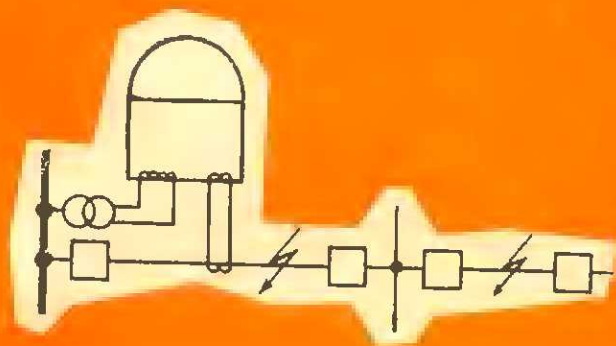


Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



А.И.САВОСТЬЯНОВ

**ДИСТАНЦИОННЫЕ
ЗАЩИТЫ**

ПЗ-157

ПЗ-158

ПЗ-159



**БИБЛИОТЕКА
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

Выпуск 380

А. И. САВОСТЬЯНОВ

**ДИСТАНЦИОННЫЕ
ЗАЩИТЫ
ПЗ-157,
ПЗ-158,
ПЗ-159**



**«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1973**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Зевакин А. И., Каминский Е. А., Маидрыкин С. А.,
Розанов С. П., Семенов В. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д.,
Сокблов Б. А., Устинов П. И.

Савостьянов А. И.

С 12 Дистанционные защиты ПЗ-157, ПЗ-158, ПЗ-159.
М., «Энергия», 1973.

96 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 380).

В настоящей работе рассмотрены дистанционные защиты ПЗ-157—ПЗ-159. Приведены общие принципы действия дистанционных защит, назначение, принцип действия и работа блокировок при качаниях и к. з. в защищаемой сети и при повреждениях в цепях напряжения защиты.

Подробно рассмотрено назначение всех элементов защиты, принцип действия, устройство, взаимосвязь и работа этих элементов в схеме защиты при различных видах к. з. и в других режимах, возможных в эксплуатации. Специальный раздел работы посвящен вопросам наладки и проверки защиты как отдельных ее элементов, так и всей схемы в целом.

Работа рассчитана на квалифицированных электромонтеров и мастеров, занимающихся эксплуатацией релейной защиты и электроавтоматики.

С $\frac{0339-127}{051(01)-73}$ 92-73

6П2.13

АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ САВОСТЬЯНОВ

Дистанционные защиты

ПЗ-157, ПЗ-158, ПЗ-159

Редактор **И. П. Березина**

Обложка художника **А. А. Иванова**

Технический редактор **Н. А. Галанцева**

Корректор **В. С. Антипова**

Сдано в набор 17/X 1972 г.

Подписано к печати 29/III 1973 г. Т-04789

Формат 84×108^{1/32}

Бумага типографская № 3

Усл. печ. л. 5,04

Уч.-изд. л. 5,16

Тираж 20 000 экз.

Зак. 1412

Цена 18 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивами XXIV съезда КПСС по девятому пяти-летнему плану намечено дальнейшее развитие отечественной энергетики. Так, предполагается увеличить выработку электроэнергии в 1975 г. до 1 030—1 070 млрд. кВт·ч, ввести в действие на электростанциях 65—67 млн. кВт мощности, продолжить работы по созданию Единой энергетической системы страны, дальних линий электропередачи постоянного и переменного тока.

Решение этих больших задач предусматривается за счет увеличения производительности труда, которое может быть достигнуто повышением технического уровня энергетиков и расширением зоны обслуживания. Для подготовки квалифицированных рабочих-энергетиков, в том числе и электромонтеров, работающих в области релейной защиты, выпускается специальная литература.

Настоящая брошюра предусматривает ознакомление квалифицированных электромонтеров и мастеров служб релейной защиты с принципом действия, устройством и эксплуатацией сравнительно сложных дистанционных защит ПЗ-157—ПЗ-159, которые широко применяются в энергосистемах.

Пожелания и замечания по брошюре просьба направлять по адресу: Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия».

Автор.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

В СССР электрические сети напряжением 110—220 кВ работают с глухозаземленной нейтралью трансформаторов, поэтому в таких сетях возможны следующие виды коротких замыканий (к. з.): однофазные к. з., при которых происходит замыкание какой-либо одной фазы или линии на землю; междуфазные к. з. (двухфазные и трехфазные), при которых происходит замыкание соответственно двух или трех фаз между собой; междуфазные к. з. с землей, при которых происходит замыкание фаз между собой с одновременным замыканием одной или нескольких фаз на землю.

При к. з. нарушается нормальная работа электрической сети: повреждается оборудование электросетей (провода, изоляторы, шины); напряжение поврежденных фаз в месте к. з. снижается до очень малых величин или до нуля, что затрудняет нормальное питание потребителей; может нарушиться устойчивая работа отдельных участков или всей электросети (энергосистемы), в которой произошло к. з. Многолетней практикой и теоретическими исследованиями было установлено, что чем быстрее будет отключена поврежденная линия, тем меньше будет вредных последствий для всей электросети: будет меньше размер повреждений в месте к. з., в меньшей степени почувствуют снижение напряжения потребители; будет более надежная работа остальной, неповрежденной части электросети или энергосистемы.

Для обеспечения таких отключений на линиях электропередачи устанавливают защиты. Поскольку защиты выполняются с помощью специальных аппаратов — реле, то их обычно называют релейной защитой. В нашей стране принято производить отключение линий электропередачи при однофазных к. з. специальными защитами

от замыканий на землю. Защиты от замыканий на землю будут действовать также и при междуфазных к. з. с землей. В качестве защит от замыканий на землю используют максимальные токовые, а на линиях с двусторонним питанием максимальные направленные защиты. Защиты от замыканий на землю имеют специальную схему включения токовых реле, при которой эти защиты не работают в случае междуфазных к. з. без земли.

Поэтому для защиты линий электропередачи от междуфазных к. з. (двухфазных и трехфазных) устанавливается отдельная защита. При этом защита от междуфазных к. з. обычно действует и при междуфазных к. з. с землей, следовательно, междуфазные к. з. с землей могут отключаться как защитами от замыканий на землю, так и защитами от междуфазных к. з. В качестве защиты от междуфазных к. з. применяются также максимальные токовые защиты, например, для линий электропередачи, работающих в режиме одностороннего питания.

Для линий электропередачи, имеющих двустороннее питание, но работающих в сетях с простой схемой соединений, защита может быть выполнена в виде максимальной направленной защиты. В сетях со сложной схемой соединений максимальные и максимальные направленные защиты в большинстве случаев не могут обеспечить полноценную защиту, которая бы удовлетворяла необходимым условиям: селективности (избирательности) и быстродействию.

Селективность или избирательность действия защит, как известно, означает, что защита в электрической сети, состоящей из нескольких элементов, должна производить отключение в первую очередь только поврежденного элемента, т. е. должна действовать на отключение защита, установленная на выключателях, ближайших к месту повреждения. Благодаря этому при селективной работе защиты в случае повреждения какого-либо элемента осуществляется отключение и вывод этим из работы только поврежденного элемента, при этом работе энергосистемы или электрической установки причиняется минимальный ущерб. Необходимость быстродействия защит была показана выше, особенно это важно для защит рассматриваемых линий электропередачи 110—220 кВ.

В качестве примера, показывающего невозможность выполнения селективной защиты посредством максималь-

ной направленной защиты, на рис. 1 приведен участок кольцевой сети с двумя источниками питания на подстанциях *A* и *B*. Сеть состоит из подстанций *A*, *B* и *В* и линий электропередачи *Л1*, *Л2* и *Л3*, образующих кольцо.

Предположим вначале, что каждая линия электропередачи защищена с обеих сторон максимальной направленной защитой, имеющей одну выдержку времени, которая обозначена кружком со стрелкой, и работает при протекании мощности к з. от шин в линию, как показывают стрелки.

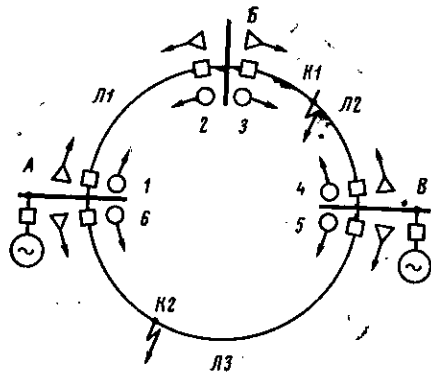


Рис. 1. Схема кольцевой сети с двумя источниками питания.

должны быть меньше соответственно выдержек времени максимальных защит 1 и 6. При к. з. в точке *K2* на линии *Л3* повреждение должно отключаться максимальными направленными защитами 5 и 6. В этом случае защиты 5 и 6 должны иметь время действия соответственно меньше, чем защиты 3 и 2.

По условию согласования выдержек времени защита 4 должна иметь время больше, чем защита 2, следовательно, при к. з. в точке *K2* защита 4 должна иметь время большее, чем защита 6, т. е. должны выполняться требования, противоречащие случаю к. з. в точке *K1*. Ввиду невозможности выполнения таких противоречивых требований не удастся выполнить селективную защиту сети, приведенной на рис. 1, при помощи максимальных направленных защит.

Максимальные токовые и максимальные направленные защиты имеют ряд других недостатков, которые ограничивают область их применения защитой сетей с простой схемой соединения. К основным недостаткам относятся значительные выдержки времени, выбираемые по ступенчатому принципу, и зависимость чувствитель-

ности защиты от режима работы сети. Поэтому для защиты сетей с более сложной схемой и несколькими источниками питания применяются другие более сложные защиты, которые позволяют обеспечить защиту с необходимым быстродействием, селективностью и чувствительностью в сетях с любой схемой соединений. Одной из таких защит является дистанционная защита.

Дистанционной называется защита, выдержка времени которой автоматически изменяется в зависимости от

ности защиты от режима работы сети. Поэтому для защиты сетей с более сложной схемой и несколькими источниками питания применяются другие более сложные защиты, которые позволяют обеспечить защиту с необходимым быстродействием, селективностью и чувствительностью в сетях с любой схемой соединений. Одной из таких защит является дистанционная защита.

Дистанционной называется защита, выдержка времени которой автоматически изменяется в зависимости от

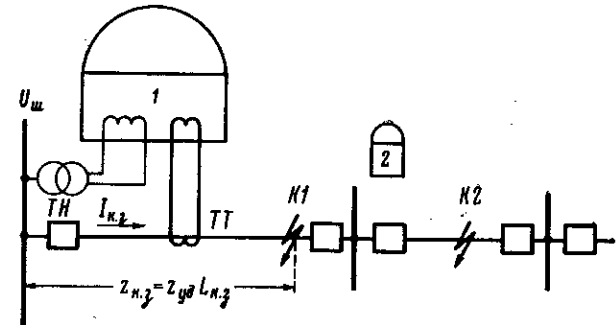


Рис. 2. Принцип действия дистанционной защиты.

величины сопротивления линии от места установки защиты до места к. з. Величину сопротивления до места к. з. дистанционная защита определяет путем сравнения величины остаточного напряжения на шинах подстанции, где установлена защита, с величиной тока к. з., проходящего по защищаемой линии. Для этого дистанционная защита включается в цепи тока защищаемой линии и напряжения на шинах подстанции, как показано на рис. 2.

При к. з. в точке *K1* на расстоянии $L_{к.з}$ от шин подстанции к месту к. з. подтекает ток $I_{к.з}$, поэтому остаточное напряжение на шинах подстанции будет равно:

$$U_{ш} = I_{к.з} z_{л.з}$$

Дистанционная защита выполнена таким образом, что она определяет отношение остаточного напряжения на шинах подстанции к току к. з., которое в нашем случае будет равно:

$$\frac{U_{ш}}{I_{к.з}} = \frac{I_{к.з} z_{л.з}}{I_{к.з}} = z_{л.з}$$

т. е. сопротивлению от места установки защиты до места к. з.

Сопротивление любого участка линии может быть выражено через удельное сопротивление на 1 км $z_{уд}$ и длину всего участка, т. е. $z_{к.з.} = z_{уд} L_{к.з.}$. Следовательно, отношение напряжения к току, на который реагирует защита, будет пропорционально $U_{ш}/I_{к.з.} = z_{уд} L_{к.з.}$, т. е. будет пропорционально расстоянию (дистанции) до места к. з., поэтому и защита называется дистанционной.

Дистанционная защита в зависимости от расстояния до места повреждения имеет различные выдержки времени действия. Так, при к. з. в точке $K1$, т. е. на защищаемой линии, защита имеет минимальное время действия и обеспечивает быстрое отключение к. з. на участке, ближайшем к месту установки защиты. При к. з. на смежном участке в точке $K2$, ближайшей к месту повреждения, будет защита 2, которая в этом случае должна действовать с минимальной выдержкой времени, защита же 1 при к. з. в точке $K2$ действует уже с большей выдержкой времени, которая согласована с временем действия защиты 2 при к. з. в точке $K2$.

Согласованными по времени считаются две такие защиты, у которых разница в выдержках времени отличается на величину, которая называется ступенью селективности. Ступень селективности равна минимально допустимой величине разности выдержек времени защит, при которой обеспечивается селективное действие согласуемых по времени защит, т. е. в этом случае всегда в первую очередь срабатывает защита с меньшей выдержкой времени. Благодаря этому удается выполнить на рассмотренном участке селективные защиты, обеспечивающие достаточное быстродействие.

Основным элементом дистанционной защиты является дистанционный орган, который настраивается на определенную величину сопротивления срабатывания. Дистанционный орган выполняется посредством реле сопротивления, которое является минимальным реле, т. е. оно срабатывает только в том случае, когда отношение напряжения к току, подведенных к реле, станет меньше сопротивления срабатывания реле.

Так, при включении реле на напряжение U_p и ток I_p оно срабатывает при условии

$$z_p = \frac{U_p}{I_p} < z_{сп},$$

где $z_{сп}$ — сопротивление срабатывания реле.

Сопротивление z_p , подведенное к зажимам реле, иногда называют фиктивным, так как оно пропорционально сопротивлению до места к. з. только при к. з. на защищаемом участке сети, при отсутствии же к. з. (например, при нормальной работе линии с какой-то нагрузкой или при качаниях) эта величина равна отношению напряжения к току (U_p/I_p), обладает размерностью сопротивления, но не характеризуется какой-то определенной величиной сопротивления до какого-то участка сети, т. е. не имеет конкретного физического значения, которое можно было бы обозначить или измерить.

Дистанционные защиты могут иметь один или несколько дистанционных органов. В пределах действия каждого дистанционного органа обеспечивается определенная выдержка времени защиты, при этом соблюдается рассмотренная выше зависимость: чем больше уставка дистанционного органа, тем, следовательно, на более отдаленные к. з. он будет срабатывать и при этом защита должна действовать с большей выдержкой времени. Зависимость времени действия дистанционной защиты от расстояния или сопротивления до места короткого замыкания, т. е. зависимость $t = f(L_{к.з.})$ или $t = f(z_{к.з.})$, называется характеристикой времени срабатывания защиты, дистанционная защита имеет специальный орган выдержки времени, который дает возможность получить необходимую характеристику времени срабатывания защиты.

Для обеспечения селективности в сетях со сложной схемой соединений, имеющих несколько источников питания, дистанционные защиты выполняют направленными, действующими только при направлении мощности к. з. от шин в линию, как показано на рис. 1 треугольниками. Выдержки времени у защит, работающих при одинаковом направлении мощности, взаимно согласовываются так, чтобы при к. з. за пределами защищаемой линии каждая защита имела бы выдержку времени больше, чем выдержка времени защиты на следующем (смежном участке).

Направленность действия рассматриваемых дистанционных защит осуществляется путем применения так называемых направленных реле сопротивления. Эти реле совмещают в себе функции дистанционных органов и реле направления мощности, так как они могут реагировать на направление мощности к. з.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ

Существует три основных типа характеристик времени срабатывания дистанционных защит: наклонная, комбинированная и ступенчатая. Защиты с наклонной и комбинированной характеристиками конструктивно весьма сложны и не имеют существенных преимуществ перед ступенчатой характеристикой. Поэтому в настоящее время отечественные дистанционные защиты ПЗ-157—П-159 выполняются со ступенчатыми характеристиками времени срабатывания.

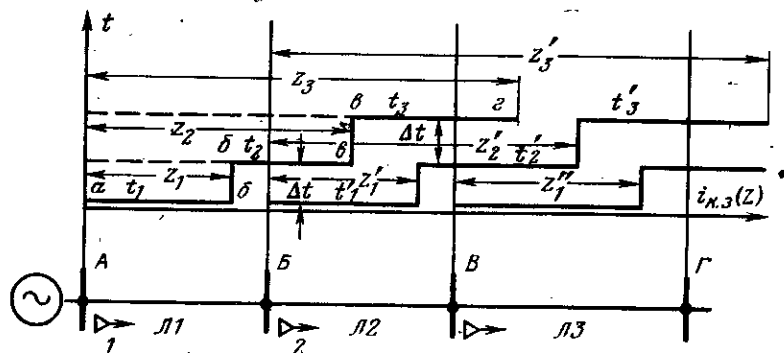


Рис. 3. Ступенчатые характеристики времени срабатывания дистанционных защит ПЗ-157—ПЗ-159.

На рис. 3 даны ступенчатые характеристики двух дистанционных защит 1 и 2, которые установлены соответственно на линиях Л1 и Л2 на подстанциях А и Б. Защиты направленные, так как предполагается, что защищаемый транзит может иметь двустороннее питание, и поэтому они действуют только в направлении, указанном стрелками в обозначении защит.

Защиты 1 и 2 имеют трехступенчатые характеристики. Характеристика защиты 1 имеет следующие участки: участок *ab* является первой зоной защиты (z_1), которая охватывает участок линии, расположенный ближе всего к месту установки защиты, поэтому этот участок линии отключается с минимальной выдержкой времени и имеет время действия защиты в первой ступени t_1 .

По условию отключения повреждений на защищаемой линии желательно, чтобы длина первой зоны (z_1) была как можно больше, т. е. в пределах охватывала бы

всю линию Л1, но практически это выполнить не удается, так как при настройке $z_1 = z_{Л1}$ могло бы иметь место неселективное отключение линии при к. з. на шинах подстанции Б или в начале линии Л2, в последнем случае защита могла бы сработать из-за возможных погрешностей защиты в сторону удлинения зоны. Поэтому первую зону защиты практически устанавливают в пределах 80—85% длины линии Л1, т. е. укорачивают ее по сравнению с длиной линии на такую величину, чтобы при наличии погрешностей в сторону удлинения защита все же имела зону меньшую, чем длина линии.

Участок *bc* является второй зоной защиты. Длина этого участка определяется разностью между уставками второй z_2 и первой z_1 зон; вторая зона защиты обеспечивает защиту оставшейся части линии, не защищаемой первой зоной, шин подстанции Б и участка линии Л2 за пределами шин подстанции Б. Чем больше вторая зона охватывает линию Л2, тем лучше, так как при этом вторая зона защиты действует в пределах защищаемой линии Л1 с большей надежностью и в случае повреждения линии Л2 и отказа выключателя этой линии на подстанции Б обеспечивает отключение линии Л1 подстанции А, т. е. обеспечивает резервирование защит и выключателя линии Л2 на подстанции Б. Чем больше будет длина второй зоны, тем на большем участке линии Л2 будет обеспечиваться резервирование этого участка защитой 1. Величина второй зоны, как правило, должна быть не менее $1,25 z_{Л1}$.

Выдержка времени второй зоны t_2 выбирается обычно по условию согласования с временем действия первой зоны защиты 2 и принимается больше времени t_1 на ступень селективности Δt . В некоторых случаях выдержка времени второй зоны защиты 1 может выбираться по согласованию с выдержкой времени второй зоны защиты 2. Необходимо отметить, что вторая зона защиты является резервной на участке первой зоны и, если при повреждении на участке z_1 не произошло отключения с первой зоной с выдержкой времени t_1 , то оно будет осуществлено со второй зоной защиты с выдержкой времени t_2 .

Участок *cd* является третьей зоной защиты. Этот участок характеристики образуется разностью между уставками третьей z_3 и второй z_2 зон. Назначение третьей зо-

времени и максимальной уставкой по сопротивлению срабатывания (например, с уставками t_3 , z_3 на рис. 3).

2. Дистанционный орган, определяющий, в какой зоне произошло к. з.: в первой или во второй. Если к. з. произошло во второй зоне, то срабатывает дистанционный орган второй зоны $ДО_2$, при этом дистанционный орган первой зоны $ДО_1$ не работает. Для отключения к. з. в первой зоне предназначен дистанционный орган $ДО_1$, хотя при этом будет срабатывать и дистанционный орган второй зоны $ДО_2$ и пусковой орган $ПО$. Напомним, что дистанционные органы $ДО_1$ и $ДО_2$ являются, как и пусковой орган $ПО$, реле минимального сопротивления и каждый из них срабатывает в том случае, если место к. з. располагается в пределах его зоны действия.

3. Орган выдержки времени, создающий выдержку времени второй (B_2) и третьей (B_3) зон защиты, каждый орган выдержки времени выполняется обычным реле времени. Применение отдельных реле времени на различные пределы уставок повышает точность работы защиты по времени в пределах соответствующих зон.

4. Орган направления, не позволяющий защите работать при направлении мощности к. з. к шинам подстанции, на которой установлена защита. В рассматриваемых защитах, как было упомянуто выше, функции органов направления выполняют одновременно пусковые и дистанционные органы, являющиеся направленными реле сопротивления. Эти органы могут срабатывать только при к. з., происшедших в защищаемом направлении, и не работают, если к. з. произошло на шинах или за шинами своей подстанции.

5. Блокировки, не разрешающие работать защите в тех режимах, когда она могла бы сработать неправильно, т. е. при отсутствии повреждения на линии. В дистанционных защитах ПЗ-157—ПЗ-159 применяются две блокировки: $БН$ и $БК$.

Блокировка $БН$ предназначена для определения неисправности цепей напряжения защиты, например перегорание предохранителей во вторичных цепях трансформатора напряжения. При неисправных цепях напряжения пусковые и дистанционные органы защиты могут работать неправильно, поскольку они реагируют на отношение напряжения к току. Если величина напряжения из-за неисправности в цепях напряжения становится

значительно меньше нормальной, то отношение напряжения к току может оказаться меньше уставки этих органов, в результате чего они сработают.

Блокировка $БК$ предназначена для предотвращения неправильного срабатывания защиты при качаниях. Предварительно следует сказать, что блокировка $БК$ может иметь два исполнения и в зависимости от этого включаться в цепи напряжения или в цепи тока (см. табл. 1). При повреждениях в цепях напряжения блокировка $БК$, включенная в эти же цепи напряжения, будет срабатывать, а блокировка $БК$, включенная в цепи тока, в тех же случаях срабатывать не будет. Поэтому в зависимости от типа блокировки $БК$ блокирование защит при повреждениях в цепях напряжения выполняется по-разному: или включением контакта блокировки $БН$ в оперативные цепи дистанционных и пускового органов защиты (вариант a на рис. 4), или включением в те же цепи контактов блокировки $БК$ (вариант b на рис. 4). Варианты выполнения блокировок для защит различных типов приведены в табл. 1. Предотвращение неправильного срабатывания защит по варианту a осуществляется блокировкой $БН$, которая при повреждении в цепях напряжения размыкает свой размыкающий контакт.

Предотвращение неправильного срабатывания защит по варианту b осуществляется блокировкой $БК$, которая имеет в нормальном режиме работы защиты замыкающие контакты, и эти контакты не замыкаются при повреждении в цепях напряжения. Контакты блокировки $БК$ замыкаются при возникновении к. з. в сети. В дистанционных защитах с блокировкой по варианту b блокировка $БН$ также имеется, но она действует не на блокирование защиты, так как эти функции выполняет блокировка $БК$, а на сигнализацию, указывающую на неисправность в цепях напряжения. Необходимость такой сигнализации очевидна: нельзя длительное время иметь защиту с неисправными цепями напряжения, потому что она может сработать неправильно, как только замкнется контакт блокировки $БК$, что может произойти при любом к. з. в прилегающей сети.

Мы уже определили, что блокировка $БК$ предотвращает неправильную работу защиты при качаниях. Для того чтобы представить, что такое качания, необходимо хотя бы кратко и упрощенно рассмотреть работу энергосистемы в нормальном и аварийном режимах. Как изве-

стно, современная энергосистема представляет собой сложный комплекс различных энергетических установок, включая генерирующие станции, на которых вырабатывается электрическая энергия, линии электропередачи, объединенные в электрические сети, по которым после предварительной трансформации с генераторного напряжения станции энергия передается к местам потребления, где она вновь трансформируется до напряжения, удобного для потребления, и, наконец, установок потребителей электроэнергии.

Если мощность, вырабатываемая всеми генераторами системы, равна нагрузке всех потребителей, то система работает с нормальной частотой и при этом мы считаем, что по всем элементам системы, в том числе и по линиям электропередачи, нагрузки не превосходят допустимых

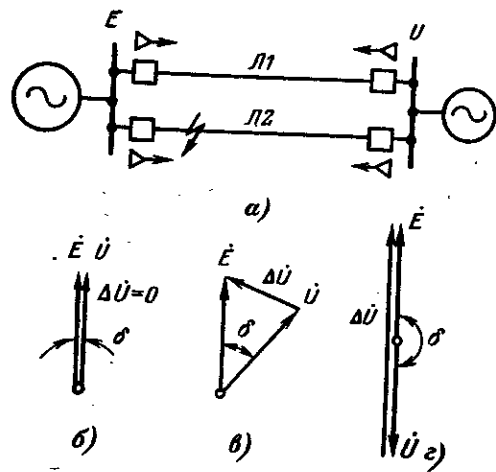


Рис. 5. К вопросу о качаниях в энергосистеме. Упрощенная схема системы (а), взаимное положение векторов э. д. с. E генераторов и напряжения U приемной части системы для углов между ними: $\delta=0^\circ$ (б); $\delta=40^\circ$ (в); $\delta=180^\circ$ (г).

расчетных величин. Уставки релейной защиты всех элементов системы настроены таким образом, что защита не срабатывает при этих нагрузках. Такой режим работы системы характеризуется устойчивой параллельной работой всех частей системы как генерирующих энергию, так и потребляющих ее. Значение электрического тока, проходящего по какой-либо линии электропередачи определяется не только разностью величин напряжений по концам этой линии, но и разностью этих напряжений по углу (по фазе).

Напряжение переменного тока, изменяющееся по синусоидальному закону, принято обозначать в виде век-

торов [Л. 1, 2]. Если максимумы синусоид двух напряжений наступают одновременно, то эти напряжения совпадают по фазе (рис. 5, б), т. е. угол между векторами таких напряжений равен нулю. Если же максимумы синусоид двух напряжений наступают в разное время, то эти напряжения сдвинуты по фазе, т. е. векторы таких напряжений сдвинуты между собой на определенный угол (рис. 5, в, г).

В энергосистеме электрическая энергия, как известно, вырабатывается генераторами электростанций; под действием электродвижущих сил (э. д. с.) генераторов проходят токи по всем элементам энергосистемы. При нормальной работе энергосистемы с неизменной схемой соединений и постоянной нагрузкой векторы э. д. с. генераторов и напряжений на подстанциях имеют постоянную величину и угол относительно друг друга. Устойчивая параллельная работа всех частей энергосистемы возможна только в том случае, если значения углов между векторами э. д. с. генераторов и напряжений в определенных точках энергосистемы не превосходят максимальной допустимой величины, например значения на рис. 5, в. Эта допустимая величина зависит от таких условий, как величина передаваемой мощности по линиям, значения э. д. с. генераторов, величины сопротивления между различными частями системы, величины и характера нагрузки и др.

Предположим, что энергосистема состоит из двух крупных частей, соединенных друг с другом двумя параллельными линиями электропередачи $L1$ и $L2$ (рис. 5, а), пусть в одной части системы избыток генерирующей мощности и имеет место величина э. д. с. генераторов E , а в другой дефицит, который покрывается в нашем случае передачей энергии по двум параллельным линиям электропередачи из одной (генерирующей) части системы в другую (приемную). Напряжение приемной части системы равно U . На линиях электропередачи установлены рассматриваемые дистанционные защиты, уставка пусковых органов которых выбрана меньше, чем сопротивление нагрузки этих линий, и поэтому эти защиты не срабатывают в условиях нормальной работы энергосистемы. Допустим, что на линии $L2$ произошло к. з., которое было отключено защитами линии. Как будет реагировать система на такое нарушение? Для ответа на этот вопрос необходимо знать, какой вид к. з.

имел место на поврежденной линии и как быстро это к. з. отключалось.

Оказывается, всякое к. з. равноценно определенному увеличению сопротивления между теми точками системы, которые разделены точкой к. з. В случае однофазного к. з. это увеличение будет сравнительно небольшим, при двухфазном к. з. сопротивление увеличится более значительно, а при трехфазном металлическом к. з., например, у шин одной из опорных подстанций, от которой отходят рассматриваемые линии электропередачи, сопротивление увеличится до бесконечности. Это соответствует полному разделению системы на две отдельные части, электрически не связанные друг с другом.

Увеличение сопротивления будет иметь место в течение всего времени, пока длится к. з., т. е. до тех пор, пока оно не будет отключено защитой поврежденной линии. После отключения поврежденной линии сопротивление связи двух частей системы не останется прежним, а будет отличаться от доаварийного на некоторую величину, определяемую влиянием сопротивления отключившейся линии.

Так как во время к. з. сопротивление связи между двумя частями системы увеличилось, то так называемый синхронизирующий момент, удерживающий эти части на параллельной работе, снизится до нового значения. При этом оказывается, что новому значению момента будет соответствовать большая величина угла между векторами э. д. с. генераторов E части системы с избыточной мощностью и напряжением U дефицитной части системы.

Если имело место однофазное к. з., которое к тому же было быстро отключено, то в течение такого к. з. угол между э. д. с. генераторов E и напряжением дефицитной части системы U может возрасти на небольшую величину, в результате чего он не будет превосходить допустимого значения по условию устойчивой работы (например, рис. 5,в), и после отключения такого к. з. величина угла снизится до нового значения, близкого к доаварийному.

Снижение угла между векторами будет происходить колебательно вокруг вновь установившегося значения подобно затухающему колебанию маятника относительно положения равновесия. Изменение угла между векторами э. д. с. генераторов и напряжением дефицитной части системы будет вызывать изменение тока в оставшейся

линии связи, а также в сети каждой части системы, поскольку ток по линии связи обусловлен геометрической разностью векторов напряжений, действующих по концам этой линии связи.

Такой электрический колебательный процесс в энергосистеме называется качаниями. Качания, при которых увеличение угла между векторами э. д. с. и напряжением не превышает допустимых, являются затухающим процессом или, как говорят, синхронными качаниями.

Теперь рассмотрим другой вид к. з. на линии Л2 — трехфазное, которое к тому же отключалось не действующими защитами линии, а по какой-либо причине с большой выдержкой времени, например несколько секунд. В течение такого большого времени обе части системы при трехфазном к. з. окажутся по существу как бы разделенными на две несвязанные части, хотя они в это время и соединены между собой неповрежденной линией Л1. При этом частота в части системы с избыточной генерирующей мощностью будет повышаться, а в дефицитной части системы — понижаться. В результате этого за время к. з. векторы э. д. с. генераторов и напряжений дефицитной части системы могут разойтись на угол, значительно больший допустимой величины, и после отключения к. з. эти части системы будут работать несинхронно, с разной частотой и между ними возникнут электрические качания, которые в данном случае будут представлять собой асинхронный ход одной части системы относительно другой. При этом векторы э. д. с. генераторов и напряжение дефицитной части системы будут проворачиваться относительно друг друга на 360° .

Как же будет вести себя при качаниях дистанционная защита на оставшейся в работе линии Л1? Рассмотрим, как зависит работа защиты от взаимного расположения векторов по концам линии связи. Например, если векторы напряжений по концам линии имеют одинаковую величину и совпадают по фазе (рис. 5,б), то при этом ток по линии не проходит, так как его величина равна нулю из-за отсутствия разницы напряжений по концам линии. В этом случае к дистанционным и пусковым органам защиты будет подводиться величина z_p , равная бесконечности, определяемая отношением нормального напряжения к току, равному нулю.

Теперь допустим, что при разившихся качаниях углы между векторами напряжений по концам линии разо-

шлись на 180° и в данном случае величина тока по линии будет определяться значением напряжения ΔU , равным сумме E и U (рис. 5,2), поделенным на сопротивление линии, т. е. будет составлять величину, значительно большую, чем ток нормальной нагрузки, от которого отстроена защита. При этом отношение напряжения к току, т. е. сопротивление на зажимах реле, Z_p может быть значительно меньше, чем уставка на реле.

При качаниях, как рассмотрено выше, углы между векторами э. д. с. и напряжений различных частей системы могут изменяться в пределах 360° , следовательно, и величины Z_p , подводимых к защите, будут изменяться также в широких пределах от бесконечности до величин, меньших уставок пускового и дистанционных органов. В последнем случае эти органы защиты будут срабатывать во время качаний. Если время срабатывания пускового или дистанционного органа окажется больше времени действия защиты по цепи отключения соответствующего органа, то защита сработает и отключит неповрежденную линию.

Следует отметить, что качания, так же как и режим нормальной работы, являются симметричным режимом, т. е. токи и напряжения при качаниях изменяются во всех фазах одновременно. Для того чтобы предотвратить неправильное срабатывание дистанционной защиты, при качаниях устанавливается специальная блокировка, которая не срабатывает, если токи или напряжения во всех фазах одинаковы и углы между ними равны 120° , что имеет место в нормальном режиме и при качаниях.

От какого же органа вероятнее всего срабатывание защиты при качаниях? По-видимому, от того, который имеет меньшую выдержку времени. Поэтому контакт блокировки при качаниях BK (см. рис. 4) включается в цепь отключения первой зоны последовательно с контактом дистанционного органа DO_1 и может включаться в цепь отключения второй зоны последовательно с контактом дистанционного органа DO_2 , если отключить накладку H . Блокирование второй зоны защиты обычно производится, если время действия ее меньше 1,5 с, так как установлено, что качания для защиты с большим временем действия не опасны, из-за того что период качаний обычно меньше 1 с.

Контакты блокировки BK в нормальном режиме работы системы, т. е. при отсутствии к. з., и при качаниях

разомкнуты, поэтому контактами блокировки BK защита в этих режимах всегда выведена из работы. Контакты блокировки BK замыкаются только при возникновении несимметричных режимов, т. е. при к. з. в защищаемой сети.

Дистанционная защита, выполненная по схеме на рис. 4, работает следующим образом. В нормальном режиме, когда защита находится в незапущенном состоянии, положение ее контактов соответствует изображенному на рис. 4. При к. з. на защищаемой линии в пределах первой зоны срабатывают пусковой орган $ПО$, дистанционный орган первой зоны DO_1 и блокировка BK . При этом плюс через контакт блокировки BH (вариант a) или BK (вариант b) попадает на контакты пускового и дистанционных органов, далее через замкнутый контакт дистанционного органа DO_1 контакт блокировки BK в цепь отключения первой зоны защиты подается на обмотку выходного реле P , в результате чего защита действует на отключение. При к. з. в первой зоне, хотя и срабатывает пусковой орган $ПО$, но действие защиты осуществляется помимо него, это выполнено для ускорения отключений к. з. в первой зоне.

При к. з. на защищаемой линии в пределах второй зоны срабатывают пусковой орган $ПО$, дистанционный орган второй зоны DO_2 и блокировка BK . Дистанционный орган первой зоны DO_1 не работает, так как $Z_{к.з}$ больше, чем Z_1 . После того как замкнется контакт B_2 реле времени второй зоны защиты, образуется цепь на выходное реле P . Таким образом, при к. з. во второй зоне пусковой орган контролирует работу защиты тем, что управляет реле времени B_2 .

При к. з. в третьей зоне дистанционные органы DO_1 и DO_2 не работают, так как $Z_{к.з}$ больше, чем уставки первой и второй зоны, а срабатывает только пусковой орган $ПО$, который выполняет одновременно и функции дистанционного органа третьей зоны, при этом запускается реле времени третьей ступени защиты B_3 . По истечении выдержки времени замыкается контакт реле B_3 и защита действует на отключение.

При повреждении цепей напряжения (обрыве одной или двух фаз), например, из-за перегорания предохранителей или отключения автоматов вследствие замыкания в цепях напряжения срабатывает блокировка BH и в защитах по варианту a размыкает цепь постоянного

тока, предотвращая возможное неправильное действие защиты. В защитах по варианту б блокировка БН действует на сигнал, информируя персонал о неисправности в цепях напряжения.

При возникновении качаний в электрической сети, где установлена защита, будет периодически происходить на зажимах защиты симметричное снижение напряжения и увеличение тока, которое может привести к срабатыванию дистанционных и пускового органа защиты. При этом контакты блокировки БК будут оставаться разомкнутыми и будут этим блокировать защиту при качаниях. Ниже будет показано, какие меры приняты в защитах для предотвращения или снижения вероятности неправильного срабатывания защиты при возникновении качаний вслед за к. з. в сети, из-за чего может замыкать контакты блокировка БК.

При к. з. за шинами своей подстанции (как говорят, «за спиной») защита не работает, так как при этом не работают пусковой и дистанционный органы, которые выполнены направленными реле сопротивления из-за того, что повреждение за шинами своей подстанции для них оказывается вне зоны их действия.

2. СХЕМА ЗАЩИТЫ

Рассмотрев кратко элементы дистанционной защиты и их взаимодействие, перейдем к полной схеме защиты. Вначале остановимся на некоторых отличиях рассматриваемых дистанционных защит ПЗ-157—ПЗ-159. В табл. 1 приведены элементы этих защит, типы и модификации защит расположены в том порядке, в котором они осваивались и выпускались заводом, т. е. сначала была разработана и выпущена защита ПЗ-157, затем ПЗ-158 и далее ПЗ-159. В настоящее время выпускаются только защиты ПЗ-159В и ПЗ-159Г.

Из анализа табл. 1 нетрудно заключить, что все рассматриваемые дистанционные защиты имеют совершенно одинаковые пусковые и дистанционные органы и по существу имеют отличия только в блокировке при качаниях БК, которая в одних защитах включается в цепи тока (ПЗ-158, ПЗ-159А, ПЗ-159В), а в других—в цепи напряжения (ПЗ-157, ПЗ-159Б, ПЗ-159Г) и в соответствии с этим по-разному производится блокирование оперативных цепей пусковых и дистанционных органов, т. е.

по варианту а или варианту б (рис. 4). Рассматривая табл. 1, можно установить, что все защиты имеют по три пусковых органа, каждый из которых предназначен для срабатывания при к. з. между двумя определенными фазами, например реле сопротивления 1РС—при к. з. между фазами АВ, 2РС—ВС и 3РС—СА. В случае трехфазного к. з. срабатывают все три реле. Все элементы каждого пускового органа—реле сопротивления—смонтированы в одном кожухе и представляют собой комплект реле сопротивления (КРС) и имеют заводское обозначение—КРС-132.

Дистанционные органы защиты выполнены при помощи двух реле сопротивления: 4РС и 5РС. Реле 4РС типа КРС-121 предназначено для отключения двухфазных к. з. всех трех видов, т. е. к. з. между фазами АВ, ВС или СА как в первой, так и во второй зоне. Для действия при различных видах двухфазных к. з. в реле 4РС никаких переключений производить не требуется, для действия же в первой или во второй зоне требуется осуществлять переключение уставки реле. Реле 4РС работает и при двухфазных к. з. на землю, но не работает по принципу своего действия при трехфазных к. з. Поэтому для отключения трехфазных к. з. предназначено реле 5РС. Реле 5РС типа КРС-131 по своему устройству и принципу действия аналогично пусковому реле и отличается от него более широким пределом уставок и возможностью переключения уставок с первой зоны на вторую.

Дистанционные реле 4РС и 5РС в нормальном режиме, когда защита не запущена, включены на уставку первой зоны и в этом случае в схеме на рис. 4 они выполняют функции реле ДО₁. Переключением уставок реле 4РС и 5РС на вторую зону производится специальным переключательным реле, которое управляется пусковыми органами защиты (реле 1РС, 2РС или 3РС). Когда дистанционные органы включены на уставку второй зоны, они выполняют функции реле ДО₂ в схеме на рис. 4. Одни и те же дистанционные реле не могут одновременно обеспечить в защите и первую, и вторую зону, а выполняют эти функции последовательно, сначала они включены на уставку первой зоны, а спустя некоторое время после пуска защиты и при отсутствии к. з. в первой зоне их уставки переключаются на вторую зону. Поэтому в рассматриваемых дистанционных защитах мо-

Элементы защит

Тип защиты	Обозначение пусковых органов (тип), предназначенных для работы при к. з. между фазами		
	AB	BC	CA
ПЗ-157	1PC(КРС-132)	2PC(КРС-132)	3PC(КРС-132)
ПЗ-158			
ПЗ-159А			
ПЗ-159Б			
ПЗ-159В			
ПЗ-159Г			

жет одновременно обеспечиваться только две зоны из трех: первая и третья или вторая и третья.

ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПУСКОВЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ ОРГАНОВ

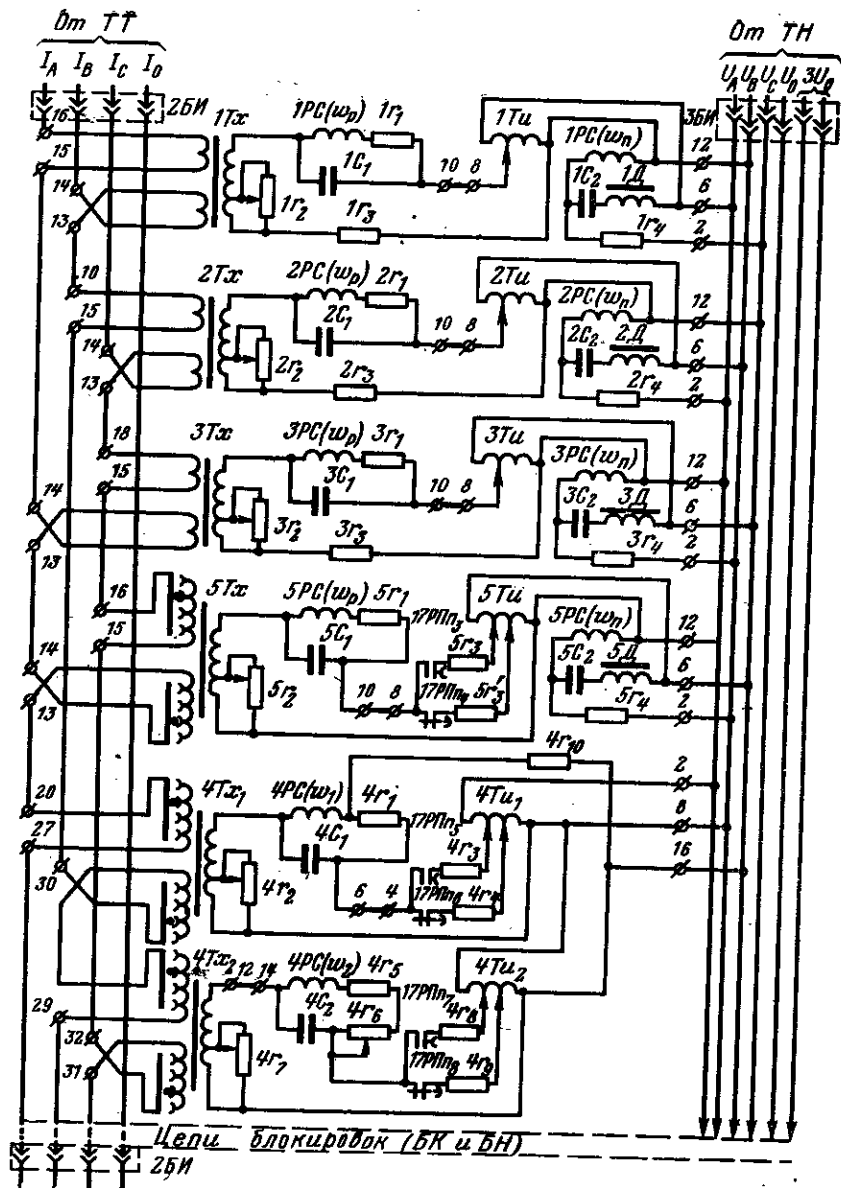
Схема цепей переменного тока и напряжения пусковых и дистанционных органов приведена на рис. 6. Как следует из рис. 6, пусковые органы 1PC, 2PC, 3PC и реле 5PC включаются в две фазы токовых цепей, и к ним подводятся все три фазы напряжения. Реле 1PC предназначено для работы при к. з. на фазах АВ, поэтому к его зажимам 6 и 12 подводятся напряжения соответственно U_A и U_B , а к зажиму 2 — напряжение U_C . Токовые цепи реле включены на разность токов фаз $I_A - I_B$, для чего в фазу А включена одна обмотка трансреактора с прямой полярностью (вход тока в зажим 16, выход — в зажим 15), а в фазу В включена другая обмотка трансреактора с обратной полярностью (вход тока

ПЗ-157—ПЗ-159

Обозначение и тип дистанционных органов, предназначенных для отключения в первой и второй зонах к. з.		Тип блокировки		Блокировка БК включена в цепи	Блокирование оперативных цепей на рис. 4 по схеме
		при повреждении в цепях напряжения (БН)	при качаниях (БК)		
трехфазных	двухфазных				
5PC(КРС-131)	4PC(КРС-121)	КРБ-11	КРБ-121	напряжения	а
		КРБ-11 или КРБ-12	КРБ-122	тока	б
		КРБ-12	КРБ-124	тока	б
		КРБ-12	КРБ-123	напряжения	а
		КРБ-12	КРБ-126	тока	б
		КРБ-12	КРБ-125	напряжения	а

в зажим 14, выход в зажим 13). Аналогичным образом включены и остальные реле: 2PC — на фазы В и С, 3PC и 5PC — на фазы С и А. Дистанционный орган 5PC, предназначенный для действия при трехфазных к. з., будет также работать и при двухфазных к. з. на землю между фазами С и А и действовать при этих видах к. з. одновременно с реле 4PC.

Каждое из реле 1PC, 2PC, 3PC и 5PC имеет по две обмотки: поляризирующую $w_{\text{п}}$, включенную на зажимы 6 и 12, и рабочую $w_{\text{р}}$. Поляризирующая обмотка включена на линейное напряжение соответствующих фаз, а рабочая обмотка на разность двух напряжений: одного от трансформатора $T_{\text{и}}$, которое пропорционально линейному напряжению, и другого от трансформатора $T_{\text{х}}$, пропорционального падению напряжения от разности фазных токов на сопротивлении уставки реле. Для реле 1PC, например, действующая величина напряжения в ра-



бочей обмотке будет составлять:

$$\dot{U}_{AB} - (\dot{I}_A - \dot{I}_B)z_y.$$

При отсутствии к. з. в зоне первая составляющая \dot{U}_{AB} больше, чем вторая $(\dot{I}_A - \dot{I}_B)z_y$, поэтому ток, проходящий в рабочей обмотке, имеет такое направление, что он, взаимодействуя с током в поляризующей обмотке, создает на реле момент на заклинивание. При к. з. в защищаемой зоне составляющая \dot{U}_{AB} становится меньше, чем составляющая $(\dot{I}_A - \dot{I}_B)z_y$, и ток в рабочей обмотке изменяет свое направление на противоположное, поэтому на реле создается момент на срабатывание.

Реле 4PC, предназначенное для действия при двухфазных к. з., является многофазным направлением реле сопротивления и включается в три фазы тока и три фазы напряжения. Реле 4PC имеет также две обмотки: ω_1 и ω_2 , причем цепи обмоток по своей схеме аналогичны цепи рабочей обмотки реле 5PC. Обмотка ω_1 включается на токи и напряжения фаз A и B, как и рабочая обмотка реле 1PC, обмотка ω_2 включается на ток и напряжения фаз B и C. Принцип действия реле 4PC несколько сложнее, чем рассмотренных реле сопротивления, но для случая к. з. между фазами AB и BC можно провести аналогию с реле 1PC, 2PC, 3PC или 5PC. Так, при к. з. между фазами AB можно считать, что роль поляризующей обмотки выполняет обмотка ω_2 , включенная на фазы B и C, а обмотка ω_1 является рабочей обмоткой реле. При отсутствии повреждения в зоне в каждой обмотке проходят токи, величина и направление которых определяется в основном напряжениями, приложенными к обмоткам реле, т. е. \dot{U}_{AB} для обмотки ω_1 и \dot{U}_{CB} для обмотки ω_2 . При двухфазном к. з. между фазами AB в зоне действия реле составляющая от тока $(\dot{I}_A - \dot{I}_B)z_y$ становится больше, чем \dot{U}_{AB} , поэтому направление тока в обмотке ω_1 изменяется на 180° по сравнению с доварийным режимом и реле срабатывает.

Аналогичным образом работает реле и при двухфазном к. з. между фазами B и C. В этом случае при к. з. в зоне изменяет направление на 180° ток, проходящий в обмотке ω_2 , так как составляющая от тока $(\dot{I}_C - \dot{I}_B)z_y$ становится больше, чем составляющая от напряжения

Рис. 6. Схема цепей переменного тока и напряжения пусковых и дистанционных органов защит ПЗ-157—ПЗ-159.

$U_{св}$, а обмотка ω_1 выполняет роль поляризирующей обмотки.

При двухфазном к. з. в зоне между фазами С и А изменяется угол между токами в обмотках ω_1 и ω_2 . Вследствие этого на реле возникает момент на срабатывание и оно замыкает свой контакт. Ниже будет рассмотрена подробно работа реле 4РС. Каждое реле сопротивления 1РС—5РС имеет один замыкающий контакт (см. рис. 9).

БЛОКИРОВКА ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ В ЦЕПЯХ НАПЯЖЕНИЯ

В защите ПЗ-157, как указано в табл. 1, применена блокировка БН типа КРБ-11, предотвращающая неправильную работу защиты при повреждениях в цепях напряжения защиты. Схема блокировки КРБ-11 дана на рис. 7. Блокировка состоит из двух реле 17РН и 17РТ₀.

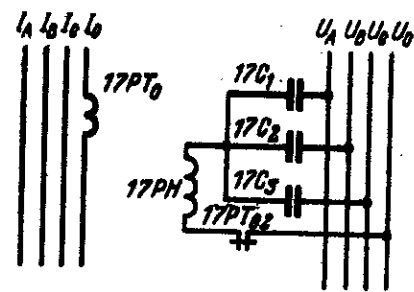


Рис. 7. Схема блокировки КРБ-11.

Реле 17РН включено между нулевой точкой фильтра нулевой последовательности и нулевым проводом цепей напряжения через замыкающий контакт 17РТ₀₂ реле 17РТ₀. Замыкающий контакт 17РТ₀₁ реле 17РТ₀ используется в схеме на рис. 11. Фильтр напряжения нулевой последовательности состоит из трех конденсаторов 17С₁, 17С₂ и 17С₃ одинаковой емкости. Конденсаторы включены на фазные напряжения и соединены в звезду. Если фазные напряжения всех трех фаз одинаковы, то между нулевой точкой конденсаторов и нулевым проводом цепей напряжения будет иметь место только небольшая величина напряжения небаланса, от которой реле 17РН не будет срабатывать. В случае повреждений во вторичных цепях напряжения, например замыкании фазы на землю, обрыв фазы или двух фаз и других нарушений, появится значительное напряжение между нулевой точкой конденсаторов и нулевым проводом цепей напряжения [Л. 3]. Под действием этого напряжения реле 17РН

сработает и переключит свои контакты. Контакт 17РН₁ разомкнется, контакт 17РН₂ замкнется (см. рис. 11).

Реле 17РН будет также срабатывать и при замыкании одной или двух фаз на землю в первичной цепи трансформаторов напряжения, так как при этом появляется напряжение нулевой последовательности. Следовательно, возможно его срабатывание при междуфазном к. з. на землю, скажем, на защищаемой линии, и в этом случае реле 17РН, сработав, заблокировало бы контактом 17РН₁ действие защиты как раз тогда, когда оно крайне необходимо. Поэтому, чтобы предотвратить это, последовательно с обмоткой реле 17РН включен контакт 17РТ₀₂.

Обмотка реле 17РТ₀ включается в нулевой провод токовых цепей защиты. В случае замыкания на землю в прилегающей сети реле 17РТ₀ сработает и разомкнет своим контактом 17РТ₀₂ цепь обмотки реле 17РН, чем предотвратит срабатывание этого реле, обеспечив тем самым возможность нормального действия защиты.

В защите ПЗ-159 во всех ее модификациях применена блокировка БН типа КРБ-12. В защите ПЗ-158 блокировка БН не была предусмотрена в заводском исполнении, это оказалось неудобным в эксплуатации, и было в свое время рекомендовано Техническим управлением Минэнерго СССР устанавливать в защитах ПЗ-158 блокировки типа КРБ-11 или КРБ-12 с действием на сигнал для того, чтобы обслуживающий персонал мог получать своевременную информацию о неисправностях защиты. Поэтому оба типа блокировок и указаны в табл. 1 для защиты ПЗ-158.

Схема блокировки КРБ-12 дана на рис. 8. Блокировка состоит из трансформатора 23Т6, который имеет пять обмоток: четыре первичных и одну вторичную ω_5 , в обмотку ω_5 включено блокирующее реле 23РН6 через выпрямительный мост. Размыкающий контакт 23РН6₁ используется для блокирования цепей оперативного тока пусковых и дистанционных органов (по варианту а), а замыкающий 23РН6₂ — в цепях сигнализации. Первичные обмотки ω_1 , ω_2 , ω_3 включены на три фазных напряжения, а обмотка ω_4 включена на напряжение $3U_0$ в цепь разомкнутого треугольника трансформатора напряжения. Все первичные обмотки включены через добавочные сопротивления. При отсутствии повреждения в цепях напряжения и к. з. на землю в защищаемой сети сумма

трех фазных напряжений равна нулю или имеет небольшую величину, напряжение на обмотке w_5 отсутствует или также равно нулю, поэтому ток во вторичной обмотке имеет небольшое значение или отсутствует и реле $23PH6$ не работает.

При повреждениях во вторичных цепях трансформаторов напряжения равенство фазных напряжений нару-

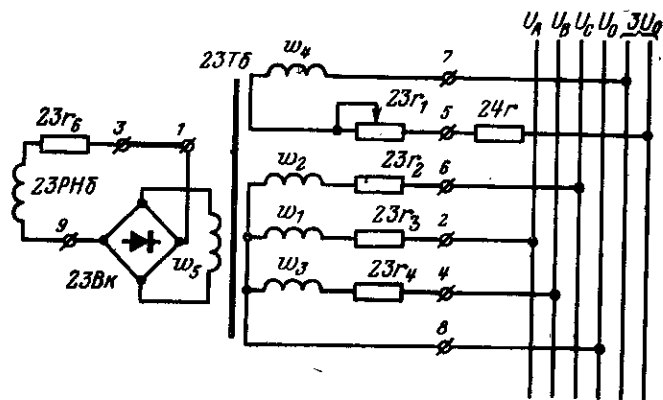


Рис. 8. Схема блокировки КРБ-12.

шается и сумма э. д. с. от обмоток w_1 , w_2 и w_3 становится значительной величиной, в результате чего реле срабатывает и блокирует защиту. На обмотке w_4 в этом случае имеется напряжение небаланса, как и в нормальном режиме. При замыканиях на землю в первичной сети возникает неравенство первичных фазных напряжений, а следовательно, и вторичных напряжений. Однако блокировка в этом случае не срабатывает из-за того, что в обмотке w_4 появляется напряжение $3U_0$ от цепей разомкнутого треугольника трансформатора напряжения. Полярность включения обмоток w_1 , w_2 , w_3 и обмотки w_4 и величины сопротивлений $23r_1$, $23r_2$, $23r_3$, $23r_4$ и $24r$ выбраны таким образом, что напряжение на обмотке w_4 компенсирует неравенство фазных напряжений и предотвращает срабатывание блокировки и нежелательный вывод защиты из действия.

При срабатывании защиты цепей напряжения (автомата или сгорания предохранителя в одной или обеих фазах) дистанционная защита не подействует на отключение в этом режиме только в том случае, если суммар-

ное время срабатывания защиты цепей напряжений (автомата или предохранителя) и блокировки (КРБ-11 или КРБ-12) меньше, чем время срабатывания защиты по цепи первой зоны. Поэтому для обеспечения быстрого срабатывания блокировки необходимо, чтобы защита цепей напряжения осуществлялась быстродействующими автоматами или предохранителями на такой ток, чтобы при повреждении в цепях напряжения они быстро срабатывали.

Заканчивая рассмотрение блокировок КРБ-11 и КРБ-12, необходимо отметить, что эти блокировки по принципу своего действия не работают при одновременном отключении всех трех фаз цепей напряжения, например рубильником во вторичных цепях или выключателем в первичных при отключении системы шин вместе с трансформатором напряжения, от которого питается защита. Это является недостатком рассматриваемых блокировок и поэтому в эксплуатации приходится осуществлять специальные мероприятия для предотвращения неправильного действия защит, некоторые из которых приведены ниже.

БЛОКИРОВКА ПРИ КАЧАНИЯХ

Схемы блокировок при качаниях подробно рассмотрены ниже и приведены на рис. 9, 21—24. Здесь только укажем, что независимо от типа блокировки, будь она выполнена на принципе появления несимметрии в цепях тока или в цепях напряжения, каждая блокировка имеет специальный фильтр соответственно тока или напряжения так называемой обратной последовательности [Л. 3], и на выходе этого фильтра включено поляризованное реле $8PP$, размыкающий $8PP_1$ и замыкающий $8PP_2$ контакты которого находятся в схеме цепей оперативного постоянного тока дистанционной защиты (см. рис. 9).

Принцип действия блокировки при качаниях основан на отличии нормального режима и качаний от режима к. з. или замыкания через переходное сопротивление тем, что в режиме к. з. имеет место несимметрия токов (напряжений), в то время как в нормальном режиме и при качаниях токи (напряжения), а также углы между токами (напряжениями) различных фаз имеют одинаковые величины. Даже включение выключателя на трехфазную короткую, как показывает опыт, сопровождается появ-

ные органы блокируются контактом $23PH6_1$ реле $23PH6$ блокировки от повреждений в цепях напряжения и в них перемычка *a* устанавливается, а перемычка *b* не устанавливается и контакты $8PВ_2$, $8PБ_6$ и $17PП_2$ в схеме не используются.

Положение контактов всех реле на рис. 9 и 11 показано для обесточенного состояния реле. Так как к реле $23PH6$ в нормальном режиме и при исправных цепях напряжения может подводиться только небольшое напряжение небаланса, то в этом случае, как показано на схеме, будет замкнут контакт $23PH6_1$ и к контактам пусковых и дистанционных органов будет подводиться постоянный ток в защитах с установленной перемычкой *a*. Если при этом произойдет повреждение в цепях напряжения защиты, то контакт реле $23PH6_1$ разомкнется, в результате чего будет снят постоянный ток с пусковых и дистанционных органов и этим самым будет предотвращено возможное неправильное действие защиты. Контакт $23PH6_2$ замкнется и даст соответствующий сигнал. В защитах с установленной перемычкой *b* постоянный ток к пусковым и дистанционным органам в нормальном режиме работы защиты и при отсутствии к. з. в сети подводиться не будет, так как в этом режиме реле $8PБ$ и $8PВ$ будут находиться под напряжением и, следовательно, их контакты $8PБ_6$ и $8PВ_2$ будут разомкнуты. Поэтому если произойдет повреждение в цепях напряжения защиты, то благодаря отсутствию постоянного тока на контактах пусковых и дистанционных органов защита в этом режиме не сработает. О неисправном состоянии защиты будет известно по сигналу от контакта $23PH6_2$.

Пусковые органы защиты реле $1PC$, $2PC$, $3PC$ имеют каждый по одному контакту, цепи этих контактов выведены на ряд зажимов панели, где они объединены перемычками $115-113$, $119-113$, $121-113$. Перемычки предусмотрены для возможности пофазного использования пусковых органов.

Пусковые органы выполняют в защите следующие функции:

- а) управляют переключением дистанционных органов с уставок первой зоны на уставки второй зоны;
- б) осуществляют третью зону защиты;
- в) могут осуществлять фиксацию действия дистанционных органов при к. з. во второй зоне.

Для того чтобы эту фиксацию осуществить, необходимо установить перемычку $113-129$. Ниже будет указано назначение и возможность применения фиксации.

Поскольку пусковые реле имеют по одному контакту, для осуществления всех перечисленных функций используется реле-повторитель $17PП$. Реле $17PП$ имеет три контакта: $17PП_1$, $17PП_2$ и $17PП_3$. Размыкающим контактом $17PП_1$ подается напряжение на реле $17PПн$, которое в нормальном режиме находится под напряжением.

Замыкающий контакт $17PП_2$ включен параллельно контактам блокировки от качаний (при установке перемычки *b*) и фиксирует после срабатывания пусковых органов постоянный ток на их контактах. Этим предотвращается снятие постоянного тока с пусковых и дистанционных органов в том случае, если разомкнутся контакты $8PБ_6$ и $8PВ_2$ до того, как будет отключено трехфазное к. з. Замыкающий контакт $17PП_3$ управляет реле времени третьей зоны защиты $7PB$ и удерживает реле времени второй зоны $6PB$ в сработавшем состоянии (после замыкания контакта $9PФ_3$).

Реле $17PПн$ осуществляет переключение уставок дистанционных органов с первой зоны на вторую. Реле имеет восемь контактов. Так как реле в нормальном режиме, когда защита не запущена, находится под напряжением, то контакты этого реле находятся в другом положении, чем показаны на рис. 6 и 9, а именно цепи первой зоны дистанционных органов замкнуты через контакты $17PПн_3$, $17PПн_5$, и $17PПн_7$, а цепи второй зоны разомкнуты на контактах $17PПн_4$, $17PПн_6$ и $17PПн_8$. Следовательно, при отсутствии к. з. дистанционные органы включены на уставку первой зоны, чем обеспечивается готовность защиты к быстрому действию при к. з. в первой зоне. В этом случае, если к. з. произойдет не в первой, а во второй зоне, то дистанционные органы переключаются на уставку второй зоны через время, достаточное для работы защиты с первой зоной. Для этого реле $17PПн$ имеет замедление на возврат $0,12-0,15$ с, при включении параллельно обмотке реле $17PПн$ сопротивления $17 r$ это замедление может быть увеличено до $0,25-0,3$ с.

Контакт $17PПн_1$ находится в цепи отключения первой зоны защиты, он замкнут, когда реле $17PПн$ находится под напряжением. Назначение этого контакта: размыкать цепь отключения первой зоны при переключении

уставки дистанционных органов с первой на вторую зону, чтобы предотвратить срабатывание защиты по цепи первой зоны, от дистанционных органов, которые замкнут свои контакты после переключения уставки, если к. з. было во второй зоне.

В цепь отключения первой зоны включена последовательная обмотка реле $17РПн$, назначение которой — предотвратить отпадание реле $17РПн$. Если цепь отключения первой зоны была замкнута, то по последовательной обмотке проходит ток и удерживает реле в сработавшем состоянии. Наличие последовательной обмотки позволило уменьшить время, отведенное на работу защиты по цепи первой зоны, так как не требуется учитывать времени срабатывания выходного реле защиты $10РПВ$. Цепь отключения первой зоны не будет разомкнута контактом $17РПн_1$ даже в том случае, если с параллельной обмотки реле $17РПн$ было бы снято напряжение и защита таким образом доработает на отключение. Контакт $17РПн_2$, который еще нами не рассмотрен, может включаться установкой переключателей $151—131$ параллельно контакту $8РПб_1$, при этом реле $5РС$ не будет блокироваться при качаниях во второй зоне, так как контакт $8РПб_1$ будет шунтирован контактом $17РПн_2$, когда реле $5РС$ будет переключено на уставку второй зоны.

В схеме цепей оперативного постоянного тока имеется реле $9РПф$, которое называют реле фиксации. Это реле размножает контакты дистанционных органов $4РС$ и $5РС$ и осуществляет две функции фиксации. Реле имеет пять контактов и две обмотки: основную и дополнительную. Контакт $9РПф_1$ при срабатывании реле шунтирует контакт $8РПб_1$ и тем самым осуществляет фиксацию действия блокировки при качаниях для второй зоны дистанционного органа $5РС$. Поясним, что это значит. Если реле $5РС$ во второй зоне заведено под блокировку при качаниях, т. е. переключки $151—131$ или $135—131$ не установлены, как указано на схеме, то для образования цепи от контакта $5РС$ на обмотку реле $9РПф$ при работе реле $5РС$ во второй зоне может произойти только через контакт $8РПб_1$, который будет кратковременно замкнут в начале к. з. в сети. Желательно, чтобы время замкнутого состояния контакта $8РПб_1$ было бы минимальным, поэтому время замкнутого состояния контакта $8РПб_1$ выбирают таким, чтобы перекрыть время переключения реле $5РС$ на уставку второй зоны, время сра-

батывания реле $5РС$ и время срабатывания реле $9РПф$. После того как реле $9РПф$ сработает и своим контактом шунтирует контакт $8РПб_1$, последний может размыкаться. При этом реле $9РПф$ зафиксирует факт одновременного действия реле $5РС$ и $8РПб_1$.

Контакт $9РПф_2$ включением переключки $113—129$ может осуществлять фиксацию действия дистанционных органов $4РС$ или $5РС$ во второй зоне от пусковых органов. Фиксация действия реле $4РС$ или $5РС$ во второй зоне будет осуществляться после срабатывания реле $9РПф$ тем, что контакты реле $4РС$ или $5РС$ будут шунтироваться контактами пусковых органов, которые, имея большую уставку, чем дистанционные органы, заведомо сработают при к. з. во второй зоне. Зачем нужна такая фиксация? Она позволяет отметить (зафиксировать) факт срабатывания дистанционных органов в первый момент при к. з. во второй зоне и произвести отключение такого к. з. с временем второй зоны в том случае, если в процессе к. з. вследствие дуги сопротивление до места к. з. значительно увеличилось и стало больше, чем сопротивление возврата дистанционных органов. Такую фиксацию называют еще фиксацией «мгновенного замера» дистанционных органов. Подобная фиксация не всегда допустима.

Например, в сложных сетях (рис. 10) может иметь место к. з. в точке $K1$, которое будет в первой зоне

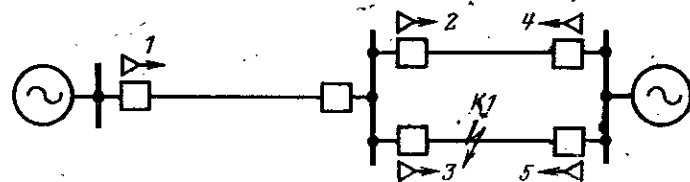


Рис. 10. Случай отключения к. з. в сложной сети.

для защиты 3 и во второй зоне для защиты 1. Пусть это к. з. отключается защитой 3 мгновенно и защитой 5 с выдержкой времени, равной или большей времени второй зоны защиты 1. После отключения выключателя 3 короткое замыкание в точке $K1$ для защиты 1 может оказаться не во второй, а в третьей зоне, но в случае фиксации «мгновенного замера» оно будет отключено с временем второй зоны, т. е. неселективно, так как вместо выключателя 5 отключится выключатель 1. Поэтому в сетях

со сложной схемой соединений, где возможны рассмотренные случаи, переключатель 113—129 не устанавливается и фиксация «мгновенного замера» не применяется.

Контакт $9РПф_3$ управляет реле времени второй ступени защиты, включен после контакта $17РПт_3$ и, следовательно, контролируется пусковыми органами. Рассмотрим, для чего это нужно. При выполнении функций фиксации реле $9РПф$ должно иметь минимальное время срабатывания. Для выполнения запуска реле времени $6РВ$ контактом $9РПф_3$ требуется, чтобы реле имело выдержку времени на возврат. Это нужно для того, чтобы защита не сбрасывала выдержку времени при к. з. во второй зоне, когда это к. з. переходит из двухфазного в трехфазное. Если при этом реле $4РС$ возвратится раньше, чем сработает реле $5РС$, то при отсутствии выдержки времени на отпадание у реле $9РПф$ будет кратковременный перерыв питания реле $6РВ$ и защита сбросит время. При этом защита, находящаяся дальше от места к. з., могла бы не сбросить время и тогда там бы произошло неселективное отключение, что, конечно, нежелательно. Поэтому реле $9РПф$ имеет выдержку времени на возврат 0,15—0,17 с, которая создается замыканием дополнительной обмотки реле контактом $9РПф_5$. Так как дополнительная обмотка замыкается после срабатывания реле, то этим удастся избежать замедления при срабатывании реле $9РПф$, которое нежелательно по условиям фиксации.

Поскольку реле $9РПф$ имеет замедление на возврат, то возможно, что при качаниях с малым периодом, в течение которых кратковременно срабатывают дистанционные и пусковые органы, реле $9РПф$ не успеет возвратиться, если период качаний соизмерим с временем возврата реле $9РПф$. Если бы при этом контакт $9РПф_3$ не был включен последовательно с контактом $17РПт_3$, реле времени второй зоны защиты могло доработать и произвести отключение при качаниях. Благодаря размыканию контакта $17РПт_3$ реле $17РПт$, не имеющего выдержки времени и управляемого пусковыми органами, с реле времени будет периодически сниматься постоянный ток и оно не сработает.

Реле $9РПф$ помимо рассмотренных имеет еще контакт $9РПф_4$, выведенный на свободные зажимы и предназначенный для действия второй зоны с высокочастотной блокировкой.

Защита имеет выходное реле $10РПВ$, у которого имеется пять обмоток: одна параллельная, три последовательных и одна дополнительная. Дополнительная обмотка нормально замкнута через размыкающий контакт $10РПВ_1$, она обеспечивает замедление реле на срабатывание в 0,035—0,04 с для отстройки от работы разрядников, а размыкание цепи этой обмотки контактом $10РПВ_1$ позволяет реле не иметь замедления на возврат.

Последовательные обмотки $10РПВ_I$ и $10РПВ_{II}$ включены соответственно с контактами $10РПВ_2$ и $10РПВ_3$ в цепях отключения одного и второго выключателя линии. Последовательные обмотки реле в цепях отключения обеспечивают возврат реле $10РПВ$ только после того, как разомкнется блок-контакт в цепи отключения, чем предотвращается разрыв этой цепи контактами реле $10РПВ$, на что они не рассчитаны. На свободные зажимы панели выведены контакты $10РПВ_4$ и $10РПВ_5$ (вместе с последовательной обмоткой $10РПВ_{III}$), которые предназначены для использования во время наладки или проверки защиты.

Сопротивление 22 r обеспечивает величину тока, достаточную для срабатывания указательных реле $11РУ$ (первая зона); $12РУ$ (вторая зона); $13РУ$ (третья зона) и $14РУ$ (действие защиты по цепи ускорения). В цепях отключения имеются указательные реле $15РУ$ и $16РУ$ и отключающие устройства $10У$, $20У$, которыми можно включать действие защиты на отключение без АПВ ($СОI$, $СОII$), на отключение с АПВ ($АПVI$, $АПVII$) или переводить на сигнал. Все указательные реле защиты имеют контакты, замыкающиеся при срабатывании этих реле и действующие на сигнал.

В защите предусмотрено реле ускорения $17РПу$, которое позволяет ускорять действие защиты. Питание на обмотку реле $17РПу$ подается одновременно с импульсом от схемы АПВ на включение выключателя. Для того чтобы защита успела надежно подействовать на отключение выключателя по цепям ускорения, реле $17РПу$ имеет замедление на возврат. Кроме того, для обеспечения действия защиты по цепям ускорения применяются специальные схемы включения обмотки реле $17РПу$ [Л. 4].

Реле $17РПу$ имеет четыре контакта: три замыкающих и один размыкающий.

При срабатывании реле замыкающие контакты его замыкают цепи ускорения: третьей зоны защиты — контактом $17РПу_1$, если установлена перемычка $113—125$; второй зоны защиты — контактом $17РПу_2$, если установлена перемычка $141—143$; и контактом $17РПу_3$ шунтируется обмотка реле времени $8РВ$, если установлена перемычка $124—104$, чем осуществляется быстрый возврат блокировки при качаниях после АПВ. Размыкающим контактом $17РПу_4$ при срабатывании реле снимается напряжение с реле $17РПн$, и благодаря этому дистанционные органы включаются на уставку второй зоны. Таким образом, при использовании реле ускорения к моменту включения линии от АПВ уставки дистанционных органов защиты включены на вторую зону, контакты реле времени ускоряемых ступеней защиты зашунтированы, блокировка от качаний подготовлена к повторному запуску, т. е. защита подготовлена к действию по цепям ускорения второй или третьей зон через указательное реле $14РУ$ без выдержки времени. Если реле ускорения не используется, то указанные перемычки не устанавливаются, к обмотке реле $17РПу$ не присоединяются контакты управляющих реле (отключающим устройством $3ОУ$), перемычка $167—177$ устанавливается в положение $109—177$.

Параллельно обмоткам реле $17РПт$ и $9РПф$ включены искрогасительные контуры соответственно $18С$, $20г$ и $19С$, $21г$, которые компенсируют индуктивность обмоток этих реле и облегчают этим работу контактов пусковых и дистанционных органов.

Рассмотрим далее назначение элементов и схему цепей оперативного постоянного тока блокировки от качаний. Реагирующим элементом, т. е. пусковым реле блокировки от качаний, является реле $8РП$, которое имеет два контакта: размыкающий $8ПР_1$ и замыкающий $8ПР_2$. Размыкающий контакт $8ПР_1$ при срабатывании реле $8ПР$ снимает напряжение с исполнительного реле блокировки при качаниях $8РПб$ и тем самым запускает схему блокировки. Замыкающий контакт $8ПР_2$ включен параллельно обмотке реле $8РПв$ и предназначен шунтировать ее при длительном срабатывании реле $8ПР$.

Исполнительное реле блокировки при качаниях $8РПб$ имеет девять контактов. Размыкающий контакт $8РПб_1$ находится в цепи отключения первой и второй зоны и предназначен для блокирования второй

зоны защиты. Размыкающий контакт $8РПб_2$ находится в цепи отключения первой зоны и осуществляет ее блокировку; замыкающий контакт $8РПб_3$ находится в цепи обмотки реле $8РПб$ и обеспечивает надежный возврат реле $8РПб$ в случае кратковременного размыкания контакта $8ПР_1$, например, при трехфазном к. з., когда несимметрия появляется только в первый момент к. з. и реле $8ПР$ срабатывает кратковременно.

Размыкающий контакт $8РПб_4$ включен параллельно обмотке реле $8РПв$ и предназначен при каждом пуске блокировки шунтировать обмотку этого реле и создавать этим стабильную выдержку времени на возврат у реле $8РПв$. В данной схеме при каждом пуске блокировки при качаниях, в том числе и кратковременном, например при трехфазном к. з., реле $8РПв$ будет работать в одном и том же режиме: его обмотка будет всегда шунтироваться (или контактом $8ПР_2$ и $8РПб_4$ или только контактом $8РПб_4$) и с реле также будет сниматься постоянный ток размыканием цепи его обмотки контактом $8РВ_1$.

Размыкающий контакт $8РПб_5$ находится в цепи пуска реле времени $8РВ$. Через размыкающий контакт $8РПб_6$ подается постоянный ток на пусковые и дистанционные органы (в тех защитах, в которых установлена перемычка $б$). Размыкающие контакты $8РПб_7$ и $8РПб_8$ выведены на свободные зажимы и могут использоваться при проверке защиты. Наконец, через замыкающий контакт $8РПб_8$ включена обмотка реле напряжения $8РН$. Назначение контакта $8РПб_8$ — повышать чувствительность реле минимального напряжения $8РН$ к удаленным к. з., потому что при каждом запуске блокировки при качаниях с реле $8РН$ будет кратковременно сниматься напряжение, поэтому реле будет срабатывать.

Если после замыкания контакта $8РПб_8$ напряжение на реле окажется ниже, чем напряжение возврата, то реле $8РН$ останется в сработанном положении. При отсутствии контакта $8РПб_8$ в этой цепи реле $8РН$ срабатывало бы только в том случае, если напряжение на нем при к. з. было бы ниже, чем напряжение срабатывания. Поскольку для реле $8РН$ напряжение срабатывания ниже, чем напряжение возврата, то мы имеем выигрыш в чувствительности, равный величине коэффициента возврата, который для реле минимального напряжения больше единицы.

В рабочем состоянии защиты, когда на нее подан оперативный ток и реле $8ПР$ находится в неработавшем положении, то к реле $8РПб$ нормально подведено напряжение через два последовательно включенных контакта: замыкающий $8РПб_3$ и размыкающий $8ПР_1$ (напряжение на реле было подано через контакт $8РПб_1$). Следовательно, если в сети отсутствует к. з., так как реле $8ПР$ не сработало, то реле $8РПб$ находится под напряжением и все его контакты переключены в положение, противоположное тому, которое показано в схеме на рис. 9. Контакты $8РПб_1$, $8РПб_2$ разомкнуты, чем осуществляется блокирование первой зоны реле $4РС$ и $5РС$ и второй зоны реле $5РС$ в нормальном режиме, и при качаниях контакты $8РПб_4$ и $8РПб_5$ разомкнуты, следовательно, обмотка реле $9РПв$ не зашунтирована и реле времени $8РВ$ не запущено. Контакт $8РПб_6$ также разомкнут и через него на пусковые и дистанционные органы не подается напряжение (в защитах с установленной перемычкой б), $8РПб_3$ и $8РПб_8$ (рис. 21—24) замкнуты и через них обмотки реле $8РПб$ и $8РН$ включены под напряжение.

Прежде чем перейти к рассмотрению двух оставшихся реле блокировки при качаниях $8РПв$ и $8РВ$, следует остановиться на принципах блокирования, положенных в основу схемы. Эти принципы кратко сводятся к следующим двум положениям: во-первых, в случае к. з. на защищаемой линии разрешить действовать защите по цепям, заведенным через блокировку, но это разрешение дается на ограниченное, минимально необходимое время, так называемое время ввода защиты, которое должно быть достаточно для срабатывания защиты как в первой зоне, так и для фиксации действия дистанционного органа $5РС$ при к. з. во второй зоне. Наличие фиксации (контактом $9РПф_1$) сокращает время ввода, на которое должно замыкать блокируемые цепи реле $8РПб$. Очевидно, что чем меньше время ввода защиты блокировкой, тем меньшая вероятность неправильного действия защиты в случае совпадения по каким-либо причинам качания на защищаемой линии и к. з. на участке, не входящем в зону защиты. Поэтому всегда стремятся снизить время ввода защиты блокировкой.

Реле, создающим время ввода защиты в работу, является реле $8РПв$. Оно создает это время при работе на возврат. Рассмотрим далее такое положение: в защи-

щаемой сети произошло к. з., причем необязательно на защищаемых участках рассматриваемой защиты. На это к. з. запустились блокировки всех защит, у которых хватило чувствительности, и ввели в работу блокируемые цепи на заданное ограниченное время, по истечении которого контакты блокировок $8РПб_1$ и $8РПб_2$ в этих цепях разомкнулись и защиты оказались опять заблокированными. Можно ли сразу после этого разрешить реле $8ПР$ блокировки вновь осуществлять запуск схемы и вводить блокируемые цепи в работу? Это, оказывается, зависит от того, как ликвидировалось к. з. в сети.

Допустим, в сети было трехфазное к. з., которое было быстро отключено, например, дистанционными защитами с обеих сторон линии по цепям первых зон. В этом случае в сети вследствие быстрой ликвидации к. з. качания не возникли и поэтому можно было сразу разрешить действовать реле $8ПР$ на запуск блокировки. Тогда в случае повторного к. з., но уже на защищаемой линии, наша защита могла бы сработать по цепям первой или второй зоны и быстро отключить к. з. Такая возможность работы блокировки называется быстрой готовностью к повторному запуску или действию. Однако это не всегда допустимо. Например, пусть в защищаемой сети, но на незащищаемых участках рассматриваемой дистанционной защиты произошло трехфазное к. з., причем это тяжелое для сети к. з. по каким-либо причинам отключалось медленно, резервными защитами, с большими выдержками времени. При возникновении такого трехфазного к. з. запустились блокировки от качаний, ввели кратковременно блокируемые цепи защит в работу, а по истечении заданного времени вывели их из работы. Тем временем к. з. в сети продолжается, защита на поврежденном участке набирает время.

Пока к. з. продолжается, нарушилась устойчивость работы этой части сети и в ней возникли качания, в результате которых периодически срабатывают реле $5РС$ и $1РС—3РС$. Защита поврежденного участка, наконец, срабатывает и отключает к. з. от остальной сети, в которой развились качания. Если наша защита имеет быструю готовность блокировки к повторному запуску, то в момент отключения трехфазного к. з. из-за кратковременной несимметрии блокировка вновь введет блокируемые цепи в работу и защита при этом может сработать неправильно вследствие имеющихся качаний. В этом

случае быстрая готовность блокировки к повторному запуску, конечно, недопустима и целесообразно осуществлять готовность блокировки к запуску через выдержку времени, которая была бы больше, чем время отключения к. з. в прилегающей сети, тогда можно будет избежать возможных случаев работы защиты из-за качаний, аналогичных рассмотренному. Следовательно, второе условие, положенное в принцип действия блокировки, — это выдержка времени, по истечении которой блокировка может быть запущена повторно. Это время еще называют временем возврата или временем деблокировки, оно создается реле времени $8РВ$.

Продолжим теперь рассмотрение реле $8РПв$ и $8РВ$. Реле $8РПв$ в защитах с установленной перемычкой $б$ имеет пять размыкающих контактов: $8РПв_1$, которым можно подавать напряжение на реле $8РПб$ и шунтировать контакты $8ПР_1$ и $8РПб_3$; $8РПв_2$, через который подается напряжение постоянного тока на дистанционные и пусковые органы защиты; $8РПв_3$ включен параллельно контакту $8РПб_6$ и выведен для нужд эксплуатации на свободные зажимы панели; $8РПв_4$, который включает сопротивление параллельно рабочей обмотке реле $8ПР$ (в схемах рис. 23—24) и этим повышает коэффициент возврата реле $8ПР$; $8РПв_5$, который шунтирует тормозную обмотку реле $8ПР$ (рис. 23—24), чем предотвращается возврат реле $8ПР$ в момент замыкания контактом $8ПРв_4$ шунтирующей цепи рабочей обмотки реле $8ПР$.

В защитах с установленной перемычкой $а$ у реле $8РПв$ используются три контакта: размыкающий $8РПв_1$ в цепи обмотки реле $8РПб$; размыкающий $8РПв_2$, который выведен на свободные зажимы, и замыкающий контакт $8РПв_3$, шунтирующий сопротивление в цепи обмотки реле $8ПР$ и повышающий коэффициент возврата этого реле (рис. 21—22). Обмотка реле $8РПв$ в нормальном режиме работы защиты при отсутствии к. з. находится под напряжением, так как контакт $8РВ_1$ замкнут, поэтому контакты этого реле, так же как и реле $8РПб$, находятся в положении, противоположном тому, которое показано на схемах, а именно $8РПв_1$; $8РПв_2$; $8РПв_3$ (рис. 9), $8РПв_4$; $8РПв_5$ (рис. 23, 24) разомкнуты, а контакт $8РПв_3$ (рис. 21, 22) замкнут. Поэтому обмотка реле $8РПб$ не зашунтирована контактом $8РПв_1$ и может управляться контактом $8ПР_1$, в защитах с установлен-

ной перемычкой $б$ контакт $8РПв_2$ разомкнут ($8РПб_6$ также разомкнут), поэтому в этих защитах с пусковых и дистанционных органов нормально снят постоянный ток.

Реле времени $8РВ$ имеет три контакта: мгновенный размыкающий $8РВ_1$ в цепи обмотки реле $8РПв$, мгновенный замыкающий $8РВ_2$ в цепи своей обмотки, служит для самоудерживания реле после размыкания контакта $8РПб_5$. Сопротивления $8r_4$ и $8r_5$ обеспечивают термическую устойчивость обмотки реле $8РВ$, а сопротивление $8r_4$ допускает шунтирование обмотки реле $8РВ$ (с сопротивлением $8r_5$).

Если с панели защиты был снят постоянный ток, то контакты всех реле, в том числе и блокировки при качаниях, находятся в положении, показанном на рис. 9. При включении защиты под напряжение оперативного постоянного тока сработает и останется в сработанном положении реле $17РПн$, все контакты этого реле переключатся, т. е. замыкающие замкнутся, а размыкающие разомкнутся, реле $4РС$ и $5РС$ будут включены на уставку первой зоны, цепь отключения первой зоны будет замкнута контактом $17РПн_1$.

При включении постоянного тока схема блокировки работает следующим образом. Через контакт $8РПб_5$ запускается и самоудерживается контактом $8РВ_2$ реле времени $8РВ$, контакт $8РВ_1$ размыкается. Срабатывает реле $8РПб$ через контакт $8РПв_1$, переключает все свои контакты, размыкая размыкающие и замыкая замыкающие и остается в сработанном положении, при этом замкнута цепь самоудерживания контактом $8РПб_3$. Когда реле времени доработает, оно замкнет контакт $8РВ_3$ и зашунтирует свою обмотку, при этом его контакт $8РВ_2$ разомкнется, а контакт $8РВ_1$ замкнется и подаст напряжение на обмотку реле $8РПв$ (контакт $8РПв_3$ уже разомкнут), реле $8РПв$ сработает и разомкнет все свои размыкающие контакты (в защитах с установленной перемычкой $б$), а в защитах с установленной перемычкой $а$ еще дополнительно замкнет контакт $8РПв_3$ в цепи обмотки реле $8ПР$ (рис. 21, 22). Теперь схема защиты находится в рабочем состоянии и готова к действию.

Рассмотрим сначала, как работает блокировка от качаний. При возникновении к. з. любого вида появляется несимметрия на входе фильтров блокировки при качаниях и срабатывает на все время к. з. или кратковременно (при трехфазном к. з.) пусковое реле блокировки

8ПР. Контакт $8ПР_1$ размыкается и снимает напряжение с реле $8РПб$, реле $8РПб$ возвращается и переключает свои контакты в положение, указанное на рис. 9. При кратковременном размыкании контакта $8ПР_1$ успевает разомкнуться контакт $8РПб_3$ и снять напряжение с реле $8РПб$. Далее шунтируется обмотка реле $8РПв$, запускается и самоудерживается реле $8РВ$, размыкается цепь обмотки $8РПв$. Реле $8РПв$ имеет выдержку времени на возврат примерно 0,35 с (если отключено сопротивление $17r$) и через это время оно возвращается и переключает свои контакты в положение, указанное на рис. 9, при этом контактом $8РПв_1$ подается вновь напряжение на обмотку реле $8РПб$, контактом $8РПв_2$ шунтируется контакт $8РПб_6$. Реле $8РПб$ срабатывает и остается в сработанном положении. Его все контакты переключаются, цепи блокируемых ступеней защиты размыкаются (контактами $8РПб_1$, $8РПб_2$), размыкание контакта $8РПб_6$ теперь не опасно, так как он уже зашунтирован контактом $8РПв_2$. В результате этого блокируемые цепи защиты были введены в работу только на заданное время, в нашем случае равное 0,35 с.

Повторный запуск блокировки, а следовательно, и повторное замыкание блокируемых цепей может произойти только после размыкания контакта $8РПв_1$, т. е. после того, как возвратится реле времени $8РВ$ в начальное положение. При этом контакт $8РВ_1$ подает напряжение на обмотку реле $8РПв$, оно сработает и разомкнет свой контакт $8РПв_1$, после чего реле $8РПб$ сможет вновь управляться контактом $8ПР_1$ пускового реле блокировки.

Если переключки 124—104 или 126—104 не установлены, т. е. не используется быстрый возврат блокировки от реле ускорения $17РПу$ или от реле $8РН$, то возврат реле времени $8РВ$ произойдет только после истечения заданной на нем выдержки времени. Эта выдержка времени отстраивается от времени действия резервных защит в прилегающей сети и составляет примерно 5—7 с. После возврата реле времени и срабатывания реле $8РПв$ его контакт $8РПв_2$ разомкнется (контакт $8РПб_6$ разомкнулся раньше) и снимет постоянный ток с пусковых и дистанционных органов. Если защита выполнена с рассмотренным постоянным временем деблокировки (например, 5—7 с), то ее блокируемые ступени выведены из работы на все время от того момента, когда разомк-

нутся контакты $8РПб_1$ и $8РПб_2$ в этих цепях и до деблокировки реле $8РВ$. Если в этот промежуток времени произойдет междофазное к. з. на защищаемой линии, то оно может быть отключено только третьей зоной защиты, которая не заведена под блокировку. Однако и здесь может быть не все благополучно.

Пусть третья зона защиты имеет выдержку времени 3 с, а за 2 с, например, до того как истечет время на реле $8РВ$, происходит трехфазное к. з. на защищаемой линии, на которое сработали пусковые реле $1РС—3РС$ и реле времени $7РВ$ набирает время. Пусковое реле блокировки $8ПР$ при этом в первый момент к. з. разомкнет кратковременно свой контакт $8ПР_1$, но так как это произошло за 2 с до размыкания контакта $8РПв_1$, то к моменту размыкания контакта $8РПв_1$ контакт $8ПР_1$ будет вновь замкнут, следовательно, реле $8РПб$ останется под напряжением. При срабатывании реле $8РПв$ и размыкании его контакта $8РПв_2$ будет снят постоянный ток с дистанционных ($4РС$ и $5РС$) пусковых реле ($1РС—3РС$), поэтому реле времени $7РВ$ возвратится в начальное положение, так как к этому моменту истекло только 2 с и, следовательно, это к. з. не будет отключено защитой. Для того чтобы предотвратить подобный отказ в защитах с установленной переключкой $б$ включи контакт реле $17РПт_2$, который замыкается при срабатывании пусковых органов и обеспечивает срабатывание защиты в случаях, подобных рассмотренному.

Заканчивая рассмотрение всех элементов цепей оперативного постоянного тока защиты на рис. 9, следует отметить, что в некоторых модификациях защит ПЗ-159 имеются небольшие непринципиальные отличия, которые не могут быть приведены на одной схеме, и поэтому мы на них не останавливаемся.

РАБОТА ЗАЩИТЫ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Познакомившись с назначением всех элементов защиты, работой блокировки при качаниях и блокировки при повреждениях в цепях напряжения, рассмотрим работу защиты при двухфазных и трехфазных к. з., происшедших в различных зонах действия дистанционной защиты, а также поведение защиты в других режимах. Действие защиты при двухфазных и трехфазных к. з. в первой и второй зонах имеет различие в том, что при

двухфазных к. з. (при этом имеются в виду и двухфазные к. з. на землю) работает реле *4PC*, а при трехфазных к. з. реле *5PC*. При двухфазных к. з. между фазами *CA* будет работать также и реле *5PC*, которое, таким образом, будет дублировать работу реле *4PC* при к. з. на этих фазах, поэтому ниже это каждый раз не оговаривается.

Двухфазное к. з. в первой зоне. В нормальном режиме работы защиты цепи дистанционных органов включены на уставку первой зоны, первая и вторая зоны защиты заведены под блокировку, поэтому одновременно с запуском блокировки при качаниях срабатывает реле *4PC*, на его контакт подается постоянный ток (через контакт *8РПб₆*), далее замыкается контакт *4PC*, контакт *8РПб₂* уже замкнут, через еще замкнутый контакт *17РПн₁* и его последовательную обмотку, сигнальное реле *11РУ* проходит импульс на выходное реле *10РПВ*. Реле *10РПВ* срабатывает, замыкает контакт в цепи отключения (*10РПВ₂*), самоудерживается через свою последовательную обмотку до отключения выключателя.

Одновременно с работой дистанционного органа *4PC* работает одно из пусковых реле (а при трехфазном к. з. все три реле), однако для ускорения работы защиты в первой зоне защита работает помимо пусковых органов.

Двухфазное к. з. во второй зоне. При возникновении к. з. запускается блокировка при качаниях и подготавливает все свои цепи в защитах с установленной перемычкой *б*. В защитах с установленной перемычкой *а* постоянный ток подается помимо блокировки при качаниях. Срабатывает одно из пусковых реле и подает напряжение на реле *17РПт*, которое, сработав, контактом *17РПт₁* снимает напряжение с реле *17РПн*, контактом *17РПт₂* шунтирует контакты блокировки при качаниях (в защитах с установленной перемычкой *б*), контактом *17РПт₃* запускает реле времени третьей ступени *7РВ*.

По истечении выдержки времени на возврат реле *17РПн* переключает свои контакты в положение, указанное на схемах рис. 6 и 9, чем дистанционные органы *4PC* и *5PC* включаются на уставку второй зоны (рис. 6) и контактом *17РПн₁* размыкается цепь отключения первой зоны (рис. 9). После включения реле *4PC* на уставку второй зоны замыкается контакт этого реле и оно дает импульс на обмотку реле *9РПф*, которое срабаты-

вает и замыкает все свои контакты: *9РПф₁* — в цепи отключения первой и второй зон от реле *5PC*, при двухфазном к. з. между фазами *AB* и *BC* эта цепь не используется, так как реле *5PC* не работает; *9РПф₂* — в цепи фиксации мгновенного замера, эта цепь используется, если установлена перемычка *113—129*; *9РПф₃* — в цепи пуска реле времени *6РВ* второй ступени защиты. Когда истечет выдержка времени реле *6РВ*, оно замкнет свой контакт и защита подействует на отключение по цепи второй зоны через сигнальное реле *12РУ* и выходное реле *10РПВ*. Как видим из рассмотрения работы защиты при двухфазных к. з., во второй зоне цепи реле *4PC* не проходят через контакты реле *8РПб₁* или *8РПб₂* блокировки при качаниях, следовательно, вторая зона при двухфазных к. з. (от реле *4PC*) при качаниях не блокируется.

Трехфазное к. з. в первой зоне. При трехфазном к. з. в первой зоне запускается блокировка при качаниях и подготавливает свои цепи. Срабатывает дистанционное реле *5PC* и все пусковые реле, которые не принимают участия в отключении к. з. в первой зоне. После замыкания контакта реле *5PC* происходит отключение по цепи первой зоны через контакты *8РПб₁*, *8РПб₂*, *17РПн₁*, указательное реле *11РУ*, срабатывает реле *10РПВ* и отключает выключатель.

Трехфазное к. з. во второй зоне. При возникновении трехфазного к. з. во второй зоне запускается блокировка при качаниях, которая подготавливает все свои цепи, срабатывают все три пусковых органа и производят все операции, как и при двухфазном к. з. во второй зоне. После переключения уставки на вторую зону срабатывает реле *5PC* и через контакт *8РПб₁* подает напряжение на обмотку реле *9РПф*, которое срабатывает и замыкает все свои контакты, осуществляя ранее рассмотренные действия. Контакт *9РПф₁* шунтирует контакт *8РПб₁*, который после этого может размыкаться, так как факт работы реле *8РПб* (запуска блокировки) теперь зафиксирован срабатыванием и самоудерживанием реле *9РПф*. Следовательно, для того чтобы осуществить фиксацию действия реле *8РПб*, его контакт *8РПб₁* должен находиться в замкнутом положении в течение времени, большего суммы времени срабатывания реле *1PC—3PC*, срабатывания реле *17РПт*, возврата реле *17РПн*, срабатывания реле *5PC* и, наконец, срабатывания реле *9РПф*.

Из этой суммы примерно половина времени падает на время возврата реле *17РПн*, которое при обычно отключенном сопротивлении *17г* имеет время 0,15 с, поэтому в этом случае время возврата реле *8РПв*, управляющего срабатыванием реле *8РПб*, принимается равным примерно 0,35 с. В случае использования сопротивления *17г* время возврата реле *17РПн* составит 0,25—0,3 с, тогда время возврата реле *8РПв* устанавливается примерно 0,5 с.

Двухфазные и трехфазные к. з. в третьей зоне. При междуфазных к. з. в третьей зоне сработает одно (двухфазное к. з.) или все три (трехфазное к. з.) пусковых реле. Для работы защиты с установленной перемычкой *б* необходим запуск блокировки при качаниях для создания цепи постоянного тока на контакты пусковых органов. Следовательно, в этих типах защиты чувствительность пусковых реле блокировки при качаниях должна обеспечивать действие защиты в пределах третьей зоны. Пусковые реле *1РС*, *2РС* или *3РС*, сработав, запускают реле времени *7РВ*, которое после замыкания своего контакта создает цепь на отключение через указательное реле *13РУ* и реле *10РПВ*.

Работа защиты при неуспехом АПВ. На линиях, оборудованных автоматическим повторным включением (АПВ), обычно используется реле ускорения *17РУ*, для того чтобы ускорить отключение неустранившихся к. з. на защищаемой линии. Если вторая зона защиты имеет достаточный коэффициент надежности при к. з. в конце линии, например, больше 1,25, то в этих случаях устанавливается перемычка *141—143*, чем после АПВ ускоряется вторая зона, так как шунтируется контакт реле *6РВ*. Если чувствительность второй зоны меньше указанной величины, то устанавливается перемычка *113—125* и тогда контактом *17РПу₄* будет шунтироваться контакт *7РВ*, т. е. будет ускоряться третья зона. При использовании ускорения включается также перемычка *124—104*, что обеспечивает быстрый возврат блокировки при качаниях к моменту включения линии от АПВ и готовность ее к повторному запуску в случае неуспехом АПВ. Если ускоряется вторая зона защиты, то перед включением линии контактом *17РПу₄* размыкается цепь обмотки реле *17РПн* и дистанционные реле *4РС* и *5РС* к моменту включения выключателя переключаются на уставки второй зоны. Если ускоряется третья зона, то контакт *17РПу₄* шунтируется перемычкой *109—177*. Следова-

тельно, при включении линии от АПВ на неустранившемся к. з. на защищаемой линии защита будет действовать на отключение с временем первой зоны, т. е. без выдержки времени, чем будет обеспечено быстрое отключение к. з., так как для этого соответствующие цепи защиты подготовлены реле ускорения *17РПу*. При действии по цепи отключения срабатывает сигнальное реле *14РУ*.

Работа защиты при повторном к. з. Выше было рассмотрено, что вслед за к. з., происшедшим в прилегающей сети, но за пределами уставок защиты и приведшим к запуску блокировки при качаниях, возможно к. з. на защищаемой линии или в пределах действия рассматриваемой защиты особенно во время грозовой деятельности. Вначале рассмотрим защиту, в которой не установлена перемычка *126—104*, т. е. ускоренный возврат блокировки при качаниях после отключения к. з. от реле *8РН* не производится. Если на линии, оборудованной такой защитой, произойдет повторное к. з., после того как разомкнутся контакты реле *8РПб* в блокируемых цепях, то отключат к. з. пусковые реле *1РС—3РС* с временем третьей зоны.

Если в защите используется ускоренный возврат блокировки при отключении к. з., то устанавливается перемычка *126—104*. В этом случае после отключения первого к. з. в сети, например, вне пределов работы рассматриваемой защиты после восстановления напряжения на зажимах защиты срабатывает реле *8РН* и контакт *8РН₁* шунтирует обмотку реле времени *8РВ*. Блокировка возвратится в состояние готовности к повторному действию. Следовательно, в этом случае защита будет отключать повторное к. з. на защищаемой линии по цепи как первой, так и второй зоны, заведенных под блокировку при качаниях, т. е. будет обеспечиваться полноценная защита линии. Быстрый возврат блокировки при отключении к. з. не всегда применим, так как его использование ограничено, например, чувствительностью реле *8РН* к трехфазным к. з.

Повреждения в цепях напряжения защиты. При повреждении одной или двух фаз цепей напряжения защиты срабатывают блокировки от повреждений в цепях напряжения, и в защитах с установленной перемычкой *а* снимается постоянный ток с контактов пусковых и дистанционных органов размыканием контакта *23РНб₁*,

этим предотвращается неправильная работа защиты. Контакт $23РНб_2$ подается сигнал о неисправности защиты.

Следует отметить, что блокировки от повреждения в цепях напряжения типов КРБ-11 и КРБ-12 не работают при одновременном снятии всех трех фаз цепей напряжения с защиты, например, при ошибочном отключении трансформатора напряжения с первичной стороны. Такое отключенное приводит в защитах с установленной перемычкой a к срабатыванию защиты и ложному отключению линии. Поэтому в энергосистемах дополнительно устанавливаются блокировки, через которые подводится постоянный ток к пусковым и дистанционным органам, например токовые реле в двух фазах и др. Контакты этой блокировки включаются последовательно с контактами блокировки, включаемой перемычкой a (на рис. 9 и 11 не указаны).

В защитах с установленной перемычкой b нормально постоянный ток на контакты пусковых и дистанционных органов не подан, так как контакты $8РПб_6$ и $8РПв_2$ разомкнуты, при повреждениях в цепях напряжения эти контакты не замыкаются и поэтому защита в момент повреждения цепей напряжения не работает, поэтому реле $23РНб$ в этих защитах действует на сигнал. Получив такой сигнал о неисправности цепей напряжения, персонал должен немедленно принять меры к ее ликвидации и восстановлению этих цепей, так как при любом к. з. в прилегающей сети, на которое запустится блокировка при качаниях, замкнутся контакты $8РПб_6$ и $8РПв_2$ и защита может неправильно сработать на отключение линии.

Поведение защиты при длительном появлении несимметрии в цепях напряжения или тока. В условиях эксплуатации могут иметь место режимы, при которых появляется длительно несимметрия в цепях тока или напряжения, например, ошибочное шунтирование одной или двух фаз тока защиты; повреждение в цепях напряжения, которое невозможно быстро восстановить и которое привело к несимметрии. В этих случаях будет длительно находиться в сработании положении пусковое реле блокировки $8РР$ (включенное соответственно в цепи тока или напряжения). Следовательно, контакт $8РР_1$ будет длительно разомкнут, а контакт $8РР_2$ — замкнут (рис. 9).

При возникновении такого режима несимметрии блокировка от качаний запустится 1 раз, реле времени $8РВ$ наберет время, деблокируется, однако повторного запуска реле времени не произойдет, хотя несимметрия осталась и контакт $8РР_1$ разомкнут. На реле $8РПб$ будет подано напряжение через контакт $8РПв_1$. Контакт $8РПв_1$ остается замкнутым, несмотря на то, что замкнулся контакт $8РВ_1$ и подал напряжение в цепь обмотки $8РПв$. Однако обмотка реле $8РПв$ зашунтирована контактом $8РР_2$. Если бы в этой цепи не было контакта $8РР_2$, то реле времени после дорабатывания и деблокировки вновь запускалось бы контактом $8РПв_1$ при срабатывании реле $8РПв$ и обесточении им реле $8РПб$. Это — основное назначение контакта $8РР_2$.

В защите ПЗ-159 предусмотрена возможность использования контакта реле $8РР_2$ отдельно от схемы дистанционной защиты, например, как пускового реле чувствительной защиты обратной последовательности. Это можно осуществить, если снять перемычку между жабками 142—144, а с зажимом панели 144 соединить цепь упомянутой защиты (рис. 9). Для выполнения функции контакта $8РР_2$ в схему блокировки должен быть включен контакт реле-повторителя, управляемого контактом $8РР_2$.

СХЕМА ЦЕПЕЙ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА ЗАЩИТЫ ПЗ-157

Схема цепей оперативного постоянного тока защиты ПЗ-157, имеющая некоторые отличия от схемы защиты ПЗ-159, приведена на рис. 11. Так как схема блокировки при качаниях защиты ПЗ-157 аналогична рассмотренной, то она не показана на рис. 11. Цепи постоянного тока пусковых и дистанционных органов и управляемых ими реле контролируются размыкающим контактом $17РН_1$ блокировки от повреждений в цепях напряжения типа КРБ-11. Назначение и функции реле $16РПт$, $16РПп$ и $16РПу$ аналогичны соответственно реле $17РПт$, $17РПп$ и $17РПу$ защиты ПЗ-159. Схема рис. 11 отличается от рассмотренной схемы рис. 9 следующим: реле $16РПу$ не имеет размыкающего контакта в цепи обмотки реле $16РПп$. Контакт $9РПф_1$, управляющий реле времени второй зоны, включен помимо замыкающего контакта реле $16РПу$. Реле $9РПф$ не имеет замедления при возврате и поэтому для предотвращения сброса защитой выдерж-

гой, расположенной на магнитопроводе и состоящей из четырех катушек. Схемы реле приведены на рис. 12—14.

Обмотки, расположенные на полюсах, создают в магнитопроводе поток, пересекающий сердечник и барабанчик, находящийся в зазоре между магнитопроводом и сердечником в горизонтальном направлении. Эти обмотки заводами обозначаются PC_n , т. е. расположенные на полюсах. Обмотки реле, расположенные на магнитопроводе (заводское обозначение PC_a , т. е. расположенные на ярме), создают магнитный поток, пересекающий сердечник и барабанчик в вертикальном направлении; для этого каждая пара катушек, расположенная на верхнем или нижнем магнитопроводе реле, соединена между собой встречно. Эти пары катушек соединены между собой так, что при прохождении тока через обмотку верхняя пара катушек создает потоки, направленные от сторон магнитопровода к вертикальному полюсу, а нижняя пара катушек — от вертикального полюса к краям магнитопровода.

Рассматриваемые реле сопротивления КРС-132, КРС-131 и КРС-121 выполнены таким образом, что при отсутствии повреждения в защищаемой этими реле зоне через горизонтальные и вертикальные полюсы магнитной системы реле проходят потоки в указанных на схемах рис. 12—14 направлениях. Эти потоки имеют такой сдвиг по фазе между собой, что барабанчик реле получает момент вращения по часовой стрелке, если смотреть на реле сверху, т. е. в этом случае реле имеет заклинивающий момент. Для того чтобы реле сработало, необходимо изменить направление одного из токов на противоположное или изменить угол между потоками. Это вытекает из выражения для момента индукционного реле:

$$M_{вр} = k\Phi_1\Phi_2 \sin\alpha,$$

где Φ_1 и Φ_2 — потоки через полюсы индукционной системы; α — угол между потоками.

Принцип действия и устройство реле КРС-132 и КРС-131 подробно изложены в [Л. 1] и поэтому здесь приводятся только основные сведения об этих реле. Как указывалось выше, реле имеют одинаковый принцип действия и небольшие конструктивные отличия. Реле имеют поляризирующую ω_n и рабочую ω_p обмотки. В цепь поляризирующей обмотки кроме четырех катушек обмотки ω_n входят конденсатор C_2 и дроссель D .

Назначение конденсатора C_2 заключается в следующем (рис. 12, 13): во-первых, он создает совместно с индуктивностью обмотки ω_n и дросселя D необходимый угол полного сопротивления поляризирующей цепи, величина его подобрана так, что суммарное сопротивление этой цепи имеет небольшой емкостный характер, поэтому ток в поляризирующей цепи опережает напряжение на угол 4—7°. Во-вторых, конденсатор C_2 совместно с индуктивностью обмотки ω_n и дросселя D создает электрический резонансный колебательный контур, благодаря которому при исчезновении напряжения на зажимах поляризирующей цепи ток не исчезает мгновенно, а еще некоторое время продолжает проходить по колебательному контуру, уменьшаясь с каждым периодом в 2—2,5 раза, но сохраняя при этом ту же фазу, какую бы он имел при наличии напряжения.

Дроссель D введен в поляризирующую цепь только для того, чтобы увеличить индуктивность колебательного контура этой цепи, благодаря чему снижена доля активного сопротивления контура поляризирующей цепи и, следовательно, снижена величина затухания тока в рассмотренном выше колебательном процессе при исчезновении напряжения; таким образом, при наличии дросселя повышена добротность колебательного контура поляризирующей цепи, который настроен на резонанс напряжения.

Создание колебательного контура позволяет устранить «мертвую зону» реле сопротивления при трехфазных к. з. у шин подстанции, где установлена защита, когда напряжение на реле снижается до нуля.

Сопротивление r_4 позволяет устранить «мертвую зону» реле при двухфазных к. з. [Л. 1], когда напряжение на двух поврежденных фазах снижается до нуля. Цепь поляризирующей обмотки включается на величину полного значения линейного напряжения тех фаз, для защиты от к. з. на которых предназначено реле. В цепи поляризирующей обмотки проходит ток, пропорциональный напряжению U_p .

Цепь рабочей обмотки ω_p имеет два источника напряжения, создающих в рабочей обмотке ток: автотрансформатор напряжения T_u и трансформатор с воздушным зазором, так называемый трансреактор T_x . Трансреактор T_x представляет собой трансформатор с двумя первичными обмотками и одной вторичной, напряжение на его вторичной обмотке пропорционально геометрической

разности токов в первичных. Если к одной обмотке реле *IPC*, например, подводится ток I_A (к зажиму 16), ко второй — ток I_B (к зажиму 14), то геометрическую разность этих токов $I_A - I_B$ можно заменить одним эквивалентным током в реле $I_p = I_A - I_B$. Таким образом, напряжение на вторичной обмотке будет пропорционально току I_p . Параллельно части витков вторичной обмотки трансреактора *Tx* включено сопротивление r_2 , которое обеспечивает необходимый сдвиг по фазе вторичного напряжения трансреактора относительно первичного тока I_p .

Напряжение, подводимое к рабочей обмотке от автотрансформатора *Tu*, пропорционально напряжению $U_{AB} = U_p$, его величина определяется отпайкой на автотрансформаторе *Tu*. Установкой необходимой отпайки на автотрансформаторе *Tu* осуществляется регулировка заданной установки срабатывания реле сопротивления КРС-132.

Цепь рабочей обмотки выполнена таким образом, что ток $I_{p,рез}$, проходящий в рабочей обмотке ω_p , пропорционален разности между напряжением U_p и напряжением I_{pz_y} , создаваемым на вторичной обмотке трансреактора *Tx*, т. е. для реле *IPC* (рис. 12):

$$I_{p,рез} = U_p - I_{pz_y}$$

где $U_p = U_{AB}$; $I_p = I_A - I_B$ — напряжение и ток, подведенные к реле; z_y — уставка срабатывания реле.

При отсутствии повреждения в зоне действия реле, например, при холостом ходе защищаемой линии напряжение U_p на зажимах реле имеет большое значение, составляющая же от тока I_{pz_y} будет равна нулю, так как ток равен нулю, поэтому результирующий ток в рабочей обмотке обусловлен напряжением U_p , при этом поток Φ_p (рис. 12 или 13), взаимодействуя с поляризующим потоком Φ_ψ , создает на реле момент на размыкание контактов. При повреждении в зоне действия реле напряжение U_p становится меньше, чем составляющая от тока I_{pz_y} , поэтому результирующий ток в рабочей обмотке изменяет свое направление на 180° , в результате чего на реле заклинивающий момент изменяется на срабатывающий и реле замыкает контакты.

При разработке реле было установлено, что изменение тока в рабочей обмотке должно происходить с опре-

деленной скоростью, во много раз большей, чем изменение тока в поляризующей обмотке, при этом изменение фазы тока в рабочей обмотке должно не выходить за определенные пределы, тогда будет обеспечено правильное действие реле. Для обеспечения этого условия в цепь рабочей обмотки введены: сопротивления r_1 , r_2 и конденсатор C_1 , который подключен параллельно обмотке ω_p . Параллельно включенные обмотка ω_p и конденсатор C_1 создают колебательный контур, в котором происходит затухание тока с необходимой скоростью и фазой, что обеспечивает правильное действие реле при резких изменениях режима работы реле, например одновременного снижения напряжения U_p и увеличения тока I_p .

В цепи рабочей обмотки имеется накладка, нормально включенная между зажимами 8—10. Эта накладка предусмотрена для проверки под нагрузкой правильности включения направления реле сопротивления КРС-131 и КРС-132. Для проверки правильности включения реле накладка отсоединяется от зажима 8 и присоединяется к зажиму 12, при этом зажим 10 соединяется с зажимом 12, чем из цепи рабочей обмотки реле исключается составляющая напряжения, созданная U_p , и остается только составляющая напряжения от тока I_p . Благодаря этому ток в рабочей обмотке будет пропорционален току в реле I_p , а ток в поляризующей обмотке — пропорционален U_p . Таким образом, мы получили реле, в одной обмотке которого ток пропорционален I_p , а в другой U_p , т. е. реле сопротивления превратилось в реле направления мощности. При этом оказывается, что угол максимальной чувствительности реле сопротивления близок к углу максимальной чувствительности реле направления мощности. Необходимость такой проверки реле сопротивления под нагрузкой вызвана тем, что, как известно, при токах нагрузки реле сопротивления держит контакты разомкнутыми независимо от направления мощности, так как сопротивление, подводимое к зажимам реле в режиме нагрузки, больше, чем сопротивление срабатывания реле. Перевод реле сопротивления в режим реле направления мощности позволяет получить четкую картину поведения реле при данном направлении мощности. Сопоставив ее с тем поведением, которое должно иметь реле сопротивления при том же направлении мощности к. з., имеем возможность оценить правильность включения реле.

Схема реле КРС-131, приведенная на рис. 13, отличается от схемы КРС-132 следующим: в трансреакторе T_x имеется возможность изменять число витков первичных обмоток. Это позволяет получить нижние пределы уставок сопротивления срабатывания в 8 раз меньше по сравнению с реле КРС-132. В автотрансформаторе на-

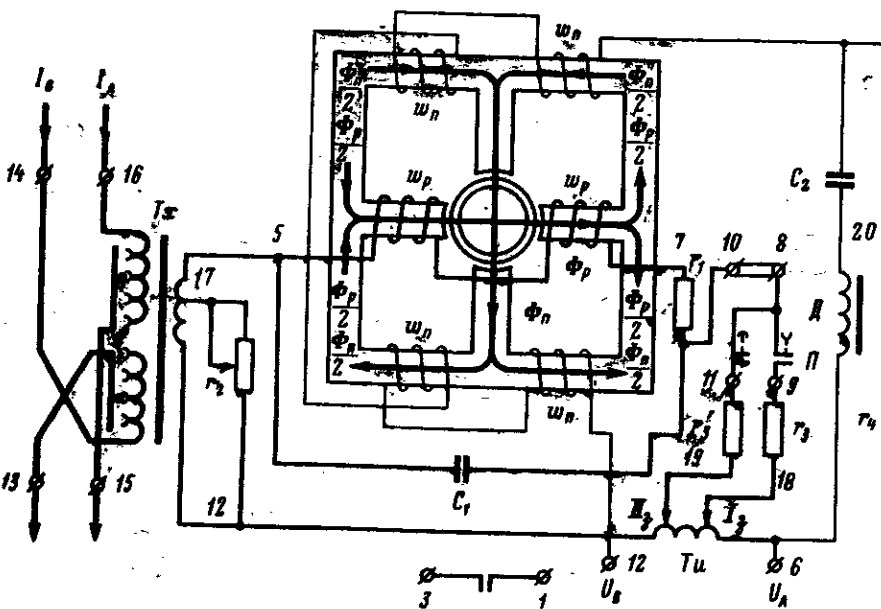


Рис. 13. Схема дистанционного реле КРС-131 5PC.

пряжения T_u выполнено две отпайки: для регулировки уставок первой зоны (I_3) и для регулирования уставок второй зоны (II_3). Подключение отпайки I_3 или II_3 к обмотке реле выполняется через контакты промежуточного реле Π (17PПн на рис. 6 и 16PПн на схеме рис. 11), положение контактов соответствует обесточенной обмотке реле Π (рис. 13), контакты реле Π осуществляют переключение без разрыва цепи, поэтому в эти цепи включены сопротивления r_3 и r'_3 , предотвращающие к. з. в цепи T_u .

Схема реле КРС-121 приведена на рис. 14. Обмотка w_1 включена на токи и напряжения фаз A и B , обмотка w_2 на токи и напряжения фаз B и C и по аналогии с выражениями для рабочих обмоток реле КРС-132 или КРС-131 мы можем записать, что в обмотках w_1 и w_2

реле 4PC протекают соответственно токи I_1 и I_2 , которые пропорциональны выражениям

$$I_1 \equiv \dot{U}_1 = \dot{U}_{AB} - (I_A - I_B) Z_Y;$$

$$I_2 \equiv \dot{U}_2 = \dot{U}_{CB} - (I_C - I_B) Z_Y.$$

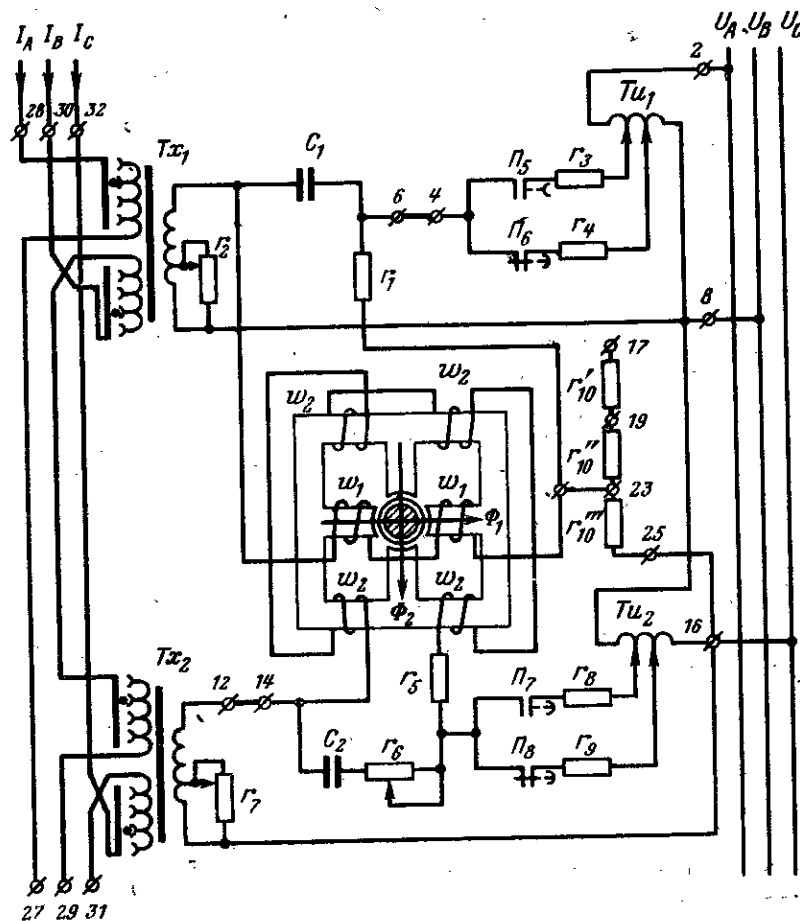


Рис. 14. Схема дистанционного реле КРС-121 (4PC).

В цепях обмоток реле КРС-121 имеются не рассмотренные ранее для реле КРС-131 сопротивления r_6 и r_{10} . Сопротивление r_6 в цепи обмотки w_2 предназначено для выравнивания углов полного сопротивления обеих обмоток. При равных углах полного сопротивления обмоток

обмоток обеспечивается одинаковая уставка на реле при к. з. на фазах *A* и *C* по сравнению с уставкой при к. з. на фазах *A* и *B* или *B* и *C*. Устранение самохода реле от обмотки ω_1 производится поворотом сердечника в магнитопроводе реле. Устранение самохода от обмотки ω_2 осуществляется включением сопротивления r_{10} , через которое на обмотку ω_1 подается ток подпитки от третьей фазы (*C*) и этот ток компенсирует самоход от обмотки ω_2 .

Для проверки реле *4PC* первичным током и напряжением перемычки 6—4 и 12—14 устанавливаются в положения соответственно 6—8 и 14—16, при этом из обмотки ω_1 исключается цепь напряжения, а из обмотки ω_2 — цепь тока, чем реле превращается в реле направления мощности.

Если к обмоткам реле *4PC* подведены токи I_1 и I_2 , которые пропорциональны соответственно напряжениям U_1 и U_2 , то момент такого индукционного реле может быть выражен по формуле

$$M = -k_1 U_1 U_2 \sin \alpha = -k_2 I_1 I_2 \sin \alpha.$$

Условимся, что в этой формуле напряжения U_1 , U_2 (или токи I_1 , I_2) представлены не векторами, а своими абсолютными значениями, направление же между этими векторами будем учитывать знаком $\sin \alpha$, который зависит от величины угла. Знак минус перед формулой показывает нам, что при угле α между векторами U_1 и U_2 , меньшем 180° , $\sin \alpha > 0$ (т. е. положителен) и момент на реле отрицателен, т. е. реле держит свои контакты разомкнутыми (клинит), условимся считать угол α положительным в направлении от вектора U_1 к вектору U_2 против часовой стрелки.

Рассмотрим поведение реле при различных видах к. з. и в различном удалении места к. з. от места установки защиты. Формулы для токов и напряжений, действующих в обмотках реле, могут быть выражены через токи, проходящие при к. з. по линии, напряжения в месте к. з. и падения напряжения от тока к. з. в сопротивлении линии на участке от места к. з. до места установки защиты ($z_{к.з.}$). Так как для дальнейшего рассмотрения нам достаточно установить взаимное расположение напряжений U_1 и U_2 , приложенных соответственно к обмоткам ω_1 и ω_2 , поскольку токи I_1 и I_2 пропорциональны

напряжениям, будем иметь:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_{AB} - (I_A - I_B) z_y; \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_{CB} - (I_C - I_B) z_y. \end{aligned}$$

Напряжение \dot{U}_{AB} в месте установки защиты может быть представлено как

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = (\dot{U}_{A(к.з.)} + I_A z_{к.з.}) - (\dot{U}_{B(к.з.)} + I_B z_{к.з.}),$$

где $\dot{U}_{A(к.з.)}$ и $\dot{U}_{B(к.з.)}$ — напряжения фаз *A* и *B* в месте к. з., каждое из которых при двухфазном к. з. равно половине фазного напряжения источника э. д. с. При этом будем считать для простоты, что нагрузка по линии отсутствует и напряжение неповрежденных фаз в месте установки защиты равно значению э. д. с. источника питания.

По аналогии

$$\dot{U}_{CB} = \dot{U}_C - \dot{U}_B = (\dot{U}_{C(к.з.)} + I_C z_{к.з.}) - (\dot{U}_{B(к.з.)} + I_B z_{к.з.}),$$

тогда

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= (\dot{U}_{A(к.з.)} + I_A z_{к.з.}) - (\dot{U}_{B(к.з.)} + I_B z_{к.з.}) - (I_A - I_B) z_y; \\ \dot{U}_2 &= (\dot{U}_{C(к.з.)} + I_C z_{к.з.}) - (\dot{U}_{B(к.з.)} + I_B z_{к.з.}) - (I_C - I_B) z_y. \end{aligned}$$

Делая небольшие перестановки, получаем окончательные выражения

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= (\dot{U}_{A(к.з.)} + I_A z_{к.з.} - I_A z_y) - (\dot{U}_{B(к.з.)} + I_B z_{к.з.} - I_B z_y); \\ \dot{U}_2 &= (\dot{U}_{C(к.з.)} + I_C z_{к.з.} - I_C z_y) - (\dot{U}_{B(к.з.)} + I_B z_{к.з.} - I_B z_y). \end{aligned}$$

Рассмотрим, какие будут выражения для \dot{U}_1 и \dot{U}_2 для двухфазного к. з., например, между фазами *A* и *B*. По видимому, в этом случае $\dot{U}_C = \dot{U}_{C(к.з.)}$, так как повреждение на фазе *C* отсутствует, то напряжение в месте к. з. и в месте установки защиты будет одинаково, по этой же причине ток $I_C = 0$, тогда для двухфазного к. з. между фазами *A* и *B* выражения для \dot{U}_1 и \dot{U}_2 примут вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= (\dot{U}_{A(к.з.)} + I_A z_{к.з.} - I_A z_y) - (\dot{U}_{B(к.з.)} + I_B z_{к.з.} - I_B z_y); \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_C - (\dot{U}_{B(к.з.)} + I_B z_{к.з.} - I_B z_y). \end{aligned}$$

На рис. 15 приведены векторные диаграммы для четырех точек к. з.: *KI* — за пределами зоны защиты

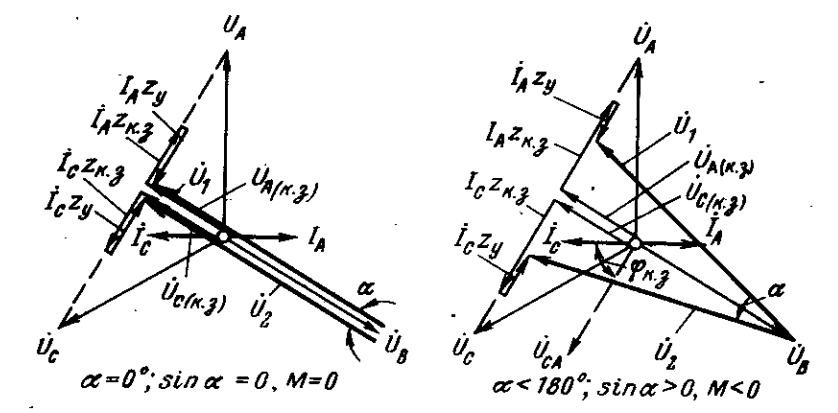
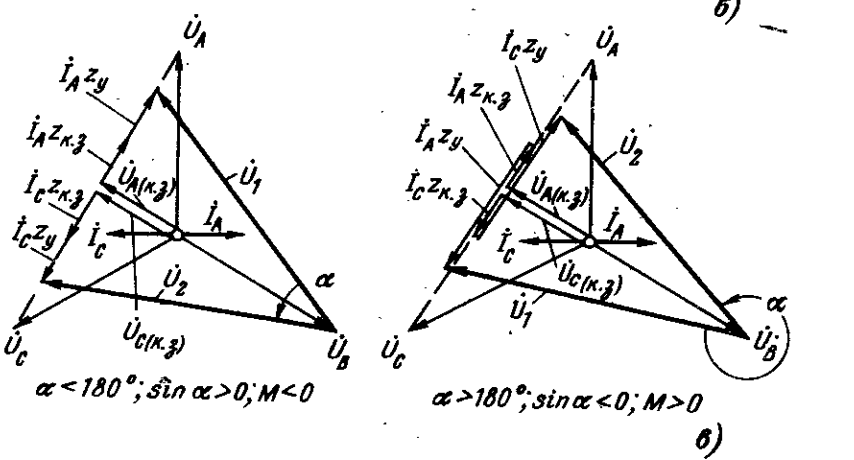
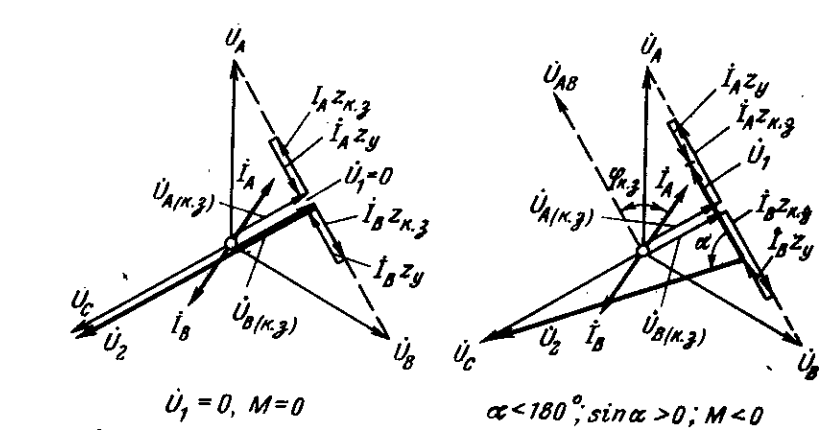
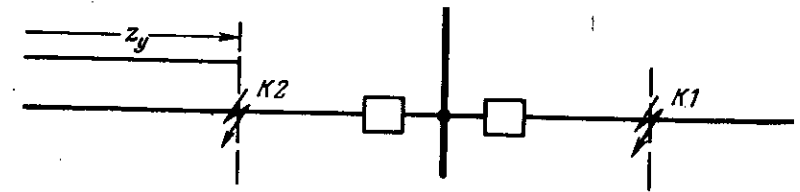
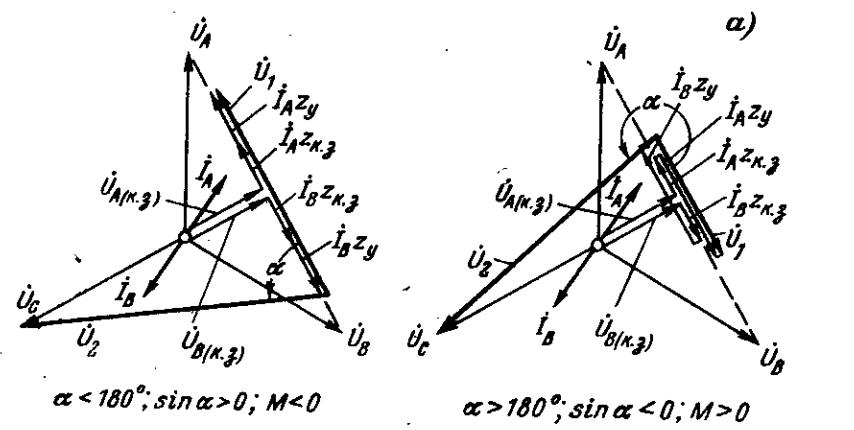
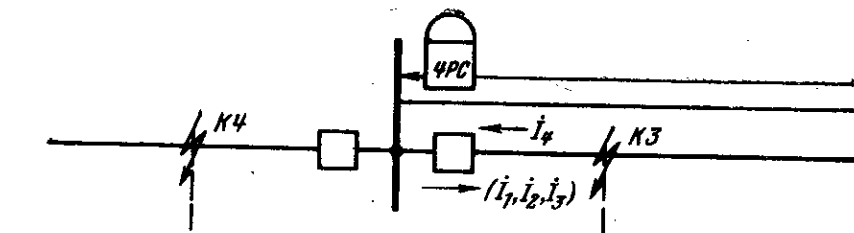


Рис. 15. К принципу действия

а — расположение места к. з.; б — векторные диаграммы для двухфазного к. з. между фазами

реле КРС-121 (4PC).

между фазами А и В; в — векторные диаграммы для двухфазного к. з. между ми А и С.

($z_{к.з} > z_y$); $K2$ — на границе зоны ($z_{к.з} = z_y$); $K3$ — в зоне действия ($z_{к.з} < z_y$); $K4$ — за пределами зоны за шинами подстанции, на которой установлена защита. На векторных диаграммах: $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ — напряжения э. д. с. источника; I_A — ток к. з., он отстает на угол $\varphi_{к.з}$ от создающего его напряжения \dot{U}_{AB} (рис. 15, б, точка $K1$), а падение напряжения $\dot{I}_A z_{к.з}$ опережает ток I_A на тот же угол $\varphi_{к.з}$ и, следовательно, совпадает с вектором \dot{U}_{AB} . Так как $\varphi_{к.з}$ и угол максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ равны, то вектор $\dot{I}_A z_y$ также совпадает с вектором \dot{U}_{AB} , но направлен в противоположную сторону из-за полярности включения трансреактора Tx относительно цепей напряжения. Ток I_B направлен в противофазе относительно тока I_A , а относительно тока I_B соответственно расположены векторы $\dot{I}_B z_{к.з}$ и $\dot{I}_B z_y$. Аналогично построены и диаграммы на рис. 15, в.

При к. з. в точке $K1$ (рис. 15, а и б) момент отрицателен ($M < 0$), так как угол α между \dot{U}_1 и \dot{U}_2 меньше 180° (а точнее меньше 90°), следовательно, по приведенной выше формуле момент при $\sin \alpha > 0$ будет отрицателен и реле клинит. По мере приближения к. з. к точке $K2$ величины векторов $\dot{I}_A z_{к.з}$ и $\dot{I}_B z_{к.з}$ уменьшаются, а величины векторов $\dot{I}_A z_y$ и $\dot{I}_B z_y$ увеличиваются так, что в точке $K2$ эти величины становятся равны друг другу. Вектор \dot{U}_1 становится равным нулю, и момент на реле также будет равен нулю, следовательно, при к. з. на границе зоны реле $4PC$ не имеет момента, это переход момента через нуль.

По мере удаления от точки $K2$ и приближения к точке $K3$ величины векторов $\dot{I}_A z_y, \dot{I}_B z_y$ становятся больше, чем величины векторов $\dot{I}_A z_{к.з}, \dot{I}_B z_{к.з}$, так как $z_{к.з}$ меньше, чем z_y . Вектор \dot{U}_1 изменил свое направление на 180° , т. е. изменил направление на 180° ток в обмотке ω_1 , следовательно, угол α стал больше 180° , $\sin \alpha < 0$ и момент стал положительным, $M > 0$.

При к. з. в точке $K4$ за пределами зоны в формулах для \dot{U}_1 и \dot{U}_2 необходимо изменить знаки перед выражениями $\dot{I}_A z_y, \dot{I}_B z_y$, так как направление тока через защиту изменилось на 180° , и соответственно изменить на

180° на диаграммах направление этих векторов. Направление токов I_A и I_B относительно э. д. с. источника напряжения U_{AB} осталось прежним, т. е. ток отстает от \dot{U}_{AB} на угол $\varphi_{к.з}$, и это напряжение приложено не слева от подстанции, где установлена защита, как для случаев к. з. в точке $K1, K2, K3$, а справа. Поскольку направление тока относительно напряжения U_{AB} не изменилось, то направление векторов $\dot{I}_A z_{к.з}$ и $\dot{I}_B z_{к.з}$ как падение напряжения в линии от места к. з. до места установки защиты также осталось прежним. При этом в точке $K4$ реле также будет иметь момент на заклинивание, так как $\alpha < 180^\circ$, $\sin \alpha > 0$ и $M < 0$, как и для случая к. з. в точке $K1$.

Аналогичным образом можно рассмотреть работу реле для к. з. на фазах B и C , только при этом нужно принять, что $\dot{U}_A = \dot{U}_{A(к.з)}$ и ток в фазе A отсутствует, и соответственно изменить формулы для \dot{U}_1 и \dot{U}_2 . Построив диаграммы, мы могли бы убедиться, что в этом случае изменяется на 180° направление вектора \dot{U}_2 , а следовательно, и тока в обмотке ω_2 .

Рассмотрим случай к. з. между фазами C и A , при этом $\dot{U}_B = \dot{U}_{B(к.з)}$, так как ток $I_B = 0$, то выражения для \dot{U}_1 и \dot{U}_2 примут вид:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= (\dot{U}_{A(к.з)} + \dot{I}_A z_{к.з} - \dot{I}_A z_y) - \dot{U}_B; \\ \dot{U}_2 &= (\dot{U}_{C(к.з)} + \dot{I}_C z_{к.з} - \dot{I}_C z_y) - \dot{U}_C.\end{aligned}$$

Произведя рассмотренным выше способом необходимые построения, получаем векторные диаграммы рис. 15, в, проанализировав которые мы можем установить, что в точке $K1$ реле не работает, так как угол α между векторами \dot{U}_1 и \dot{U}_2 имеет небольшое значение ($\alpha < 90^\circ$). При к. з. на границе зоны в точке $K2$ угол $\alpha = 180^\circ$, напряжения \dot{U}_1 и \dot{U}_2 равны и параллельны друг другу, а следовательно, токи в обмотках ω_1 и ω_2 также равны и совпадают по фазе, значит, на реле момент равен нулю и оно не работает.

При к. з. в точке $K3$ реле срабатывает, так как векторы \dot{U}_1 и \dot{U}_2 как бы поменялись местами, теперь вектор \dot{U}_1 опережает вектор \dot{U}_2 и угол α , отсчитываемый против часовой стрелки от \dot{U}_1 к \dot{U}_2 , стал больше 180° , а следова-

тельно, $\sin \alpha < 0$ (т. е. отрицателен). Момент на реле стал положительным, т. е. реле замкнуло свои контакты. При к. з. в точке $K4$ реле также имеет отрицательный момент и не работает, так как угол имеет небольшое значение ($\alpha < 90^\circ$).

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЕ

Важной эксплуатационной характеристикой реле сопротивления пусковых и дистанционных органов защиты является зависимость сопротивления срабатывания реле

$z_{ср}$ от угла φ_p между напряжением \dot{U}_p и током I_p , подведенным к зажимам реле, т. е. $z_{ср} = f(\varphi_p)$. Эта зависимость определяет зону действия реле и называется характеристикой срабатывания реле, в эксплуатации ее еще часто называют угловой характеристикой реле сопротивления.

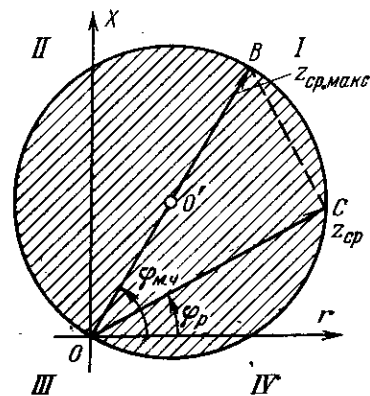


Рис. 16. Характеристика срабатывания реле сопротивления (O — начало координат r, x ; O' — центр окружности характеристики).

но диаметру окружности $z_{ср.макс}$. Угол $\varphi_{м.ч}$ наклона диаметра окружности $z_{ср.макс}$ к оси r называется углом максимальной чувствительности реле. Пусковые и дистанционные органы защиты обычно изготавливаются с углом $\varphi_{м.ч} = 65^\circ$ и по специальному заказу с углом $\varphi_{м.ч} = 75^\circ$. Уравнение характеристики срабатывания реле по рис. 16 имеет вид [Л. 1]:

$$z_{ср} = z_{ср.макс} \cos (\varphi_{м.ч} - \varphi_p).$$

Рассматривая характеристику на рис. 16, мы можем установить, что основная область работы реле расположена в квадранте I. В квадранте III или за шинами подстанции, где установлена защита, реле с такой характеристикой работать не будет. Реле, имеющие подобную характеристику, называются направленными реле полного сопротивления.

Другой важной характеристикой реле сопротивления является зависимость сопротивления срабатывания реле

$z_{ср}$ от тока, проходящего через реле I_p при срабатывании, т. е. $z_{ср} = f(I_p)$. Эта характеристика показана на рис. 17. Из нее следует, что при снижении тока I_p до точки a величина $z_{ср}$ остается практически неизменной. В точке b значение $z_{ср}$ уменьшается на $0,1 z_{ср}$, т. е. на 10%, этой точке соответствует ток точной работы реле $I_{т.р.}$. Чем меньше ток точной работы, тем лучше характеристика реле. Значение тока точной работы, кроме правильной регулировки реле, зависит от уставок на реле и может изменяться в определенных пределах, особенно у реле КРС-131 и КРС-121.

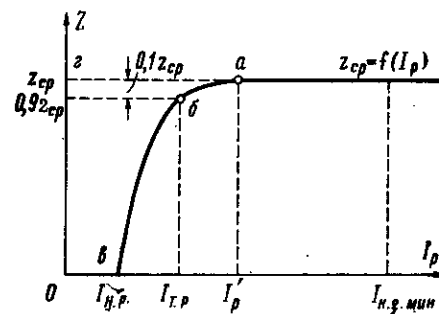


Рис. 17. Зависимость сопротивления срабатывания реле от тока.

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТАВОК

Регулирование уставок пусковых органов (реле КРС-132) производится изменением отпаяк на автотрансформаторе Tu (рис. 18), который имеет основную обмотку ω_1 и дополнительную ω_2 . Отпайки набираются штекерными винтами a (через 10%), b (через 2%) и $в$ (через 0,5%). К зажимам b (H) и 12 (K) подводится напряжение U_p от трансформатора напряжения защиты, вторичное напряжение к рабочей обмотке реле снимается с зажимов 8 и 12 . Реле КРС-132 имеет пределы регулирования сопротивления срабатывания от 2 Ом на фазу вторичных (99,5% витков обмотки) до 20 Ом на фазу (10% витков обмотки ω_1) для реле с номинальным

током 5 А, реле с номинальным током 1 А имеет уставки в 5 раз больше.

На автотрансформаторах Tu реле КРС-131 и Tu_1 и Tu_2 реле КРС-121 предусмотрена возможность регули-

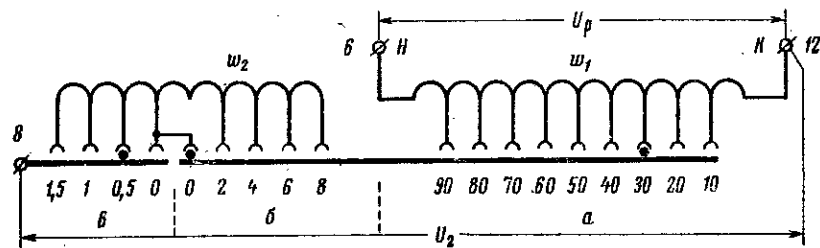


Рис. 18. Схема автотрансформатора Tu реле КРС-132.

рования уставок для первой и второй зоны защиты (рис. 19). Автотрансформатор имеет три обмотки: основную w_1 , включающую на напряжение \dot{U}_p , и две допол-

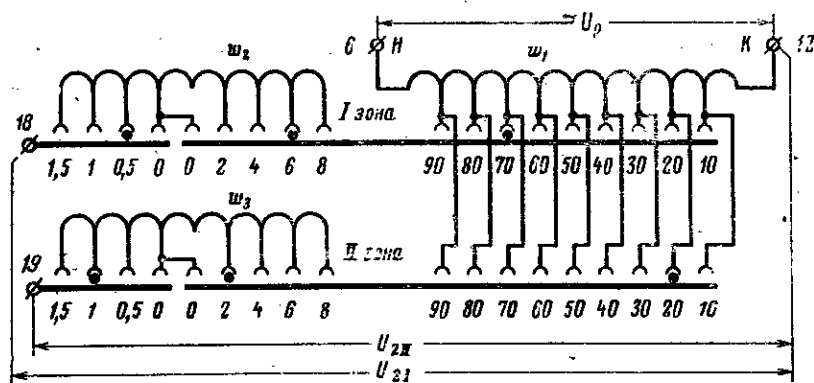


Рис. 19. Схема автотрансформаторов Tu реле КРС-131 и КРС-121.

нительные w_2 и w_3 . Ступени регулирования числа витков такие же, как и на автотрансформаторе, приведенном на рис. 18.

Реле КРС-131 (5PC) и КРС-121 (4PC) имеют дополнительное регулирование уставок сопротивления срабатывания на трансреакторах Tx , схема которых дана на рис. 20. Трансреактор имеет три обмотки: две первичные w_1 и w_2 и одну вторичную w_3 . Каждая первичная

обмотка включена на фазные токи по схеме на рис. 6, вторичная обмотка включена в цепь рабочей обмотки, между отпайкой и правым выводом вторичной обмотки включено сопротивление r_2 (r_7). Первичные обмотки имеют четыре отпайки, обозначенные на панелике транс-

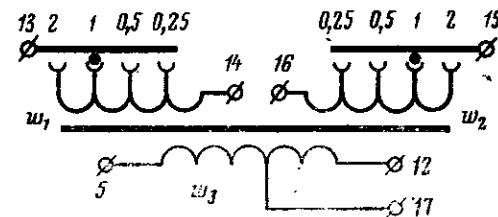


Рис. 20. Схема трансреакторов Tx реле КРС-131 и КРС-121.

реактора 2; 1; .5; .25. Цифры, выбитые на панелике трансреактора, обозначают величину минимального сопротивления срабатывания реле z_0 , которое будет иметь реле, если установить на автотрансформаторе Tu максимальное число витков. Следовательно, реле КРС-131 или КРС-121 будут иметь следующие пределы регулирования уставок:

При отпайках на Tx в цепи обмоток w_1 и w_2	Пределы уставок, Ом/фаза
2	2—20
1	1—10
0,5	0,5—5
0,25	0,25—2,5

Для того чтобы установить на реле КРС-131 или КРС-121 заданное сопротивление срабатывания в первой и второй зонах защиты, необходимо подобрать отпайки на трансформаторах Tx и автотрансформаторах Tu . Сначала принимают на трансреакторах Tx отпайку, ближайшую меньшую из заданных уставок для первой и второй зон, т. е. ближайшую меньшую от уставки первой зоны. При этом получают меньшие значения токов точной работы реле. Зная отпайку на Tx и, следовательно, величину z_0 , которое равно отпайке, определяем необходимое число витков на автотрансформа-

торе Tu по формуле

$$n = \frac{100z_0}{z},$$

где z — заданная уставка в омах вторичных на фазу.

Для реле КРС-132 величина n определяется по такой же формуле, а z_0 принимается равным 2.

Пусть задано отрегулировать на дистанционной защите ПЗ-159 линии 110 кВ следующие уставки: $z'_1 = 12$ Ом первичных на фазу; $z'_2 = 40$ Ом первичных на фазу и $z'_3 = 60$ Ом первичных на фазу; линия имеет трансформаторы тока с $n_T = 600/5 = 120$ и на подстанции установлен трансформатор напряжения с $n_H = 110/0,1 = 1100$.

Определяем вторичные значения сопротивлений срабатывания:

$$z_1 = \frac{z'_1 n_T}{n_H} = \frac{12 \cdot 120}{1100} = 1,31 \text{ Ом на фазу};$$

$$z_2 = \frac{z'_2 n_T}{n_H} = \frac{40 \cdot 120}{1100} = 4,36 \text{ Ом на фазу};$$

$$z'_3 = \frac{z'_3 n_T}{n_H} = \frac{60 \cdot 120}{1100} = 6,54 \text{ Ом на фазу}.$$

Принимаем для реле КРС-131 (5РС) и КРС-121 (4РС) отпайку на трансреакторах Tx , ближайшую меньшую к z_1 , т. е. равную 1 (рис. 20). При этом значение z_0 также будет равно 1. Определяем отпайки на автотрансформаторах Tu реле КРС-131 и КРС-121:

$$\text{для первой зоны } n_1 = \frac{100z_0}{z_1} = \frac{100 \cdot 1}{1,31} = 76,3;$$

$$\text{для второй зоны } n_2 = \frac{100z_0}{z_2} = \frac{100 \cdot 1}{4,36} = 23.$$

Принимаем n_1 , ближайшим к заданному, равным 76,5 и устанавливаем на автотрансформаторах Tu по цепи первой зоны отпайки 70; 6; 0,5 (рис. 19) и по цепи второй зоны отпайки; 20; 2, 1.

Определяем отпайки на автотрансформаторе Tu для реле КРС-132 (1РС, 2РС, 3РС):

$$n_3 = \frac{100z_0}{z_3} = \frac{100 \cdot 2}{6,54} = 30,6.$$

Принимаем n_3 , ближайшим к заданному, т. е. равным 30,5, и устанавливаем на Tu (рис. 18) отпайки 30; 0; 0,5.

Значение токов точной работы реле может быть определено опытным путем после снятия характеристик $z_{ср} = f(I_D)$ по рис. 17 или рассчитано по формулам [Л. 1, 6, 7].

4. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ

Схема цепей оперативного постоянного тока блокировки при качаниях приведена на рис. 9, назначение всех ее элементов и их работа подробно изложены выше, поэтому в данном разделе рассматриваются устройство и принцип действия схемы цепей переменного тока и напряжения блокировки при качаниях, на выходе которой включено пусковое реле 8ПР. Рассмотрим сначала

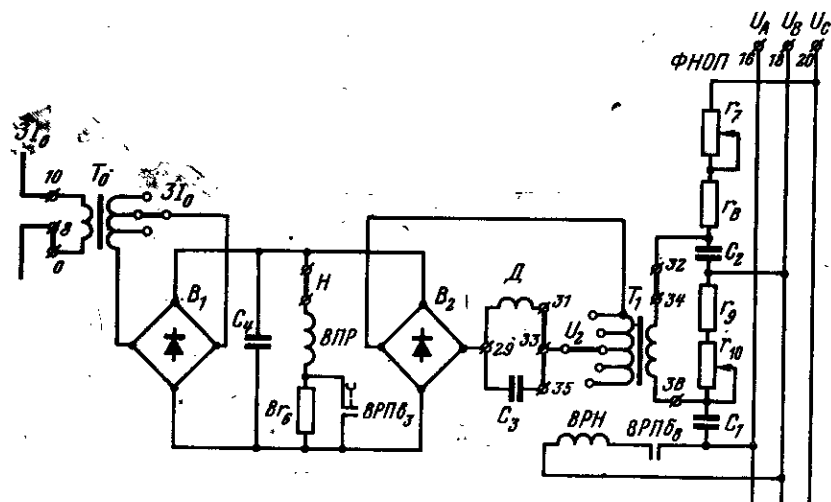


Рис. 21. Схема цепей переменного тока и напряжения блокировки при качаниях типа КРБ-125.

ла блокировки при качаниях типов КРБ-121, КРБ-123, КРБ-125, которые реагируют на появление несимметрии в цепях напряжения.

На рис. 21 приведена схема цепей переменного тока и напряжения блокировки КРБ-125, которая используется в защите ПЗ-159Г (табл. 1) и выпускается в настоящее время вместо КРБ-123 и КРБ-121.

Блокировка состоит из фильтра напряжения обратной последовательности (ФНОП), который включается в цепи напряжения защиты. Фильтр состоит из двух плеч: левого и правого, каждое из них имеет сопротивление и емкость. Сопротивление состоит из регулируемой (r_7, r_{10}) и нерегулируемой (r_8, r_9) частей. При подведении к фильтру трехфазной симметричной системы напряжений U_A, U_B, U_C прямого чередования фаз (U_A — к зажиму 16, U_B — к зажиму 18, U_C — к зажиму 20) на выходе фильтра (зажимы 36—32) будет небольшое напряжение небаланса. Регулируемые сопротивления r_7 и r_{10} служат для настройки фильтра на минимальный небаланс в этом режиме.

Если к такому фильтру подвести трехфазную симметричную систему напряжения обратного чередования фаз, для чего, например, подключить U_A к зажиму 16, U_B — к зажиму 20, а U_C — к зажиму 18, то на выходе фильтра получим величину, пропорциональную напряжению обратной последовательности на входе фильтра. Если в нашем примере линейное напряжение $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 100$ В, то на выходе фильтра (при снятой перемычке 32—34) будет напряжение 150 В.

Как известно, любую несимметричную систему напряжений или токов можно представить как сумму составляющих прямой, обратной и нулевой последовательностей [Л. 3]. Поэтому при любых к. з. вследствие появления несимметрии возникает напряжение на выходе фильтра, даже при включении на трехфазную металлическую короткую кратковременная несимметрия обуславливается неодновременностью замыкания контактов выключателя.

На выход фильтра включен насыщающийся трансформатор T_1 , который ограничивает напряжение на выпрямителе и имеет отпайки на вторичной обмотке для изменения чувствительности реле $8ПР$ по напряжению обратной последовательности. Изменение уставки производится переключателем U_2 . Во вторичную обмотку трансформатора T_1 включен выпрямитель B_2 , на выход которого включено пусковое реле блокировки $8ПР$. Коллебателный контур, состоящий из дросселя D и конденсатора C_3 , предназначен для исключения влияния 5-й гармоники в цепях напряжения на работу пускового реле $8ПР$. Напряжение 5-й гармоники в сети может иметь место, и поэтому в схеме блокировки приняты

специальные меры для ее подавления, так как при отсутствии такого фильтра от напряжения 5-й гармоники могло бы сработать пусковое реле при отсутствии несимметрии в основной составляющей напряжения, т. е. при отсутствии к. з. в сети. Фильтр D, C_3 снижает составляющую 5-й гармоники в 4 раза. Конденсатор C_5 , включенный параллельно цепи реле $8ПР$, обеспечивает сглаживание выпрямленного тока и улучшает режим работы поляризованного реле $8ПР$.

Пусковое реле $8ПР$ блокировки выполнено на базе поляризованного реле, чем обеспечивается его высокая чувствительность и быстрдействие. Однако поляризованное реле имеет низкий коэффициент возврата (примерно 0,4), поэтому реле $8ПР$ могло бы при к. з. сработать, а после отключения этого к. з. остаться в рабочем положении от напряжения небаланса.

Для повышения коэффициента возврата последовательно с обмоткой реле $8ПР$ включено сопротивление $8r_6$, которое в нормальном режиме работы защиты зашунтировано контактом $8РПв_3$. Поэтому при появлении несимметрии реле $8ПР$ срабатывает помимо сопротивления $8r_6$, запускает схему блокировки при качаниях, после чего контакт $8РПв_3$ размыкается (см. схему на рис. 9), и вводит в цепь обмотки сопротивление $8r_6$, чем понижается напряжение на обмотке реле $8ПР$. Теперь уже достаточно в меньшей степени снизить напряжение на входе схемы блокировки, чтобы достичь напряжения возврата на обмотки реле. Благодаря этому удастся получить величину коэффициента возврата 0,8 и выше.

При некоторых видах к. з., например двухфазных к. з., на землю в отдельных режимах работы сети может оказаться, что чувствительности пуска блокировки при качаниях по напряжению обратной последовательности U_2 недостаточно. Поэтому в схеме предусмотрена возможность повышения чувствительности реле $8ПР$ от тока нулевой последовательности $3I_0$; для этого имеется насыщающийся трансформатор T_0 , первичная обмотка которого может включаться в нулевой провод токовых цепей, для чего перемычка ставится в положение 6—8. Вторичная обмотка, имеющая отпайки для изменения чувствительности, включена через выпрямитель B_1 на обмотку реле $8ПР$. Если трансформатор T_0 не используется, то перемычка устанавливается в положение 8—10.

В схеме блокировки предусмотрено реле напряжения $8PH$, которое служит для осуществления быстрого возврата блокировки при качаниях при отключении к. з. в сети (рис. 9). Обмотка реле включена через замыкающий контакт $8PП6$, который нормально замкнут, поэтому реле $8PH$ находится под напряжением, для удобства эксплуатации предусмотрены: накладка H в цепи обмотки реле $8PP$ и накладки $32-34$, $31-33-35$.

Схема цепей оперативного постоянного тока блокировки аналогична схеме, рассмотренной на рис. 9, с небольшими принципиальными отличиями, например реле $8PП6$, для получения необходимого количества контактов выполнена посредством двух реле, а не одного.

Блокировка имеет чувствительность по напряжению обратной последовательности, устанавливаемую переключателем U_2 , равную 2, 3, 4, 6 или 8 В фазных обратной последовательности на входе фильтра $ФНОП$. Чувствительность по току $3I_0$, устанавливаемую переключателем $3I_0$; 1; 1,5 или 2А вторичных ($I_H=5$ А) или 0,2; 0,3; или 0,4 А ($I_H=1$ А). Для пуска блокировки достаточно кратковременное (более 0,008 с) появление на входе фильтра $ФНОП$ трехкратного напряжения уставки.

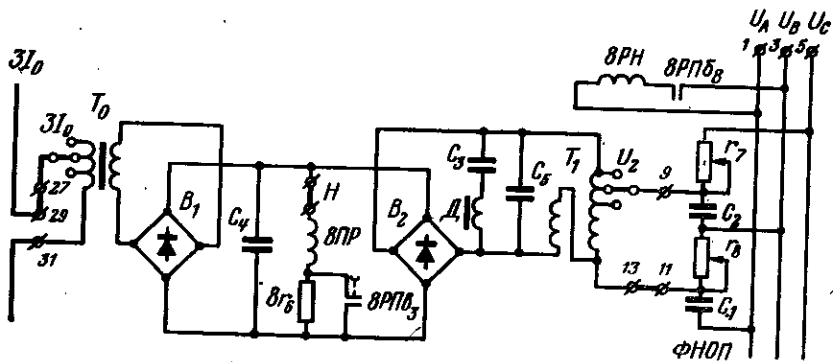


Рис. 22. Схема цепей переменного тока и напряжения блокировки при качаниях типа КРБ-123.

На рис. 22 приведена схема цепей переменного тока и напряжения блокировки при качаниях КРБ-123 (используется в защите ПЗ-159Б), которая имеет некоторые отличия от блокировки КРБ-125. Сопротивления r_7 и r_8 имеют регулируемую и нерегулируемую части, поэтому сопротивления r_9 и r_{10} отсутствуют. Трансформа-

тор T_1 выполнен не насыщающимся, а стабилизирующим, он также ограничивает величину напряжения на выпрямителях, фильтр 5-й гармоники C_3 , D включен параллельно выпрямителям, конденсатор C_5 предназначен для снижения влияния высших гармоник после стабилизирующего трансформатора T_1 .

Трансформатор T_0 выполнен насыщающимся и имеет регулирование уставки путем изменения отпаек в первичной обмотке. Блокировка КРБ-121, применяющаяся в защите ПЗ-157, имеет схему, аналогичную рис. 22, но в ней отсутствует фильтр C_3 , D .

Чувствительность блокировок КРБ-121 и КРБ-123 по напряжению обратной последовательности равна 2, 3 и 4 В фазных на входе фильтра $ФНОП$, чувствительность по току $3I_0$ такая же, как и у блокировки КРБ-125.

Блокировки при качаниях КРБ-126, КРБ-124 и КРБ-122 реагируют на появление несимметрии в цепях тока. На рис. 23 приведена схема цепей переменного тока и напряжения блокировки при качаниях КРБ-126,

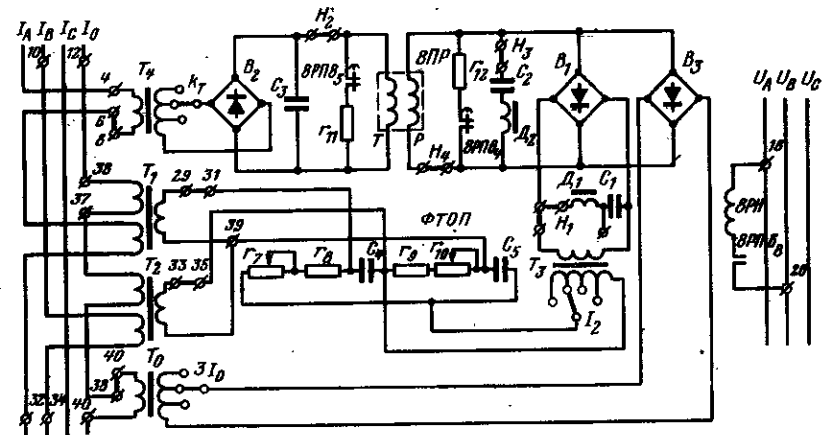


Рис. 23. Схема цепей переменного тока и напряжения блокировки при качаниях типа КРБ-126.

используемой в защите ПЗ-159В. В цепи вторичных обмоток трансформаторов тока с воздушным зазором T_1 и T_2 (трансреакторов) включен фильтр тока обратной последовательности ($ФТОП$). На выход фильтра включен насыщающийся трансформатор T_3 , на первичной обмотке которого предусмотрены отпайки для регулиро-

вания чувствительности блокировки по току обратной последовательности переключателем I_2 .

Контур D_1, C_1 представляет собой фильтр, через который замыкаются токи 5-й гармоники. В цепь вторичной обмотки трансформатора T_3 через выпрямитель B_1 включена рабочая обмотка пускового реле блокировки $8ПР$. Контур D_2, C_2 образует фильтр 2-й гармоники, который сглаживает напряжение после выпрямителя B_1 .

В блокировке КРБ-126, как и в рассмотренных ранее, приняты меры для повышения коэффициента возврата реле $8ПР$, для чего рабочая обмотка реле $8ПР$ после пуска блокировки шунтируется сопротивлением r_{12} при замыкании контакта $8РПв_4$. Благодаря этому часть тока рабочей обмотки реле проходит по сопротивлению r_{12} , и поэтому для возврата реле $8ПР$ требуется снизить ток в цепи трансформаторов тока на меньшую величину.

При качаниях в сети могут иметь место большие значения токов, поэтому появляется опасность пуска блокировки во время качаний из-за срабатывания пускового реле $8ПР$ вследствие токов небаланса в фильтре $ФТОП$. Для исключения этого у реле $8ПР$ предусмотрена тормозная обмотка, которая через выпрямитель B_2 включена во вторичную цепь трансформатора T_4 . Тормозная обмотка включена встречно с рабочей. Коэффициент торможения может изменяться переключением числа витков переключателем k_T . Конденсатор C_3 сглаживает напряжение после выпрямителя B_2 . Параллельно тормозной обмотке реле $8ПР$ имеет сопротивление r_{11} , которое включается контактом $8РПв_5$ при пуске блокировки и шунтирует тормозную обмотку реле $8ПР$, снижая этим тормозной ток в реле. Это необходимо, чтобы реле $8ПР$ не возвращалось в первоначальное положение от тормозного тока, проходящего по фазе А, в тот момент, когда будет зашунтирована рабочая обмотка реле $8ПР$ сопротивлением r_{12} . Если чувствительность блокировки по току обратной последовательности недостаточна, предусмотрено увеличение чувствительности от тока $3I_0$, что выполнено так же, как и в блокировках КРБ-121 — КРБ-125.

Для удобства эксплуатации предусмотрены накладки $H_1—H_4$. При использовании торможения (установлена накладка 6—8) величина расчетного тока срабатывания реле $8ПР$ $I_{2ср}$ определяется величиной тормозного

тока I_T , проходящего через трансформатор T_4 , коэффициентом торможения k_T и уставкой $I_{2уст}$ на трансформаторе T_3 и может быть подсчитано по выражению

$$I_{2ср} = I_{2уст} + \frac{k_T I_{2уст}}{100 I_{2уст.мин}} I_T,$$

где $I_{2уст.мин}$ — значение тока срабатывания реле $8ПР$ при минимальной уставке по I_2 , равное 0,5 А (для $I_H = 5$ А) и 0,1 А (для $I_H = 1$ А).

Чувствительность блокировки КРБ-126 по току I_2 составляет 0,5; 0,75; 1,0 А фазных обратной последовательности на входе фильтра $ФТОП$ (для $I_H = 5$ А) и 0,1; 0,15; 0,2 А (для $I_H = 1$ А). Чувствительность по току $3I_0$ равна: 1,5; 3; 6 А (для $I_H = 5$ А) и 0,3; 0,6; 1,2 А (для $I_H = 1$ А). Коэффициент торможения k_T составляет 4; 7 или 11% при минимальной уставке по I_2 . При увеличении уставки величина торможения пропорционально увеличивается, что учитывается в приведенном выражении отношением $I_{2уст}/I_{2уст.мин}$.

На рис. 24 дана схема блокировки КРБ-124. Трансформаторы тока $ТФП$ и $ТК$ и сопротивление r_1 составля-

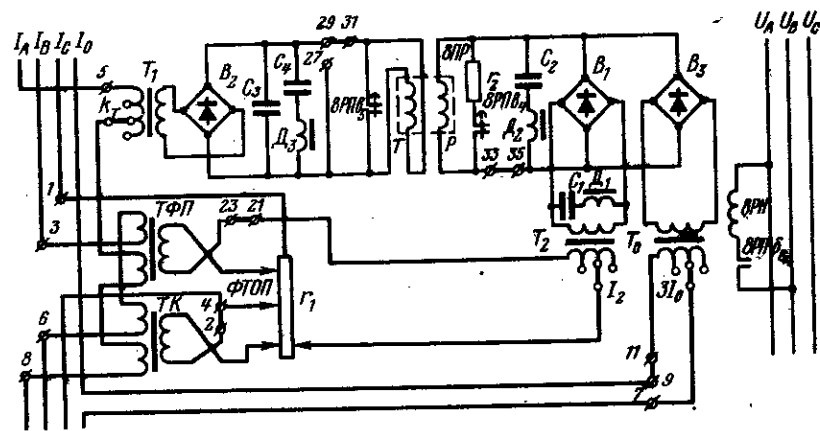


Рис. 24. Схема цепей переменного тока и напряжения блокировки при качаниях типа КРБ-124.

ют фильтр тока обратной последовательности [Л. 3]. На выход $ФТОП$ через насыщающийся трансформатор T_2 и выпрямитель B_1 включена рабочая обмотка реле $8ПР$. Тормозная обмотка реле $8ПР$ включена на выход трансформатора T_1 . Параллельно тормозной обмотке включен

контур D_3, C_4 , что улучшает форму кривой тока. Увеличение чувствительности от тока $3I_0$ производится от трансформатора T_0 . Регулирование уставок производится в цепях первичных обмоток трансформаторов накладками $I_2, k_T, 3I_0$. Если торможение не используется, то устанавливается перемычка 27—29. Назначение остальных элементов блокировки аналогично блокировке КРБ-126.

Блокировка КРБ-122 имеет схему, аналогичную схеме блокировки КРБ-124, но со следующими отличиями: в цепи рабочей обмотки реле $8ПР$ отсутствует дроссель D_2 , в цепи тормозной обмотки реле $8ПР$ отсутствует контур D_3, C_4 и контакт $8РП\theta_5$, поэтому шунтирование тормозной обмотки не производится, что является недостатком блокировки КРБ-122.

При использовании торможения расчетный ток срабатывания реле $8ПР$ для блокировок КРБ-124 и КРБ-122 определяется по тому же выражению, как и для блокировки КРБ-126. Блокировки КРБ-124 и КРБ-122 имеют такую же чувствительность по току I_2 , как и блокировка КРБ-126. Чувствительность по току $3I_0$ равна 1; 1,5; 2А (для $I_H=5А$) и 0,2; 0,3; 0,4А (для $I_H=1А$). Коэффициент торможения составляет 5; 7,5 или 10% при минимальной уставке по току I_2 .

5. НАЛАДКА И ПРОВЕРКА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Дистанционные защиты, как все устройства релейной защиты и автоматики, в условиях эксплуатации должны периодически проверяться в объеме, необходимом для поддержания их исправного состояния. Виды, периодичность и объем эксплуатационных проверок устанавливаются соответствующими инструкциями, действующими в энергосистеме. Так, различают следующие основные виды эксплуатационных проверок: проверки при новом включении; полные плановые проверки; частичные плановые проверки; дополнительные проверки.

Наиболее полный объем имеют проверки при новом включении, когда производится наладка и регулировка всех параметров и характеристик отдельных реле и всего устройства в целом. Полная плановая проверка имеет меньший объем, который в то же время позволяет оценить исправность всего устройства и соответствие его механических и электрических характеристик заданным.

Еще меньший объем имеет частичная плановая проверка, во время которой производится осмотр аппаратуры, проверяется состояние изоляции и выполняется опробование действия устройства.

В данной брошюре приведена программа наладки и проверки дистанционной защиты в объеме проверки при новом включении. При этом рассматривается только проверка самой панели защиты, т. е. не рассматривается проверка трансформаторов тока, напряжения, цепей сигнализации и др.

Дистанционная защита для проверки должна быть выведена из работы, если она находилась до этого в эксплуатации. Вывод защиты из работы оформляется специальной заявкой в установленном в энергосистеме порядке. В том случае, если заявка на вывод защиты из работы разрешена, то ее вывод осуществляется оперативным (дежурным персоналом), который после этого допускает персонал службы защиты и автоматики к работе на панели защиты. При допуске к работе должны приниматься соответствующие меры как в части безопасности работы проверяющего персонала, так и в части обеспечения надежности действия остающихся в работе устройств защиты и автоматики, например должны быть приняты меры против ошибочного отключения оборудования от находящихся в работе устройств релейной защиты и автоматики и т. п.

Проверка защиты должна производиться специально подготовленным и обученным персоналом, имеющим специальный допуск (или разрешение) на самостоятельную проверку защиты. Объем и последовательность проверки уставок и характеристик защиты определяется действующими инструкциями [Л. 5, 6].

СХЕМА ПРОВЕРКИ ЗАЩИТЫ

Для проверки электрических характеристик отдельных реле и защиты в целом необходимо иметь проверочное устройство, которое позволяло бы подавать на защиту трехфазную систему напряжений 100—110 В и однофазный ток с возможностью плавного изменения фазы между током и системой напряжений.

В эксплуатации применяются различные проверочные устройства, в том числе и выпускаемые заводом устройства для проверки защит УПЗ-2. Одна из возможных схем проверки защиты приведена на рис. 25. Электри-

ческое чередование напряжений U_1, U_2, U_3 должно соответствовать обозначению их индексов. Вольтметр V_1 показывает напряжение «поврежденных» фаз, величина линейного напряжения U_1-U_2 может регулироваться потенциометрами r_1 и r_2 . При проверке реле 4PC напряжение между каждой «поврежденной» фазой и «неповре-

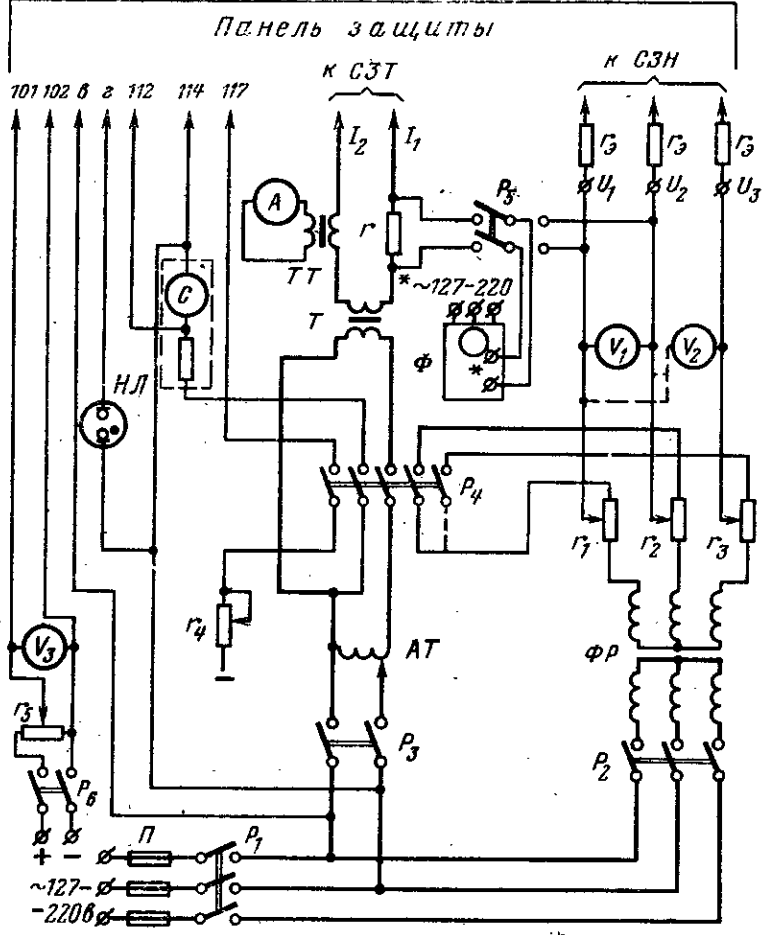


Рис. 25. Схема для проверки электрических характеристик дистанционной защиты.

ФР — фазорегулятор; НЛ — неоновая лампа; r_5 — эквивалентное сопротивление; Φ — прибор для измерения угла (фазовольтметр, фазометр и т. п.); P_1-P_6 — рубильники; r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 — потенциометры; r — сопротивление на максимальный ток; r_4 — сопротивление на ток катушки отключения; АТ — автотрансформатор; Т — нагрузочный трансформатор; ТТ — трансформатор тока; V_1, V_2, V_3 — вольтметры; А — амперметр; С — секундомер.

Таблица 2

Присоединение схемы к панели защиты

Проверяется реле или устройство	А—В		В—С		С—А	
	цепи U	цепи I	цепи U	цепи I	цепи U	цепи I
1PC (A—B); 2PC (B—C) 3PC (C—A); 5PC (C—A)	$U_1 \rightarrow U_A$ $U_2 \rightarrow U_B$ $U_3 \rightarrow U_C$	$I_1 \rightarrow I_A$ $I_2 \rightarrow I_B$	$U_1 \rightarrow U_B$ $U_2 \rightarrow U_C$ $U_3 \rightarrow U_A$	$I_1 \rightarrow I_B$ $I_2 \rightarrow I_C$	$U_1 \rightarrow U_C$ $U_2 \rightarrow U_A$ $U_3 \rightarrow U_B$	$I_1 \rightarrow I_C$ $I_2 \rightarrow I_A$
4PC	$U_1 \rightarrow U_A$ $U_2 \rightarrow U_B$ $U_3 \rightarrow U_C$	$I_1 \rightarrow I_A$ $I_2 \rightarrow I_B$	$U_1 \rightarrow U_B$ $U_2 \rightarrow U_C$ $U_3 \rightarrow U_A$	$I_1 \rightarrow I_B$ $I_2 \rightarrow I_C$	$U_1 \rightarrow U_C$ $U_2 \rightarrow U_A$ $U_3 \rightarrow U_B$	$I_1 \rightarrow I_C$ $I_2 \rightarrow I_A$
Настройка ФНОП на минимум небаланса (рис. 21, 22)	По U_2 : $U_1 \rightarrow U_A$ $U_2 \rightarrow U_B$ U_B и U_C	По I_6 : $I_1 \rightarrow I_6$ (001) $I_2 \rightarrow I_6$ (004)	По U_2 : $U_1 \rightarrow U_B$ $U_2 \rightarrow U_C$ U_C и U_A	—	$U_2 \rightarrow U_C$	—
Чувствительность блокировки БК (рис. 21, 22)	По U_2 : $U_1 \rightarrow U_A$ $U_2 \rightarrow U_B$ U_B и U_C	—	По U_2 : $U_1 \rightarrow U_B$ $U_2 \rightarrow U_C$ U_C и U_A	—	По U_2 : $U_1 \rightarrow U_C$ $U_2 \rightarrow U_A$ U_A и U_B	— объединить перемычкой

Имитруется к. з. между фазами

Проверяются реле или устройство	Имитируется к. з. между фазами					
	А—В		В—С		С—А	
	цепи U	цепи I	цепи U	цепи I	цепи U	цепи I
Чувствительность блокировки БК (рис. 23, 24)	—	По I_2 : $I_1 \rightarrow I_A$ $I_2 \rightarrow I_B$ по 3 I_0 : $I_1 \rightarrow I_0$ (001) $I_2 \rightarrow I_0$ (004)	—	По I_2 : $I_1 \rightarrow I_B$ $I_2 \rightarrow I_C$	—	По I_2 : $I_1 \rightarrow I_C$ $I_2 \rightarrow I_A$
Реле 8РН (рис. 21—24)	$U_1 \rightarrow U_A$ $U_2 \rightarrow U_B$	—	—	—	—	—
Блокировка БН (рис. 7)	$U_1 \rightarrow U_A$ $U_2 \rightarrow U_0$	$I_1 \rightarrow I_0$ (001) $I_2 \rightarrow I_0$ (004)	$U_1 \rightarrow U_B$ $U_2 \rightarrow U_0$	—	$U_1 \rightarrow U_C$ $U_2 \rightarrow U_0$	—
Блокировка БН (рис. 8)	$U_1 \rightarrow U_A$ $U_2 \rightarrow U_0$ по 3 U_0 : $U_1 \rightarrow 3U_0(52)$ $U_2 \rightarrow 3U_0(62)$	—	$U_1 \rightarrow U_B$ $U_2 \rightarrow U_0$	—	$U_1 \rightarrow U_C$ $U_2 \rightarrow U_0$	—

жденной» фазой должно быть одинаковым, для его определения используют вольтметр V_2 . Неоновая лампа $НЛ$ включается проводами $в, г$ на контакты проверяемых реле и помещается рядом с вольтметром V_1 .

Рубильник P_4 предназначен для имитации аварийных режимов при проверке защиты в полной схеме [Л. 1], при настройке же характеристик отдельных реле он должен быть замкнут.

Величина тока регулируется автотрансформатором $АТ$, для получения тока может быть использован реостат, тогда не потребуется трансформатор T . При проверке защиты в полной схеме необходимо выполнить самоудерживание выходного реле защиты от его последовательной обмотки. Для этого предусмотрено сопротивление r_4 вместо цепи KO выключателя (зажим 117), включение этого сопротивления удобно производить рубильником P_4 . Эквивалентные сопротивления r_3 должны быть равны сопротивлению фазы кабеля от трансформатора напряжения до панели защиты.

Присоединение схемы к панели защиты при имитации различных видов к. з. производится в соответствии с табл. 2.

ОБЪЕМ ПРОВЕРКИ ЗАЩИТЫ

Проверка дистанционной защиты включает в себя:

1. Внешний осмотр панели и проверку механической части аппаратуры.
2. Предварительную проверку изоляции панели.
3. Проверку аппаратуры постоянного тока.
4. Проверку пусковых органов блокировки при качаниях.
5. Проверку блокировки при повреждениях в цепях напряжения.
6. Проверку реле сопротивления.
7. Комплексную проверку защиты от постороннего источника и испытание изоляции панели защиты.
8. Проверку защиты рабочим током и напряжением.

Перед проверкой защиты от панели должны быть отключены все цепи постоянного и переменного тока, цепи связей панели с другими устройствами: цепи отключения, ускорения, запуска УРОВ и др.

Внешний осмотр и проверка механической части аппаратуры. Производят тщательный осмотр всей аппаратуры

жения, оно не должно превышать 1 В. Проверяют и настраивают токовое реле 17РТ₀.

В блокировке КРБ-12 выполняют следующее.

Проверяют идентичность ветвей фильтра напряжения нулевой последовательности, для чего измеряют ток небаланса в обмотке поляризованного реле при подведении нормального напряжения от трансформатора напряжения, ток небаланса не должен превышать 15—20% тока возврата реле. Проверяют правильность включения обмотки ω_4 и величину сопротивления $23r_1$ по схеме рис. 26. К потенциометру r (не более 150—200 Ом) подводят напряжение 150—180 В, движок потенциометра устанавливают

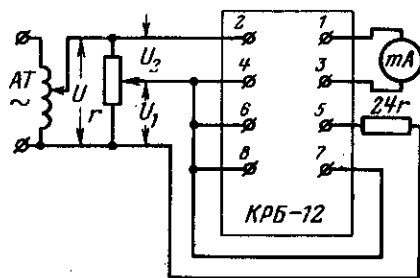


Рис. 26. Схема проверки правильности включения обмотки ω_4 и величины сопротивления $23r_1$ трансформатора 23Т6 блокировки КРБ-12.

ливают в положение, при котором ток в обмотке реле равен нулю. Если отношение U_1 к U_2 равно трем (с точностью 2—3%), то сопротивление $23r_1$ подобрано правильно. Подстройку при необходимости выполняют сопротивлением $23r_1$ (см. рис. 8).

Проверяют поляризованное реле в соответствии с инструкцией. Ток срабатывания должен быть в пределах 0,7—1,2 мА, коэффициент возврата не менее 0,4. Ток срабатывания и ток возврата реле проверяют при поочередной подаче напряжения по схеме фаза—нуль при собранных цепях напряжения панели, при этом замеряют напряжения на входе панели и токи в реле.

Проверяют чувствительность блокировок КРБ-11 и КРБ-12 при повреждениях в цепях напряжения и правильность включения цепей блокировки КРБ-12.

Проверка реле сопротивления. Проверку электрических характеристик реле сопротивления производят после настройки и проверки механической части реле, включающей, кроме внешнего и внутреннего осмотра, проверку состояния подвижной системы реле и регулировку его контактной системы. Проверка реле сопротивления подробно рассмотрена в [Л. 1], здесь же приведен объем

проверки и те особенности, которые касаются проверки реле 4РС. Проверка и регулировка электрических характеристик реле сопротивления включает в себя:

- а) проверку автотрансформатора напряжения Tu ;
- б) проверку трансреактора Tx ;
- в) проверку отсутствия самоходов;
- г) настройку сопротивления срабатывания;
- д) снятие характеристики сопротивления срабатывания $z_{ср} = f(\varphi)$;
- е) снятие зависимости сопротивления срабатывания от тока, $z_{ср} = f(I)$;

ж) определение угловой характеристики реле сопротивления как органа направления мощности.

При проверке автотрансформатора Tu определяют ток холостого хода и измеряют напряжения на всех отпайках. При проверке трансреактора Tx определяют напряжение на вторичной обмотке при подаче тока в каждую первичную обмотку поочередно и одновременно на отпайке 2.

На реле сопротивления устанавливают заданные уставки и производят устранение самохода от тока на реле 1РС—3РС, 5РС. Величина тока должна быть равна току трехфазного к. з. по защищаемой линии при к. з. на шинах подстанции, на которой установлена защита. При этом цепи напряжения закорачивают в точках U_1, U_2, U_3 (рис. 25), а якорь реле 17РПн (16РПн) должен быть подтянут.

Устранение самохода у реле 4РС выполняют следующим образом. Устанавливают закоротку между зажимами U_2 и U_3 (рис. 25), провод U_1 подключают к фазе А, провод U_2 —к фазе В, провод U_3 —к фазе С панели (через сопротивление r_3). При напряжении $U_1—U_2$ равном 100 В (напряжение U_3 отключено) устраняют самоход на реле от обмотки ω_1 (рис. 6), провод U_1 подключают к фазе С панели, провод U_2 оставляют на фазе В, провод U_3 переключают на фазу А. При напряжении $U_1—U_2$, равном 100 В, проверяют отсутствие самохода от обмотки ω_2 . При наличии самохода его устранение производят подключением по частям сопротивления $4r_{10}$ с одной стороны обмотки ω_1 , а если самоход усиливается, то сопротивление включают с другой стороны обмотки ω_1 .

После устранения самохода на реле 4РС, выравнивают углы сопротивления цепей обмоток ω_1 и ω_2 . Для этого

напряжение U_1-U_2 , равное 100 В, подводят соответственно к фазам A и B , а между точками U_1 и U_3 ставят перемычку. В результате этого к цепям обеих обмоток реле подводят одно напряжение, равное 100 В. Изменением сопротивления $4r_6$ устраняют момент на реле (при отпущенной противодействующей пружине и подтянутом якоре реле $17P\Pi n$). Режим работы реле $4PC$ в этот момент соответствует случаю к. з. на фазах C и A в точке $K2$ (рис. 15), т. е. если токи в каждой обмотке сдвинуты на одинаковый угол относительно напряжения, то угол между ними будет равен нулю и на реле момент будет равен нулю.

На всех реле сопротивления устанавливают нормальный угол затяжки противодействующей пружины $25-30^\circ$ и производят настройку сопротивления срабатывания реле при заданном угле между током и напряжением. Включение схемы на рис. 25 к панели выполняют по табл. 2. Сопротивление срабатывания определяют по формуле

$$z_{cp} = U/2I,$$

где U и I — напряжение и ток, определенные в момент срабатывания реле по вольтметру V_1 и амперметру A .

При настройке уставок первой зоны якорь реле $17P\Pi n$ должен быть подтянут, а при настройке уставок второй зоны — в отпавшем положении. Для реле $4PC$ определяют сопротивление срабатывания для к. з. на фазах A и B (регулировку выполняют на $4Tu_1$) и на фазах B и C (регулировка на $4Tu_2$). Для к. з. на фазах C и A проверяют величину сопротивления срабатывания, если обмотки ω_1 и ω_2 (см. рис. 6, 14) имеют одинаковые углы полных сопротивлений, то и уставка для к. з. на фазах C и A будет такая же, как и для к. з. на двух других фазах.

Характеристику сопротивления срабатывания реле $z_{cp} = f(\varphi)$ (или угловую характеристику) снимают при токе, равном току настройки уставки реле $5-10$ А для углов от 0 до 120° (150°) через 30° для каждой зоны. По полученным данным определяют $z_{cp} = U/2I = f(\varphi)$, строят характеристику реле (рис. 16) и определяют угол максимальной чувствительности. Угловую характеристику реле $4PC$ снимают для трех видов двухфазного к. з.

Зависимость сопротивления срабатывания от тока $z_{cp} = f(I)$ снимают при неизменном угле между током и

напряжением, равном углу, при котором производилась настройка реле сопротивления для всех зон. Построив кривую $z_{cp} = f(I)$, определяют действительное значение тока точной работы реле.

Определение угловой характеристики реле как органа направления мощности выполняют для всех реле сопротивления при новом включении при номинальном напряжении и токе (для первой и второй зон). Для снятия характеристики устанавливают перемычки $8-10$ в положение $10-12$ на реле $1PC$, $2PC$, $3PC$, $5PC$ и $4-6$ и $12-14$ соответственно в положения $6-8$ и $14-16$ на реле $4PC$. После снятия характеристики перемычки восстанавливают, определяют линию изменения знака момента и угол максимальной чувствительности реле, который должен быть близок к углу максимальной чувствительности реле сопротивления.

Комплексная проверка защиты от постороннего источника. Устанавливают в заданное положение все режимные перемычки. Замыканием контактов пусковых и дистанционных органов и блокировок от руки проверяют правильность взаимодействия всех элементов защиты в соответствии с принципиальной схемой при напряжении оперативного постоянного тока, равного $0,8 U_n$. Испытание изоляции всех цепей защиты по отношению к корпусу панели производят в установленном порядке переменным напряжением 1000 В в течение 1 мин согласно [Л. 6].

При номинальном напряжении оперативного постоянного тока выполняется имитация различных режимов работы защиты. Во-первых, снимается характеристика времени срабатывания защиты для значений z , равных $0; 0,5z_1; 0,9z_1; 1,1z_1; 0,9z_2; 1,1z_2; 0,9z_3; 1,1z_3$ при тех же токах и угле между током и напряжением, что и настройка сопротивления срабатывания пусковых и дистанционных органов. Полностью собирается схема проверки защиты (рис. 25).

Сначала регулируют величину тока при включенных рубильниках P_3 и P_4 и отключенном рубильнике P_2 . Замеряют фазу тока (рубильник P_5 включается влево), отключают рубильник P_3 и включают рубильники P_2 и P_4 , движками сопротивлений r_1 и r_2 регулируют величину U_1-U_2 , которую подсчитывают для каждого значения z , как $U = 2Iz$. Замеряют и регулируют необходимое значение угла напряжения относительно тока (рубильник P_5

включают вправо). Отключают рубильник \hat{P}_4 и включают P_3 . При этом на защите должно сохраняться симметричное напряжение $U_1-U_2-U_3$, близкое к номинальному и обеспечивающее возврат блокировки при качаниях, выполненной по напряжению. Включают рубильник P_4 и на защите создают «аварийный режим», соответствующий заданным значениям тока, напряжения и угла между ними. Одновременно запускают от рубильника P_4 секундомер для замера времени срабатывания защиты. Останов секундомера осуществляют выходным реле защиты, которое самоудерживается через сопротивление r_4 (до отключения рубильника P_4).

Характеристику $t=f(z)$ снимают для к. з. на фазах AB , BC и CA при исключенном реле $5PC$ для всех значений и затем для к. з. на фазах CA при исключенном реле $4PC$ для значений z : 0; $0,5z_1$; $0,9z_1$; $1,1z_1$; $0,9z_2$ и $1,1z_2$. При z , равном $1,1z_1$ и $1,1z_2$, производят регулировку выдержки времени второй и третьей ступеней защиты. При $z=0$ выполняют сначала имитацию двухфазных к. з. вне зоны действия защиты, т. е. за шинами своей подстанции, при токе, равном 150% максимального тока, проходящего через защиту при трехфазном к. з. на шинах подстанции, от которых отходит защищаемая линия. Для этого при включенном рубильнике P_4 движками сопротивлений r_1 и r_2 устанавливают напряжение U_1-U_2 , равное нулю, при этом, если нужно, провода U_1 и U_2 пересоединяют от движков на верхние выводы r_1 и r_2 . Напряжение U_3 должно быть равно нормальному фазному напряжению.

Угол между током и напряжением устанавливают равным $180^\circ + \varphi$, где φ — угол, при котором выполнялась настройка уставок реле. Устанавливают необходимую величину тока, включают рубильник P_4 , чем в две «поврежденные» фазы защиты подают ток, а напряжение на тех же фазах одновременно снижают до нуля. Имитацию выполняют для трех сочетаний фаз AB , BC и CA . Ни одно реле сопротивления защиты не должно замыкать контакты.

Повторяют аналогичную имитацию, но с углом между током и напряжением, равным φ , при токе настройки защиты в первой зоне, т. е. для случая двухфазного к. з. с $z=0$ в защищаемой зоне. Все реле сопротивления защиты должны замыкать свои контакты на все время имитации к. з. Этими испытаниями проверяют правиль-

ность подбора и включения сопротивлений r_4 в реле $1PC-3PC$ и $5PC$.

Проверяют действие защиты от реле $5PC$ «по памяти» (реле $4PC$ исключено) при $z=0$ в зоне действия для сочетания CA с углом между током и напряжением, равным φ , для токов от тока настройки до минимальных значений токов трехфазных к. з. у шин на защищаемой линии. В схеме проверки по сравнению с предыдущим случаем двухфазного к. з. в зоне дополнительно регулируют напряжение U_2-U_3 , равное нулю (по вольтметру V_2), при включенном рубильнике P_4 .

После включения рубильника P_4 реле $5PC$ должно кратковременно замыкать контакт, после чего срабатывает выходное реле защиты и удерживается через сопротивление r_4 (рис. 25). При этом испытании блокировка при качаниях должна запускаться при включении рубильника P_4 . Если в защите ускоряется третья зона, то действие «по памяти» проверяется и для реле $1PC-3PC$.

Далее устанавливают ток, равный 150% тока трехфазного к. з., проходящего через защиту при к. з. на шинах своей подстанции, угол, равный $180^\circ + \varphi$, и имитируют к. з. за шинами подстанции при $z=0$. Имитацию выполняют для к. з. на фазах AB , BC и CA . Реле $1PC-3PC$ и $5PC$ не должны срабатывать. Этим проверяют отстройку защиты от влияния цепей тока на цели напряжения.

При этой проверке может сработать реле $4PC$ из-за сдвига э. д. с. трансреакторов, такая имитация для реле $4PC$ не является реальной (по току — двухфазное к. з., а по напряжению трехфазное), поэтому срабатывание реле $4PC$ не должно приниматься во внимание.

Отключают рубильник P_3 и повторяют предыдущую имитацию трехфазного к. з. за шинами своей подстанции, но без тока. Этим выявляют правильность прохождения переходных электрических процессов в контурах обмоток реле сопротивления. Ни одно реле сопротивления не должно кратковременно срабатывать.

Измеряют потребление в цепях тока и напряжения при номинальном токе и напряжении 100 В [Л. 6].

Схему проверки отсоединяют от защиты, на защиту подается оперативный постоянный ток, защиту включают «на сигнал», подсоединяют все внешние цепи защиты (отключения, сигнализации, связи с АПВ и т. д.). Замыканием контактов соответствующих реле проверяют

работу сигнализации, цепей ускорения, взаимодействия с УРОВ и другими устройствами. Защиту включают «на отключение» и производят опробование ее действия на отключение выключателя с подхватом от АПВ.

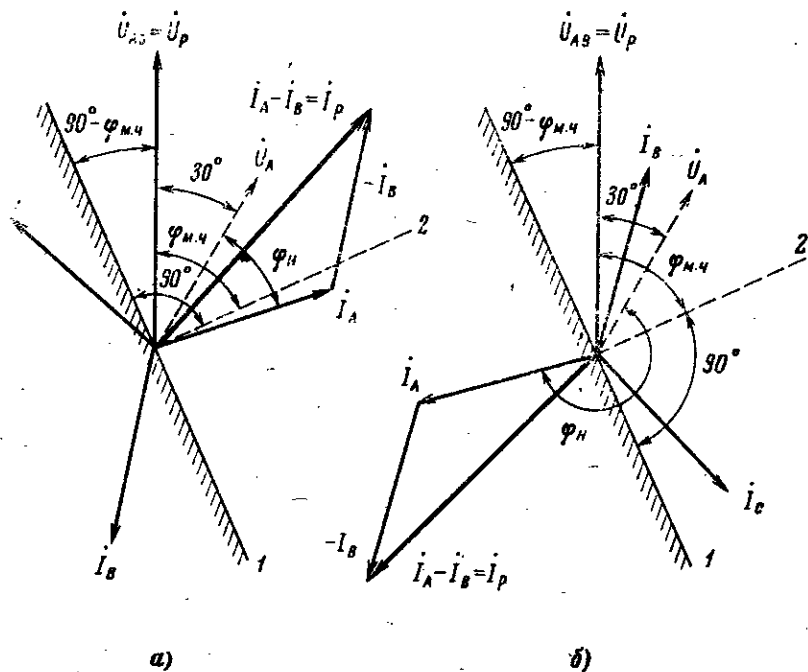


Рис. 27. Проверка правильности включения реле сопротивления рабочим током и напряжением.

а — направление активной и реактивной мощности от шин в линию; б — направление активной и реактивной мощности к шинам; 1 — линия изменения знака момента; 2 — линия максимальной чувствительности.

Проверка защиты рабочим током и напряжением. Эта проверка включает [Л. 6]: проверку исправности и правильности включения цепей напряжения; проверку исправности и правильности включения цепей тока со снятием векторных диаграмм [Л. 8]; проверку правильности включения реле сопротивления [Л. 1], проверку правильности включения блокировки КРБ-12; проверку чувствительности блокировок КРБ-12 и КРБ-11 и замер небалансов в блокировках; замер небалансов в блокировках при качаниях [Л. 6].

Если при проверке защиты от постороннего источника была установлена однозначность включения всех реле сопротивления, то проверяют правильность включения

одного любого реле сопротивления, например реле *IPC*, включенного на напряжения и токи фаз *A* и *B*. Для этого у реле *IPC* переключку 10—8 устанавливают в положение 10—12, в результате чего реле сопротивления превращают в реле направления мощности, угол максимальной чувствительности которого (рис. 27) близок к углу максимальной чувствительности реле сопротивления. Проверка выполняется в соответствии с [Л. 9]. Так, при направлении активной и реактивной мощности от шин (рис. 27,а) реле должно замыкать контакты, при направлении активной и реактивной мощности на шины (рис. 27,б) на реле должен усиливаться удерживающий момент, так как к моменту противодействующей пружины добавляется электрический момент от мощности нагрузки линии. По окончании проверки устанавливают переключку в нормальное положение (10—8) и проверяют наличие большого момента на заклинивание реле.

На всех реле сопротивления измеряют высокоомным вольтметром (типа тестера) распределение напряжений на элементах всех обмоток реле при подведении к панели напряжений всех трех фаз и отключенном токе. Восстанавливают цепи тока защиты, фиксируют величины напряжений на зажимах панели и уставки реле сопротивления.

Проверяют правильность включения блокировки КРБ-12 при имитации однофазного к. з. исключением одной и той же фазы трансформатора напряжения в цепях звезды и разомкнутого треугольника. При правильном включении обмоток блокировки ток небаланса в реле *23РН6* не изменяется.

Проверяют чувствительность блокировок КРБ-11 и КРБ-12 поочередным отключением фаз напряжения в цепях звезды. При этом реле должно срабатывать и кратность тока (в реле *23РН6* блокировки КРБ-12) или напряжения (на реле *17РН* в блокировке КРБ-11) относительно уставки срабатывания должна быть не менее 5—6. По окончании проверки замеряют ток небаланса (в реле *23РН6*) или напряжение небаланса (на реле *17РН*) и сравнивают с величинами возврата этих реле.

Измеряют ток небаланса в обмотке поляризованного реле *8ПР* блокировки при качаниях и сравнивают его с током возврата реле с учетом величины тока нагрузки (для блокировки с фильтром *ФТОП*). На элементах фильтра *ФНОП* замеряют распределение напряжения,

вновь замеряют напряжения на зажимах панели и токи в фазах, замеряют величины небалансов в нулевом проводе и в цепи разомкнутого треугольника.

Проверяют наличие заклинивающего момента на всех реле сопротивления, осматривают положение контактов реле блокировок, устанавливают кожухи на реле и пломбируют их. Производят запись в журнале о готовности защиты к включению и сдают ее дежурному персоналу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савостьянов А. И. Реле сопротивления КРС-131, КРС-132. М., «Энергия», 1969.
2. Елфимов В. М. Векторные диаграммы в релейной защите. М., «Энергия», 1967.
3. Коковин В. Е. Фильтры симметричных составляющих в релейной защите. М., «Энергия», 1968.
4. Руководящие указания по релейной защите. Дистанционная защита линии 35—330 кв. Вып. 7. М., «Энергия», 1966.
5. Гасвенко Ю. А. Руководящие указания по наладке, проверке и эксплуатации дистанционной защиты ПЗ-157. М., Госэнергоиздат, 1957.
6. Кузнецов Ф. Д., Кудрявцев А. А. Инструкция по наладке, проверке и эксплуатации дистанционных защит ПЗ-158 и ПЗ-159. Энергоинт ОРГРЭС. М., 1971.
7. Справочник по релейной защите. Под ред. М. А. Берковича. М., Госэнергоиздат, 1963.
8. Вавки В. Н., Голубев М. Л., Савостьянов А. И. Общая инструкция по проверке устройств релейной защиты, электроавтоматики и вторичных цепей. М., Госэнергоиздат, 1961.
9. Инструкция по проверке правильности включения реле направления мощности. М., «Энергия», 1966.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Назначение и область применения дистанционных защит	4
2. Схема защиты	22
3. Пусковые и дистанционные органы	55
4. Устройство и принцип действия блокировки при качаниях	73
5. Наладка и проверка дистанционной защиты	80
Литература	96