Библиотека электромонтера

УДК
621.316
С 136

А. И. САВОСТЬЯНОВ

РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРС-131, КРС-132

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 285

А. И. САВОСТЬЯНОВ

УДК
621.316
С 136

РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРС-131, КРС-132

237517

Центральная научно-
техническая
библиотека
Западно-Уральского ЦБТИ

«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1969

6П2.1.082
С 12
УДК 621.316.925.45

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устиов П. И.

Савостьянов А. И.

С 12 Реле сопротивления КРС-131, КРС-132, М., «Энергия», 1969.

96 с. с илл. (Б-ка электромонтера. Вып. 285)

В брошюре изложены основные сведения, касающиеся назначения, области применения, принципа действия, устройства и конструкции реле сопротивления КРС-131 и КРС-132, широко применяемых в современных дистанционных защитах.

Приведены технические данные и характеристики реле, выполнен анализ работы реле с помощью векторных диаграмм, изложены методы проверки и настройки механической части и электрических характеристик реле сопротивления.

Брошюра рассчитана на электромонтеров-релейщиков, знакомых с основами электротехники, и может быть также полезна мастерам и инженерам, работающим в области эксплуатации релейной защиты.

3-3-10
69-117

6П.2.1.082

САВОСТЬЯНОВ АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ
Реле сопротивления КРС-131, КРС-132

Редактор *Т. П. Зырянова* Корректор *И. С. Соколова*
Технический редактор *Т. Н. Царева*

Сдано в набор 2/XII 1968 г. Подписано к печати 3/VI 1969 г. Т-06955
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 5,04 Уч.-изд. л. 5,24
Тираж 15 000 экз. Цена 20 коп. Зак 1602

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТИПОВ КРС-131, КРС-132

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Отечественное релестроение за последнее десятилетие значительно расширило выпуск аппаратуры, предназначенной для защиты высоковольтного оборудования энергетических систем. Были сконструированы и выпущены различные типы защит линий электропередачи. В числе их так называемые дистанционные защиты, которые в настоящее время широко применяются для защиты линии электропередачи в электрических сетях со сложной схемой соединений. Так, для защиты линий электропередачи напряжением 35 *кв* [в разное время выпущены и применяются дистанционные защиты типов ПЗ-151, ПЗ-152, ПЗ-153 (ПЗ — означает панель защиты]. Для защиты линий электропередачи напряжением 110—220 *кв* были разработаны и выпущены вначале дистанционная защита типа ПЗ-156, затем защиты ПЗ-157, ПЗ-158, и ПЗ-159, в последнее время применяются защиты линий электропередачи, например, типов ЭПЗ-624, ЭПЗ-633 и др., в которые входят упрощенные варианты дистанционных защит.

Принципы действия дистанционных защит подробно излагаются ниже, однако следует сказать, что любая дистанционная защита выполняется на базе специального реле — реле сопротивления, имеющего определенные характеристики, необходимые для дистанционной защиты.

Такими реле в современных дистанционных защитах линий электропередачи напряжением 110—220 *кв,* на базе которых эти защиты выполнены, являются реле сопротивления типов КРС-131 и КРС-132 (КРС означает — комплект реле сопротивления). Реле сопротивле-

ния типов КРС-131 и КРС-132 входят в комплекты дистанционных защит типов ПЗ-157, ПЗ-158, ПЗ-159, на базе реле сопротивления типа КРС-131 выполнены защиты серии ЭПЗ-600, кроме того, с помощью реле сопротивления КРС-131 или КРС-132 выполняются различные упрощенные схемы дистанционных защит, которые также часто используются в энергосистемах.

Таким образом, указанные реле сопротивления находят все более широкое применение в энергосистемах, чем и вызвано появление данной брошюры, цель которой ознакомить эксплуатационный персонал, в основном электромонтеров и мастеров электролабораторий, с назначением, принципом действия, устройством и эксплуатацией реле сопротивления типов КРС-131 и КРС-132.

Прежде чем излагать принцип действия реле сопротивления, необходимо ознакомиться с назначением и принципом действия дистанционных защит.

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ

Известно, что для защиты электрического оборудования (электродвигателей, трансформаторов, кабельных и воздушных линий электропередачи, работающих в режиме одностороннего питания) широко применяется простейший тип защиты — максимальная токовая защита. Принцип действия максимальной токовой защиты основан на значительном увеличении тока через защищаемый элемент при возникновении повреждения (короткого замыкания) или ненормального режима.

В том случае, когда ток повреждения превышает ток срабатывания защиты последняя с установленной выдержкой времени производит отключение поврежденного элемента.

На линиях электропередачи, имеющих двустороннее питание, в сетях с простой схемой соединений защита может осуществляться максимальной направленной защитой.

Однако в сетях со сложной схемой соединений максимальные и максимальные направленные защиты в большинстве случаев не могут обеспечить полноценную защиту, которая бы удовлетворяла предъявляемым к защите основным требованиям: селективность (или избирательность) действия и быстродействие.

Селективность или избирательность действия защит означает, что при защите электрической сети, состоящей из нескольких элементов, защита 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 осуществляются отключение и вывод из работы только поврежденного элемента, при этом работе энергосистемы или электрической установки причиняется минимальный ущерб.

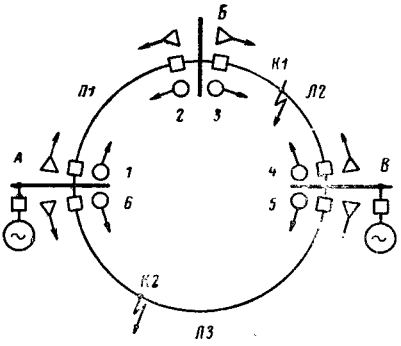

Рис. 1. Схема кольцевой сети с двумя источниками питания.

Быстродействие является одной из основных и необходимых характеристик защиты, особенно важно быстродействие защит в сетях напряжением 110—220 *кв*. Чем быстрее действует защита, тем, во-первых, меньше размер разрушений в поврежденном защищаемом элементе и, во-вторых, обеспечивается более надежная работа остальной, неповрежденной части электрической установки.

В качестве примера, показывающего невозможность выполнения селективной защиты посредством максимальной направленной защиты, на рис. 1 приведен участок кольцевой сети с двумя источниками питания на подстанциях *А* и *В*. Сеть состоит из подстанции *А*, *Б* и *В* и линии 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 короткого замыкания от шин в линию, как показывают стрелки.

При коротком замыкании в точке *К1* на линии *Л2* повреждение должно отключаться максимальными направленными защитами *3* и *4*, при этом выдержки вре-

мени защит *3* и *4* должны быть меньше соответственно выдержки времени максимальных защит *1* и *6*.

При коротком замыкании в точке *К2* на линии *Л3* повреждение должно отключаться максимальными направленными защитами *5* и *6*. В этом случае защиты *5* и *6* должны иметь времена действия меньше, чем защиты *3* и *2*.

По условию согласования выдержек времени защита *4* должна иметь время больше, чем защита *2*, следовательно, при коротком замыкании в точке *К2* защита *4* должна иметь большее время, чем защита *6*, т. е. должны выполняться требования, которые противоречат рассмотренному случаю короткого замыкания в точке *К1*.

Ввиду невозможности выполнения таких противоречивых требований не удается выполнить селективную защиту сети, приведенной на рис. 1, при помощи максимальных направленных защит.

Максимальные токовые и максимальные направленные защиты имеют ряд недостатков, поэтому область их применения ограничивается защитой сетей с простой схемой соединения. К основным недостаткам относятся значительные выдержки времени, выбираемые по ступенчатому принципу, и зависимость чувствительности 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 величины сопротивления линии от места установки защиты до места короткого замыкания.

Определение сопротивления до места к. з. производится дистанционной защитой 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 *К1* 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:

$$U_{ш}=I_{к.з}z_{к.з}.$$

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

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

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,

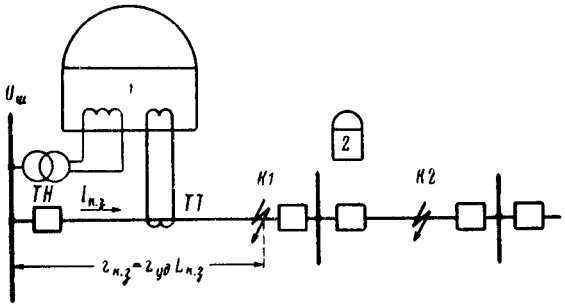

Рис. 2. Принцип действия дистанционной защиты.

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 *К1*, 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 *К2* ближайшей к месту повреждения будет защита *2*, которая в этом случае должна действовать с минимальной вы-

держкой времени, защита же *1* при к. з. в точке *К2* действует уже с большей выдержкой времени, которая согласована с временем действия защиты *2* при к. з. в точке *К2*.

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 при помощи 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.

Дистанционные защиты могут иметь один или несколько дистанционных органов, в последнем случае они имеют различные уставки. 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 пи-

гания, 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 выдержку времени больше, чем выдержка времени защиты на следующем (смежном) участке.

Направленность действия дистанционных защит осуществляется или при помощи отдельных реле направления мощности или путем применения так называемых направленных реле сопротивления, каковыми, в частности, являются реле сопротивления типов КРС-131 и КРС-132. 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 [Л. 1, 2]: наклонная, комбинированная и ступенчатая.

Защиты с наклонной и комбинированной характеристиками конструктивно весьма сложны и не имеют существенных преимуществ перед защитами со ступенчатой характеристикой.

Поэтому в настоящее время отечественные дистанционные защиты выполняются со ступенчатыми характеристиками времени срабатывания.

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, поэтому они действуют только в направлении, указанном стрелками.

Защита *1* имеет трехступенчатую характеристику, что в практике наиболее часто используется, а защита *2* — двухступенчатую.

Трехступенчатая характеристика защиты *1* имеет следующие участки: участок *аб* является первой зоной

защиты z_1, которая охватывает участок линии, расположенной ближе к месту установки защиты, поэтому этот участок линии должен отключаться 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 пределе охватывала 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 под-

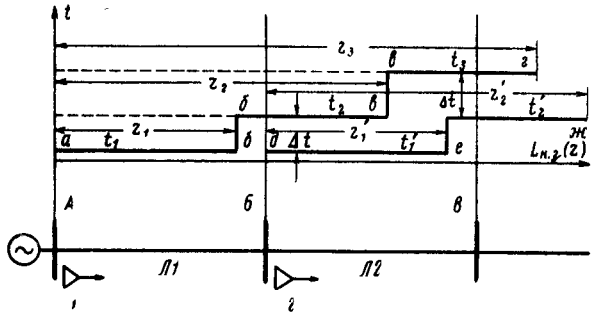

Рис. 3. Ступенчатые характеристики времени срабатывания дистанционных защит.

станции *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 *бв* является второй зоной защиты, длина участка определяется разностью между уставкой второй зоны z_2 и уставкой первой зоны z_1, вторая зона защиты обеспечивает защиту оставшейся части линии, незащищенной первой зоной, шин п/ст. *Б* и участка линии *Л2* за пределами шин п/ст. Б. Чем больше вторая зона охватывает линию *Л2*, тем лучше, потому что при этом защита с уставкой второй зоны действует в пределах защищаемой линии *Л1* с большей надежностью и в слу-

чае повреждения линии *Л2* и отказа выключателя этой линии на п/ст. *Б* обеспечивает отключение линии *Л1* на п/ст. *А*, т. е. обеспечивает резервирование защит и выключателя линии *Л2* на п/ст. *Б*. Чем больше будет длина второй зоны, тем на большем участке линии *Л2* будет обеспечиваться резервирование этого участка защитой *1*. Величина второй зоны защиты, как правило, должна быть не менее $1{,}25\,z_{Л1}$.

Выдержка времени второй зоны защиты t_2 выбирается обычно по условию согласования с временем действия первой зоны защиты *2* и принимается больше времени t'_1 на ступень селективности Δt (рис. 3).

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 в случае, если при повреждении на участке z_1 не произошло отключения с первой зоной t_1, оно будет осуществлено со второй зоной защиты с выдержкой времени t_2.

Участок *вг* является третьей зоной защиты. Этот участок характеристики образуется разностью между уставкой третьей зоны z_3 и уставкой второй зоны z_2. Назначение третьей зоны — обеспечить резервное действие защиты при к. з. на всей длине линии *Л2*, а для того чтобы это действие было достаточно надежно, необходимо, чтобы величина z_3 была больше, чем $z_{Л1} + z_{Л2}$ в 1,2—1,25 раза.

Третья зона защиты имеет выдержку времени t_3, которая больше на ступень селективности Δt выдержки времени второй зоны t'_2 защиты *2*.

Так же как и вторая зона защиты, третья зона выполняет резервирование предыдущих зон — первой и второй, поэтому при отказе в действии защиты с временем t_1 или t_2 повреждение в первой и второй зонах будет отключаться с временем третьей зоны t_3; такое резервное действие второй и третьей зон на характеристике защиты *1* показано пунктирными линиями.

Характеристика защиты *2*, выполненная двухступенчатой, настраивается аналогичным образом, только вторая зона защиты должна иметь уставку, обеспечивающую надежное резервирование линии, отходящей от п/ст. *В*.

Произведенный анализ характеристики времени срабатывания дистанционных защит рис. 3 показывает, что повреждения, расположенные ближе к шинам, т. е. в пределах первой зоны, отключаются с минимальным временем t_1, более удаленные к. з., во второй зоне, отключаются с большим временем t_2, а еще более удаленные к. з., в третьей зоне, отключаются с еще большим временем t_3.

Таким образом, дистанционная защита автоматически увеличивает по ступенчатой характеристике выдержку времени по мере удаления места к. з. от места установки защиты.

ЭЛЕМЕНТЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Любая дистанционная защита имеет следующие основные элементы или органы защиты:

1. Пусковой орган *ПО* (рис. 4), назначение которого отличать нормальный режим от короткого за-

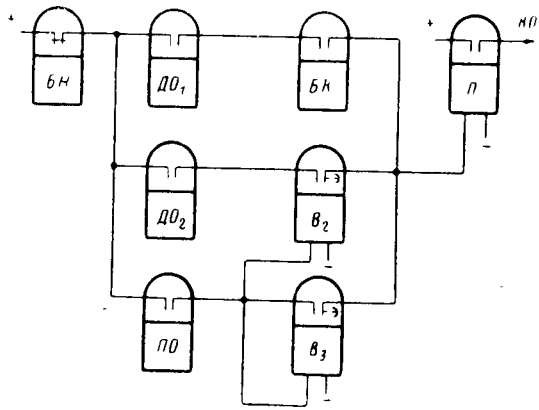

Рис. 4. Блок-схема оперативных цепей трехступенчатой дистанционной защиты, выполненной направленными реле сопротивления.

мыкания и в случае к. з. осуществлять запуск защиты. Пусковой орган может выполняться посредством реле сопротивления или токовыми реле.

Пусковой орган, выполненный реле сопротивления, одновременно является дистанционным органом послед-

ней зоны, действующей с максимальной выдержкой времени (третьей зоны в защите *1* или второй зоны в защите *2* на рис. 3).

2. Дистанционный орган, определяющий удаленность места к. з. При срабатывании дистанционного органа второй зоны $ДО_2$ определяется, что к. з. произошло во второй зоне, срабатывание дистанционного органа первой зоны $ДО_1$ указывает на к. з. в первой зоне, дистанционный орган выполняется с помощью реле минимального сопротивления, реле включается на напряжение $U_р$ и ток $I_р$ и срабатывает при условии

$$z_р = \frac{U_р}{I_р} < z_{ср},$$

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

Сопротивление $z_р$ иногда называется фиктивным, так как в некоторых режимах (например, при нагрузке и качаниях) $z_р$ не является сопротивлением линии. В этих случаях оно представляет собой отношение $U_р/I_р$, обладающее размерностью сопротивления, но не имеющее физического значения.

3. Орган выдержки времени, создающий выдержку времени второй (B_2) и третьей (B_3) зон защиты, выполняется в виде обычных реле времени.

4. Орган направления, не позволяющий защите работать при направлении мощности к. з. к шинам подстанции.

В схеме на рис. 4 функции органов направления защиты выполняют направленные реле сопротивления, т. е. пусковые и дистанционные органы.

5. Блокировки, автоматически выводящие защиту в тех режимах, когда защита может сработать неправильно, т. е. при отсутствии повреждения на линии.

В дистанционных защитах линии 110—220 *кв* обычно применяются две блокировки: блокировка *БН*, которая срабатывает и выводит защиту из действия при повреждении цепей напряжения защиты, так как реле сопротивления, при помощи которых выполнены пусковые и дистанционные органы, могут неправильно работать при неисправностях во вторичных цепях трансформаторов напряжения; блокировка *БК*, предотвращающая неправильное действие защиты в первой зоне при качаниях, когда защита может неправильно подействовать, и раз-

решающая работать защите при коротком замыкании. В нормальном режиме контакт блокировки разомкнут. Он замыкается в том случае, если возникнет на линии короткое замыкание.

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 коротком замыкании на защищаемой линии в пределах первой зоны срабатывают пусковой орган *ПО*, дистанционный орган первой зоны $ДО_1$ и блокировка *БК*. При этом плюс через контакт блокировки *БН*, замкнутый контакт дистанционного органа $ДО_1$, контакт блокировки *БК* попадает на обмотку выходного реле *П*, в результате чего защита действует на отключение. При к. з. в первой зоне, хотя и срабатывает пусковой орган *ПО*, 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 $ДО_2$, и после того как замкнется контакт $В_2$ реле времени второй зоны защиты, образуется цепь на выходное реле *П*.

При к. з. в третьей зоне срабатывает только пусковой орган *ПО*, который выполняет одновременно и функции дистанционного органа третьей зоны, при этом запускается реле времени третьей ступени защиты $В_3$. По истечении выдержки времени замыкается контакт реле $В_3$ и защита действует на отключение. Дистанционные органы первой и второй зон при к. з. в третьей зоне не работают, так как сопротивления на их зажимах превышают уставки сопротивления срабатывания.

При повреждении цепей напряжения (обрыве одной или двух фаз, например, из-за перегорания предохранителей или отключения автоматов вследствие замыкания в цепях напряжения) срабатывает блокировка *БН* и размыкает цепь постоянного тока защиты. Необходимо отметить, что блокировка *БН* срабатывает при появлении несимметрии, например, при замыкании фазы на землю; при некоторых других видах замыканий, скажем двух фаз без земли, она подействует только после отключения одной или обеих поврежденных фаз. Блоки-

ровка не допустит неправильного срабатывания защиты в том случае, если суммарное время отключения поврежденной фазы напряжения и срабатывания блокировки меньше, чем время срабатывания защиты по цепи первой зоны. Поэтому для обеспечения правильного срабатывания блокировки *БН* необходимо чтобы в цепях напряжения осуществлялась защита быстродействующими автоматами или были установлены предохранители на такой ток, чтобы при повреждении в цепях напряжения они быстро сгорали.

Необходимость блокировки защиты в режиме повреждения цепей напряжения вызвана тем, что при повреждении цепей напряжения могут или кратковременно, или длительно замкнуться контакты пускового реле *ПО* первой зоны $ДО_1$ или второй $ДО_2$. Контакт блокировки *БК* может также замкнуться, если блокировка включена в те же цепи напряжения. Тогда бы это привело к неправильному действию защиты.

При возникновении качаний в электрической сети, где установлена защита, будет периодически происходить на зажимах защиты снижение напряжения и увеличение тока.

При этом в зависимости от соотношения токов и напряжений при качаниях могут кратковременно срабатывать все дистанционные и пусковой органы. Так как время, в течение которого эти реле могут замыкать свои контакты, — небольшое (1 *сек* и меньше), то опасность срабатывания защиты при этом наиболее вероятна для первой зоны защиты, которая работает с временем 0,1—0,15 *сек*.

Поэтому блокировка защиты *БК* от неправильного действия при качаниях устанавливается в цепи первой зоны защиты, а цепи второй и третьей зон не блокируются, если время действия защиты в этих зонах более 1,5 *сек*, как принято для схемы на рис. 4.

Блокировка первой зоны защиты при качаниях осуществляется так, что во время качаний, так же как и при нормальном режиме, контакт блокировки *БК* остается разомкнутым, так как качания являются симметричным режимом, на который эта блокировка не работает.

При коротком замыкании за шинами подстанции (как говорят, «за спиной») защита не работает, так как при этом не работают пусковой и дистанционный органы, которые выполнены направленными реле сопротив-

ления, из-за того, что повреждение за шинами подстанции для них оказывается вне зоны их действия.

Рассмотренная упрощенная схема оперативных цепей дистанционной защиты соответствует трехступенчатым дистанционным защитам типов ПЗ-157, ПЗ-158 и ПЗ-159, в которых в качестве пусковых и дистанционных (при трехфазном к. з.) реле используются реле сопротивления типов КРС-131, КРС-132.

ВЕКТОРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ПЛОСКОСТИ *r, x*

Реле сопротивления, применяемые в дистанционных защитах, как указывалось выше, реагируют на величину отношения напряжения на зажимах реле $U_р$ к току, подведенному к токовым зажимам, $I_р$.

В электрической цепи переменного тока, как известно, токи и напряжения могут быть сдвинуты относительно друг друга на различные углы в зависимости от характера сопротивления цепи. Так, например, на рис. 5 приведены векторные диаграммы токов и напряжений для цепей, состоящих из различных сопротивлений.

Пусть напряжение, приложенное к цепи рис. 5, обозначено $U_р$, а ток, протекающий в цепи под действием этого напряжения, $I_р$.

Так как цепь рис. 5,*а* состоит из активного сопротивления *r*, то векторная диаграмма для цепи рис. 5,*а*, как известно, будет состоять из вектора тока $I_р$ и вектора напряжения $U_р$.

Угол сдвига $\varphi_а$ вектора $U_р$ относительно вектора $I_р$ равен нулю. Или, как говорят в таких случаях, векторы $U_р$ и $I_р$ совпадают по фазе.

При построении векторных диаграмм один из векторов можно направить произвольно, тогда положение другого вектора будет определяться его угловым сдвигом относительно первого вектора, положение которого принято за начало отсчета.

Условимся в нашем примере располагать вектор тока $I_р$ горизонтально стрелкой вправо, а относительно вектора тока будем располагать вектор $U_р$.

При этом положительное вращение вектора будет происходить против часовой стрелки. За положительный угол сдвига вектора напряжения $U_р$ относительно вектора тока $I_р$ будем считать угол в направлении от

237517

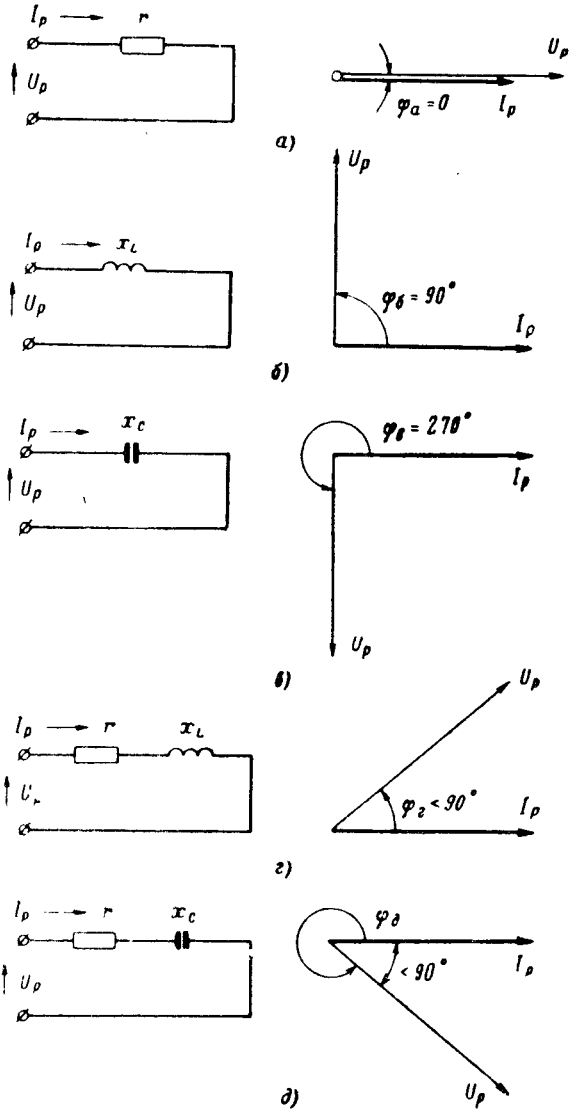

Рис. 5. Схемы электрических цепей, состоящих из различных видов сопротивлений, и векторные диаграммы этих цепей.

вектора $I_р$ к вектору $U_р$ против часовой стрелки. Так, на рис. 5,*а* угол $\varphi_а$ равен нулю.

Цепь рис. 5,*б* состоит из индуктивного сопротивления x_L, поэтому ток и напряжение в этой цепи сдвинуты на угол 90°, причем вектор $U_р$ опережает вектор $I_р$ на угол $\varphi_б$, равный 90°.

Цепь рис. 5,*в* состоит из емкостного сопротивления x_C, поэтому ток и напряжение в этой цепи также сдвинуты на угол 90°, но уже вектор тока $I_р$ опережает вектор напряжения $U_р$ на угол 90°, а угол $\varphi_в$ будет равен 270°.

Результирующее сопротивление всех цепей, практически используемых в энергетике, можно привести к двум основным схемам, показанным на рис. 5,*г* и *д*.

Цепь на рис. 5,*г* представляет собой смешанное активно-индуктивное сопротивление, угол сдвига между током и напряжением определяется соотношением величин этих сопротивлений.

Если величины сопротивлений r и x_L близки друг к другу, то угол сдвига $\varphi_г$ будет соответствовать изображенному на векторной диаграмме рис. 5,*г*, т. е. напряжение $U_р$ будет сдвинуто относительно тока $I_р$ на угол $\varphi_г$, меньший 90°.

Рассматривая аналогичным образом цепь рис. 5,*д*, состоящую из близких по величине сопротивлений r и x_C, можем заключить, что в этом случае ток $I_р$ опережает напряжение $U_р$ на угол, меньший 90°, или напряжение $U_р$ опережает ток $I_р$ на угол $\varphi_д$, который больше 270° и меньше 360°.

В зависимости от типа имеются реле сопротивления, величина сопротивления срабатывания которых зависит только от отношений $U_р/I_р$ и не зависит от угла φ между напряжением $U_р$ и током $I_р$.

В то же время имеются реле сопротивления, величина срабатывания которых зависит не только от отношения $U_р/I_р$, но и от угла φ между напряжением $U_р$ и током $I_р$, подведенных к реле.

Поэтому в практике релейной защиты приходится анализировать поведение реле сопротивления не только при различной величине сопротивления, но и при различном характере сопротивления, подведенного к зажимам реле, т. е. при различных углах между током и напряжением.

Анализ удобно производить, пользуясь векторным изображением сопротивлений на прямоугольной системе координат.

На рис. 6 показана векторная диаграмма напряжения $U_р$ и тока $I_р$, которые сдвинуты на угол $\varphi_р$ (рис. 5,*г*). Полное сопротивление на зажимах реле $z_р = U_р/I_р$ совпа-

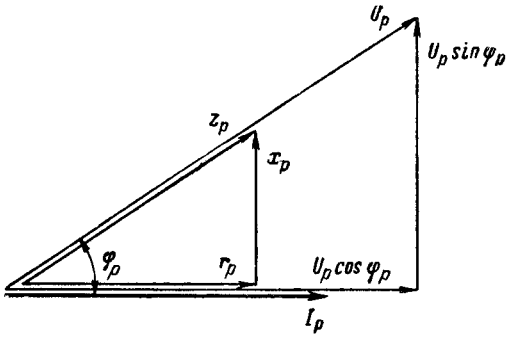

Рис. 6. Векторная диаграмма напряжений, тока и сопротивлений.

дает по фазе с вектором $U_р$, так как представляет собой вектор $U_р$, уменьшенный в $I_р$ раз, и может быть выражено через активные и реактивные составляющие, причем активная составляющая сопротивления $r_р$ представляет собой проекцию полного сопротивления $z_р$ на ток, а реактивная составляющая проекцию полного сопротивления $z_р$ на перпендикуляр к току $I_р$.

Если $z_р = U_р/I_р$, то проекция составляющей напряжения $U_р$ на ток $I_р$, определяется как $U_р \cos\varphi_р$, тогда величина активной составляющей сопротивления будет равна:

$$r_р = \frac{U_р \cos\varphi_р}{I_р} = z_р \cos\varphi_р .$$

Проекция составляющей напряжения $U_р$ на перпендикуляр к току $I_р$ равна $U_р \sin\varphi_р$, тогда величина реактивной составляющей сопротивления $x_р$ будет равна:

$$x_р = \frac{U_р \sin\varphi_р}{I_р} = z_р \sin\varphi_р .$$

Сопротивление $z_р$ может быть представлено в виде вектора, модуль которого равен $z_р = \sqrt{x_р^2 + r_р^2}$, а на-

правление этого вектора определяется углом $\varphi_р$ к оси активных сопротивлений $r_р$.

Как видно из рис. 6, угол сдвига $\varphi_р$ равен углу сдвига фаз между векторами тока $I_р$ и напряжения $U_р$.

Как указывалось выше, сопротивления удобно изображать в прямоугольной системе координат или, как это принято называть в математике, на комплексной плоскости (рис. 7), причем осью активных сопротивлений r является горизонтальная ось, осью реактивных сопротивлений x — вертикальная. Стрелками обозначены положительные направления осей.

Поскольку в этой системе координат оси обозначены r, x, то ее еще называют системой координат r, x.

На комплексной плоскости или в системе координат r, x, различают четыре ее четверти или, как говорят, четыре квадранта: *I*, *II*, *III*, *IV*. На рис. 7 для каждого квадранта даны векторные диаграммы тока $I_р$ и напряжения $U_р$, а также диаграммы сопротивлений $r_р$, $x_р$, $x_с$ и $z_р$. Квадрант *I* соответствует положительным значениям активной $r_р$ и реактивной $x_р$ составляющих полного сопротивления $z_р$.

Вектор сопротивления $z_р$, образованный отношением напряжения $U_р$ к току $I_р$ с углом сдвига фаз $\varphi_р$, располагается под углом $\varphi_р$ к оси активных сопротивлений $+r$.

Если ток $I_р$ располагать горизонтально стрелкой вправо, как мы условились для рис. 5, т. е. совпадающим с положительным направлением оси активных сопротивлений $+r$, то направление вектора полного сопротивления $z_р$ будет совпадать по фазе с направлением вектора $U_р$, так как эти оба вектора, расположены под углом $\varphi_р$ к горизонтальной оси.

Сравнив рис. 5,*г* и 7, нетрудно видеть, что положение вектора $z_р$ в квадранте *I* означает, что сопротивление $z_р$ является активно-индуктивным и угол сдвига $\varphi_р$ (рис. 7) вектора $U_р$ относительно $I_р$, как условились считать против часовой стрелки, равен $\varphi_г$ (рис. 5,*г*). Положение вектора $z_р$ в квадранте *I* в реле защиты соответствует к. з. на защищаемой линии в схеме рис. 8,*а* или за ее пределами в направлении действия защиты, так как характер сопротивления, подводимого к зажимам реле сопротивления, соответствует рис. 5,*г*, т. е. является активно-индуктивным.

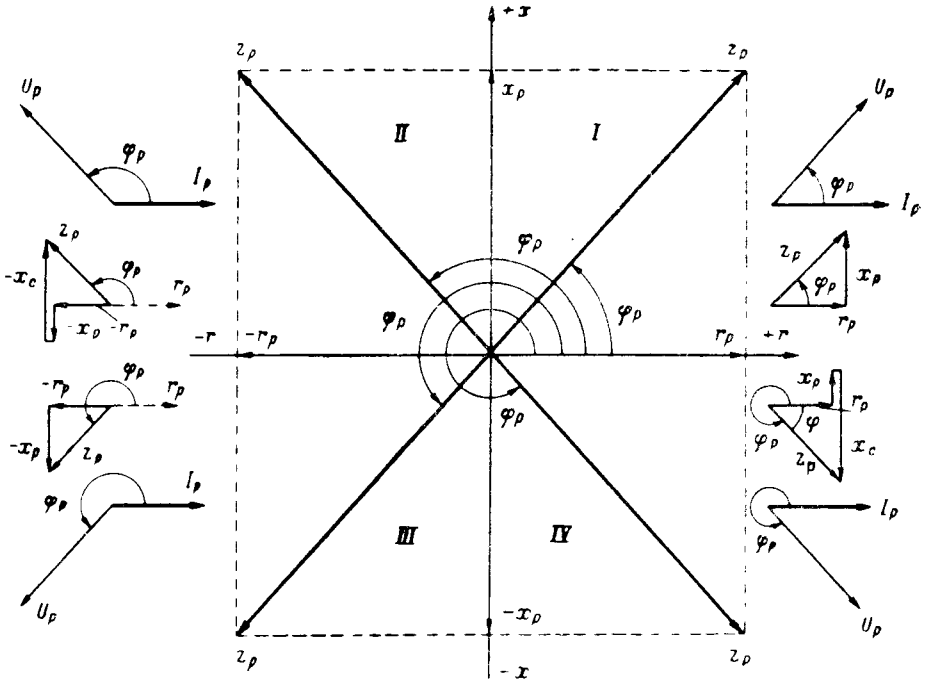

Рис. 7. Система координат r, x.

Аналогичным образом можно рассмотреть расположение вектора в квадрантах *II*, *III* и *IV*; как видно из рис. 7, нумерация квадрантов осуществляется против часовой стрелки.

Квадрант *II* соответствует сопротивлениям $z_р$, у которых $U_р$ сдвинуто относительно $I_р$ на угол $\varphi_р$, больший 90° и меньший 180°.

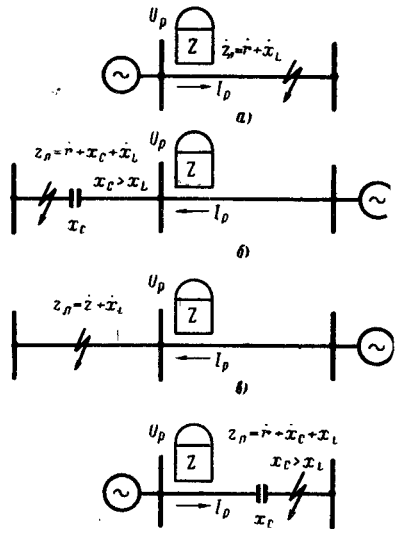

Рис. 8. Схемы, поясняющие рис. 7.

Положение векторов тока и напряжения в квадранте II можно представить, если рассмотреть сопротивление $z_р$, подводимое к реле сопротивления в схеме на рис. 8,*б*.

На рис. 8,*б* показано к. з. за шинами подстанции, где расположена защита (т. е. «за спиной» защиты), на линии электропередачи, имеющей продольную емкостную компенсацию причем $x_C > x_L$ и поэтому результирующее сопротивление такой цепи будет активно-емкостным, но так как направление тока в реле Z по сравнению с рис. 5,*д* изменилось на 180°, то напряжение $U_р$ опережает ток $I_р$ на угол $\varphi_р$, больший 90° и меньший 180°. На такой же угол относительно оси $+r$ сдвинуто и сопротивление $z_р$ в квадранте *II*.

Положение вектора $z_р$ в квадранте *III* соответствует случаю, когда напряжение $U_р$ опережает ток $I_р$ на угол $\varphi_р$, который в этом квадранте изменяется от 180° до 270°. Практически вектор $z_р$ будет располагаться в квадранте *III* в реле защиты при к. з. за шинами подстанции («за спиной») на отходящей линии с активно-индуктивным сопротивлением (рис. 8,*в*). Положение вектора $z_р$ в квадранте *III* при одинаковом активно-индуктивном сопротивлении цепи может быть получено, если изменить для $z_р$ квадранта *I* направление тока (или напряжения) в реле сопротивления на 180°, например в схеме на рис. 5,*г*.

Наконец, положение вектора $z_р$ в квадранте *IV* характеризуется положительной активной составляющей $+r_р$ и отрицательной реактивной $-x_р$. В этом квадранте напряжение $U_р$ опережает ток $I_р$ на угол $\varphi_р$, изменяющийся в пределах от 270° до 360°.

Практический вектор $z_р$ может быть расположен в квадранте *IV* в реле защиты при к. з. на защищаемой

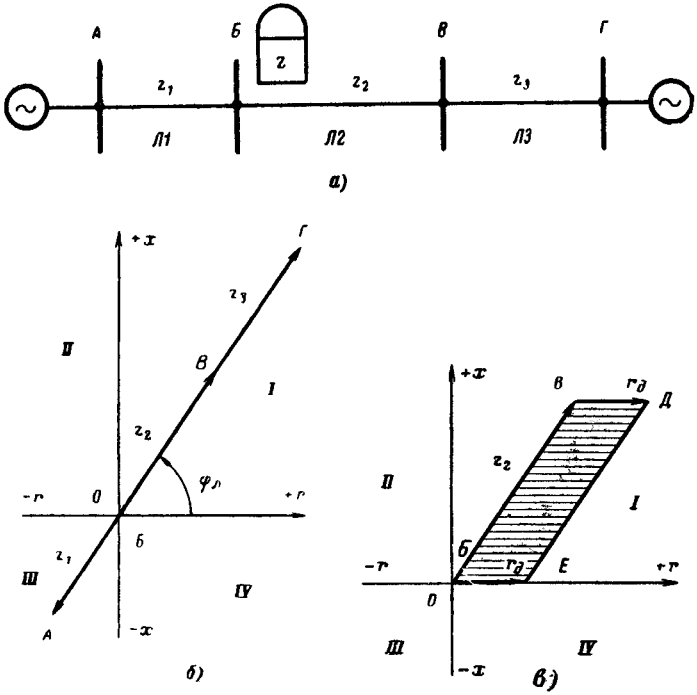

Рис. 9. Схема сети (*а*) и изображение ее на комплексной плоскости (*б*, *в*).

линии (рис. 8,*г*), у которой имеется продольная емкостная компенсация, причем $x_L < x_C$ и результирующее сопротивление линии является активно-емкостным.

Любой участок сети, например линии *Л1, Л2, Л3* (рис. 9,*а*), можно представить в осях *r*, *x* векторами сопротивлений z_1, z_2, z_3.

Если сопротивление всех участков сети имеет один и тот же угол $\varphi_л$, как обычно бывает, то линия сопротив-

лением $z_л$ может быть изображена на комплексной плоскости под углом $\varphi_л$ к оси активных сопротивлений.

Начало защищаемой линии, где установлена рассматриваемая защита *Z* (рис. 9,*а*), совмещается с началом координат. Координаты всех участков сети, попадающих в зону защиты *Z*, считаются положительными и располагаются в квадранте *I*, координаты же участков сети, расположенных влево от шин подстанции (рис. 9,*а*), считаются отрицательными и располагаются в квадранте *III*.

Сопротивление z_1 линии *Л1* показано на рис. 9,*б* отрезком *АБ*, линии *Л2* — отрезком *БВ*, линии *Л3* — отрезком *ВГ*.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

На рис. 9,*в* показано сопротивление линии *Л2* рис. 9,*а* в системе координат *r*, *x* и рассмотрена область расположения вектора сопротивления, если повреждения на линии *Л2* будут происходить через различные величины переходных сопротивлений от нуля до $r_д$.

При металлическом повреждении на линии *Л2* в какой-либо точке ее величина сопротивления будет определяться отрезком от начала координат до этой точки на линии *БВ*.

В том случае, если повреждение произойдет не металлическое, а через переходное сопротивление дуги, которое является активным сопротивлением, то величина этого сопротивления может быть представлена вектором, направленным горизонтально по оси *r*.

Например, при замыкании в начале линии через дугу сопротивлением $r_д$ вектор сопротивления будет изображаться отрезком *БЕ*, равным сопротивлению дуги $r_д$, при замыкании в конце линии — отрезком *ВД*, тоже равным $r_д$.

Если считать, что замыкание через переходное сопротивление может происходить в любой точке линии *Л2* (*БВ*) и это сопротивление может достигать величины $r_д$, то положение вектора сопротивления, который может иметь место, будет определяться расстоянием от начала координат до любой точки площадки, ограниченной четырехугольником *БВДЕ*.

Рассматривая рис. 9,*в* видим, что сопротивление линии *Л2* при к. з. на ней через различные сопротивления

дуг — четырехугольник *БВДЁ* — расположено в квадранте *I*.

Поэтому защита *Z* (рис. 9,*а*) чтобы обеспечить защиту линии *Л2*, должна обязательно иметь рабочую зону в квадранте *I* и эта зона должна перекрывать четырехугольник *БВДЕ*.

Важной эксплуатационной характеристикой реле сопротивления является зависимость сопротивления срабатывания реле $z_{ср}$ от угла $\varphi_р$ между напряжением $U_р$ и током $I_р$, подведенных к зажимам реле, т. е. $z_{ср}=f(\varphi_р)$.

Эта зависимость определяет зону действия реле и называется характеристикой срабатывания реле, в эксплуатации ее еще часто называют угловой характеристикой реле сопротивления. На рис. 10 приведены основные характеристики срабатывания реле сопротивления, которые наиболее часто применяются в релейной защите [Л. 2].

Характеристика срабатывания каждого реле на рис. 10 представляет собой окружность, каждая точка которой удовлетворяет условию $z_р=z_{ср}$, т. е. сопротивление на окружности, подведенное к зажимам реле $z_р$, равно сопротивлению срабатывания реле. Заштрихованная часть характеристики внутри окружности, где $z_р<z_{ср}$, соответствует области действия реле, потому что реле сопротивления являются минимальными, т. е. они срабатывают в том случае, если сопротивление на зажимах реле становится равным или меньшим, чем сопротивление срабатывания этого реле. Поэтому при подведении к реле сопротивления $z'_р<z_{ср}$ (рис. 10,*а*) реле будет замыкать контакты, при подведении же к реле $z''_р>z_{ср}$ (рис. 10,*а*), т. е. при $z_р$, выходящем за пределы заштрихованной зоны, реле сопротивления работать не будет.

Таким образом, характеристика срабатывания реле определяет границу между областью действия и областью недействия реле в зависимости от угла между напряжением $U_р$ и током $I_р$, которые подведены к реле.

Хотя на рис. 10 все приведенные характеристики срабатывания реле являются окружностями, они имеют различный характер изменения сопротивления срабатывания реле от угла $\varphi_р$, потому что сопротивление $z_{ср}$ реле измеряется величиной вектора от начала координат *О* до окружности.

Характеристика реле на рис. 10,*а* представляет собой окружность с центром в начале координат; характеристика реле на рис. 10,*б* представляет собой окруж-

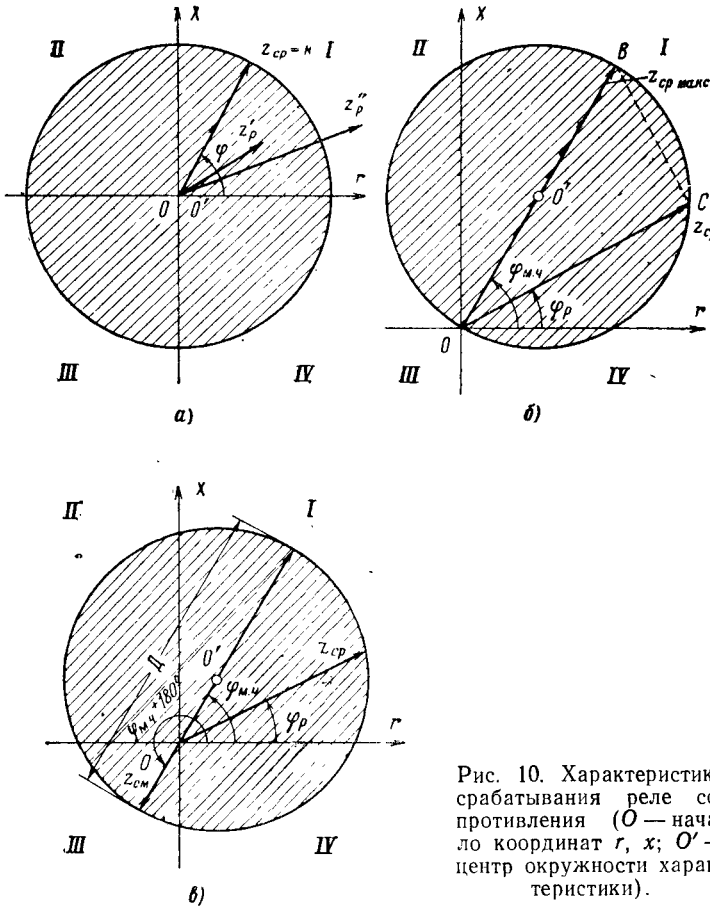

Рис. 10. Характеристика срабатывания реле сопротивления (*O* — начало координат *r*, *x*; *O'* — центр окружности характеристики).

ность, проходящую через начало координат; характеристика реле на рис. 10,*в* является промежуточной между первыми двумя.

Сопротивление срабатывания реле $z_{ср}$ с характеристикой по рис. 10,*а* является радиусом окружности, поэтому величина $z_{ср}$ не зависит от значения угла $\varphi_р$ меж-

ду напряжением $U_р$ и током $I_р$ и для данной уставки реле является постоянной, т. е.

$$z_{ср}=K.$$

Реле с такой характеристикой (рис. 10,*а*) имеет одинаковое сопротивление $z_{ср}$ во всех четырех квадрантах, т. е., как в квадранте *I* (рис. 7 и 8,*а*), что соответствует к. з. на защищаемой линии, так и в квадранте *III* (рис. 7 и 8,*в*), что соответствует к. з. за шинами подстанции, где установлена защита. Поэтому такое реле сопротивления не обладает направленностью и называется ненаправленным реле полного сопротивления. Реле с такой характеристикой применяются в тех случаях, когда не требуется различной чувствительности к активным и реактивным слагающим полного сопротивления линии, например в защитах шин напряжением 6—10 *кв*, для защиты линий 35 *кв*. При использовании их для защиты линий 35 *кв* требуется устанавливать также специальные реле направления мощности.

Характеристика срабатывания реле, приведенная на рис. 10,*б*, проходит через начало координат, поэтому сопротивление срабатывания реле, определяемое расстоянием от начала координат до окружности, для разных углов $\varphi_р$ (между током и напряжением) будет различно. Максимальное значение сопротивления срабатывания реле с характеристикой на рис. 10,*б* будет равно диаметру окружности $z_{ср.макс}$. Угол $\varphi_{м.ч}$ наклона диаметра окружности $z_{ср.макс}$ к оси активных сопротивлений *r* называется углом максимальной чувствительности реле.

Из рассмотрения треугольника *OBC* нетрудно вывести уравнение характеристики срабатывания реле [Л. 2].

Поскольку вписанный в окружность треугольник *OBC* прямоугольный, так как угол *OCB* опирается на диаметр окружности, то можно определить один из его катетов *OC*, равный значению сопротивления срабатывания $z_{ср}$ при данном угле $\varphi_р$, по формуле

$$OC=OB\cos\angle BOC.$$

Так как

$$OC=z_{ср};\qquad OB=z_{ср\,макс},$$

получим уравнение характеристики срабатывания реле

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

При $\varphi_р = \varphi_{м.ч}$ cos $(\varphi_{м.ч} - \varphi_р) = 1$ и сопротивление срабатывания реле равно $z_{ср.макс}$. Чем больше отличается угол $\varphi_р$ от угла $\varphi_{м.ч}$, тем меньшим становится $z_{ср}$ по сравнению с $z_{ср.макс}$.

Из рассмотрения рис. 10,*б* можно установить, что основная область срабатывания реле расположена в квадранте *I*, чем обеспечивается защита линии с сопротивлением по рис. 9,*в*, небольшая область срабатывания находится в квадранте *II*. очень маленькая—в квадранте *IV*. В квадрант *III* совершенно не попадает область срабатывания реле. Если вернуться к рис. 7, 8,*в* и 9, то из их рассмотрения видно, что в квадранте *III* будут находиться $z_р$, соответствующие к. з. за шинами подстанции, где защита *Z* (рис. 9) не должна срабатывать. Следовательно реле с характеристикой по рис. 10,*б*, не работает при расположении $z_р$ в квадранте *III*.

Это означает, что оно не может действовать, если мощность по защищаемой линии направлена к шинам подстанции, т. е. реле является направленным.

Поэтому реле сопротивления, имеющие такую характеристику срабатывания, называются направленными реле полного сопротивления.

Выше было сказано, что характеристика срабатывания реле представляет собой границу перехода от области, где реле не работает, в область срабатывания реле, это означает, что на окружности характеристики момент на реле равен нулю, так как здесь осуществляется переход из зоны с отрицательным моментом, где реле, как говорят, «клинит», т. е. держит контакты разомкнутыми, в зону с положительным моментом, где реле замыкает свои контакты.

Рассмотрим случай короткого замыкания на защищаемой линии *Л2* у шин п/ст. *Б* и поведение реле *Z* на п/ст. *Б* (рис. 9), имеющего характеристику направленного реле сопротивления. Пусть к. з. на линии *Л2* произошло у самых шин п/ст. *Б*, сопротивление $z_р$, подводимое к реле и равное отношению напряжения $U_р$ к току $I_р$, будет равно нулю из-за того, что равно нулю напряжение $U_р$ вследствие близости места к. з. к шинам. В рассматриваемом случае практически мы будем иметь к. з. в начале координат, т. е. в точке *О* (рис. 10,*б*). Точка *О* находится на окружности характеристики, где, как мы только что рассмотрели, момент на реле равен нулю и, следовательно, реле работать не будет.

Аналогичная картина будет иметь место, если рассмотрим к. з. вблизи шин п/ст. *Б* (рис. 9) на линии *Л1*, при этом сопротивление $z_р$, подводимое к реле, также будет равно нулю, так как напряжение $U_р$ тоже равно нулю из-за того, что к. з. находится у самых шин *п/ст*, *Б*, хотя и не в зоне защиты *Z*, а «за спиной».

Следовательно, у направленного реле сопротивления имеется недостаток. Оно не работает при к. з. у шин подстанции как на защищаемой линии, так и вне ее, если при этом напряжение на реле равно нулю, т. е., как говорят, реле имеет «мертвую зону».

Этот недостаток направленного реле сопротивления удается устранить определенными техническими решениями, которые изложены ниже.

Направленные реле полного сопротивления широко применяются в дистанционных защитах линий электропередачи и напряжением 110 *кв* и выше, в частности реле типов КРС-131 и КРС-132 являются также направленными реле сопротивления.

Угол максимальной чувствительности направленных реле сопротивления принимается близким к углу полного сопротивления защищаемых линий.

Реле КРС-131 и КРС-132 имеют угол максимальной чувствительности, равный 65°, они предназначены для защиты линий 110 *кв*, которые имеют угол полного сопротивления 60—65°. Реле КРС-131 и КРС-132 могут также изготавливаться с углом максимальной чувствительности 75°, тогда они используются для защиты линий 220 и 330 *кв*, угол полного сопротивления которых близок к 75°.

На рис. 10,*в* приведена смещенная круговая характеристика срабатывания реле, которая является промежуточной характеристикой между двумя рассмотренными. Смещенная круговая характеристика может быть получена из характеристики направленного реле сопротивления (рис. 10,*б*), если окружность этой характеристики сместить вниз по линии максимальной чувствительности в квадрант *III* на величину сопротивления смещения $z_{см}$ (рис. 10,*в*). Уравнение характеристики срабатывания в этом случае имеет вид:

$$z_{ср} = Д \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_р) - z_{см},$$

где *Д* является диаметром окружности и для характеристики рис. 10,*б* обозначено как $z_{ср.макс}$.

Рассматривая смещенную характеристику рис. 10,*в*, можно установить, что ее область срабатывания находится во всех четырех квадрантах. Поэтому реле с такой характеристикой работает надежно при к. з. на защищаемой линии у шин подстанции, где установлена защита, и при к. з. на части линии, отходящей от шин (в квадранте *III*). Следовательно, реле не является направленным. Реле со смещенной характеристикой используется в защитах, где требуется обеспечить действие защиты при к. з. на шинах подстанции, в схемах защиты шин, где требуется разная чувствительность защиты при к. з. на защищаемой линии в квадранте *I* и за шинами подстанции в квадранте *III*, и в некоторых других случаях.

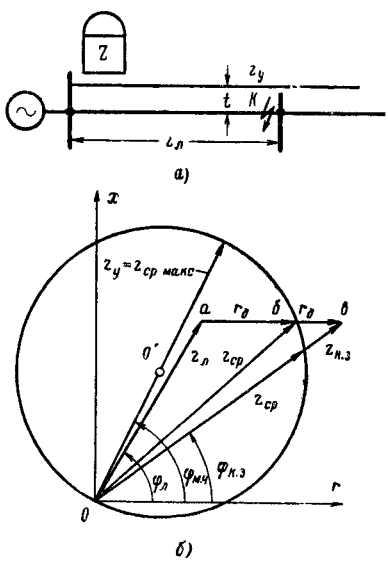

Рис. 11. Характеристика времени срабатывания одноступенчатой дистанционной защиты (*а*) и характеристика срабатывания этой защиты (*б*).

При $z_{см}=0$ реле превращается в направленное реле сопротивления (рис. 10,*б*), при $z_{см}=Д/2$ реле превращается в ненаправленное реле сопротивления по рис. 10,*а*.

Имеются реле сопротивления с другими видами характеристик срабатывания, однако они применяются реже и здесь не рассматриваются.

На рис. 11,*а* приведена одноступенчатая характеристика времени срабатывания дистанционной защиты, имеющей выдержку времени t. Установка $z_у$ защиты выбрана с таким расчетом, чтобы обеспечить надежную защиту линий длиной $z_л$, т. е. $z_у=z_{ср.макс}$ (рис. 11,*б*).

На рис. 11,*б* приведены в координатах r, x характеристика срабатывания защиты Z (рис. 11,*а*), выполненной направленным реле сопротивления, и сопротивление линии $z_л$. Рассматривая характеристику рис. 11,*б*, видим, что угол максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ и

угол полного сопротивления линии $\varphi_л$ близки друг к другу и поэтому при металлическом коротком замыкании в конце линии защита будет действовать с надежностью, определяемой отношением $z_у$ к $z_л$, которое будет больше единицы. Если к. з. произойдет в конце линии, но через сопротивление дуги $r_д$, которое является активным сопротивлением и откладывается по оси r (отрезок $ав$), то, как видим из рис. 11,*б*, сопротивление до места к. з. $z_{к.з}$ (отрезок $ов$), равное геометрической сумме сопротивлений $z_л$ и $r_д$, окажется большим чем $z_{ср}$ защиты при угле $\varphi_{к.з}$, и защита работать не будет, хотя физически повреждение находится на защищаемой линии в точке K (рис. 11,*а*), электрически оно оказалось вне области действия реле — в точке $в$.

Рассмотренный пример показывает, что, используя характеристику срабатывания реле, можно в системе координат r, x выполнять различные анализы работы защиты.

Например, проведя отрезок $аб$ от конца вектора $z_л$ до окружности, можем определить величину активного сопротивления дуги $r'_д$, при котором защита еще будет действовать, так как геометрическая сумма $z_л$ и $r'_д$ равна $z'_{ср}$.

При эксплуатации дистанционных защит приходится выполнять различные анализы поведения защит, например, при больших токах нагрузок, качаниях и в других режимах; это выполняется соответствующими построениями в системе координат r, x подобно только что рассмотренным.

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРАБАТЫВАНИЯ ОТ ТОКА

Зависимость сопротивления срабатывания реле $z_{ср}$ от тока, проходящего через реле $I_р$ при срабатывании, т. е. $z_{ср}=f(I_р)$, показана на рис. 12 сплошной линией. Из рассмотрения характеристики $z_{ср}=f(I_р)$ можно установить, что сопротивление срабатывания $z_{ср}$ при снижении тока $I_р$ остается практически неизменным до точки $а$, которая соответствует току $I'_р$.

При меньших токах $z_{ср}$ начинает уменьшаться, в точке $б$ значение $z_{ср}$ уменьшается на 0,1 $z_{ср}$, т. е. на 10%, этой точке соответствует ток точной работы реле ($I_{т.р}$).

Током точной работы реле $I_{т.р}$ называется минимальное значение тока протекающего через реле, при кото-

ром погрешность сопротивления срабатывания реле равна 10%.

Снижение сопротивления срабатывания $z_{ср}$ после точки *а* обусловлено тем, что при определенных значениях тока (меньших $I'_р$) начинает влиять на величину $z_{ср}$ механический момент сопротивления (усилие противодействующей пружины, трение в осях реле), а также в некоторой степени изменение магнитного сопротивления стали в реле при токе $I'_р$ по сравнению с большим током.

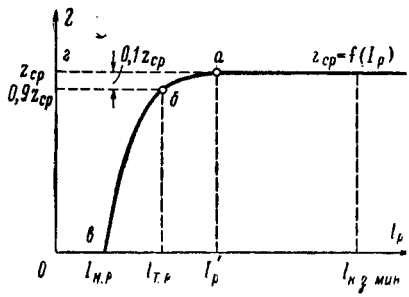

Рис. 12. Зависимость сопротивления срабатывания реле от тока.

В условиях эксплуатации желательно иметь такое реле сопротивления, у которого $z_{ср}$ не изменялся бы от тока, т. е. после точки *а* $z_{ср}$ также был бы неизменен по линии *аг*, но в силу вышеизложенных причин $z_{ср}$ снижается, в точке *б* при токе $I_{т.р}$ сопротивление срабатывания равно 0,9 $z_{ср}$, при большем снижении тока $z_{ср}$ продолжает снижаться и при токе начала работы $I_{н.р}$, $z_{ср}$ становится равным нулю. При токах меньших, чем ток начала работы $I_{н.р}$, реле не работает, как бы ни снижали напряжение на его зажимах

Поскольку избежать зависимости $z_{ср}$ от тока не удается, то желательно иметь величину тока точной работы как можно меньше. Это необходимо для того, чтобы во всех возможных режимах работы дистанционной защиты минимальное значение тока короткого замыкания $I_{к.з.мин}$ было всегда больше, чем значение тока точной работы. При этом реле будет работать с погрешностью, не превышающей 10%, т. е. будет иметь достаточную точность работы, которая предусмотрена расчетом. В этом случае можно будеть обеспечить необходимое согласование характеристик защиты, приведенных, например, на рис. 3.

Значение токов точной работы реле КРС-131 и КРС-132, кроме правильной регулировки механической части, зависит от уставок на реле, особенно в реле КРС-131, что будет показано ниже; они могут изменяться от долей ампера до десятка ампер.

2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРС-131, КРС-132

СХЕМА РЕЛЕ И НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

На рис. 13 приведена схема реле КРС-132, а на рис. 15 — схема реле КРС-131.

Реле КРС-131 и КРС-132 имеют одинаковое устройство и одинаковую схему, они отличаются только некоторыми конструктивными особенностями, схема реле

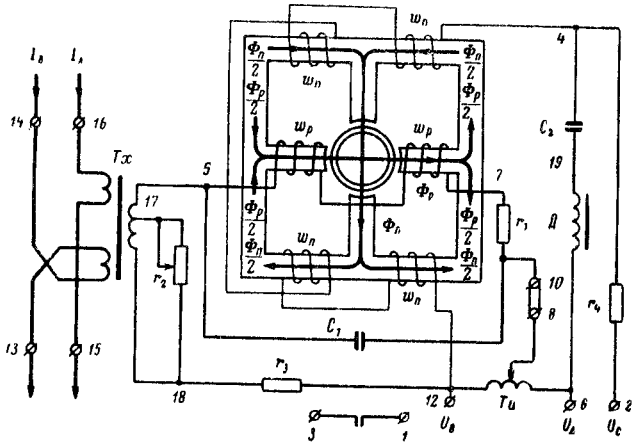

Рис. 13. Схема реле КРС-132.

КРС-132 более простая, поэтому целесообразно рассмотреть назначение элементов этих реле на схеме реле КРС-132 (рис. 13).

Комплект реле сопротивления КРС-132 выполнен на базе четырехполюсного индукционного реле, которое имеет две обмотки: поляризующую $w_п$, расположенную на магнитопроводе и состоящую из четырех катушек, и рабочую $w_р$, расположенную на полюсах магнитопровода и состоящую из двух катушек, соединенных последовательно. Каждая пара катушек поляризующей обмотки $w_п$, расположенная на верхнем и нижнем магнитопроводе реле, соединена между собой встречно, благодаря чему при протекании тока через обмотку верхняя пара катушек создает потоки, направленные от сторон магнитопровода к вертикальному полюсу, а нижняя пара

катушек создает потоки, направленные от вертикального полюса к краям магнитопровода.

В результате этого через вертикальные полюсы создается поляризующий поток, направленный на рис. 13 вниз, далее он разветвляется на два потока $\Phi_п/2$ и замыкается через боковые стороны магнитопровода, образуя у верхнего полюса вновь полный поток $\Phi_п$.

Между полюсами в центре магнитопровода реле расположен стальной цилиндрический сердечник (рис. 13 и 15), который уменьшает магнитное сопротивление межполюсного пространства. Так как полюсы имеют цилиндрический срез, то между полюсами и сердечником образуется равномерный зазор. В зазоре расположен цилиндрический алюминиевый ротор (барабанчик), укрепленный на оси. На той же оси укреплен подвижный контакт реле.

При повороте барабанчика против часовой стрелки (если смотреть сверху) контакт реле будет замыкаться; контакт выведен на зажимы реле *1—3* (рис. 13 и 15).

При протекании тока в рабочей обмотке $w_р$, например, слева направо, через горизонтальные полюсы будет образовываться рабочий магнитный поток $\Phi_р$. Этот поток, пройдя полюсы, разделяется на два потока по $\Phi_р/2$ каждый, которые замыкаются через верхнюю и нижнюю стороны магнитопровода.

Таким образом, через вертикальные и горизонтальные полюсы реле проходят два потока: поляризующий $\Phi_п$ и рабочий $\Phi_р$. Эти потоки пронизывают находящийся в зазоре барабанчик, и каждый из потоков наводит в барабанчике ток, пропорциональный создающему его потоку.

Так, поток $\Phi_п$ наводит в барабанчике ток $I_{б.п}$ (рис. 14), который протекает через стороны барабанчика, обращенные к полюсам *ВГ*, и взаимодействует с потоком $\Phi_р$.

Поток $\Phi_р$ также наводит в барабанчике ток $I_{б.р}$, который протекает через стороны барабанчика, обращенные к полюсам *АБ*, и взаимодействует с потоком $\Phi_п$.

Если потоки $\Phi_п$ и $\Phi_р$ совпадают по фазе, то созданные ими в барабанчике токи $I_{б.п}$ и $I_{б.р}$, взаимодействуя соответственно с потоками $\Phi_р$ и $\Phi_п$, не создают на подвижной системе реле вращающий момент, если же потоки $\Phi_п$ и $\Phi_р$ сдвинуты по фазе на некоторый угол α, то на подвижной системе индукционного реле будет созда-

ваться вращающий момент, определяемый следующим выражением:

$$M_{вр} = k\Phi_п\Phi_р \sin\alpha.$$

Выражение для $M_{вр}$ является общим для вращающего момента реле индукционной системы.

В рассматриваемых реле сопротивления направление поляризующего потока при работе реле в различных режимах не изменяется, а может изменяться только его

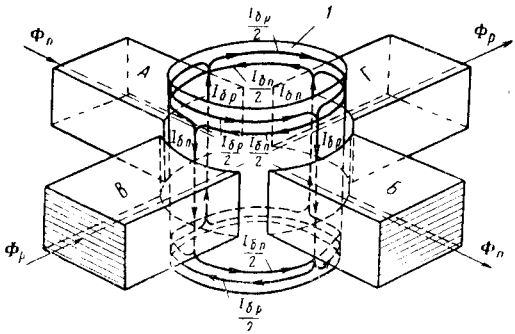

Рис. 14. Принцип действия индукционного реле (*1* — барабанчик, *АБ* и *ВГ* — полюсы магнитной системы).

величина, поэтому он назван поляризующим. При этом положение подвижной системы реле зависит от направления потока $\Phi_р$ от рабочей обмотки.

Реле сопротивления выполнено таким образом, что при отсутствии повреждения в зоне действия реле поток $\Phi_р$ от рабочей обмотки направлен в одну сторону, при этом подвижная система реле отклоняется в сторону размыкания контактов и реле не работает. При возникновении повреждения в зоне действия реле поток $\Phi_р$ от рабочей обмотки изменяет свое направление на противоположное, в результате чего момент на реле также изменяется на противоположный, подвижная система реле отклоняется в сторону замыкания контактов и реле срабатывает.

В цепь поляризующей обмотки $w_п$, кроме упомянутых выше четырех катушек обмотки, входят конденсатор C_2 и дроссель *Д*. Цепь поляризующей обмотки подключается к зажимам реле *12* и *6*, к которым подводятся напряжения двух фаз соответственно $U_А$ и $U_В$, таким образом поляризующая обмотка включается на линей-

ное напряжение, в нашем примере U_{AB}, которое равно напряжению на реле $U_р$. В цепь поляризующей обмотки также входит сопротивление r_4, включенное с одной стороны на напряжение третьей фазы, в нашем случае U_C, и с другой стороны в точку между обмоткой $w_п$ и конденсатором C_2.

Назначение конденсатора C_2 следующее: во-первых, он создает совместно с индуктивностью обмотки $w_п$ и дросселя $Д$ необходимый угол полного сопротивления поляризующей цепи, величина его подобрана так, что суммарное сопротивление этой цепи имеет небольшой емкостный характер, поэтому ток в поляризующей цепи опережает напряжение на зажимах *12—6* на угол 4—7°, во-вторых, конденсатор C_2 совместно с индуктивностью обмотки $w_п$ и дросселя $Д$ создает электрический резонансный колебательный контур, благодаря которому при исчезновении напряжения на зажимах поляризующей цепи $U_р = U_{AB}$ ток не исчезает мгновенно, а еще некоторое время продолжает протекать по колебательному контуру, уменьшаясь с каждым периодом в 2—2,5 раза, но сохраняя при этом ту же фазу, какую он бы имел при наличии напряжения $U_р$.

Дроссель $Д$ введен в поляризующую цепь для того, чтобы увеличить индуктивность колебательного контура цепи, благодаря чему снижена доля активного сопротивления контура цепи и, следовательно, снижены величины затухания тока в рассмотренном выше колебательном процессе при исчезновении напряжения $U_р$; таким образом, дроссель позволяет повысить добротность колебательного контура поляризующей цепи, который настроен на резонанс напряжений.

Создание колебательного контура позволяет устранить «мертвую зону» реле сопротивления при трехфазных коротких замыканиях у шин подстанции, где установлена защита, когда напряжение на реле $U_р$ снижается до нуля; подробнее об этом будет сказано ниже. Назначение сопротивления r_4: оно позволяет устранить «мертвую зону» реле в упомянутом только что режиме, но не при трехфазных, а при двухфазных коротких замыканиях, о чем подробно будет сказано ниже во время анализа работы реле.

Из рассмотрения цепи поляризующей обмотки можно сделать вывод, что эта цепь включается на величину полного значения линейного напряжения $U_{AB} = U_р$ и

поэтому в цепи поляризующей обмотки проходит ток $I_п$, пропорциональный напряжению $U_р$.

Цепь рабочей обмотки $w_р$ имеет два источника напряжения, создающих в рабочей обмотке ток: автотрансформатор напряжения *Tu* и трансформатор с воздушным зазором, так называемый трансреактор *Tx*.

Трансреактор *Tx* представляет собой трансформатор с двумя первичными обмотками и одной вторичной, напряжение на его вторичной обмотке пропорционально геометрической разности токов в первичных обмотках; если к одной обмотке подводится ток I_A (к зажиму *16*), ко второй—ток I_B (к зажиму *14*), то геометрическую разность этих токов $\dot{I}_A - \dot{I}_B$ можно заменить одним эквивалентным током в реле $\dot{I}_р = \dot{I}_A - \dot{I}_B$. Таким образом, напряжение на вторичной обмотке будет пропорционально току $I_р$.

Параллельно части витков вторичной обмотки трансреактора *Tx* включено сопротивление r_2, которое обеспечивает необходимый сдвиг по фазе вторичного напряжения трансреактора относительно первичного тока $I_р$.

Напряжение, подводимое к рабочей обмотке от автотрансформатора *Tu*, пропорционально напряжению $U_{AB}=U_р$, его величина определяется отпайкой на автотрансформаторе *Tu*.

Установкой необходимой отпайки на автотрансформаторе *Tu* осуществляется регулировка заданной уставки срабатывания $z_у$ реле сопротивления.

Цепь рабочей обмотки выполнена таким образом, что ток, протекающий в рабочей обмотке $w_р$, пропорционален разности между напряжением $U_р$ и напряжением $I_р z_у$, создаваемым на вторичной обмотке трансреактора *Tx*, т. е.

$$I_{р.\,рез} = \dot{U}_р - \dot{I}_р z_у,$$

где $U_р = U_{AB}$; $I_р = I_A - I_B$ — напряжение и ток, подведенные к реле;

$z_у$ — уставка срабатывания реле.

При отсутствии повреждения в зоне действия реле, например, при холостом ходе защищаемой линии напряжение $U_р$ на зажимах реле имеет большое значение, составляющая от тока $I_р z_у$ будет равна нулю, так как ток равен нулю, поэтому результирующий ток в рабочей обмотке обусловлен напряжением $U_р$; при

этом поток $\Phi_р$, взаимодействуя с поляризующим потоком $\Phi_п$, создает на реле момент на размыкание контактов.

При повреждении в зоне действия реле напряжение $U_р$ становится меньше, чем составляющая от тока $I_р z_у$, поэтому результирующий ток в рабочей обмотке изменяет свое направление на противоположное, в результате чего на реле изменяется момент с заклинивающего на срабатывающий и реле замыкает контакты.

Как видим, для срабатывания реле необходимо, чтобы в его рабочей обмотке изменилось на противоположное направление тока $I_{р.рез}$. При разработке реле было установлено, что изменение тока в рабочей обмотке должно происходить с определенной скоростью во много раз больше, 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 выполнения этого условия в цепь рабочей обмотки введены сопротивления r_1, r_3 и конденсатор C_1, который подключен параллельно обмотке $w_р$.

Параллельно включенные обмотка $w_р$ 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 $U_р$ и увеличения тока $I_р$.

В цепи рабочей обмотки имеется накладка, нормально включенная между зажимами *8—10*. Эта накладка предусмотрена для проверки под нагрузкой правильности включения направленного реле сопротивления, какими являются реле 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 $U_р$, и остается только составляющая напряжения от тока $I_р$.

Благодаря этому ток в рабочей обмотке будет пропорционален току в реле $I_р$, с другой стороны, ток в поляризующей обмотке пропорционален $U_р$.

Таким образом, мы получили реле, в одной обмотке которого ток пропорционален $I_р$, а в другой — $U_р$, 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 разомк-

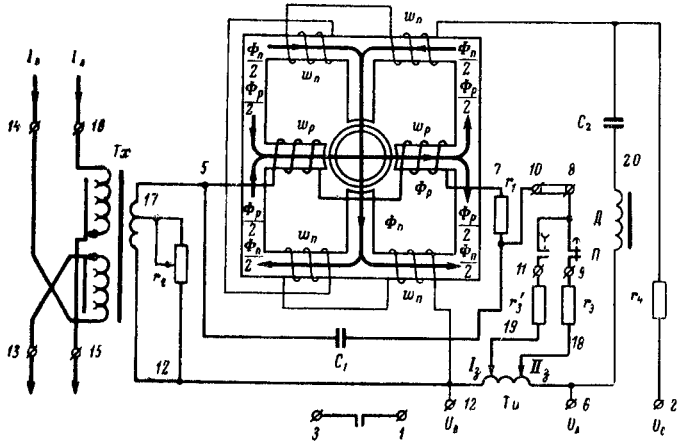

Рис. 15. Схема реле КРС-131.

нутыми 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. Определив действие реле в режиме реле направления и сопоставив его с тем действием, которое должно иметь реле сопротивления при том же направлении мощности короткого замыкания, можно оценить правильность включения реле.

Схема реле КРС-131, приведенная на рис. 15 отличается от схемы реле КРС-132 следующим: в трансреакторе *Tx* можно изменять число витков первичных обмоток, благодаря чему увеличивается диапазон изменения уставок сопротивления срабатывания в 8 раз в сторону ниже по сравнению с реле КРС-132; в автотрансформа-

торе напряжения *Ти* выполнены две отпайки; для регулирования уставок первой зоны (*I* зона) и для регулирования уставок второй зоны (*II* зона).

Поэтому реле КРС-131 может быть использовано для выполнения двухступенчатой дистанционной защиты с возможностью выполнения двух различных уставок сопротивления срабатывания по первой и второй зонам, но так как в реле имеется одна рабочая обмотка, то подключение к ней отпайки *I* зоны или *II* зоны выполняется через контакты промежуточного реле *П*. На схеме рис. 15 контакты реле *П* показаны в положении, соответствующем обесточенному реле *П*. Когда защита находится в работе, то обмотка реле *П*, не показанная на схеме рис. 15, находится под напряжением и поэтому контакт реле *П* в первой зоне замкнут, а во второй зоне разомкнут. Реле *П* имеет замедление на возврат (при обесточении обмотки), управление реле осуществляется пусковым органом защиты.

При находящейся в работе, но не запущенной защите реле КРС-131 подготовлено для работы в первой зоне, оно может сработать в цепи первой зоны в случае возникновения к. з. в первой зоне, пока не разомкнется контакт реле *П* в цепи *Iз*; обесточение реле *П* происходит в начале к. з. от пускового органа. Время размыкания контакта реле *П* в цепи первой зоны выбирается больше, чем срабатывание защиты при к. з. в первой зоне, и принимается равным 0,15 или 0,25 *сек*, поэтому реле успевает сработать в цепи первой зоны.

В том случае, если к. з. произошло не в первой, а во второй зоне, то в момент пуска защиты реле сопротивления, включенное на уставку первой зоны, не работает; спустя выдержку времени, отрегулированную на реле *П*, контакт его в цепи Iз размыкается, а в цепи IIз замыкается. Благодаря этому рабочая обмотка реле КРС-131 включается на уставку второй зоны, а так как к. з. произошло во второй зоне, то реле сопротивления срабатывает и замыкает свой контакт, обеспечивая действие защиты со второй зоной.

Переключение уставки реле с первой зоны на вторую должно выполняться без разрыва цепи, поэтому контакты реле *П* выполнены мостящими, следовательно, в момент переключения отпайки от автотрансформатора зоны *Iз* и *IIз* замыкаются мостящими контактами реле *П*, во избежание к. з. в этих цепях в цепи отпаек включены

равные сопротивления r_3 и r'_3, а сопротивление r_3 между трансреактором *Tx* и автотрансформатором *Tu* убрано (см. схему рис. 13).

УСТРОЙСТВО РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТАВОК

На рис. 16 и 17 приведены монтажные схемы реле КРС-132 и КРС-131. Все элементы реле смонтированы в одном кожухе.

В верхней части расположено индукционное реле *РС* с поляризующей $w_п$ и рабочей $w_р$ обмотками. Над ним

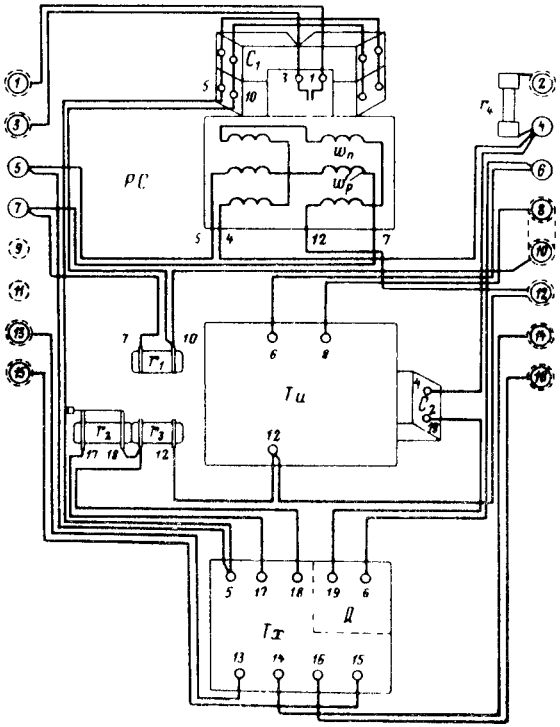

Рис. 16. Монтажная схема реле КРС-132.

находится конденсатор C_1 рабочей цепи реле. Ниже реле *РС* расположен автотрансформатор *Tu*, на панельку которого выведены отпайки для изменения уставок. Сопротивления r_1, r_2 и r_3 находятся слева от автотрансфор-

матора Tu, конденсатор C_2 поляризующей цепи реле расположен между автотрансформатором и цоколем реле. В самой нижней части расположены трансреактор Tx и дроссель $Д$ (между трансреактором и цоколем реле), обозначение элементов и нумерации выводов соответствует принципиальным схемам реле на рис. 13 и 15.

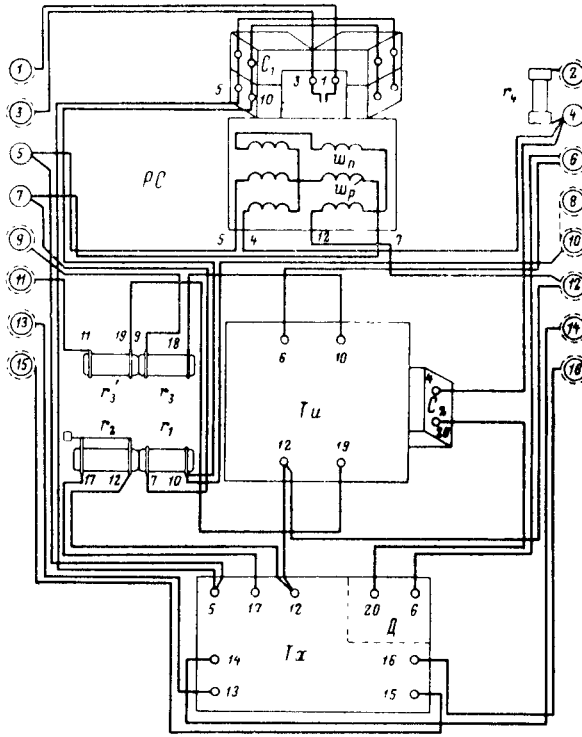

Рис. 17. Монтажная схема реле КРС-131.

Реле РС выполнено на базе индукционного реле ИМБ и имеет следующее устройство (рис. 18), одинаковое для реле КРС-131 и КРС-132.

Магнитная система реле состоит из замкнутого квадратного магнитопровода *1* с четырьмя полюсами. На дальних и ближних сторонах магнитопровода расположены катушки *2* поляризующей обмотки. На горизонтальных полюсах расположены две катушки *3* рабочей обмотки реле.

В центре между полюсами расположен стальной цилиндрический сердечник *4*, уменьшающий магнитное сопротивление межполюсного пространства. В зазоре между полюсами и сердечником помещен цилиндрический алюминиевый ротор (барабанчик) *5*, укрепленный при помощи втулки *6* с винтами на оси *7*. Ось *7* может поворачиваться в подпятниках: нижнем *8* и верхнем *9*.

На оси укреплен подвижный контакт *10*, который может замыкаться с неподвижными контактами *11*, расположенными на контактной колодке *12*, а последняя укреплена на контактной плате *13*.

Подвижный контакт *10* изолирован от оси пластмассовой пластиной и соединен с внутренней частью спиральной пружины — токоподвода *14*, наружная сторона спиральной пружины соединена с жестким проводником, укрепленным на пластмассовом диске *15*; к проводнику на диске присоединяется провод оперативных цепей от зажима реле. Поворотом диска *15* можно изменять угол затяжки противодействующей пружины *14*. На оси 7 неподвижно закреплен пластмассовый упор *16*, ход которого ограничивают неподвижные упоры *17*, укрепленные на контактной плате *13*.

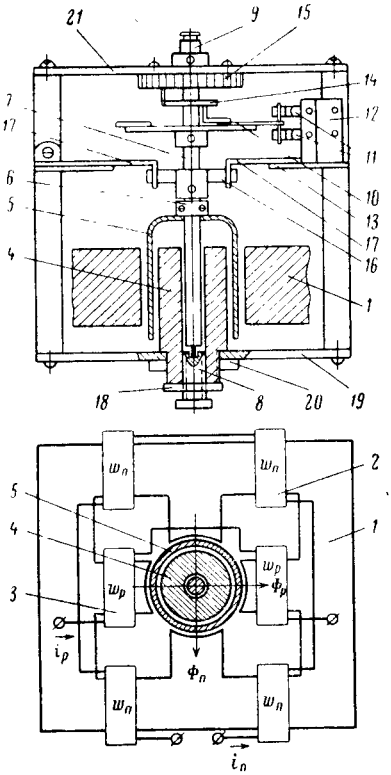

Рис. 18. Устройство индукционного элемента реле сопротивления.

Крепление неподвижных упоров предусматривает возможность изменения их положения.

В средней части контактной платы, не показанной на рис. 18, расположен третий упор, который ограничивает ход подвижного контакта *10*. Сердечник *4* имеет

сквозное отверстие, через которое проходит ось; отверстие внизу имеет резьбу, в которую ввертывается нижний подпятник *8* и контрится гайкой *18*. Сердечник *4* укрепляется на несущей планке *19* посредством гайки *20*.

Нижний опорный подпятник реле представляет собой винт *1* (рис. 19,*а*), во внутренней полости которого

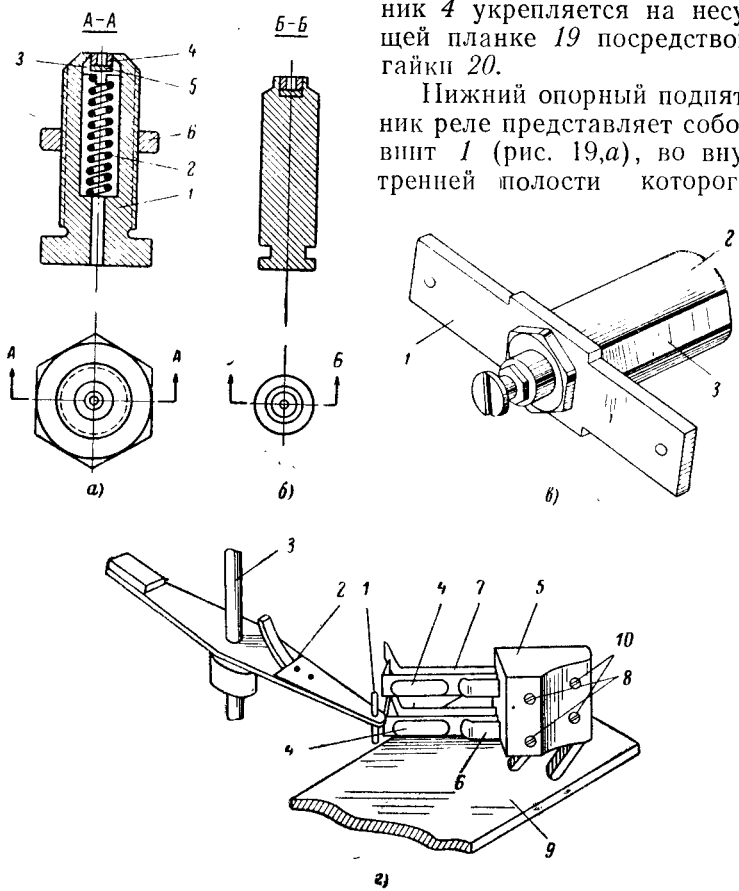

Рис. 19. Конструкция узлов индукционного реле РС.
а — нижний подпятник; *б* — верхний подпятник; *в* — сердечник реле; *г* — контактная система.

размещены опорная пружина *2* и опирающаяся на эту пружину направляющая обойма *3* с направляющим *4* и плоским *5* камнями, со стороны наружного отверстия обойма завальцована. Фиксация положения и закрепление нижнего подпятника в сердечнике осуществляются контргайкой *6*.

Верхний подпятник реле (рис. 19,*б*) представляет собой цилиндр со вставленными в него направляющими и плоскими камнями, подпятник неподвижно закреплен в верхней планке *21* (рис. 18).

На рис. 19,*в* показаны конструкция и крепление стального сердечника к нижней несущей планке *1*. Стальной сердечник 2, представляющий собой цилиндр, имеет срез *3* по образующей. Срез предназначен для возможности некоторого изменения магнитного потока в зазоре реле с целью устранения самохода реле.

Конструкция контактной системы реле показана на рис. 19,*г* штифт подвижного контакта *1* установлен на рычаге *2*, укрепленном неподвижно на оси *3*. Подвижный контакт осуществляет замыкание цепи с двумя неподвижными контактами *4*, соединенными параллельно и укрепленными на колодке *5*; для улучшения работы контактов предусмотрены передние *6* и задние *7* упорные пластины. Колодка с неподвижными контактами для возможности регулирования положения контактов может перемещаться в прорезях контактной платы *9*. Винты, крепящие контактную колодку к контактной плате, расположены снизу и на рис. 19,*г* не видны. Винтами *8* осуществляется регулирование нажатия передних упорных пластин, винтами *10* крепятся проводники к контактам.

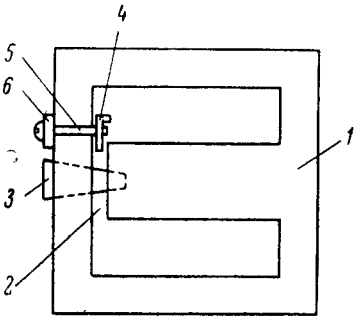

Рис. 20. Магнитная система трансреакторов и дросселей.

На рис. 20 приведено устройство магнитной системы трансреакторов *Тх* и дросселей *Д*, которая состоит из Ш-образного магнитопровода *1* с воздушным зазором *2*. В воздушный зазор вставлена клинообразная пластина *3* из пермаллоя и может вводиться частично магнитный шунт *4*, который закрепляется на магнитопроводе двумя винтами *5* посредством гетинаксовой пластины *6*. Клинообразная пластина из пермаллоя должна компенсировать нелинейность магнитного сопротивления, а следовательно, и электрического сопротивления дросселя или трансреактора при малых индукциях, т. е. при малых

напряжениях на дросселе и малых токах через трансреактор.

Благодаря компенсации нелинейности магнитного сопротивления удалось снизить величины токов точной работы реле сопротивления, так как оказалось, что снижение сопротивления срабатывания при малых токах обусловлено не только возрастанием влияния механического момента сопротивления, но и нелинейностью намагничивания стали в трансреакторах и дросселях. Уст-

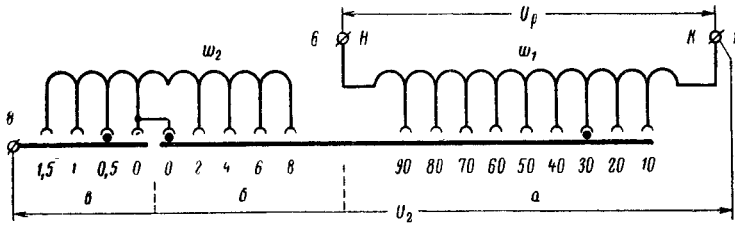

Рис. 21. Схема автотрансформатора *Ти* реле КРС-132.

ранение этой нелинейности позволило уменьшить ток точной работы реле в 1,5—1,6 раза при неизменности остальных характеристик (размеров реле, потребления).

Магнитный шунт позволяет путем частичного изменения воздушного зазора изменять сопротивление дросселя или трансреактора в пределах $\pm 10\%$. При введении шунта в зазор электрическое сопротивление дросселя или трансреактора уменьшается, а при выведении из зазора — увеличивается.

При перемещении магнитного шунта в зазоре дросселя могут изменяться параметры поляризующей цепи или величина вторичной э. д. с. при регулировании характеристик трансреактора. Такое регулирование обычно выполняются на заводе, в эксплуатации, как правило, к ним не приходится прибегать, однако в случае отклонения характеристик реле от заданных они могут быть выполнены и поэтому приведены ниже в разделе проверки реле.

Как указывалось выше, регулирование уставок реле КРС-132 осуществляется изменением отпаек на автотрансформаторе *Ти*; схема автотрансформатора приведена на рис. 21. Автотрансформатор имеет основную (автотрансформаторную) обмотку w_1 и дополнительную (трансформаторную) обмотку w_2. От основной обмотки

выведены девять отпаек через 10% каждая относительно полного числа витков основной обмотки, включение необходимой отпайки производится штекерным винтом *а*, дополнительная обмотка имеет две секции: в одной отпайки выполнены через 2%, в другой — через 0,5%; отпайки первой секции набираются штекерным винтом *б*, отпайки второй секции — штекерным винтом *в*.

К зажимам *6(Н)* и *12(К)* подводится напряжение $U_р$, вторичное напряжение снимается с зажимов *8* и *12*. Если включить штекерными винтами полное число витков автотрансформатора, т. е. установить винты в положения *а — 90; б — 8* и *в — 1,5*, то получим 99,5% витков обмотки w_1 и будем иметь минимальную уставку сопротивления срабатывания, равную 2 *ом* вторичных на фазу. При этом регулирование уставки будет осуществляться ступенчато и цена каждой ступени равна 0,5% от 99,5, т. е. 0,5% минимальной уставки.

Если же установим минимальное число витков, равное 10%, т. е. штекерные винты установим в положения *а — 10, б — 0; в — 0*, то получим максимальную уставку сопротивления срабатывания реле, равную 20 *ом* на фазу вторичных.

Ступень регулирования в этом случае составляет также 0,5% общего числа витков, а так как отпайка взята только 10% всей обмотки, то ступень регулирования от принятого числа витков составит 5%. Следовательно, при максимальной уставке на реле, когда включено 10% витков на автотрансформаторе *Ти*, минимальная ступень регулирования составляет 5%. Точность регулирования для остальных уставок будет иметь промежуточные значения между 0,5% и 5%.

Уставки на реле сопротивления обычно задаются в значениях первичных ом на фазу. Например, пусть задано отрегулировать на реле КРС-132 установленной в дистанционной защите линии 110 *кв* $z'_{ср}=60$ *ом* первичных на фазу. Сначала определяем вторичное сопротивление срабатывания по формуле

$$z_{ср}=\frac{z'_{ср}n_т}{n_н}=\frac{60\cdot 120}{1\,100}=6{,}54 \text{ ом вторичных на фазу,}$$

где $n_т=600/5=120$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока защиты; $n_н=110/0{,}1=1\,100$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Для того чтобы отрегулировать $z_{ср}=6{,}54$ *ом* на *фазу* на реле, необходимо определить число витков, которое следует включить на автотрансформаторе *Ти;* число витков n определяется по формуле

$$n=\frac{100z_0}{z_{ср}}=\frac{100\cdot 2}{6{,}54}=30{,}6,$$

где $z_0=2$ *ом* на *фазу* — минимально возможное сопротивление срабатывания на реле КРС-132, если установить на автотрансформаторе *Ти* реле полное число витков.

Штекерные винты на автотрансформаторе *Ти* должны быть установлены в положении *а — 30; б — 0; в — 0,5.*

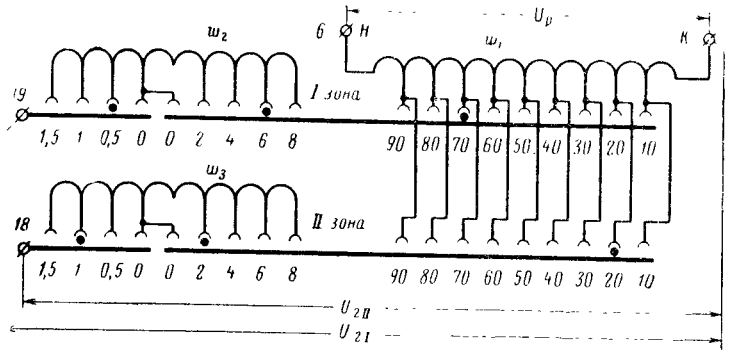

Рис. 22. Схема автотрансформатора *Ти* реле КРС-131.

Таким образом, фактически будет установлено число витков не расчетное $n=30{,}6$, а ближайшее к заданному — 30,5.

Следует отметить, что выполненный подбор витков на автотрансформаторе *Ти* является предварительным и отпайка, а следовательно, и заданная уставка на реле окончательно уточняются при проверке и настройке электрических характеристик.

Реле КРС-131, как указывалось выше, применяется в качестве дистанционного органа и может обеспечивать уставки сопротивления срабатывания в двух зонах дистанционной защиты.

Поэтому на автотрансформаторе *Ти* реле КРС-131 предусмотрена возможность регулирования уставок для первой и второй зон защиты. Автотрансформатор *Ти* имеет три обмотки (рис. 22): основную w_1, включаемую

на напряжение $U_р$, и две дополнительные w_2 и w_3.

Цепь первой зоны подключается к зажимам *19—12*, цепь второй зоны — к зажимам *18—12*.

Число витков, подключаемое штекерными винтами на автотрансформаторе *Ти* реле КРС-131, такое же, как и для автотрансформатора *Ти* реле КРС-132.

Реле КРС-131 по сравнению с реле КРС-132 имеет дополнительное регулирование уставки сопротивления срабатывания, это выполняется на трансреакторе *Тх*. Схема трансреактора *Тх* приведена на рис. 23. Трансреактор имеет три обмотки: две первичные w_1 и w_2 в одну вторичную w_3. Каждая первичная обмотка включается на фазные токи, например в нашем примере рис. 15 на токи фаз *А* (зажимы *16—15*) и *В* (зажимы *14—13*), вторичная обмотка (зажимы *5—12*) включается в цепь рабочей обмотки реле, между зажимами *12—17* включается сопротивление r_2, обеспечивающее необходимый угол сдвига вторичной э. д. с. трансреактора относительно тока в первичных обмотках.

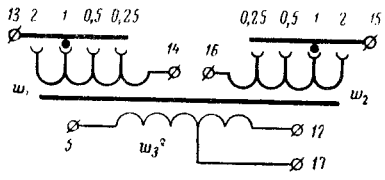

Рис. 23. Схема трансреактора *Тх* реле КРС-131.

Первичные обмотки трансреактора *Тх* имеют четыре отпайки, обозначенные на панельке трансреактора 2; 1; 5; 25. Цифры, выбитые на панельке трансреактора, обозначают величину минимального сопротивления срабатывания реле z_0, которое будет иметь реле, если установить на автотрансформаторе *Ти* максимальное число витков. Так, если установить на трансреакторе отпайку *2* (разумеется в цепи обеих обмоток w_1 и w_2, т. е. в обеих фазах цепей тока реле), то реле будет иметь такие же пределы регулирования уставок как в первой так и во второй зоне, что и реле КРС-132, т. е. от 2 до 20 *ом* на фазу вторичных. При отпайке *1* пределы регулирования равны 1—10 *ом*, отпайке 0,5—0,5—5 *ом* и отпайке 0,25—0,25—2,5 *ом* на фазу вторичных.

Таким образом, для уставки заданного сопротивления срабатывания в первой и второй зонах защиты необходимо подобрать отпайки на трансреакторе *Тх* и автотрансформаторе *Ти*. Так как реле имеет регулирование уставок в двух зонах, то следует при этом руковод-

ствоваться следующим правилом: сначала определяют необходимую отпайку на трансреакторе *Тх*, а затем уже отпайки на автотрансформаторе *Ти*. Отпайку на трансреакторе *Тх* следует принимать ближайшую меньшую из заданных уставок для первой и второй зон, следовательно, ближайшую меньшую от уставки первой зоны. Зная отпайку на *Тх* и отсюда сопротивление z_0, которое равно отпайке, определяем необходимое число витков на автотрансформаторе *Ти*.

Например, задано отрегулировать на дистанционной защите линии 110 *кв*, выполненной реле КРС-131, следующие уставки: $z'_1=12$ *ом* первичных на фазу, $z'_2=40$ *ом* на фазу, $n_т=600/5=120$; $n_н=110/0{,}1=1\,100$.

Определяем вторичные значения сопротивлений срабатывания:

$$z_1=\frac{z'_1 n_т}{n_н}=\frac{12\cdot 120}{1\,100}=1{,}31 \text{ ом на фазу;}$$

$$z_2=\frac{z'_2 n_т}{n_н}=\frac{40\cdot 120}{1\,100}=4{,}36 \text{ ом на фазу.}$$

Принимаем ближайшую отпайку на трансреакторе *Тх* относительно z_1, равную 1 (рис. 23). При этом реле будет иметь $z_0=1$; тогда определяем отпайки на автотрансформаторе *Ти:*

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

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

Принимаем n_1 ближайший к заданному, равный 76,5, устанавливаем на автотрансформаторе *Ти* отпайки *70; 6; 0,5* по цепи первой зоны (рис. 22) и отпайки *20; 2; 1* по цепи второй зоны.

В рассматриваемом примере для $z_1=1{,}31$ *ом* на фазу и $z_2=4{,}36$ *ом* на фазу можно было бы отрегулировать заданные уставки, на реле, если принять отпайки на трансреакторе *Тх* не *1*, а *0,5*, тогда получили бы $z_0=0{,}5$ *ом* на фазу и отпайки на автотрансформаторе *Ти*, равные:

$$n_1=\frac{100z_0}{z_1}=\frac{100\cdot 0{,}5}{1{,}31}=38{,}2;$$

$$n_2=\frac{100z_0}{z_2}=\frac{100\cdot 0{,}5}{4{,}36}=11{,}5,$$

Приняв $n_1=38$ и $n_2=11{,}5$, можно бы установить эти отпайки на автотрансформаторе *Ти* и получить те же заданные уставки, что и для случая, когда $z_0=1$.

Однако, как выше оговорено, необходимо принимать отпайку на *Тх* ближайшую меньшую относительно сопротивления срабатывания первой зоны z_1; это обусловлено тем, что чем меньше отпайка на трансреакторе, тем выше ток точной работы реле. Так как в условиях эксплуатации желательно иметь более низкие значения токов точной работы, то поэтому и необходимо придерживаться этого правила.

Следует отметить, что не всякие значения z удается отрегулировать на реле. Так, например, если заданы уставки первичных сопротивлений срабатывания, равные: $z'_1=12$ *ом* на фазу; $z_2=100$ *ом* на фазу; то, определив вторичные сопротивления срабатывания, будем иметь:

$$z_1=\frac{z'_1 n_т}{n_н}=\frac{12\cdot 120}{1\,100}=1{,}31 \text{ ом на фазу;}$$

$$z_2=\frac{z'_2 n_т}{n_н}=\frac{100\cdot 120}{1\,100}=11 \text{ ом.}$$

Приняв отпайку на *Тх*, равную 1 ($z_0=1$), получим отпайки на автотрансформаторе:

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

$$n_2=\frac{100 z_0}{z_2}=\frac{100\cdot 1}{11}=9{,}1.$$

Отпайку $n_2=9{,}1$ нельзя отрегулировать на автотрансформаторе *Ти*, так как минимальная отпайка равна 10. В данном случае необходимо или снизить величину сопротивления срабатывания второй зоны до величины $z_2\leqslant 10$ *ом* вторичных на фазу или увеличить сопротивление срабатывания первой зоны до величины $z_1\geqslant 2{,}0$ *ом* вторичных на фазу; в первом случае отпайка на *Тх* остается 1, а во втором случае отпайка на *Тх* принимается равной 2.

Тогда при $z_1 = 1{,}31$ *ом* на фазу $z_2 = 9{,}5$ *ом* на фазу, ($z_0 = 1$) будем иметь отпайки на автотрансформаторе *Tx*, равные:

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

$$n_2 = \frac{100 z_0}{z_2} = \frac{100 \cdot 1}{9{,}5} = 10{,}5.$$

При $z_1 = 2{,}2$ *ом* на фазу, $z_2 = 11$ *ом* на фазу ($z_0 = 2$) будем иметь отпайки на автотрансформаторе *Tu*, равные:

$$n_1 = \frac{100 z_0}{z_1} = \frac{100 \cdot 2}{2{,}2} = 91;$$

$$n_2 = \frac{100 z_0}{z_2} = \frac{100 \cdot 2}{11} = 18{,}2.$$

Какое из этих двух решений будет принято, зависит от конкретных условий выбора уставок дистанционной защиты и определяется теми должностными лицами, которые выбирают и задают уставки на защиту.

Зависимость сопротивления срабатывания реле от тока приведена на рис. 12; выше было сказано, что чем ниже ток точной работы реле сопротивления, тем, следовательно, лучшую характеристику имеет дистанционная защита.

Значение тока точной работы реле может быть определено опытным путем после снятия характеристики

$$z_{ср} = f(I_р).$$

Для этого строится характеристика и графически определяется ток точной работы, как это показано на рис. 12.

С другой стороны, ток точной работы реле КРС-131 и КРС-132 может быть определен расчетным путем по формуле

$$I_{г.р} = \frac{I_{от.р}}{\sqrt{N}},$$

где $N = \frac{100}{n} = \frac{z_{ср}}{z_0}$;

n — сумма цифр, набранных на автотрансформаторе *Tu*;

$I_{от.р}$ — значение тока точной работы для данной отпайки на *Tx* и при включении полного числа витков на автотрансформаторе *Tu*. Значения $I_{от.р}$ могут быть

приняты при заводской регулировке противодействующей пружины для реле КРС-131:

отпайка на Tx	0,25	0,5	1,0	2
$I_{0т.р}$, a	8	4	2	1

Значение $I_{0т.р}$ для реле КРС-132 в тех же условиях может быть принято равным 2 a.

Заводская регулировка реле предусматривает угол затяжки противодействующей пружины у реле КРС-131 примерно на 8—10° и у реле КРС-132 на 12—15°, поэтому ток точной работы реле КРС-132 больше, чем реле КРС-131, в 2 раза (при отпайке на Tx, равной 2).

В качестве примера определим токи точной работы реле для рассмотренных выше уставок, а именно $z_1 = 1{,}31$ *ом* на фазу, $z_2 = 4{,}36$ *ом* на фазу (КРС-131), $z_{ср} = 6{,}54$ *ом* на фазу (КРС-132); для первой зоны реле КРС-131

$$I_{т.р(1)} = \frac{I_{0т.р}}{\sqrt{N_1}} = \frac{2}{\sqrt{1{,}31}} = 1{,}7 \ a;$$

$$N_1 = \frac{100}{n_1} = \frac{100}{76{,}3} = \frac{1{,}31}{1} = 1{,}31;$$

$$I_{от.р} = 2 \ a,$$

так как отпайка на Tx равна 1.

Для второй зоны реле КРС-131

$$I_{т.р(2)} = \frac{I_{0т.р}}{\sqrt{N_2}} = \frac{2}{\sqrt{4{,}36}} = 0{,}95 \ a;$$

$$N_2 = \frac{100}{n_2} = \frac{100}{23} = 4{,}36.$$

Значения $I_{0.т.р} = 2$ a одинаковы для первой и второй зон, так как одинакова отпайка на Tx.

Для реле КРС-132:

$$I_{т.р} = \frac{I_{0т.р}}{\sqrt{N}} = \frac{2}{\sqrt{3{,}27}} = 1{,}1 \ a; \quad N = \frac{100}{n} = \frac{100}{30{,}6} = 3{,}27.$$

Следует отметить, что в эксплуатации, как правило, применяется затяжка противодействующей пружины на больший угол по сравнению с заводской (в 1,5—1,7 раза), поэтому величины токов точной работы могут получаться соответственно больше.

Необходимо также учитывать, что полученные значения токов точной работы (опытным или расчетным путем) справедливы для реле только в режиме срабатывания, когда срабатывание не ограничено каким-то сравнительно малым отрезком времени, т. е. это справедливо для реле, используемого в качестве дистанционного органа второй или третьей зоны. Если же реле КРС-131, например, используется в качестве дистанционного органа первой зоны, как рассматривалось выше, работа реле в первой зоне ограничена заданным временем 0,15 *сек* или 0,25 *сек,* после чего, если защита не подействовала в первой зоне, уставка реле переключается на вторую зону. Так как при токе точной работы реле действует сравнительно медленно, то для получения погрешности не более 10% необходимы большие токи, при которых реле успевало бы подействовать за отведенный для его работы промежуток времени с заданной точностью.

Поэтому в практике следует увеличивать полученные значения токов точной работы (опытным или расчетным путем) для реле, работающих в первой зоне, имеющей ограничение времени в 0,25 *сек,* умножением на коэффициент 1,3, а для реле, используемых в первой зоне с ограничением времени в 0,15 *сек* — умножением на коэффициент 1,9.

Характеристика срабатывания реле сопротивления КРС-131 и КРС-132 — зависимость сопротивления срабатывания от угла между током $I_р$ и напряжением $U_р$,— приведена на рис. 10,*б* и подробно рассмотрена ранее. При этом было установлено, что заштрихованная область является зоной действия реле; окружность, проходящая через начало координат, является границей зоны срабатывания и зона неработы, следовательно, момент на реле в этих точках характеристики равен нулю. Отсюда следует, что и при к. з. у шин подстанции, где установлена защита, момент также равен нулю и реле не работает, т. е. оно имеет «мертвую зону».

Для устранения «мертвой зоны» при трехфазных к. з. у шин подстанции для реле, работающего в первой зоне без выдержки времени, предусмотрен в цепи поляризующей обмотки специальный резонансный колебательный контур, образуемый индуктивностью поляризующей обмотки реле $w_п$ и дросселя $Д$ и емкостью конденсатора C_2 (рис. 13 и 15).

При возникновении в момент времени a трехфазного к. з. $U_р$ становится равным нулю, ток $i_н$ в поляризующей обмотке не становится мгновенно равным нулю, а продолжает колебаться в течение нескольких периодов за счет энергии, запасенной в колебательном контуре, уменьшаясь за каждый период в 2—2,5 раза по амплитуде, но не меняя при этом фазы (рис. 24). Поэтому хотя напряжение $U_р$ равно нулю, но благодаря наличию тока в поляризующей обмотке, который взаимодействует с током к. з. в рабочей обмотке, на реле создается кратковременный момент на срабатывание, если к. з. произошло на защищаемой линии, или на заклинивание, если к. з. произошло на шинах подстанции или вблизи за шинами на отходящих линиях. При этом фаза затухающего по величине тока в поляризующей обмотке остается такой же, как если бы ток создавался напряжением $U_р$, не равным нулю, т. е. реле как бы «помнит» доаварийный режим по напряжению в цепи поляризующей обмотки.

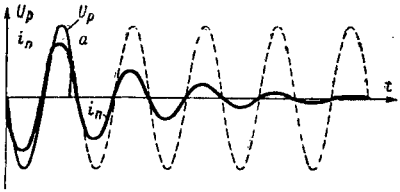

Рис. 24. Процесс изменения тока в поляризующей цепи реле при трехфазном к. з.

Поэтому колебательный контур в цепи поляризующей обмотки часто называют «контуром памяти» и говорят, что в рассмотренном режиме реле работает «по памяти». Как отмечалось, «по памяти» реле действует кратковременно, и поэтому выходное реле защиты для обеспечения надежного отключения выключателя имеет самоудерживание.

ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ И АНАЛИЗ РАБОТЫ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В релейной защите удобно производить анализ работы сложных реле, каковыми являются реле сопротивления КРС-131 и КРС-132, при помощи векторных диаграмм [Л. 12]. Как известно из электротехники, посредством векторных диаграмм получают не только соотношения между величинами векторов, например тока и напряжения, но и угловые сдвиги между ними. Поэтому для построения векторных диаграмм нужно знать как величины векторов, так и их взаимное расположение,

т. е. угловые сдвиги относительно друг друга или их направления относительно векторов, принятых за начало отсчета.

Выше на рис. 5 были рассмотрены векторные диаграммы для цепей, имеющих разный характер сопротивлений (активное, индуктивное, емкостное и смешанное). Поэтому по аналогии может быть построена векторная диаграмма тока и напряжения для любой цепи, если известен характер ее сопротивления.

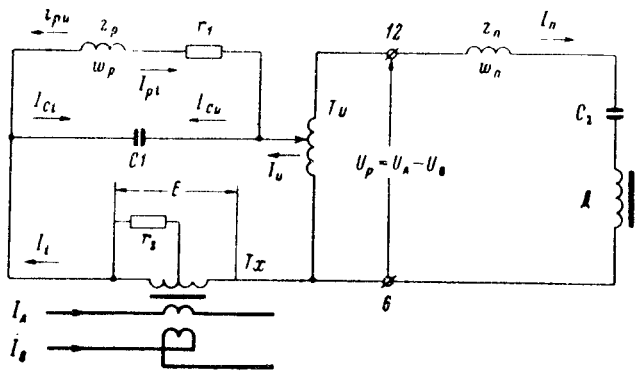

Рис. 25. Схема замещения реле КРС-131 и КРС-132.

Для того чтобы определить характер сопротивления цепей рабочей и поляризующей обмоток реле КРС-131 и КРС-132, сначала рассмотрим схему замещения этих реле, показанную на рис. 25. Цепь поляризующей обмотки состоит из сопротивления $z_п$ всех четырех катушек обмотки, емкостного сопротивления конденсатора C_2 и индуктивного сопротивления дросселя $Д$. Как указывалось выше, суммарное значение сопротивления индуктивной составляющей обмотки $z_п$ и сопротивления дросселя подбирается так, чтобы оно было бы немного меньше емкостного сопротивления конденсатора C_2, тогда результирующее сопротивление цепи поляризующей обмотки будет активно-емкостным.

К цепи поляризующей обмотки приложено напряжение $U_р$, под действием которого в поляризующей обмотке проходит ток $I_п$. Величина активно-емкостного сопротивления цепи поляризующей обмотки такова, что ток $I_п$ опережает напряжение на угол α, равный 4—7°.

Построение несколько упрощенной векторной диаграммы реле на рис. 26 начинаем с вектора напряжения $U_р$, который направляем вертикально вверх. Далее строим относительно $U_р$ вектор тока $I_п$, который сдвинут на угол α в сторону опережения, т. е. против часовой стрелки. Угол α принят равным 5°.

Рассмотрим схему замещения цепи рабочей обмотки. Она состоит из активно-индуктивного сопротивления автотрансформатора *Ти*, активно - индуктивного сопротивления трансреактора *Тх*, параллельно включенных емкостного сопротивления конденсатора и активно-индуктивного сопротивления рабочей обмотки реле вместе с сопротивлением r_1. Если подсчитать результирующее сопротивление всей цепи рабочей обмотки, для чего сложить параллельно сопротивление конденсатора C_1 и сопротивления $z_р$ и r_1, полученный результат сложить с активно - индуктивными сопротивлениями трансреактора *Тх*, автотрансформатора *Ти* и сопротивления $r_з$, то окажется, что результирующее сопротивление всей цепи рабочей обмотки будет активно-индуктивным. Для простоты рассуждений допустим сначала, что в цепи рабочей обмотки действует только одно напряжение $U_р$ от автотрансформатора *Ти*.

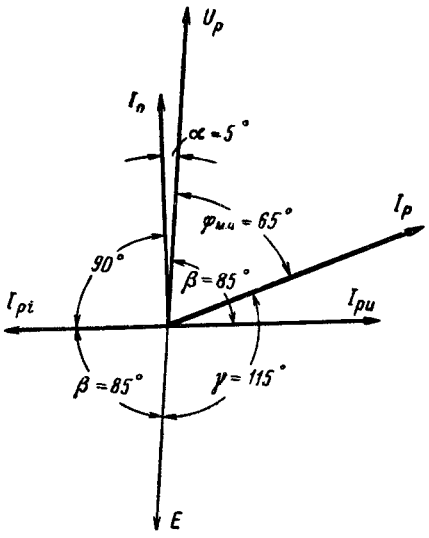

Рис. 26. Векторная диаграмма реле КРС-131 и КРС-132.

Под действием этого напряжения в цепи рабочей обмотки проходит ток $I_и$, который разветвляется в две цепи: в цепь конденсатора C_1 и рабочую обмотку $z_р$.

Из рассмотрения сопротивлений в цепи рабочей обмотки установили, что ток $I_и$ будет отставать на некоторый угол от напряжения $U_р$, так как характер сопротивления цепи рабочей обмотки активно-индуктивный.

Однако нас интересует не ток $I_и$, а ток $I_{рu}$, который проходит в обмотке реле $z_р$ и, следовательно, создает поток $Ф_р$ через горизонтальные полюсы (рис. 13 и 15). Реле выполнено таким образом, что ток $I_{рu}$ отстает от напряжения $U_р$ на угол β, который принят равным примерно 85°, поэтому откладываем ток $I_{рu}$ на векторной диаграмме под углом β относительно создающего его напряжения $U_р$ в сторону отставания, т. е. по часовой стрелке.

Рассматривая построенную часть векторной диаграммы, т. е. $U_р$, $I_п$, $I_{рu}$, можем установить, что под действием напряжения $U_р$ создается в поляризующей обмотке ток $I_п$, а в рабочей обмотке ток $I_{рu}$; эти токи протекают по обмоткам, которые создают поляризующий $Ф_п$ и рабочий $Ф_р$ потоки, сдвинутые в пространстве на угол 90° (рис. 13 и 15), так как потоки проходят через перпендикулярно расположенные полюсы. Токи $I_п$ и $I_{рu}$ сдвинуты относительно друг друга на угол $\alpha+\beta$, т. е. примерно на 90°. Таким образом, под действием напряжения $U_р$ на реле создается большой момент на заклинивание, пропорциональный произведению $I_п I_{рu} \sin(\alpha+\beta)$, а так как $\sin(\alpha+\beta)=\sin 90°=1$, то момент будет пропорционален произведению $I_п I_{рu}$.

Теперь рассмотрим действие тока в цепи рабочей обмотки: ток $I_р$ подводится в первичные обмотки трансреактора $Тх$ и, проходя через них, создает на вторичной обмотке напряжение E. Под действием напряжения E в цепи рабочей обмотки протекает ток I_i, а в обмотке реле — его составляющая $I_{рi}$.

Пусть ток $I_р$, равный $I_А - I_В$, будет направлен под углом максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ к напряжению $U_р$ в сторону отставания (рис. 26). Ток $I_р$ создаст напряжение E, которое сдвинуто относительно тока $I_р$ на угол γ, равный примерно 115° в сторону отставания; построим вектор E на диаграмме рис. 26. Для пояснения такой величины угла γ следует отметить, что полярность включения вторичной обмотки трансреактора $Тх$ изменена на 180°, поэтому напряжение E отстает на угол $\gamma=115°$ от тока $I_р$, хотя в цепи трансреактора $Тх$ с активно-индуктивным сопротивлением с неизменной полярностью включения напряжения E опережало бы ток $I_р$ на угол 65° или ток отставал бы от напряжения на тот же угол.

Под действием напряжения E в рабочей обмотке реле проходит ток $I_{рi}$, который сдвинут в сторону отставания

относительно напряжения E на угол β, т. е. на такой же угол как и ток I_{pu} относительно создающего его напряжения U_p. В результате построения на диаграмме рис. 26 имеем, что ток I_{pi} направлен в противофазе к току I_{pu}, ток I_{pi} сдвинут на 90° относительно тока $I_п$. Следовательно, в рабочей обмотке реле будет протекать ток I_{pi}, представляющий собой составляющую от тока I_p, которая будет создавать момент на срабатывание реле, так как действует в противофазе к току I_{pu}.

Если ток I_p расположен к напряжению U_p под углом максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$, это означает, что ток I_{pi} расположен под углом 90° к току $I_п$, т. е. реле имеет в этом случае максимальный момент от тока.

Из рассмотрения схемы замещения и векторной диаграммы установили, что в поляризующей обмотке протекает ток $I_п$, обусловленный напряжением U_p, этот ток создает поляризующий магнитный поток $\Phi_п$ через вертикальные полюсы реле (рис. 13 и 15).

В рабочей обмотке от напряжения U_p проходит ток I_{pu}, а от тока I_p создается ток I_{pi}. При принятом угловом сдвиге между током I_p и напряжением U_p токи I_{pi} и I_{pu} действуют в противофазе, т. е. ток I_{pi} создает с током в поляризующей обмотке момент на срабатывание, а ток I_{pu} создает с поляризующим током момент на заклинивание. Как же будет вести себя реле? По-видимому, в рабочей обмотке реле будет протекать результирующий ток $I_{р.рез}$, равный геометрической сумме токов I_{pu} и I_{pi}; если ток I_{pu} будет больше тока I_{pi}, то результирующий ток в обмотке будет направлен вправо (по току I_{pu}) и реле будет иметь момент на заклинивание контактов, если же ток I_{pu} будет меньше тока I_{pi}, то результирующий ток в обмотке будет направлен влево (по току I_{pi}), в этом случае реле будет иметь момент на срабатывание.

На рис. 27 проанализирована работа реле при к. з. вне зоны действия реле (в точке *К1*), на границе зоны (в точке *К2*), в зоне действия реле (в точке *К3*) и вне зоны действия реле (в точке *К4*) за шинами подстанции, где установлена защита с реле КРС-131 или КРС-132. При анализе работы реле для простоты принято, что угол короткого замыкания линии равен углу максимальной чувствительности реле, т. е. ток I_p сдвинут относительно напряжения U_p на угол $\varphi_{м.ч}$.

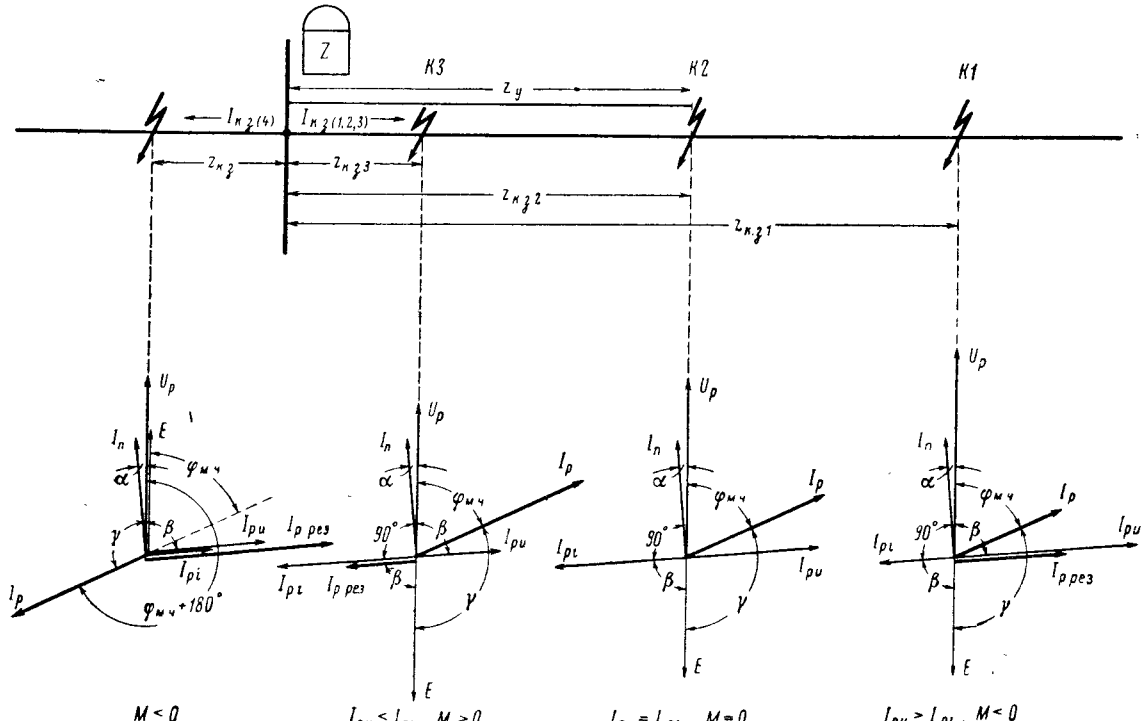

Рис. 27. Векторные диаграммы реле КРС-131 и КРС-132 при к. з. в различных точках линии.

Рассматривается трехфазное к. з. или двухфазное к. з. на фазах A—B, на которые включено реле.

Ранее было сказано, что ток (результирующий) в цепи рабочей обмотки пропорционален $I_{\text{р.рез}} = \dot{U}_{\text{р}} - \dot{I}_{\text{р}} z_{\text{у}}$, так как при коротком замыкании на линии напряжение $U_{\text{р}} = I_{\text{р}} z_{\text{к.з}}$, то

$$I_{\text{р.рез}} = \dot{U}_{\text{р}} - \dot{I}_{\text{р}} z_{\text{у}} = \dot{I}_{\text{р}} z_{\text{к.з}} - I_{\text{р}} z_{\text{у}} = I_{\text{р}} (z_{\text{к.з}} - z_{\text{у}}).$$

При к. з. в точке *К1* за пределами защищаемой зоны имеем $z_{\text{к.з1}} > z_{\text{у}}$, следовательно, составляющая от напряжения I_{pu} будет больше, чем составляющая от тока I_{pi}, результирующий ток $I_{\text{р.рез}}$ в рабочей обмотке будет направлен вправо и будет создавать с током $I_{\text{п}}$ момент на размыкание контактов реле ($M<0$), следовательно, реле срабатывать не будет.

При к. з. в точке *К2* на границе зоны действия реле имеем $z_{\text{к.з2}} = z_{\text{у}}$, в этом случае токи I_{pu} и I_{pi} будут равны друг другу, результирующий ток $I_{\text{р.рез}}$ будет равен нулю и поэтому момент на реле также будет равен нулю.

При к. з. в точке *К3* в зоне действия реле имеем $z_{\text{к.з3}} < z_{\text{у}}$, поэтому ток I_{pu} будет меньше, чем ток I_{pi}, результирующий ток $I_{\text{р.рез}}$ будет направлен влево и поэтому момент, создаваемый током $I_{\text{р}}$ с током $I_{\text{п}}$, будет действовать на замыкание контактов ($M>0$), т. е. реле будет срабатывать.

При к. з. в точках *К1*, *К2*, *К3* ток через реле сопротивления протекал в направлении зоны действия реле, т. е. от шин подстанции в защищаемую линию, и на векторных диаграммах откладывали его под углом $\varphi_{\text{м.ч}}$ к напряжению $U_{\text{р}}$. Рассматривая, наконец, к. з. в точке *К4*, видим, что направление тока $I_{\text{р}}$ в этом случае изменилось на 180° и, следовательно, ток $I_{\text{р}}$ сдвинут относительно напряжения $U_{\text{р}}$ на угол $180° + \varphi_{\text{м.ч}}$. В результате изменилось на 180° направление тока I_{pi}, который теперь совпадает по фазе с током I_{pu}, результирующий ток $I_{\text{р.рез}}$ будет направлен вправо и будет равен в данном случае арифметической сумме токов I_{pi} и I_{pu} и следовательно, на реле будет сильный момент на заклинивание контактов, т. е. реле работать не будет.

С помощью векторной диаграммы реле, показанной на рис. 26, удобно анализировать изменение, например, такого параметра, как угол максимальной чувствитель-

ности реле $\varphi_{м.ч}$, который в заводской регулировке реле при обычном исполнении последнего должен быть равен 65°.

Для подгонки угла максимальной чувствительности, как известно, служит сопротивление r_2, включенное параллельно части витков трансреактора Tx (рис. 25). Допустим, что увеличили сопротивление r_2 против его номинального значения, это приведет к уменьшению угла γ (если сопротивление r_2 вообще разомкнуть, т. е. сделать равным бесконечности, то угол γ станет равен 90°).

При уменьшении угла γ, для того чтобы ток I_{pi} опять стал перпендикулярным току $I_п$, необходимо повернуть вектор тока $I_р$ по часовой стрелке, как показано на рис. 26, на такую же величину, на которую уменьшился угол γ.

Следовательно, увеличение сопротивления r_2 приводит к увеличению угла максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ и, наоборот, при снижении сопротивления r_2 угол максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ уменьшается.

Рассмотрим теперь изменение параметров других элементов, влияющих на угол $\varphi_{м.ч}$.

Пусть, например, величина емкости конденсатора C_2 оказалась меньшей против расчетной, это значит, что сопротивление конденсатора будет больше расчетного. А если так, то емкостное сопротивление конденсатора будет превосходить индуктивное сопротивление дросселя и поляризующей обмотки на величину, большую расчетной, и это приведет к увеличению угла α; например, ток $I_п$ будет опережать напряжение $U_р$ на угол α, равный не 5°, как показано на диаграмме, а скажем 15°. Для того чтобы ток I_{pi} стал к току $I_п$ под углом 90°, необходимо повернуть ток $I_р$ относительно напряжения $U_р$ на 10° против часовой стрелки, т. е. в сторону уменьшения угла $\varphi_{м.ч}$; тогда одновременно с током $I_р$ повернутся напряжение E и ток I_{pi} в ту же сторону на 10° и ток I_{pi} по-прежнему будет расположен под углом 90° к току $I_п$. Следовательно, при снижении емкости конденсатора (увеличении его сопротивления) угол максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ уменьшается.

К такому же результату — уменьшению угла $\varphi_{м.ч}$ — приводит снижение сопротивления дросселя против расчетного, например, из-за уменьшения воздушного зазора

в дросселе. Это приводит также к увеличению угла α, а следовательно, к уменьшению угла $\varphi_{м.ч}$.

Рассматривая векторную диаграмму реле, можно, кроме объяснения принципов действия реле при повреждении в различных точках сети, проанализировать изменение таких параметров, как, например, угол максимальной чувствительности реле.

Выше было сказано, что реле типов КРС-131 и КРС-132 не имеют «мертвой зоны» при двухфазных к. з. вблизи шин подстанций, когда напряжение на реле $U_р$ равно нулю. Достигается это тем, что в цепь поляризующей обмотки между обмоткой $w_п$ и конденсатором C_2 включено сопротивление подпитки r_4 (рис. 13 и 15). Через сопротивление r_4 в цепь обмотки включается напряжение третьей фазы, в нашем примере U_C; на рис. 28 приведены векторные диаграммы токов и напряжений в поляризующей цепи с наложенной на диаграмму схемой поляризующей цепи.

В нормальном режиме, когда к реле подведено симметричное трехфазное напряжение U_A, U_B, U_C (рис. 28*а*),

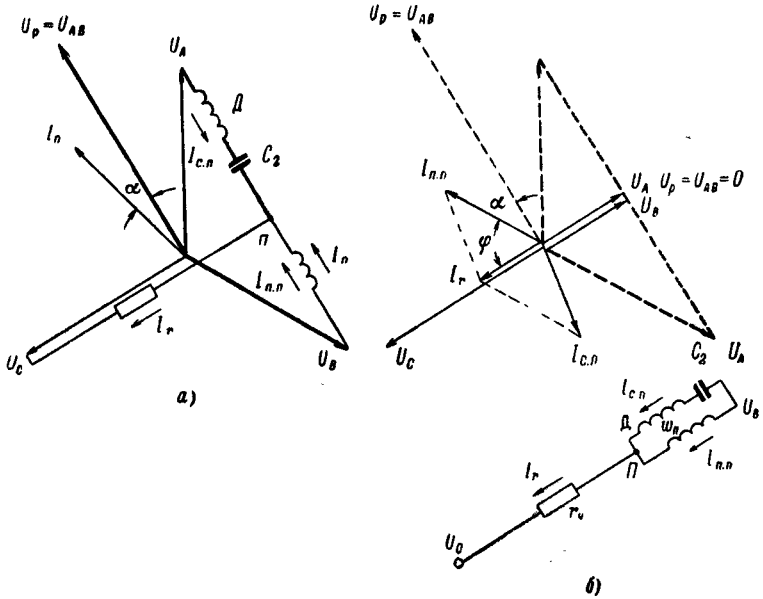

Рис. 28. Векторная диаграмма токов и напряжений в поляризующей цепи.

а — в нормальном режиме; *б* — при двухфазном к. з. на фазах *АВ*.

в поляризующей обмотке $w_п$, а также через конденсатор C_2 и дроссель $Д$ проходит ток $I_п$, вызванный линейным напряжением $U_р = U_{AB}$. Так как сопротивление поляризующей цепи обусловлено практически активными составляющими сопротивлений обмотки $w_п$ и дросселя $Д$, то величина тока $I_п$ имеет достаточно большое значение. Через сопротивление подпитки r_4 под действием напряжения $U_{Cп}$ проходит ток I_r, через обмотку $w_п$ проходит одна его составляющая $I_{п.п}$, через конденсатор и дроссель — другая $I_{Cп}$, сумма токов $I_{п.п}$ и $I_{с.п}$ составляет ток I_r. Величина тока I_r, а следовательно, и его составляющих $I_{п.п}$ и $I_{с.п}$ определяется в основном величиной сопротивления r_4, которое равно 39 *ком*, что в десятки раз больше сопротивления обмотки конденсатора или дросселя.

Поэтому ток $I_{п.п}$, проходящий через обмотку реле, благодаря сопротивлению подпитки будет во много раз меньше тока $I_п$ и в нормальном режиме не будет оказывать влияния на работу реле.

Практически в поляризующей обмотке будет действовать ток $I_п$, который, как рассмотрено выше, опережает создающее его напряжение $U_р$ на угол α.

На рис. 28,*б* приведена векторная диаграмма токов и напряжений в поляризующей цепи при двухфазном к. з. на фазах A и B, причем к. з. произошло вблизи шин подстанции, где установлена защита и напряжение на реле $U_р = U_{AB} = 0$.

В этом случае следует помнить, что напряжение поврежденных фаз U_A и U_B не равно нулю, а равно $U_A = U_B = 0{,}5U_C$.

Так как напряжение $U_р = U_{AB} = 0$, то ток $I_п$ через обмотку $w_п$ будет равен нулю, но под действием напряжения $U_{CB} = U_{CA} = 1{,}5U_C$ через сопротивление r_4 будет проходить ток подпитки I_r, через обмотку $w_п$ — его составляющая $I_{п.п}$, через конденсатор и дроссель — составляющая $I_{с.п}$.

Для оценки действия тока подпитки в этом режиме необходимо определить фазу тока $I_{п.п}$, проходящего по обмотке, относительно напряжения нормального режима $U_р$, показанного на рис. 28,*б* пунктирной линией.

Если сложить параллельное сопротивление обмотки $w_п$ с последовательно соединенными конденсатором и дросселем и к полученному результату прибавить сопро-

тивление r_4, то получим результирующее сопротивление цепи, к которой приложено напряжение $U_{CA}=U_{CB}=1{,}5U_C$. Так как активное сопротивление r_4 в десятки раз больше, чем сопротивления остальных элементов цепи, то ток I_r в сопротивлении r_4 можно считать практически совпадающим по фазе с напряжением U_{CB}; построим ток I_r на диаграмме рис. 28,*б*. Интересующая нас составляющая — ток $I_{п.п}$, он проходит в обмотке и будет сдвинут относительно тока I_r (и напряжения U_{CB}) на угол φ, определяемый углом сопротивления поляризующей обмотки $w_п$.

Другая составляющая — ток $I_{с.п}$ — он проходит через дроссель и конденсатор и будет опережать ток I_r, так как в цепи конденсатора и дросселя преобладает сопротивление конденсатора.

Сумма токов $I_{п.п}$ и $I_{с.п}$ будет равна току I_r, Сопоставляя диаграммы рис. 28,*а* и *б*, видим, что на диаграмме рис. 28,*б* ток в поляризующей обмотке от цепи подпитки $I_{п.п}$ также опережает напряжение $U_р$ (на угол α', близкий к углу α), т. е. он имеет фазу, близкую к фазе тока $I_п$ в поляризующей обмотке (рис. 28,*а*), созданного напряжением $U_р$.

Выполненный анализ показывает, что при двухфазном к. з., когда $U_р=U_{AB}=0$ в цепи поляризующей обмотки реле будет проходить ток $I_{п.п}$ от цепи подпитки, близкий по фазе к нормальному току поляризующей обмотки, а следовательно, и реле себя будет вести так, как если бы напряжение $U_р=U_{AB}$ было не равно нулю. В этом случае при к. з. на защищаемой линии реле будет срабатывать, а при к. з. за шинами подстанции реле будет держать контакты разомкнутыми, т. е. работать не будет, следовательно, реле не будет иметь «мертвой зоны» при двухфазных к. з., когда напряжение поврежденных фаз равно нулю.

Величина тока $I_{п.п}$ через поляризующую обмотку, как было сказано выше, будет в десятки раз меньше, чем ток в нормальном режиме, но величина $I_{п.п}$ подобрана такой, чтобы обеспечить четкую ориентацию реле при к. з. как в зоне, так и вне зоны действия реле.

Следует помнить, что по цепи подпитки реле действует не как реле сопротивления, а как реле направления мощности, но это удобно, так как позволяет устранить недостаток угловой характеристики реле — наличие «мертвой зоны» при двухфазных к. з. у шин подстанции.

3. НАЛАДКА, РЕГУЛИРОВКА И ПРОВЕРКА РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРС-131 И КРС-132

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Реле сопротивления, как все устройства релейной защиты и автоматики, в условиях эксплуатации должны периодически проверяться.

Вид, периодичность и объем эксплуатации проверок устанавливаются соответствующими инструкциями, действующими в энергосистеме. Так, различают следующие основные виды эксплуатационных проверок:

а) проверки при новом включении;
б) полные плановые проверки;
в) частичные плановые проверки;
г) дополнительные проверки.

Наиболее полный объем проверки выполняется при новом включении, когда производятся наладка и регулирование всех параметров и характеристик как отдельных реле, так и всего устройства в целом. При полной плановой проверке оценивают исправность всего устройства и соответствие его механических и электрических характеристик заданным.

При частичной плановой проверке производится осмотр аппаратуры, проверяется состояние изоляции и выполняется опробование действия устройства.

В настоящей работе приведена наладка реле сопротивления в объеме проверки при новом включении, т. е. в наиболее полном объеме.

Для выполнения проверки любая защита, в том числе и дистанционная, в которую входят рассматриваемые реле сопротивления, должна быть выведена из работы. Вывод защиты из работы оформляется специальной заявкой в установленном в энергосистеме порядке. В том случае, если заявка на вывод защиты из работы разрешена, ее вывод осуществляется оперативным (дежурным) персоналом, который после этого допускает персонал службы защиты и автоматики к работе на оборудовании защиты. При допуске к работе должны приниматься соответствующие меры по безопасности работы проверяющего персонала, по обеспечению надежности действия остающихся в работе устройств защиты и автоматики, например должны быть приняты меры против ошибочного отключения оборудования от находя-

щихся в работе устройств релейной защиты и автоматики и т. п.

Проверка всех устройств релейной защиты и автоматики должна производиться специально подготовленным и обученным персоналом, причем этот персонал должен иметь специальный допуск (или разрешение) на самостоятельную проверку тех устройств защиты и автоматики, которые он может выполнять.

Необходимость, объем и последовательность проверки уставок и характеристик устройств защиты или автоматики определяется действующими инструкциями. Для проверки реле сопротивления КРС-131 и КРС-132 специальных инструкций нет, для их проверки следует руководствоваться материалами, приведенными в [Л. 4 и 5]. Вышеуказанные инструктивные материалы были изданы в то время, когда промышленностью стали выпускаться дистанционные защиты: сначала ПЗ-157, затем ПЗ-158. После этого начался выпуск реле сопротивления отдельно, не в комплекте защиты, и в комплекте упрощенных дистанционных защит.

В этих инструкциях рассматриваются вопросы проверки и наладки реле сопротивления как составных частей дистанционных защит.

Как показывает опыт эксплуатации, реле сопротивления КРС-131 и КРС-132 довольно качественно изготовляются и регулируются на заводе, поэтому в условиях эксплуатации, как правило, прибегать к заводским регулировкам не приходится (например, регулировать положение магнитного шунта, пермаллоевого клина, величины воздушных зазоров в магнитопроводах и т. п.). Однако, поскольку все же такие регулировки могут потребоваться, они приводятся в настоящей брошюре.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Проверку механической части реле сопротивления следует начинать с внешнего осмотра. При внешнем осмотре перед вскрытием реле нужно проверить:

а) наличие пломб;

б) целость стекла и плотность прилегания его к кожуху, правильность и плотность установки кожуха на цоколе реле;

в) состояние деталей реле, просматриваемых через стекло;

г) наличие, состояние и надежность крепления шпилек и гаек к ним.

После вскрытия реле производится внутренний осмотр, проверяется отсутствие пыли и грязи внутри реле, проверяется надежность паек, затяжка винтов и гаек, крепящих проводники и детали к ним. Проверяется свободный ход подвижной системы реле. Для этого противодействующая пружина отпускается до положения, когда она не создает момента на оси, а подвижная система устанавливается между упорами. После этого снимается контактная плата, для чего отвертываются два винта, крепящие плату к стойкам.

Отклоняют подвижную систему на 90°; если отсутствуют затирания в подвижной системе, то она должна сделать не менее 10 плавно затухающих колебаний прежде, чем остановится в среднем положении.

После этого подают напряжение 100 *в* переменного тока на зажимы *2—6* реле с вынутыми и вставленными штекерными винтами в цепи автотрансформатора *Ти* и вновь проверяют свободный ход подвижной системы. Такой проверкой могут быть обнаружены стальные опилки в зазоре реле, которые после создания магнитного поля могут переместиться и вызвать затирание.

При проверке со вставленными штекерными винтами на реле создается заклинивающий момент, что в случае больших поперечных люфтов может также вызвать затирание подвижной системы. При быстром затухании колебаний подвижной системы причиной затираний могут быть:

а) наличие посторонних тел в зазоре;

б) дефекты нижнего или верхнего подпятника;

в) погнутость конца оси, наличие царапин на ней;

г) задевание прокладок катушек полюсов за барабанчик;

д) несовпадение осей подвижной системы и нижнего или верхнего подпятника.

В случае необходимости поочередно вынимают верхний и нижний подпятники реле, ощупывают острой стальной иглой и осматривают их через лупу и, если нужно, очищают поверхность камней.

При повреждении камней (трещины, царапины), а также при неплотной завальцовке камней должны быть заменены подпятники целиком или отдельные камни в них.

Если затирание вызвано погнутостью конца оси, то конец оси должен быть аккуратно выправлен, при наличии царапин на концах оси они должны быть тщательно отполированы.

Если есть подозрение на затирание в зазоре, то необходимо проверить величину и одинаковость зазора между полюсами и барабанчиком (зазор должен быть около 1 *мм*). Отсутствие в зазоре опилок и заусенцев может быть проверено пропусканием в зазор ленты из бумаги или лакоткани, не дающих ворса, после чего осматривают эту ленту и вновь проверяют отсутствие затираний.

Витки спиральной токоподводящей пружины должны быть удалены друг от друга на одинаковое расстояние. Касание друг друга витков пружины может быть также причиной плохого хода подвижной системы. Правка положения витков пружины осуществляется легким изгибом поводка, к которому крепится наружный конец пружины. Несовпадение по вертикали осей верхнего или нижнего подпятника может приводить к затиранию между сердечником и барабанчиком, в ряде случаев подобную сложную неисправность удается ликвидировать поворотом на 180° нижней или верхней планки, на которых расположены верхний подшипник или сердечник реле. В других случаях устранение этой неисправности может быть выполнено путем замены отдельных деталей с последующей проверкой правильности установки подвижной системы.

При отсутствии затираний подвижной системы вновь устанавливается на место контактная плата реле.

Подвижная система реле должна иметь определенные величины люфтов. Вертикальный люфт регулируется положением подпятников и должен быть равен 0,2—0,3 *мм*, горизонтальный люфт не регулируется и определяется диаметрами концов оси и камней и должен составлять также 0,2—0,3 *мм*. При таких величинах вертикального и горизонтального люфтов перемещение системы в горизонтальном и вертикальном направлениях на глаз едва заметно, но при этом слышны удары концов оси о подпятники, что свидетельствует о наличии люфта.

Далее выполняется регулировка контактной системы реле. Контактная система реле сопротивления, показанная на рис. 19,*г*, состоит из подвижного контакта, укреп-

ленного на оси, и двух неподвижных контактов — верхнего, имеющего меньшую жесткость, и нижнего, имеющего большую жесткость. Верхний и нижний контакты соединены между собой параллельно. Таким выполнением обеспечивается большая надежность работы контактной системы реле.

Контактная система реле сопротивления должна быть отрегулирована следующим образом: нижняя пла-

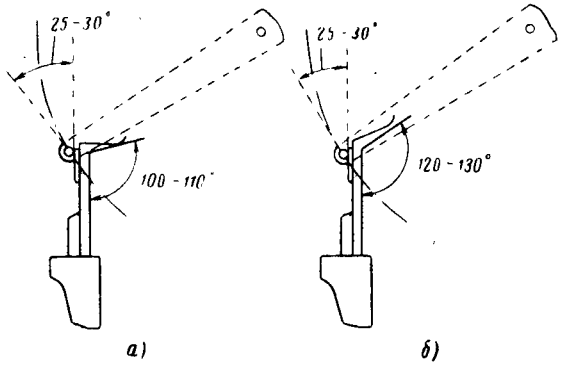

Рис. 29. Регулировка контактной системы реле сопротивления.

а — подвижного контакта и нижнего неподвижного контакта; *б* — подвижного контакта и верхнего неподвижного контакта.

стина, более жесткая, устанавливается так, чтобы в нормальном режиме она не касалась передней упорной пластины с зазором 0,2—0,3 *мм* (рис. 29,*а*). При этом ее хвостовик должен прикасаться к задней ограничительной пластине, установленной под углом 100—110° к контактным пластинам, и обеспечивать заметное трение при нажатии на контактную пластину.

Сила нажатия на нижний контакт, необходимая для перемещения хвостовика по ограничительной пластине, должна составлять примерно 2—3 *Г*.

Верхняя пластина, обладающая меньшей упругостью, устанавливается так, чтобы она касалась передней упорной пластины, но практически не имела предварительного нажатия на упор (рис. 29,*б*). Хвостовик ее должен отстоять от ограничительной пластины на 0,2—0,3 *мм*, ограничительная пластина должна быть расположена под углом 120—130° к контактным пластинам. Верхняя

контактная пластина должна прогибаться до касания хвостовика с ограничительной пластиной от самого незначительного усилия. Верхняя контактная пластина должна выступать над нижней в нормальном режиме на 0,2—0,3 *мм* так, чтобы при срабатывании реле штифт подвижного контакта вначале касался верхней, а затем нижней пластины.

Контактная колодочка устанавливается так, чтобы угол встречи подвижных и неподвижных контактов при срабатывании реле составлял величину 25—30°. Напомним, что углом встречи контактов называют угол между касательной к траектории подвижного контакта в точке соприкосновения и рабочей поверхностью неподвижного контакта. С увеличением угла встречи увеличивается разрывная мощность контактов, но возникает опасность отскока и подгорания при замыкании контактов, с уменьшением угла встречи разрывная мощность контактов снижается, но одновременно уменьшается возможность отскока и подгара при замыкании контактов. Штифт подвижного контакта выполнен из серебра, а пластины неподвижных контактов — из металлокерамики, представляющей собой смесь порошков серебра и кадмия, спрессованных при высокой температуре. Такое выполнение контактов снижает возможность искрообразования и подгорания поверхностей контактов, так как кадмий поглощает электроны и выделяет при нагреве много паров, что охлаждает поверхность контактов.

Касание подвижного и неподвижного контактов должно происходить вблизи переднего края неподвижного контакта на расстоянии не менее 1 *мм* от края.

Совместный ход подвижного и неподвижных контактов должен прекращаться не доходя 2 *мм* до конца неподвижных контактов во избежание заскакивания подвижного контакта за край неподвижного. Ход подвижной системы в этом случае регулируется установкой левого упора.

Установкой левого упора одновременно регулируется максимальный прогиб нижней контактной пластины, который должен быть порядка 0,5 *мм* при срабатывании реле и установке подвижной системы на левый упор.

Правым упором и передним упорным винтом устанавливают подвижную систему реле так, чтобы при несработанном положении реле зазор между подвижными и неподвижными контактами составлял не менее 1 *мм*.

На большую величину это расстояние устанавливать не следует, так как это увеличивает время действия реле и снижает надежность работы реле «по памяти».

При угле встречи контактов в 25—30° и зазоре между контактами в 1 *мм* ход подвижной системы до замыкания контакта составляет примерно 2 *мм*.

После регулировки контактной системы следует проверить, что при совместном ходе контактов во время их замыкания и особенно размыкания хвостовики контактных пластин скользят по ограниченным пластинам без заеданий. Отпуская крепежное кольцо, закручивают спиральный токоподвод на угол 25—30° от нейтрального положения, после чего кольцо закрепляют. Проверяют надежность возврата подвижной системы реле при повороте ее вручную до замыкания контактов. Угол затяжки противодействующей пружины в 25—30° принят в эксплуатации по условию более надежного возврата реле на упор, заводская регулировка принята равной 10—15°.

Следует также проверить надежность затяжки стяжных винтов магнитопроводов трансреакторов и дросселей. Это диктуется тем, что при слабой затяжке винтов при работе защиты во время короткого замыкания с большим током может, например, измениться величина воздушного зазора в магнитопроводе трансреактора из-за большого увеличения магнитной индукции, а это приведет в свою очередь к изменению электрических характеристик реле, а следовательно, и параметров настройки защиты. Также могут измениться характеристики реле и при изменении воздушного зазора дросселя вследствие слабой затяжки его винтов.

Следует проверить отсутствие залипания подвижной системы реле на упорах; при обнаружении залипания упоры должны быть тщательно зачищены.

Возможность залипания на упорах в ряде случаев объясняется тем, что в условиях эксплуатации обмотки реле обтекаются током и нагреваются. При этом могут выделяться маслянистые пары, которые могут осаждаться на деталях реле, в том числе и на упорах, и приводить к залипанию подвижной системы реле на упорах.

В эксплуатации были отмечены случаи залипания реле на переднем упоре вследствие возникновения электростатического торможения подвижной системы [Л. 8]. Передний упор имеет волокнитовый (изолирующий) на-

конечник, который играет роль прокладки конденсатора. Одной обкладкой конденсатора является металлическая часть упора, соединенная с корпусом реле и панели, а другой — грань подвижного контакта, соединенная с «полюсом» оперативного тока.

Между подвижным контактом и корпусом реле имеется разность потенциалов, под действием которой может создаваться электростатическое торможение. Для устранения торможения, которое приводит к загрублению реле, предложено заменять латунный стержень упора сплошным из органического стекла или изолировать контактную плату от корпуса и соединить электрически подвижный контакт с платой.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Проверка и регулировка электрических характеристик реле сопротивления включает в себя [Л. 5]:

а) проверку автотрансформатора напряжения *Ти*;

б) проверку трансреактора *Тх*;

в) проверку отсутствия самоходов реле сопротивления;

г) настройку сопротивления срабатывания реле сопротивления;

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;

з) проверку поведения реле сопротивления при близких к. з. в зоне и вне зоны действия;

и) проверку правильности включения реле сопротивления рабочим током и напряжением;

к) измерение параметров в цепях реле сопротивления.

Следует отметить, что в данной работе рассматривается только проверка и настройка реле сопротивления с присущими этому реле особенностями.

Поэтому здесь не рассматриваются те проверки, которые выполняются в дистанционной защите, а следовательно, и на реле сопротивления как одном из эле-

ментов дистанционной защиты, например проверка состояния изоляции, взаимодействия цепей постоянного тока реле и защиты и т. п.

Проверка автотрансформатора напряжения *Ти.* Из панельки автотрансформатора вывертываются все штекерные винты, снимается перемычка *8—10*, отсоединяется один из концов поляризующей обмотки (на зажиме *6*). К зажимам *12* и *6* подводится переменное напряжение 100 *в*, замеряется ток холостого хода автотрансформатора, величина тока холостого хода должна составлять 30—40 *ма*. Далее измеряются величины напряжений на всех отпайках автотрансформатора (90; 80; 70; 60; 50; 40; 30; 20; 10; 12; 14; 16; 18; 18,5; 19 и 19,5%).

Измерение напряжений следует производить вольтметром с большим внутренним сопротивлением, не менее 1 *ком* на 1 *в*.

Проверка трансреактора *Тх*. На трансреакторе устанавливаются максимальные отпайки, равные 2. Объединяются зажимы реле *13* и *15*, а в зажимы *14* и *16* подается ток 5 *а* (для реле с номинальным током 5 *а*) и измеряется напряжение на вторичной обмотке трансреактора (зажимы *5—12* реле КРС-131 и *5—18* реле КРС-132). Напряжение должно быть равно 20 *в*. При включении тока 5 *а* в одну фазу (в зажимы *14—13* или *16—15*) величина напряжения должна составлять 10 *в*. Измерение выполняется при разомкнутой перемычке *10—8* и включенном сопротивлении r_2.

При отключении сопротивления r_2 величина напряжения должна увеличиться примерно в 1,4 раза. Возможность изменения вторичного напряжения трансреактора рассмотрена ниже, когда выполняется настройка сопротивления срабатывания реле.

Восстанавливаются цепи автотрансформатора *Ти*, трансреактора *Тх*, устанавливается перемычка *10—8*, подключается цепь поляризующей обмотки. На автотрансформаторе *Ти* и трансреакторе *Тх* выставляются предварительно подсчитанные заданные уставки.

Проверка отсутствия самохода реле. В реле сопротивления КРС-131 и КРС-132 проверяется отсутствие самохода только от тока, так как от напряжения на реле создается, как известно, большой момент на заклинивание и проверка в этом случае отсутствия самохода не имеет смысла. Необходимость проверки отсутствия самохода от тока, а при наличии самохода устранение его обу-

словлены опасением, что реле может подействовать при трехфазном к. з. вблизи шин подстанции вне зоны действия реле («за спиной»), когда напряжение на шинах подстанции равно нулю, а в рабочей обмотке реле протекает составляющая от тока к. з., подтекающего по защищаемой линии к шинам подстанции. Следовательно в рабочей обмотке будет протекать ток. В поляризующей обмотке реле, казалось бы, ток не должен проходить, так как напряжение на шинах подстанции равно нулю. В таком случае реле могло бы сработать только из-за самохода вследствие некоторой несимметрии магнитной системы реле. Однако практически при напряжении на шинах подстанции, равном нулю в режиме к. з. у шин, напряжение на зажимах реле в ряде случаев может быть не равно нулю из-за того, что между шинами и реле включено сопротивление трансформатора напряжения и кабелей, соединяющих панель защиты с трансформатором напряжения. На этом сопротивлении, включенном в зажимы напряжения реле, будет наводиться э. д. с., трансформируемая автотрансформатором *Tu* при протекании тока к. з. в рабочей обмотке.

На зажимы напряжения *12—6* включена поляризующая обмотка, следовательно, при наличии э. д. с. наводки на этих зажимах через поляризующую обмотку будет проходить ток наводки, который будет создавать магнитный поток через вертикальные полюсы реле (рис. 13 и 15). Поэтому в рассматриваемом режиме возможно действие реле не только от самохода, если таковой имеется, но и вследствие наводок в цепях напряжения от цепей тока. Срабатывание реле в этом случае зависит от величины напряжения наводки и от ее фазы, поэтому она может действовать как в сторону срабатывания, так и в сторону заклинивания. Чем больше ток к. з., подтекающий к шинам подстанции по защищаемой линии, тем больше напряжение наводки, чем больше сопротивление кабеля от панели защиты до трансформатора напряжения (эта величина является определяющей в суммарном сопротивлении кабеля и трансформатора напряжения), тем больше напряжение наводки при том же значении тока к. з.

Поэтому при проверке отсутствия самохода реле ставится задача не только ликвидировать самоход реле, но и компенсировать при этом регулировкой самохода срабатывание реле в результате наводок от цепей тока

в цепи напряжения. Для этого регулировка самохода производится в следующей последовательности.

Предварительно определяется сопротивление $r_э$ жил кабеля от панели защиты до трансформатора напряжения. Цепи напряжения панели защиты замыкаются через соединенные в звезду сопротивления $r_э$ (рис. 30), равные сопротивлению фазы кабеля от панели защиты до трансформатора напряжения. У всех реле сопротивления защиты отпускаются противодействующие пружины и закрепляются в нейтральном положении. Поскольку величина напряжения наводки зависит от коэффициентов трансформации в автотрансформаторах и трансреакторах, то на всех трансреакторах и автотрансформаторах реле сопротивления, а также и на блокировке от качаний, если таковая имеется в защите, набираются заданные уставки.

Далее подается ток поочередно в каждую пару фаз панели, т. е. *AB*, *BC* и *CA*, а следовательно, в каждое реле сопротивления. Величина тока должна быть равна значению трехфазного тока к. з., подтекающего по защищаемой линии, при к. з. на шинах своей подстанции. При проверке отсутствия самохода у реле КРС-131, используемого как дистанционное реле первой и второй зон, оно должно быть включено по цепи первой зоны.

В случае обнаружения самохода его устранение производится поворотом сердечника реле на некоторый угол, для чего предварительно отпускается гайка *20* (рис. 18), которая после поворота сердечника вновь затягивается и опять проверяется отсутствие самохода.

Если указанным способом не удается устранить самоход, то «Руководящие указания по наладке, проверке и эксплуатации дистанционной защиты типа ПЗ-157» рекомендуют еще два способа. Один способ устранения самохода предусматривает изменение потоков рассеяния отдельных катушек путем некоторого перемещения их вдоль магнитопровода.

Другой способ состоит в том, что с оси реле снимаются детали, мешающие свободному вращению барабанчика (т. е. контактная система со спиральным токоподводом и подвижный упор). В токовые цепи реле дают ток и следят за поведением барабанчика. При этом в большинстве случаев наблюдается поворот барабанчика вследствие самохода на некоторый угол, после чего барабанчик останавливается и самоход ликвидируется.

Определив положение барабанчика, при котором самоход отсутствует, вновь укрепляют на оси реле при найденном положении барабанчика контактную систему с токоподводом и подвижный упор.

В случае затруднений по полной ликвидации самохода на срабатывание допускается оставлять небольшой самоход, который удается ликвидировать затяжкой противодействующей пружины на угол 5—10°.

Большой самоход в сторону заклинивания нежелателен, так как увеличивает ток точной работы реле.

В случае наличия самохода на срабатывание, вызванного наводками в цепях напряжения, что может быть определено по изменению самохода при шунтировании включенных в зажимы напряжения сопротивлений, могут быть уменьшены отпайки на трансреакторах (и соответственно изменены отпайки на автотрансформаторах *Ти*), если при этом удается выполнить уставки срабатывания реле (первой и второй зон) и обеспечить необходимое значение тока точной работы реле.

По окончании устранения самохода противодействующую пружину затягивают на угол 25—30°.

Схема проверки реле. Для снятия электрических характеристик реле сопротивления следует иметь трехфазную систему напряжений 100—127 *в* и источник тока с плавной регулировкой тока от нуля до максимального значения тока к. з. на защищаемой линии, который может протекать через защиту, с возможностью плавного изменения фазы между током и системой напряжений.

В настоящее время применяются в эксплуатации различные проверочные устройства, которые могут удовлетворять приведенным условиям, одна из таких схем показана на рис. 30 [Л. 9].

Схема на рис. 30 питается переменным напряжением 127 или 220 *в*, рубильник P_1 и предохранители *П* установлены в шкафу питания. Цепи напряжения включаются рубильником P_2, плавное изменение угла системы напряжений относительно тока осуществляется трехфазным фазорегулятором *ФР*, вторичное напряжение которого должно быть равно 100—127 *в* для того, чтобы на реле не подавалось напряжение выше 110 *в*. Сопротивления r_1, r_2, r_3 являются потенциометрами, посредством которых регулируются величины фазных напряжений U_1, U_2, U_3 (при включенном рубильнике P_4). Электрическое че-

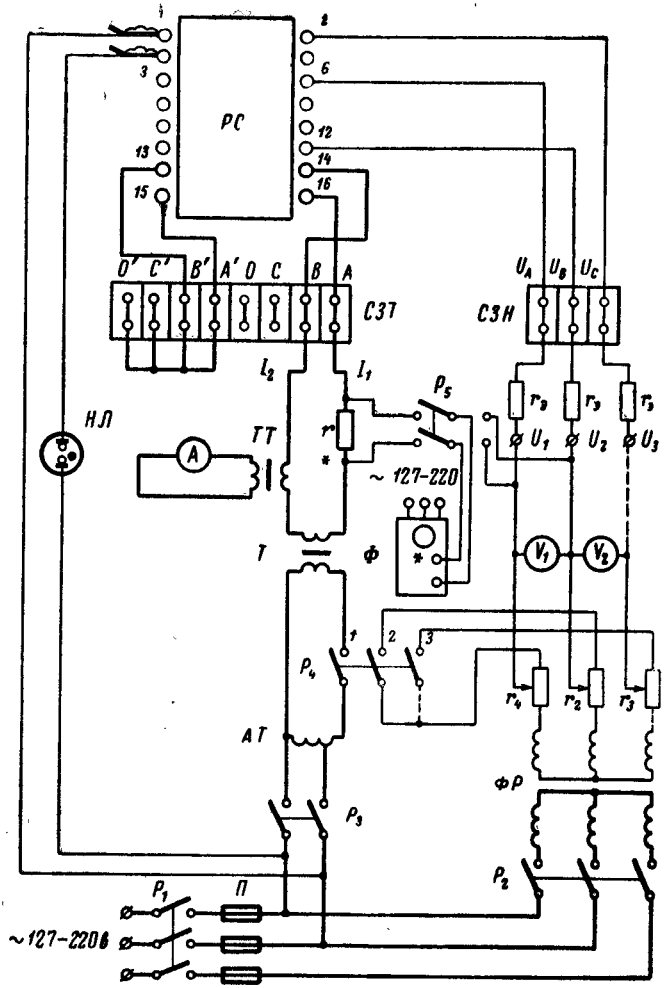

Рис. 30. Схема для определения электрических характеристик реле сопротивления.

РС — проверяемое реле сопротивления; *ФР* — фазорегулятор; *НЛ* — неоновая лампа; $r_э$ — эквивалентное сопротивление; *Ф* — прибор для измерения угла (фазовольтметр, фазометр и т. п.); P_1—P_5 — рубильники, рубильник P_5 необходим при использовании фазовольтметра; r_1, r_2, r_3 — сопротивления; *r* — сопротивление на максимальный ток; *АТ* — автотрансформатор; *Т* — нагрузочный трансформатор; *ТТ* — трансформатор тока; V_1, V_2 — вольтметры; *А* — амперметр; *СЗТ* — сборка зажимов тока защиты; *СЗН* — сборка зажимов напряжения защиты.

редование напряжений U_1, U_2, U_3 должно соответствовать обозначению их индексов.

На рис. 30 так же, как и на рис. 13 и 15, показано реле сопротивления, включенное на напряжение $U_р = U_{AB}$ и ток $I_р = I_A - I_B$.

Напряжения «поврежденных фаз» U_1 и U_2 подводятся соответственно к зажимам напряжения реле U_A и U_B, U_3 подключается к третьей фазе цепей напряжения U_C.

Величина разности напряжений «поврежденных фаз» $U_1 - U_2$ измеряется вольтметром V_1, а напряжение между «поврежденной» и «неповрежденной» фазами — вольтметром V_2.

При снятии характеристик реле, в которых необходимо определять сопротивление срабатывания реле ($z_{ср}$, $z_{ср} = f(I)$; $z_{ср} = f(\varphi)$), величина r_1 должна быть равна 200—300 *ом* для того, чтобы обеспечивать плавную регулировку разности напряжений $U_1 - U_2$.

При снятии остальных характеристик величина r_1 должна быть 20—30 *ом* и такой же величины должны быть сопротивления r_2 и r_3, которые в первом случае вообще могут не использоваться в схеме.

Последовательно с каждой фазой цепей напряжения панели включаются эквивалентные сопротивления $r_э$, равные сопротивлению фазы кабеля от панели защиты до трансформатора напряжения, при помощи этих сопротивлений компенсируется ошибка в настройке реле из-за падения напряжения в кабеле до трансформатора напряжения.

Рубильником P_3 включается ток, автотрансформатором AT (типа ЛАТТР) осуществляется регулирование напряжения на первичной обмотке нагрузочного трансформатора T. Измерение тока в цепи реле производится амперметром A, включенным при необходимости через измерительный трансформатор тока TT, $ч$ является балластным сопротивлением и одновременно используется для измерения фазы тока, если для этого применяется фазовольтметр $Ф$.

«Начало» тока (провод I_1) подключается к фазе A, а «конец» (провод I_2) — к фазе B сборки зажимов токовых цепей защиты.

Режимный рубильник P_4 при снятии и настройке характеристик реле, связанных с определением сопротивления срабатывания, или угловых характеристик реле должен быть замкнут. Он предназначен для имитации ава-

рийных режимов, например двухфазных к. з. по току и двухфазных и трехфазных к. з. по напряжению. Имитация двухфазного к. з. по току, т. е. включение тока, производится ножом *1*, имитация двухфазного к. з. по напряжению — ножом *2*, трехфазного к. з. по напряжению — ножами *2* и *3* рубильника P_4.

Для имитации к. з. по току заранее регулируется автотрансформатором *АТ* необходимая величина тока при включенных рубильниках P_1, P_3 и P_4, рубильник P_2 отключен. Определяют по фазовольтметру фазу тока. Далее отключают рубильник P_3, включают рубильник P_2 и потенциометрами r_1, r_2 и r_3 регулируют необходимые напряжения U_1—U_2 (по вольтметру V_1) и напряжения U_2—U_3 (по вольтметру V_2) и нужный угол между током и напряжениями U_1—U_2. Отключают рубильник P_4 и включают рубильник P_3, при этом ток в реле не подается, а подается только напряжения U_1—U_2 (если используется нож *2*) или U_1—U_2—U_3 (если используются ножи *2* и *3*). При этом линейные напряжения будут высокими и могут быть получены близкими к номинальным значениям. Это зависит от величины сопротивлений r_1, r_2, r_3: чем сопротивления меньше, тем меньше падение напряжения в них от тока цепи напряжения реле (этот ток может иметь максимальную величину 0,3—0,4 *а*). Поэтому даже в крайнем верхнем положении движков сопротивлений r_1, r_2, r_3 и разомкнутом рубильнике P_4 линейное напряжение на реле может быть получено равным 85—95 *в*.

Следовательно, при отключенном рубильнике P_4 на реле будет имитироваться режим холостого хода линии, в котором ток по линии не протекает и имеет место величина напряжения, близкая к нормальному.

При включении рубильника P_4 включается в реле ток и одновременно снижается напряжение на зажимах реле (в двух фазах или во всех трех) до заранее отрегулированной величины или до нуля. Режимом трехфазного к. з. со снижением напряжения до нуля имитируется, например, к. з. у шин подстанции (в начале координат по угловой характеристике реле); при этом реле должно работать «по памяти», если к. з. в зоне, и не работать, если к. з. вне зоны «за спиной». При проверке реле в этом режиме важно, чтобы на реле (в точках U_1, U_2, U_3) при включенном рубильнике P_4 напряжение действительно было равно нулю, для этого необходимо

замерить остаточное напряжение вольтметром на малом пределе, убедиться, что оно действительно равно нулю, а не составляет каких-то долей вольта из-за оставшейся не закороченной движком части витков проволоки сопротивления. В таких случаях следует переключить концы проводов, идущих к сборке зажимов СЗН с движков, на верхние зажимы сопротивления и вновь замерить остаточное напряжение.

При снятии характеристик реле, когда требуется определять многократно срабатывание и возврат реле, удобно использовать неоновую лампу *НЛ*, включенную на напряжение переменного или постоянного тока через контакт реле. Настройка этих характеристик производится без оперативного тока, поэтому цепи оперативного тока отсоединяются от зажимов *1* и *3* реле и к ним присоединяются цепи лампы. Лампу следует разместить рядом с вольтметром V_1, по которому определяется напряжение срабатывания или возврата реле, так чтобы шкала вольтметра и лампа были одновременно в поле зрения. Тогда, регулируя сопротивлением r_1 величину напряжения (при ранее отрегулированном токе и угле), одновременно определяют момент срабатывания реле и напряжение срабатывания.

Настройка сопротивления срабатывания реле сопротивления. Настройка заданных уставок на реле производится после устранения самохода, разбирается звезда эквивалентных сопротивлений $r_э$ и к фазам сборки зажимов *СЗН* U_A и U_B подключаются через сопротивления $r_э$ провода напряжения U_1 и U_2 цепей напряжения схемы проверки, провод U_3 не подключается. Регулирование уставок реле производится при неизменных значениях тока и угла между током и напряжением снижением напряжения до величины, при которой срабатывает реле. Поскольку уставка реле $z_{ср}$ (во вторичных омах на фазу) известна (если величина $z_{ср}$ задана в первичных омах на фазу, она должна быть пересчитана на вторичные по приведенной выше формуле), величины тока настройки и угла между током и напряжением также задаются, остается неизвестной значение напряжения $U_{ср}$, при котором должно срабатывать реле, чтобы обеспечить заданную уставку сопротивления срабатывания $z_{ср}$ при токе настройки I. Величина $U_{ср}$ определяется по формуле

$$U_{ср}=2Iz_{ср}.$$

Произведение $Iz_{ср}$ представляет собой вторичное фазное значение падения напряжения в заданном сопротивлении срабатывания от тока настройки I (рис. 31). Коэффициент 2 учитывает настройку реле по схеме двухфазного к. з., так как при этом определяется не фазное, а междуфазное (линейное) напряжение $U_{ср}$ между фазами A и B, которое равно сумме падений напряжений в фазе A ($Iz_{ср}$) и в фазе B ($Iz_{ср}$).

Автотрансформатором AT (рис. 30) устанавливается заданный ток; если он не задан, то принимается ток настройки для первой зоны защиты равный $(2 \div 3)$ $I_{ном}$ (10—15 *а*), для второй или третьей зоны защиты $(1 \div 2)$ $I_{ном}$ (5—10 *а*). Ток настройки должен быть вдвое больше тока точной работы реле.

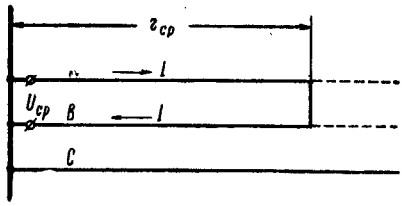

Рис. 31. Определение сопротивления срабатывания реле имитацией двухфазного к. з.

Фазорегулятором $ФР$ устанавливается заданный угол настройки; если он не задан, то принимается равным для ЛЭП 110 *кв* 60° и для ЛЭП 220 *кв* 80°. Рубильник P_4 при настройке $z_{ср}$ должен быть включен. Включаются ток и напряжение, потенциометром r_1 (200—300 *ом*) устанавливается величина напряжения 80—90 *в*, т. е. выше напряжения возврата реле. Снижая напряжение до срабатывания реле (что определяют по неоновой лампе или по контакту реле), определяют напряжение, при котором срабатывает реле.

Если окажется, что напряжение срабатывания выше, чем задано (это значит, что $z_{ср}$ выше заданного), то необходимо его уменьшить, для этого нужно увеличить уставку на автотрансформаторе Tu в той же пропорции, в которой полученное напряжение выше, чем подсчитанное $U_{ср}$.

После этого вновь определяют напряжение срабатывания. Таким образом, на реле регулируют напряжение срабатывания, равное заданному или ближайшее к заданному, которое удается получить при имеющейся ступенчатой регулировке на автотрансформаторе Tu.

При настройке уставок реле КРС-131 должно быть включено на уставки соответствующей зоны.

Перед окончательной настройкой реле на заданную уставку следует ориентировочно определить величину угла максимальной чувствительности реле. Для этого на реле подается сопротивление, равное $(0{,}7 \div 0{,}8) z_{ср}$, и изменяется угол (при неизменных токе и напряжении); увеличивая угол, определяют его значение φ_1 (рис. 32),

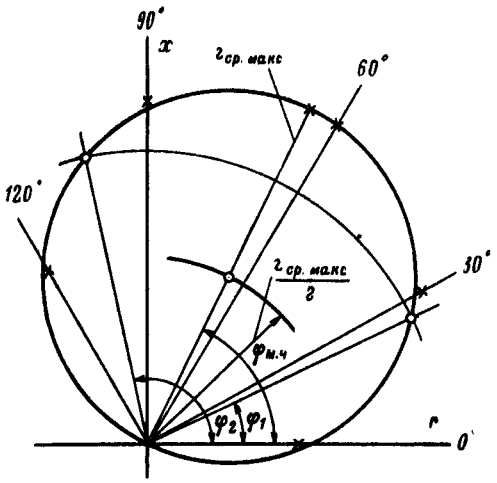

Рис. 32. Построение характеристики сопротивления срабатывания реле.

при котором реле срабатывает. Далее увеличивают угол до тех пор, пока реле разомкнет контакты, после этого несколько уменьшая угол, добиваются вновь срабатывания реле и определяют угол φ_2.

Угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$ определяют по формуле

$$\varphi_{м.ч} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}.$$

При небольших отклонениях угла $\varphi_{м.ч}$ от заданного (65°), т. е. в пределах до 5°, регулировку угла не следует производить. В случае больших отклонений угла $\varphi_{м.ч}$ его регулировка выполняется сопротивлением r_2, при увеличении рабочей части сопротивления r_2 угол $\varphi_{м.ч}$ увеличивается.

Для надежности контакта движок сопротивления r_2 следует соединить гибким проводником с концом *17*, по-

тенциометра (рис. 13 и 15), так как заводское соединение червяка, по которому может перемещаться движок, с концом потенциометра может давать ненадежный контакт, что может привести к изменению угла $\varphi_{м.ч}$ и, в меньшей степени, к изменению уставки реле.

При изменении сопротивления r_2 в больших пределах может измениться нагрузка трансреактора *Тх*, а следовательно, и величина вторичной э. д. с. трансреактора, это приведет к изменению шкалы реле, при котором уставка на реле не будет соответствовать заводской регулировке. Шкала реле в случае надобности может быть подкорректирована одновременным изменением положения магнитного шунта трансреактора (рис. 20).

Увеличение сопротивления r_2 приводит к увеличению угла максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$ и э. д. с. трансреактора, следовательно, и к увеличению сопротивления срабатывания $z_{ср}$, выдвижение магнитного шунта из зазора приводит к уменьшению э. д. с. трансреактора.

При значительном отклонении уставки от шкалы реле (более 15%) и отклонении угла максимальной чувствительности от номинального (свыше 10—15°) следует в первую очередь измерить величины и фазы э. д. с. трансреактора и проверить параметры поляризующей обмотки.

Величину э. д. с. трансреактора измеряют вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 1 *ком/в* при уставке 2 на первичных обмотках трансреактора.

При нормальных зазорах в магнитопроводе (табл. 2), токе 5 *а* в обеих обмотках трансреактора и включенном сопротивлении r_2 э. д. с. должна быть равна 20 *в*. Электродвижущая сила, замеренная в тех же условиях, но с отключенным сопротивлением, должна составлять 27 *в*. Необходимая величина э. д. с. может быть получена изменением положения магнитного шунта.

При полном введении магнитного шунта в зазор э. д. с. и сопротивление срабатывания реле изменяются примерно на 20%, это позволяет при необходимости добиться совпадения сопротивления срабатывания реле с номинальной величиной.

Если э. д. с. трансреактора соответствует приведенным значениям, а угол максимальной чувствительности значительно отличается от номинального, то, видимо, параметры поляризующей цепи не соответствуют расчетным.

Тогда следует подать на реле напряжение 100 *в* и замерить распределение напряжения в поляризующей цепи. Замер производить вольтметром с большим внутренним сопротивлением, например тестером. Расчетные заводские значения величин напряжения на элементах поляризующей цепи следующие [Л. 4]:

Обмотка реле	170 *в*
Конденсатор C_2	450 *в*
Дроссель $Д$	285 *в*

Дроссель $Д$ и конденсатор C_2 вместе — 165 *в*. При напряжении 100 *в* на поляризующей цепи ток, проходящий через поляризующую обмотку, должен быть равен 140 *ма* и сопротивление поляризующей цепи должно составлять примерно 700 *ом*. Для исключения ошибок ток следует замерять не в проводах U_1 или U_2, а в цепи поляризующей обмотки, т. е. после зажимов *6* или *12*. При этом ток в поляризующей обмотке будет опережать напряжение на зажимах реле *6—12* на угол 5°.

Если замеренные напряжения в поляризующей цепи не отличаются от приведенных величин более чем на 10%, то угол максимальной чувствительности не должен отличаться от номинального более чем на 3°. Отличие замеренных напряжений от номинальных может быть вызвано отличием величины емкости конденсатора или величины сопротивления дросселя от расчетной. Осмотрев дроссель, следует убедиться, что зазор соответствует заводской величине (2,6 *мм*), тогда, регулируя положение магнитного шунта в зазоре дросселя, добиваются получения расчетных значений напряжений (или близких к ним) на элементах поляризующей цепи. Полный регулировочный диапазон магнитного шунта дросселя также составляет 20%.

По окончании регулировки вновь проверяют и фиксируют заданную уставку сопротивления срабатывания реле, окончательно закрепляют штекерные винты в гнездах автотрансформатора и трансреактора.

Характеристика сопротивления срабатывания реле. Характеристика сопротивления срабатывания представляет собой зависимость сопротивления срабатывания от угла $z_{ср}=f(\varphi)$.

Характеристику снимают при той же величине тока, при которой производят настройку сопротивления срабатывания. Изменяя угол от 0 до 120° (150°) через 30°

(или 15°) при неизменном токе, определяют напряжение срабатывания для каждого значения угла. По значениям тока настройки I и напряжения срабатывания $U_{ср}$ определяют сопротивление срабатывания для каждого значения угла по формуле $z_{ср}=U_{ср}/2I$ и строят зависимость $z_{ср}=f(\varphi)$. Для этого в системе координат r, x откладывают углы и соответствующие им значения $z_{ср}$ (рис. 32).

При этом руководствуются рис. 10,*б*, считая что ось r является горизонтальной осью и началом отсчета угла ($\varphi=0$); ось x является вертикальной осью и соответствует углу $\varphi=90°$. Разделив линию, соединяющую начало координат с максимальным значением $z_{ср.макс}$, пополам, проводят через эту точку из начала координат дугу. На этой дуге будет расположен центр характеристики реле, являющийся окружностью с радиусом, равным половине $z_{ср.макс}$. Установив циркуль с раствором, равным $z_{ср.макс}/2$, в такой точке дуги, чтобы разброс замеров $z_{ср}$ при других углах относительно окружности был одного знака и примерно одинаковой величины, проводят окружность через начало координат и максимальный замер.

Проведя линию, соединяющую начало координат с центром окружности, т. е. диаметр окружности, определяют угол наклона диаметра к оси r, т. е. угол максимальной чувствительности реле.

Угол максимальной чувствительности может быть определен также двумя засечками, как приведено выше, при графическом построении эти углы должны совпасть.

Зависимость сопротивления срабатывания от тока. Снимают зависимость сопротивления срабатывания от тока $z_{ср}=f(I)$ при неизменном угле между током и напряжением, равном углу, при котором производилась настройка сопротивления срабатывания реле. Характеристику $z_{ср}=f(I)$ снимают до максимального тока, который может проходить через реле защиты в сторону срабатывания реле сопротивления при к. з. в начале линии. Сначала настраивают ток, потом поднимают напряжение выше напряжения возврата реле и, снижая напряжение, определяют напряжение, при котором срабатывает реле, а по напряжению определяют сопротивление срабатывания. Напряжение при этом не следует увеличивать выше 100—110 *в*, поэтому для тех величин токов, при которых требуется напряжение выше 110 *в* для срабатывания реле, оценку работы реле производят

качественно, увеличивая ток и не увеличивая напряжение. Срабатывание реле в этом случае наступит при включении рубильника тока P_3 при включенных ранее рубильниках P_4 и P_2. При этом оценивается срабатывание реле при больших токах и, следовательно, определяется отсутствие отказов в работе, например, из-за насыщения магнитопроводов.

В сторону снижения тока характеристика снимается до таких величин токов, когда реле перестает срабатывать.

Для каждого значения тока (для напряжений менее 110 *в*) подсчитывается сопротивление срабатывания и строится зависимость $z_{ср}=f(I)$. При этом по горизонтальной оси откладывается ток, а по вертикальной — напряжение (рис. 12) и определяется ток точной работы реле, для этого проводят горизонтальную линию с величиной сопротивления, равной $0{,}9\,z_{ср}$, до пересечения со снятой характеристикой $z_{ср}=f(I)$. Точка пересечения и даст искомое значение тока точной работы реле.

Напомним, что приведенные ранее значения токов точной работы реле сопротивления соответствуют заводской затяжке противодействующей пружины (10—15°); если в эксплуатации принят, как рекомендуется, угол затяжки пружины 25—30°, то величины токов точной работы будут выше, однако их максимальное значение должно быть, по крайней мере, в 2 раза меньше, чем значение тока короткого замыкания в минимально возможном режиме работы сети.

Большие значения токов точной работы реле могут быть вызваны:

увеличением сил сопротивления реле, например затиранием в подвижной системе, чрезмерным увеличением угла затяжки противодействующей пружины или наличием большого самохода на заклинивание, а также недостаточной компенсацией нелинейности сопротивления обмоток реле и трансреакторов, имеющих стальные сердечники.

Если силы сопротивления в реле нормальны, что обычно выполняется при наладке, то увеличение тока точной работы может быть вызвано нелинейностью сопротивлений магнитных систем реле.

В этих случаях «Руководящие указания по наладке, проверке и эксплуатации дистанционной защиты

ПЗ-157» рекомендуют вновь проверить отсутствие самоходов в реле и затем произвести регулировку компенсации нелинейности.

Для этого следует вдвинуть пермаллоевый клин в зазор так, чтобы увеличить его сечение в зазоре. Вдвигать клин следует постепенно, снимая для каждого положения характеристику $z_{ср}=f(I)$ и наблюдая за изменением этой характеристики. Регулировка компенсации практически не влияет на сопротивление срабатывания реле при больших токах.

Определение угловой характеристики реле сопротивления как органа направления мощности. Эта характеристика снимается только при новом включении и производится следующим образом. Перемычка *8—10* устанавливается в положении *10—12* (рис. 13 и 15), при этом рабочая обмотка реле будет включена только на ток, так как из нее исключена составляющая напряжения, а поляризующая — по-прежнему на напряжение. В реле подается напряжение 100 *в* и ток номинальной величины; изменяя угол между током и напряжением в пределах 360°, определяют углы изменения знака момента при однозначном поведении реле, например при замыкании контакта. По полученным результатам определяют зону работы и неработы реле как органа направления мощности, строят относительно напряжения $U_р=U_{AB}$ линию изменения знака момента и определяют линию максимальных моментов как биссектрису зоны работы или неработы реле.

Определяют угол максимальной чувствительности реле КРС (как реле мощности), т. е. угол между напряжением $U_р$ и линией максимальных моментов, который обычно близко совпадает с углом максимальной чувствительности реле сопротивления.

При номинальном токе и определенном угле максимальной чувствительности, как реле мощности, определяют мощность срабатывания реле. Перемычку *10—12* ставят вновь в положение *10—8*.

Проверка поведения реле сопротивления при близких к. з. в зоне и вне зоны действия защиты. Проверка производится в полной схеме защиты с подключенным оперативным током с действием на выходное реле защиты, при этом выходное реле защиты должно иметь самоудерживание при срабатывании, чтобы иметь возможность срабатывать на отключение выключателя при

кратковременном замыкании контактов реле сопротивления во время действия «по памяти». Проверка поведения реле сопротивления при близких к. з. выполняется обычно после снятия характеристики времени срабатывания дистанционной защиты, которая представляет собой зависимость времени срабатывания защиты от сопротивления, подведенного к зажимам защиты. Поскольку эта характеристика является характеристикой защиты, а не реле, то в данной работе только кратко излагается, для каких величин сопротивления она снимается и как их отрегулировать на реле.

Характеристика времени срабатывания защиты или, как ее часто называют, временна́я характеристика снимается для начала и конца каждой зоны и для сопротивления z, равного нулю; так, например, для защиты, имеющей трехступенчатую характеристику (рис. 3), она снимается для значений z, равных: 0; 0,5 z_1; 0,9 z_1; 1,1 z_1; 0,9 z_2; 1,1 z_2; 0,9 z_3 и 1,1 z_3.

Поэтому для снятия временно́й характеристики подсчитывают величины z, а по ним определяют значения напряжений U как $U=2Iz$, которые надо подвести к реле при создании аварийного режима включением режимного рубильника P_4 (рис. 30). Снятие временно́й характеристики производится при тех же токах и угле между током и напряжением, что и настройка реле сопротивления на заданную уставку, в формулу для определения напряжения должно быть подставлено соответствующее значение тока. Цепи напряжения схемы проверки должны быть полностью собраны, подключены сопротивления r_2 и r_3, напряжение U_3, если они до этого были отсоединены, а величина сопротивления r_1, а также сопротивления r_2 (r_3) должна составлять 20—30 *ом*.

В рубильнике P_4 должен быть подключен нож *3* и при включенном рубильнике P_4 должно быть отрегулировано нормальное значение напряжения U_3, равное фазному напряжению, т. е. 57—58 *в*. Цепь контакта реле должна быть восстановлена и на защиту должен быть подан оперативный ток. Сначала регулируется величина тока, для чего включаются рубильники P_3 и P_4, потом рубильник P_3 отключается, включается рубильник P_2 и регулируется подсчитанное ранее для данной величины z напряжение U_1—U_2, проверяется установка заданного угла между током и напряжением, отключается рубильник P_4 и включается рубильник P_3.

Для пуска секундомера должен быть использован четвертый нож рубильника P_4.

При включении рубильника P_4 на реле сопротивления будет создан «аварийный режим» — будут включены заданные величины тока, напряжения и угла между ними, одновременно будет запускаться секундомер, который будет измерять время действия защиты, его останов должен осуществляться выходным реле защиты.

Проверка поведения защиты при близких к. з. производится при имитации двухфазных и трехфазных к. з.

Имитацией близкого двухфазного к. з. вне зоны действия защиты («за спиной») в режиме двустороннего питания линии (в точке *K4* на рис. 27, но у самых шин подстанции) проверяется правильность включения подпитки от «неповрежденной» фазы. Проверка производится при угле между «аварийным» током и «предаварийным» напряжением, равном $180°+\varphi$, где φ угол настройки, при значении «аварийного» тока, равного 150% максимального тока, проходящего через защиту при трехфазном к. з. на шинах подстанции, от которой отходит защищаемая линия.

Ток при трехфазном к. з., а не при двухфазном к. з., хотя имитация ведется двухфазного к. з., берется для упрощения расчетов и дает некоторый дополнительный запас.

Схема на рис. 30 позволяет имитировать по току двухфазные к. з., а по напряжению — двухфазные и трехфазные. При имитации двухфазных к. з. по напряжению при включенном рубильнике P_4 движками сопротивлений r_1 и r_2 регулируется напряжение, равное нулю, для чего провода U_1 и U_2 от движков переключаются на верхние выводы потенциометров (см. выше при описании схемы рис. 30), напряжение U_3 регулируется движком r_3, оно равно нормальному фазному напряжению. Рубильник P_2 отключается, включается рубильник P_3, регулируется заданное значение тока, включается рубильник P_2 и регулируется заданный угол между током и напряжением. Отключается рубильник P_4. Схема имитации подготовлена; проверяют разомкнутое положение контакта реле, включают рубильник P_4 и в две «поврежденные» фазы реле A и B подается ток, напряжение «поврежденных» фаз одновременно снижается до нуля с углом между током и «доаварийным» напряжением, равным $180°+\varphi$. При этом наблюдают за по-

движной системой реле, она не должна поворачиваться в сторону замыкания контакта.

Имитация двухфазного к. з. в зоне действия защиты выполняется аналогично имитации трехфазному к. з. только устанавливается ток и угол, равные току и углу настройки уставок в первой зоне. При включенном рубильнике P_4 реле должно срабатывать и оставаться в таком положении до тех пор, пока не снят «аварийный» режим, т. е. на все время, пока включен рубильник P_4. При этом на реле будет ощущаться слабый момент на замыкание, созданный противодействующей пружиной и током подпитки в цепи поляризующей обмотки во взаимодействии с током в рабочей обмотке от трансреактора *Тх*.

Проверка действия реле «по памяти» при близких трехфазных к. з. в зоне действия защиты (в «мертвой зоне») выполняется аналогично предыдущей проверке имитацией двухфазного к. з. в зоне.

Различие состоит в создании трехфазного к. з. по напряжению. Для этого при включенном рубильнике P_4 регулируется напряжение U_2—U_3 (по вольтметру V_2), равное нулю, тогда при включении рубильника P_4 напряжение всех трех фаз защиты становится равным нулю.

Проверка производится при угле настройки φ между током и напряжением для величин токов от тока настройки реле в первой зоне до минимального тока трехфазного к. з. при к. з. у шин подстанции на защищаемой линии. Выходное реле защиты должно иметь самоудерживание. При включении рубильника P_4 реле сопротивления должно кратковременно замкнуть свой контакт, выходное реле защиты при этом должно сработать и самоудержаться (от обмотки последовательного включения).

В тех случаях, когда схема проверки не позволяет обеспечить имитацию трехфазного к. з. по напряжению, проверка работы реле «по памяти» может быть выполнена и по схеме для имитации двухфазного к. з., но только в этом случае необходимо отсоединить провод U_3 от схемы защиты, чтобы предотвратить срабатывание реле от напряжения третьей фазы по цепи подпитки.

Далее выполняется проверка поведения реле при близких трехфазных к. з. «за спиной» (точка *К4* на рис. 27 у шин подстанции) в режиме двустороннего пи-

тания линии. В первый момент указанного режима трехфазного к. з. реле не должно срабатывать «по памяти», так как ток к. з. изменил свое направление на 180°, в последующие моменты времени, когда действие «по памяти» прекратится, реле не должно также срабатывать, хотя «аварийный» режим еще продолжается. Этой проверкой оценивается отстройка защиты от влияния цепей тока на цепи напряжения. Проверка производится при токе, в 1,5 раза превышающем максимальный ток, проходящий через защиту при трехфазном к. з. на шинах подстанции и сдвинутый на угол $180°+\varphi$ по отношению к «доаварийному» напряжению. Реле при этом не должно срабатывать, и на нем при наличии аварийного режима (рубильник P_4 включен) должен ощущаться момент на размыкание контактов под действием противодействующей пружины реле.

Проверка поведения реле при близких трехфазных к. з. «за спиной» в тупиковом режиме работы линии. Данная проверка отличается от предыдущей тем, что она имитирует трехфазное к. з. за шинами подстанции (точка *К4* на рис. 27, но у самых шин) в тупиковом режиме работы защищаемой линии. При этом во время к. з. в указанном месте через защиту ток протекать не будет, поэтому проверку выполняют без тока с отключенным рубильником P_3, в остальном аналогично предыдущей проверке включением рубильника P_4 снижают напряжение всех трех фаз до нуля. Реле сопротивления при этой проверке не должно срабатывать, этим выявляется правильность протекания переходных электрических процессов в контурах обмоток реле.

Определение потребления цепей тока и напряжения. В реле подают номинальные значения тока (в две фазы *А* и *В*) и напряжения (во все три фазы) и определяют потребление цепей напряжения и тока. Между зажимами цепей тока *А* и *В* измеряют напряжение; взяв половину этого напряжения, получают падение напряжения в одной фазе тока. В каждой фазе цепи напряжения измеряют ток. Умножив фазное напряжение на ток, получают соответствующие величины потребления цепей тока и напряжения реле, значения которых должны соответствовать [Л. 3].

Проверка правильности включения реле сопротивления. Проверка правильности включения реле сопротивления рабочим током и напряжением включает [Л. 5]:

проверку исправности и правильности включения цепей напряжения;

проверку исправности и правильности включения цепей тока;

проверку правильности включения реле.

Для проверки правильности включения у реле сопротивления перемычка *10—8* устанавливается в положение *10—12*, после чего угловая характеристика реле сопротивления превращается в характеристику реле направления мощности, у которого угол максимальной чувствительности практически совпадает с углом максимальной чувствительности реле сопротивления.

Пусть проверяемое реле сопротивления включено на напряжения и токи фаз *A* и *B*.

На рис. 33 показана угловая характеристика реле сопротивления, снятая при установке перемычки в положение *10—12*.

Линия изменения знака момента расположена под углом 90°—$\varphi_{м.ч}$ к напряжению $U_{AB}=U_{р}$. Левая (заштрихованная) сторона от линии изменения знака момента представляет собой зону неработы реле, а правая (незаштрихованная) — зону работы реле [Л. 11].

При расположении вектора первичного тока линии $I_A—I_B=I_р$, на который включено реле сопротивления, в зоне действия, реле должно замыкать контакты.

Так, при направлении активной и реактивной мощности от шин (рис. 33,*а*) реле должно замыкать контакты, при направлении активной и реактивной мощности на шины (рис. 33,*б*) на реле должен усиливаться удерживающий момент. Поскольку увеличение удерживающего момента подвижной системы реле оценить иногда затруднительно, особенно при небольшом токе нагрузки, то целесообразно временно переменить полярность, например, цепей напряжения. Если нормально к зажиму *6* рис. 13, 15 подводится напряжение U_A, а к зажиму *12* — напряжение U_B, то следует включить на зажим *12* напряжение U_A, а на зажим *6* — напряжение $U_в$. При этом зона действия реле изменится, и оно должно четко и надежно замкнуть свои контакты. После этого необходимо вновь восстановить нормальную схему реле.

Закончив проверку под нагрузкой, устанавливают перемычку вновь в положение *10—8* и проверяют наличие большого момента на заклинивание на реле, это свиде-

тельствует о том, что реле имеет снова характеристику срабатывания реле сопротивления, а не реле направления.

В заключение проверки измеряется высокоомным вольтметром (типа тестера) распределение напряжений на элементах контуров рабочей и поляризующей обмоток реле при подведении к панели напряжений всех трех фаз (без тока). При этом отмечается величина линей-

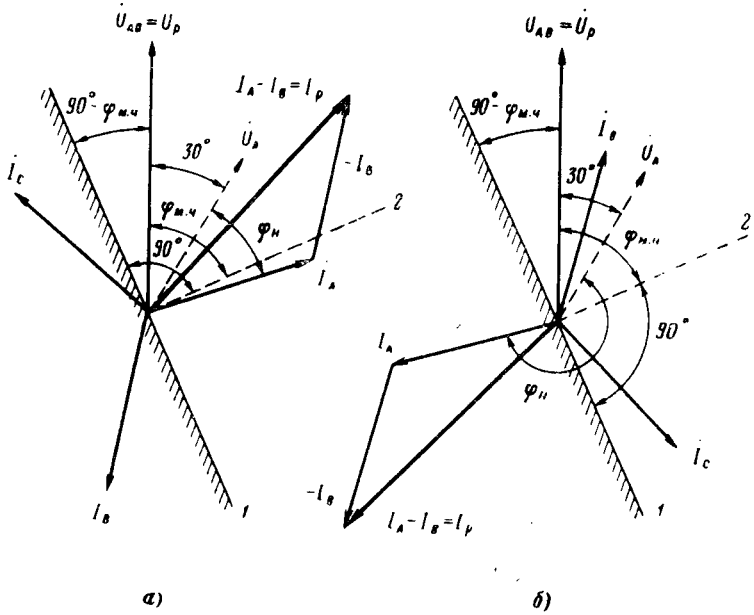

Рис. 33. Проверка реле сопротивления рабочим током и напряжением.

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.

ного напряжения. Замеренные величины напряжений должны соответствовать данным, приведенным в табл. 1 [Л. 4].

Следует замерить прибором ВАФ-85 углы токов в поляризующей и рабочей обмотках реле относительно напряжения $U_р$, подведенного к зажимам 6—12 [Л. 7], при этом ток в защиту не подводится. После этого отключаются цепи напряжения всех трех фаз и подается на панель ток фазы *А*, производится измерение фазы

Таблица 1

Электрические параметры элементов обмоток реле сопротивления КРС-131 и КРС-132 при подведении к реле напряжения $U_р = 100$ *в* и уставке на автотрансформаторе *Ти* 90% [Л. 4]

Цель реле	Наименование элементов	Наименование параметра и единица измерения	$r_э$ отключено	$r_э$ включено
Рабочая обмотка	Выходная цепь автотрансформатора *Ти* (зажимы *12—8*)	Напряжение, *в*	90	90
			59	53
	Рабочая обмотка (зажимы *5—7*)	Напряжение, *в*		
		Ток, *ма*	250	270
		Угол сдвига β относительно $U_р$, *град*	90 (индуктивность)	83 (индуктивность)
	Сопротивление r_1 (зажимы *7—10*)	Напряжение, *в*	30	27
	Обмотка трансреактора (зажимы *5—12*, КРС-131, *5—18*, КРС-132)	То же	53	41
	Обмотка трансреактора и r_3 (КРС-132 зажимы *5—12*)	» »	61	54
	Конденсатор *С*1 (зажимы *5—10*)	» »	74	67
	Сопротивление r_3 (зажимы *12—18*, КРС-132, *8—18* (*19*), КРС-131)	» »	26	24
	Полная схема контура (зажимы *8—10*)	Ток, *ма*	265	240
		Сопротнвление, *ом*	340	370
		Угол сопротивления, *град*	4 (индуктивность)	(2 емкость)
Поляризующая обмотка	Поляризующая обмотка (зажимы *4—12*)	Напряжение, *в*	170	
	Конденсатор *С*2 зажимы *4—20*, КРС-131, *4—19*, КРС-132)	Ток, *ма*	140	
		Напряженне, *в*	450	
	Дроссель *Д* (зажимы *6—20*, КРС-131, *10—19*, КРС-132)	То же	285	
	Дроссель и конденсатор (зажимы *4—6*)	» »	165	
	Полная схема контура (зажимы *6—12*, автотрансформатор *Ти* отключен)	Сопротивление, *ом*	700	
		Угол сопротнвления α, *град*	5 (емкость)	

тока в цепи рабочей обмотки относительно тока фазы *А*, подключенной к зажиму *16* реле. При проверке реле от постороннего источника фаза тока в цепи рабочей обмотки замеряется относительно тока, подводимого к зажимам *16—14* реле.

Полученные значения углов должны соответствовать векторной диаграмме реле (рис. 26).

Произведенные замеры напряжений и углов могут оказаться полезными в том случае, если в последующих проверках выявится какая-либо неисправность реле, тогда, произведя вновь замеры и сравнив их между собой, будет легче отыскать эту неисправность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев А. М., Основы релейной защиты, Госэнергоиздат, 1961.
2. Чериобровов Н. В., Релейная защита, изд-во «Энергия», 1967.
3. Справочник по релейной защите, под ред. М. А. Берковича, Госэнергоиздат, 1963.
4. Руководящие указания по наладке, проверке и эксплуатации дистанционной защиты типа ПЗ-157, Госэнергоиздат, 1957.
5. Инструкция по наладке, проверке и эксплуатации дистанционных защит типов ПЗ-157 и ПЗ-158, Госэнергоиздат, 1963.
6. Гаевенко Ю. А., Новые типы дистанционных защит, Госэнергоиздат, 1955.
7. Опыт эксплуатации электрохозяйства Ленэнерго, изд-во «Энергия», 1964.
8. Гирный И. В., Электрическое торможение подвижной контактной системы реле типа КРС-131, КРС-132, «Электрические станции», 1966, № 8.
9. Инструкция по проверке и наладке дистанционной защиты типа ПЗ-156А, Дом энергетики Мосэнерго, 1955.
10. Елфимов В. М., Реле направления мощности, изд-во «Энергия», 1966.
11. Инструкция по проверке правильности включения реле направления мощности, изд-во «Энергия», 1966.
12. Елфимов В. М., Векторные диаграммы в релейной защите, изд-во «Энергия», 1967.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Назначение и область применения реле сопротивления типов КРС-131, КРС-132 3

2. Устройство и принцип действия реле сопротивления КРС-131, КРС-132 33

3. Наладка, регулировка и проверка реле сопротивления КРС-131 и КРС-132 66

Литература 96

Цена 20 коп.