следующий:

реле включается на ток и напряжение, соответствующие номинальным данным;

с помощью фазорегулятора изменяют угол сдвига фаз между подведенным к реле током и напряжением в пределах $0-360^\circ$ и $360-0^\circ$. При этом, пользуясь фазо-

метром, фиксируют значения углов, при которых контакты реле замыкаются и размыкаются (Φ_{p1} , Φ_{p2} , Φ_{p3} , Φ_{p4});

принимая за исходный вектор напряжения U_p , производят построение линии нулевых моментов.

Линия максимальных моментов проводится перпендикулярно линии нулевых моментов и совпадает, как видно из рис. 3-6, с направлением биссектрисы угла β , который может быть найден графически или из выражения

$$\beta = 360^\circ - \Phi_{p2} + \Phi_{p4}.$$

Угол $\Phi_{m\cdot\varphi}$, определяющий направление линии максимальных моментов, вычисляется:

$$\Phi_{m\cdot\varphi} = \frac{\beta}{2} - \Phi_{p4}.$$

Полученная угловая характеристика должна совпадать с характеристикой, указанной заводом для этого типа реле. При совпадении характеристик или отклонениях не более чем на $\pm 5^\circ$ характеристика считается удовлетворительной и маркировка однополярных зажимов реле правильной.

При проверке реле следует определить его мощность срабатывания S_{cp} , В·А. Наиболее удобно производить измерения при номинальном токе в обмотке тока ($I_p = I_{nom}$) и при угле максимальной чувствительности $\Phi_p = \Phi_{m\cdot\varphi}$:

$$S_{cp} = I_{nom} U_{min}, \quad (3-11)$$

где U_{min} — минимальное напряжение, подводимое к реле, при котором реле срабатывает. Коэффициент возврата реле определяется выражением

$$k_v = S_v / S_{cp}, \quad (3-12)$$

где $S_v = I_{nom} U_{max}$ (U_{max} — максимальное напряжение, подводимое к реле, при котором происходит возврат реле из сработавшего состояния).

При недостаточном зазоре между подвижными и неподвижными контактами реле может кратковременно замкнуть контакты вследствие отброса подвижной системы при подаче и сбросе обратной мощности. Если такое явление может вызвать ложное действие защиты, то необходимо устранить его путем регулировки контактной системы.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с конструкцией проверяемого реле мощности; списать паспортные данные реле.

2. Подобрать аппаратуру для проверки электрических характеристик реле. Собрать схему, приведенную на рис. 3-5.

3. Измерить мощность, потребляемую обмотками реле при номинальных данных; сравнить полученные результаты с величинами, указанными в каталоге.

4. Проверить наличие у реле самохода от тока (при значении тока, указанном преподавателем) и напряжения (при $U_p = 110$ В).

5. Установить в цепи $I_p = I_{\text{ном}}$ и $U_p = U_{\text{ном}}$; определить зону действия реле и внутренний угол.

По данным опыта построить угловую характеристику реле, указав на ней зону работы реле, зону недействия, линию максимальных моментов, линию изменения знака мощности и угол максимальной чувствительности.

Определить отклонение полученного значения угла $\Phi_{\text{м.ч}}$ от значения, указанного заводом.

6. Проверить состояние контактов реле при условиях: $I_p = I_{\text{ном}}$; $U_p = U_{\text{ном}}$; $\Phi_p = \Phi_{\text{м.ч}}$. По состоянию контактов, учитывая тип реле, убедиться, что маркировка однополарных зажимов выполнена правильно.

7. Определить мощность срабатывания реле, для чего при $I_p = I_{\text{ном}}$ и $\Phi_p = \Phi_{\text{м.ч}}$, плавно увеличивая напряжение, подводимое к реле, зафиксировать значение минимального напряжения, при котором реле замыкает контакты. Уменьшая напряжение, определить мощность, при которой контакты реле размыкаются. По данным опыта определить коэффициент возврата реле k_v .

8. Составить протокол проверки реле по следующей форме [15].

ПРОТОКОЛ

проверки реле мощности

1. Тип реле _____ 2. Заводской номер _____

3. Потребление:

цель тока при номинальном токе _____ А _____ В·А, цель напряжения при номинальном напряжении _____ В

_____ В·А. 4. Самоход проверен при токе _____ А при напряжении _____ В.

5. Зона действия реле снималась при токе ____ А и напряжении ____ В.

При $\varphi_p = 0 - 360^\circ$ контакты реле разомкнулись при $\varphi_{p1} = \text{_____}^\circ$ и замкнулись при $\varphi_{p2} = \text{_____}$.

При изменении угла от 360° до 0 контакты реле разомкнулись при $\varphi_{p3} = \text{_____}$ и замкнулись при $\varphi_{p4} = \text{_____}$. Угол $\beta = 360^\circ - \varphi_{p2} + \varphi_{p4} = 360 - \text{____} + \text{____} = \text{____}^\circ$.

6. Угол $\varphi_{\text{м.ч}} = \frac{\beta}{2} - \varphi_{p4} = \text{____}$. Отклонение угла $\varphi_{\text{м.ч}}$ от заводских данных ____ $^\circ$. При токе $I_p = I_{\text{ном}}$, напряжении $U_p = U_{\text{ном}}$, $\varphi_p = \varphi_{\text{м.ч}}$ контакты реле ____.

7. Мощность срабатывания реле ____ В·А при токе ____ А, напряжении ____ В и угле $\varphi_p = \text{____}$. Коэффициент возврата ____.

Указания к проведению работы. 1. При регулировании угла между током и напряжением при помощи фазорегулятора и измерении этого угла фазометром, имеющим переключатель квадрантов для отсчета углов, целесообразно использовать круговую шкалу фазорегулятора, заранее проградуировав ее и установив «нуль» отсчета.

2. Проверить правильность проведенных измерений и определения угла $\varphi_{\text{м.ч}}$ двумя методами:

а) Непосредственным измерением падений напряжений на элементах цепи напряжения и графического построения, показанного на рис. 3-7 (метод предложен инж. А. М. Авербухом), дающего возможность определения угла φ_U и $\varphi_{\text{м.ч}} = \varphi_U - 90^\circ$ (см. рис. 3-3, 3-4).

Так, например, для реле типа РБМ-172 следует провести измерение трех напряжений:

на самой обмотке реле U_1 ;

на добавочном резисторе, вмонтированном под кожух U_2 (при использовании R_1 — вывод 7) или U_3 (при использовании $R_1 + R_2$ — вывод 1);

на всей цепи напряжения U_p или U'_p . На диаграмме, приведенной на рис. 3-7, б, вектор напряжения U_2 проводится совпадающим с вектором тока I_U . С помощью циркуля проводятся две дуги: одна с радиусом, равным U_1 , из конца вектора U_2 ; другая радиусом, равным V_p , из начала вектора. Так как $U_p = U_1 + U_2$, точка пересече-

ния двух дуг определит третью вершину треугольника напряжений. Угол, образованный векторами тока I_U и напряжения U_p , представляет собой угол φ_U . В случае подключения реле зажимами 8—7 (по данным каталога) $\varphi_U = +60^\circ$. При подключении выводами 8—1 $\varphi_U = +45^\circ$. Аналогичным образом определяется угол φ_U для реле, имеющего другую схему цепи напряжения, на-

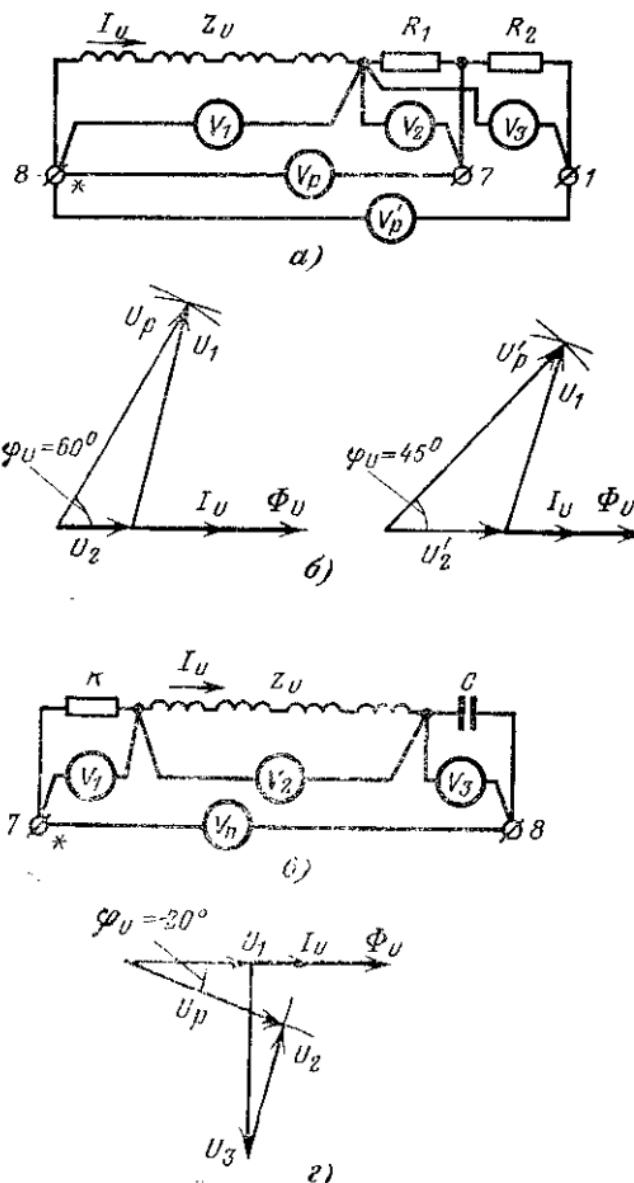


Рис. 3-7. Определение угла φ_U реле мощности.
а—в — измерение напряжения на элементах параллельной цепи реле; а — схема параллельной цепи реле РБМ-172; в — то же для реле РБМ-178; б, г — векторные диаграммы.

пример реле РБМ-178 (рис. 3-7, в, г). В этом случае следует произвести четыре измерения. Так как $U_p = U_1 + U_2 + U'_3$; угол $\varphi_U = -20^\circ$.

б) Путем построения характеристики $U_{cp} = f(\varphi_p)$ при $I_p = I_{nom} = \text{const}$ (по рис. 3-8). Угол максимальной чувствительности будет соответствовать минимальному значению напряжения срабатывания.

3. Измерение мощности, потребляемой обмотками реле, производится по схеме, приведенной на рис. 3-5.

4. Проверку реле типов РБМ-171 и РБМ-271 по п. 5 задания следует выполнить дважды — при использовании одного и двух резисторов, включаемых последовательно с обмоткой напряжения.

Контрольные вопросы. 1. Пользуясь векторными диаграммами токов и напряжений при различных видах к. з., доказать целесообразность применения в комплектах защиты от междуфазных к. з. реле мощности смешанного типа, включенного по 90° -ной схеме.

Принять реле с $M_{bp} = kI_p U_p \cos(\varphi_p + 45^\circ)$.

2. Как, имея реле с характеристикой $M_{bp} = kI_p U_p \cos(\varphi_p + 30^\circ)$, получить реле с характеристикой, близкой к характеристике реле синусного типа?

3. Как следует включить в трехфазную цепь потенциометр и реле, если при отсутствии фазорегулятора необходимо получить угол сдвига между векторами тока I_p и напряжения U_p $\varphi_p = -45^\circ$?

4. Будет ли срабатывать реле мощности при трехфазном к. з. в начале защищаемой линии?

5. Угол максимальной чувствительности реле и способы его регулировки.

6. С какой целью указывается маркировка однополярных выводов обмоток реле?

7. Как будет изменяться врачающий момент реле мощности комплекта защиты от замыканий на землю при удалении точки однофазного к. з. от места установки реле?

3-3. Испытание реле сопротивления. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с реле сопротивления комплекта типа КРС-1 и дистанционной защиты типа ДЗ-2, изготавляемых Чебоксарским электроаппаратным

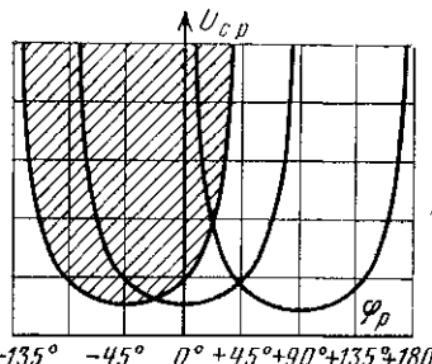


Рис. 3-8. Определение угла Φ_m ч реле мощности по данным характеристики $U_{cp} = f(\varphi_p)$ при $I_p = \text{const}$.

заводом, настройка реле на заданную уставку срабатывания, снятие характеристик реле, выяснение значения тока точной работы реле.

Реле сопротивления реагирует на отношение напряжения U_p к току I_p , подводимых к воспринимающей системе. Реле срабатывает (замыкает контакты), если при данном значении угла φ_p между током и напряжением значение

$$z_p = U_p/I_p < z_{cp}, \quad (3-13)$$

где z_{cp} — некоторая постоянная величина, называемая «сопротивлением срабатывания».

Реле сопротивления выполняется на индукционном или электромагнитном принципах в виде отдельных аппаратов, а также с использованием полупроводниковых элементов в виде комбинированных устройств.

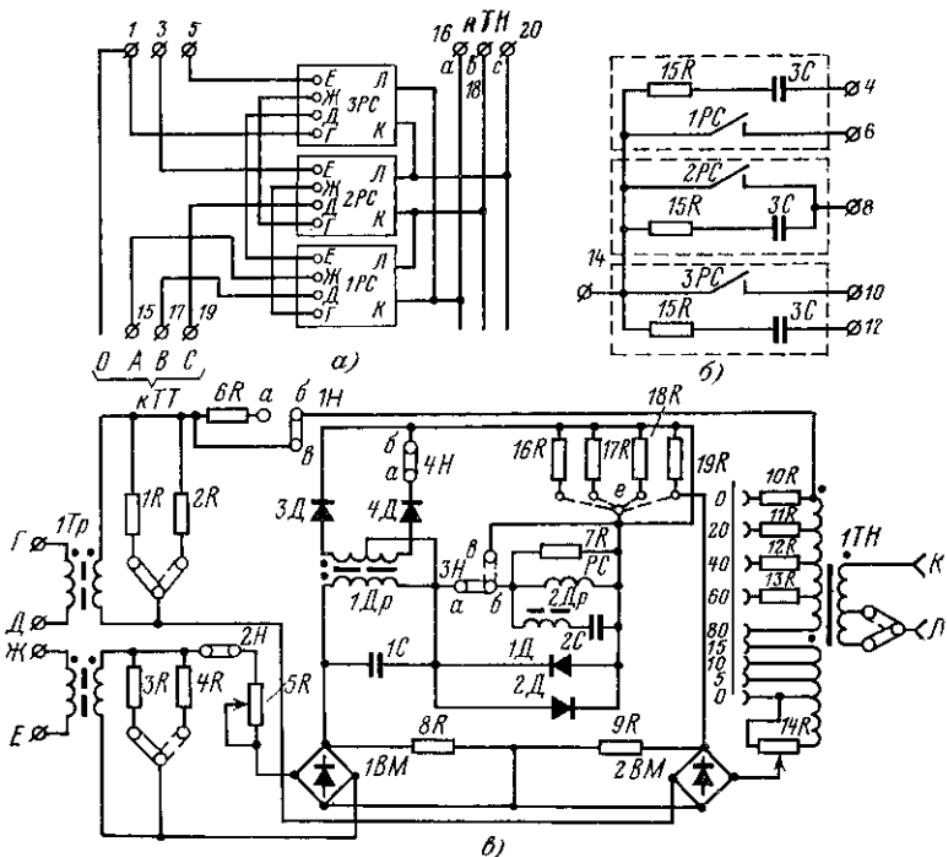


Рис. 3-9. Схема комплекта реле сопротивления типа КПС-1.

а — подключение к трансформаторам тока и напряжения; *б* — выходные цепи ($15R$, $3C$ — элементы искрогасительного контура); *в* — схема внутренних соединений.

Реле сопротивления комплектов типа КРС-1 и защиты типа ДЗ-2 [17, 18] содержат высокочувствительное магнитоэлектрическое реле типа М-237/054 с током срабатывания 6—10 мА, включенное на разность двух выпрямленных напряжений: одного рабочего, подаваемого от трансреактора ITP через выпрямительный мост $1BM$ (рис. 3-9,*в*):

$$|\dot{U}_{\text{раб}}| = |\dot{k}_I \dot{I}_p|, \quad (3-14)$$

другого — тормозного, подаваемого от трансформатора напряжения ITH и второй обмотки того же трансреактора ITP через выпрямительный мост $2BM$:

$$|\dot{U}_{\text{торм}}| = |k_U \dot{U}_p| - |\dot{k}_I \dot{I}_p|. \quad (3-15)$$

В выражениях (3-14) и (3-15) k_U — коэффициент трансформации трансформатора ITH ; \dot{k}_I — коэффициент, численно равный величине э. д. с. на вторичных обмотках трансреактора ITP при токе в 1 А в первичных его обмотках, соединенных последовательно ($\dot{k}_I = -jx_m$, где x_m — сопротивление намагничивания трансреактора).

Характеристики реле, определяющие зону действия, могут иметь вид:

окружности с центром в начале координат на плоскости сопротивления (в осях R, jx ; рис. 3-10,*а*) — ненаправленные реле сопротивления;

окружности, проходящей через начало координат (рис. 3-10,*б*) — направленное реле;

эллиптической (рис. 3-10,*в*) с разной степенью отношения величин малой оси к большой (0,5; 0,65; 0,8);

характеристику, смешенную относительно начала координат (рис. 3-10,*г*).

Последние два типа являются также направленными реле. Для минимальных реле зона действия расположена внутри указанных фигур.

Угол наклона диаметра окружности или большой оси эллипса к оси активных сопротивлений называется углом максимальной чувствительности $\Phi_{\text{м.ч.}}$. При совпадении угла между векторами тока и напряжения, подводимых к устройству с углом $\Phi_{\text{м.ч.}}$, зона действия получается наибольшей, т. е. чувствительность оказывается наивысшей.

Комплекты реле сопротивления типа КРС-1 применяются в дистанционных защитах в качестве пускового

органа. Комплект состоит из трех реле $1PC$, $2PC$, $3PC$, включенных на разность токов двух фаз и на межфазные напряжения этих же фаз (рис. 3-9,*a*). Чаще всего используется угловая характеристика реле в виде окружности, проходящей через начало координат. В этом случае диаметр окружности определяется уставкой (рис. 3-10,*b*) $z_{\text{ср.макс}} = z_{\text{уст}} = 2k_I/k_U$.

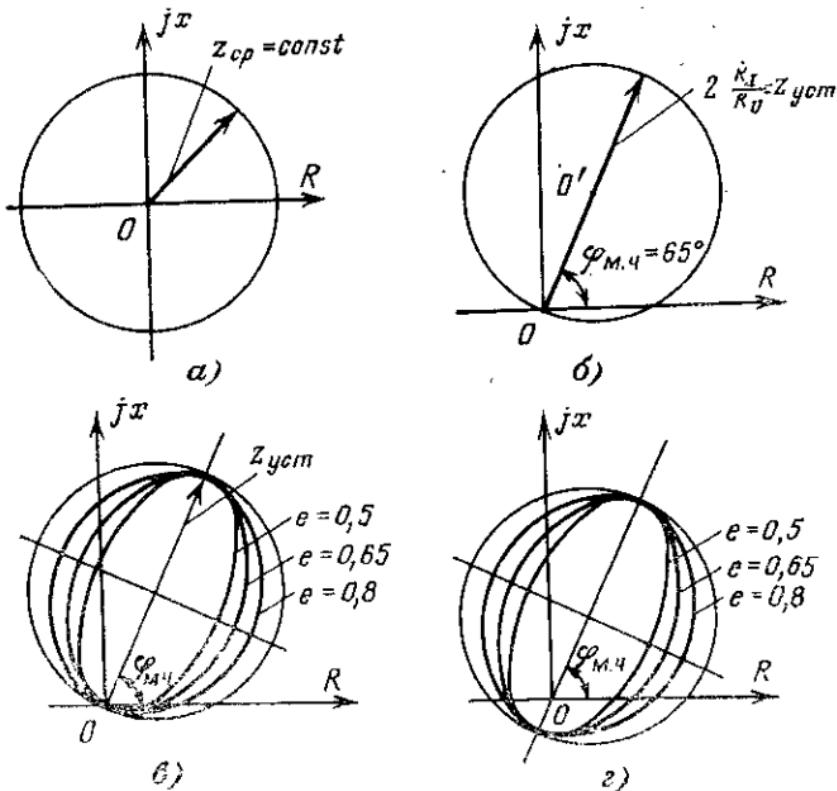


Рис. 3-10. Характеристики срабатывания реле сопротивления.

Для получения такой характеристики накладка $4H$ (рис. 3-9,*b*) должна быть снята. Наклон диаметра относительно оси активных сопротивлений, определяющий $\Phi_{\text{м.ч.}}$, может регулироваться. Подключение различных резисторов ко вторичным обмоткам трансреакторов меняет значение и фазу напряжений, подводимых к выпрямительным мостам. При подключении резисторов $1R$ и $3R$ $\Phi_{\text{м.ч.}} = 65^\circ$; при подключении резисторов $2R$ и $4R$ $\Phi_{\text{м.ч.}} = 80^\circ$.

Регулирование диаметра окружности, т. е. изменение уставки срабатывания при заданном угле максимальной

чувствительности, производят изменением суммарного числа витков двух последовательно включенных вторичных обмоток трансформатора $1T$. Для плавной регулировки предусмотрен потенциометр $14R$. Минимальное значение сопротивления срабатывания реле при $\Phi_p = \Phi_{m\cdot\varphi}$ составляет 1 Ом на фазу. Регулировка в цепях напряжения позволяет получить двадцатикратное увеличение сопротивления срабатывания.

Для избежания перегрузки магнитоэлектрического реле PC параллельно его обмотке включены диоды $1D$ и $2D$. Сопротивление резистора $7R$ в 7—10 раз больше сопротивления обмотки реле PC — этим создаются благоприятные условия для успокоения подвижной системы и плавное перемещение подвижного контакта при срабатывании, т. е. режим критического успокоения рамки реле. Для уменьшения пульсаций в схеме сравнения предусмотрен контур, состоящий из дросселя $1Dr$ и конденсатора $1C$. Контур настроен в резонанс с токами частоты 100 Гц (частота основной гармоники выпрямленного тока в мостовых схемах выпрямления $1BM$ и $2BM$).

Для получения характеристики срабатывания, близкой к эллиптической (рис. 3-10,б), на дросселе $1Dr$ предусмотрена дополнительная обмотка, подключаемая на накладкой $4H$ (положения $a-b$) к обмотке магнитоэлектрического реле. Выпрямленный диодами $3D$ и $4D$ (двухполупериодное выпрямление) ток, пропорциональный переменной составляющей частоты 100 Гц, поступает в обмотку реле PC встречно по отношению к току постоянной составляющей схемы сравнения. Переменная составляющая, таким образом, выполняет торможение реле. Это торможение зависит от угла между током и напряжением, подводимыми к реле — оно равно примерно нулю при угле максимальной чувствительности и максимально при угле между сравниваемыми величинами, равном 90° . Значение тормозного тока, а следовательно, и степень сжатия характеристической окружности (т. е. отношение величин малой и большой осей эллипса — e) регулируется резисторами $16R$ — $19R$.

Для смещения характеристики реле в III квадрант плоскости jx , R в цепи тормозного контура $\dot{U}_{\text{торм}}$ включается резистор $6R$, а накладка $1H$ устанавливается в положение $a-b$.

Для облегчения работы контактов магнитоэлектрического реле параллельно контактам включен искрогаси-

тельный контур $15R$, $3C$ (рис. 3-9,б). Резисторы $8R$ и $9R$ являются балластными нагрузками в органе сравнения. Накладки $2H$, $3H$ и регулируемый резистор $5R$ используются при наладке реле.

Реле сопротивления дистанционного органа защиты ДЗ-2 (рис. 3-11) принципиально выполнено так же, как реле комплекта КРС-1, но имеет несколько отличий.

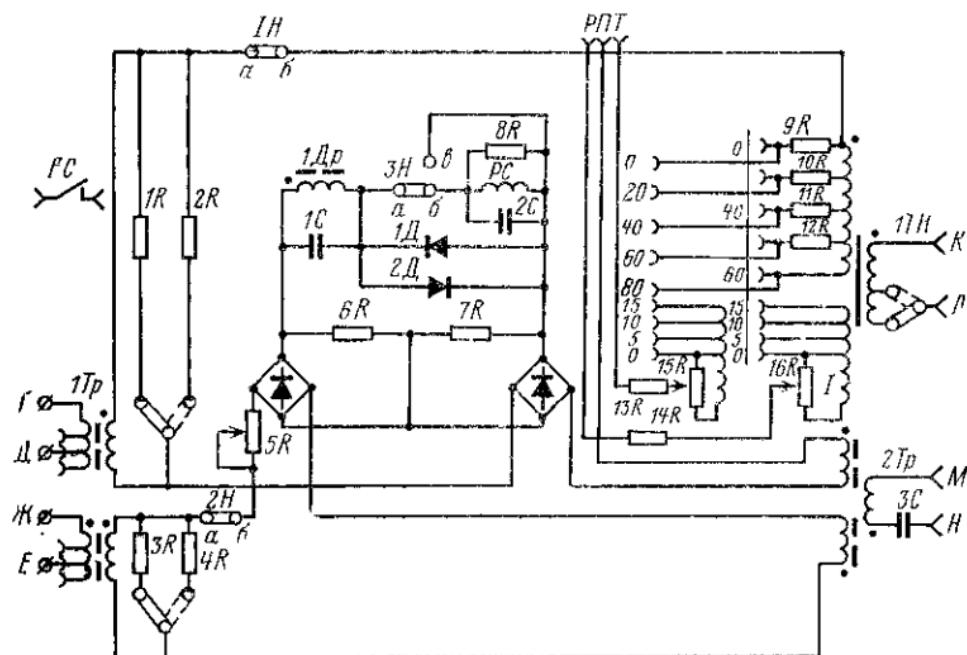


Рис 3-11. Схема дистанционного органа защиты типа ДЗ-2 для одной фазы.

1. Одно реле сопротивления используется для создания двух зон действия защиты при междуфазных к. з. С этой целью предусмотрена вторичная дополнительная обмотка у трансформатора $1TH$, на которой регулируется уставка сопротивления срабатывания II зоны. Переключение уставок с I зоны на II производится вспомогательным промежуточным реле $1P\bar{P}$, контакты которого соединены с выводами реле сопротивления P , Π , T .

2. Регулирование уставки может производиться дополнительно изменением числа витков первичных обмоток трансреакторов. Для этого предусмотрены дополнительные выводы, позволяющие получить минимальные величины сопротивления срабатывания реле $0,25$; $0,5$; 1 Ом на фазу.

3. Для обеспечения правильной работы реле при близких к. з. предусмотрен контур подпитки, состоящий из трансформатора с воздушным зазором $2Tr$ и конденсатора $3C$. Первичная обмотка трансформатора и конденсатор образуют резонансный контур, настроенный на частоту 50 Гц. Цепь напряжения реле, включенного междуфазное напряжение (например, на напряжение

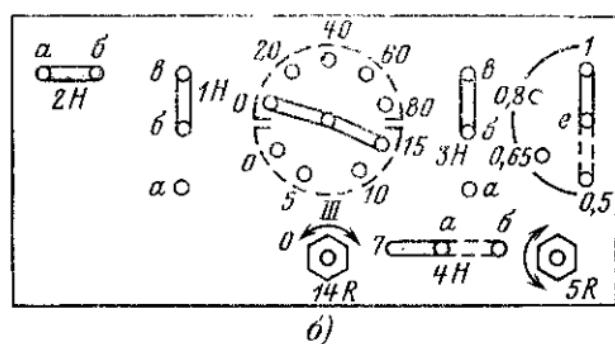
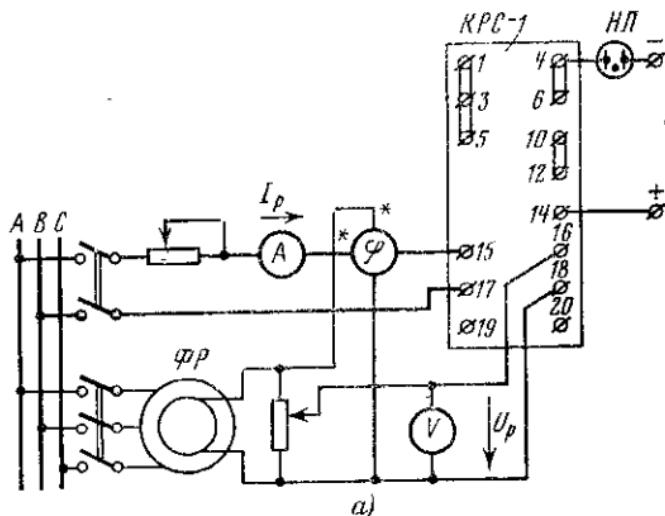


Рис. 3-12. Испытание реле сопротивления комплекта КРС-1.

a — схема проверки реле сопротивления фазы *A*;
b — плата регулировки реле на уставку срабатывания.

U_{AB}), подпитывается фазным напряжением третьей фазы (напряжением U_{C0}), обеспечивающим совпадение по фазе э. д. с. подпитки с междуфазным напряжением, подводимым к обмотке $1TH$, что исключает мертвую зону при двухфазных к. з. При трехфазном к. з. в начале зоны работы реле обеспечивается указанным контуром, работающим некоторое время «по памяти».

Основными электрическими характеристиками реле сопротивления, снимаемыми при испытаниях, являются:
угловая характеристика $z_{cp} = f(\varphi_p)$;
характеристика $z_{cp} = f(I_p)$.

При проверке одного реле сопротивления комплекта КРС-1 обе характеристики могут быть получены при включении аппаратуры по схеме, приведенной на рис. 3-12, а.

Угловая характеристика $z_{cp} = f(\varphi_p)$ снимается при токе в токовой цепи, равном номинальному. Значение сопротивления срабатывания при заданном токе определяется по значению напряжения, фиксируемому в тот момент, когда при плавном снижении подводимого напряжения контакты реле замыкаются и включают сигнальную лампу. Схема испытания, приведенная на рис. 3-12, а, соответствует режиму двухфазного к. з. При такой схеме с учетом включения обмоток вспомогательных

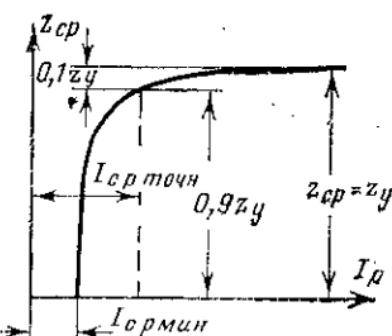


Рис. 3-13. Характеристика реле $z_{cp} = f(I_p)$.

устройств и элементов реле сопротивление срабатывания, Ом на фазу, определяется по выражению

$$z_{cp} = U_{cp}/2I_p.$$

Характеристика реле $z_{cp} = f(I_p)$ снимается аналогично при $\varphi_p = \varphi_{м.ч}$ и представлена на рис. 3-13. При малых значениях тока I_p значение сопротивления срабатывания резко снижается по сравнению с уставкой $z_{уст}$, что приводит к сокращению защищаемой зоны. Для надежности действия защиты необходимо, чтобы $z_{cp} \approx z_{уст}$. Отклонение значения сопротивления срабатывания z_{cp} от уставки, %,

$$\Delta z_{\max} = \frac{z_{уст} - z_{cp}}{z_{уст}} \cdot 100. \quad (3-16)$$

Максимальное отклонение не должно быть больше 10%.

Ток I_p , при котором погрешность реле сопротивления, обусловленная конструктивными особенностями выполнения, составляет 10%, называется «током точной работы» $I_{p.точн}$, а выражение $I_{p.точн}z_{уст} = U_{p.точн}$ называется «напряжением точной работы» реле.

Кривая $z_{\text{ср}}=f(I_p)$ строится по данным, полученным с учетом действительного диапазона токов в цепи реле, установленного для защиты конкретной линии электропередачи. Значение тока точной работы зависит от уставки на трансреакторах. С увеличением уставки ток точной работы уменьшается. Это следует учитывать при выборе отпайки, если ток точной работы реле соизмерим с током реле при к. з. в конце защищаемой зоны.

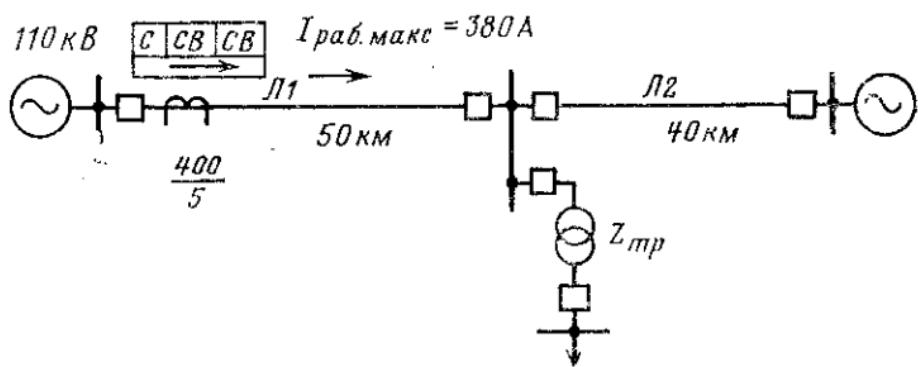


Рис. 3-14. Схема сети.

Расчет уставок срабатывания реле сопротивления производится в соответствии с [1, 19].

Ниже дан пример расчета уставок трехступенчатой дистанционной защиты линии 110 кВ, использующей комплекты защиты ДЗ-2 (первая и вторая ступени) и КРС-1 (третья ступень) — панель защиты ЭПЗ-1636. Исходные данные указаны на рис. 3-14.

1. Производится выбор сопротивления срабатывания дистанционного органа первой и второй ступеней защиты. Коэффициент токораспределения в примере принят равным 1. Рассмотрен случай, когда сопротивление трансформатора промежуточной подстанции $z_{\text{тр}}$ больше сопротивления смежной линии ($z_{\text{тр}} > z_{\text{л2}}$). Если удельное сопротивление линии $z_1 = 0,45 \text{ Ом/км}$, то значения первичных сопротивлений срабатывания для первой зоны

$$z_{\text{срI}} = k_h z_1 l_{\text{л1}} = 0,85 \cdot 0,45 \cdot 50 = 19,1 \text{ Ом};$$

для второй зоны

$$z_{\text{срII}} = z_1 (k_h l_{\text{л1}} + k_u l_{\text{л2}}) = 0,45 (0,85 \cdot 50 + 0,64 \cdot 40) = 30,7 \text{ Ом}.$$

2. Пересчитываются сопротивления срабатывания на вторичные величины с учетом коэффициентов трансфор-

мации трансформаторов тока n_T и трансформаторов напряжения n_H :

$$z_{\text{ср.Р}} = z_{\text{ср}} n_T / n_H;$$

$$z_{\text{ср.РI}} = 19,1 \frac{400 \cdot 100}{5 \cdot 110 \cdot 000} = 1,39 \text{ Ом};$$

$$z_{\text{ср.РII}} = 30,7 \frac{400 \cdot 100}{5 \cdot 110 \cdot 000} = 2,17 \text{ Ом.}$$

3. Принимается ближайшее значение $z_{\text{уст.мин}}$ на трансреакторах дистанционного органа защиты ДЗ-2, равное 1 Ом.

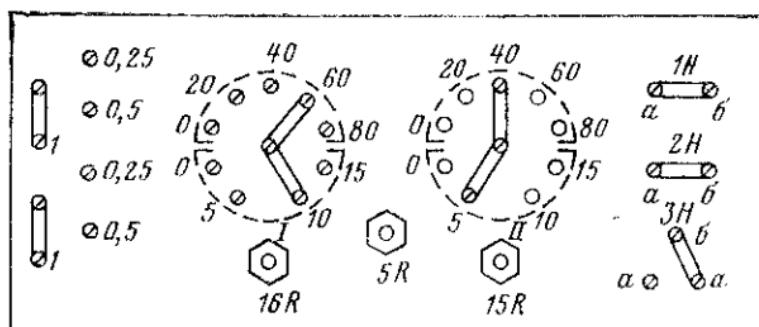


Рис. 3-15. Плата регулировки уставок дистанционного органа защиты ДЗ-2.

4. Определяется процентное отношение включаемых вторичных витков регулировочного трансформатора:

$$N_I = \frac{z_{\text{уст.мин}}}{z_{\text{ср.РI}}} \cdot 100 = \frac{1}{1,39} \cdot 100 = 72\%;$$

$$N_{II} = \frac{z_{\text{уст.мин}}}{z_{\text{ср.РII}}} = \frac{1}{2,17} \cdot 100 = 46\%.$$

5. На плате регулировки уставок дистанционного органа (рис. 3-15) накладки устанавливаются:

для трансреакторов на цифру 1;

для регулировочного трансформатора напряжения первой зоны на цифры 60, 10;

для регулировочного трансформатора напряжения второй зоны на цифры 40, 5.

Дальнейшая регулировка уставок срабатывания до требуемых значений производится потенциометрами 15R и 16R.

6. Производится выбор сопротивления срабатывания пускового органа, т. е. III ступени защиты (комплект КРС-1 — см. рис. 3-12):

$$z_{\text{ср.п.о}} = \frac{1}{k_h k_b k_{c,z}} \frac{U_{\text{раб.мин}}}{\sqrt{3} I_{\text{раб.макс}} \cos(\varphi_d - \varphi_{\text{нагр}})};$$

$$z_{\text{ср.п.о}} = \frac{1}{1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,5} \cdot \frac{0,9 \cdot 110\,000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cos(-39^\circ)} = 98 \text{ Ом.}$$

Здесь в соответствии с [19] приняты: $k_h = 1,1$ — коэффициент надежности; $k_b = 1,2$ — коэффициент возврата; $k_{c,z} = 1,5$ — коэффициент, учитывающий возрастание тока при самозапуске двигателей после успешного автоматического повторного включения линии электропередачи.

7. Пересчитывается сопротивление срабатывания пусковых реле на вторичные величины (с учетом n_t и n_b):

$$z_{\text{ср.п.о}} = 98 \frac{1400 \cdot 100}{5 \cdot 110\,000} = 7,1 \text{ Ом.}$$

8. Находится процентное отношение используемых вторичных витков на регулировочных трансформаторах напряжения комплекта КРС-1. Учитывается, что для этих реле $z_{\text{ср.мин}} = 1 \text{ Ом}$:

$$N_{\text{п.о}} = \frac{1}{7,1} 100 = 14\%.$$

На плате регулировки уставок накладки устанавливаются в положение 0 и 15 (рис. 3-12,б).

Задание на работу. 1. Ознакомиться с конструкцией реле сопротивления. Списать паспортные данные и начертить схему внутренних соединений.

2. Для заданной преподавателем сети произвести расчет уставок трехступенчатой дистанционной защиты.

3. Подготовить схему для проверки одного из реле сопротивления, входящего в устройство дистанционной защиты. Испытуемое реле указывается преподавателем. Для опыта:

собирается схема испытания в соответствии с рис. 3-12,а (при испытании реле фазы A комплекта КРС-1) или рис. 3-16 (при испытании реле фазы A комплекта ДЗ-2);

производится расчет отпаек трансформаторов и трансреакторов, которыми определяется требуемое значение уставок срабатывания;

устанавливаются на плате регулировок все перемычки и накладки в положения, соответствующие расчетным значениям и заданным характеристикам.

4. Снять угловую характеристику $z_{ср.p} = f(\varphi_p)$. Результаты измерений занести в табл. 3-1.

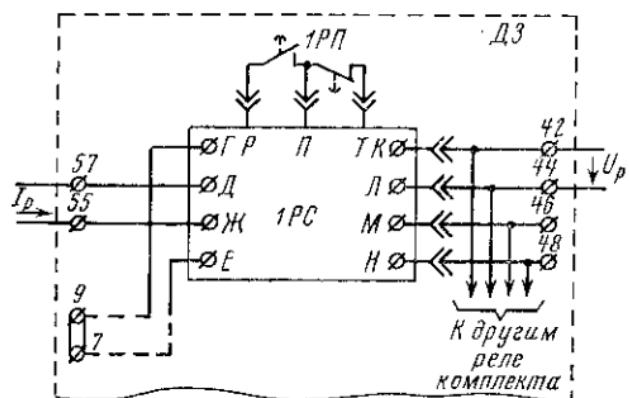


Рис. 3-16. Схема испытания реле сопротивления фазы A комплекта $DZ-2$.

5. По результатам испытания построить характеристику реле и определить угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч.}$

6. Снять зависимость $z_{ср.p} = f(I_p)$. Результаты занести в табл. 3-2. Опыт производить при $\varphi_p = \varphi_{м.ч.}$

Таблица 3-1

Реле сопротивления фазы — комплекта

Расчетное значение $z_{ср.p}$, Ом

Уставки	на трансреакторе IT_p
	на трансформаторе IT_{II}

$I_{ном}$, А

$\varphi_p^{\circ}, \dots \dots \dots$	0	15	30	60	80	90	120	150
$U_{ср}$, В								
$z_{ср.p}$, Ом								

Таблица 3-2

$t_{\text{p}, \text{A}}$	.....	.....	.....	.....	.....
$t_{\text{ep}, \text{B}}$	.....	.....	.....	.....	.....
$\tau_{\text{ep}, \text{OM}}$	.....	.....	.....	.....	.....

7. Произвести построение характеристики $z_{cp,p} = f(I_p)$.
(Определить значение «тока точной работы».

8. По усмотрению преподавателя повторить опыты по определению тока точной работы и снятию угловой характеристики:

для реле сопротивления комплекта КРС-1 при изменении положения накладок с целью получения эллиптической или круговой смещенной характеристики;

при изменении положения контактов промежуточного реле *IPR* (рис. 3-16).

Указания к выполнению работы. 1. Снятие угловой характеристики производится при номинальном токе $I_p = I_{\text{ном}} = \text{const}$ для значений углов, указанных в таблице. С целью более точного построения характеристики и определения угла максимальной чувствительности для реле сопротивления с эллиптической характеристикой интервал изменения угла ϕ желательно принимать в 15° .

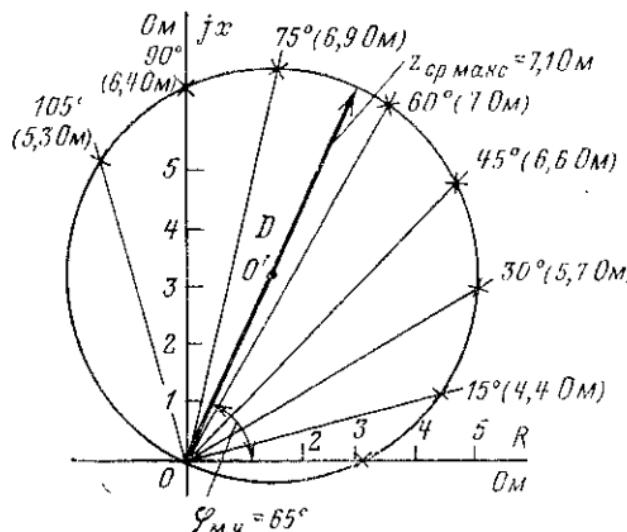


Рис. 3-17. Построение характеристики $z_{cp} = f(\varphi_p)$.

2. Последовательность построения характеристики: значение $z_{ср,р}$ при угле $\phi_p=0$ откладывается на оси R (рис. 3-17). Из начала координат проводят вспомогательные прямые под углами 15° , 30° и т. д. На этих прямых откладываются значения $z_{ср}$, полученные соответственно при данных углах. Значение $z_{ср,макс}$ представляет для направленного реле сопротивления с круговой характеристикой, проходящей через начало координат, диаметр D , а для направленного реле с эллиптической характеристикой — большую ось. Разделив диаметр пополам, определяют центр характеристической окружности или центр эллипса.

3. Снятие характеристики $z_{ср}=f(I_p)$ производится для значения токов, указываемых преподавателем.

4. При проверке реле сопротивления защиты ДЗ-2 следует предварительно ознакомиться с принципиальной схемой и описанием защиты.

5. На рис. 3-16 зажимы G и E соединены накладкой 7—9 через цепи других реле защиты.

6. Положение накладок в цепях реле комплекта КРС-1 в зависимости от требуемой характеристики должно соответствовать указаниям табл. 3-3.

Таблица 3-3
Положение накладок в цепях комплекта КРС-1

Накладка	Характеристика			
	круговая		эллиптическая	
	без смешения	со смешением	без смешения	со смешением
1Н	бв	аб	бв	аб
2Н	аб	аб	аб	аб
3Н	аб	аб	аб	аб
4Н	Разомкнута	Разомкнута	аб	аб
е	1	1	0,5 или 0,65 или 0,8	0,5 или 0,65 или 0,8

Контрольные вопросы. 1. Способы регулирования сопротивления срабатывания реле комплектов КРС-1 и ДЗ-2.

2. Отличие реле сопротивления направленного действия от ненаправленного. Области применения направленных реле сопротивления.

3. Ток точной работы реле сопротивления и его определение.

4. Назначение трансреакторов и трансформаторов в цепях тока и напряжения реле сопротивления типа КРС-1.

5. Получение круговой и эллиптической характеристики в реле КРС-1.

6. Доказать, что при проверке реле по схеме, приведенной на рис. 3-12,б, сопротивление срабатывания должно определяться выражением

$$z_{\text{ср}} = U_{\text{ср}} / 2I_p.$$

7. Реле сопротивления КРС-1 и ДЗ-2 включаются на разность токов и разность напряжений одноименных фаз. Показать, что при таком включении при междуфазных к. з. «измерение» сопротивления комплекта в целом не зависит от того, произошло двух- или трехфазное к. з.

8. Способ устранения мертвых зон при двух- и трехфазных к. з. вблизи места установки защиты, примененной в защите ДЗ-2.

9. На выходе схемы сравнения в комплектах КРС-1 и ДЗ-2 установлено магнитоэлектрическое реле большой чувствительности. Обоснуйте назначение и смысл установки такого реле.

10. Обоснуйте применение эллиптической характеристики у пускового органа (резервной ступени) дистанционной защиты.

11. Комплект защиты ДЗ-2 используется для первой и второй ступеней дистанционной защиты линий от междуфазных к. з. В дистанционном органе этого комплекта не предусмотрена возможность получения эллиптической характеристики. Обоснуйте такое решение.

3-4. Испытание дифференциальных реле с быстронасыщающимся трансформатором. Лабораторная работа

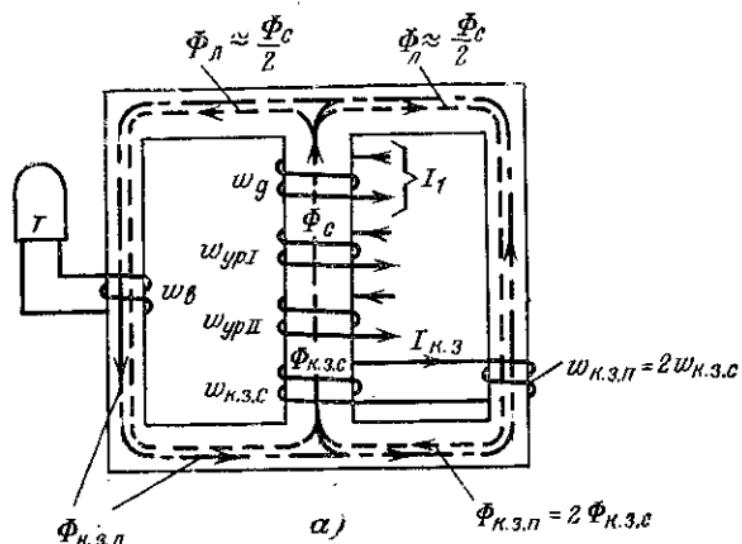
Цель работы — ознакомление с устройством реле дифференциально-токовой защиты с быстронасыщающимся трансформатором, способами регулирования тока срабатывания и методами проверки основных электрических характеристик.

Дифференциальные реле с быстронасыщающимся трансформатором типов РНТ-565, РНТ-566, РНТ-567, изготавливаемые Чебоксарским электроаппаратным заводом, предназначаются для использования в схемах дифференциальных токовых защит двух- и многообмоточных трансформаторов, автотрансформаторов и сборных шин. Реле представляют собой комплектные устройства, состоящие из промежуточного быстронасыщающегося трансформатора (БНТ), со вторичной обмотке которого подключается исполнительное реле типа РТ-40/0,2 [1, 20].

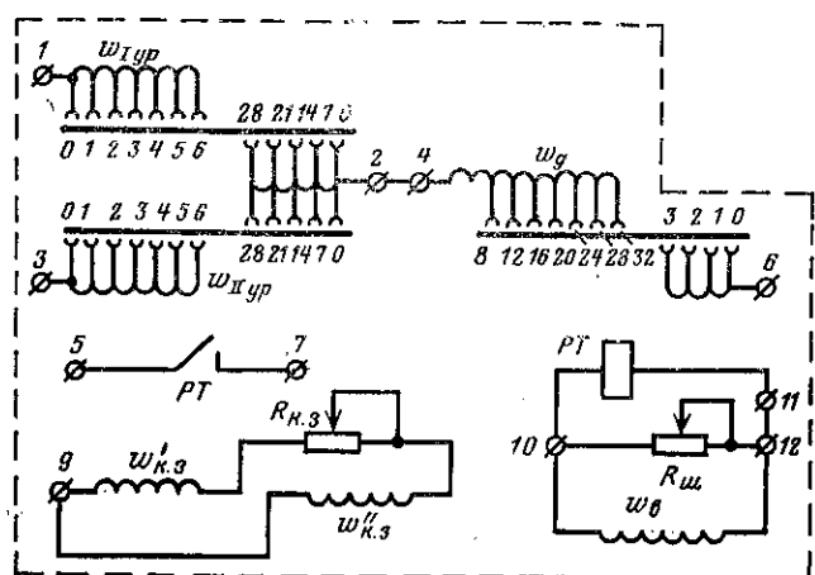
Принципиальная схема устройства реле РНТ-565 показана на рис. 3-18,а, б. Магнитная система быстронасыщающегося трансформатора БНТ выполнена трехстержневой. На среднем стержне расположены первичные обмотки — дифференциальная w_d и две уравнительные: $w_{\text{ур I}}$ и $w_{\text{ур II}}$. Здесь же расположена первая секция короткозамкнутой обмотки $w_{\text{к.з.с.}}$; на крайних стержнях раз-

мешены: вторичная рабочая обмотка w_b — на левом и вторая секция короткозамкнутой обмотки $w_{K.Z.P}$ — на правом.

Рабочая и уравнительные обмотки имеют ответвления и секционированы. Изменение числа витков (через один) можно производить при помощи регулировочных винтов, устанавливаемых в штепсельные гнезда. Числа,



α)



б)

Рис. 3-18. Реле типа РНТ-565.

а — расположение обмоток на магнитопроводе; *б* — схема внутренних соединений реле,

стоящие у гнезд, соответствуют числу включенных витков. Быстронасыщающийся трансформатор служит для предотвращения срабатывания защиты от бросков намагничающего тока, проходящего по дифференциальной цепи при включении силового трансформатора под напряжение, а также от увеличенных токов небаланса при переходных режимах, обусловленных внешними к. з. со значительной апериодической составляющей тока. В указанных режимах работы последнее приводит к тому, что магнитопровод насыщается, уменьшается сопротивление цепи намагничивания, а следовательно, ухудшается трансформация периодической составляющей тока, так как она замыкается в основном по ветви намагничивания. Короткозамкнутая обмотка ($\omega_{k.z.c}$, $\omega_{k.z.p}$) предусмотрена на магнитопроводе БНТ для лучшей отстройки действия исполнительного органа защиты от переходных режимов, сопровождаемых появлением в дифференциальной цепи апериодической составляющей тока. Степень отстройки, т. е. загрубление действия выходного реле, можно изменять регулированием сопротивления резистора $R_{k.z}$, включенного последовательно в цепь короткозамкнутой обмотки. С уменьшением $R_{k.z}$ увеличивается степень насыщения стали промежуточного трансформатора и надежность отстройки от апериодической составляющей переходных токов, но время действия реле при к. з. в зоне защиты увеличивается на время затухания апериодической составляющей, содержащейся в токе к. з. Характеристика загрубления реле в зависимости от сопротивления $R_{k.z}$ показана на рис. 3-19.

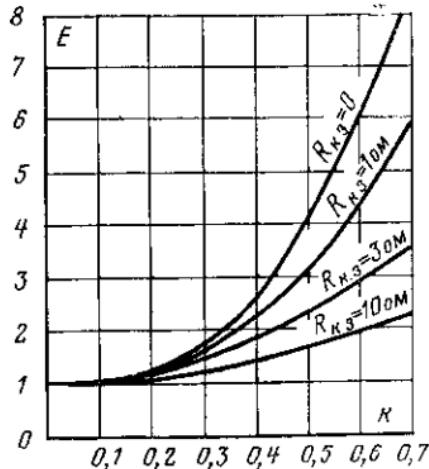


Рис. 3-19. Характеристики загрубления реле РНТ.

Здесь $E = I_{ср.пер}/I_{1ср}$ — коэффициент загрубления реле; $k = I_{пост}/I_{ср.пер}$ — коэффициент смещения.

В этих выражениях

$I_{1ср}$ — ток срабатывания реле при отсутствии постоянной составляющей; $I_{ср.пер}$ — переменная составляющая тока срабатывания при наличии постоянной составляющей; $I_{пост}$ — постоянная составляющая тока в реле.

Уравнительные обмотки реле используются для выравнивания магнитных потоков, обусловленных токами, проходящими в плечах дифференциальной защиты. При защите двухобмоточных трансформаторов обычно используется одна уравнительная обмотка (рис. 3-20), однако в ряде случаев реле может подключаться по-

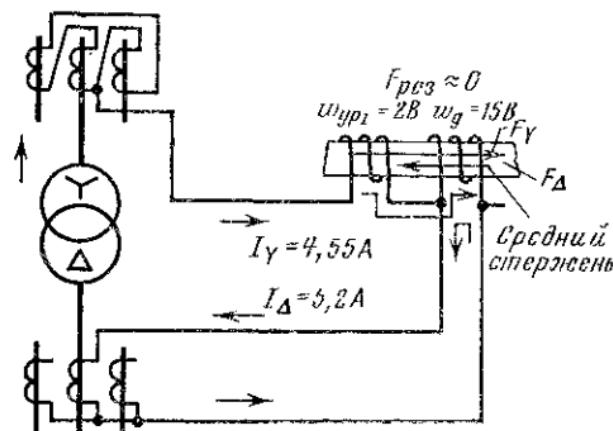


Рис. 3-20. Схема включения обмоток реле типа РНТ-565 при защите двухобмоточного трансформатора.

средством двух уравнительных обмоток. Для изменения диапазона чувствительности защиты при защите трехобмоточных трансформаторов, как правило, используют обе обмотки.

Расчет числа витков производят исходя из условия обеспечения равенства и. с. При защите двухобмоточных трансформаторов для случая, когда используется одна уравнительная обмотка, расчетное выражение имеет вид:

$$I_Y(w_{\text{ypI}} + w_A) = I_A w_A.$$

Здесь I_y , I_Δ — токи в плечах дифференциальной защиты со стороны обмотки силового трансформатора, соединенного в звезду и треугольник ($I_\Delta > I_y$); w_d — число витков дифференциальной обмотки; w_{up1} — число витков уравнительной обмотки.

Для случая, когда используются обе уравнительные обмотки,

$$I_Y(w_{yPI} + w_d) = I_A(w_{yPA} + w_d).$$

При включении реле по схеме, приведенной на рис. 3-20 и указанных на нем значениях вторичных токов, если $w_d = 15$ витков, равенство н. с. будет иметь место при $w_{ypI} = 2$ витка.

В этом случае $4,55 (2 + 15) \approx 5,2 \cdot 15$, т. е. $77,5 A \approx 78 A$ и $F_{rez} \approx 0$.

При включении реле в защите трехобмоточного трансформатора

$$I_b(w_{ypI} + w_d) = I_c(w_{ypII} + w_d) = I_h w_d,$$

где I_b , I_c , I_h — токи в плечах защиты соответственно со сторон высокого, среднего и низкого напряжений ($I_h > I_b$, $I_h > I_c$); w_{ypI} , w_{ypII} — число витков первой и второй уравнительных обмоток.

Регулирование тока срабатывания рассматриваемых реле производится изменением числа витков дифференциальной обмотки. Так как параметры исполнительного элемента не изменяются, значение минимального магнитного потока, при котором реле надежно замыкает контакты, постоянно. Намагничающая сила срабатывания по данным завода для реле типов РНТ-565, РНТ-566, РНТ-567 составляет $F_{cp} = 100 \pm 5 A$. Намагничающая сила срабатывания может быть незначительно изменена с помощью регулируемого резистора R_{sh} , включенного параллельно обмотке исполнительного реле (см. рис. 3-18,б). Ток срабатывания этого реле при синусоидальном токе и нормальной регулировке противодействующей пружины (движок реле установлен на красной черте) равен $0,17 A$, а напряжение на обмотке $3,6 V$.

Вследствие того что $F_{cp} = I_{cp} w_d$, значение тока срабатывания зависит от числа используемых витков дифференциальной обмотки, т. е. $I_{cp} = 100/w_d$.

Значение тока срабатывания при включении только дифференциальной обмотки может изменяться от $I_{cp} = -2,86 A$ (замкнуты гнезда 32, 3) до $I_{cp} = 12,5 A$ (замкнуты гнезда 8, 0).

При включении в дифференциальную цепь последовательно двух обмоток — уравнительной и дифференциальной — ток срабатывания уменьшается ($I_{cp} = 1,45 A$).

Характеристика намагничивания реле представляет собой зависимость напряжения на обмотке исполнительного органа U_p от первичной н. с. $F = I_1 w_{раб}$, $U_p = f(F)$. Эти характеристики снимаются поочередно для каждой

обмотки, число витков которых с целью уменьшения токов желательно выбирать по возможности большим.

Так как насыщение магнитопровода реле РНТ наступает при токах в первичных обмотках промежуточного трансформатора, равных примерно $4,5 - 5I_{cp}$, характери-

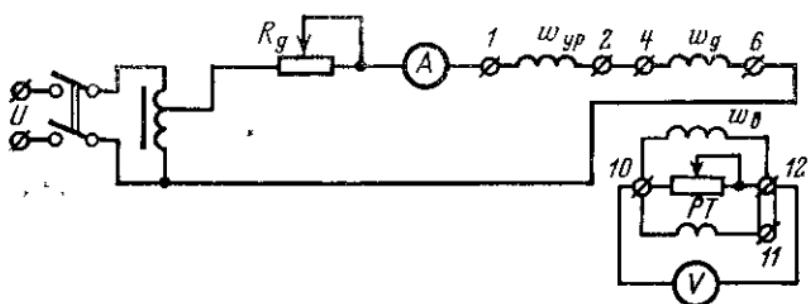


Рис. 3-21. Схема испытания реле типа РНТ-565.

стики снимаются при плавном изменении тока для значений 0,5; 1; 2; 3; 4 и $5I_{cp}$. Схема испытания и примерная кривая намагничивания представлены на рис. 3-21, 3-22.

Правильность настройки исполнительного реле и исправность насыщающегося трансформатора качественно характеризуется коэффициентом надежности k_n . Он представляет собой отношение напряжений (действующих значений) на обмотках исполнительного реле при прохождении по первичной обмотке трансформатора токов, равных $5I_{cp}$ и I_{cp} : $k_n = U_p(5I_{cp}) / U_p(I_{cp})$.

Значение коэффициента надежности не должно быть ниже 1,35.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с устройством дифференциального реле типа РНТ-565, списать паспортные данные и начертить схему внутренних соединений.

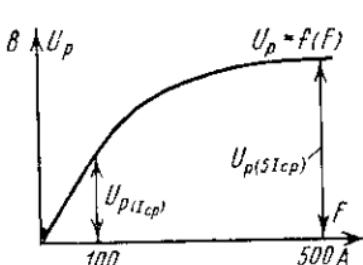


Рис. 3-22. Характеристика реле типа РНТ.

2. Собрать схему для снятия кривой намагничивания (рис. 3-21). Произвести измерения при совместном использовании дифференциальной и уравнительных обмоток.

3. Установить перемычку 11—12; замкнуть гнезда, соответствующие значению $w_{раб} = w_d + w_{yp\ 1} = 50$ виткам.

4. Плавно изменяя ток в цепи от 0 до $5I_{ср}$, записать показания вольтметра для задаваемых значений н. с. Результаты измерений занести в табл. 3-4.

Таблица 3-4

Измеряемые параметры	Намагничивающая сила, А					
	50	100	200	300	400	500
$I_p = \frac{F}{w_{раб}}$, А						
U_p :						
короткозамкнутая обмотка замкнута						
короткозамкнутая обмотка разомкнута						

5. По данным таблицы построить кривую $U_p=f(F)$, определить значение коэффициента надежности реле k_n . При производстве опытов с разомкнутой короткозамкнутой обмоткой один из проводников, связанных с нею, должен быть отсоединен от зажима 9.

6. Проверить н. с. срабатывания при включении в цепь поочередно всех обмоток (дифференциальной и двух уравнительных). Испытания проводятся по схеме на рис. 3-21, но с отключенным вольтметром. Для заданных положений регулировочных винтов, плавно увеличивая ток в цепи, зафиксировать минимальное значение тока, при котором контакты реле надежно замыкаются — это значение тока является током срабатывания; результаты занести в табл. 3-5.

Таблица 3-5

Измеряемые параметры	Положение регулировочных винтов дифференциальной обмотки $w_{уст}$, витки			
Ток срабатывания $I_{ср}$, А				
Н. с. срабатывания $F_{ср}=I_{ср}w_{уст}$, А				

7. По полученным результатам сделать вывод о пригодности реле к установке в эксплуатацию.

Указания к выполнению работы. 1. Проверка электрических характеристик реле РНТ и его настройка должны производиться при прохождении по первичным об-

моткам реле синусоидального тока; это соответствует действительным условиям работы реле в схеме защиты.

При использовании источника синусоидального напряжения (любой трансформатор, подключенный на междуфазное напряжение сети) кривая тока в цепи не будет синусоидальной вследствие насыщения магнитопровода реле РНТ.

Для обеспечения синусоидальной формы кривой тока необходимо последовательно с первичной обмоткой реле предусмотреть включение активного резистора, сопротивление которого значительно превышает полное сопротивление обмотки реле РНТ (не менее чем в 10 раз).

2. Сравнение характеристик намагничивания с целью выяснения исправности реле при последующих проверках может производиться только в случае снятия кривых с помощью однотипных приборов (так как форма кривой напряжения U_p резко отличается от синусоидальной).

3. При снятии кривой намагничивания подвижная система реле закрепляется (заклинивается) в положении, соответствующем разомкнутому состоянию контактов.

4. Сопротивление вольтметра, измеряющего U_p в схеме на рис. 3-21, должно быть не менее 1000 Ом на пределе 3 В.

5. Во избежание перегрева обмоток питание в схеме на рис. 3-21 при выполнении опыта по снятию кривой намагничивания следует подавать кратковременно, только на время отсчета показаний приборов.

6. Характеристика намагничивания (рис. 3-22) при замкнутой цепи короткозамкнутой обмотки должна располагаться несколько ниже, чем при разомкнутой цепи (учесть при выполнении п. 4, 5 задания).

Контрольные вопросы. 1. Каким образом при использовании реле РНТ-565 производится отстройка защиты от бросков намагничивающего тока?

2. С какой целью применяются реле РНТ-565 в схемах дифференциальных защит генераторов?

3. Чем обусловлено некоторое замедление в действии дифференциальной защиты с реле РНТ при к. з. в зоне защиты по сравнению со схемой дифференциальной защиты с токовыми реле без РНТ?

4. Как настроить реле РНТ-565 на заданный ток срабатывания?

5. Назначение уравнительных обмоток в реле РНТ-565.

6. Можно ли в реле РНТ-565 использовать уравнительные обмотки вместо дифференциальной?

7. Ход расчета дифференциальной и уравнительных обмоток дифференциальной защиты двух- и трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов).

8. Причины возникновения тока небаланса в устройствах дифференциальных защит силовых трансформаторов.

9. Допустима ли работа реле РНТ-565 с разомкнутой цепью короткозамкнутой обмотки?

3-5. Испытание дифференциального токового реле с магнитным торможением. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с конструктивными особенностями дифференциального токового реле с магнитным торможением типа ДЗТ-11 Чебоксарского электроаппаратного завода и проверка основных электрических характеристик этого реле.

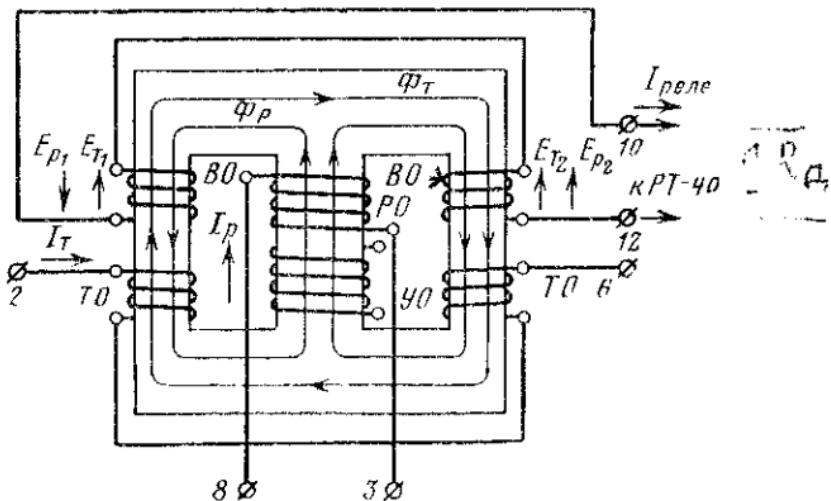


Рис. 3-23. Принципиальная схема промежуточного трансформатора реле типа ДЗТ.

Дифференциальные токовые реле с торможением применяются для повышения чувствительности дифференциальных защит трансформаторов, автотрансформаторов, блоков генератор-трансформатор, шин, т. е. в тех случаях, когда чувствительность дифференциально-токовой защиты обычного выполнения (без торможения) оказывается недостаточной. Реле с магнитным торможением типа ДЗТ-11 содержит промежуточный быстронасыщающийся трехстержневой трансформатор (рис. 3-23) и исполнительный орган в виде электромагнитного реле тока типа РТ-40 [1, 21]. На магнито-

проводе промежуточного трансформатора расположены обмотки:

рабочая (РО) — на среднем стержне, включаемая в дифференциальную цепь защиты;

уравнительные (УО) — для выравнивания магнитных потоков, создаваемых токами в плечах дифференциальной защиты (на рис. 3-23 показана одна уравнительная обмотка);

тормозная (ТО) — состоящая из двух одинаковых секций на крайних стержнях и включаемых в одно плечо дифференциальной защиты;

вторичная (ВО) — из двух секций, питающая исполнительный орган.

Секции тормозной и вторичной обмоток намотаны и соединены между собой так, что э. д. с., индуцированные магнитными потоками тормозной обмотки, компенсируются (действуют встречно), а э. д. с., индуцированные потоком рабочей обмотки, действуют согласно, т. е.

$$I_{pTO} = \frac{E_{T1} - E_{T2}}{z_2} = 0;$$

$$I_{pPO} = \frac{E_{P1} + E_{P2}}{z_2}.$$

Таким образом, во вторичную цепь (в обмотку исполнительного реле) трансформируется только ток, проходящий по рабочей обмотке. Ток, проходящий по тормозной обмотке, обуславливает только подмагничивание крайних стержней магнитопровода для изменения магнитной проницаемости. Степень намагничивания, а следовательно, и условия трансформации тока, проходящего

по рабочей обмотке, определяются н. с., создаваемой током, проходящим по тормозной обмотке.

Принцип магнитного торможения иллюстрируется на рис. 3-24. При нормальном режиме ток, проходящий в плече дифференциальной защиты, мал и, следовательно мала н. с., создаваемая этим током при помощи тормозной обмотки $F_{T(b.p)} = I_{T(b.p)} \cdot \mu$ — трансформатор работает в

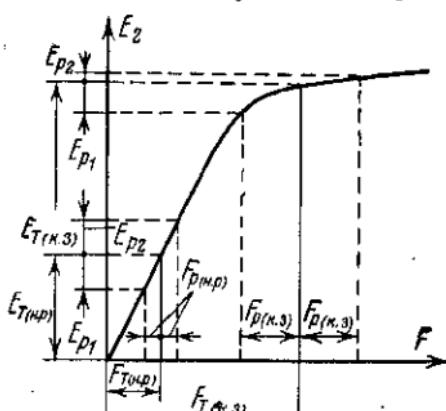


Рис. 3-24. Характеристика $E_2 = f(F)$.

прямолинейной части характеристики намагничивания. Поскольку ток небаланса в этом режиме также мал, э. д. с., индуцированные во вторичной цепи, не будут вызывать срабатывания исполнительного реле. При внешнем к. з. ток в плече дифференциальной защиты возрастает, увеличивается и. с., определяемая тормозной обмоткой $F_{T(k.z)} = I_{k.z} \omega t$, что приводит к насыщению крайних стержней магнитопровода. Магнитное сопротивление резко увеличивается и условия трансформации тока небаланса значительно ухудшаются. Хотя ток небаланса в этом режиме возрастает, исполнительное реле не будет срабатывать — для его действия необходимо протекание значительно большего тока по рабочей обмотке трансформатора. Таким образом, с увеличением тока в тормозной обмотке трансформатора ток, требуемый для срабатывания исполнительного реле, автоматически возрастает — реле загрублется (тормозится).

При отсутствии торможения и нормальной регулировке исполнительного реле и. с., требуемая для его срабатывания, определяется выражением $F_{cr} = 100 \pm 5$ А.

Для достижения соответствия значения тока срабатывания исполнительного реле указанному значению и. с. без изменения затяжки пружины предусмотрен добавочный резистор R_d , включаемый параллельно обмотке исполнительного реле. Отметка местоположения на нем регулировочного движка наносится заводом при фиксированной установке реле в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

При прохождении тока по тормозной обмотке трансформатора и. с., требуемая для срабатывания исполнительного реле, возрастает. Зависимость и. с. срабатывания F_{cr} от и. с., создаваемой током в тормозной обмотке при нормальной (заводской) затяжке пружины исполнительного реле F_{torm} , показана на рис. 3-25 в виде тормозных характеристик $F_{cr} = f(F_{torm})$. Верхняя кривая соответствует условию совпадения по фазе токов

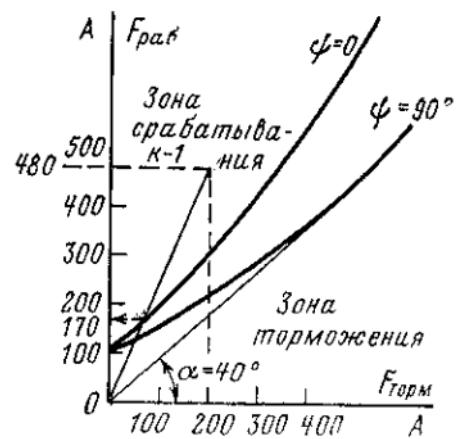


Рис. 3-25. Тормозные характеристики реле типа ДЗТ-11.

в рабочей и тормозной обмотках ($\psi=0$). При $\psi=90^\circ$ эффект торможения сказывается меньше — тормозная характеристика располагается ниже.

Для регулирования тока срабатывания исполнительного реле и компенсации неравенства н. с., создаваемых токами в плечах защиты, рабочая и уравнительные обмотки выполнены с отпайками. Необходимое число вит-

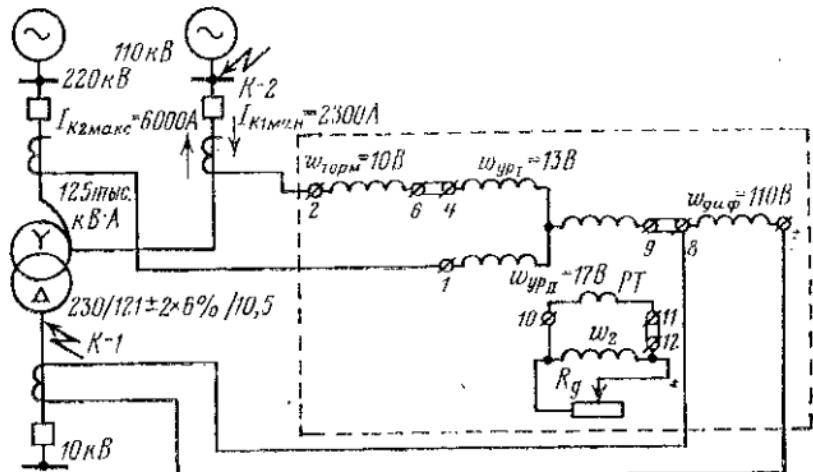


Рис. 3-26. Схема включения обмоток реле типа ДЗТ-11.

ков устанавливают штекерными винтами. Цифры около гнезда указывают число включенных витков. Аналогично включают требуемое число витков тормозной обмотки.

Расчет тока срабатывания и чисел витков дифференциальной, уравнительных и тормозной обмоток производится по [22].

В качестве примера ниже рассмотрен случай применения реле ДЗТ-11 для дифференциальной защиты автотрансформатора 125 тыс. кВ·А. Принципиальная схема включения реле дана для одной фазы (рис. 3-26). Здесь же показаны расчетные точки к. з. Расчеты сведены в табл. 3-6.

Учитывая ограниченность времени, отводимого на проведение лабораторной работы, ниже учащимся предлагается выполнить только часть пунктов, предусматриваемых [21].

Задание на работу. 1. Ознакомиться с конструкцией дифференциального реле с магнитным торможением. Списать паспортные данные реле. Начертить схему внутренних соединений.

Таблица 3-6

Пример расчета дифференциальной токовой защиты с торможением с реле ДЗТ-11 для автотрансформатора 230/121 $\pm 2 \times 6\%$ /10,5 кВ. Мощность обмоток: проходная мощность 125 тыс. кВ·А; обмотка 10,5 кВ — 63 тыс. кВ·А

Величина и расчетное выражение	Напряжение		
	высшее	среднее	низшее
Первичные токи, соответствующие проходной мощности автотрансформатора $I = S_{AT}/\sqrt{3}U$, А	314	600	6900
Выбранные коэффициенты трансформации трансформаторов тока n_t	600/5	1000/5	3000/5*
Схема соединения вторичных обмоток трансформаторов	Треугольник	Треугольник	Звезда
Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие проходной мощности автотрансформатора $I_b = I k_{ex}/n_t$, А	4,54	5,2	11,5
Первичный ток срабатывания защиты, выбранный по условию отстройки от тока намагничивания $I_{cp} = k_h^{**} k_{выг}^{***} I$, А	236	450	5180
Расчетный ток срабатывания реле $I_{cp.p} = I_{cp} k_{ex}/n_t$, А	3,4	3,9	8,7
Расчетное число витков $w_{раб} = 100/I_{cp.p}$	29,4	25,6	11,5
Принятое число витков дифференциальной обмотки (на расчетной стороне с наибольшим вторичным током) $w_{диф}$	—	—	11
Число витков рабочей обмотки на других сторонах $w_{раб} = w_{диф} \times \frac{I_{в.большее}}{I_{в.меньшее}}$	28	24	—
Число витков уравнительных обмоток $w_{ур} = w_{раб} - w_{диф}$	17	13	—
Действительный ток срабатывания: вторичный $I_{cp.p} = 100/w_{раб}$, А первичный $I_{cp} = I_{cp.p} n_t/k_{ex}$, А	3,6 250	4,2 485	9,1 5460

Величина и расчетное выражение	Напряжение		
	высшее	среднее	низовое
Максимальное значение тока небаланса при к. з. в точке K_2 (приведенная к 110 кВ) $I_{\text{я.б макс}} = (k_{\text{одн}} k_{\text{апер}} \times f_I + f_w + \Delta U) I_{\text{к.з. макс}}$, где f_I — погрешность трансформаторов тока; f_w — погрешность из-за нескомпенсированных н. с. в плечах дифференциальной защиты ($f_w=0$); ΔU — погрешность из-за изменения коэффициента трансформации защищаемого трансформатора (автотрансформатора) по отношению к расчетному значению; $k_{\text{одн}}$ — коэффициент однотипности; $k_{\text{апер}}$ — коэффициент апериодичности; ($k_{\text{одн}} k_{\text{апер}} = 1$)	—	1320	—
Расчетное число витков тормозной обмотки, исходя из условия минимального торможения	—	9,7	—
$w_{\text{торм}} = \frac{k_n I_{\text{нб. макс}} (\omega_{\text{диф}} + \omega_{\text{урp}})}{I_{\text{торм}} \operatorname{tg} \alpha^{***}}$	—	10	—
Принятое число витков тормозной обмотки	—	—	—

* Выбран по номинальному току.

** Коэффициент надежности, равный 1,5.

*** Коэффициент выгодности, равный 0,5.

**** Тангенс угла наклона касательной к тормозной характеристике реле при минимальном торможении.

2. Установить с помощью регулировочных винтов требуемое расчетом число витков на всех обмотках промежуточного трансформатора.

3. Произвести проверку токов срабатывания, возврата и коэффициента возврата реле ДЗТ-11, для чего:

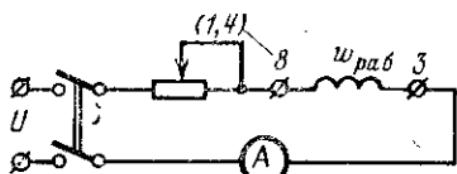


Рис. 3-27. Проверка токов срабатывания реле типа ДЗТ-11.

установить перемычку 11-12 между вторичной обмоткой промежуточного трансформатора и исполнительным реле;

собрать схему на рис. 3-27. Поочередно включая в испытательную цепь обмотки промежуточного трансфор-

матора, увеличивать ток до момента срабатывания исполнительного реле;

дифференциальная обмотка присоединяется зажимами 8—3, дифференциальная и одна из уравнительных обмоток — зажимами 4—3, дифференциальная и вторая уравнительная обмотка — зажимами 1—3.

Результаты измерений занести в табл. 3-7.

Таблица 3-7

Название включаемой обмотки	Число витков	Токи, А		k_B
		$I_{ср}$	I_B	
Дифференциальная (для рассмотренного примера включается к трансформаторам тока со стороны низшего напряжения автотрансформаторов)	11	—	—	—
Дифференциальная и уравнительная первая (для рассмотренного примера включаются к трансформаторам тока со стороны среднего напряжения автотрансформатора)	24	—	—	—
Дифференциальная и уравнительная вторая (для рассмотренного примера включается к трансформаторам тока со стороны высшего напряжения автотрансформатора)	28	—	—	—

4. Сравнить полученные значения токов срабатывания с данными расчета.

5. Давая различные величины тока в тормозную обмотку, определить токи и н. с. срабатывания; по-

Таблица 3-8

$I_{торм}$, А	0	5	10	15	20
$F_{торм} = I_{торм} \omega_{торм}$, А	0	50	100	150	200
$I_{ср}$, А					
$F_{ср} = I_{ср} \omega_{раб}$, А					

строить тормозную характеристику реле; сравнить полученную характеристику $F_{ср} = f(F_{торм})$ с приведенной в каталоге или в информации завода-изготовителя. Результаты измерений занести в табл. 3-8.

Включение реле для снятия тормозной характеристики выполнить в соответствии с рис. 3-28.

6. Для заданного расчетного режима (указывается преподавателем) произвести проверку чувствительности защиты.

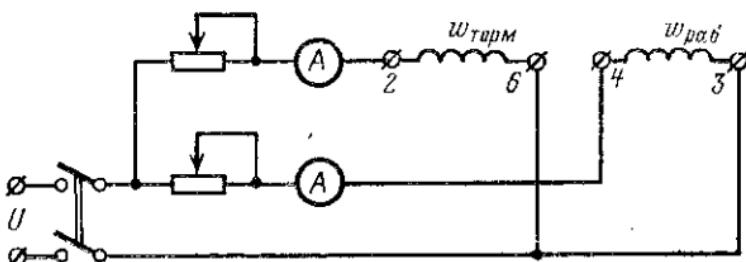


Рис. 3-28. Проверка тормозной характеристики реле типа ДЗТ-11.

Указания к выполнению работы. 1. Полученные в п. 3 задания на работу токи срабатывания не должны отличаться от принятых по расчету значений не более чем на $\pm 7\%$.

2. Полученные значения токов срабатывания (п. 3) должны быть такими, чтобы н. с. срабатывания соответствовали бы 100 ± 5 А. Это характеризует правильность выполнения сердечника и рабочих обмоток промежуточного трансформатора.

3. Полученная в результате испытания тормозная характеристика (п. 5 задания) должна располагаться в зоне, гарантированной заводом-изготовителем. Это указывает на исправное действие реле.

4. Проверка чувствительности выполняется аналогично тому, как это сделано для рассмотренного примера (рис. 3-26) в следующей последовательности:

намечается точка к. з. в зоне защиты, при которой чувствительность будет наименьшей — рассматривается точка K_1 при отключенном выключателе со стороны высшего напряжения: $I_{K_1} = 2300$ А (приведенный к 110 кВ);

определяется н. с. рабочей обмотки

$$F_{\text{раб}} = I_{\text{k.z}} (w_{\text{двф}} + w_{\text{ypI}}) = \frac{2300 \cdot \sqrt{3}}{200} \cdot 24 = 480 \text{ A};$$

определяется н. с. тормозной обмотки

$$F_{\text{торм}} = I_{\text{k.z}} w_{\text{торм}} = \frac{2300 \cdot \sqrt{3}}{200} \cdot 10 = 200 \text{ A};$$

на плоскости $F_{\text{раб}}$, F_t (рис. 3-25) находится точка, соответствующая расчетным значениям, и соединяется с началом координат. Пересечение прямой с тормозной характеристикой (при наибольшем торможении для случая $\psi=0$) определяет н. с. срабатывания $F_{\text{ср}}$ ($F_{\text{ср}} = 170 \text{ A}$);

вычисляется отношение

$$k_\psi = F_{\text{раб}}/F_{\text{ср}} = 480/170 = 2,8.$$

Контрольные вопросы. 1. Область применения дифференциальных токовых защит с торможением.

2. Преимущества и недостатки реле с магнитным торможением типа ДЗТ-11 по сравнению с дифференциальным реле типа РНТ-560.

3. Почему при совпадении по фазе токов в рабочей и тормозной обмотках ($\psi=0$) эффект торможения у реле ДЗТ-11 оказывается больше, чем для случая, когда токи в этих обмотках не совпадают по фазе (например, при $\psi=90^\circ$)?

4. В какое из плеч дифференциальной токовой защиты трехобмоточного трансформатора с односторонним питанием целесообразнее всего включить тормозную обмотку?

5. Назовите типы дифференциальных защит с торможением, выпускаемых отечественной промышленностью. Каково отличие в выполнении реле с магнитным торможением от реле типа ДЗЛ?

6. Ток срабатывания защиты ДЗТ-11 зависит от тока в тормозной обмотке, следовательно, при к. з. в зоне защиты и прохождении тока через тормозную обмотку действие защиты загрубляется. Таким образом достигается надежное отключение повреждения? Как определяется чувствительность защиты ДЗТ-11?

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

4-1. Общие положения

В большинстве случаев устройства релейной защиты подключаются к цепям тока и напряжения носредством измерительных трансформаторов тока и напряжения. С помощью трансформаторов изолируются цепи релейной защиты от системы высокого напряжения, что позволяет персоналу производить работу во вторичных цепях при включенном первичном оборудовании. Кроме того, трансформаторы тока и напряжения дают возможность получить различные сочетания токов и напряжений, необходимых для работы защиты.

За положительное направление тока в первичной обмотке трансформатора тока принято направление от на-

чала к концу обмотки, т. е. от зажима L_1 к зажиму L_2 .

Вторичная обмотка и маркировка ее выводов выполняются так, что положительному направлению тока в первичной обмотке соответствует направление тока во вторичной обмотке от конца к началу, т. е. от зажима u_2 к зажиму u_1 . Направление тока в обмотке аппарата, включенного во вторичную цепь, в этом случае оказывается таким же, каким оно было бы при непосредственном включении обмотки в первичную цепь. Это дает возможность производить построение векторных диаграмм вторичных токов совпадающими с диаграммами первичных токов, что в значительной степени упрощает анализ работы релейной защиты.

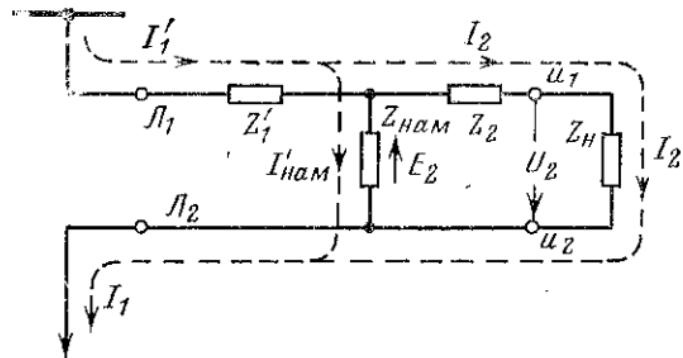


Рис. 4-1. Схема замещения трансформатора тока.

Трансформаторы тока характеризуются следующими особенностями:

режим работы трансформаторов тока близок к к. з., так как сопротивление нагрузки, подключенной ко вторичной обмотке, мало;

значение первичного тока не зависит от сопротивления нагрузки вторичной цепи, а определяется только параметрами первичной цепи.

Режим х. х. для трансформаторов тока, т. е. разрыв его вторичной цепи, является аварийным режимом, так как он сопровождается резким возрастанием э. д. с. E_2 , что опасно для обслуживающего персонала, вызывает сильный нагрев трансформатора и может привести к его повреждению.

Работа трансформатора тока иллюстрируется схемой замещения (рис. 4-1), из которой видно, что первичный ток, приведенный к виткам вторичной обмотки, $I'_1 = I_1 w_1 / w_2$ разветвляется по двум целям. Основная его

часть, представляющая собой ток I_2 , замыкается через сопротивление нагрузки z_n , а другая часть $I'_{\text{нам}} = -I_{\text{нам}} w_1 / w_2$ через фиктивное сопротивление $z_{\text{нам}}$:

$$I'_1 = I_2 + I'_{\text{нам}}. \quad (4-1)$$

Каждый трансформатор тока характеризуется номинальным коэффициентом трансформации, представляющим собой отношение номинального первичного тока к номинальному вторичному току: $n_t = I_{\text{ном1}} / I_{\text{ном2}}$.

Значение номинального коэффициента дается на паспорте трансформатора и записывается дробью (например, 1000/5 при $I_{\text{ном2}} = 5 \text{ A}$ или 1000/1 при $I_{\text{ном2}} = 1 \text{ A}$).

В случае необходимости определения первичных токов при известных вторичных пользуются приближенным выражением $I_1 \approx I_2 n_t$.

При этом допускается некоторая ошибка, обусловленная тем, что номинальный коэффициент трансформации трансформатора тока не равен действительному коэффициенту, представляющему собой отношения действительного первичного тока к действительному вторичному току: $n_d = I_1 / I_2$.

Действительный коэффициент трансформации зависит от режима работы трансформатора и, следовательно, $n_d \neq \text{const}$.

Погрешность по току трансформатора тока определяется следующим выражением:

$$\delta_t = \frac{n_t I_2 - n_d I_2}{n_d I_2} \cdot 100\% = \frac{n_t - n_d}{n_d} \cdot 100\%. \quad (4-2)$$

Погрешность по току определяется током намагничивания, который вносит погрешность в коэффициент трансформации. Помимо погрешности по току, трансформатор имеет угловую погрешность, которая представляет собой угол между вектором первичного тока и повернутым на 180° вектором вторичного тока. Если вектор $-I_2$ опережает вектор I_1 , угловая погрешность считается положительной [23].

Значение погрешности трансформатора тока зависит от конструктивных особенностей трансформатора (размеров сердечника, материала магнитопровода), а также от значения нагрузки, подключенной ко вторичным зажимам трансформатора. С увеличением нагрузки погрешность возрастает. Поэтому при проверке работы

трансформаторов тока следует знать сопротивления всех элементов, подключенных к данному трансформатору.

К точности трансформаторов тока, питающих устройства релейной защиты от к. з., предъявляются требования,

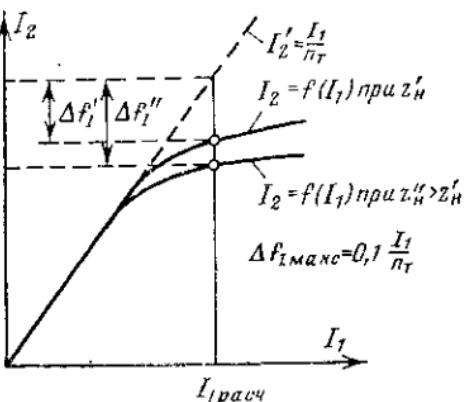
несколько отличные от тех, которые предъявляются при питании измерительных приборов.

Для большинства типов защит необходимая точность работы трансформаторов тока должна быть обеспечена при токах, значительно больших номинальных. Погрешность трансформаторов при $I_1 > I_{\text{ном}}$ будет обусловлена насыщением магнитопровода (рис. 4-2) и зависит не только от z_n , но и от первичного тока I_1 . Максимально допустимая погрешность

Рис. 4-2. Зависимость тока во вторичной обмотке трансформатора тока от тока, проходящего по первичной обмотке.

трансформаторов тока по току принимается 10% и по углу 7°. Для определения точности работы трансформаторов, питающих устройства защиты, производится специальная проверка.

Работа трансформатора напряжения иллюстрируется такой же схемой замещения, как и работа трансформатора тока (рис. 4-1). Разница заключается в том, что нормальный режим трансформатора напряжения соответствует режиму х. х. (или режиму работы на нагрузку с большим сопротивлением). Замыкание зажимов вторичных цепей между собой накоротко или через малое сопротивление приводит к сильному снижению сопротивления эквивалентной схемы замещения, что соответствует режиму замыкания фаз первичной цепи через весьма небольшое сопротивление. Вследствие этого в питающей цепи начинает проходить большой ток, что опасно для оборудования. Длительный режим с таким током недопустим — для защиты от к. з. на вторичной стороне силовых или измерительных трансформаторов напряжения должна быть предусмотрена автоматическая защита. По этой причине вторичные цепи измерительных трансформаторов напряжения к зажимам трансформаторов присоединяются через плавкие предо-



хранители или через контакты быстродействующих автоматов.

Срабатывание этих устройств при замыкании защищаемых вторичных цепей напряжения между собой (длительном и кратковременном) приводит к отсечению цепи от питающего напряжения. Устройства релейной защиты и автоматики, присоединенные к этим цепям, воспринимают такой режим, как к. з. в первичной цепи электропитания, и могут действовать ложно.

Для исключения этого при сгорании предохранителя или действии автоматов в цепях напряжения предусматривается автоматическая блокировка устройств защиты (т. е. запрет их срабатывания на отключение). Кроме того, при неисправностях в цепях напряжения осуществляется сигнализация персоналу о нарушениях.

4-2. Проверка трансформаторов тока. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление со способами проверки трансформаторов тока, питающих устройства релейной защиты и автоматики.

Правильная работа устройств релейной защиты и автоматики в условиях эксплуатации может быть обеспечена только при использовании исправных трансформаторов тока, имеющих характеристики, соответствующие условиям работы подключаемых к ним устройств. Поэтому наряду с проверкой отдельных реле рассматриваемого комплекта защиты следует убедиться в исправности трансформаторов тока, к которым эти комплексы присоединены. Наиболее полной должна проводиться проверка при новом включении.

Данной лабораторной работой предусмотрен следующий объем проверки трансформаторов тока:

внешний осмотр;

проверка однополярных зажимов первичной и вторичной обмоток;

проверка коэффициентов трансформации. Эта проверка производится как отдельная часть программы испытаний только для встроенных трансформаторов тока и трансформаторов с отпайками или переключателями для изменения коэффициента трансформации. Для остальных трансформаторов данная проверка может

быть совмещена с проверкой схемы соединения обмоток трансформаторов тока;

снятие характеристик намагничивания;

определение нагрузки, подключенной ко вторичной обмотке трансформатора;

проверка трансформаторов тока на 10%-ную погрешность.

Проверка однополярности выводов первичной и вторичной обмоток производится по схеме, представленной на рис. 4-3.

В схеме испытаний используются: источник постоянного тока — аккумулятор или сухая батарея на напряжение около 6 В, магнитоэлектрический поляризованный прибор, направление отклонения подвижной системы у которого зависит от направления тока в его обмотке (обычно используются гальванометры с двусторонней шкалой 20—0—20 делений), ограничивающий резистор R , сопротивление которого определяется напряжением источника и его разрядным током, и рубильник.

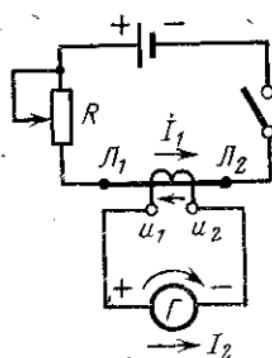


Рис. 4-3. Проверка однополярных зажимов трансформатора тока.

Зная, что положительному направлению тока в первичной цепи (от зажима L_1 к зажиму L_2) соответствует направление тока во вторичной обмотке от конца (зажим u_2) к началу (зажим u_1), можно по направлению отклонения стрелки прибора определить однополярные выводы обмоток трансформатора. Направление отклонения стрелки прибора фиксируется в момент замыкания рубильника, когда вследствие переходного процесса во вторичной цепи трансформатора по правилу Ленца индуцируется ток. Например, если в момент замыкания рубильника стрелка прибора при указанной полярности источника и прибора отклонится вправо, направление тока в обмотке прибора будет слева направо, а во вторичной обмотке трансформатора, наоборот, справа налево.

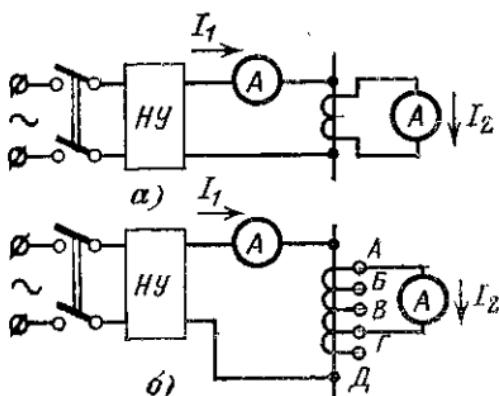
Таким образом, правый зажим прибора укажет конец вторичной обмотки u_2 , а левый — ее начало u_1 . При размыкании рубильника стрелка прибора при тех же условиях отклонится влево, так как направление индук-

тированного тока изменится на противоположное. Вся необходимая для данной проверки аппаратура может быть смонтирована вместе в виде переносного устройства.

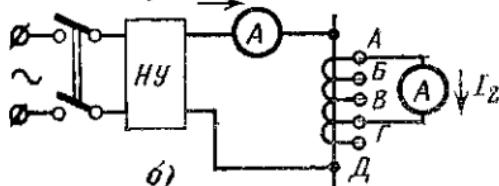
Проверка коэффициента трансформации трансформаторов тока производится по схемам, представленным на рис. 4-4. Первая схема (рис. 4-4, а) дана для выносного трансформатора, вторая (рис. 4-4, б) — для встроенного, имеющего отпайки.

Коэффициент трансформации $n_t = I_1/I_2$ у трансформаторов, имеющих отпайки, должен проверяться для каждого ответвления. При этом одновременно проверяется правильность маркировки всех выводов.

Если маркировка не указана, то для ее определения



а)



б)

Рис. 4-4. Проверка коэффициентов трансформации трансформаторов тока.

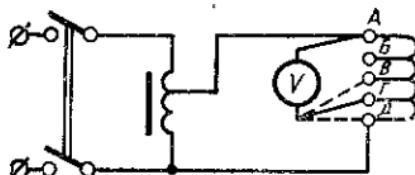


Рис. 4-5. Определение выводов вторичной обмотки встроенных трансформаторов тока.

Изображение пользоваться схемой, приведенной на рис. 4-5. С помощью автотрансформатора подается напряжение на два любых вывода и измеряются напряжения между всеми ответвлениями. Максимальное напряжение будет соответствовать выводам *А* и *Д*. После этого к данным зажимам подается напряжение из расчета 1 В на виток (число витков определяется по данным каталога). Далее проверяется распределение напряжений по ответвлениям; оно должно быть пропорционально числу витков.

Учитывая, что между выводами *А* и *Б* с целью уменьшения погрешности трансформатора укладывается меньшее число витков относительно расчетного, можно определить, какой из выводов должен быть началом вторичной обмотки и иметь маркировку *А*.

Характеристика намагничивания трансформатора $U_2 - f(I_{\text{нам}})$ (рис. 4-6) представляет собой зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки от тока на-

магничивания, проходящего по ней при разомкнутой первичной обмотке. Снятие кривой $U_2=f(I_{\text{нам}})$ производится по схеме, представленной на рис. 4-7.

Характеристики намагничивания позволяют:
судить о исправности трансформаторов тока. В частности, может быть выявлено витковое замыкание, при

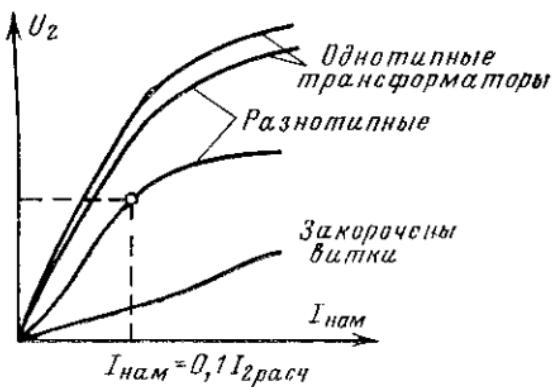


Рис. 4-6. Кривые намагничивания трансформаторов тока.

наличии которого кривая располагается ниже типовой и имеет неправильную форму;

судить о возможности совместного использования трансформаторов тока в схемах дифференциальных защит, так как при почти совпадающих характеристиках токи небаланса будут малы, и наоборот;

определить с достаточной для практики точностью погрешность трансформаторов тока.

Погрешность трансформаторов тока зависит от сопротивления нагрузки z_h , подключенной ко вторичным зажимам трансформатора. Чем меньше нагрузка трансформатора, тем меньше напряжение на зажимах вторичной обмотки $U_2=I_2 z_h$ и, следовательно, значение намагничивающего тока $I_{\text{нам}}$, определяющего погрешность трансформатора тока. Сопротивление нагрузки z_h зависит не только от сопротивлений реле и приборов z_p , жил кабелей и проводов $R_{\text{пр}}$, переходных контактов $R_{\text{пер}}$, но и от схемы соединения обмоток трансформатора и вида к. з. Например, для схемы

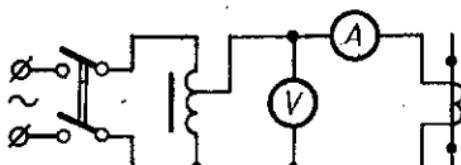
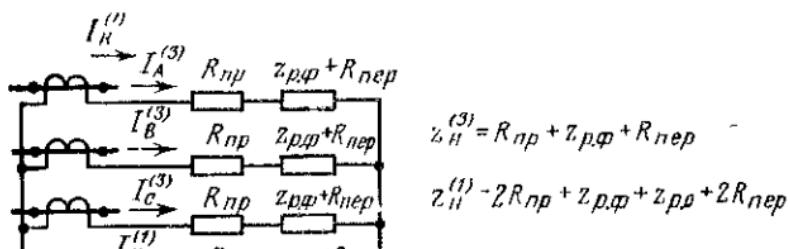


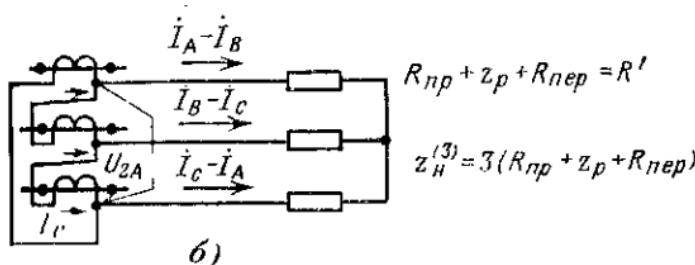
Рис. 4-7. Включение аппаратуры для снятия кривой намагничивания трансформаторов тока.

полной звезды при трехфазном и двухфазном к. з. ток в нулевом проводе отсутствует. Следовательно, в соответствии с рис. 4-8, а (допускается производить арифметическое сложение величин)

$$z_{\text{a}}^{(3)} = R_{np} + z_{p,\phi} + R_{nep}. \quad (4-3)$$



а)



б)

$$\dot{U}_2 = (\dot{I}_A - \dot{I}_B) R' - (\dot{I}_C - \dot{I}_A) R'$$

$$\dot{U}_2 = 3 \dot{I}_A R'$$

$$(I_p - I_A) R$$

$$(I_A - I_B) R'$$

$$(I_B - I_C) R'$$

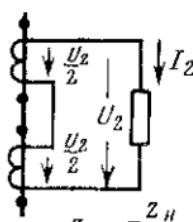
$$\dot{I}_A R'$$

$$\dot{I}_B R'$$

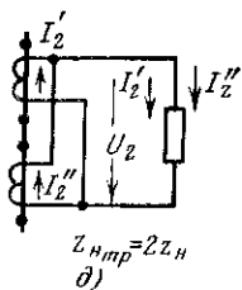
$$\dot{I}_C R'$$

$$(\dot{I}_C - \dot{I}_A) R'$$

$$(\dot{I}_B - \dot{I}_A) R'$$



$$Z_{Hmp} = \frac{Z_H}{2}$$



$$Z_{Hmp} = 2Z_H$$

в)

г)

Рис. 4-8. Определение нагрузки на трансформаторы тока.

а — при соединении вторичных обмоток по схеме полной звезды; **б** — при соединении в треугольник; **в** — диаграмма падения напряжения во вторичной цепи трансформаторов тока при соединении обмоток в треугольник; **г** — последовательное соединение вторичных обмоток трансформатора тока одной фазы; **д** — параллельное соединение вторичных обмоток одной фазы.

Если же рассматривать однофазное к. з., то по цепи нулевого провода с включенной обмоткой реле (и имеющего сопротивление $z_{p.0}$) будет проходить вторичный ток повреждения. При этом

$$z_n^{(1)} = 2R_{np} + z_{p.\phi} + z_{p.0} + 2R_{per}, \quad (4-4)$$

т. е. нагрузка на вторичную обмотку трансформатора увеличилась почти вдвое. При соединении обмоток трансформаторов в треугольник (рис. 4-8,б) нагрузка, приходящаяся на фазу при трехфазном к. з., возрастает в 3 раза. Сопротивление нагрузки может быть определено, исходя из равенства

$$z_{n.\phi}^{(3)} = U_2 / I_k^{(3)}, \quad (4-5)$$

где U_2 — напряжение на выводах вторичной обмотки трансформатора, определяемое падением напряжения во внешней нагрузке; $I_k^{(3)}$ — ток во вторичной обмотке трансформатора тока.

В данной схеме по проводам и реле будет проходить ток, равный разности токов двух смежных фаз. Напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора тока фазы A при этом будет определяться выражением

$$\dot{U}_{2A} = (\dot{I}_A - \dot{I}_B)(R_{np} + z_{p.\phi} + R_{per}) - \\ - (\dot{I}_C - \dot{I}_A)(R_{np} + z_{p.\phi} + R_{per}). \quad (4-6)$$

На основании векторной диаграммы (рис. 4-8,в) получаем:

$$\dot{U}_{2A} = 3I_A^{(3)}(R_{per} + z_{p.\phi} + R_{per}), \quad (4-7)$$

откуда

$$z_{n.\phi} = 3(R_{per} + z_{p.\phi} + R_{per}). \quad (4-8)$$

Если вторичные обмотки двух трансформаторов одной фазы соединить последовательно (рис. 4-8,г), то нагрузка, приходящаяся на каждый трансформатор, уменьшится вдвое, вследствие того что напряжение U_2 , определяемое выражением

$$U_2 = I_2 z_n, \quad (4-9)$$

распределится поровну между двумя обмотками:

$$z_{n,np} = 0,5U_2 / I_2 = z_n / 2. \quad (4-10)$$

При параллельном соединении вторичных обмоток одной фазы (рис. 4-8,д) нагрузка на каждый трансформатор увеличивается в 2 раза, так как

$$U_2 = 2I_2 z_n \quad (4-11)$$

и

$$z_{n,тр} = 2I_2 z_n / I_2 = 2z_n. \quad (4-12)$$

При расчетном определении нагрузки учитывается: сопротивление соединительных проводов и жил кабелей, Ом,

$$R_{пр} = \rho l / S, \quad (4-13)$$

где $R_{пр}$ — сопротивление рассматриваемого участка вторичной цепи (сопротивление проводов на панели защиты вследствие их малой длины не учитывается); l — длина провода или жил кабеля, м; S — сечение провода или жилы кабеля, мм^2 ; ρ — удельное сопротивление, $\Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

сопротивление обмоток реле и приборов определяется по данным каталога. При известной мощности, потребляемой обмотками реле, $S_{обм}$

$$z_p = S_{обм} / I_{ном}^2; \quad (4-14)$$

сопротивление переходных контактов принимается равным 0,05 Ом на каждую фазу.

Проверку трансформаторов тока на 10%-ную погрешность можно вести двумя методами:

используя характеристики намагничивания трансформаторов;

по кривой 10%-ной погрешности.

Проверка производится при условии совпадения по фазе всех трех токов I'_1 , I_2 и $I_{нам}$ (рис. 4-9), когда $\alpha + \beta \neq 90^\circ$. Такое условие соответствует максимальному значению погрешности в коэффициенте трансформации и отсутствию угловой погрешности. Если же в действительности угловые соотношения изменятся, то при неизменных значениях I_2 и $I_{нам}$ (когда абсолютные значения I'_1 и $z_{нам}$ остаются постоянными) погрешность коэффициента трансформации значительно снизится, а угловая погрешность будет наибольшей, но не превысит 7° .

При проверке, кроме определения z_n на вторичную обмотку трансформатора, необходимо знать значение расчетного первичного тока. Так как с увеличением пер-

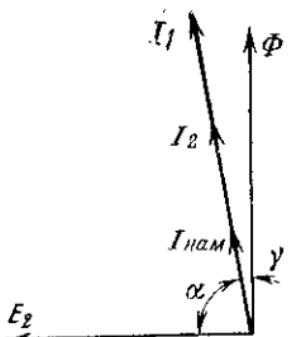


Рис. 4-9. Векторная диаграмма для случая совпадения по фазе токов I'_1 , $I_{\text{нам}}$, I_2 .

вичного тока погрешность трансформаторов возрастает, за расчетный принимается максимальный ток к. з. при повреждениях в тех точках сети, где увеличенная погрешность может привести к неправильному действию защиты. При определении расчетного тока вводится коэффициент надежности $k_n = 1,2 \div 2$, учитывающий влияние апериодической составляющей, неточность расчетов токов к. з. и погрешность измерения при снятии характеристики намагничивания. Таким образом,

$$I_{1\text{расч}} = k I_{1\text{макс}}. \quad (4-15)$$

Большие значения k ($k = 1,8 \div 2$) принимают для быстродействующих защит без быстронасыщающихся трансформаторов тока.

Ниже приводится последовательность проверки трансформаторов тока при использовании кривых намагничивания:

методом, изложенным выше, определяется действительная нагрузка, подключенная ко вторичной обмотке трансформатора тока, $z_{n\text{расч}}$;

строится характеристики намагничивания $U_2 = f(I_{\text{нам}})$ для трансформаторов тока данной защиты;

определяется расчетный ток повреждения и приводится ко вторичной обмотке трансформатора

$$I_{2\text{расч}} = I_{1\text{расч}} / n_t; \quad (4-16)$$

определяется ток намагничивания, соответствующий 10%-ной погрешности:

$$I_{\text{нам}} = 0,1 I_{2\text{расч}}; \quad (4-17)$$

по кривой намагничивания (см. рис. 4-6) находится напряжение U_2 , соответствующее полученному значению $I_{\text{нам}}$;

рассчитывается допустимая нагрузка на трансформатор, при которой погрешность его по току не будет превышать 10%, а по углу 7°.

Расчетные выражения выводят исходя из изложенных ниже соображений. В схему опыта снятия харак-

теристики $U_2=f(I_2)$ условно введен трансформатор тока его схемой замещения, приведенной на рис. 4-10,а.

Из рисунка видно, что

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + I_2 z_2, \quad (4-18)$$

где z_2 — сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока; E_2 — э. д. с. на зажимах ветви намагничивания; U_2 — напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора тока, измеренное вольтметром; I_2 — ток во вторичной обмотке трансформатора тока, измеренный амперметром.

Измеряется U_2 при точке $I_2 = 0,1I_{2\text{расч}}$, что соответствует значению E_2 в условиях прохождения по ветви намагничивания тока, равного 10% вторичного расчетного тока.

В этом случае

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 - 0.1 I_{\text{spacq}} z_2. \quad (4-19)$$

Если включить во вторичную цепь трансформатора тока нагрузку z_n , а по первичной цепи трансформатора тока пропустить ток $I_1 = I_{2\text{расч}} n_t$ (при $n_t = 1$, $I_1 = I_{2\text{расч}}$) и принять, что токи $I_{\text{нам}}$ и $I_{2\text{расч}}$ совпадают по фазе, то во вторичной обмотке ток будет равен $I_2 = I_{2\text{расч}} - 0,1I_{2\text{расч}}$.

Следовательно

$$E_2 = 0.9 I_{\text{расч}} (z_2 + z_h). \quad (4-20)$$

Приравняв (4-19) и (4-20), получим:

$$U_2 - 0,1I_{2\text{расч}}z_2 = 0,9I_{2\text{расч}}(z_2 + z_h), \quad (4-21)$$

откуда определим допускаемую нагрузку

$$z_{\text{н.доп}} = (U_2 - I_2 \text{расч} z_2) / 0,9 I_2 \text{расч}. \quad (4-22)$$

Если известна зависимость $E_2=f(I_{\text{ном}})$, то из (4-20) более точно

$$z_{\text{н.доп}} = (E_2 - 0,9I_{2\text{расч}}z_2)/0,9I_{2\text{расч}}. \quad (4-23)$$

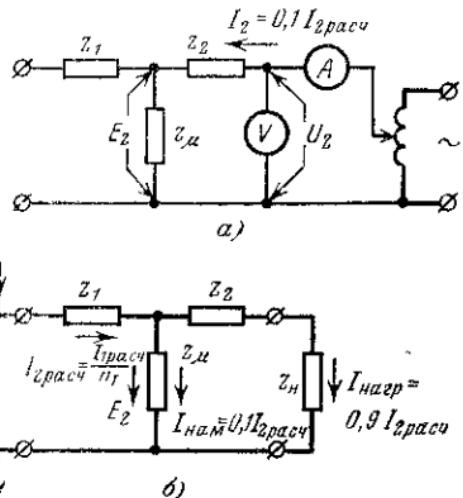


Рис. 4-10. Схемы замещения трансформатора тока.

a — опыт снятия характеристики намагничивания; *b* — распределение токов при 10%-ной погрешности трансформатора.

Если полученные значения $z_{n,\text{доп}} \geq z_{n,\text{расч}}$, то трансформатор будет удовлетворять требованиям 10%-ной погрешности.

Проверка должна производиться для того вида к. з., при котором погрешность оказывается наибольшей, хо-

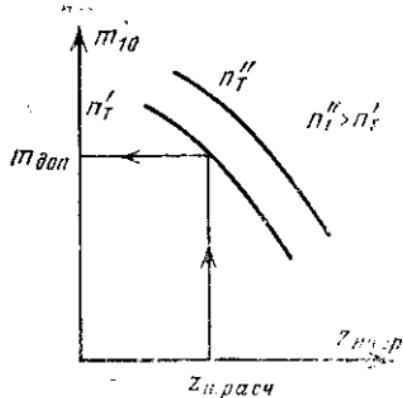


Рис. 4-11. Кривые 10%-ной погрешности трансформаторов тока.

тя значение тока к. з. при этом может быть и не максимальным. Возрастание погрешности обусловливается при этом увеличением нагрузки (например, при однофазном к. з. в схеме полной звезды).

При втором методе проверки трансформаторов тока используются кривые 10%-ной погрешности (рис. 4-11). Эти кривые представляют собой зависимость кратности первично-

го тока

$$m_{10} = I_1 / I_{\text{ном1}} \quad (4-24)$$

от сопротивления нагрузки z_n , соответствующей работе трансформатора с погрешностью не более 10%.

Для расчетов кривые 10%-ной погрешности, приводимые в каталогах заводов, должны быть снижены на 20%, так как это соответствует работе трансформатора с гарантированной заводом точностью.

После определения нагрузки $z_{n,\text{расч}}$ для данного трансформатора тока по кривой 10%-ной погрешности, сниженной на 20%, находится значение допустимой кратности первичного тока $m_{\text{доп}}$. Полученная величина сравнивается с расчетной. Проверяемый трансформатор будет удовлетворять требованиям 10%-ной погрешности, если

$$(m_{\text{доп}} = I_1 / I_{\text{ном1}}) \geq (m_{\text{расч}} = I_{\text{расч}} / I_{\text{ном1}}), \quad (4-25)$$

где $I_{\text{расч}}$ определяется так же, как при первом методе, по выражению (4-15).

Проверку трансформаторов по кривым 10%-ной погрешности можно вести и исходя из расчетного значения кратности тока; при этом кривые используются для определения допустимой нагрузки $z_{n,\text{доп}}$, которая сравнивается с расчетной. Необходимым условием будет:

$$z_{n,\text{доп}} \geq z_{n,\text{расч}} \quad (4-26)$$

Задание на работу. 1. Ознакомиться с конструкцией предлагаемых для проверки трансформаторов тока; списать паспорт каждого трансформатора.

2. Произвести проверку однополярности выводов обмоток трансформаторов.

3 Собрав схему, приведенную на рис. 4-7, снять кривую намагничивания для каждого трансформатора.

Результаты измерений занести в табл. 4-1.

Таблица 4-1

Трансформатор типа ... $n_m = \dots$ класс точности ...

U_k , В					
$I_{нам}$, А					
Измерительные приборы: Способ регулирования:					

По данным таблицы построить кривые $U_2 = f(I_{нам})$.

4. Сделать вывод об исправности и однотипности трансформаторов тока.

5. Используя те же трансформаторы, собрать схему защиты, предлагаемую преподавателем. Зарисовать схему, указав на ней параметры всех элементов (сопротивление обмоток реле, длину жил кабелей, марку проводов и их сечение).

6. Произвести опытным путем измерение нагрузки на трансформаторы, используя одну из схем, представленных на рис. 4-12.

7. Проверить трансформаторы тока испытуемого комплекта защиты на 10%-ную погрешность. Проверку произвести двумя описанными выше методами. В письменной форме сделать заключение о степени точности трансформаторов, проиллюстрировав вывод соответствующими расчетами.

8. Для встроенных трансформаторов тока провести проверку коэффициента трансформации и маркировку всех отпаек.

Указания по выполнению работы. 1. При определении коэффициента трансформации ток в первичной цепи с помощью нагрузочного устройства должен быть получен по возможности близким к номинальному. При за-

труднениях в получении таких токов (например, $n_t = 1000/5$) допускается производить проверку при токах не менее 20% $I_{\text{ном}}$.

2. При снятии кривой намагничивания в качестве регулирующего устройства может быть использован либо автотрансформатор, либо реостат, либо потенциометр.

Схема	Измеряемые величины	Величина сопротивления
	$I, U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$	$Z_A = \frac{U_{AB} - U_{BC} + U_{CA}}{2I}$ $Z_B = \frac{U_{BC} - U_{CA} + U_{AB}}{2I}$ $Z_C = \frac{U_{CA} - U_{AB} + U_{BC}}{2I}$
	$I, U_{A0}, U_{B0}, U_{C0}$	$Z_{A0} = \frac{U_{A0}}{I}$ $Z_{B0} = \frac{U_{B0}}{I}$ $Z_{C0} = \frac{U_{C0}}{I}$
	$I, U_{AC}, U_{CO}, U_{BA}$	$Z_A = \frac{U_{AC} - U_{CO} + U_{BA}}{2I}$ $Z_C = \frac{U_{CO} - U_{BA} + U_{AC}}{2I}$ $Z_B = \frac{U_{BA} - U_{AC} + U_{CO}}{2I}$ $Z_{AC} = \frac{U_{AC}}{I}$ $Z_{AO} = \frac{U_{AO}}{I}$ $Z_{CO} = \frac{U_{CO}}{I}$
	I, U_{AC}	$Z_{AC} = \frac{U_{AC}}{I}$

Рис. 4-12. Измерение нагрузки на трансформаторы тока при питании от постороннего источника.

Схема с автотрансформатором обеспечивает синусоидальную форму кривой напряжения U_2 . Так как в условиях к. з. в первичной цепи форма кривой э. д. с. близка к синусоидальной, схеме с автотрансформатором отдаётся предпочтение. При этом измерение токов и напряжений должно производиться приборами, реагирующими на действующие значения измеряемых величин.

ции (с электромагнитной или электродинамической измерительными системами).

Однако, как показал В. З. Никитский, кривую намагничивания трансформаторов тока можно снимать по любой из названных выше схем независимо от формы кривой тока и напряжения в испытуемой цепи. Для этого по оси ординат следует откладывать среднее за полупериод значение напряжения (а не действующее, как обычно), а по оси абсцисс — амплитудные значения тока.

Измерение средних напряжений может производиться вольтметром выпрямительного типа, измерение амплитудных значений токов — электронными амплитудными приборами (например, типа ВКС-7), а также векторометрами с механическим вибратором, замеряющими напряжение на шунте, врезанном в токовую цепь.

Связь между средним значением напряжения и действующим определяется коэффициентом формы кривой (синусоиды), т. е. $E = 1,1E_{\text{ср}}$. Связь между действующим значением синусоидального тока и его амплитудным значением определяется выражением

$$I = I_{\text{макс}}/\sqrt{2}.$$

Справедливость метода обусловливается тем, что при питании переменным током обмотки электромагнита со стальным сердечником напряженность H , индукция B и магнитный поток Φ достигают максимального значения одновременно с максимальным значением тока. Следовательно, значение $\Phi_{\text{макс}}$ по характеристике намагничивания определяется амплитудным значением тока независимо от формы кривой переменного тока.

3. В качестве источника тока при испытании по рис. 4-7 используется сеть 220 В. Изменение напряжения рекомендуется производить через 10—20 В.

4. Перед снятием кривой намагничивания трансформатора его необходимо размагнитить плавным подъемом и снижением напряжения до нуля (3—4 раза); после снятия кривой намагничивания трансформатор должен быть размагнчен также путем плавного снижения напряжения.

5. Имитацию сопротивления жил кабелей можно производить путем включения добавочных резисторов в схему испытуемой защиты.

6. По согласованию с преподавателем допускается разным бригадам снимать характеристики намагничивания трансформаторов тока с применением различных испытательных схем.

7. Экспериментальное определение нагрузки на трансформаторы тока производится в соответствии со схемами и расчетными формулами, представленными на рис. 4-12.

8. Для проверки трансформаторов на 10%-ную погрешность преподавателем указываются:

тип защиты;

максимальные значения токов трехфазного и однофазного к. з.

При выдаче задания на работу должны быть даны кривые 10%-ной погрешности для испытуемых трансформаторов тока.

Контрольные вопросы. 1. К чему может привести включение в схемы токовой направленной и ненаправленной защит от междудифазных к. з. трансформатора тока с неправильно обозначенной полярностью выводов обмоток?

2. Почему в схеме на рис. 4-3 должен быть использован магнитоэлектрический прибор и нельзя применить электромагнитный?

3. Почему размыкание вторичной обмотки трансформатора тока при прохождении тока по первичной обмотке является для трансформатора тока аварийным режимом?

4. Как производится проверка пригодности трансформаторов тока по кривым 10%-ной погрешности?

5. Пояснить способы снижения погрешности трансформаторов тока.

6. Как определить расчетным путем значение нагрузки, подключенной ко вторичной обмотке трансформаторов при различных к. з.?

4-3. Схемы соединения обмоток трансформаторов тока. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление со схемами соединения вторичных обмоток трансформаторов тока, используемых в устройствах релейной защиты и автоматики. При выполнении защиты элементов электрических систем могут быть использованы различные схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и токовых обмоток реле, например схема полной звезды (рис. 4-13,*a*); схема неполной звезды (рис. 4-13,*б*); включение реле на разность токов двух фаз (рис. 4-13,*в*); соединение обмоток трансформаторов тока в треугольник и обмоток реле в звезду (рис. 4-13,*г*); включение обмотки

реле на сумму токов трех фаз (на фильтр токов нулевой последовательности — рис. 4-13, *д*). Возможны также комбинированные схемы, например схема на рис. 4-13, *е*, или включение на фильтр токов прямой и обратной последовательностей и пр. Выбор схемы определяется ее назначением (от каких видов к. з. предусмотрена за-

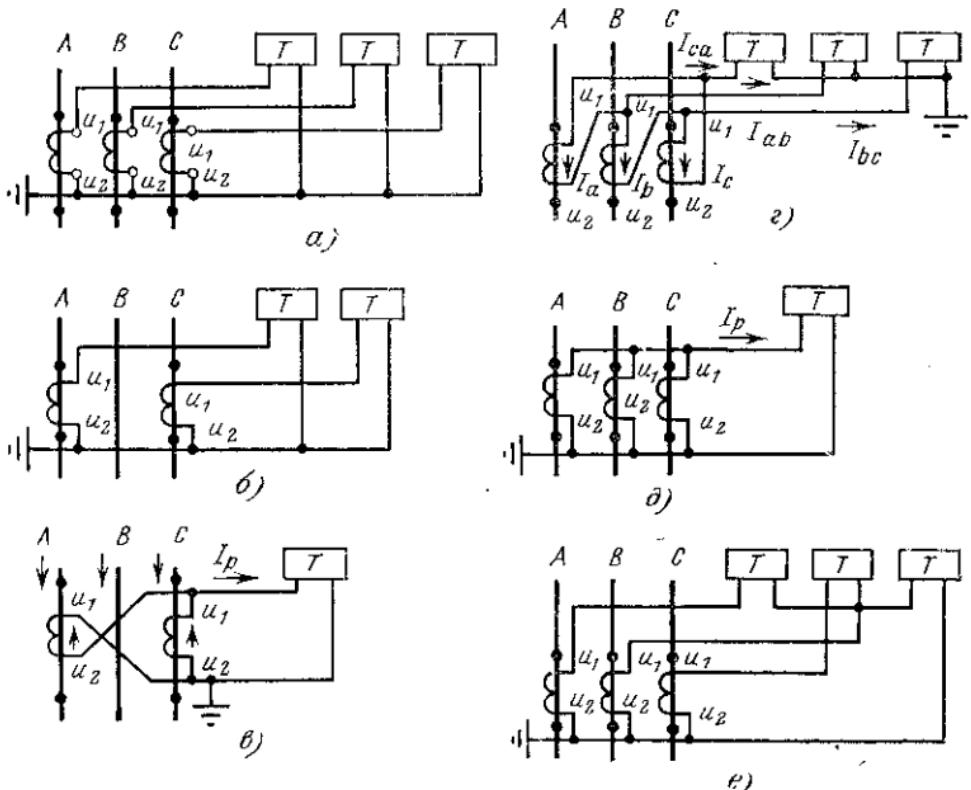


Рис. 4-13. Схемы соединения трансформаторов тока и обмоток реле.
а — схема полной звезды; *б* — схема неполной звезды; *в* — включение реле на разность токов двух фаз; *г* — соединение обмоток трансформаторов тока в треугольник; *д* — включение реле на сумму токов трех фаз; *е* — комбинированная схема.

щита), требованием чувствительности, необходимостью экономить количество реле и трансформаторов тока. При определении параметров защиты (например, тока срабатывания и чувствительности) необходимо учитывать коэффициент схемы

$$k_{\text{сх}} = I_p / I_2,$$

где I_p — ток, проходящий по обмотке реле в рассматриваемом режиме (при нормальном режиме или при том или ином виде к. з.); I_2 — вторичный ток трансформатора

ра тока в том же режиме $I_2 = I_1/n_t$; I_1 — первичный ток; n_t — коэффициент трансформации.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с аппаратурой, установленной на стенде. Списать паспорт трансформаторов тока. Убедиться в правильном обозначении полярности их обмоток.

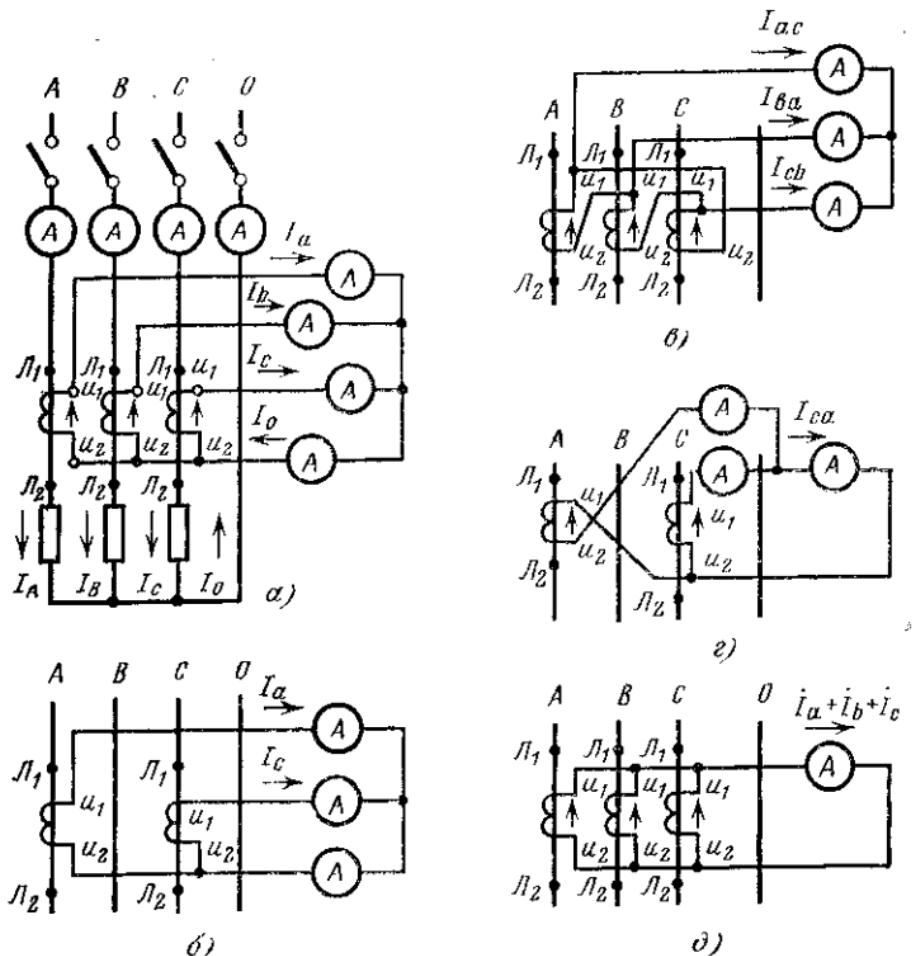


Рис. 4-14. Схемы испытания для проверки чувствительности защиты.
а — схема полной звезды; б — схема неполной звезды; в — соединение обмоток трансформаторов в треугольник; г — включение реле на разность токов двух фаз; д — включение реле на сумму токов трех фаз.

2. Собрать поочередно все схемы, представленные на рис. 4-14. Для каждой схемы, имитируя различные виды к. з., произвести запись показаний всех приборов в табл. 4-2.

3. С помощью векторных диаграмм, построенных для всех видов к. з., проверить правильность полученных

Таблица 4-2

Вид к.з.	Название схемы							
	Показание приборов							
	в первичных цепях				во вторичных цепях			
	I_A	I_B	I_C	I_0	I_a (ab)	I_b (bc)	I_c (ca)	I_0
Трехфазное								
Двухфазное								
Однофазное								
Двухфазное на землю								

результатов. На диаграмме выделить векторы токов, проходящих по обмоткам реле.

4. По данным показаний приборов для каждой схемы определить коэффициент схемы $k_{\text{сх}}$, соответствующий определенному виду к. з.

5. Определить чувствительность токовой защиты при различных схемах ее выполнения и различных видах к. з.

6. Сравнить чувствительность токовой защиты, выполненной в одном случае по схеме полной и неполной звезды (см. рис. 4-13, а, б), а в другом случае по схеме присоединения трех токовых реле к трансформаторам тока, соединенным в треугольник (рис. 4-13, г), при двух- и трехфазных к. з.

Указания к проведению работы. 1. С целью определения $k_{\text{сх}}$ при различных видах повреждений все реле заменены амперметрами, указывающими вторичные токи; в первичных цепях также установлены амперметры.

2. Для имитации различных видов к. з. в схеме предусмотрена возможность поочередного включения фаз. Нагрузки в фазах должны быть симметричными.

3. Схема соединения аппаратуры в цепи первичных обмоток трансформаторов тока при всех испытаниях остается неизменной.

4. Для сравнения чувствительности токовой защиты, выполненной по разным схемам, при двух- и трехфазных к. з. учесть, что ток при двухфазном к. з. определяется как $I_{\text{k.z}}^{(2)} = 0,87 I_{\text{k.z}}^{(3)}$.

Контрольные вопросы. 1. Назначение нулевого провода в схеме полной звезды.

2. Почему схема на рис. 4-13,*б* называется «фильтром токов нулевой последовательности»?

3. Преимущества и недостатки схемы на рис. 4-13,*г* по сравнению со схемой на рис. 4-13,*а*.

4. Указать типы защит, где используется включение токовых обмоток реле по схемам, представленным на рис. 4-13.

5. Как должны быть соединены контакты трех реле в схеме на рис. 4-13,*а*:

при выполнении максимальной токовой защиты;

при выполнении устройства, реагирующего только на трехфазные к. з.?

6. Ток каких фаз измеряет каждый из амперметров схемы на рис. 4-14,*б* при нормальном режиме?

7. В схеме на рис. 4-14,*г* вторичная обмотка трансформатора фазы *C* оборвана. Коэффициент трансформации $n_t = 1$. Первичный ток в фазах 5 А. Какой ток будет измеряться амперметром? Чем опасен такой режим работы для трансформатора фазы *C*?

8. Реле токовой отсечки, предназначенные для защиты от междуфазных к. з., включены один раз по схеме на рис. 4-14,*а*, другой раз по схеме на рис. 4-14,*г*. Меняется ли защищаемая зона этих защит в зависимости от того, происходит трехфазное или двухфазное к. з.?

4-4. Трансформаторы тока нулевой последовательности. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с устройством и способами проверки специальных трансформаторов тока, используемых в защитах от замыканий на землю в сетях с малым током замыкания на землю. Для защиты от замыканий на землю кабельных линий и генераторов, работающих на сборные шины, предусматриваются токовые защиты нулевой последовательности, питающиеся от трансформаторов тока нулевой последовательности. Устройство двух типов таких трансформаторов показано на рис. 4-15. Первый тип (ТЗ, ТФ) используется для выполнения защиты от замыканий на землю кабельных линий, второй (ТНПШ) — генераторов.

Первичной обмоткой трансформаторов является либо трехфазный кабель (рис. 4-15,*а*), либо три фазы шин (рис. 4-15,*б*). Число витков первичной обмотки равно одному. Магнитные потоки, обусловленные токами трех фаз, замыкаются по общей магнитной системе. Так как геометрическая сумма первичных токов в нормальном режиме и при междуфазных к. з. равна нулю, результатирующий магнитный поток в таких режимах также равен нулю и тока в обмотке реле, подключенной ко вторичной

обмотке трансформатора, нет. Защита на лапные режимы не реагирует. По обмотке реле возможно лишь прохождение незначительного тока небаланса, причиной возникновения которого является некоторая несимметрия фаз первичной цепи относительно магнитной системы. С целью уменьшения тока небаланса вторичную обмотку секционируют. В случае замыкания на землю

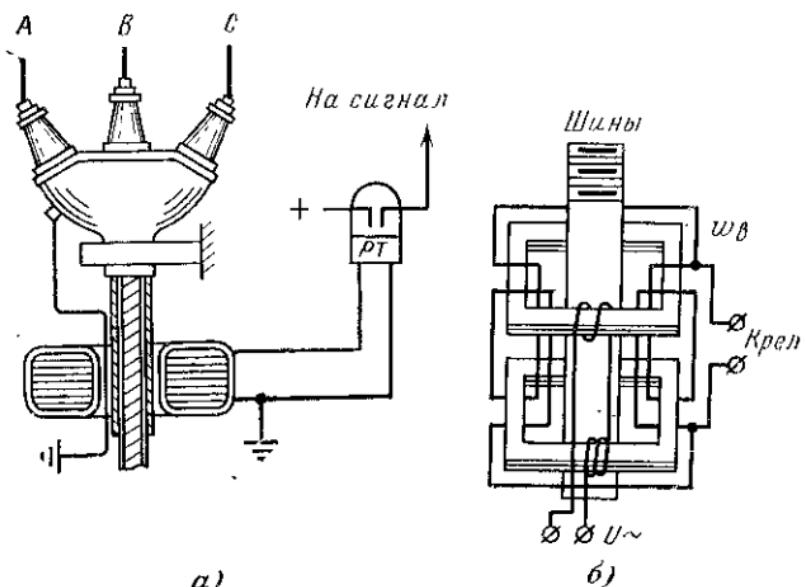


Рис. 4-15. Трансформаторы тока нулевой последовательности.
а — кабельный трансформатор; б — шинный трансформатор тока с подмагничиванием типа ТНПШ,

на защищаемом элементе вследствие появления составляющей тока нулевой последовательности результирующий поток не будет равен нулю:

$$\dot{\Phi}_{\text{рез}} = \dot{\Phi}_A + \dot{\Phi}_B + \dot{\Phi}_C = 3\dot{\Phi}_0.$$

В реле при этом появляется ток и защита срабатывает. Конструкция трансформаторов тока нулевой последовательности учитывает необходимость выполнения защиты от замыканий на землю большой чувствительности при относительно малом емкостном токе замыкания на землю в сетях генераторного напряжения (значение емкостного тока значительно меньше значения рабочего тока).

Защита генераторов при токах замыкания на землю, превосходящих 5 А, действует на отключение машины и

гашение поля. Применяемый для таких защит трансформатор тока типа ТНПШ, помимо основных обмоток, первичной и вторичной, снабжен дополнительной обмоткой подмагничивания, включенной на междуфазное напряжение измерительных трансформаторов напряжения. Под влиянием потока, создаваемого обмоткой подмагничивания, улучшаются условия трансформации тока повреждения. Чувствительность защиты значительно повышается.

Для устранения тока в обмотке реле, обусловленного прохождением тока по цепи подмагничивания, трансформатор ТНПШ содержит две одинаковые магнитные системы, на которых расположены обмотки подмагничи-

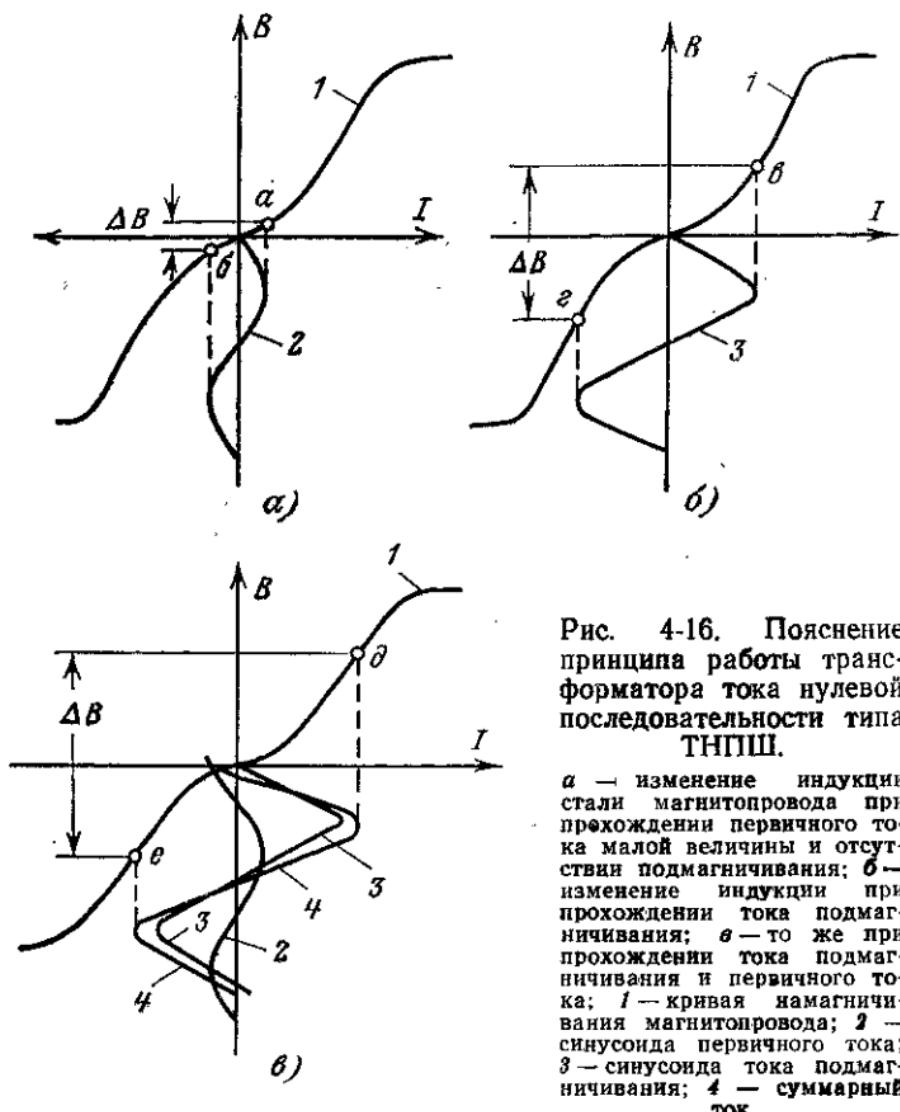


Рис. 4-16. Пояснение принципа работы трансформатора тока нулевой последовательности типа ТНПШ.

a — изменение индукции стали магнитопровода при прохождении первичного тока малой величины и отсутствии подмагничивания; *b* — изменение индукции при прохождении тока подмагничивания; *c* — то же при прохождении тока подмагничивания и первичного тока; 1 — кривая намагничивания магнитопровода; 2 — синусоида первичного тока; 3 — синусоида тока подмагничивания; 4 — суммарный ток.

вания, включенные встречно-последовательно. Рабочие обмотки также располагаются на каждом из магнитопроводов, но они соединяются согласно-последовательно. Каждая из рабочих обмоток состоит из двух секций, расположенных в разных местах магнитопроводов и соединенных параллельно. При таком выполнении в наибольшей степени устраняется составляющая тока небаланса, обусловленная несимметрией первичной обмотки по отношению к магнитопроводу. Ток небаланса зависит главным образом от того, насколько оказывается компенсированным ток в рабочей обмотке встречным включением обмоток подмагничивания.

Оценка чувствительности защиты производится по значению первичного тока, при котором происходит срабатывание реле.

Улучшение трансформирующих свойств трансформаторов тока типа ТНПШ под влиянием тока, проходящего по обмоткам подмагничивания, расположенных на двух отдельных магнитопроводах и включенных встречно, можно пояснить следующим образом.

Пусть характеристика намагничивания стали каждого из магнитопроводов трансформатора $B=f(I)$ представлена кривой 1 (рис. 4-16). При небольшом первичном токе (кривая 2) изменение индукции магнитопровода происходит от точки a до точки b , т. е. очень незначительно (рис. 4-16, а). Ток во вторичной обмотке такого трансформатора, определенный изменением $|\Delta B| = |B_a| + |B_b|$, будет весьма мал.

Пропустим теперь через обмотку подмагничивания каждого из магнитопроводов трансформатора ТНПШ переменный ток так, чтобы происходило перемагничивание стали от точки v до точки g на прямолинейных частях характеристики намагничивания (до области насыщения). Под действием этого тока по вторичной обмотке каждого магнитопровода будет проходить ток, определяемый изменением индукции $|\Delta B| = |B_v| + \cdot |B_g|$. Хотя значение тока в цепи обмоток подмагничивания значительно, в обмотку реле ток заходить не будет, так как обмотки подмагничивания двух магнитопроводов включены встречно-последовательно, т. е. конец обмотки секции, размещенной на первом магнитопроводе, соединен с концом обмотки секции, размещенной на втором магнитопроводе, а вторичные обмотки, к которым подключено реле, согласно-последовательно

(т. е. конец обмотки секции первого магнитопровода соединен с началом обмотки секции второго магнитопровода). В обмотку реле будут заходить дополнительная составляющая тока небаланса, определяемая неодинаковыми характеристиками намагничивания магнитопроводов или неодинаковым числом витков обмоток подмагничивания.

Если пропустить по первичной цепи трансформаторов ТНПШ ток замыкания на землю, то во вторичной цепи каждого из магнитопроводов возникает ток, определяемый суммарным значением тока подмагничивания и тока замыкания на землю $I_{\Sigma} = I_{\text{подм}} + I_z$ (рис. 4-16,в). Работа каждого магнитопровода при этом будет происходить на прямолинейных частях характеристики намагничивания и определяться изменением индукции $|\Delta B| = |B_d| + |B_e|$.

По вторичной обмотке первого сердечника ТНПШ будет проходить ток $I_{\Sigma} = I_{\text{подм}} + I_z$, по вторичной обмотке второго сердечника $I_{\Sigma} = -I_{\text{подм}} + I_z$. В обмотке реле, включенной на сумму вторичных токов двух магнитопроводов, ток будет равен:

$$I_p = [I_{\text{подм}} + I_z] + [(-I_{\text{подм}}) + I_z] = 2I_z. \quad (4-27)$$

Таким образом, конструкцией ТНПШ путем перенесения рабочей зоны на прямолинейные части кривой намагничивания достигается возможность трансформации небольших токов с использованием для магнитопровода обычной трансформаторной стали, т. е. без применения специальных сплавов (например, пермаллоя). В объем испытаний входят:

внешний осмотр;

проверка полярности вторичных обмоток и обмоток подмагничивания (при их наличии); проверка правильности маркировки концов секций обмоток и их соединения;

проверка сопротивления изоляции вторичных обмоток на корпус и между собой (с помощью мегомметра на 1000 В);

измерение омического сопротивления обмоток;

снятие характеристик намагничивания $U_2 = f(I_2)$. Для трансформаторов типа ТНПШ эти характеристики счи-

маются при наличии подмагничивания и при отсутствии (в последнем случае — при разомкнутой обмотке подмагничивания);

измерения тока и напряжения небаланса. Для трансформаторов типа ТНПШ эти величины измеряются при включенной под напряжение обмотке подмагничивания;

проверка чувствительности защиты. Для трансформатора типа ТНПШ снимается характеристика $I_{\text{ср}} = f(U_{\text{подм}})$ при изменении напряжения подмагничивания от 0 до $1,1U_{\text{ном}}$, а также при переключении обмотки подмагничивания на разные фазы.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с конструкциями трансформаторов тока нулевой последовательности. Списать паспорт каждого трансформатора.

2. Собрать схему, представленную на рис. 4-17. Имитируя различные виды повреждений, зафиксировать показания всех приборов. Данные занести в табл. 4-3.

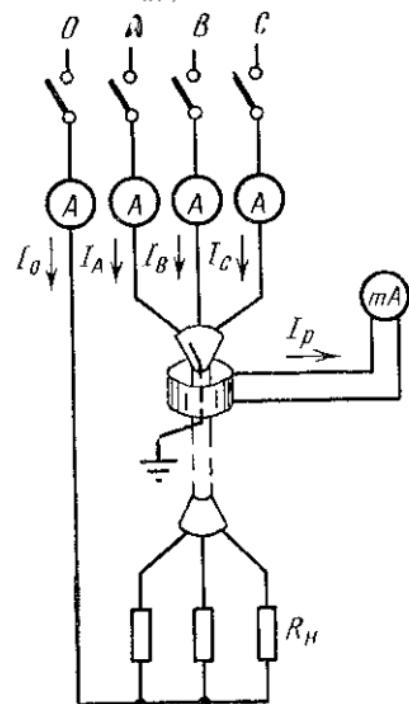


Рис. 4-17 Испытание кабельного трансформатора тока нулевой последовательности.

Таблица 4-3

Вид повреждений	Показания приборов				
	I_A	I_B	I_C	I_O	I_p
Трехфазное к.з.					
Двухфазное к.з.					
Двухфазное к.з. на землю					
Однофазное замыкание на землю					

3. С помощью векторных диаграмм обосновать полученные измерения.

4. У трансформатора типа ТНПШ путем использования вспомогательной обмотки (рис. 4-18,а) произве-

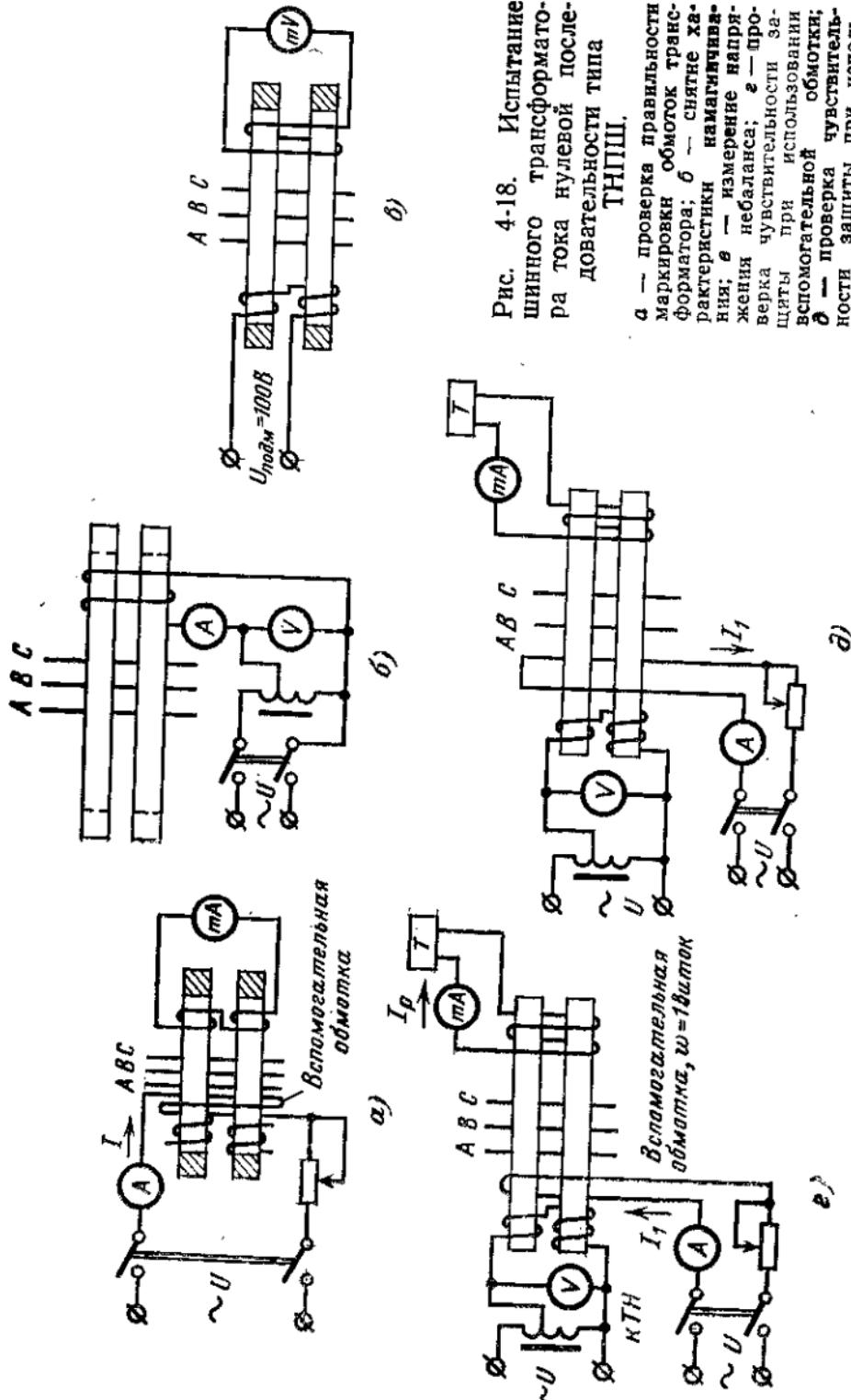


Рис. 4-18. Испытание шинного трансформатора тока нулевой последовательности типа ТНПЗ.

сти проверку правильности маркировки секций вторичной обмотки и обмотки подмагничивания.

5. Произвести измерение сопротивления изоляции всех обмоток трансформатора.

6. С помощью четырехплечего измерительного моста постоянного тока измерить омическое сопротивление вторичных обмоток трансформатора.

7. Собрав схему по рис. 4-18,б, снять характеристики намагничивания вторичных обмоток $U_2=f(I_2)$ для случаев:

$$U_{\text{подм}} = U_{\text{ном}} = 100 \text{ В};$$

$$U_{\text{подм}} = 0.$$

Результаты измерений занести в табл. 4-4.

Таблица 4-4

Параметры вторичной обмотки	$U_{\text{подм}} = U_{\text{ном}}$				$U_{\text{подм}} = 0$			
I_2								
U_2								

8. Пользуясь схемой на рис. 4-18,в, измерить на выходе вторичной обмотки напряжение небаланса, обусловленного обмоткой подмагничивания. Полученное значение не должно превышать 150 мВ.

9. Проверить чувствительность защиты, для чего: собрать схему по рис. 4-18,г или 4-18,д;

при различных напряжениях подмагничивания зафиксировать значения первичных токов $I_{\text{ср}}$, при которых реле срабатывает.

Таблица 4-5

Значение напряжения подмагничивания	Ток срабатывания $I_{\text{ср}}$, А, при подведении к обмотке подмагничивания напряжений		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}
0			
$0,9 U_{\text{ном}}$			
$U_{\text{ном}}$			
$1,1 U_{\text{ном}}$			

Провести опыт при подведении к обмотке подмагничивания напряжений от различных фаз. Данные занести в табл. 4-5. Построить кривые $I_{ср1}=f(U_{подм})$.

Определить значение тока в реле при максимальном токе замыкания на землю в сети защищаемого генератора (значение тока задается преподавателем).

Указания к выполнению работы. 1. В схеме на рис. 4-17 предусмотрены выключатели, с помощью которых могут быть созданы режимы, имитирующие различные повреждения. Так, например, при замыкании выключателей B и C имитируется режим двухфазного к. з. BC и т. д.

2. Проверка полярности обмоток может производиться либо с помощью магнитоэлектрического прибора, либо с использованием вспомогательной обмотки, состоящей из нескольких витков, по которой проходит переменный ток около 5 А (рис. 4-18, a). При правильном включении вторичных обмоток двух магнитных систем (согласно-последовательном) прибор, подключенный к этим обмоткам, дает показание. При ошибочном включении или неправильно указанной полярности прибор покажет нуль. Аналогично проверяется полярность обмоток подмагничивания. В данном случае, наоборот, при правильном соединении обмоток вследствие встречно-последовательного их включения стрелка прибора не должна отклоняться.

3. При измерении напряжения небаланса следует брать прибор на номинальное напряжение около 300 мВ и с внутренним сопротивлением не менее 100 Ом.

4. При $U_{нб} > 150$ мВ напряжение небаланса уменьшается путем изменения числа витков одной секции обмотки подмагничивания.

5. При проверке чувствительности защиты с трансформатором ТНПШ в условиях эксплуатации на магнитопровод трансформатора наматывается один виток вспомогательной обмотки, по цепи которого проходит регулируемый ток. Тем самым имитируется режим однофазного замыкания на землю.

При проверке в лабораторных условиях вспомогательный виток может не наматываться на магнитопровод. Первичный ток I_1 в этом случае проходит от вспомогательного источника через любую шину фазы A , B или C первичной цепи трансформатора ТНПШ (рис. 4-18, δ).

Контрольные вопросы. 1. Чем определяется значение тока повреждения при однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью?

2. С какой целью заземляющий провод от воронки кабеля проpusкается через окно трансформатора нулевой последовательности?

3. Для какой цели у трансформатора типа ТНПШ предусмотрена обмотка подмагничивания?

Почему подмагничивание производится переменным током, а не постоянным?

4. Какое напряжение следует подводить к обмотке подмагничивания — фазное или междуфазное?

5. Для чего вторичная обмотка трансформатора тока нулевой последовательности выполнена секционированной?

6. К чему приведет неправильное соединение обмоток трансформатора ТНПШ, если обмотки подмагничивания соединены согласно-последовательно, а секции рабочих обмоток встречно-последовательно?

7. В каких случаях защита от замыканий на землю действует на сигнал, в каких — на отключение: а) генераторов; б) кабельных линий?

8. Защита генераторов от замыканий на землю с трансформатором тока ТНПШ имеет чувствительность 4,5 А. Произошел обрыв цепи подмагничивания. Изменится ли при этом чувствительность защиты?

9. Зависит ли ток реле, подключенного к трансформатору ТНПШ, от того, произошло ли замыкание на землю фазы *A*, *B* или *C*? Обмотка подмагничивания присоединена к напряжению *BC*.

4-5. Испытание устройств блокировок защит при неисправностях цепей напряжения.

Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с устройствами, предотвращающими срабатывание защиты на отключение защищаемого объекта при нарушениях в цепях напряжения и методами проверки основных параметров этих устройств.

Для защиты измерительных трансформаторов напряжения от режимов к. з. вторичных цепей устанавливаются предохранители или автоматы. В случае перегорания предохранителя или срабатывания автомата защита, подключенная к цепям напряжения, может оказаться в условиях, аналогичных режиму к. з. в первичной сети, сопровождаемого понижением или исчезновением напряжения, что может привести к ненужному отключению защищаемого объекта. Во избежание такой работы ряд защит снабжаются специальным устройством, так называемой «блокировкой при неисправности цепей напряжения», которая при возникновении такой

неисправности снимает оперативный ток с исполнительного органа защиты.

Первый принцип выполнения блокировки предусматривает установку для защиты вторичных цепей трансформаторов напряжения быстродействующих автоматов, снабженных блок-контактами. Эти блок-контакты при срабатывании автомата размыкают оперативный ток защиты и таким образом выводят ее из действия. Недостаток способа состоит в том, что его применение требует усложнения коммутации оперативных цепей.

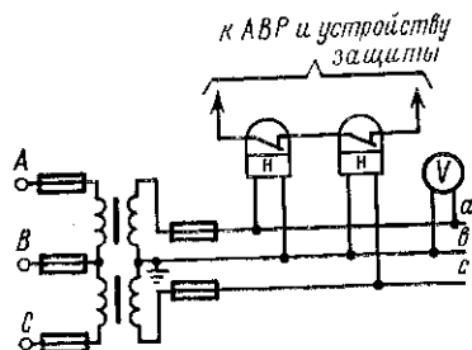


Рис. 4-19. Последовательное соединение контактов реле, включенных на разные междуфазные напряжения.

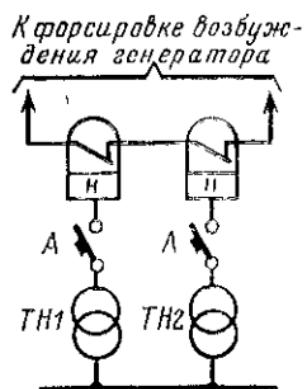


Рис. 4-20. Последовательное соединение контактов реле, включенных на одноименные фазы разных измерительных трансформаторов напряжения (A — автоматы).

Второй принцип основан на том, что в большинстве случаев повреждение вторичных цепей трансформаторов напряжения, соединенных в звезду с заземленной нулевой точкой, сопровождается появлением напряжения нулевой последовательности (в момент возникновения повреждения либо после перегорания предохранителя или срабатывания автомата в одной или двух фазах). Так как защиты от междуфазных к. з. должны срабатывать также при замыканиях двух фаз на землю (в одной или разных точках защищаемой сети), блокировка таких защит от реле, реагирующих на напряжение $3U_0$, снимается при появлении тока $3I_0$ в защищаемой зоне.

Третий принцип предусматривает выявление повреждения вторичной цепи трансформатора напряжения путем сравнения между собой уровней напряжений разных

фаз трансформатора напряжения (рис. 4-19) или уровней напряжения одноименных фаз двух различных трансформаторов напряжения, подключенных к общему питающему источнику (рис. 4-20), что, однако, не позволяет обнаружить трехфазное повреждение.

Первая возможность используется, например, при выполнении защиты минимального напряжения электродвигателей собственных нужд электрических станций и для пускового органа устройства АВР. Вторая — для устройства форсировки возбуждения генераторов. Раз-

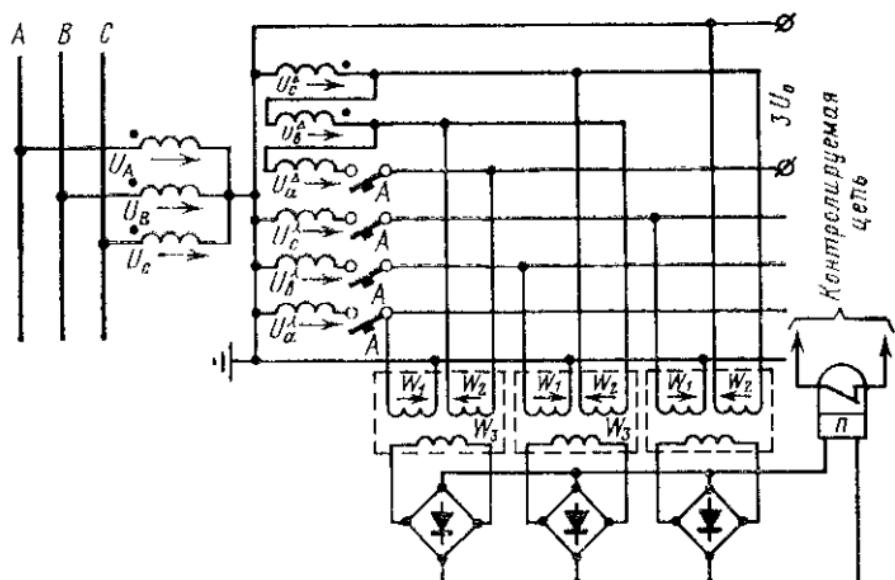


Рис. 4-21. Сравнение величины и фазы напряжения одноименных фаз вторичных обмоток, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник (A — автоматы, пунктиром очерчены три промежуточных трансформатора).

новидностью реализации способа является выявление повреждения вторичных цепей трансформатора напряжения путем сравнения напряжений одноименных фаз, снимаемых с обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник и звезду. Такой метод применяется в устройствах дистанционной защиты линий 500 кВ (рис. 4-21).

Для дистанционных защит сетей 220 кВ и ниже, выпускаемых Чебоксарским электроаппаратным заводом, применяются устройства блокировки типов КРБ-12 и КРБ-13, работающих по второму принципу.

Схема блокировки КРБ-12 показана на рис. 4-22. Устройство содержит пятиобмоточный трансформатор

напряжения T . При первичных его обмотки (w_3, w_4, w_5) через добавочные резисторы R_3, R_4, R_2 включены на фазные напряжения. К четвертой обмотке w_2 через регулируемый резистор $R_{\text{пер}}$ и R_1 подводится напряжение $3U_0$ от обмоток измерительного трансформатора напряжения, соединенных в разомкнутый треугольник. Вторичная обмотка промежуточного трансформатора w_1 пита-

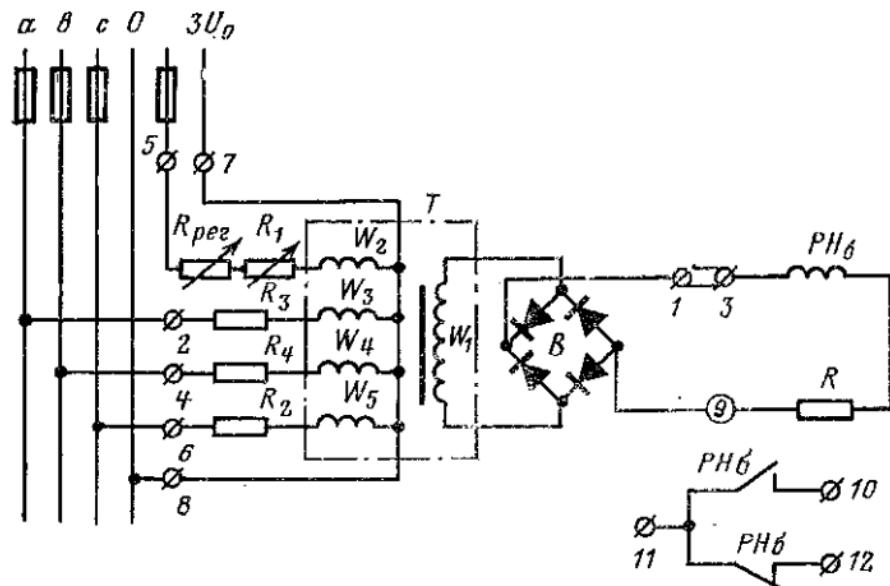


Рис. 4-22. Принципиальная схема устройства блокировки при неисправности цепей напряжения типа КРБ-12.

тает исполнительное реле PH_6 (поляризованное реле), включенное на выход выпрямительного моста B . Так как числа витков $w_3=w_4=w_5$ и $R_2=R_3=R_4$, в нормальном режиме и при всех междуфазных к. з. суммарный магнитный поток от воздействия токов, проходящих по этим трем обмоткам, будет равен нулю и напряжение на зажимах обмотки реле PH_6 отсутствует. При замыкании на землю в сети высокого (первичного) напряжения суммарный магнитный поток также отсутствует. Это достигается тем, что ток обмотки w_2 при наличии напряжения $3U_0$ обусловливает магнитный поток в сердечнике трансформатора T , направленный встречно результирующему потоку, созданному токами, проходящими по обмоткам w_3, w_4, w_5 . Напряжение на реле PH_6 появляется в случае обрыва одной или двух фаз, т. е. при действии одного или двух автоматов (или перегорании предохранителей). В этом случае полный результирующий поток

не равен нулю, что и обуславливает срабатывание реле PH_6 . Размыкающий контакт реле разрывает оперативную цепь защиты, чем предотвращается ее ложное срабатывание — осуществляется блокирование защиты. Замыкающий контакт реле используется для сигнализации действия блокировки.

В сетях с малым током замыкания на землю устройство КРБ-12 подключается к измерительным трансформаторам напряжения со вторичными номинальными напряжениями $100/\sqrt{3}$ и $100/3$ В. В сетях с большим током замыкания на землю — с номинальными напряжениями $100/\sqrt{3}$ и 100 В. В последнем случае сопротивление R_1 в цепи обмотки ω_2 должно быть увеличено в 3 раза.

Схема устройства КРБ-13 показана на рис. 4-23. Фильтр напряжения нулевой последовательности выполнен с помощью трех одинаковых конденсаторов C_1 , C_2 и C_3 , включенных по схеме звезды. Исполнительным органом устройства служит электромагнитное реле напряжения, включенное между нулевой точкой звезды конденсаторов и нулевым проводом нейтрали вторичной обмотки измерительного трансформатора, при помощи выпрямительного моста B . В этой же цепи установлены дроссель Dr и регулировочный резистор R (изменением сопротивления резистора меняется уставка срабатывания реле PH). Для предотвращения ненужного действия блокировки при замыканиях на землю в сети высокого напряжения, сопровождающихся появлением напряжения нулевой последовательности, в цепь обмотки исполнительного реле включены размыкающие контакты реле тока нулевой последовательности PT_0 . Это реле включено к трем параллельно соединенным вторичным обмоткам трансформаторов тока, установленным на защищаемой линии электропередачи. При замыканиях

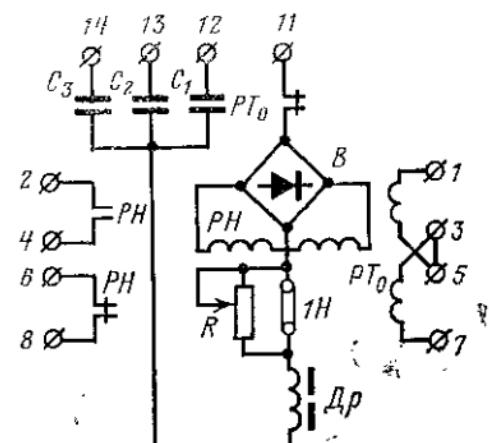


Рис. 4-23. Принципиальная схема устройства блокировки при неисправности цепей напряжения типа КРБ-13 Чебоксарского электроаппаратного завода.

на рисунке обозначены: $\phi 1$, $\phi 3$, $\phi 5$, $\phi 7$ — первичные обмотки трансформаторов тока; PH — исполнительное реле напряжения; PT_0 — реле тока нулевой последовательности; Dr — дроссель; R — регулировочный резистор; B — выпрямительный мост.

на землю на защищаемом объекте реле PT_0 срабатывает и размыкает цепь питания реле RH . Таким образом, обеспечивается работа блокировки КРБ-13 только при обрывах одной или двух фаз вторичной цепи измерительного трансформатора напряжения.

При одновременном обрыве трех фаз блокировки типов КРБ-12 и КРБ-13 не действуют, так как отсутствует напряжение нулевой последовательности. Действие блокировки в этом режиме достигается подключением параллельно одному из предохранителей или параллельно одной фазе автомата конденсатора [12]. На обрыв трех фаз непосредственно реагирует устройство блокировки, приведенное на рис. 4-21. Все рассмотренные типы блокировок, за исключением показанной на рис. 4-20, не действуют при отключении измерительного трансформатора напряжения с высокой стороны.

Задание на работу. 1. Ознакомиться с устройством блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12 или КРБ-13. Списать паспорт и начертить схему внутренних соединений.

2. Измерить значения фазных и междуфазных напряжений. Убедиться в том, что значения фазных (междуфазных) напряжений отличаются друг от друга не более чем на 1,5 %.

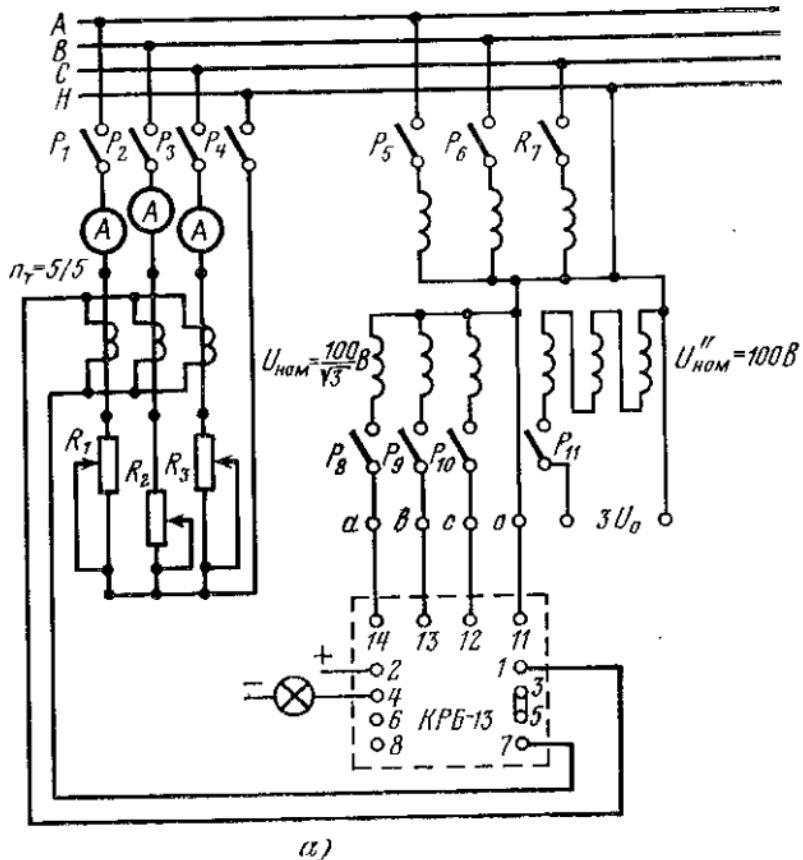
3. Включить устройство блокировки в цепь вторичных обмоток трансформаторов напряжения; убедиться в том, что в нормальном режиме исполнительное реле не сработало.

4. Измерить ток небаланса в цепи исполнительного реле блокировки КРБ-12. Для проведения опыта снять накладку 1—3 (рис. 4-22) и включить вместо нее миллиамперметр.

5. Проверить работу устройства блокировки при имитации перегорания предохранителя в одной, а затем в двух фазах [или соответственно при срабатывании автоматов] путем отключения рубильников $P_8—P_{10}$ (рис. 4-24,а). Убедиться в том, что при этих режимах исполнительное реле блокировки срабатывает.

6. При тех же условиях измерить ток в цепи реле RH (для блокировки типа КРБ-12) и напряжение между общей точкой конденсаторов и нулевым проводом (зажим 11) в блокировке типа КРБ-13.

7. Проверить работу устройств блокировки при имитации однофазного замыкания на землю в первичной



(a)

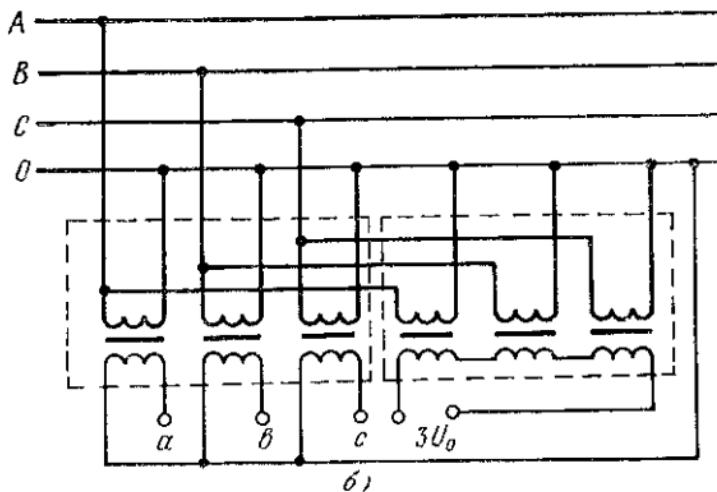


Рис. 4-24. Испытательная схема на лабораторном стенде.

a — при наличии трех трехобмоточных однофазных промежуточных трансформаторов; *b* — замена трехобмоточных трансформаторов двухобмоточными.

сети (рис. 4-24). Убедиться в том, что исполнительное реле блокировки не срабатывает.

8. Обосновать работу устройств блокировки по рис. 4-22 и 4-23 (блокировки типа КРБ-12 и КРБ-13) при рассмотренных в п. 3, 5 и 7 режимах путем построения векторных диаграмм.

Указания к проведению работы. 1. В учебных лабораториях данная работа может быть проведена при использовании специально выполненного трехобмоточного трансформатора напряжения со вторичными фазными напряжениями $100/\sqrt{3}$ и 100 В и соединением обмоток: звезда с выведенной нулевой точкой — звезда с выведенной нулевой точкой — разомкнутый треугольник или с использованием шести однофазных двухобмоточных промежуточных трансформаторов с соединением обмоток: три трансформатора звезда с выведенной нулевой точкой — звезда с выведенной нулевой точкой и другие три трансформатора звезда с выведенной нулевой точкой — разомкнутый треугольник (рис. 4-24,б).

2. Имитацию нормального режима выполнить, установив в схеме на рис. 4-24,а токи в фазах *A*, *B* и *C* по 5 А. Значение токов отрегулировать нагрузочными сопротивлениями R_1 , R_2 , R_3 .

3. Имитацию к. з. фазы *A* в первичной сети выполнить, используя схему, приведенную на рис. 4-24,а. Для этого при включенных переключателях P_8 — P_{11} :

отрегулировать резистором R_1 ток через амперметр фазы *A* на 10 А.

4. При отсутствии в лаборатории отдельного комплекта блокировки типа КРБ-12 может быть использована блокировка этого типа, встроенная в комплект дистанционной защиты типа ДЗ-2.

5. Учесть, что в устройстве КРБ-12 при несимметрии потоков в обмотках промежуточного пятиобмоточного трансформатора, обусловленных повреждением в цепи, присоединенной к обмотке этого трансформатора, соединенной в звезду, может возникнуть за счет наличия общего магнитопровода н. с., вызывающая значительное напряжение на выходе обмотки w_1 , что в ряде случаев может быть нежелательным (например, может вызвать неправильное представление персонала о причинах работы блокировки).

Контрольные вопросы. 1. Назначение и область применения блокировок защит при неисправностях цепей напряжения.

2. Назначение обмотки w_2 в промежуточном трансформаторе T устройства КРБ-12.

3. Назначение токового реле PT_0 в устройстве КРБ-13.

4. Действуют ли устройства КРБ-12 и КРБ-13 при отключении вторичных цепей трансформатора напряжения трехфазным автоматом?

5. Как можно обеспечить работу устройств КРБ-12 и КРБ-13 при перегорании предохранителей в трех фазах вторичных цепей напряжения?

6. Поясните работу блокировки, выполненной по рис. 4-21 при перегорании одного, двух или трех предохранителей во вторичной цепи трансформатора напряжения.

7. Производится ли блокирование цепей защиты устройствами, выполненными по рис. 4-21, 4-22, 4-23, при отключении измерительного трансформатора напряжения с высокой стороны (например, при его неисправности)?

8. Коэффициенты трансформации однофазных трехобмоточных измерительных трансформаторов $\frac{500000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100$ В.

Обмотки трансформаторов соединены по схеме звезда — звезда — разомкнутый треугольник (рис. 4-21). В каком соотношении между собой должны находиться числа витков обмоток промежуточных трансформаторов напряжения, присоединенных обмоткой w_1 ко вторичной обмотке измерительного трансформатора напряжения, соединенной в звезду, а обмоткой w_2 — ко вторичной обмотке измерительного трансформатора, соединенной в разомкнутый треугольник?

9. Схема, приведенная на рис. 4-19, предназначена для замыкания цепи при исчезновении напряжения в трех фазах. Какую уставку надо принять на реле понижения напряжения, для того чтобы упомянутые устройства не работали при двухфазных к. з. в первичной цепи; то же при перегорании предохранителя в фазе B первичной обмотки трансформатора напряжения?

ГЛАВА ПЯТАЯ

ИСПЫТАНИЯ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, АПВ И АВР

5-1. Общие положения

Комплектные устройства защиты и автоматики представляют собой сочетание группы аппаратов, реализующих заданную программу работы. При испытаниях подобных устройств требуется проверка как правильности работы отдельных элементов, так и их совместного действия.

Лабораторные работы по испытанию устройств защиты и автоматики, предусмотренные в данной главе, дополняют теоретический курс и позволяют учащимся

наглядно проверить на практике работу изучаемых устройств.

В отличие от испытаний в реальных условиях в лаборатории часто не имеется возможности осуществить воздействие испытуемого устройства на выключатели или получить в первичной обмотке трансформаторов тока токи, равные токам к. з. в мощной энергетической системе. Поэтому в рассмотренных ниже лабораторных работах выключатели защищаемых объектов в ряде случаев заменены набором реле, имитирующим работу выключателей и положение их силовых и вспомогательных контактов (блок-контактов), а проверка устройств при к. з. на защищаемом объекте имитируется соответствующим изменением тока, проходящего непосредственно по обмотке испытуемого реле, и напряжения, подводимого к обмотке напряжения проверяемого устройства.

5-2. Настройка уставок максимальной токовой защиты. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с устройством максимальной токовой защиты линии электропередачи, оснащенной устройством для автоматического повторного включения, расчет уставок защит и регулировка реле на выбранную уставку, проверка взаимодействия реле, проверка отключения.

Максимальная токовая защита от междуфазных к. з. получила широкое распространение для защиты различных элементов электропередачи (линий, трансформаторов, двигателей, генераторов). Защита устанавливается или как основная и единственная, или как резервная. Когда защита не имеет специальной выдержки времени и ее селективное действие в пределах защищаемой зоны достигается только соответственно выбранной уставкой тока срабатывания, защита называется токовой отсечкой.

Работа максимальной защиты со вторичными токовыми реле зависит от схемы включения трансформаторов тока, ко вторичным цепям которых подключена обмотка реле.

Возможность применения максимальной токовой защиты со ступенчатой характеристикой выдержки времени определяется соблюдением условий селективности и чувствительности.

Селективность достигается установкой такой выдержки времени защиты, чтобы защита 1 (рис. 5-1) при повреждении на участке BB действовала позднее, чем защита 2 (не менее чем на ступень селективности, избирательности Δt). Если защита 1 не приходит в действие при повреждениях на участке BB , ее время не отстраивается от времени защиты 2; защита 1 в этом случае является токовой отсечкой.

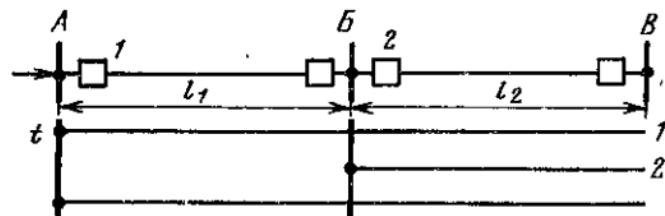


Рис. 5-1. Схема сети.

Для уменьшения времени отключения к. з. после неуспешной работы устройств АПВ применяется ускорение защиты после АПВ. Время действия защиты в этом случае составляет около 0,1—0,2 с, что достаточно для отстройки от влияния броска апериодической составляющей нускового тока асинхронных двигателей нагрузки.

Уставка тока срабатывания защиты 1 определяется указанными ниже условиями:

чувствительность защиты 1 к повреждениям в зоне ее действия на участке BB должна быть меньше, чем защиты 2.

Учитывая погрешность чувствительности защит 1 и 2, равную $\pm 5\%$, принимается:

$$I_{\text{ср.з1}} \geq 1,1 I_{\text{ср.з2}}, \quad (5-1)$$

где $I_{\text{ср.з1}}$, $I_{\text{ср.з2}}$ — токи срабатывания защиты первого и второго участков (первичные);

защита не должна действовать от тока нагрузки, проходящего по линии как в нормальных условиях, так и после отключения к. з. вне защищаемой зоны:

$$I_{\text{ср.з1}} \geq k_h k_{c.z} I_{\text{нагр. макс1}} / k_b, \quad (5-2)$$

$I_{\text{нагр. макс1}}$ — максимальное значение тока нагрузки первого участка; $k_h \approx 1,2$ — коэффициент надежности; $k_{c.z} = -1,5 : 2$ — коэффициент самозапуска, определяющий отношение тока первого участка при включении линии

под напряжение устройством АПВ или вручную к максимальному значению тока нагрузки первого участка; $k_B = I_B/I_{ср}$ — коэффициент возврата реле.

Для повышения чувствительности максимальная токовая защита снабжается блокировкой реле минимального напряжения (рис. 5-2, а). В этом случае в выражении (5-2) для определения тока срабатывания токовых реле коэффициент самозапуска может быть принят равным $k_{с.з} \approx 1,1$.

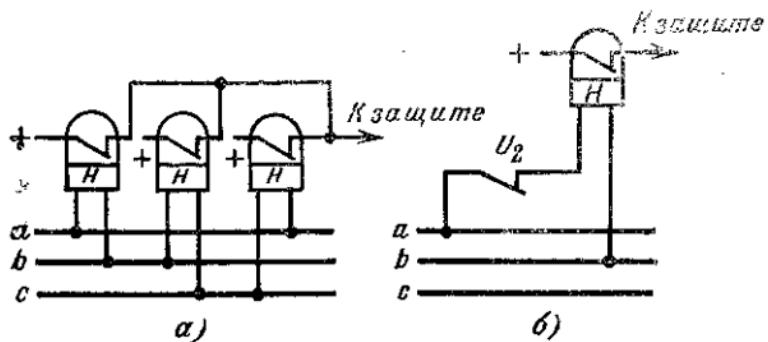


Рис. 5-2. Блокировка защиты при помощи реле напряжения.

a — тремя реле, включенными на междуфазные напряжения;
b — с использованием реле напряжения обратной последовательности.

Напряжение возврата реле напряжения, при котором реле замыкает свои контакты и разрешает действовать токовой защите,

$$U_B = (0,6 \div 0,75) U_{ном}. \quad (5-3)$$

Реле напряжения в схеме блокировки может быть включено в сочетании с фильтром напряжения обратной последовательности (рис. 5-2, б). При размыкании контакта реле U_2 срабатывает реле H .

Чувствительность токовой защиты определяется коэффициентом чувствительности

$$k_q = I_{к.з.мин}/I_{ср}, \quad (5-4)$$

где $I_{к.з.мин}$ — минимальное значение тока к. з. в реле при повреждении в конце защищаемой зоны; $I_{ср}$ — ток срабатывания токового реле.

При подключении токовых реле к трансформаторам тока, соединенным по схеме полной или неполной звезды, расчетный вид к. з. — двухфазное к. з.; при соединении трансформаторов тока по схеме треугольника (ре-

ле включены на разность фазных токов) чувствительность защиты от междуфазных к. з. не зависит от вида к. з.

Чувствительность защиты I (см. рис. 5-1) считается приемлемой, если при к. з. на шинах подстанции B $k_{\text{ч}} \geq 1,2$, а при к. з. на шинах подстанции A $k_{\text{ч}} \geq 1,2$.

Задание на работу. 1. Рассчитать уставки максимальной токовой защиты для линии l_1 (рис. 5-3) с учетом схемы включения трансформаторов тока и данных приведенной ниже в табл. 5-1. Номер задания по таблице и схема включения трансформаторов тока (k_{ct}) указываются преподавателем.

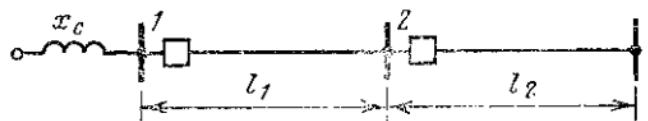


Рис. 5-3. Расчет максимальной токовой защиты и схема сети.

2. Составить схему защиты, предусмотрев ускорение ее работы после АПВ.

3. Проверить чувствительность защиты и определить необходимость применения блокировки реле минимального напряжения.

Таблица 5-1

№ за- дания	$U_{\text{сети}},$ кВ	$x_{\text{сmax}},$ Ом	$x_{\text{сmin}},$ Ом	$l_1, \text{ км}$	$I_{\text{ном1}},$ А	$l_2, \text{ км}$	$I_{\text{ном2}},$ А	Время дейст- вия заш- ты 2, с	n_T	k_{ct}
1	35	3	2	20	300	10	250	1	300/5	1,5
2	35	5	3	25	250	20	200	0,5	300/5	2
3	10,5	5	4	2	200	2	150	0,5	200/5	2

4. На лабораторном стенде для одной фазы собрать максимальную токовую защиту по схеме на рис. 5-4. Отрегулировать уставки отдельных реле в соответствии с данными, полученными по расчету.

5. Проверить взаимодействие схемы. Измерить полное время работы защиты с основной выдержкой времени. Сымитировать работу ускорения действия защиты после АПВ.

6. Определить на рабочих уставках разбросы времени действия защиты и коэффициентов возврата токовых реле.

Указания к проведению работы. 1. Измерение токов срабатывания и возврата реле, а также времени действия защиты должно производиться при полностью собранной схеме.

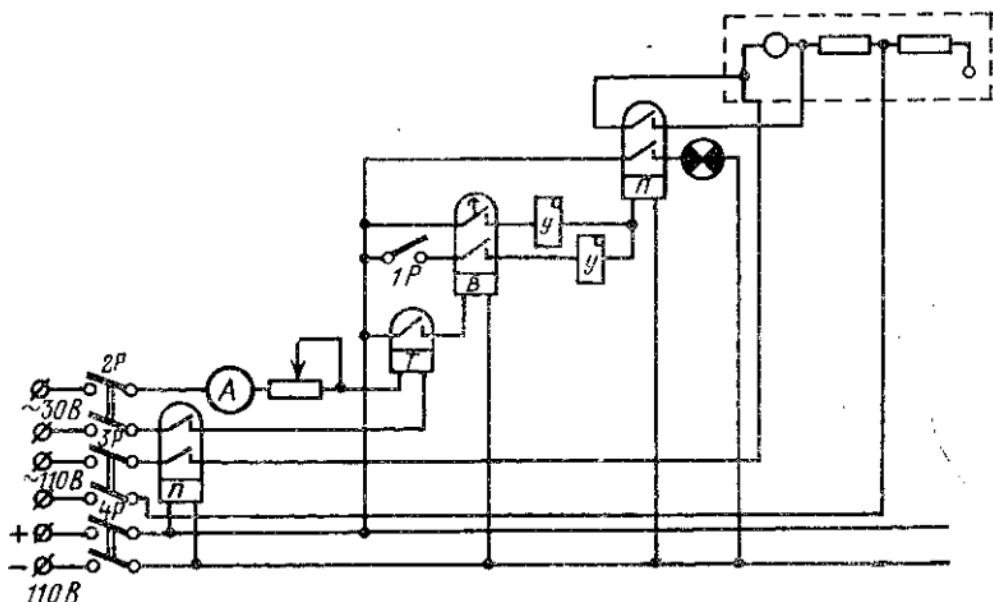


Рис. 5-4. Схема испытания защиты.

2. Разброс времени и среднее время срабатывания на заданной уставке проверяются путем пятикратного включения при токах $I_p = 1,05I_{ср}$ и $I_p = 2I_{ср}$.

3. Цепь ускорения защиты включается переключателем 1Р.

Контрольные вопросы. 1. Как производится выбор уставок максимальной токовой защиты?

2. Назначение блокировки максимальных токовых реле защиты при помощи реле напряжения.

3. Влияние разброса времени действия от установленного значения на выбор ступени избирательности.

4. Назначение ускорения защиты после АПВ.

5. Влияние схемы включения трансформаторов тока на выбор токов срабатывания токовой защиты.

6. Как выполняется блокировка защиты от реле минимального напряжения в комбинации с реле напряжения обратной последовательности? Преимущества и недостатки по сравнению со схемой блокировки из трех реле минимального напряжения, включенных на междуфазные напряжения.

7. Можно ли для защищаемой сети выполнить максимальную токовую защиту на переменном оперативном токе и при помощи реле прямого действия?

8. Определение интервала избирательности (Δt) между смежными участками.

5-3. Настройка максимальной токовой направленной защиты и устройств АПВ на линиях кольцевой сети с одной точкой питания. Лабораторная работа

Цель работы — настроить на рабочие уставки устройства максимальной токовой направленной защиты и АПВ одного из участков кольцевой сети с одной точкой питания, рассчитать рабочие уставки, проверить взаимодействие элементов устройств с имитацией устойчивого и неустойчивого к. з. после обесточения линии электропередачи.

Выбор уставок максимальной токовой направленной защиты участков кольцевой сети, имеющей одну питающую точку, производится по встречно-ступенчатому принципу.

Расчетам подлежат ток срабатывания токовых реле и время действия защиты. Размещением защиты по отдельным участкам и построением графиков времен действия выясняется возможность отказа от установки органа направления мощности на защитах ряда присоединений.

Устройства АПВ, установленные на выключателях участков кольцевой сети, должны учитывать наличие питания места повреждения на линии с обеих ее сторон. Время действия устройства АПВ должно быть таким, чтобы повторное включение линии под напряжение произошло только после отключения ее с обеих сторон.

На рис. 5-5 приведена схема, позволяющая рассмотреть совместную работу защиты и АПВ, а также имитировать работу выключателя при нормальном режиме передачи и к. з. на защищаемой линии.

Электропередача представлена одной фазой цепи переменного тока, в которую включен резистор 20, сопротивление которого эквивалентно сопротивлению системы от места генерации до места установки защиты. Сопротивление резистора 21 эквивалентно сопротивлению защищаемой линии, сопротивление резистора 22 — сопротивлению нагрузки. Значения этих сопротивлений выбираются так, чтобы по обмоткам токового реле 6, которые

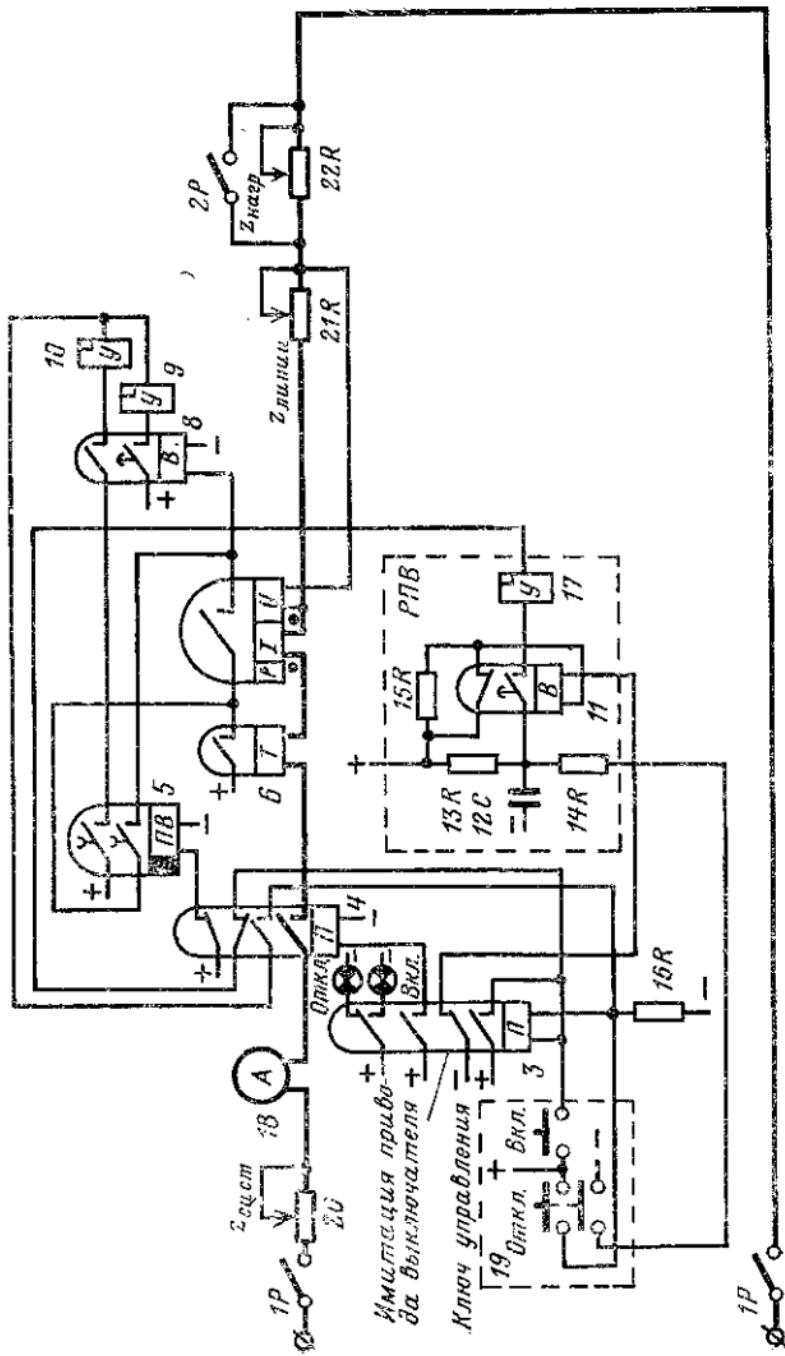


Рис. 5-5. Испытание токовой направленной защиты.

условии включены непосредственно в линию, при отключенном выключателе $2P$ проходил нормальный ток, измеряемый амперметром 18 .

При включении выключателя $2P$ ток должен превысить ток срабатывания токового реле, что соответствует режиму к. з. (в действительных условиях реле включается в цепь вторичных обмоток трансформаторов тока).

Привод выключателя имитирован промежуточным реле 3 , а сам выключатель — промежуточным реле 4 .

Реле направления мощности 7 реагирует на мощность $P_p = U_p I_p \cos(\phi_p + 45^\circ)$. Оно должно быть включено так, чтобы при включении выключателя $1P$ и реле 4 контакты реле мощности замыкались. Правильность включения дополнительно проверяется имитацией повреждения вне зоны — при изменении полярности подключения токовых цепей к реле мощности оно не должно замыкать контакты.

Сопротивление резистора 21 должно быть выбрано так, чтобы при замыкании выключателя $2P$ реле тока и мощности надежно срабатывали.

Ускорение действия защиты после работы АПВ или включения линии от руки производится при помощи реле 5 с замедлением на отпадание якоря (время замедления $0,5 \div 1$ с; точная регулировка этого времени не требуется).

Время действия защиты регулируется уставкой реле 8 , а время действия устройства АПВ — реле 11 . Схема устройства АПВ упрощена; она не содержит блокировки от возможности многократных срабатываний выключателя, предусмотренной типовыми схемами.

Самоустраниние к. з. за время отключенного состояния линии достигается в лабораторной работе путем отключения вручную выключателя $2P$ после того, как включится обмотка реле 11 .

Сопротивление резистора $13R$ определяет время заряда емкости $12C$ — время готовности АПВ после выключения выключателя. Резистор $14R$ служит для ограничения тока при подаче «минуса» на разряд емкости $12C$.

Резистор $15R$ предназначен для обеспечения термической стойкости реле 11 . Емкость $12C$, резисторы $13R$, $14R$, $15R$ и реле времени 11 являются элементами западского реле типа РПВ-58 [12].

Указательные реле 9 , 10 и 17 сигнализируют о срабатывании отдельных элементов устройства. Ключ управ-

лений имитирован при помощи кнопок управления. Резистор $16R$ входит как составная часть «привода». С целью экономии времени для выполнения лабораторной работы целесообразно, чтобы испытуемая схема линии электропередачи и выключателей была смонтирована заранее. Еще лучше, если имеется возможность провести работу с использованием настоящего выключателя и привода к нему. Однако для ознакомления с методом наладки максимальной направленной защиты и устройства АПВ допустимо воспользоваться искусственной схемой, приведенной на рис. 5-5.

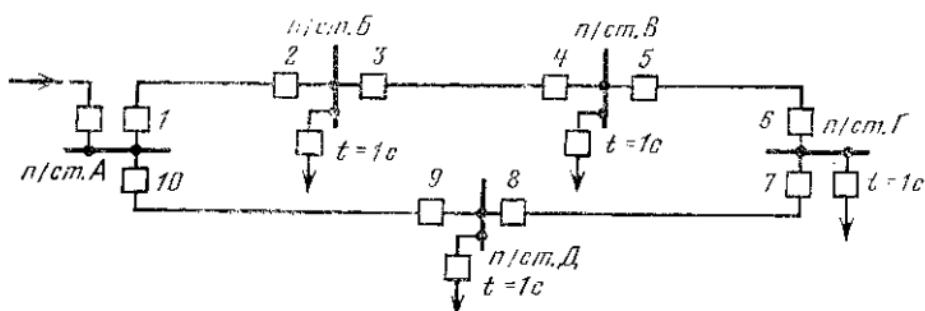


Рис. 5-6. Кольцевая сеть с одной питающей точкой.

Задание на работу. 1. Собрать искусственную схему одной фазы линии электропередачи с выключателем на питающей стороне по схеме рис. 5-5 (при наличии собранной схемы на стенде — ознакомиться с нею).

2. Рассчитать уставки времени действия защиты и АПВ для сети, показанной на рис. 5-6.

3. Для номера присоединения, указанного преподавателем, отрегулировать времена действия реле времени максимальной токовой направленной защиты и устройства АПВ.

4. Проверить правильность фазировки реле направления мощности.

5. Проверить взаимодействие устройств защиты и АПВ при неустранившемся к. з. (в одном случае) и устранившемся (в другом). Резисторы 20, 21 и 22 (рис. 5-5) отрегулировать так, чтобы после замыкания выключателя $2P$ при включенных выключателях $1P$ и реле 4 токовое реле 6 надежно замыкало контакты.

6. Определить мощность срабатывания реле мощности и рассчитать длину мертвых зон при трехфазном

к. з., если известно, что ток при трехфазном к. з. равен 1200 А, $n_t = 600/5$, $n_h = 35\ 000/100$.

7. Изменением положения движка реостата 21 имитировать различную удаленность к. з. от места установки защиты. Убедиться в наличии мертвых зон у реле направления мощности при трехфазном к. з.

Указания по проведению работы. 1. Значения токов при имитации нормального режима и к. з. определяются по показаниям амперметра 18 и регулируются резисторами 20, 21 и 22.

Регулировку произвести так, чтобы ток нормального режима был равен 3 А, а ток к. з. 6 А.

2. Значение сопротивлений резисторов 21, 22 могут быть сделаны одинаковыми при помощи регулировки.

3. Проверка правильности включения полярностей обмоток реле мощности производится рабочим током, т. е. при правильном включении под действием активной «рабочей» мощности реле должно замыкать контакты (реле косинусного типа с внутренним углом единга 45°).

4. Напряжение на обмотке реле мощности при имитации к. з. на защищаемой линии измеряется вольтметром со шкалой 0—110 В.

5. При отсутствии необходимых типов указательных реле они могут в схему не включаться. О включенном или отключенном состоянии «выключателя» сигнализируют лампы и показания амперметра.

6. Если на испытательном стенде применено комплексное устройство АПВ заводского производства или грузовые и пружинные АПВ, необходимо:

разобраться в схеме и конструкции устройства АПВ; выяснить, каким образом достигается заданная кратность действия;

выяснить способы регулировки времени повторного включения;

рассмотреть возможность применения испытуемого устройства АПВ при переводе подстанции на телеуправление;

внести в испытуемое устройство защиты ускорение до или после работы устройства АПВ.

Произвести пуск устройства АПВ после любого автоматического отключения выключателя (в одном случае) и только при работе определенной релейной защиты (в другом случае).

- Контрольные вопросы.**
- Назначение реле направления мощности в схемах максимальной токовой направленной защиты.
 - Схемы включения реле направления мощности в защитах от междуфазных к. з. и в защите от замыкания на землю в сетях с большим током замыкания.
 - Поведение реле мощности, включенного по 90°-ной схеме, при различных видах к. з.

- Мертвая зона реле направления мощности и расчет ее.
- Выбор уставок максимальной токовой направленной защиты в кольцевой сети с одной точкой питания.
- Выбор времени действия устройств АПВ в кольцевой сети с одной точкой питания.

5-4. Настройка токовой направленной поперечной дифференциальной защиты параллельных линий.

Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление со схемой и основными органами защиты, выбор уставок и настройка защиты на рабочие уставки (для одной фазы), проверка взаимодействия элементов устройства защиты.

Токовая направленная поперечная дифференциальная защита параллельных линий предназначена для избирательного отключения поврежденной линии при к. з. на ней. Органом, выявляющим наличие повреждения в зоне параллельных линий, является токовое реле, включенное

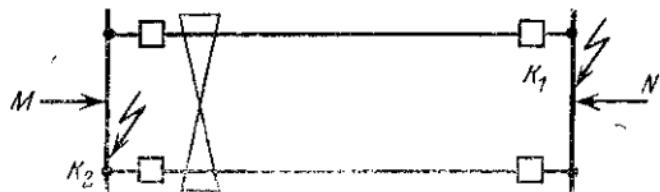


Рис. 5-7. Участок сети с двумя параллельными линиями электропередачи.

на разность вторичных токов трансформаторов тока, по первичным обмоткам которых проходят фазные токи каждой из параллельных линий. Избирательное отключение одной из двух параллельных линий выполняется при помощи реле направления мощности.

Ток, проходящий по обмотке токового реле, включенного на разность фазных токов параллельных линий 1 и 2, равен:

$$I_p = (I_1/n_t) - (I_2/n_t) = I'_1 - I'_2. \quad (5-5)$$

Реле действует, если этот ток больше или равен току срабатывания $I_{ср}$.

Ток срабатывания выбирается из двух условий:

1. Из условия отстройки от тока небаланса при к. з. на шинах в точке K_1 , вызванного прохождением тока к. з. от источника M , и от тока небаланса при к. з. в точке K_2 , вызванного током, проходящим от источника N (рис. 5-7). Расчет производится с учетом большего из этих токов. Принимается, что ошибка трансформаторов не превышает 10%:

$$I_{нб. макс} = 0,1 \cdot 0,5 I_{к. з. макс} k_{одн} k_{ап} / n_t, \quad (5-6)$$

где $I_{к. з. макс}$ — максимальное значение периодической составляющей тока к. з.; $k_{одн}$ — коэффициент однотипности трансформаторов тока (при одинаковых по своей конструкции трансформаторах тока, установленных на двух параллельных линиях, расхождение их магнитных характеристик меньше, чем при использовании разнотипных трансформаторов, поэтому в первом случае ток небаланса будет меньше, чем во втором, что учитывается коэффициентом однотипности — для первого случая принимают $k_{одн}=0,5$, для второго $k_{одн}=1$); $k_{ап}$ — коэффициент апериодичности, характеризующий увеличение тока небаланса трансформаторов под влиянием прохождения апериодической составляющей тока к. з. ($k_{ап}=1,5 \div 2$).

Уставка токового реле

$$I_{ср} = k_n I_{нб. макс}. \quad (5-7)$$

Коэффициент надежности $k_n=1,2 \div 1,5$.

2. Из условия отстройки от максимального тока нагрузки, проходящего по одной из параллельных линий, в условиях, когда вторая линия отключена с противоположного конца (например, при необходимости осмотра выключателя):

$$I_{ср} = k'_n I_{нагр. макс} / n_t k_v, \quad (5-8)$$

где k'_n — коэффициент надежности, равный 1,2—1,3; k_v — коэффициент возврата, равный 0,8—0,85; $I_{нагр. макс}$ — суммарный ток нагрузки по двум параллельным линиям.

Если выполнение защиты с учетом (5-8) приводит к недопустимому загрублению, применяется блокировка при помощи реле напряжения, а уставка срабатывания токового реле защиты выбирается по (5-7).

Поперечная токовая дифференциальная направленная защита обладает мертвой зоной и зоной каскадного действия. Под мертвой зоной понимается участок линии около шин питающей подстанции при трехфазном к. з., на котором защита не действует из-за отказа в работе органа направления мощности.

Под зоной каскадного действия понимается участок линии вблизи шин приемной подстанции, при повреждении на котором защита со стороны питающей подстанции придет в действие только после того, как поврежденная линия будет отключена от шин приемной подстанции. Зона каскадного действия имеет место во всех видах к. з. вследствие того, что разность токов питающего конца, проходящих по обмотке реле тока или мощности, мала (меньше тока срабатывания токового пускового органа) и недостаточна для обеспечения работы органа направления мощности.

Чувствительность поперечной токовой дифференциальной направленной защиты считается приемлемой, если зоны действия защит, установленных с противоположных сторон линии, перекрывают друг друга, т. е. если суммарная длина зон каскадного действия

$$l_{\Sigma \text{к.д.}} = l_{1\text{к.д.}} + l_{2\text{к.д.}} \geq 1,2l, \quad (5-9)$$

где l — длина защищаемой линии; 1,2 — коэффициент запаса.

К поперечной токовой дифференциальной направленной защите оперативный ток должен подаваться, только если включены обе параллельные цепи; в противном случае после отключения поврежденной линии из-за изменения направления разности токов в обмотках реле направления мощности может произойти отключение неповрежденной линии.

Необходимая блокировка оперативной цепи достигается при помощи блок-контактов выключателей или контактов реле повторителей, фиксирующих включенное состояние выключателей (так называемых реле положения).

Наличие упомянутой блокировки не исключает возможности отключения одной из параллельных линий при внешнем к. з., если в этот промежуток времени был отключен выключатель на приемной подстанции другой параллельной линии. Для уменьшения вероятности таких

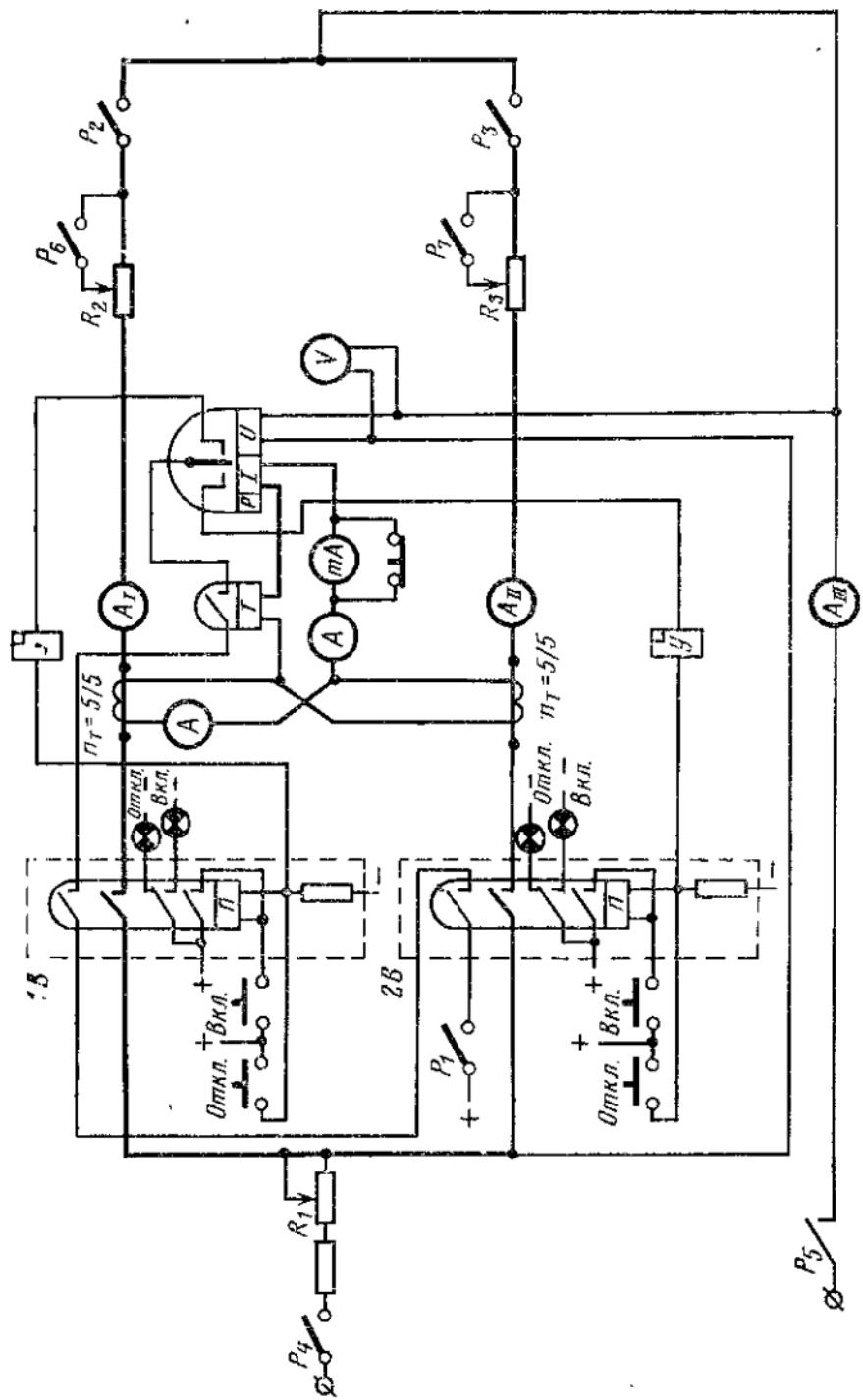


Рис. 5-8. Испытание поперечной дифференциальной токовой направленной защиты.

отключений дежурный персонал обязан при отключении выключателя с одной из сторон параллельной линии выводить поперечную токовую дифференциальную направленную защиту из действия (снимать с нее оперативный ток) на противоположной стороне линии (например, при отключении выключателя на приемной подстанции поперечная токовая дифференциальная направленная защита должна быть выведена дежурным персоналом со стороны питающей подстанции).

На рис. 5-8 представлена испытательная схема токовой направленной поперечной дифференциальной защиты параллельных линий. Собрана одна из фаз защиты, установленной со стороны питающей подстанции. Сопротивления линии представлены в виде сосредоточенных активных сопротивлений R_2 и R_3 , изменяя значение которых можно создавать разность токов в цепи защиты, вызывающую действие токового пускового органа и органа направления мощности. Короткое замыкание имитируется резким изменением значения сопротивления одной из параллельных цепей путем включения выключателей P_6 или P_7 . Изменение сопротивления системы имитируется включением резистора R_4 . Ток нагрузки регулируется резисторами R_2 и R_3 , которые должны быть равны, и резистором R_4 .

Вместо выключателей включены промежуточные реле с самоудерживанием.

Задание на работу. 1. Рассчитать уставки токовой направленной поперечной дифференциальной защиты параллельных линий.

Ниже приведены данные для расчета

Длина линии, км	15, 25, 35
Номинальное напряжение, В	37 500
Номинальный ток по каждой линии, А	200
Коэффициент трансформации трансформаторов тока	400/5, 600/5
Коэффициент трансформации трансформаторов напряжения	35 000/100
Сопротивление системы до шин питающей подстанции x_c , Ом	10
Сопротивление 1 км линии, Ом	0,4
Питание одностороннее	

2. Составить принципиальную схему защиты.

3. Установить на реле расчетные уставки.

4. Проверить работу схемы при нормальном режиме и имитации внешнего к. з. Показания всех приборов занести в табл. 5-2.

5. Проверить избирательность действия токового пускового органа и органа направления мощности при имитации к. з. поочередно на каждой линии. Показания приборов занести в ту же таблицу.

Таблица 5-2

Режим	Показания приборов				
	I_1	I_{II}	I_{III}	I_p	U
Нормальный					
Внешнее к. з.					
Короткое замыкание:					
на первой линии					
на второй линии					

6. Выяснить назначение блокировки оперативных цепей блок-контактами выключателей. Проследить действие схемы при отсутствии такой блокировки.

7. Определить последовательность работы защиты при к. з. в зоне каскадного действия.

Указания по проведению работы. 1. В качестве реле направления мощности применить реле, реагирующее на мощность

$$P_p = U_p I_p \cos (\varphi_p + 45^\circ). \quad (5-10)$$

2. Выключатель имитируется при помощи искусственной схемы с промежуточным реле. Перед выполнением работы надо уяснить отличие лабораторной схемы от схемы, применяемой в действительных условиях эксплуатации.

3. Перед включением реле на разность токов одинаковых фаз параллельных цепей надо определить полярность обмоток трансформаторов тока.

4. Для измерения токов небаланса и проверки правильности включения реле направления мощности использовать вольтамперфазондикатор (ВАФ).

5. Для обеспечения возможности записи показаний приборов в режимах к. з. на линиях кратковременно снять «минус» оперативного тока с реле защиты, отключив рубильник P_1 .

Контрольные вопросы. 1. Принцип действия поперечной токовой дифференциальной направленной защиты параллельных линий.

2. Назначение блокировки по напряжению в устройстве поперечной токовой дифференциальной направленной защиты.

3. Мертвая зона и зона каскадного действия поперечной токовой дифференциальной направленной защиты. При каких видах повреждений бывает мертвая зона и зона каскадного действия?

4. Обоснование схем включения реле направления мощности для поперечной токовой дифференциальной направленной защиты от замыканий между фазами и замыкания на землю.

5-5. Испытание устройства АПВ, выполненного с реле РПВ-58 для линий с односторонним питанием. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с принципом выполнения устройства АПВ однократного действия для линий электропередачи, ознакомление с конструкцией реле РПВ-58 Чебоксарского электроаппаратного завода, проверка работы устройства АПВ с реле РПВ-58 на линиях с односторонним питанием нетелемеханизированных подстанций.

Для нетелемеханизированных подстанций реле РПВ-58 могут быть включены так, что АПВ линий электропередачи происходит в случае возникновения несоответствия между положением ключа управления выключателя (положение «включено») и положением самого выключателя (положение «отключено»), указываемого реле-повторителем или блок-контактом привода.

Однократность работы реле РПВ-58 достигается за счет разряда емкости C на обмотку выходного реле IP_1 (рис. 5-9). Цель разряда возникает после отключения выключателя, включения реле времени IP_2 , встроенного в комплект РПВ-58, и замыкания временного контакта этого реле. Длительное время, требуемое для заряда емкости после включения выключателя ($t_{зар} = 15 \div 20$ с), предотвращает возможность многократного повторного включения и повторного включения после включения выключателя от руки на к. з. и отключения от релейной защиты (время отключения значительно меньше времени $t_{зар}$ — последнее может регулироваться изменением сопротивления резистора R_2). Кратковременное срабатывание реле IP_1 под воздействием разряда емкости C фиксируется удерживающей обмоткой реле IP_1 , включаемой контактом реле IP_1 последовательно с обмоткой электромагнита включения выключателя.

В реле РПВ-58 предусмотрена возможность выполнять «запрет» АПВ (например, при действии того или

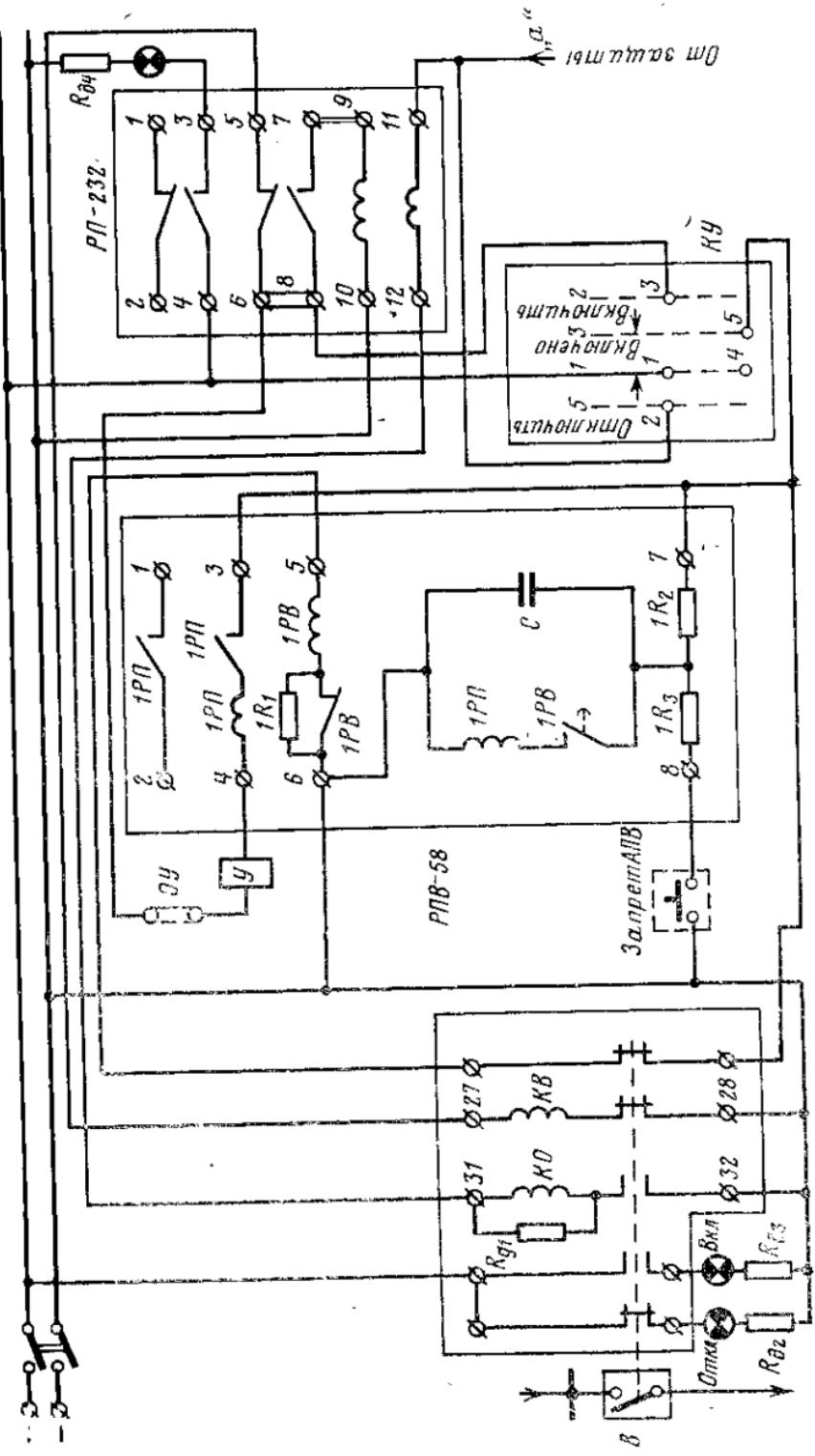


Рис. 5-9. Испытание на лабораторном стенде устройства АПВ с реле РНВ-38.

другого вида релейной защиты). Запрет достигается путем принудительного разряда емкости C через разрядный резистор IR_3 . Такая особенность выполнения реле РПВ-58 позволяет использовать его также и для телемеханизированных подстанций. В этом случае возможно схему включения реле РПВ-58 выполнить так, чтобы АПВ происходило при любом отключении выключателя, за исключением случаев, когда подастся команда «запрета». Такая команда формируется при включении или отключении выключателя от руки или от устройства телемеханики, а также при действии того или иного вида релейной защиты (например, при действии защиты шин) [25].

В реле РПВ-58 имеются контакты в цепи 1—2, которые могут быть использованы для ускорения действия установленной на присоединении защиты, до или после АПВ.

На рис. 5-9 показана установка реле РПВ-58 на испытательном стенде лаборатории. В качестве выключателей здесь использованы двухпозиционные реле с двумя управляющими катушками (например, реле типа РП-8 Чебоксарского электроаппаратного завода). Применен пятипозиционный переключатель KU : первое положение нейтральное, второе — «включить», третье — «включено» с безразрывным переключением цепи при отпускании рукоятки ключа, четвертое — нейтральное, пятое — «отключить» с переходом в нейтральное положение после отпускания рукоятки ключа.

Для исключения многократных включений в случае длительной подачи включающей команды при неустранившемся на линии к. з. применена блокировка от многократного включения при помощи реле типа РП-232 (блокировка от «прыгания»).

Задание на работу. 1. Разобрать действие устройства РПВ-58. 2. Измерить емкость конденсатора C и сопротивление резистора IR_2 . Определить время готовности АПВ к повторному действию по выражению

$$t_{\text{зап}} = RC \ln U_{\text{бат}} / (U_{\text{бат}} - k_{\text{зап}} U_{\text{ср}}). \quad (5-11)$$

Коэффициент запаса $k_{\text{зап}}$ принять равным 1,5—2. Сравнить расчетную величину с данными каталога.

3. Установить время работы устройства РПВ-58 после отключения выключателя 1 с. Проверить работу устройства по схеме, приведенной на рис. 5-9, в предпо-

ложении, что к. з. устранилось, а также в случае, когда не устранилось.

Указания к выполнению работы. 1. Время заряда и разряда емкости C рассчитать для случая использования источника постоянного тока напряжения $U_{бат}=110$ В. Напряжение срабатывания реле $1РП$ $U_{ср}$ определить испытанием.

2. Зависимости $i_{разр}=f(t)$ и $u_{зар}=u_c=f(t)$ (рис. 5-10) определяются по выражениям

$$i = I_{нач} e^{-t/RC} \quad (5-12)$$

$$u = U_{бат} (1 - e^{-t/RC}). \quad (5-13)$$

и

3. Работу устройства релейной защиты имитировать аппаратурой, включенной по схеме на рис. 5-11.

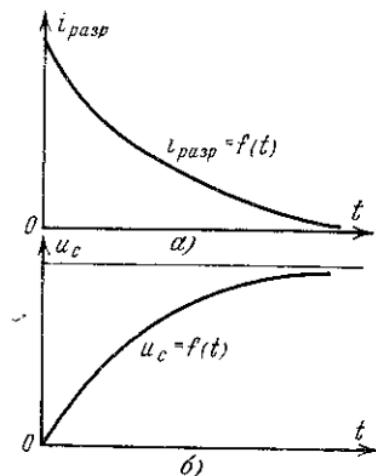


Рис. 5-10. Характер изменения величины тока в цепи при разряде конденсатора (а) и напряжения на зажимах конденсатора при его заряде (б).

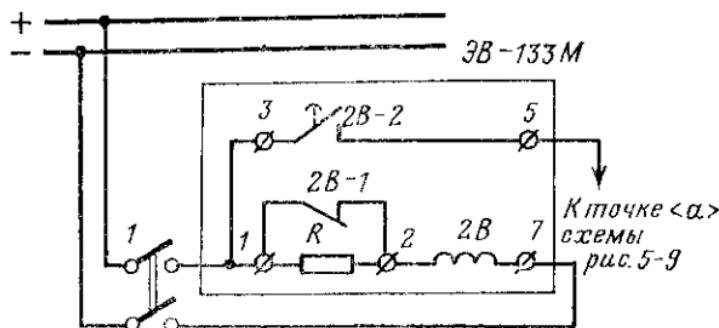


Рис. 5-11. Включение реле времени, имитирующего действие релейной защиты.

- Контрольные вопросы.*
- Назначение устройств АПВ.
 - Принцип работы устройства АПВ с РПВ-58.
 - Основные требования к устройствам АПВ линий с односторонним питанием.
 - Назначение ускорения защиты до и после АПВ.
 - В каких случаях применяется «запрет» АПВ?

5-6. Испытание устройства АВР. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с принципом выполнения АВР источника электропитания на секцию шин понижающей подстанции с осветительной и асинхронной нагрузками, выяснение влияния длительности времени бестоковой паузы при АВР на пусковой ток асинхронной нагрузки.

При секционированном выполнении шин понижающих подстанций автоматическое включение резервных источников электропитания намного повышает надежность работы потребителей, приближая степень взаиморезервирования к условиям кольцевой схемы электроснабжения. В то же время сохраняются преимущества одностороннего радиального питания в отношении упрощения устройств релейной защиты и уменьшения величины тока к. з. (последнее обстоятельство облегчает работу силовых выключателей и позволяет удешевить стоимость сооружения). Также создается большая независимость работы потребителей одной секции от состояния другой — при к. з. в зоне одной секции за счет падения напряжения в питающей сети (линии электропередачи или силовом трансформаторе) на другой неповрежденной секции сохраняется достаточно высокий уровень напряжения, который обеспечивает возможность продолжения работы потребителей неповрежденной секции.

Но отключение источника основного электропитания вызывает погасание осветительной нагрузки и торможение асинхронных электродвигателей, присоединенных к обесточившейся секции шин. Чем быстрее будет подано напряжение от резервного источника, тем на меньшую величину снизится число оборотов электродвигателей, тем меньше будет ток при включении устройством АВР резервного источника и тем легче и быстрее произойдет последующий самозапуск. Характер изменения напряжения, числа оборотов двигателя и тока в процессе самозапуска показан на рис. 5-12.

Для успешного самозапуска нужно, чтобы при подаче напряжения от резервного источника момент, развиваемый асинхронным двигателем, превышал момент сопротивления нагрузки. Обычно принимают, что значение момента асинхронного двигателя, при котором не произойдет его опрокидывания и он развернется (произойдет

самозапуск), соответствует значению напряжения на зажимах (в момент его подачи), не меньшему 70% номинального значения (для электродвигателей питательных насосов мощностью 1000 кВт и более по данным испытаний самозапуск с допустимым временем по условию технологического процесса обеспечивается при значении напряжения не менее 80—85% номинального). Значение напряжения в момент включения резервного источника зависит от реактивного сопротивления сети, степени ее загрузки и реактивного сопротивления нагрузки. Последнее определяется мощностью асинхронных электродвигателей, оставленных под самозапуск, и тем, насколько они затормозились в период бестоковой паузы. Увеличение быстроты подавать под самозапуск больший процент асинхронной нагрузки.

Однако чрезмерно быстрая подача резервного напряжения (со временем менее 0,2 с) может привести к тому, что напряжение на зажимах асинхронных двигателей, поддерживаемое остаточным намагничиванием, еще не затухнет и произойдет несинхронное включение, опасное по условию механической сохранности двигателя. Поэтому минимальное значение бестоковой паузы АВР не должно быть менее 0,3—0,4 с. Это время обеспечивается собственным временем включения выключателя резервного питания и реле, входящими в устройство АВР.

В качестве пускового органа устройства АВР, выявляющего прекращение электропитания от основного источника и производящего отключение выключателя этого ввода с последующим включением ввода резервирующего источника, применяется реле напряжения, замыкающего свой контакт при снижении напряжения до 30—40% номинального значения. Реле действует на от-

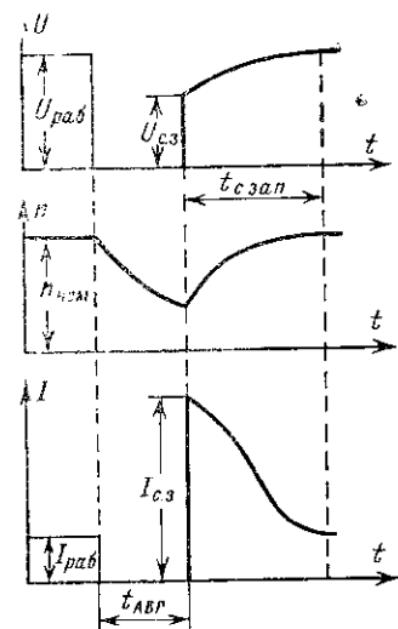


Рис. 5-12. Характер изменения напряжения, оборотов электродвигателя и тока в процессе самозапуска при действии АВР.

АВР позволяет оставлять под самозапуск больший процент асинхронной нагрузки.

ключение со временем 0,5—2 с. Это время отстроено от времени защит, к. з. в зоне которых приводят к замыканию контактов упомянутого реле напряжения. Устройство АВР производит включение резервного источника электропитания только при наличии в нем нормального напряжения, что проверяется при помощи реле напряжения, приключенного к трансформатору напряжения резервного источника.

Следует иметь в виду, что пусковой орган АВР при помощи реле понижения напряжения оказывается неэффективным, если к шинам резервируемой секции подключены конденсаторные батареи (параллельно асинхронной нагрузке) или синхронные электродвигатели. Эти установки при прекращении электропитания секции

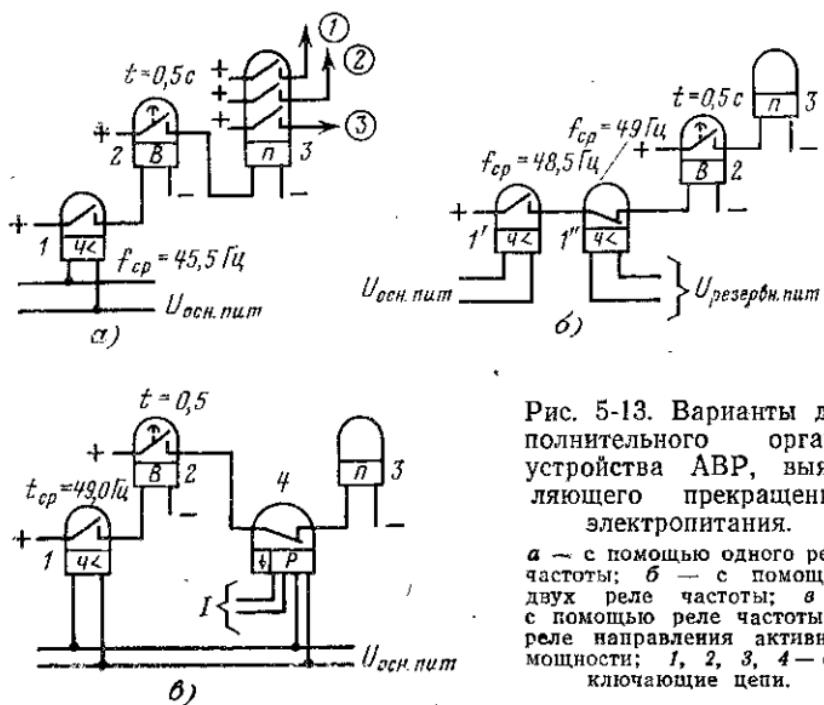


Рис. 5-13. Варианты дополнительного органа устройства АВР, выявляющего прекращение электропитания.

a — с помощью одного реле частоты; *b* — с помощью двух реле частоты; *c* — с помощью реле частоты и реле направления активной мощности; 1, 2, 3, 4 — отключающие цепи.

от основного источника поддерживают напряжение и затягивают действие АВР. Кроме того, включение напряжения на синхронные электродвигатели, врачающиеся по инерции с непогашенным полем, обусловит их длительный несинхронный режим и возможность выпадения из синхронизма синхронных электродвигателей резервирующего источника.

В указанных случаях в качестве органа, выявляющего прекращение основного электропитания, дополнительно к реле напряжения устанавливается или реле понижения частоты с частотой срабатывания ниже последней очереди автоматической частотной разгрузки (рис. 5-13,*a*), или два реле частоты, включенные по схеме на рис. 5-13,*b*, или реле частоты и реле активной мощности по схеме, изображенной на рис. 5-13,*c* или устройство, реагирующее на скорость снижения частоты.

Одновременно с отключением ввода основного питания производится на обесточенной секции отключение конденсаторных батарей и гашение поля (или отключение) синхронных двигателей (обратное их включение или обратная подача возбуждения для ресинхронизации выполняется автоматически после восстановления на секции нормального напряжения); также производится отключение менее ответственной нагрузки в резервируемой и резервирующей секциях (для облегчения самозапуска ответственной нагрузки).

Наиболее универсальным является устройство, приведенное на рис. 5-13,*c*, поскольку позволяет использовать аппаратуру как для выполнения АЧР, так и для создания возможности АПВ питающего источника без опасения несинхронного включения синхронных двигателей потребителя в режимах, когда одна из питающих линий или один из питающих трансформаторов отключены (выведены в ремонт) и обе секции соединены секционным выключателем.

Задание на работу. 1. Ознакомиться со схемой АВР, выполненной на учебном стенде. Списать паспортные данные всех установленных на стенде реле и приборов (рис. 5-14).

2. Выбрать уставки реле напряжения минимального и максимального действия. Установить их на реле.

3. Выяснить зависимость изменения начального значения тока самозапуска от времени, установленного на реле времени пускового органа устройства АВР, определяющего время бестоковой паузы при отключении основного электропитания.

Для этого после того, как отрегулировано заданное время на реле 4*B* (рис. 5-14,*b*):

включить выключатели 1*P*, 2*P*, 5*P*;

убедиться по сигнальным лампам, что выключатели 1*B* и 2*B* отключены;

нажать кнопку *Включить* выключателя 1*B*;

по сигнальной лампе убедиться, что реле 1*B*—П1, имитирующее работу выключателя 1*B* в схеме на рис. 5-14,*a*, включено;

включить выключатель 4*P*; по показаниям вольтметров убедиться в наличии нормального напряжения на трех фазах шин нагрузки;

включить выключатель 3*P*, чем запустить асинхронный электродвигатель;

нагрузить асинхронный двигатель (значение нагрузки и способ, каким производится загрузка, задаются преподавателем; например, если асинхронный двигатель вращает генератор, то нагрузка двигателя определяется нагрузкой, подключаемой к генератору). По показаниям амперметров, включенных в цепь статора асинхронного двигателя, убедиться в том, что он работает с заданной нагрузкой;

отключить выключатель $1P$, чем снять напряжение с зажимов асинхронного двигателя. При этом должно сработать реле $3H$ (с уставкой, выбранной по п. 2 задания) и реле времени $4B$. На этом реле при первом опыте выдержка времени должна быть 0,5 с;

по истечении заданного времени выключатель $1B$ должен автоматически отключиться; на это укажет погасание сигнальной лампы «включено» и загорание сигнальной лампы «отключено»;

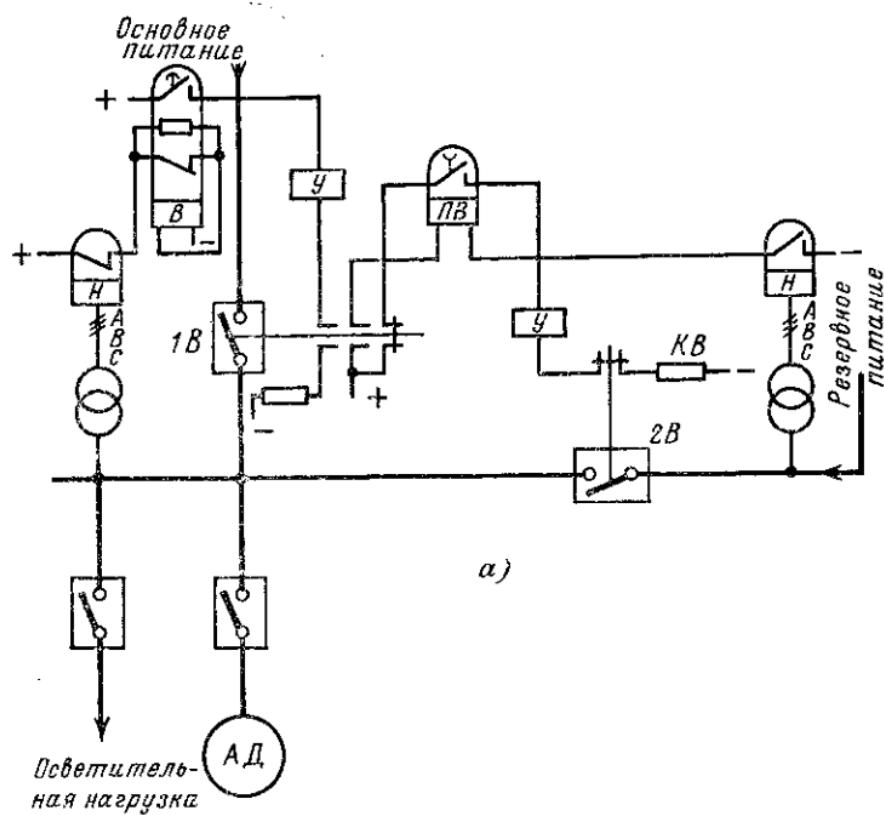


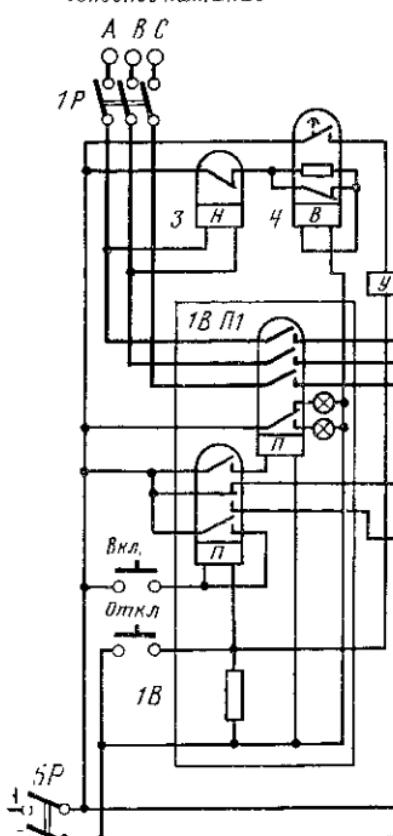
Рис. 5-14. Проверка действия устройства АВР при
а — схема электропитания; б — имитирующая

реле 5РВ, по обмотке которого до отключения выключателя 1В проходил ток, обесточивается и с заданным временем 0,3—0,6 с размыкает свой контакт (цепь обмотки реле 5РВ контролируется контактом реле напряжения 6Н, замкнутым после того, как был включен выключатель 2Р. Уставка срабатывания реле 6Н равна 95% номинального напряжения);

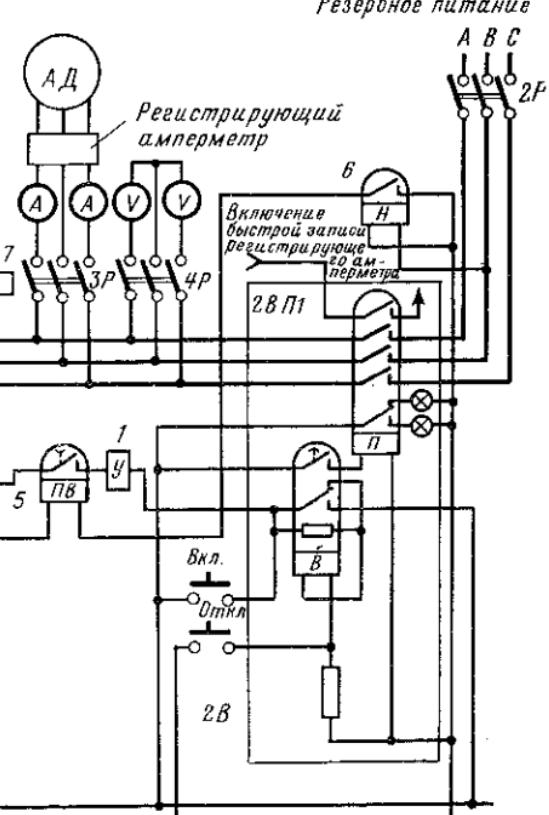
включается выключатель 2В. Его время включения принимается равным 0,2—0,3 с — это время в схеме, имитирующей работу выключателя 2В на учебном стенде, создается временным контактом реле времени; включение резервирующего источника производит реле 2В — П1;

одновременно один из контактов реле 2В — П1 производит включение быстрой записи регистрирующего ам-

Основное питание



Резервное питание



б)

илиции осветительной и асинхронной нагрузки.
схема лабораторного стенда.

амперметра, установленного в цепи обмотки статора асинхронного двигателя; производится запись изменения значения тока в процессе самозапуска. Время ускоренной записи 10—15 с;

после окончания процесса самозапуска вся схема должна быть возвращена в исходное положение путем отключения выключателей 1Р, 2Р, 3Р, 4Р и 5Р;

после того как на реле времени 4В будет установленна новая выдержка времени, опыт повторяется в указанной ранее последовательности; результаты занести в табл. 5-3; по ее данным построить зависимость

$$I_{\text{пуск.макс}} = f(t_{\text{ABP}}).$$

Таблица 5-3

Зависимость тока самозапуска от времени действия АВР

Уставка времени действия пускового органа АВР, с	0,5	1,0	1,5	2,0
Наибольшее значение тока в цепи статора асинхронного электродвигателя при самозапуске $I_{\text{пуск.макс}}, \text{А}$				

4. По усмотрению преподавателя проверить работу дополнительного устройства к пусковому органу АВР по одной из схем, приведенных на рис. 5-13. Описать принцип действия устройства.

Указания по проведению работы. 1. Для фиксации изменения тока при самозапуске асинхронного двигателя желательно использовать регистрирующий амперметр с переключением движения ленты на большую скорость.

2. При отсутствии быстропишащих регистрирующих амперметров измерения токов произвести визуально по показаниям указывающих приборов.

3. В схемах устройств АВР реальных установок пусковой орган секции, содержащий реле минимального напряжения, часто выполняют двумя реле напряжения с последовательным включением контактов и присоединением одного реле на напряжение U_{AB} , другого на напряжение U_{BC} . Это делается для уменьшения числа случаев нежелательной работы АВР при перегорании одного из предохранителей в цепи напряжения.

Контрольные вопросы. 1. Назначение и области применения устройства АВР.

2. Преимущества и недостатки кольцевой схемы электропитания по сравнению с радиальной, оснащенной устройствами АВР.

3. Как достигается в схеме, приведенной на рис. 5-14, однократность действия АВР?

4. Чем определяется минимальное и максимальное время АВР: при наличии только осветительной нагрузки, при наличии асинхронной нагрузки, при наличии синхронной нагрузки?

5. Принципы выполнения пусковых органов, выявляющих прекращение электропитания от основного источника.

6. Для облегчения самозапуска ответственной нагрузки при работе устройств АВР предусматривается отключение менее ответственных потребителей. Требуется ли предусматривать такое отключение при работе устройств АПВ со стороны питающей подстанции?

7. В установках собственных нужд электрических станций предусматривается передача отключающей команды на выключатель ввода секции после отключения выключателя с питающей стороны линии или трансформатора от блок-контактов этого выключателя. Поясните назначение такой блокировки.

8. При к. з. на шинах секции после отключения выключателя ввода основного питания устройство АВР произведет включение выключателя резервного источника. Оцените вероятность успешного АВР в этом случае. Обоснуйте целесообразность выполнять ускорение действия защиты на выключателе резервного источника после работы устройства АВР.

9. Как отстроить действие устройств релейной защиты резервирующего источника (в том числе защиты, ускоряемой после АВР) от токов самозапуска.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ПРОВЕРКА УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, СМОНТИРОВАННЫХ НА ПАНЕЛЯХ ИЛИ ЩИТАХ УПРАВЛЕНИЯ

6-1. Общие положения

Устройства релейной защиты и автоматики, установленные на электрических станциях или подстанциях, должны проверяться как при новом включении, так и периодически для своевременного выявления и замены неисправных элементов. Внеочередные проверки производятся после неправильных действий устройства, произошедших при аварийных возмущениях в энергетической системе, или при нормальной работе.

Объемы проверок и их программы различны:

для полной проверки при новом включении;

для полной периодической проверки. Срок проверки устанавливается в зависимости от параметра λ_3 , характеризующего интенсивность отказов конкретного типа устройств при определенных условиях эксплуатации оборудования [30], обычно не чаще одного раза в 2—3 года;

для частичных проверок, производимых в промежутках между полными проверками (примерно 1 раз в год);

для послеаварийных проверок, выполняемых по специальным программам применительно к конкретным условиям нарушения [27].

В зависимости от вида и целевого назначения в объем проверки, кроме выяснения специальных вопросов (если это требуется), включается выполнение всех или части нижеуказанных работ, имеющих общий характер.

1. Проверка соответствия технической документации фактическому выполнению устройства; соответствие устройства принципиальным, принципиально-монтажным и монтажным схемам, наличие протоколов предыдущих проверок, паспортов реле и иных аппаратов устройства, задания уставок и т. п.

2. Внешний осмотр проверяемой панели. Обращается внимание на целостность крышек, стекол и цоколей реле и автоматов, наличие пломб, отсутствие неизолированных концов проводов, тщательность крепления проводов и отдельных аппаратов к панели, наличие легко обозреваемых указательных реле, отсутствие выпавших самопроизвольно сигналов, состояние предохранителей (наличие только калиброванных вставок), исправность сигнальных ламп, наличие оконцевателей на проводах, целость зажимов, правильность маркировки, отсутствие ветхой и пересохшей изоляции, отсутствие застрявших контактов реле, отсутствие видимых следов подгаров и оплавлений контактов. Внешний осмотр производится без снятия крышек с реле.

После внешнего осмотра проверяется состояние затяжки винтов зажимов путем поворота отверткой до отказа, а у накладок и отключающих устройств — закручиванием рукой. Недовинченный зажим фиксируется в протоколе или отчете осмотра. Здесь же отмечаются все замеченные дефекты.

3. Проверка правильности монтажа и правильности присоединения проверяемой панели к измерительным трансформаторам и коммутационным аппаратам. Производится при необходимости «тразонка» проводов; выясняется соответствие монтажа монтажной или принципиально-монтажной схеме; проверяется правильность фазировки.

4. Проверяется сопротивление изоляции. Состояние изоляции определяется при помощи мегомметра и путем

присоединения контролируемых цепей к источнику стационарного напряжения 1000 В.

5. Проверяются исправность и правильность включения трансформаторов тока и напряжения.

6. Проверяется исправное действие отдельных аппаратов путем снятия их электрических характеристик, определения уставок срабатывания, выяснения механической исправности и т. п.

7. Измеряются токи небаланса в цепи реле и напряжения небаланса на зажимах реле (если они оказывают влияние на работу устройства).

8. Проверяются нагрузка на трансформаторы тока и напряжения и допустимость работы указанных аппаратов при выбранных сечениях соединительных кабелей.

9. Проверяется падение напряжения в оперативных цепях и на обмотках указательных реле. Проверяются надежность работы включающих и отключающих катушек коммутационных аппаратов и состояние блок-контактов.

10. Определяется действие полностью собранного и отрегулированного устройства защиты и автоматики на коммутационные аппараты (например, выключатели).

Воспринимающий орган устройства включается или в цепь тока от постороннего источника (нагрузочное устройство), или в цепь первичного тока нагрузки защищаемого присоединения, или в цепь защищаемого объекта (ток к. з. создается искусственно включением на к. з. выделенного генератора с постепенным подъемом возбуждения и регулировкой тока до величины $I_{н.ген}$), или путем специального проведения опыта к. з.

Если проверка устройства не требовала отключения цепей трансформаторов тока и напряжения и фазировка этих цепей не вызывает сомнения, допустимо производить опробование путем имитации действия воспринимающего органа защиты замыканием его контактов; в этом случае проверяется только оперативная цепь устройства.

Опробование работы устройств автоматики (например, регуляторов напряжения, частоты, мощности и т. п.) производится по индивидуальным программам.

Проверки комплектов устройств защиты, смонтированных на панелях при учебных лабораторных занятиях, проводятся в объеме частичной проверки. Для каждой лабораторной работы намечена ограниченная программа.

Проверка отдельных элементов устройства, измерительных трансформаторов, а также настройка устройств на заданные уставки проводятся в качестве самостоятельных отдельных работ и описаны выше.

6-2. Проверка первичным током от постороннего источника. Лабораторная работа

Цель работы — изучение методов проверки устройств релейной защиты первичным током от однофазного нагрузочного устройства.

При проверке правильности выполнения монтажа, испытании изоляции, настройке и регулировке отдельных аппаратов комплектного устройства релейной защиты электрические цепи между элементами устройства нарушаются. После восстановления схемы или при новой сборке ее возможны ошибки. Поэтому перед включением защиты в действие исправность ее должна быть проверена первичным током.

Проверка проводится при полностью собранной схеме и позволяет убедиться в отсутствии обрывов, закороток и других нарушений. Такая проверка является окончательной и должна производиться как при новом включении, так и при плановых проверках. Измерительная аппаратура при испытании включается без отсоединения проводов с использованием специальных, предназначенных для этой цели испытательных зажимов, блоков или токоизмерительных клещей прибора ВАФ и т. п.

Способ проверки защиты первичным током от однофазного нагрузочного трансформатора обычно применяется для максимальных токовых защит линий 3, 6, 10 кВ. При такой проверке первичные обмотки трансформаторов тока в зависимости от схемы соединения вторичных обмоток соединяются съемными перемычками. Схема собирается так, чтобы по всем ее элементам проходил ток. Одновременно проверяется коэффициент трансформации трансформаторов тока. Мощность нагрузочного трансформатора должна обеспечить во вторичных обмотках трансформаторов токи около 1—5 А. Измерение токов производят с помощью амперметров, подключенных к зажимам на панели защиты.

По результатам измерений определяется правильность собранной схемы, а также выявляются допущенные в ней ошибки или неисправности. Например, при

проверке защиты, использующей схему соединения обмоток трансформаторов тока в полную звезду (рис. 6-1,*a*), при отсутствии каких-либо нарушений в схеме, учитывая, что по первичным обмоткам проходит один и тот же ток I_1 , показания амперметров должны быть следующими:

$$I_A = I_B = I_C = I_1/n_t; \quad I_0 = 3I_1/n_t. \quad (6-1)$$

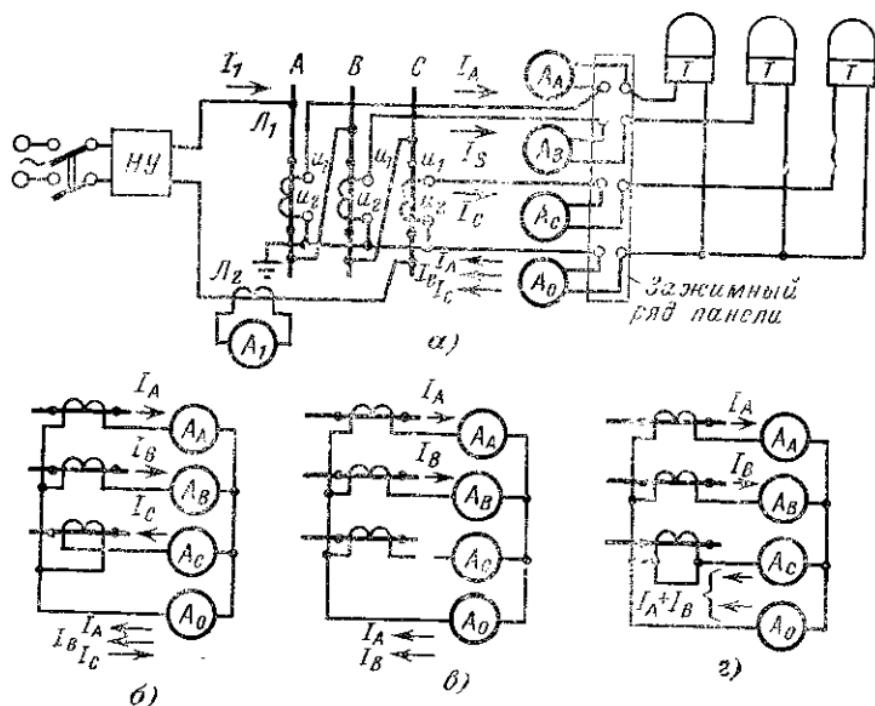


Рис. 6-1. Проверка защиты первичным током от однофазного нагрузочного устройства.

a — схема испытания; *б* — действительная схема при изменении полярности одного трансформатора тока; *в* — действительная схема при обрыве цепи фазы *C*; *г* — действительная схема при замыкании накоротко цепи вторичной обмотки трансформатора тока фазы *C*.

Если показания окажутся отличными от данных, это будет означать неправильность сборки схемы. Так, например, одинаковые показания всех амперметров

$$I_A = I_B = I_C = I_0 = I_1/n_t$$

возможны при неправильном включении вторичной обмотки одного из трансформаторов тока, например, при изменении полярности включения вторичной обмотки (рис. 6-1,*б*). Отсутствие показаний всех ампер-

метров, т. е. $I_A = I_B = I_C = I_0 = 0$, свидетельствует об обрыве нулевого провода.

Если $I_A = I_B = I_1/n_T$; $I_C = 0$ и $I_0 = 2I_1/n_T$, то имеет место обрыв провода в фазе C (рис. 6-1,в). Если закорочена вторичная обмотка трансформатора тока фазы C (рис. 6-1,г), то

$$I_A = I_B = I_1/n_T; \quad I_C + I_0 = 2I_1/n_T.$$

На рис. 6-2 представлены схемы для проверки тем же методом защите, соединенных по схеме неполной звезды

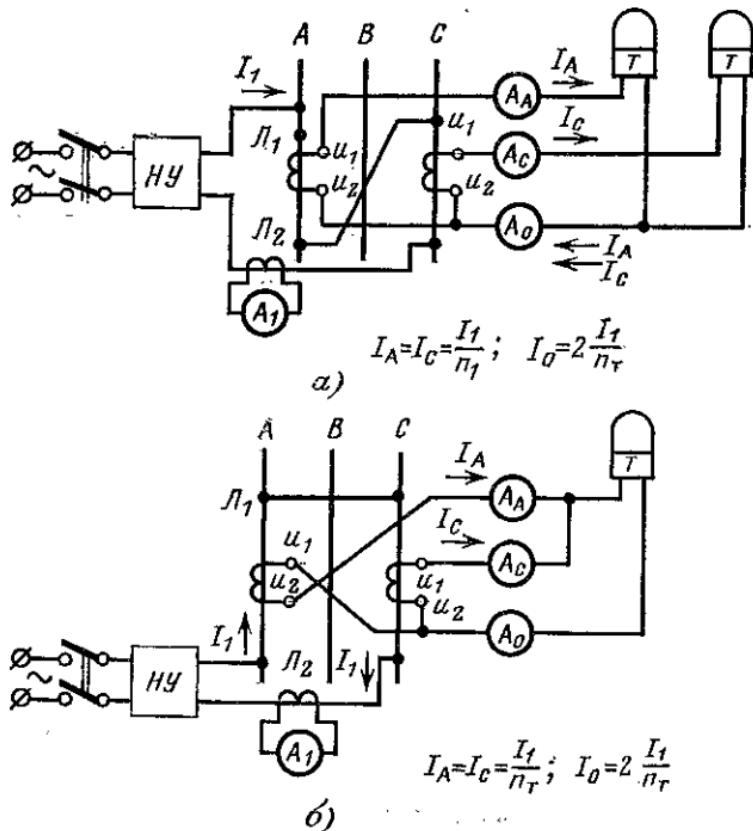


Рис. 6-2. Проверка защиты первичным током от нагрузочного устройства.

ды (рис. 6-2,а) и на разность токов двух фаз (рис. 6-2,б). Здесь же приведены показания амперметров, соответствующих исправной схеме.

Применение в качестве постороннего источника трехфазного трансформатора целесообразно при проверке

дифференциальных защит генераторов и трансформаторов.

Задание на работу. 1. Ознакомиться со схемой защиты и записать данные всей аппаратуры.

2. Подобрать нагрузочный трансформатор, по мощности обеспечивающий достаточный ток во вторичных обмотках трансформаторов тока; подобрать амперметры.

3. В зависимости от задания собрать одну из схем, указанных на рис. 6-1, 6-2.

4. Подать питание на схему и с помощью нагрузочного устройства установить в первичной цепи трансформаторов необходимое значение тока.

5. Записать в табл. 6-1 показания всех приборов. По аналогии с рис. 6-1 пояснить результаты измерения. Дать заключение о состоянии токовых цепей проверяемой защиты.

Таблица 6-1

Номер опыта	Показания приборов					Заключение
	I_1	I_A	I_B	I_C	I_0	

6. Проделать то же самое после внесения преподавателем некоторых изменений в схему (опыт № 2).

Указания к проведению работы. 1. Проверка подвергается защита, смонтированная либо на стандартной панели, либо на учебном стенде.

2. По усмотрению преподавателя может быть задана одна из схем соединения трансформаторов тока, подключаемых к панели релейной защиты: полная звезда, неполная звезда, включение реле на разность токов двух фаз.

Контрольные вопросы. 1. Особенность метода проверки защиты первичным током от постороннего источника?

2. Какова цель проверки?

3. Как выбрать мощность нагрузочного трансформатора?

4. Почему при обрыве нулевого провода в схеме на рис. 6-1,а все приборы покажут нуль?

5. На какой номинальный ток должны быть выбраны амперметры в схеме на рис. 6-1,а?

6-3. Проверка защиты первичным током нагрузки и рабочим напряжением. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с объемом и методом проверки устройств релейной защиты первичным током нагрузки и рабочим напряжением.

Проверка устройств релейной защиты током нагрузки и рабочим напряжением производится в случаях, когда защита предусматривает питание как от токовых цепей, так и от цепей напряжения (например, направленные, дистанционные защиты) или когда необходимо проверить защиту без отключения оборудования, на котором она установлена.

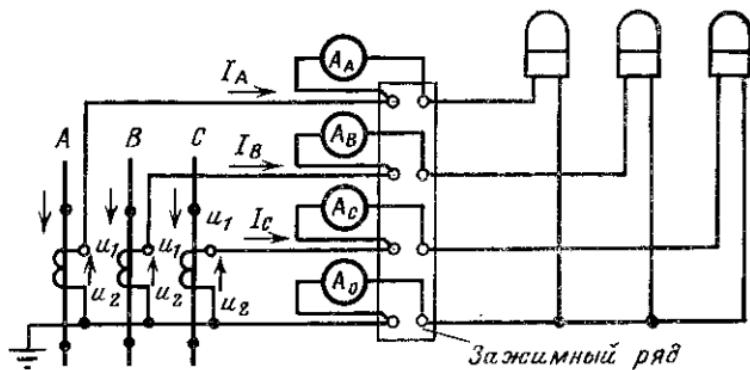


Рис. 6-3. Проверка токовых цепей защиты током нагрузки.

Проверка токовых цепей защиты. Схема подключения амперметров для проверки исправности токовых цепей током нагрузки представлена на рис. 6-3. По первичным цепям проходят токи, равные по величине и сдвинутые по фазе на 120° . Заключение о исправности схемы можно сделать на основании показаний приборов. Для случая соединения обмоток трансформаторов и реле по схеме полной звезды при правильно собранной схеме показания амперметров должны оказаться равными:

$$I_A = I_B = I_C = I_1/n_t; \quad I_0 \approx 0.$$

Если при проверке окажется, что

$$I_A = I_B = I_C = I_1/n_t,$$

а $I_0 = 2I_1/n_t$, то это значит, что вторичная обмотка одного из трансформаторов включена неправильно.

При показаниях приборов

$$I_A = I_B = I_1/n_T; \quad I_C = 0; \quad I_0 = I_1/n_T$$

можно сделать вывод, что во вторичной цепи трансформатора тока фазы C произошел обрыв провода.

При обрыве нулевого провода в нормальном режиме показания амперметров будут соответствовать исправной схеме. Таким образом, наличие таких показаний не дает возможности судить о исправности цепи нулевого провода. Исправность этой цепи проверяется по наличию тока небаланса.

Для измерения тока небаланса, проходящего по нулевому проводу, следует включить в его цепь миллиамперметр. Отклонение стрелки миллиамперметра свидетельствует об исправности цепи нулевого провода, отсутствие показаний — о ее обрыве. При недостаточной чувствительности контрольного миллиамперметра иногда создают специально условия, при которых по нулевому проводу мог бы проходить достаточный для измерения ток. Можно временно исключить из схемы один из трансформаторов тока (рис. 6-4,а); тогда по нулевому проводу будет проходить суммарный ток двух фаз. Вторичная обмотка исключенного из схемы трансформатора тока должна быть при этом закорочена, а миллиамперметр заменен амперметром. Если заземление вторичных обмоток трансформаторов тока выполнено у самих трансформаторов, то для получения суммы токов двух фаз в нулевом проводе достаточно на входе панели защиты временно заземлить одну из фаз и отключить ее (рис. 6-4,б).

Получить достаточный для измерения миллиамперметром ток небаланса можно также путем включения в цепь одной фазы добавочного резистора с сопротивлением около 5—10 Ом. Трансформатор тока данной фазы оказывается перегруженным, погрешность его резко возрастает, чем и вызывается появление большого тока небаланса в нулевом проводе (рис. 6-4,в).

Проверка цепей напряжения. Для проверки правильности подключения цепей напряжения следует прежде всего проверить маркировку фаз. Наиболее простым методом фазировки — проверки правильности маркировки фаз — является способ подключения к испытуемой цепи специального прибора — указателя чередования фаз — фазоуказателя (рис. 6-5).

Три провода, подключенные к выводам прибора, обозначенным A , B , C , подсоединяют к тем зажимам панели проверяемой защиты, к которым подается питание от трансформатора напряжения (рис. 6-6, a). При правиль-

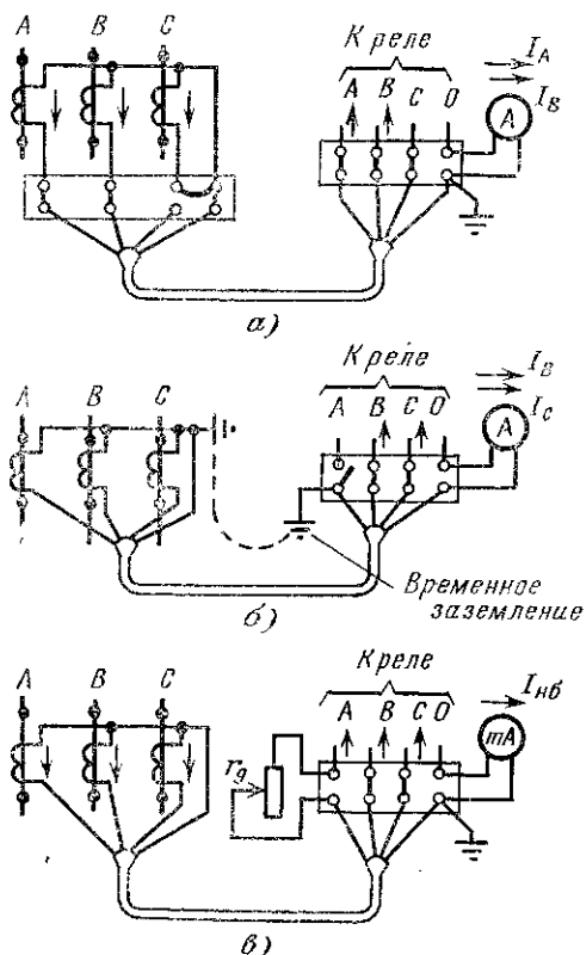


Рис. 6-4. Проверка исправности нулевого провода трансформаторов тока, соединенных в звезду.

а и б — методом исключения из схемы одного трансформатора тока; *в* — методом включения добавочного резистора.

но выполненному монтаже стрелка прибора будет вращаться по часовой стрелке.

Рассматриваемый прибор может быть использован только для определения последовательности фаз, так как при подведении к его зажимам, обозначенными A , B , C ,

питания от фаз *B*, *C*, *A* или *C*, *A*, *B*, диск также будет вращаться по направлению, указанному стрелкой.

Маркировка фаз напряжения может быть безошибочно проверена с помощью фазоуказателя только в том случае, когда правильность маркировки одной из фаз заранее известна. Так, например, на трансформаторах напряжения в ряде случаев заземляется не нулевая точка, а одна фаза (часто заземляют фазу *B*). Для выявления данной фазы следует воспользоваться вольтметром, подключаемым одним выводом к «земле», а вторым — поочередно к каждому зажиму (рис. 6-6,б). Показания вольтметра при этом будут:

$$U_a = U_{\text{м.ф}}; \quad U_b = 0; \quad U_c = U_{\text{м.ф}} \quad \text{и} \quad U_0 = U_\Phi.$$

Правильность маркировки фаз *A* и *C* теперь может быть проверена фазоуказателем.

Если маркировка ни одной из фаз неизвестна, фазировка цепей напряжения осуществляется так же, как для силовых трансформаторов, когда в качестве вспомогательных используются промаркованные цепи от другого трансформатора [или цепи с известной маркировкой от того же самого трансформатора напряжения (рис. 6-6,в)].

Порядок работы следующий. На зажимном ряду панели измеряются напряжения относительно земли всех четырех проводов проверяемой цепи; по показаниям вольтметра определяется заземленный провод. Проверяются напряжения всех фаз относительно земли для вспомогательных цепей напряжения.

Подключив вольтметр одним выводом к фазе *A* вспомогательной цепи (правая панель), проводом, соединенным с другим выводом прибора, касаются поочередно трех фаз проверяемой цепи (левая панель); при подключении к одноименной фазе вольтметр покажет нуль, при подключении к другим фазам — междуфазное напряжение, к нулевому проводу — фазное напряжение. Аналогичным образом определяют фазы *B* и *C*.

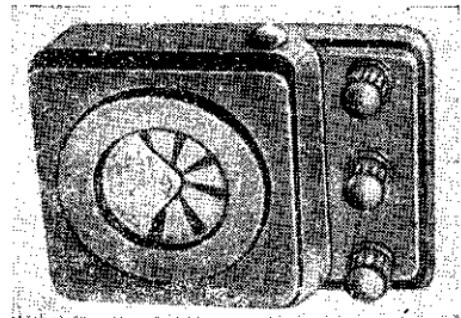


Рис. 6-5. Фазоуказатель.

Если маркировку цепей напряжения сравнить не с чем, фазировку осуществляют пофазной подачей напряжения на испытуемую цепь — поочередно включают по одной фазе трансформатора напряжения с первичной его стороны. При таком методе фазировки нагрузка, подключенная к трансформатору, во избежание получе-

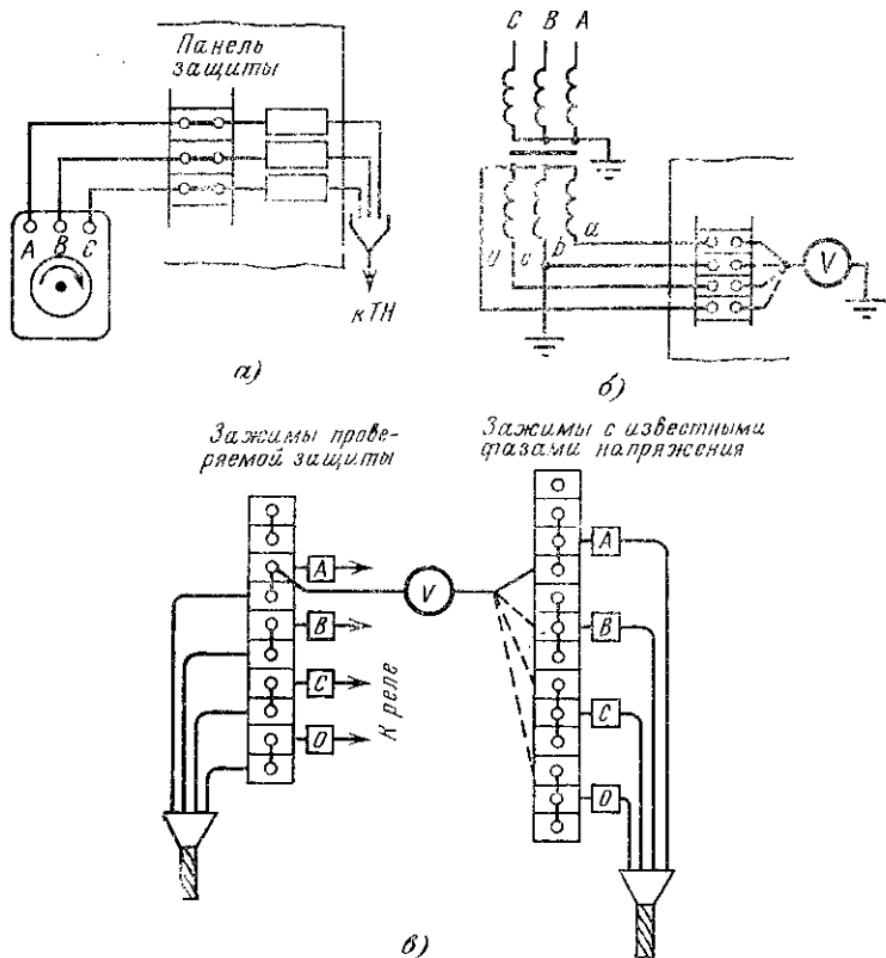


Рис. 6-6. Проверка правильности маркировки цепей напряжения.
a — с помощью фазоуказателя; *b* — с помощью вольтметра; *c* — при использовании цепей напряжения с известной маркировкой.

ния неправильных результатов измерений должна быть отсоединенна.

Снятие векторных диаграмм. При проверке ряда защит оказывается недостаточным убедиться в исправности токовых цепей и цепей напряжения, нужно еще знать, правильно ли произведена их взаимная фа-

зировка. Векторные диаграммы токов и напряжений позволяют сделать вывод о правильности включения реле направления мощности, реле сопротивления, дифференциальных реле, т. е. таких реле, которые требуют определенного сочетания фаз токов и напряжений.

Снятие векторных диаграмм сводится к определению углов сдвига фаз токов и соответствующих напряжений.

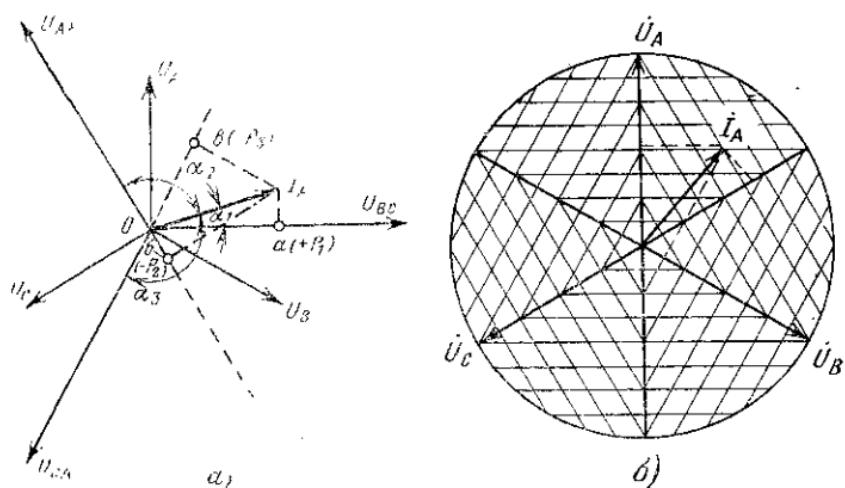


Рис. 6-7. Построение векторной диаграммы.

и — построение методом ваттметра; *б* — координатная сетка для построения.

Определение угла может производиться в зависимости от наличия приборов в лаборатории с помощью однофазного ваттметра, фазометра или вольтамперфазондикатора типа ВАФ с приставкой в виде токоизмерительных клещей.

Снятие векторных диаграмм с помощью однофазного ваттметра. Способ поясняется на рис. 6-7, а. Пусть величина и фаза измеряемого тока определяются вектором I_A . Включим токовую обмотку однофазного ваттметра на ток фазы A , а обмотку напряжения поочередно будем подсоединять на напряжения U_{BC} , U_{CA} , U_{AB} .

Показание прибора будет положительным, если ток отстает или опережает напряжение на 90° :

$$P_1 = I_A U_{BC} \cos \alpha_1 = kOa \text{ (знак +);}$$

$$P_2 = I_A U_{AB} \cos \alpha_2 = kOb \text{ (знак -);}$$

$$P_3 = I_A U_{CA} \cos \alpha_3 = kOc \text{ (знак -),}$$

где k — масштабный коэффициент.

Таким образом, построение векторной диаграммы по показаниям ваттметров сводится к следующему. Предварительно строятся симметрическая звезда междуфазных напряжений, по отношению к которым ориентируется определяемый вектор тока. На осях U_{BC} , U_{CA} и U_{AB} откладываются в выбранном масштабе k измеренные P_1 , P_2 и P_3 , т. е. определяются точки a , b , c — проекции тока I_A на оси U_{BC} , U_{CA} и U_{AB} . Обязательно должен быть учтен знак измеренной величины. Из точек a , b и c восстанавливаются перпендикуляры. Их пересечение определяет конец вектора тока I_A . Как видно из диаграммы, вектор тока I_A может быть определен по двум показаниям: P_1 и P_2 ; третье показание P_3 является, таким образом, контрольным. Для облегчения построения диаграмм может быть предварительно выполнена координатная сетка на осях фазных (рис. 6-7,б) или междуфазных напряжений.

Снятие векторных диаграмм при помощи прибора ВАФ описано в гл. 1.

Снятие векторных диаграмм с помощью однофазного фазометра. В качестве примера ниже рассмотрен метод построения векторной диаграммы токов и напряжений при проверке правильности включения реле направления мощности защиты от междуфазных к. з.

К параллельной обмотке фазометра может подводиться любое напряжение; принимаем междуфазное напряжение U_{ac} рис. 6-8,а.

Последовательная обмотка фазометра поочередно включается в цепи тока фаз A , B и C .

Записываем показания фазометра для трех случаев включения. Предположим, что показания прибора при этом оказались следующими: $\varphi_1 = +165^\circ$; $\varphi_2 = -75^\circ$ и $\varphi_3 = +45^\circ$.

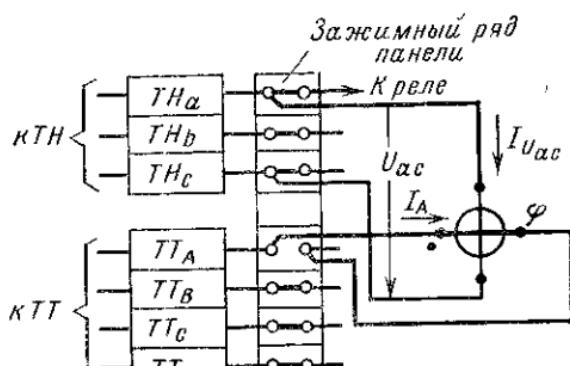
Производим построение векторной диаграммы (рис. 6-8,б) в следующем порядке:

строим диаграмму фазных напряжений U_a , U_b , U_c (векторы напряжения равны по величине и сдвинуты на 120° относительно друг друга);

проводим вектор междуфазного напряжения U_{ac} , подводимого к параллельной обмотке фазометра;

под углом $\varphi_1 = +165^\circ$ относительно вектора U_{ac} проводим вектор тока I_A . Под углом $\varphi_2 = -75^\circ$ относительно того же вектора U_{ac} проводим вектор тока I_B , под углом $\varphi_3 = +45^\circ$ — вектор I_C .

Для анализа правильности включения реле мощности (например, включенного в фазу A) следует воспользоваться векторной диаграммой. Допустим, имеется реле мощности смешанного типа ($\alpha=45^\circ$), включенное по 90° -ной схеме. На той же диаграмме (рис. 6-8,б) прово-



a)

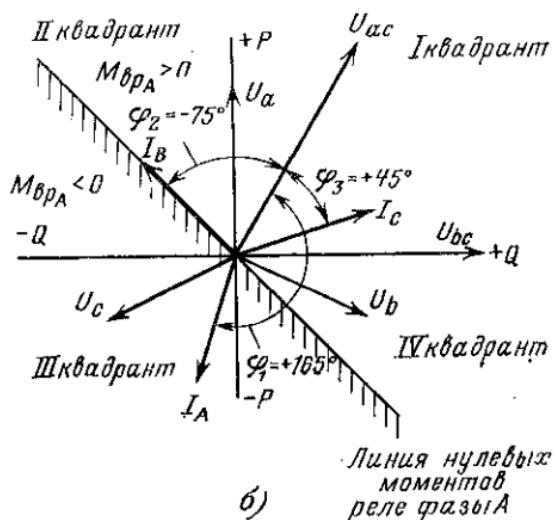


Рис. 6-8. Проверка правильности включения реле направления мощности путем снятия векторных диаграмм.

а — схема подключения фазометра; *б* — векторная диаграмма.

циилинию нулевых моментов. Если вектор тока I_A оказался расположенным в зоне отрицательных моментов, контакты реле направления мощности должны быть разомкнуты. В этом можно убедиться, посмотрев на контактную систему реле.

Поскольку проверка выполняется методом подачи тока нагрузки и рабочего напряжения, состояние контактов реле определяется распределением мощностей по защищаемой линии в момент проверки защиты. Только при точно известном направлении активной мощности P и реактивной Q можно сделать окончательный вывод о правильности включения реле. Так, если при проверке защиты активная и реактивная мощности для данной стороны линии направлены к шинам, вектор тока фазы A должен располагаться в пределах III квадранта. По векторной диаграмме убеждаемся в этом и делаем вывод о правильности выполнения схемы.

Задание на работу. 1. Ознакомиться со схемой токовой направленной защиты, предлагаемой для проверки. При выполнении защиты на стандартной панели отыскать все зажимы в зажимном ряду, относящиеся к данной защите.

2. Произвести проверку исправности токовых цепей защиты. Для этого:

пользуясь схемой, приведенной на рис. 6-3, подключить нужное число приборов к соответствующим зажимам панели;

подать напряжение к первичной цепи защиты. По вспомогательным измерительным приборам, предусмотренным на стенде и контролирующим ток первичной цепи, убедиться в равенстве первичных токов;

записать показания всех приборов в табл. 6-2;

Таблица 6-2

I_{IA}	I_{IB}	I_{IC}	I_A	I_B	I_C	I_0	Заключение

при использовании схемы полной звезды проверить одним из описанных выше методов исправность нулевого провода;

на основании показаний приборов сделать вывод о исправности и правильности выполнения токовых цепей защиты.

3. Произвести проверку (фазировку) цепей напряжения данной защиты.

4. Снять векторную диаграмму токов и напряжений, пытающих данную защиту. При этом:

нарисовать схему подключения выбранного прибора (фазометра, ваттметра, ВАФ);

подключить приборы в соответствии с принятой схемой;

записать показания прибора при всех необходимых измерениях, указав исходный для отсчета углов вектор напряжения;

по данным опыта построить векторную диаграмму.

Указания к выполнению работы. 1. В лаборатории предполагается наличие направленной защиты, смонтированной на стандартной панели или учебном стенде. Должна быть предусмотрена возможность получения в первичной цепи защиты достаточного тока нагрузки (не менее 20% $I_{ном}$); токи в фазах должны быть равны.

2. На стенде следует предусмотреть три амперметра, контролирующих ток в первичной цепи.

3. При снятии векторных диаграмм независимо от применяемого способа должны соблюдаться указанные ниже правила:

за исходную принимается любая система симметричных напряжений, синхронная с измеряемыми токами, имеющая строго определенное чередование фаз. Может быть использована система фазных или междуфазных напряжений. Анализ векторной диаграммы будет проще при построении векторов токов относительно векторов фазных напряжений, но в случае, когда асимметрия фазных напряжений превышает 5%, рекомендуется использовать более симметричную систему междуфазных напряжений;

при проверке направленных и дистанционных защит, у которых действие реле зависит от взаимного расположения векторов тока и напряжения, диаграммы должны сниматься при подведении к измерительным приборам токов и напряжений с панели проверяемой защиты. Построение векторной диаграммы токов при проверке дифференциальных защит может производиться относительно любой системы напряжений;

во избежание ошибок используемые при снятии векторных диаграмм измерительные приборы должны иметь проверенную и обозначенную маркировку выводов. Полярность обмоток приборов должна совпадать с полярностью обмоток реле;

для того чтобы полученная векторная диаграмма вторичных токов и напряжений соответствовала диаграмме первичных токов и напряжений, следует начала обмоток приборов подсоединять к началам вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока и напряжения. Так, начало токовой обмотки прибора соединяется в зажимном ряду с проводом, идущим от трансформатора тока данной фазы, а конец токовой обмотки — с проводом, идущим к реле. Начало обмотки напряжения при подведении к ней фазного напряжения соединяется с проводом данной фазы, конец с нулевым проводом. Если подводится междуфазное напряжение U_{ac} , то начало обмотки соединяется с фазой a , а конец обмотки — с фазой c . При таком включении направление токов во вторичных обмотках прибора и реле будет таким же, каким оно было бы при непосредственном включении прибора в цепь.

Контрольные вопросы. 1. Отличие способа проверки защиты первичным током нагрузки и рабочим напряжением от других способов проверки.

2. Каким образом может быть проверена исправность нулевого провода трансформаторов тока, соединенных в схему полной звезды?

3. При проверке рабочим током исправности цепей тока, соединяющих комплектное устройство защиты с трансформаторами тока фаз A , B и C , кратковременно закоротили вторичную цепь у выходов трансформатора тока фазы A . В цепь нулевого провода трансформаторов включены токовые реле защиты от замыкания на землю. В каких случаях указанное закорачивание вторичной цепи трансформаторов тока приведет к срабатыванию защиты от замыкания на землю?

4. Последовательность операций включения измерительных приборов в цепи тока и напряжения комплектного устройства защиты при использовании испытательных зажимов на панели защиты.

5. Преимущество использования клещей прибора ВАФ при проверке исправности токовых цепей комплектного устройства перед способом непосредственного измерения тока путем включения амперметра последовательно в проверяемую токовую цепь.

6. Методы фазировки цепей напряжения.

7. Способы выполнения маркировки проводов. Особенности маркировки проводов на испытуемой панели комплектного устройства.

8. Способы снятия векторных диаграмм токов и напряжений. Особенности каждого из способов.

9. Как можно проверить правильность включения реле направления мощности с углом максимальной чувствительности — 45° , включенного по 90° -ной схеме, током нагрузки, если известны активная и реактивная мощности, проходящие по защищаемой линии?

6-4. Проверка цепей дифференциальной токовой защиты трансформатора. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление со способом проверки комплекта дифференциальной токовой защиты трансформатора первичным током нагрузки.

Способ проверки правильности включения токовых цепей дифференциальной токовой защиты первичным током нагрузки является достаточно простым и полноценным. Испытание проводится при включенном трансформаторе, когда по его цепи проходит ток нагрузки, значение которого должно быть не ниже 20% $I_{\text{ном}}$.

Для выявления возможных ошибок и неисправностей необходимо:

измерить токи во всех фазах в цепи каждого плеча защиты;

измерить ток небаланса в цепи каждого реле и нулевом проводе или напряжение небаланса на зажимах обмотки реле;

снять векторную диаграмму токов, проходящих в плечах защиты [28].

Схема включения измерительной аппаратуры для проверки токовых цепей дифференциальной токовой за-

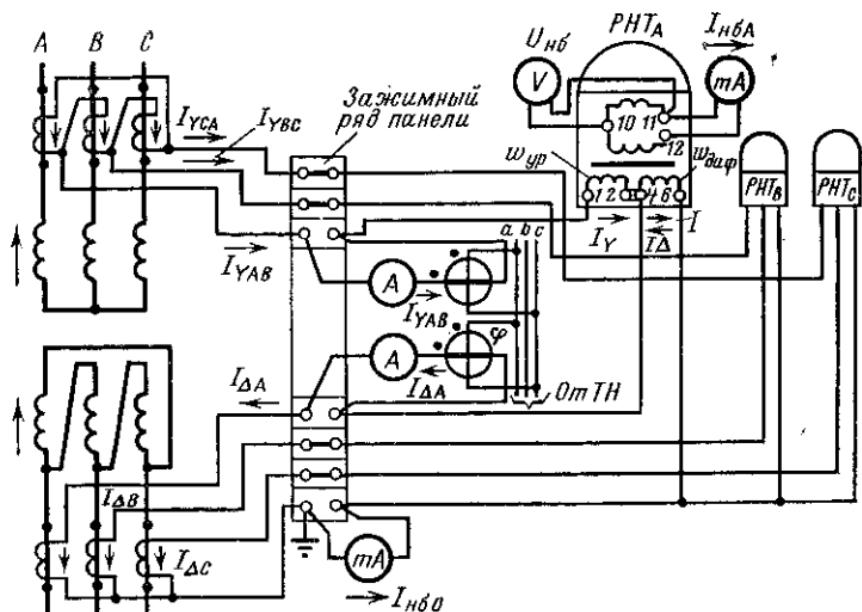


Рис. 6-9. Проверка исправности токовых цепей переменного тока дифференциальной токовой защиты трансформатора.

щты трансформатора, выполненной с реле типа РНТ-565, представлена на рис. 6-9 (на схеме показано включение приборов в одну фазу). По показаниям амперметров, измеряющих токи в плечах защиты, можно судить о правильности выбора коэффициентов трансформации двух групп трансформаторов тока: токи I_Y и I_A должны быть примерно равны и близки к 5 А при nominalной нагрузке трансформатора.

Полученные результаты измерений позволяют сделать вывод о правильности выбора числа витков уравнительной обмотки при известном числе витков дифференциальной обмотки. Так как уравнительная обмотка служит для выравнивания магнитных потоков, обусловленных токами, проходящими в плечах защиты, равенство н. с. при правильно выбранном числе витков уравнительной обмотки должно иметь вид:

$$I_A w_{\text{диф}} = I_Y (w_{\text{диф}} + w_{\text{ур}}). \quad (6-2)$$

Если равенство не соблюдается, значит число витков подобрано неправильно.

Ток небаланса в обмотке реле при использовании реле РНТ (ДЗТ) измеряется с помощью миллиамперметра, включенного последовательно с обмоткой самого реле в цепь вторичной обмотки промежуточного насыщающего трансформатора — к зажимам 11, 12, перемычка между которыми снимается. Для измерения тока небаланса следует брать прибор с внутренним сопротивлением не больше 0,5—4 Ом. Можно воспользоваться миллиамперметром прибора ВАФ, у которого на пределе 50 мА сопротивление составляет 0,2 Ом.

Для измерения тока небаланса в нулевом проводе предусматривается подключение миллиамперметра к соответствующим входным зажимам панели.

Напряжение небаланса на обмотке реле измеряется вольтметром с большим внутренним сопротивлением ($R_V \geq 2500$ Ом), подключенным к зажимам 10, 11 данного реле. При правильно собранной схеме ток и напряжение небаланса должны быть малы и не способны вызвать срабатывание реле.

Векторная диаграмма токов, проходящих в плечах защиты, снимается одним из известных методов. На рис. 6-9 дана схема включения фазометров, последовательные обмотки которых подключаются к входным за-

Таблица 6-3

Угол между вектором ориентирующего напряжения и векторами токов	Токи, проходящие по токовой обмотке фазометра					
	I_{YAB}	I_{YBC}	I_{YCA}	$I_{\Delta A}$	$I_{\Delta B}$	$I_{\Delta C}$
φ	$+20^\circ$	$+140^\circ$	-100°	-160°	-40°	$+80^\circ$

жимам панели. К параллельным обмоткам подводится питание от заранее проверенной системы симметричных напряжений, синхронной с измеряемыми токами. Можно подводить любое напряжение, например U_{ac} . Для построения векторной диаграммы необходимо выполнить шесть измерений, по результатам которых определить углы сдвига фаз токов, проходящих в плечах защиты относительно U_{ac} . При включении последовательной обмотки фазометра следует помнить общее правило: начало обмотки должно быть соединено с зажимом панели, связанным с трансформатором тока; конец обмотки соединяется с зажимом, связанным с реле. Прибор поочередно включается в цепь токов, подходящих от двух групп трансформаторов тока. Результаты всех измерений сводятся в таблицу. Для лучшего понимания работы рассмотрен конкретный пример (табл. 6-3).

На основании приведенных результатов измерений строится векторная диаграмма токов, для чего вектор каждого тока проводится под соответствующим углом относительно исходного вектора напряжения U_{ac} (рис. 6-10).

По полученной диаграмме можно сделать вывод о правильности выполнения схемы дифференциальной защиты. В данном случае:

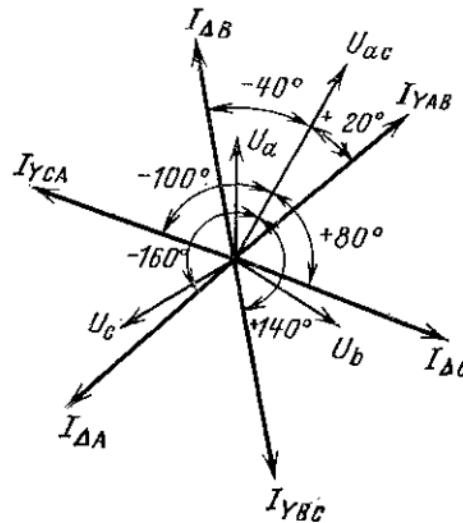


Рис. 6-10. Векторная диаграмма токов, проходящих в плечах дифференциальной токовой защиты трансформатора.

векторы трех токов, проходящих в проводах со стороны высшего напряжения (\vec{I}_{YAB} , \vec{I}_{YEC} , \vec{I}_{YCA}), сдвинуты на 120° ; то же относится к векторам токов, проходящих в проводах со стороны низшего напряжения ($\vec{I}_{\Delta A}$; $\vec{I}_{\Delta B}$, $\vec{I}_{\Delta C}$);

векторы токов одноименных фаз сдвинуты на угол 180° (\vec{I}_{YAB} и $\vec{I}_{\Delta A}$; \vec{I}_{YBC} и $\vec{I}_{\Delta B}$; \vec{I}_{YCA} и $\vec{I}_{\Delta C}$), следовательно, схема собрана правильно.

Получение векторной диаграммы токов, отличной от данной, будет свидетельствовать о наличии ошибок в схеме включения защиты. Если, например, векторы токов одноименных фаз оказались совпадающими, это значит, что звезда трансформаторов тока собрана с обратной полярностью. Ошибки, выявленные с помощью векторных диаграмм, должны быть устраниены, после чего следует вновь снять диаграмму.

Задание на работу. 1. Ознакомиться со схемой выполнения, проверяемой дифференциальной токовой защиты силового трансформатора.

2. Записать данные защищаемого силового трансформатора, измерительных трансформаторов тока и реле.

3. Произвести расчет вторичных токов со сторон зезды (I_Y) и треугольника (I_Δ) силового трансформатора, соответствующих номинальной мощности трансформатора.

4. При заданном токе срабатывания защиты произвести выбор чисел витков дифференциальной и уравнительной обмоток реле РНТ. Установить расчетное число витков в каждой обмотке.

5. Подобрать измерительную аппаратуру для измерения всех необходимых токов и построения векторной диаграммы.

6. Произвести фазировку цепей напряжения, используемых при снятии векторных диаграмм.

7. Собрать схему испытания в соответствии с рис. 6-9.

8. Включить силовой трансформатор в работу, создав режим с током нагрузки не ниже 20% $I_{\text{ном}}$.

9. Произвести необходимые измерения; занести их результаты в табл. 6-4.

10. По полученным данным сделать вывод о правильности выбора коэффициентов трансформации трансформаторов тока; проверить, соблюдается ли равенство н. с. у реле РНТ.

Таблица 6-4

Результаты измерений	Измеряемые токи								
	I_{YAB}	I_{YBC}	I_{YCA}	$I_{\Delta A}$	$I_{\Delta B}$	$I_{\Delta C}$	$I_{\text{НБА}}$	$I_{\text{НБВ}}$	$I_{\text{НБС}}$	$I_{\text{НБО}}$
Значение тока									
Углы по отношению к ориентирующему напряжению									

11. Измерить углы сдвига фаз каждого из шести токов по отношению к принятому за исходное напряжению; результаты измерений записать в ту же таблицу.

12. По данным табл. 6-4 построить векторную диаграмму токов.

13. По полученной диаграмме сделать вывод о правильности выполнения дифференциальной токовой защиты трансформатора. Если при проверке обнаружены неисправности или ошибки в схеме, их следует выявить и устранить.

Указания к выполнению работы. 1. Ток срабатывания проверяемой дифференциальной токовой защиты задается преподавателем.

2. Допускается измерение величин и фаз токов в плечах защиты производить с помощью вольтамперфазодидикатора (ВАФ) с использованием измерительных клещей.

3. При заранее выполненном в лаборатории монтаже дифференциальной токовой защиты силового трансформатора и заранее сфазированных трансформаторах тока, перед тем как учащиеся будут снимать векторную диаграмму и определять токи небаланса, фазировку трансформаторов тока целесообразно нарушить и поручить учащимся восстановить ее по данным измерений и построения векторной диаграммы.

Контрольные вопросы. 1. Почему при проверке дифференциальной токовой защиты трансформатора недостаточно измерить токи в плечах защиты и в цепи реле, а следует дополнительно произвести построение векторной диаграммы токов?

2. Как произвести построение векторной диаграммы токов при использовании прибора типа ВАФ с токоизмерительными клещами?

3. О чём свидетельствует неравенство токов в плечах дифференциальной токовой защиты со сторон звезды и треугольника силового трансформатора, полученное при проверке защиты?

4. Чем опасно включение с обратной полярностью всех трех трансформаторов тока одной группы дифференциальной токовой защиты?

6-5. Проверка комплекта трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с защитой от замыкания на землю, выполненной по типовой схеме (рис. 6-11) для сетей с большим током замыкания на землю; изучение методов определения токов небаланса в цепи обмотки реле, включенного на ток нулевой последовательности, и способов снятия векторных диаграмм тока и напряжения нулевой последовательности; проверка током нагрузки и рабочим напряжением правильности включения органа, определяющего знак мощности нулевой последовательности.

Особенности определения тока небаланса в цепи обмотки реле, включенного на сумму токов трех фаз, заключаются в том, что ток небаланса при нормальном режиме работы защищаемого присоединения мал и в нем содержатся составляющие высших гармоник.

Известны четыре способа измерения малых токов небаланса.

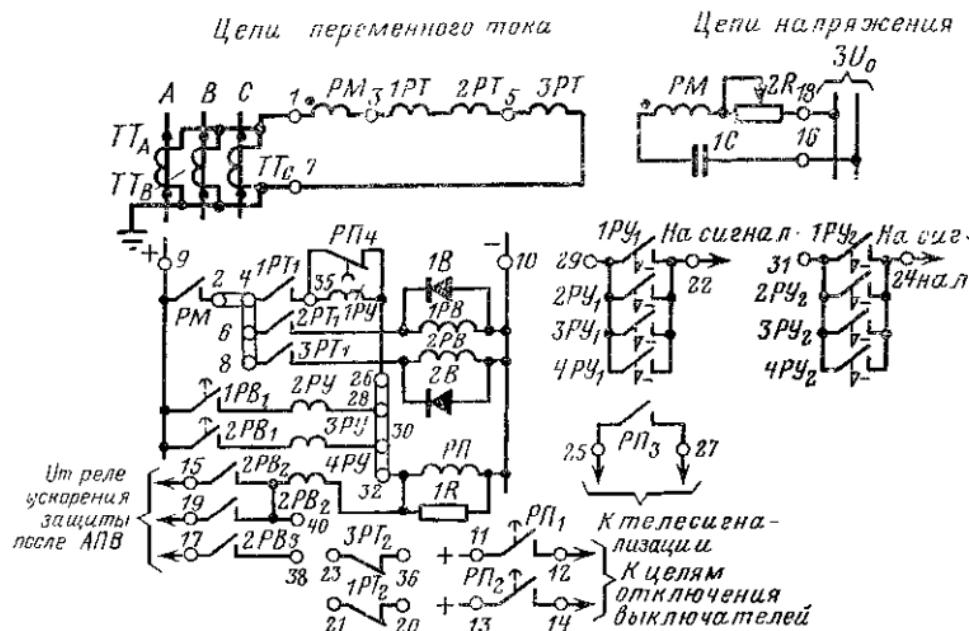


Рис. 6-11. Принципиальная схема трехступенчатой направленной токовой защиты нулевой последовательности (комплект КЗ-15).

Первый способ предполагает включение последовательно с обмоткой реле миллиамперметра с весьма малым сопротивлением или, что лучше, гальванометра осциллографа. Показания этих приборов, однако, не определяют результирующий эффект от воздействия тока небаланса на воспринимающую систему реле. Кроме того, включение последовательно с обмоткой реле измерительного прибора изменяет ток небаланса.

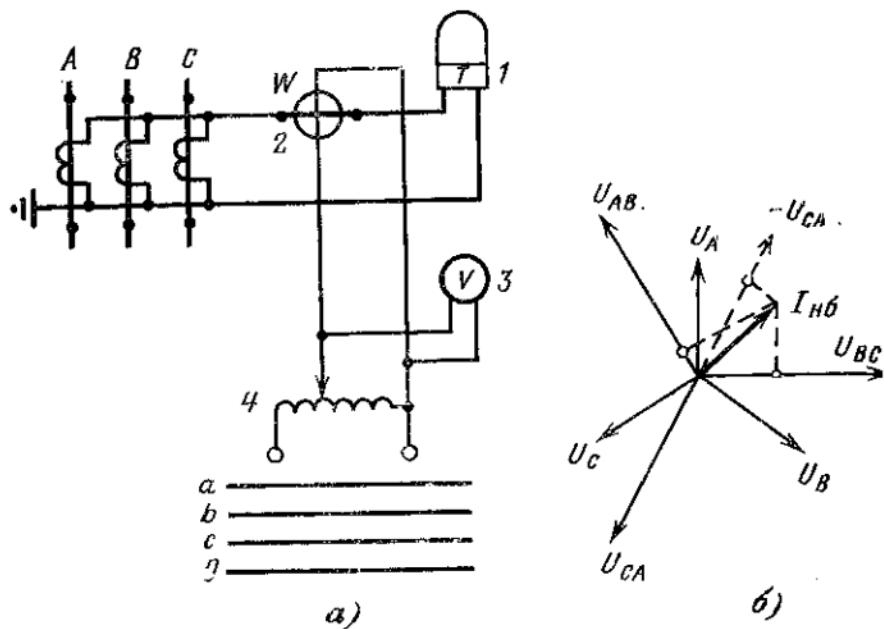


Рис. 6-12. Измерение тока небаланса методом ваттметра.
а — схема испытания; б — векторная диаграмма; 1 — реле защиты; 2 — ваттметр; 3 — вольтметр; 4 — автотрансформатор.

Второй способ заключается в том, что последовательно с токовой обмоткой реле включается токовая обмотка ваттметра (рис. 6-12). Обмотка напряжения ваттметра подключается к источнику синусоидального напряжения поочередно на фазы U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} так, чтобы абсолютное значение напряжения было известно и во время измерений неизменно. В нулевом проводе трех трансформаторов тока, соединенных на сумму токов, ток небаланса может содержать значительный процент высших гармоник.

Стрелка ваттметра под влиянием взаимодействия напряжения основной гармоники с током, содержащим паради с основной гармоникой составляющие высших гармоник, будет колебаться около среднего показания.

Таким образом, можно построить векторную диаграмму для основной гармоники тока небаланса и определить его значение.

Третий способ (предложен в Челябэнерго И. К. Чепелем) предполагает измерять ток небаланса с использованием токового реле защиты, установленной на присоединении. Сущность способа поясняется на рис. 6-13. Требуется измерить абсолютное значение и фазу тока

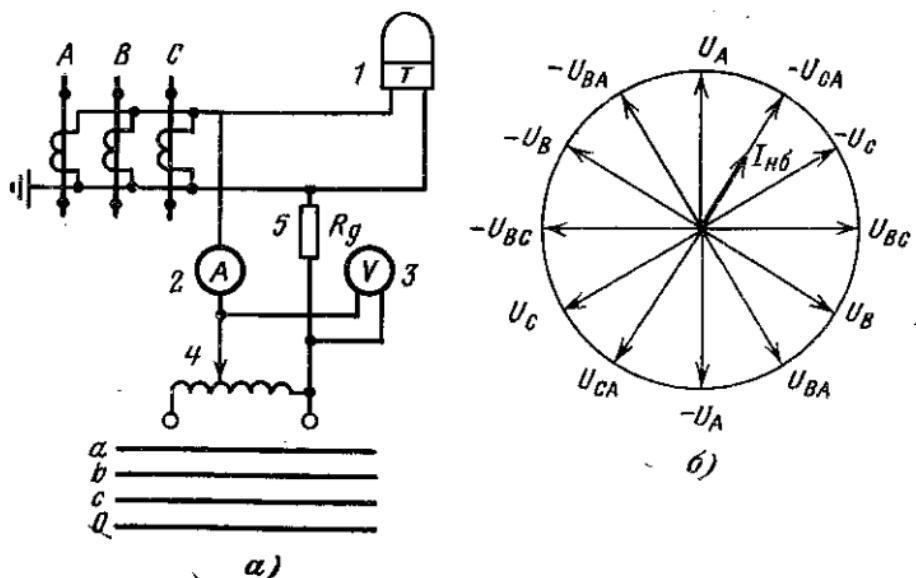


Рис. 6-13. Измерение тока небаланса при помощи реле защиты, включенного на этот ток.

a — схема измерения; *б* — поясняющая диаграмма; 1 — реле защиты; 2 — амперметр; 3 — вольтметр; 4 — автотрансформатор; 5 — добавочный резистор $R_d \gg R_{\text{реле}}$.

небаланса, проходящего по обмотке токового реле, включенного на ток нулевой последовательности (на сумму токов фаз $I_A + I_B + I_C$). Пусть ток небаланса определяется вектором $I_{\text{нб}}$.

Включим параллельно обмотке токового реле автотрансформатор. Регулировкой автотрансформатора будем изменять ток через амперметр 2 до значения, при котором срабатывает токовое реле 1 защиты. Фиксируем показания амперметра, соответствующие разным напряжениям, к которым подключается автотрансформатор:

$$(\dot{U}_A; -\dot{U}_A; \dot{U}_B; -\dot{U}_B; \dot{U}_C; -\dot{U}_C; \\ \dot{U}_{AB}; -\dot{U}_{AB}; \dot{U}_{BC}; -\dot{U}_{BC}; \dot{U}_{CA}; -\dot{U}_{CA}).$$

Если вектор $I_{\text{нб}}$ совпадает с вектором \dot{U}_{CA} (рис. 6-13), значение тока, при котором реле сработает, будет наименьшим $I_{\text{мин}}$; если автотрансформатор включен на напряжение $+U_{CA}$, значение тока наибольшее $I_{\text{макс}}$. Ток небаланса определяется из соотношения

$$I_{\text{мин}} + I_{\text{нб}} = I_{\text{макс}} - I_{\text{нб}}, \quad (6-3)$$

т. е.

$$I_{\text{нб}} = 0,5(I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}). \quad (6-4)$$

При подключении автотрансформатора к любым другим напряжениям значения токов находятся между максимальным и минимальным и не являются определяющими. Таким образом, при опыте нужно определить напряжения, к которым подключается автотрансформатор, соответствующие максимальному и минимальному значениям токов через амперметр, при которых срабатывает реле. Напряжение при токе $I_{\text{макс}}$ находится в противофазе с напряжением, при котором ток равен $I_{\text{мин}}$.

Некоторая ошибка может получиться, если вектор тока не совпадает с ориентирующими напряжениями; максимальная ошибка по току равна $\Delta I = I_{\text{нб}}(1 - \cos 15^\circ) \approx 0,03I_{\text{нб}}$. Максимальная ошибка по углу равна 15° .

Четвертый способ предполагает измерение тока небаланса с использованием измерительных клещей. Преимущество способа заключается в том, что при измерении не нарушается контролируемая цепь защиты; недостатком является то, что на показания прибора оказывает влияние наличие высших гармоник в токе, проходящем по контролируемому проводу; как правило, это влияние отлично от влияния, оказываемого на реле, включенного в контролируемую цепь. Другим недостатком является то, что при малых значениях тока небаланса погрешность измерения увеличивается за счет влияния токов, проходящих по близко расположенным цепям. Уменьшить влияние высших гармоник на результаты измерений можно, если в качестве измерительного прибора применить милливаттметр с включением цепей напряжения на синусоидальное напряжение основной гармоники, аналогично тому, как это производится по второму способу измерения токов небаланса.

Особенность снятия векторных диаграмм токов и напряжения нулевой последовательности заключается в том, что при отсутствии замыкания на землю в первичной цепи защищаемого объекта по обмоткам тока

реле, включенных на сумму токов $I_A + I_B + I_C$, проходит только ток небаланса $I_{\text{нб}}$, а по обмоткам напряжения реле, включенных на сумму напряжений $U_A + U_B + U_C$, проходит ток, обусловленный напряжением небаланса $U_{\text{нб}}$. Наличие тока $I_{\text{нб}}$ и напряжения $U_{\text{нб}}$ указывает на исправность цепей тока или напряжения нулевой последовательности (соответственно), но не позволяет установить правильность подключения к измерительным трансформаторам обмоток тока и напряжения реле мощности нулевой последовательности или реле других типов, предназначенных ориентировать действие защиты в зависимости от знака этой мощности.

При проверке током нагрузки и рабочим напряжением правильности включения реле направления мощности нулевой последовательности во вторичных цепях искусственно создаются условия, близкие к условиям, имеющим место при однофазном к. з. на защищаемой линии [29].

Обычно имитируется однофазное к. з. непосредственно у шин подстанции, где установлена проверяемая защита. Для этого, исходя из векторной диаграммы на рис. 6-14,б на зажимы защиты следует подать:

ток поврежденной фазы (например, I_A);
напряжение нулевой последовательности, равное сумме напряжений неповрежденных фаз (в данном случае $U_B + U_C$).

Таким образом, из токовой цепи защиты необходимо исключить два трансформатора тока (фаз B и C), а из цепи напряжения — одну поврежденную фазу ($U_A = 0$). Схема, соответствующая такому режиму, показана на рис. 6-14,а.

В зажимном ряду панели рассматриваемой защиты в токовых цепях устанавливаются две перемычки, закорачивающие вторичные обмотки трансформаторов тока двух исключенных из схемы фаз (B и C), после чего цепи этих фаз отсоединяются от панели проверяемой защиты.

Для подачи на реле мощности напряжения, равного сумме $U_B + U_C$, обычно используется дополнительный вывод O_d , предусмотренный у вторичной обмотки трансформатора напряжения, соединенной в разомкнутый треугольник. С целью удобства проверки защиты с помощью дополнительной (испытательной) жилы при монтаже вывод O_d подсоединяется к зажимному ряду дан-

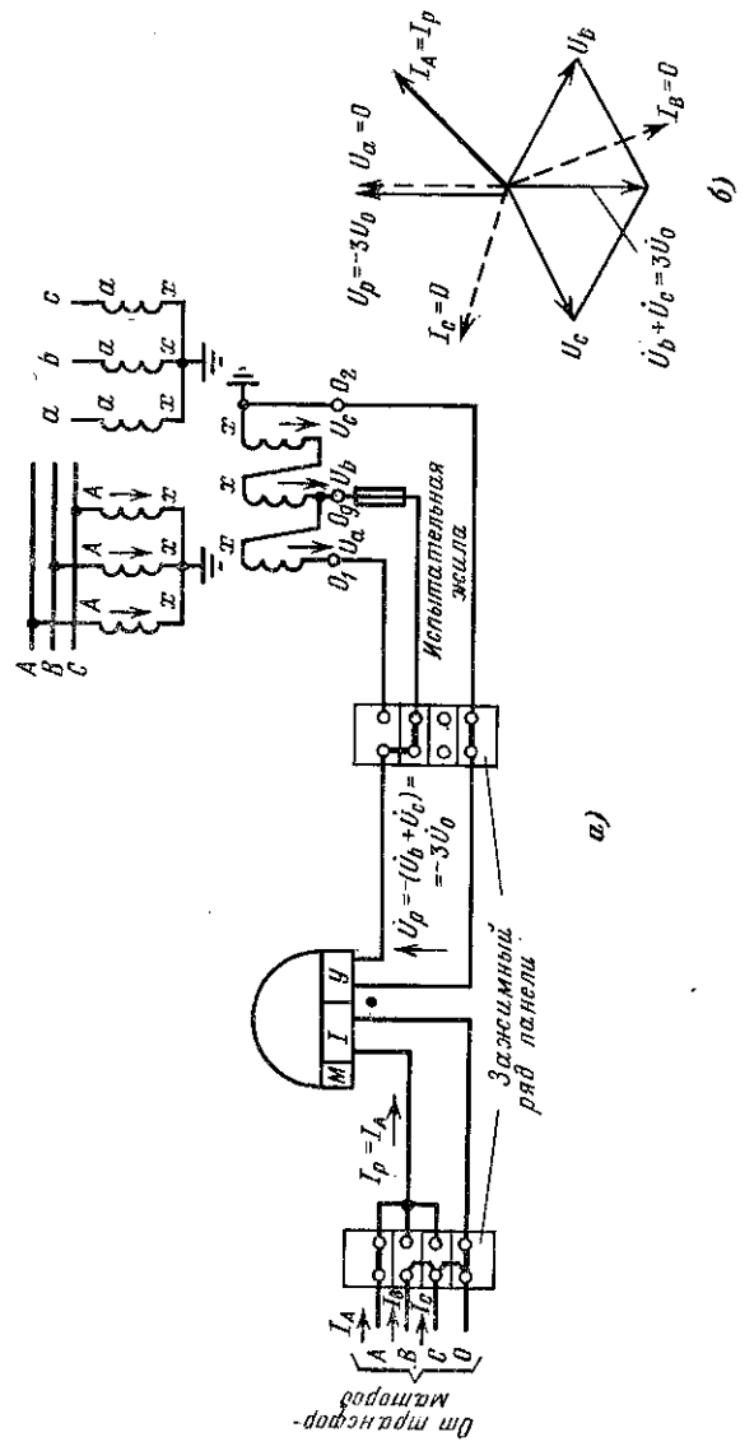


Рис. 6-14. Имитация однофазного к. з. вблизи шин подстанции.
a — схема питания реле направления мощности комплекта от замыкания на землю; *b* — векторная диаграмма.

ной панели. Таким образом, при испытании следует снять перемычку на зажиме, связанном с выводом O_1 , и установить ее на зажиме, соединенном с выводом O_d . Вывод O_d необходимо соединить с тем зажимом панели, с которым нормально связан вывод O_1 .

Снятие векторной диаграммы токов и напряжений производится одним из способов, рассмотренных в § 6-3.

На диаграмме может быть построено взаимное расположение векторов тока $3I_0$ и напряжения $3U_0$ или эти векторы могут быть ориентированы по отношению к векторам тока I_A , I_B , I_C или напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} .

Фазировка трансформатора напряжения с соединением обмоток в разомкнутый треугольник должна быть произведена относительно фаз вторичных обмоток того же трансформатора, соединенных в звезду. Если обе вторичные обмотки трансформатора электрически связаны (обе обмотки заземлены), фазировку можно произвести при помощи вольтметра (рис. 6-15, а). Использовать для проверки дополнительный вывод обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник, целесообразно в том случае, если заземленные и исключаемые фазы этой обмотки трансформатора напряжения не совпадают (например, заземлена фаза B , а исключается фаза A).

Вольтметр подключается одним зажимом к дополнительному выводу обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник, O_d , а другим — поочередно ко всем фазам и нулевой точке вторичных обмоток, соединенных в звезду. Показания вольтметра записываются. При правильном включении обмоток измерительного трансформатора напряжения потенциал $\Phi_{2\Delta}$ точки 2 вывод O_d (рис. 6-15, б) соответствует напряжению

$$\Phi_{2\Delta} = \dot{U}_{c\Delta} + \dot{U}_{b\Delta} = 3\dot{U}_0. \quad (6-5)$$

Потенциал точки 1 при переходе с одной фазы на другую меняется и соответственно равен:

$$\dot{\Phi}_{1aY} = \dot{U}_{aY}; \quad \dot{\Phi}_{1bY} = \dot{U}_{bY};$$

$$\dot{\Phi}_{1cY} = \dot{U}_{cY}; \quad \dot{\Phi}_{10Y} = 0.$$

Предполагается, что заземлены точки x вторичных обмоток трансформатора напряжения, соединенных в звезду (рис. 6-15, а).

Показания вольтметра, определяемые разностью потенциалов точек 1 и 2, оказываются равными:

при подключении на фазу *a*

$$\dot{U}_a = \dot{U}_{aY} - (\dot{U}_{c\Delta} + \dot{U}_{b\Delta}) = \dot{U}_{aY} - 3\dot{U}_0;$$

на фазу *b*

$$\dot{U}_b = \dot{U}_{bY} - 3\dot{U}_0;$$

на фазу *c*

$$\dot{U}_c = \dot{U}_{cY} - 3\dot{U}_0;$$

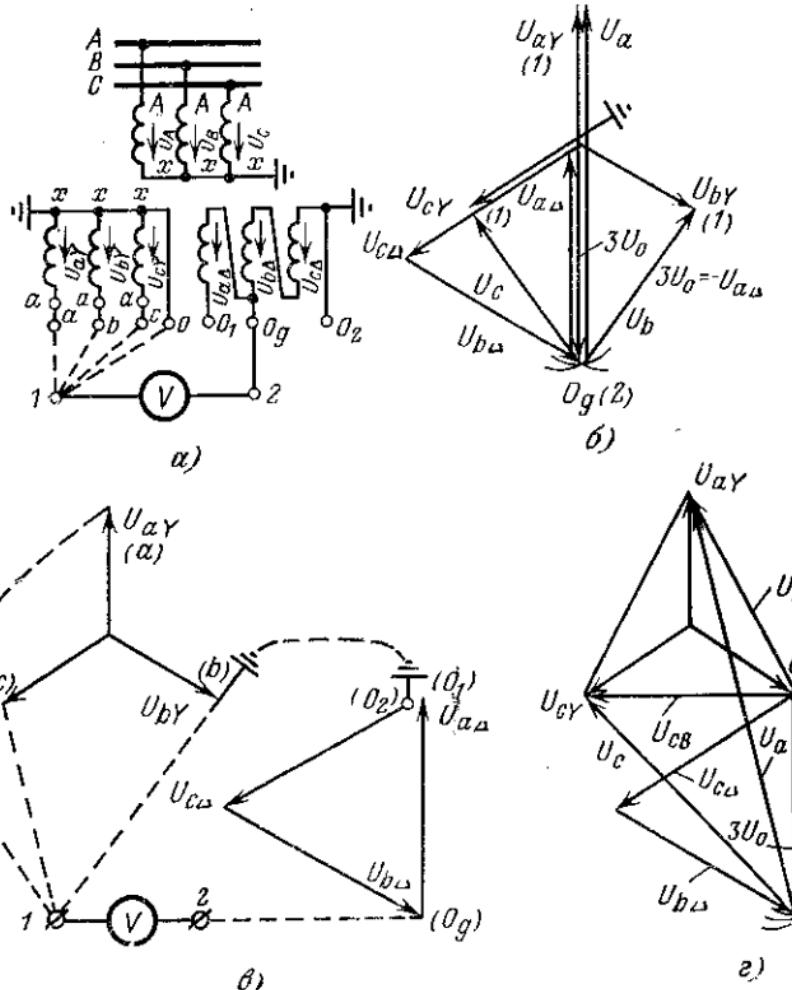


Рис. 6-15. Определение величины и фазы напряжения $3U_0$ при имитации одноточечного К. з.

a — схема подключения вольтметра; *б* — векторная диаграмма при заземлении нулевой точки вторичной обмотки трансформатора напряжения, соединенной в звезду; *в* — схема, поясняющая подключение вольтметра к обмотке трансформатора напряжения при заземлении фазы *B* обмотки, соединенной в звезду; *г* — векторная диаграмма при заземлении фазы *B* вторичной обмотки трансформатора напряжения, соединенной в звезду.

на вывод o

$$\dot{U} = -3\dot{U}_o.$$

Отсюда

$$3\dot{U}_o = \dot{U}_{aY} - \dot{U}_a; \quad 3\dot{U}_o = \dot{U}_{bY} - \dot{U}_b$$

и

$$3\dot{U}_o = \dot{U}_{cY} - \dot{U}_c.$$

Следовательно, для того чтобы определить величину и направление вектора $3\dot{U}_o$, надо из концов векторов фазных напряжений обмоток, соединенных в звезду, отложить в том же масштабе соответствующие показания вольтметра. Точка пересечения трех радиусов, отмеченных циркулем, определяет один конец вектора $3\dot{U}_o$. Второй конец вектора находится в точке векторной диаграммы, соответствующей заземленной точке обмотки трансформатора, соединенной в звезду. Векторная диаграмма исходных напряжений и построенный данным методом вектор испытательного напряжения, имитирующий напряжение нулевой последовательности, показаны на рис. 6-15,б.

При построении векторной диаграммы заземленные точки обмоток, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник, совмещаются.

Часто заземление вторичной обмотки трансформатора напряжения, соединенной в звезду, производят не в точке x , как указано на рис. 6-15,а, а в точке b , т. е. заземляется фаза \dot{U}_{bY} . В этом случае потенциал точки 1 вольтметра по отношению к земле при переходе с одной фазы на другую будет равен (рис. 6-15,в):

$$\dot{\phi}_{1aY} = \dot{U}_{aY} - \dot{U}_{bY}; \quad (6-6)$$

$$\dot{\phi}_{1bY} = 0; \quad (6-7)$$

$$\dot{\phi}_{1cY} = \dot{U}_{cY} - \dot{U}_{bY}. \quad (6-8)$$

Потенциал точки 2 вольтметра по отношению к земле при подключении вольтметра к точке O_d и заземлении вторичной обмотки трансформаторов напряжения, соединенной в разомкнутый треугольник в точке O_2 , равен:

$$\dot{\phi}_{2bA} = \dot{\phi}_{O_d} = \dot{U}_{cA} + \dot{U}_{bA} = 3\dot{U}_o. \quad (6-9)$$

Показания вольтметра, определяемые разностью потенциалов точек 1 и 2, будут равны:
при подключении к точке *a*

$$\dot{U}_a = \dot{U}_{aY} - \dot{U}_{bY} - 3\dot{U}_0;$$

при подключении к точке *b*

$$U_b = -3\dot{U}_0;$$

при подключении к точке *c*

$$\dot{U}_c = \dot{U}_{cY} - \dot{U}_{bY} - 3\dot{U}_0.$$

Таким образом, для определения вектора $3\dot{U}_0$ надо из концов векторов междуфазных напряжений \dot{U}_{abY} и \dot{U}_{cbY} вычесть показания вольтметра \dot{U}_a и \dot{U}_c . Точка пересечения соответствующих радиусов определит местоположение на диаграмме вектора $3\dot{U}_0$ (рис. 6-15,г).

Задание на работу. 1. Ознакомиться со схемой комплекта трехступенчатой токовой направленности защиты нулевой последовательности. Составить спецификацию всех реле, входящих в ее комплект. Списать паспорт измерительных трансформаторов тока и напряжения, питающих комплект защиты.

2. Выполнить проверку комплекта данной защиты первичным током нагрузки и рабочим напряжением:

произвести одним из рассмотренных ранее методов измерение тока небаланса, соответствующего номинальной нагрузке защищаемой линии;

с помощью вольтметра проверить правильность подключения дополнительного испытательного вывода O_d трансформатора напряжения со стороны обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник (рис. 6-15). Показания вольтметра записать в табл. 6-5;

по данным табл. 6-5 в масштабе построить векторную диаграмму вторичных напряжений и вектора $3\dot{U}_0$. Сделать вывод о правильности подключения зажима O_d ;

создав для данной защиты режим, имитирующий однофазное к. з. (рис. 6-14,а), с помощью любого прибора (ваттметра, фазометра, ВАФ) произвести построение векторной диаграммы для реле направления мощности (взаимное расположение векторов $3\dot{U}_0$ и I_A или I_B , или I_C);

Трансформатор напряжения типа . . .

Номинальные фазные напряжения:

$$U_{\text{ном}1} = \dots \text{ В}; U_{\text{ном}2Y} = \dots \text{ В}; U_{\text{ном}2A} = \dots \text{ В}$$

	Выводы обмоток, соединенных в звезду			
	a	b	c	o
Показания вольтметра				

проверить состояние контактов реле мощности, соответствующее моменту проверки защиты. Зная направления мощностей — активной и реактивной — для той стороны линии, где установлен проверяемый комплект защиты (условие задается преподавателем), по состоянию контактов убедиться в правильности выполнения схемы проверяемой защиты. Обосновать вывод построением векторной диаграммы.

3. Произвести настройку всех реле проверяемого комплекта защиты (реле тока $1PT$, $2PT$, $3PT$ и реле времени $1PB$ и $2PB$) на заданные уставки (величины $I_{ср}$ и $t_{ср}$ задаются преподавателем).

4. Опробовать работу устройства защиты:

в соответствии с заранее составленной программой от руки замыкать контакты отдельных реле и наблюдать за поведением всего комплекта (при этом проверяется исправность оперативных цепей);

имитировать однофазные к. з. в пределах 1, 2 и 3-й зон защиты (проверяется работа защиты в целом).

Указания к выполнению работы. 1. Для проверки может быть предложена трехступенчатая направленная защита нулевой последовательности, смонтированная на стандартной панели или выполненная в виде комплектного устройства типа КЗ15, схема которого дана на рис. 6-11.

2. Учитывая, что в учебных лабораториях не может быть реально произведена проверка рабочим напряжением (например, от трансформаторов напряжения 110 кВ типа НКФ); измерительные трансформаторы для про-

веряемой защиты должны быть имитированы шестью однофазными трансформаторами с соединением обмоток трех трансформаторов $Y/Y=12$ и трех Y/Δ . Желательно, чтобы на зажимы панели были поданы напряжения, соответствующие реальным вторичным напряжениям трехобмоточного измерительного трансформатора напряжения $\frac{110\ 000}{V\sqrt{3}} / \frac{100}{V\sqrt{3}} / 100$.

3. Для проверки состояния контактов реле мощности следует воспользоваться векторной диаграммой соответствующего типа реле направления мощности. Совместив эту диаграмму с диаграммой, построенной при имитации однофазного к. з., проверить, в зоне каких моментов располагается вектор тока I_A при заданном направлении мощностей в линии: если в зоне положительных моментов — контакты реле должны быть замкнуты, если в зоне отрицательных моментов — они должны быть разомкнуты.

Контрольные вопросы. 1. Каким образом производится отстройка рассматриваемой защиты, схема которой приведена на рис. 6-11, от действия разрядников?

2. Как и для какой цели выполняется ускорение защиты после работы устройства АПВ?

3. Назначение резистора IR , шунтирующего обмотку выходного промежуточного реле в устройстве защиты, приведенной на рис. 6-11; каково сопротивление этого резистора?

4. Назначение реле направления мощности нулевой последовательности в комплекте защиты от замыканий на землю линий в сетях с большим током замыкания на землю.

5. Назначение полупроводниковых выпрямителей $1B$ и $2B$ в устройстве защиты, приведенном на рис. 6-11.

6. Способы измерения тока небаланса в цепи трансформаторов тока, соединенных на сумму токов фаз A, B, C .

7. Почему наличие напряжения небаланса на зажимах обмотки напряжения, включенной на сумму напряжений фаз $U_a + U_b + U_c$, свидетельствует об исправности цепи напряжения?

8. Чем объясняется наличие составляющих высших гармоник в токе небаланса во второй цепи трансформаторов тока, соединенных на сумму токов фаз A, B, C ?

9. Назначение добавочного вывода O_d в схеме трансформаторов напряжения с соединением обмоток в разомкнутый треугольник.

10. Вторичные обмотки трансформатора напряжения, соединенные в звезду, заземлены в одном случае в нулевой точке обмотки (рис. 6-15, a), в другом — на выводе фазы b (рис. 6-15, b). Меняется ли на диаграмме местоположение вектора $3U_0 = U_{c\Delta} + U_{b\Delta}$ по отношению к векторам фазных напряжений первичной цепи? Меняется ли способ построения вектора $3U_0$?

ПРОВЕРКА УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ТРАНЗИСТОРНЫХ МОДУЛЯХ

7-1. Общие положения

Промышленностью освоен серийный выпуск транзисторных модулей серии М, используемых в комплектных устройствах защиты и автоматики. Такие устройства получили распространение для защит объектов напряжением 3—10 кВ [31—38].

Модули присоединяются к измерительным трансформаторам тока или напряжения через согласующие разделительные трансформаторы. Согласующие трансформаторы в цепях напряжения располагаются в самих модулях. Разделительные трансформаторы в цепях тока выполняются в виде самостоятельных блоков серии БТ. Питание транзисторных модулей производится постоянным током от модуля питания. Воздействие на цепи

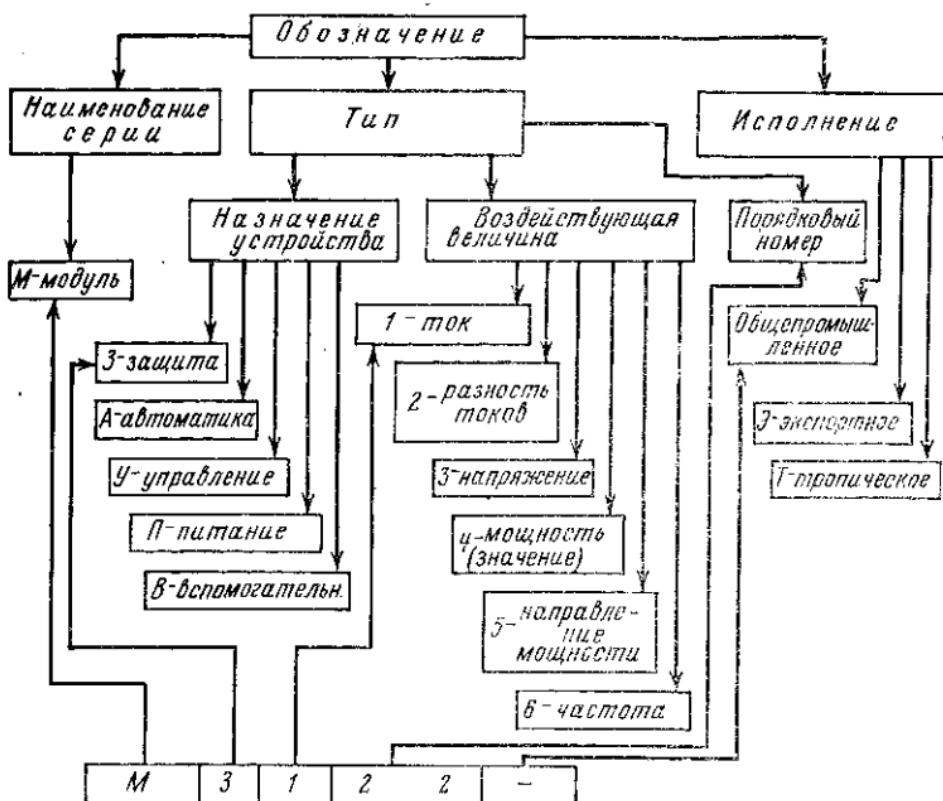


Рис. 7-1. Обозначение модулей.

управления выключателями и цепи сигнализации производится через модули управления и модули питания.

Все модули имеют одинаковые размеры, монтируются в пылезащищенных кассетах и используют транзисторные элементы серии «Логика». В зависимости от исполнения в каждой кассете может быть установлено пять—семь модулей. Обозначения модулей выполняются в соответствии с рис. 7-1.

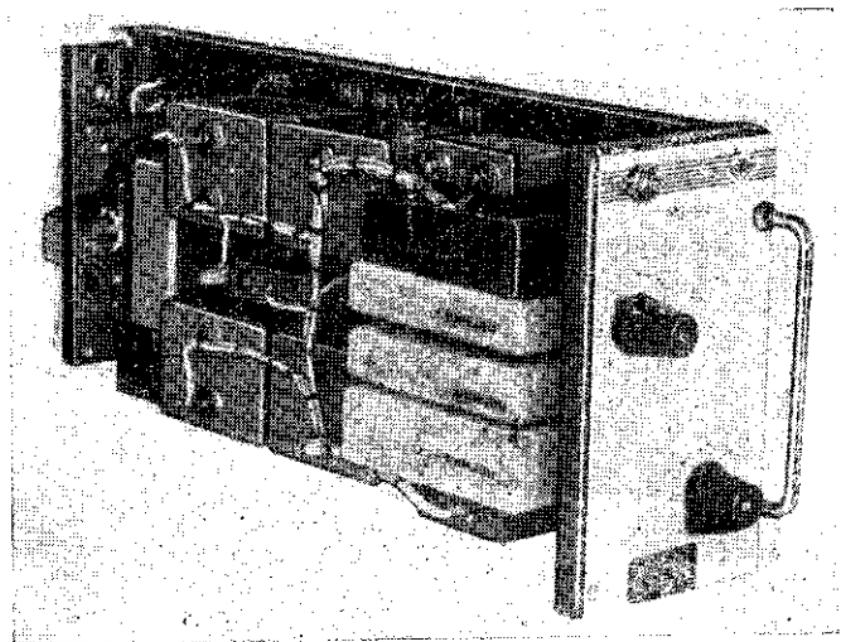


Рис. 7-2. Внешний вид транзисторного модуля защиты серии М.

В качестве питающих напряжений постоянного тока применяются напряжения $-12 \pm 0,24$ В, $+6 \pm 0,12$ В и $-24 \pm 2,4$ В, в качестве питающего переменного напряжения 100 В частотой 50 Гц. Разброс параметров срабатывания исправных модулей тока, напряжения и времени не превосходит $\pm 3\%$ среднего значения при неизменной температуре окружающей среды в диапазоне $-40 \div +40^\circ\text{C}$. Измерение среднего значения параметра срабатывания, произведенного при крайних указанных значениях по отношению к параметру срабатывания, измеренного при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$, не должен превосходить $\pm 10\%$.

Нагрузочная способность бесконтактных выходов модулей не менее 0,012 Вт при напряжении не ниже 4 В. Изоляция цепей модуля рассчитана на испытательное напряжение 500 В переменного тока частотой 50 Гц в течение 1 мин, приложенное между любыми внешними, электрически не связанными токоведущими частями, и 1700 В 50 Гц по отношению к корпусу.

Сигнализация срабатывания модуля выполняется при помощи электролюминесцентного источника света, име-

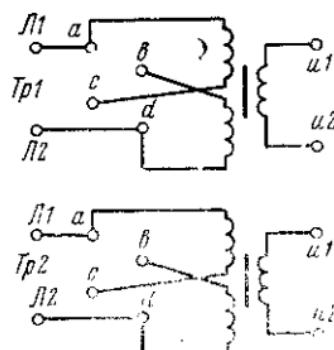


Рис. 7-3. Внутренняя схема соединения обмоток блока БТ.

ются также контактные выходы для передачи информации срабатывания на центральный пункт управления.

Внешний вид модуля одного из вариантов токовой защиты показан на рис. 7-2. На боковой плате несущего каркаса установлены элементы схемы (конденсаторы, резисторы и пр.). На передней стенке располагается лицевая плата, на которой установлены сигнальные лампы, гнезда испытательного разъема (на ней

выведены основные контролируемые точки схемы) и рукоятки переменных резисторов, служащих для регулирования параметров срабатывания. Гнезда входных разъемов для соединения цепей модуля с внешними цепями располагаются на задней стенке.

Схема блока согласующих разделительных трансформаторов серии БТ показана на рис. 7-3. На лицевой стороне блока расположены накладки, с помощью которых секции первичных обмоток могут быть соединены последовательно или параллельно (рис. 7-4) [36].

В зависимости от назначения модуля его схема комплектуется различными типовыми элементами, обозначение которых производится в соответствии с рис. 7-5 [35].

Отдельные транзисторные блоки не допускают ремонта на месте установки — это панели с печатным монтажом, залитым компаундом. В случае неисправности элемента у такого блока изменяются его электрические параметры, измерение которых может производиться с зажимов контрольного разъема. Неисправные блоки заменяются целиком.

Неправильное действие устройства защиты в целом выявляется, например для максимальной токовой защиты, самопроизвольным изменением параметра срабатывания, возврата, времени действия или разбросом этих величин сверх пределов, гарантуемых заводом-изготовителем. Неисправный блок в модуле может быть обнаружен путем сравнения напряжения или тока на входе и выходе испытуемого (неисправного) элемента с этими же величинами на входе и выходе исправного блока контрольного устройства при одних и тех же входных параметрах.

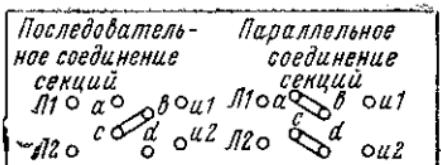


Рис. 7-4. Положение накладок на лицевой панели блока БТ.

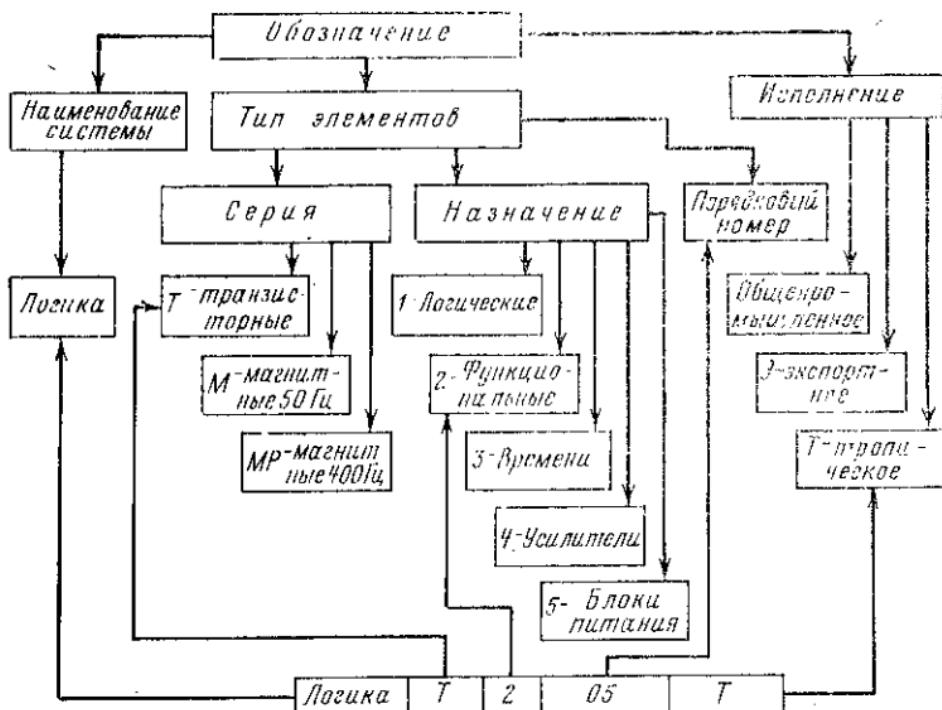


Рис. 7-5. Обозначение элементов Логика.

Проведение лабораторных работ по испытанию модульных транзисторных устройств защиты и автоматики предполагает знание учащимися основных схем на транзисторных элементах (логических, функциональных, времени, усиления). Ввиду ограниченности времени, отводимого на выполнение учебных лабораторных работ, ни-

же предусматривается проведение только испытания одной токовой защиты. По усмотрению преподавателя с учетом наличия конкретного оборудования в учебном заведении могут быть поставлены по аналогии лабораторные работы и для других модульных устройств защиты и автоматики. Перечень и основные параметры устройств приводятся в каталогах и информации заводов-изготовителей (см., например, [31, 35, 38]).

7-2. Проверка работы модуля максимальной токовой защиты. Лабораторная работа

Цель работы — ознакомление с устройством защиты, использующей транзисторные модули; проверка правильности работы устройства; выявление неисправного элемента при неправильной работе устройства.

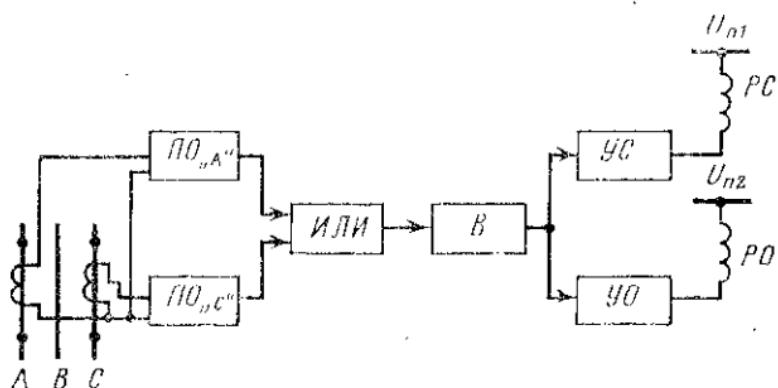


Рис. 7-6. Структурная схема модуля двухфазной токовой защиты типа МЗ-122.

ПО — пусковые органы; ИЛИ — элементы логической операции; В — элемент органа выдержки времени; УС — усиленный орган цепей сигнализации; УО — усиленный орган цепей отключения; РС — выходное реле сигнализации; РО — выходное реле отключения.

В качестве примера рассматривается устройство модуля максимальной токовой защиты в двухфазном исполнении с независимой выдержкой времени типа МЗ-122. Принцип работы такой защиты рассмотрен в [1]. Электрическая структурная схема модуля приведена на рис. 7-6.

Подключение модуля к трансформаторам тока защищаемой цепи производится посредством двухтрансформаторного блока БТ-42, обеспечивающего получение токов срабатывания 2,5—7,5 А при последовательном

соединении секций и 5—15 А при параллельном соединении. Питание элементов модуля выполняется от модуля питания типа МП-102 [32].

Модуль МЗ-122 содержит следующие основные элементы (рис. 7-7):

диодную приставку — элемент *Логика T-109*, с помощью которой производится выпрямление переменного тока;

конденсаторы C_1 , C_2 , служащие для сглаживания пульсации выпрямленного тока;

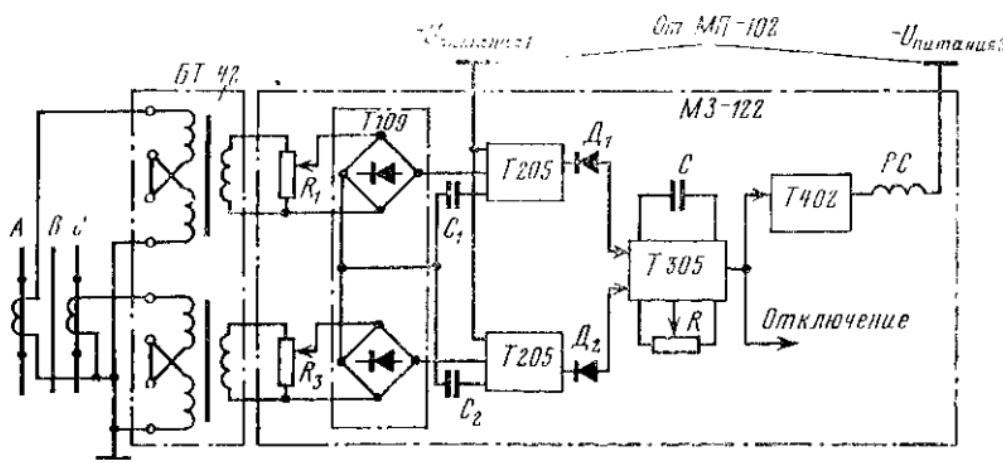


Рис. 7-7. Основные элементы модуля токовой защиты типа МЗ-122.

регулируемые резисторы R_1 , R_3 , обеспечивающие плавное регулирование тока срабатывания;

элементы *Логика T-205*, работающие в релейном режиме, когда измеряемая величина превосходит уставку срабатывания;

диоды D_1 , D_2 для осуществления логической операции ИЛИ;

элемент *Логика T-305*, обеспечивающий заданную задержку времени (0,5—9 с). Регулирование времени срабатывания выполняется ступенчато изменением емкости C и плавно — перемещением движка потенциометра R ;

усилитель — элемент *Логика T-402*, питаящий цепи сигнализации.

В качестве справочного материала ниже приводятся краткие описания действия и основные технические данные этих элементов, заимствованные из [35, 37].

Релейный элемент Т-205 (рис. 7-8). При появлении входного сигнала, равного напряжению срабатывания элемента (напряжение на входе элемента должно быть больше напряжения пробоя стабилитрона D_2), транзисторы T_1 , T_2 , T_3 благодаря наличию обратной связи мгновенно переходят в режим насыщения, и на выходе схемы появляется сигнал срабатывания.

Коэффициент возврата элемента не зависит от подключенной нагрузки, если сопротивление обратной связи в режиме срабатывания подключается к полному напряжению питания.

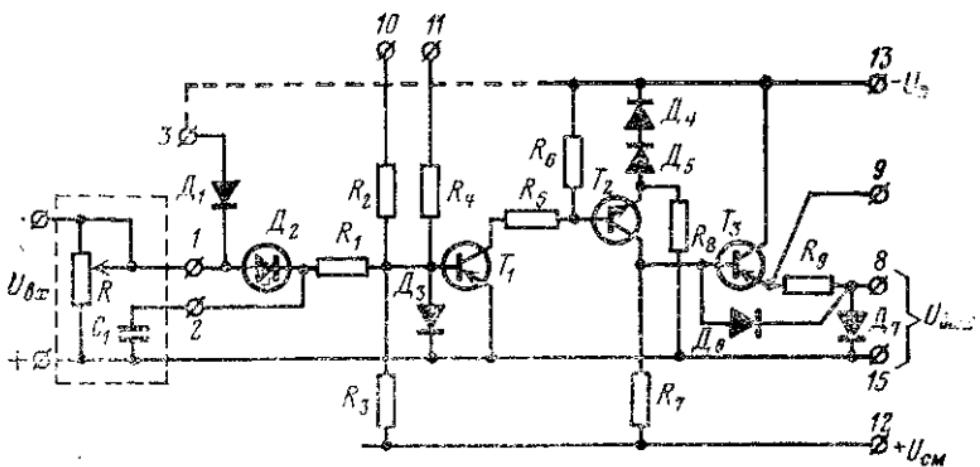


Рис. 7-8. Схема релейного элемента типа Т-205.

Для изменения коэффициента возврата от 0,8 до 0,995 в элементе предусмотрены два резистора обратной связи R_2 , R_4 , подключение которых осуществляется объединением точек 10—9 или 11—9.

Для защиты входного транзистора T_1 от перегрузки по току и напряжению на входе элемента установлен диод D_1 , подключаемый к цепи питания (точка 3 объединяется с точкой 13). На входе элемента (вне его) устанавливается сглаживающий конденсатор C_1 , позволяющий использовать элемент при работе от выпрямленного входного сигнала. В этом случае элемент имеет небольшое запаздывание при срабатывании и возврате. Для регулировки уставки срабатывания вне элемента устанавливается резистор R . Основные технические данные элемента:

Напряжение срабатывания U_{cp} , В	10,6—14,4
Кратность регулирования напряжения срабатывания k_p не менее	1/3
Ток срабатывания I_{cp} , мА	10,6—14,4
Разброс тока срабатывания δ_{cp} , %	(-2,0)—(+2,0)
Изменение среднего значения тока срабатывания β_{cp} , %	-10 ÷ +10
Коэффициент возврата k_z	0,80—0,99
Время срабатывания t_{cp} не более, мс	80
Время возврата t_v не более, мс	100

Элемент времени Т-305 (рис. 7-9). Выходной сигнал появляется с задержкой по времени после входного сигнала. Сигнал на выходе пропадает одновременно с исчезновением входного сигнала.

Элемент состоит из однокаскадного усилителя T_1 , цепи заряда R_4 , C и трехкаскадного усилителя постоянного тока T_2 , T_3 , T_4 с комбинированной обратной связью по току и напряжению.

При отсутствии входного сигнала транзистор T_1 заперт, конденсатор C разряжен через резистор R_3 ($R_3 \ll R_4$), транзисторы T_2 и T_3 заперты, T_4 отперт, сигнал на выходе равен нулю.

При подаче входного сигнала триод T_1 полностью отпирается, разделительный диод D_6 подключается к напряжению с обратной полярностью, запирается и представляет собой бесконечно большое

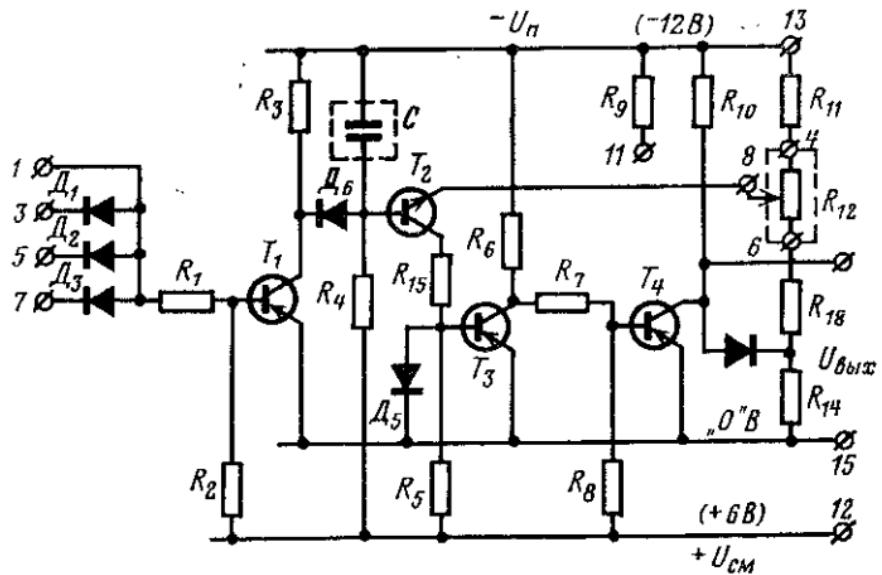


Рис. 7-9. Схема элемента времени типа Т-305.

сопротивление. При этом конденсатор C заряжается через резистор R_4 . Когда напряжение на конденсаторе будет равно напряжению на установочном потенциометре R_{12} , начинают отпираться триоды T_2 и T_3 . Триод T_4 начинает запираться, вызывая понижение потенциала движка потенциометра R_{12} и увеличение разности потенциалов между базой и эмиттером транзистора T_2 , в результате чего увеличиваются токи транзисторов T_2 , T_3 и транзистор T_4 запирается. Процесс развивается лавинообразно до полного запирания транзистора T_4 и появления на выходе сигнала.

Плавное регулирование времени срабатывания элемента производится потенциометром R_{12} , ступенчатое — конденсатором C . Основные технические данные:

Напряжение срабатывания $U_{ср}$, В	4,4—4,0
Изменение среднего значения выдержки времени при изменении температуры не более, %	$\pm 10 - \pm 6,15$
Разброс тока срабатывания не более, %	2,5—2,0
Кратность плавного регулирования не менее	1:10
Время готовности не более, %	4

Элемент усиления Т-402 (рис. 7-10). Элемент предназначен для повышения нагрузочной способности логических схем и может ис-

пользоваться для включения сигнальных ламп, выходных реле и т. п., обеспечивая переключение мощности до 3 Вт. Элемент содержит два усилительных триода с двумя раздельными входами. При работе элемента на управляемые механизмы используется питание —24 В; при этом элемент используется как однокаскадный усилитель и нагрузка подключается к выводу 8 (9) и шине —24 В. В режимах использования элемента как двухкаскадного усилителя без

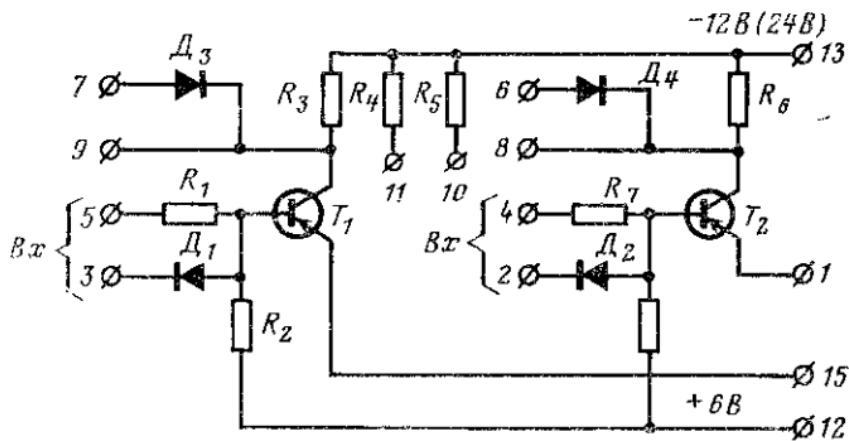


Рис. 7-10. Схема элемента усиления типа Т-402 (два усилителя).

разделения входов вывод 10 (11) объединяется с выводом 8 (9). При работе на индуктивную нагрузку используется диод D_3 (D_4), для чего необходимо вывод 6 (7) соединить с шиной —24 В.

Основные технические данные:

Напряжение питания и смещения, В	—24; —12; +6
Ток нагрузки при резисторном входе не более, мА . . .	70
Ток нагрузки при диодном входе не более, мА . . .	125
Входное сопротивление на резисторном входе, Ом . . .	680
Входное сопротивление на диодном входе, Ом . . .	100

Принципиальная электрическая схема модуля двухфазной токовой защиты с нанесенной маркировкой цепей приведена на рис. 7-11. Помимо элементов *Логики*, рассмотренных ранее, применены следующие элементы: конденсаторы $C1$ и $C2$ типа МБГО 10 мкФ для сглаживания пульсации выпрямленного тока, поступающего от блоков выпрямления 1—1 и 1—2 на релейные блоки 2 и 3; диоды $D1$ и $D2$ типа Д94, осуществляющие логическую операцию ИЛИ; конденсаторы $C4$, $C5$, $C6$ и $C8$ типа МБГ4 по 10 мкФ и $C7$, $C9$ типа МБГ4 по 2 мкФ с потенциометром $R7$ на 6,8 кОм для ступенчатой и плавной регулировки выдержки времени, осуществляющей блоком 5; резисторы $R8$ 510 Ом и $R9$ 430 Ом, входящие

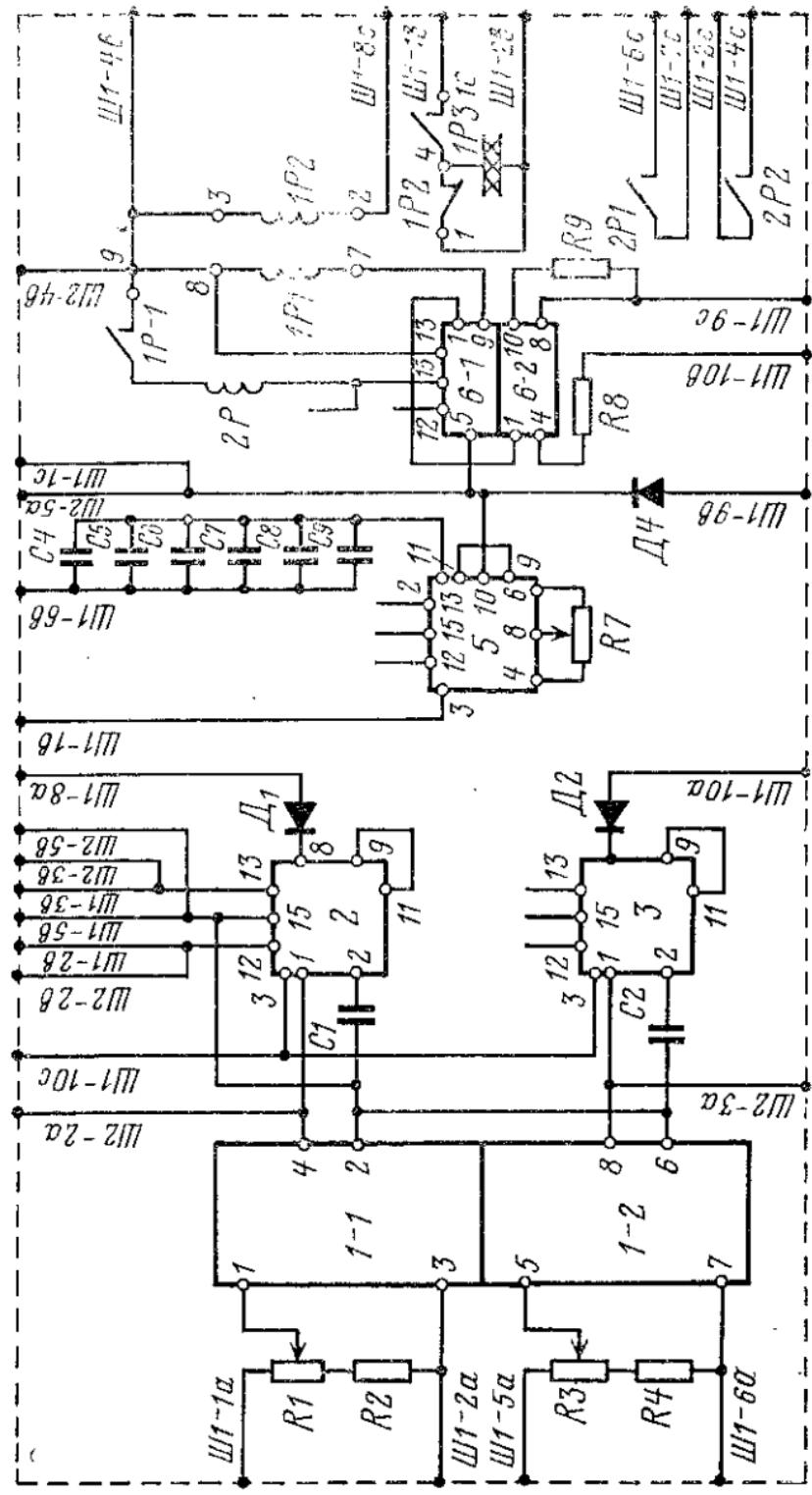


Рис. 7-11. Принципиальная электрическая схема модуля двухфазной токовой защиты типа МЗ-122. 1-2 — блоки выпрямления; 2 и 3 — релейные блоки; 5 — блок выдержки времени; 6-1 и 6-2 — блоки усиления; 7-3 — блоке сигналлизации (при выполнении трехфазной токовой защиты устанавливается в модуле дополнительно); 7-3 — выдержки времени; 4 — релейный блок.

1-

Таблица 7-1

Маркировка цепей разъемов $Ш1$ и $Ш2$ модуля токовой защиты типа МЗ-122

Разъем $Ш1$ (выходной)		Разъем $Ш2$ (контрольный)	
Номера контактов	Внешние цепи и вывод контрольных точек элементов модуля	Номера контактов	Вывод контрольных точек элементов модуля
1a	От датчиков тока	1a	—
2a	От датчиков тока	2a	Вход элемента 2
3a	—	3a	Вход элемента 3
4a	—	4a	—
5a	От датчиков тока	5a	Вход элемента 6—1
6a	От датчиков тока	1в	Вход элемента 5
7a	—	2в	Напряжение питания +6 В
8a	Накладка	3в	Напряжение питания —12 В
9a	—	4в	Напряжение питания —24 В
10a	Накладка	5в	Напряжение питания 0
1в	Накладка		
2в	От модуля питания +6 В		
3в	От модуля питания —12 В		
4в	От блока питания —24 В		
5в	От модуля питания 0		
6в	Накладка		
7в	—220 В; 2500 Гц		
8в	—220 В; 1500 Гц		
9в	К цепям отключения		
10в	Вход элемента 6—2		
1с	Выход элемента 5		
2с	К цепям сигнализации		
3с	—		
4с	К цепям сигнализации		
5с	—		
6с	К цепям сигнализации		
7с	К цепям сигнализации		
8с	Съем сигнала		
9с	Выход элемента 6—2		
10с	Ограничение входного сигнала		

в блок усиления 6—1, 6—2; элементы выхода и сигнализации из реле 2Р (реле типа РЭС-22 на 24 В), дистанционного переключателя 1Р (тип РПС-20 на 24 В) и индикатора *U* (типа ЭЛИ на 220 В).

Присоединение внешних цепей и вывод контрольных элементов модуля (см. табл. 7-1) осуществляется через

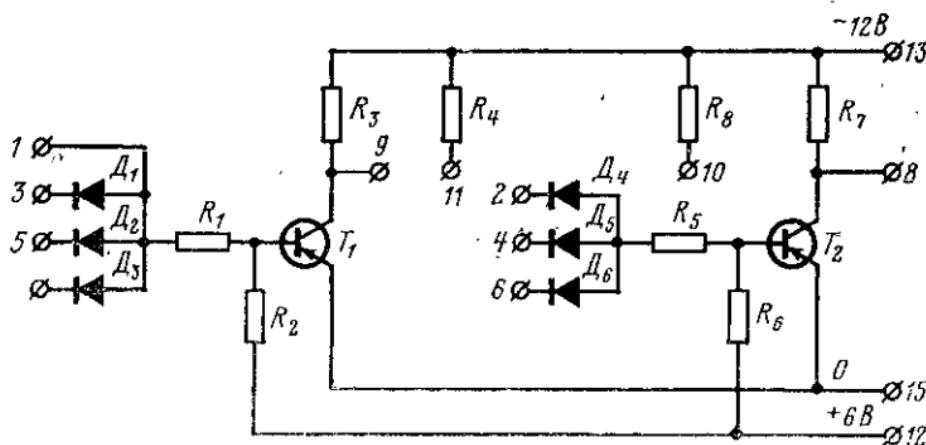


Рис. 7-12. Схема элемента ИЛИ—НЕ (элемент Т-101).

пожевую колодку разъемов *Ш1* (типа РП14-30) и гнездо *Ш2* (типа РП14-10). Бесконтактный вывод отключающей цепи производится через диод D_4 (типа Д94) на зажим 9ϕ . Для регулировки уставки срабатывания используются потенциометры R_1 и R_3 по 1 кОм каждый и резисторы R_2 и R_4 на 200 Ом каждый.

Кроме рассмотренных модулей, примененных в данной защите, имеется ряд широко применяемых элементов.

Так, для построения схем устройств защиты и автоматики, имеющих относительно сложную структуру (например, максимальная токовая защита с действием при понижении напряжения между двумя фазами или при появлении напряжения обратной последовательности, АПВ с запретом работы при наличии напряжения на линии, АВР с разрешением действия

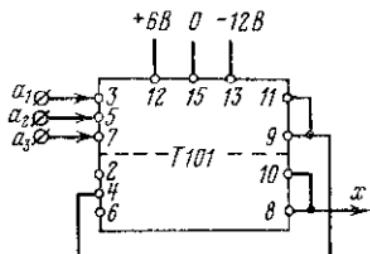


Рис. 7-13. Внешние присоединения элемента Т-101 для операции ИЛИ (a_1 , a_2 , a_3 — входные сигналы; x — выходной сигнал; $x = a_1 + a_2 + a_3$).

при наличии напряжения на резервирующем источнике и т. п.), применяется основной логический элемент типа Т-101 (рис. 7-12).

Элемент содержит два независимых блока ИЛИ-НЕ и позволяет реализовать с помощью различных комби-

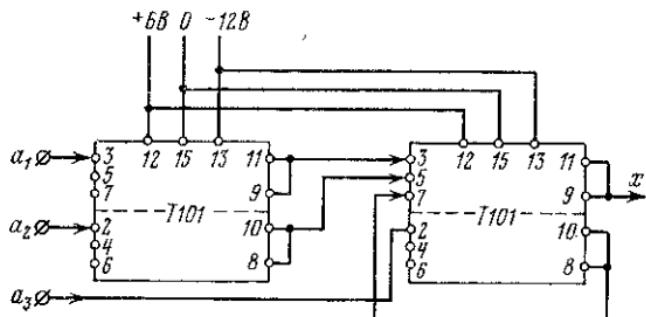


Рис. 7-14. Внешние присоединения элементов Т-101 для операции И (a_1, a_2, a_3 — входные сигналы; x — выходной сигнал; $x = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3$).

наций включения этих элементов следующие логические функции [33, 31]:

операцию ИЛИ (рис. 7-13). Сигнал на выходе появляется при наличии сигнала на любом из входов;

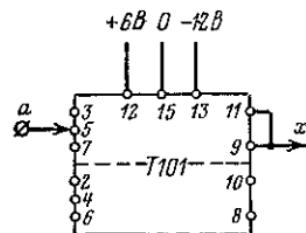


Рис. 7-15. Внешние присоединения элемента Т-101 для операции НЕ (a — входной сигнал; x — выходной; $x = \bar{a}$).

операцию И (рис. 7-14). Сигнал на выходе появляется только тогда, когда есть сигналы на всех входах;

операцию НЕ (НЕТ) (рис. 7-15). При появлении сигнала на любом входе, сигнал на выходе исчезает;

операцию И — НЕ (операцию Шеффера) (рис. 7-16). Сигнал на выходе исчезает только при наличии сигналов на всех трех входах;

операцию ИЛИ — НЕ (операцию Пирса) (рис. 7-17). При появлении сигнала хотя бы на одном из трех входах сигнал на выходе исчезает;

операцию «Запрет» (рис. 7-18). При отсутствии сигнала на входе b сигнал на выходе появляется одновременно с сигналом на входе a . Сигнал на выходе отсутствует при наличии сигнала на входе b ;

операцию «Память» (рис. 7-19). При подаче сигнала на вход a и включенной памяти возникает сигнал на прямом выходе и исчезает на инверсном. Состояние сохраняется до подачи сигнала на вход b для отключения памяти. После снятия питания и его повторной подачи состояние схемы произвольное;

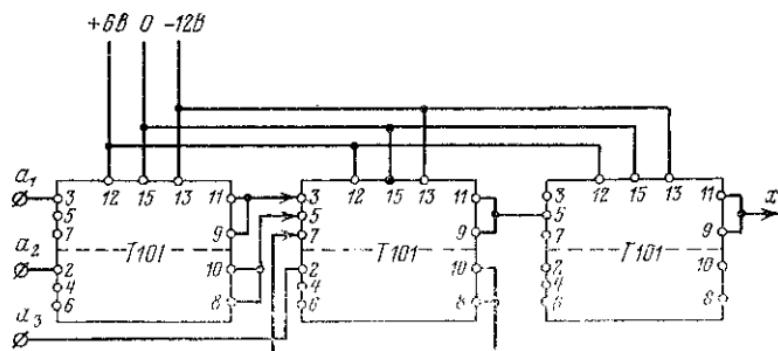


Рис. 7-16. Внешние присоединения элементов Т-101 для операции И-НЕ (a — входные сигналы; x — выходной сигнал $x = a_1 a_2 a_3$).

операцию «Неравнозначность» (рис. 7-20). Сигнал на выходе существует только тогда, когда сигналы на входах a и b не совпадают;

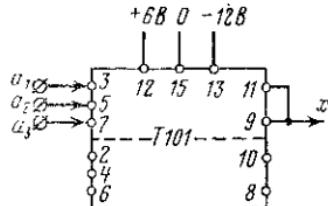


Рис. 7-17. Внешние присоединения элемента Т-101 для операции ИЛИ-НЕ (a — входные сигналы; x — выходной сигнал: $x = a_1 + a_2 + a_3$).

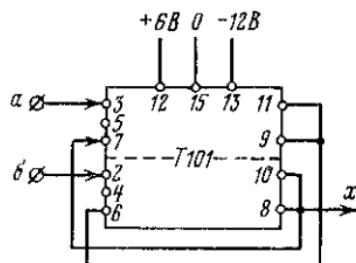


Рис. 7-18. Внешние присоединения элемента Т-101 для операции Запрет (при наличии сигнала b , запрещается реализация сигнала a ; сигнал x — отсутствует).

операцию «Импликация» (рис. 7-21). Сигнал на выходе отсутствует только при наличии сигнала на входе a и отсутствии на входе b .

Основные технические данные элемента Т-101:

Напряжение питания и смещения, В	—12; +6
Потребление тока не более, мА:	
по цепи питания	2×17
по цепи смещения	2×1,5
Входное сопротивление, кОм	1,3
Предельная частота переключений, кГц	50

При работе элемента на вход других элементов (кроме приставки для реализации функции И на элементе Т-108) вывод 10 (II) должен быть соединен с выводом 8 (9). Для работ только на последовательную нагрузку (например, на элемент Т-107) выводы 9 и 8 не связываются с выводами 10 и 11.

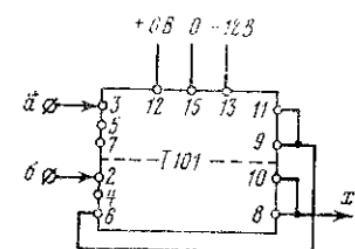


Рис. 7-19. Внешние присоединения элемента Т-101 для операции *Память* (выходной сигнал *x*, возникший от появления входного сигнала *a*, сохраняется до появления сигнала *b*).

преподавателем значения тока срабатывания и выдержки времени.

4. Собрать схему для испытания защиты по рис. 7-22.

5. Проверить стабильность уставок срабатывания и коэффициента возврата токового органа. Опыт проделать 3 раза.

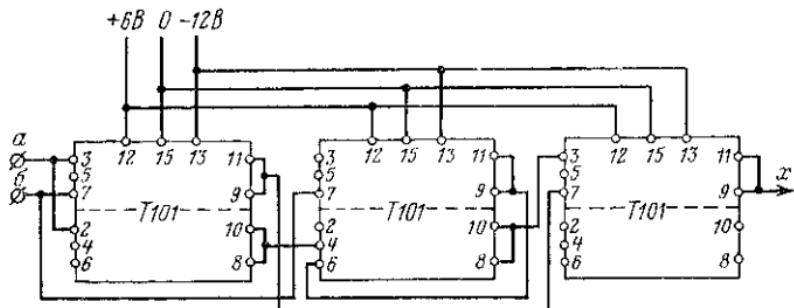


Рис. 7-20. Внешние присоединения элементов Т-101 для операции *Неравнозначность* (*a* и *b* — входные сигналы; сигнал на выходе *x* существует, когда сигналы *a* и *b* не совпадают).

6. Проверить стабильность уставки выдержки времени защиты. Опыт проделать 5 раз. Определить максимальные значения разброса времен действия.

7. Сделать заключение о пригодности установки защиты в эксплуатацию. При положительном заключении

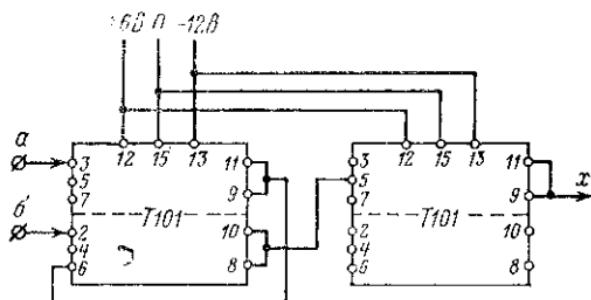


Рис. 7-21. Внешние присоединения элементов Т-101 для операции *Импликация* (а и б входные сигналы; сигнал на выходе *x* отсутствует только тогда, когда имеется сигнал *a* и нет сигнала *b*).

спаять карту напряжений на контрольных зажимах входов и выходов отдельных блоков. Для проведения измерений использовать разъем *Ш2* (см. рис. 7-11).

8. На другом экземпляре модуля защиты такого же типа (заведомо неисправном) проверить уставки тока

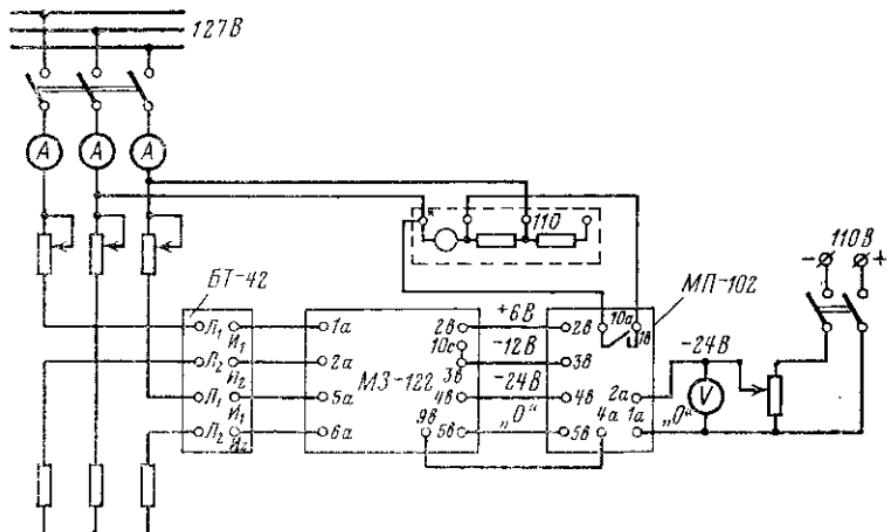


Рис. 7-22. Схема испытания (номера зажимов указаны для разъема с индексом *Ш1*).

срабатывания и выдержки времени. Выявить факт неисправности.

9. Снять карту напряжений на контрольных зажимах входов и выходов блоков, входящих в неисправную защиту. Использовать для этого разъем *Ш2*.

10. Сравнить карту напряжений, полученных при испытаниях по п. 7 и 9. Определить неисправный блок.

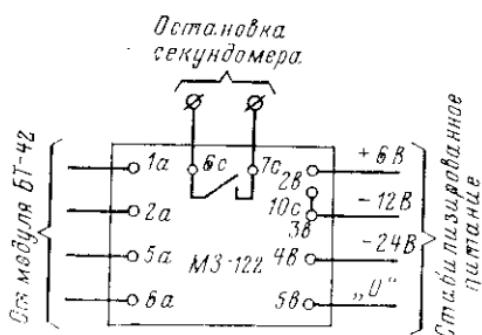


Рис. 7-23. Вариант присоединения модуля М-122 в схему испытания.

источника постоянного тока со стабильным напряжением, имеющегося в лаборатории.

2. Неисправный блок в модульном устройстве подлежит замене, его ремонт не предусматривается.

3. Электрические соединения отдельных модулей для создания требуемой логики действия устройства выполняются внешним монтажом с использованием разъемов; необходимо проследить за соответствием маркировки разъемов маркировке принципиально-монтажной схемы устройства.

4. Исправным устройством модульных устройств защиты считаются такие устройства, параметры которых соответствуют заводским данным.

5. При определении коэффициента возврата токового органа защиты МЗ-122 время срабатывания установить равным нулю.

Контрольные вопросы. 1. Сколько требуется отдельных блочных устройств для выполнения двухфазной токовой защиты, использующей электромагнитные реле тока, времени, указательное и транзисторный модуль МЗ-122?

2. Присоединение проводов к зажимам ножевой (втычной) колодки испытательного разъема производится пайкой. Объясните причину такого исполнения.

3. Как производится изменение уставки тока срабатывания токовой транзисторной защиты (ступенчато и плавно)?

Указания по выполнению работы. 1. При отсутствии блока стабилизированного питания (типа МП-102) присоединение секундометра к транзисторной защите МЗ-122 во время проведения лабораторной работы может быть выполнено по рис. 7-23. Питание цепей +6 В, -12 В, -24 В может выполняться от любого стабильным напряжением.

4. Каким образом предусмотрена возможность изменения уставки времени срабатывания элемента времени в модуле токовой защиты типа МЗ-122 (ступенчато и плавно)?

5. Назовите типы и укажите назначение отдельных известных вам устройств транзисторных модулей защиты и автоматики. Поясните условную маркировку, приведенную на рис. 7-1, 7-2.

6. Поясните принцип действия элемента ИЛИ, имеющегося в модуле транзисторной защиты МЗ-122. Назначение этого элемента.

7. Каким образом достигнута мгновенная готовность к повторному действию элемента времени типа Т-305?

8. Поясните принцип действия релейного элемента Т-205.

9. Назначение релейного и безрелейного выходов, имеющихся в модуле транзисторной защиты МЗ-122.

10. Составьте структурную схему транзисторной модульной токовой защиты с блокировкой, разрешающей действие на отключение при наличии напряжения обратной последовательности или при пониженном напряжении между фазами А и С.

11. Составьте структурную схему модуля двухфазной токовой отсечки. Покажите на схеме необходимые переключения, требуемые для получения мгновенного действия при использовании модуля защиты МЗ-122.

12. Объясните маркировку цепей разъемов Ш1 и Ш2, примененную в защите МЗ-122.

13. С использованием описанного элемента Т-101 блока трансформаторов БТ-43 (выполняется аналогично блоку БТ-42, но для присоединения к трем фазам измерительных трансформаторов тока), блоков Т-109, Т-205, Т-305 и Т-402 (описанных ранее) составьте схему для токовой защиты, удовлетворяющей следующим требованиям: срабатывание защиты должно происходить при одно- и двухфазных к. з. с временем 0,5 с, а при трехфазных к. з. с временем 0,1 с (трехфазная токовая защита с ускорением действия при трехфазных к. з.).

По указанию преподавателя проверьте работу защиты в лабораторных условиях.

14. При использовании элемента Т-101 для реализации операции И (рис. 7-14) допустимо ли: присоединить входные сигналы a_2 и a_3 вместо зажимов 2 к зажимам 6; изменить местами присоединение входов сигналов a_1 и a_3 ?

Приложение

ПРОГРАММИРОВАННЫЙ ОПРОС ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО РЗА

Эффективность проведения лабораторной работы зависит от того, как подготовлены учащиеся к проведению данной работы, насколько активно участие их в проведении эксперимента, от того, насколько осознаны результаты опытов.

Со стороны преподавателя должна быть оказана учащимся помощь в указанных вопросах и организован контроль за выполнением.

Участие в проведении лабораторной работы каждого учащегося и сознательная оценка ее результатов достигаются тем, что отчет по работе и ее защита перед преподавателем выполняются им индивидуально, хотя сама лабораторная работа проводится коллективно группой из трех-четырех человек.

Опыт преподавания показывает, что коллективный опрос в ряде случаев не обеспечивает надлежащего эффекта, так как некоторые учащиеся, начиная эксперимент без достаточной подготовки и освоения теоретических основ работы, становятся на путь некритического использования материалов, полученных другими участниками бригады. Однако во многих случаях ограниченность времени, отводимого на проведение работы, не позволяет организовать тщательный опрос.

Программированный опрос облегчает решение этой задачи. Целью опроса является:

допуск к выполнению работы только относительно подготовленных учащихся;

допуск к защите результатов лабораторной работы только при наличии у учащегося некоторого минимума теоретических знаний, позволяющих осознать результаты опыта.

Составление правильных ответов на запрограммированные заранее вопросы должно вызывать интерес у учащихся, желание глубже освоить материал теории и опыта, а также исключить элемент случайности и повторяемости в ответах.

Вопросы программируемого опроса должны быть составлены каждым из преподавателей применительно к тому объему теоретических знаний, которые сообщаются на лекциях и упражнениях, и к тому объему практических данных, которые намечено получить в результате выполнения той или иной лабораторной работы. Для облегчения этого могут быть использованы некоторые «контрольные вопросы» данного учебного пособия для каждой из описанных лабораторных работ.

В зависимости от баланса времени «контрольные вопросы» могут быть использованы преподавателем при индивидуальном собеседовании.

довании (что наиболее желательно, но требует достаточно большого времени) или переработаны в вопросы программированного опроса. Последние должны охватить наиболее существенные стороны данной лабораторной работы. Вопросы программированного опроса могут быть напечатаны на карточках для ввода в так называемые «обучающие машины» (вернее, машины для обработки упомянутых карточек и выявления количества правильных и неправильных ответов).

Контрольные вопросы программированного опроса должны составляться развернуто, так чтобы ответ не напрашивался «сам собою», а требовал определенного продумывания. Ниже приводятся несколько примеров.

Пример 1. Почему размыкание вторичной обмотки трансформатора тока при прохождении тока по первичной обмотке не допускается (является аварийным режимом)?

1. Аварийный режим возникает вследствие увеличения сопротивления цепи трансформатора тока (нормальный режим соответствует замкнутой накоротко вторичной обмотке). Увеличение сопротивления трансформатора тока обусловит перегрузку питающих источников и срабатывание устройств защиты.

2. При разомкнутой вторичной обмотке трансформатора тока и прохождении тока по первичной обмотке резко увеличивается намагничивание железа (нет размагничивающего контура). Вследствие этого увеличивается нагрев железа, что может привести к повреждению изоляции; кроме того, возникают значительные э. д. с. на разомкнутых выводах вторичной обмотки. Размыкание вторичной обмотки для некоторых типов защит может обусловить неправильное срабатывание или отказ.

3. При размыкании вторичной обмотки трансформатора тока ток проходит только по первичной обмотке. Вследствие этого она может перегреться и сгореть, что обусловит разрыв тока по защищаемой цепи.

Правильный ответ — второй.

Пример 2. В кожухе реле времени типа ЭВ-120 с номинальными данными 9 с, 110 В постоянного тока встроен резистор, нормально закороченный мгновенным разымающим контактом. Этот резистор включен последовательно с обмоткой электромагнита реле времени. Объясните назначение такого включения.

1. Резистор включается для того, чтобы реле, рассчитанное на длительное подключение к источнику с номинальным напряжением 110 В постоянного тока, могло длительно подключаться также и к источнику 220 В постоянного тока.

2. Резистор включается для увеличения постоянной времени контура обмотки реле времени при ее размыкании контактом пускового реле; этим стремится облегчить работу контактов пускового реле.

3. Резистор включается для обеспечения термической стойкости обмотки реле времени при ее длительном подключении на номинальное напряжение.

Правильный ответ — третий.

Пример 3. Реле тока типа РТ-40 подключается к вторичной обмоток трансформаторов тока. Изменится ли нагрузка на трансформаторы тока при нормальном режиме защищенного объекта, если ток срабатывания регулируется от 5 до 10 А:

1 — увеличением коэффициента трансформации трансформатора тока, т. е. при неизменной уставке на реле 5 А во вторичной цепи ток уменьшен в 2 раза (например, вместо коэффициента трансформации 200/5 устанавливается коэффициент трансформации 400/5);

2 — изменением натяжения пружины;

3—переключением секций катушки с параллельного включения на последовательное.

a — нагрузка уменьшится; *b* — нагрузка увеличится; *c* — нагрузка останется без изменения.

Правильные ответы:

для варианта 1 — *a*;

для варианта 2 — *c*;

для варианта 3 — *b*.

Пример 4. Обмотка подмагничивания трансформатора тока типа ТНПШ генераторов 6—10 кВ подключена на междуфазное напряжение, а не на фазное. Поясните назначение такого включения.

1. Значение междуфазного напряжения больше фазного. Поэтому подмагничивание междуфазным напряжением более эффективно, чем фазным.

2. Получение фазного напряжения для подмагничивания требует вывода нулевой точки трансформаторов напряжения. В сетях 6—10 кВ во многих случаях устанавливают два однофазных трансформатора напряжения с включением первичных обмоток на напряжение фаз *AB* и *BC*; для получения фазного напряжения надо применять искусственные приемы, что усложняет схему.

3. При замыканиях на землю в сетях 6—10 кВ уровень междуфазного напряжения при замыканиях на землю одной фазы (*A*, *B* или *C*) остается неизменным, а фазного — меняется. Включение обмотки подмагничивания на междуфазное напряжение обеспечивает одинаковую степень подмагничивания как при замыкании на землю фазы *A*, так и фаз *B*, *C*.

Правильный ответ — третий.

В настоящее время в учебной практике получает распространение программируенный опрос с использованием контролирующих устройств и карт, содержащих пять вопросов с четырьмя вариантами ответов. Один из ответов является правильным или наиболее полным.

Учащийся должен ввести в машину выбранный им ответ на вопрос, указанный в карте. Правильный ответ, находящийся в памяти машины, обусловливает загорание контрольной лампы (наличии) перед учащимся и на пульте у преподавателя.

Примеры карт для программируенного опроса приведены ниже (табл. П-1, П-2).

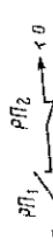
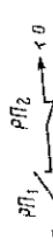
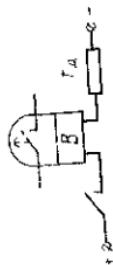
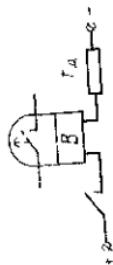
Таблица II-1

Карта к лабораторной работе 2-3

Вопрос 1	1*	2	3	4
		<p>РУ-21/0,025</p> <p>Какой тип указателного ре ле следует использовать в ука занной схеме, если $P_{\text{р.п}}=6 \text{ Вт}$; $U_{\text{ном}} = 2 : F_2$</p>	<p>РУ-21/220</p> <p>РУ-21/110</p>	<p>РУ-21/0,015</p>
Вопрос 2	5	6	7	8
		<p>Какое из указанных ре ле имеет наименьшее собственное время срабатывания?</p>		

* 1÷20—номера ответов.

Приложение табл. П-1

Вопрос 3	9	10	11	12
		Операции И	Операции ИЛИ	—
РП1, РП2—выходные промежуточные реле двух устройств замкнуты. Какой логической операции соответствует включение размыкающего контакта РП2?	—	—	—	16
Вопрос 4	13	14	15	16
		Применить реле времени с параметрами $U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$; $t_{\text{уст. макс}} = 9 \text{ с}$	Применить реле времени с параметрами $U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$; $t_{\text{уст. макс}} = 3,5 \text{ с}$	Применить реле времени со встроенным реостатом $U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$; $t_{\text{уст. макс}} = 3,5 \text{ с}$
Как обеспечить термическую стойкость реле времени при длительном его включении в цепь постоянного тока 110 В, если $t_{\text{уст. макс}} = 3,5 \text{ с}$?	—	—	—	—

Продолжение табл. П-1

Вопрос 5	17	18	19	20
	Для какой цели в схеме предусмотрен резистор T_4 ? Для облегчения работы контактов реле $P3_1, P3_2$ Для увеличения времени возврата промежуточного реле $P\Pi$ Для облегчения работы контактов реле защит $P3_1, P3_2$	Для облегчения време-ни возврата промежуточного реле $P\Pi$ Для облегчения работы контактов реле $P3_1, P3_2$	Для обеспечения надежной работы узлователных реле при одновременном действии двух защит $P3_1, P3_2$	Для обеспечения надежной работы промежуточного реле при одновременном действии двух защит $P3_1, P3_2$

Таблица П-2

Карта лабораторной работе №2

Вопрос 1	1*	2	3	4
	$I_{cp} = 16 \text{ A}$	$I_{cp} = 8 \text{ A}$	$I_{cp} = 4 \text{ A}$	

При каком токе контакты реле должны замкнуться

Продолжение табл. П-2

Вопрос 2	5	6	7	8
Какая схема дает возможность проверить шкалу токов срабатывания реле РТ-40/6?	 $I_{HOM} = 10A$	 $I_{HOM} = 5A$	 $I_{HOM} = 7A$	 $I_{HOM} = 15A$
Вопрос 3	9	10	11	12
Какой из указанных приборов следует использовать для организации наиболее быстрой и точной проверки времени срабатывания токового реле РТ-40?	Электрический секундомер	Электромеханический осциллограф	Ручной секундометр	Электронный секундометр

Продолжение табл. П-2

Вопрос 4	13	14	15	16
Какая схема lässt возможность измерять мощность реле тока РТ-4(1)/10?				
Вопрос 5	17	18	19	20
Как изменится мощность потребления тока в нормальном режиме, если изменить уставку на реле с 5 на 10 А путем паджения пружины?	Мощность увеличится	Мощность уменьшится	Мощность останется без изменения	—

* Номера ответов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернобровов Н. В. Релейная защита. М., «Энергия», 1971, 622 с.
2. Камнев В. Н. Пусконаладочные работы при монтаже электроустановок. М., «Высшая школа», 1972. 304 с.
3. Голубев М. А. Методы проверки релейной защиты. М., «Энергия», 1972. 110 с.
4. Барзам А. Б., Пояркова Т. М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике. М., «Энергия», 1967. 319 с.
5. Линт Г. Э. Автоматические осциллографы при измерениях. М., «Энергия», 1972, 96 с.
6. Описание и инструкция к прибору ВАФ-85. Житомир, 1972. 12 с.
7. Беркович М. А., Семенов В. А. «Основы техники и эксплуатации релейной защиты». М., «Энергия», 1971. 582 с.
8. Описание и инструкция. Лабораторный релейный стенд типа СР. Рига, 1963, 20 с. (Рижский опытный завод Латвэнерго).
9. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Переносное основное устройство УПЗ-1 и комплектное переносное устройство УПЗ-2. Киев (завод Точэлектроприбор), 1972. 30 с.
10. Комплектные испытательные устройства УПЗ-1 и УПЗ-2. — «Электрические станции», 1970, № 4, с. 64—69. Авт.: О. А. Гильчер, А. А. Кудрявцев, С. З. Бураковский, З. П. Марчук.
11. Басс Э. И., Савостьянов А. И., Семенов В. А. Электромонтер по эксплуатации релейной защиты и автоматики. М., «Высшая школа», 1973. 267 с.
12. Справочник реле защиты и автоматики. М., «Энергия», 1972, 343 с. Авт.: Л. И. Какуевицкий, А. Ю. Крупицкий, А. Д. Саков, Т. В. Смирнова.
13. Панфилов Б. И., Пашков Л. Д., Гришанов В. Г. Новые реле частоты. — «Электрические станции», 1971, № 8, с. 58—61.
14. Фабрикант В. А., Андреев В. А., Бондаренко Е. В. Задачник по релейной защите. М., «Высшая школа», 1971. 606 с.
15. Инструкция по проверке и регулировке реле направления мощности серии ИМБ и РБМ. М., «Энергия», 1965. 60 с.

16. Коковин В. Е. Фильтры симметричных составляющих в релейной защите. М., «Энергия», 1968. 89 с.
17. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Комплект реле сопротивления типа КРС-1. ОБК 469. Издание 01. (Чебоксарский электроаппаратный завод). 12 с.
18. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Дистанционная защита типа ДЗ-2. ОБК 469411. Издание 07. (Чебоксарский электроаппаратный завод). 16 с.
- ↓ 19. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7 (основной и дополнение). Дистанционная защита линий 35—380 кВ. М., «Энергия», 1968, 187 с.
20. Овчинников В. В. Реле РНТ в схемах дифференциальных защит. М., «Энергия», 1973. 95 с.
- ↖ 21. Инструкция по проверке реле серии ДЗТ с магнитным торможением. М.—Л., «Энергия», 1965. 52 с. (Государственный производственный комитет по энергетике и электрификации СССР. Техническое управление по эксплуатации энергосистем).
- ↓ 22. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 4. Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов. М., Госэнергоиздат, 1962. 120 с.
23. Попов В. С. Электротехнические измерения. М., «Энергия», 1968. 319 с.
24. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты. М., Госэнергоиздат, 1960. 64 с.
25. Барзам А. Б. Системная автоматика. М., «Энергия», 1973. 390 с.
26. Федосеев А. М. Основы релейной защиты. М.—Л., Госэнергоиздат, 1965. 439 с.
27. Общая инструкция по проверке устройств релейной защиты, электротоматики и вторичных цепей. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961. 120 с. (Союзглавэнерго — ОРГРЭС).
28. Проверка токовых цепей дифференциальных защит трансформаторов и автотрансформаторов. М., «Энергия», 1964. 68 с. (Государственный производственный комитет по энергетике и электрификации СССР, ОРГРЭС).
29. Инструкция по проверке правильности включения реле направления мощности. М., «Энергия», 1966. 63 с. (Министерство энергетики и электрификации СССР).
- ↖ 30. Барзам А. Б. Общие вопросы учебного проектирования релейной защиты и автоматики. М., «Энергия», 1969. 311 с.
31. Транзисторные логические и функциональные элементы «Логика Т» и их применение в бесконтактных системах промышленной автоматики. Каталог 07.31.02-69. Информэлектро. М., 1969. 53 с.

32. Трансформаторные модули защиты серии М-100. Каталог 07.22.12-70. Информэлектро, 1970. 11 с.

33. Элементы логической автоматики. Сводный каталог 20. Информэлектро, 1967. 67 с.

34. Транзисторные модули серии М и блоки трансформаторов серии БТ для устройств защиты. Каталог 07.22.33-74. Информэлектро.

35. Каталог изделий, выпускаемых в 1973—1974 гг. Центр научно-технической информации и пропаганды г. Калинина. Калинин, 1972. 156 с.

36. Блоки питания для элементов серии «Логика-Т». Выпрямители и стабилизаторы. Каталог 07.31.04-73. Информэлектро. М., 1973. 4 с.

37. Транзисторные элементы серии «Логика Т» для устройств защиты. Каталог 07.31.05-71. М., Информэлектро. 1971. 9 с.

38. Комплектные распределительные устройства 6—10 кВ с полупроводниковыми устройствами. М., Информэлектро. 1975. 96 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Указания по выполнению учебных лабораторных работ	5
1-1. Общие положения	5
1-2. Изменение тока и напряжения и их измерение	8
1-3. Измерение времени действия реле	13
1-4. Измерение быстропроходящих электрических процессов	17
1-5. Изменение угла между векторами тока и напряжения и его измерение	24
1-6. Лабораторные испытательные стенды	33
1-7. Комплектные переносные испытательные устройства	37
1-8. Ознакомление со стендами для проверки устройств релейной защиты. Лабораторная работа	46
1-9. Ознакомление с комплектным переносным устройством типа УПЗ-2. Лабораторная работа	52
Глава вторая. Проверка характеристик реле, реагирующих на одну измеряемую величину	57
2-1. Общие положения	57
2-2. Испытания электромагнитных реле переменного тока и напряжения. Лабораторная работа	62
2-3. Испытание электромагнитных реле времени, промежуточных и указательных. Лабораторная работа	69
2-4. Испытание индукционных реле тока. Лабораторная работа	85
2-5. Испытания полупроводникового реле напряжения. Лабораторная работа	92
2-6. Испытание реле понижения частоты. Лабораторная работа	97
2-7. Испытание фильтр-реле тока и напряжения обратной последовательности. Лабораторная работа	100
	285

Глава третья. Проверка характеристик устройств защиты, реагирующих на две и более электрические величины	111
3-1. Общие положения	111
3-2. Испытание реле направления мощности. Лабораторная работа	112
3-3. Испытание реле сопротивления. Лабораторная работа	125
3-4. Испытание дифференциальных реле с быстронасыщающимся трансформатором. Лабораторная работа	139
3-5. Испытание дифференциального токового реле с магнитным торможением. Лабораторная работа	147
Глава четвертая. Трансформаторы тока и напряжения в устройствах релейной защиты	155
4-1. Общие положения	155
4-2. Проверка трансформаторов тока. Лабораторная работа	159
4-3. Схемы соединения обмоток трансформаторов тока. Лабораторная работа	172
4-4. Трансформаторы тока нулевой последовательности. Лабораторная работа	176
4-5. Испытание устройств блокировок защит при неисправностях целей напряжения. Лабораторная работа	185
Глава пятая. Испытания комплектных устройств релейной защиты, АПВ и АВР	193
5-1. Общие положения	193
5-2. Настройка уставок максимальной токовой защиты. Лабораторная работа	194
5-3. Настройка максимальной токовой направленной защиты и устройств АПВ на линиях кольцевой сети с одной точкой питания. Лабораторная работа	199
5-4. Настройка токовой направленной поперечной дифференциальной защиты параллельных линий. Лабораторная работа	204
5-5. Испытание устройства АПВ, выполненного с реле РПВ-58 для линий с односторонним питанием. Лабораторная работа	210
5-6. Испытание устройства АВР. Лабораторная работа	214
Глава шестая. Проверка устройств релейной защиты, смонтированных на панелях или щитах управления	221
6-1. Общие положения	221
6-2. Проверка первичным током от постороннего источника. Лабораторная работа	224