РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Высокочастотная блокировка дистанционной и токовой направленной нулевой последовательности защит линий 110-220 кВ

10

«ЭНЕРГИЯ»

gost.e-ecolog.ru

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

ВЫПУСК 10

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ БЛОКИРОВКА ДИСТАНЦИОННОЙ И ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТ ЛИНИЙ 110—220 кВ

(СОСТАВЛЕНО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ ВСЕСОЮЗНЫМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИМ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ИНСТИТУТОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР)

«ЭНЕРГИЯ»
Москва 1975

6П2.13
Р 85
УДК 621.316.925(083.133)

Руководящие указания по релейной защите.
Р 85 Выпуск 10. Высокочастотная блокировка дистанционной и токовой направленной нулевой последовательности защит линий 110—220 кВ. М., «Энергия», 1975.

76 с. с ил.

В данном выпуске приведены схемы релейной части полукомплектов высокочастотной блокировки дистанционной и токовой направленной нулевой последовательности защит линий 110—220 кВ как без ответвлений, так и с ответвлениями. Приведены методы расчета параметров срабатывания пусковых органов высокочастотной блокировки для линий без ответвлений и с ответвлениями. Даны примеры выбора параметров срабатывания пусковых органов высокочастотной блокировки. Схемы релейной части полукомплектов высокочастотной блокировки составлены с учетом выпускаемых в настоящее время типовых панелей защит линий 110—220 кВ.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников проектных и эксплуатационных организаций, занятых вопросами релейной защиты энергосистем.

Р $\frac{30311-413}{051(01)\cdot75}$ 99-75 6П2.13

© Издательство «Энергия», 1975 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный выпуск Руководящих указаний по релейной защите подготовлен институтом «Энергосетьпроект» и утвержден Главтехстройпроектом и Главтехуправлением Министерства энергетики и электрификации СССР.

Настоящие Руководящие указания соответствуют разд. III «Защита и автоматика» ПУЭ издания 1966 г. и директивным материалам. Однако не исключена возможность временных расхождений между Руководящими указаниями и этими документами, которые будут изданы в дальнейшем. В таких случаях обязательными являются ПУЭ и директивные материалы.

Руководящие указания являются рекомендуемым материалом, которому должны следовать как проектные, так и эксплуатационные организации с целью максимального применения типовых решений, удешевления и ускорения строительства электроустановок, внедрения в эксплуатацию наиболее совершенных и проверенных опытом решений. Отступления от соответствующих решений, приведенных в Руководящих указаниях, допускаются в случаях, когда это обосновано конкретными местными условиями, а также для ранее запроектированных, монтируемых или действующих устройств, если эти отступления не ведут к серьезным недостаткам и не противоречат принципиальному направлению Руководящих указаний.

В выпуске учтены директивные материалы Главтехуправления Министерства энергетики и электрификации СССР (зам. начальника Ф. И. Синьчугов), а также отзывы энергетических систем и проектных организаций.

Данный выпуск Руководящих указаний разработан институтом «Энергосетьпроект» (зам. гл. инженера Ю. С. Борисов) — сектором типовых работ отдела релейной защиты, автоматики, устойчивости и моделирования (нач. отдела З. И. Якушкина): нач. сектора В. А. Рубинчиком и гл. инженерами проекта Т. Н. Дородновой, А. Н. Кожиным и Э. М. Смирновым под общим руководством А. М. Федосеева. В процессе разработки в выпуске принимали участие гл. инженер проекта М. М. Богина и инженер Н. В. Вавин. Первоначальные редакции работы составлялись под непосредственным руководством А. Б. Чернина. Приложение VII составлено с использованием материалов Г. В. Бердова (Южное отделение института «Энергосетьпроект»).

При разработке данного выпуска Руководящих указаний в обсуждении и принятии решений по отдельным вопросам в ОРЗАУМ института «Энергосетьпроект» принимали участие сотрудники отдела: начальник ЦНИЛРЗА В. М. Ермоленко, гл. инженеры проекта С. Я. Петров, В. Н. Красева, Т. В. Смирнова и В. Л. Карцев.

Полезные предложения, рекомендации и соображения по данному выпуску дали работники ряда организаций: И. Р. Таубес (Тулэнерго), В. П. Гуз (Киевский ОКП института «Энергосетьпроект»), К. П. Махова (Кузбассэнерго), В. И. Дорофеев (Днепроэнерго), В. Д. Панин и Ф. Ф. Дерюгин (Челябэнерго), С. А. Захаров (Ленэнерго), К. М. Добродеев (Горьковское отделение института «Энергосетьпроект»), Е. Д. Зейлидзон (Главтехуправление Минэнерго СССР).

Глава первая

СХЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЧАСТИ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

В данной главе рассматриваются принципы выполнения и типовые схемы релейной части полукомплектов высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности линий 110—220 кВ.

На рис. 1 приведена схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для питающего конца линии 110—220 кВ, выполненного с использованием типовой панели типа ЭПЗ-1643-69 и предназначенного для установки на конце линии, со стороны которого во всех режимах работы системы имеется питание, достаточное для действия защиты.

На рис. 2 и 3 приведены схемы релейной части полукомплектов высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для конца линии 110—220 кВ с ответвлениями, со стороны которого отсутствует питание.

На рис. 4 приведена схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для питающего конца линии 110—220 кВ, питание со стороны которого в некоторых режимах может быть либо отключено, либо недостаточно для обеспечения требуемой чувствительности защиты при повреждениях на защищаемой линии.

Схемы в. ч. блокировки по рис. 1 и 4 даны для случая совместного использования каждой из них с панелью типа ЭПЗ-1636-67 (рис. П-12), содержащей:

а) трехступенчатую дистанционную защиту от всех видов многофазных коротких замыканий;

б) четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности от замыканий на землю;

в) токовую отсечку от многофазных коротких замыканий.

Схемы в. ч. блокировки по рис. 1 и 4 могут быть использованы совместно с другими панелями, содержащими аналогичные защиты.

А. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

1. Высокочастотная блокировка дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности линий 110—220 кВ применяется для исключения выдержки времени этих защит при коротких замыканиях на защищаемой линии в случаях, когда для сохранения устойчивости системы необходимо отключение повреждений на всем протяжении защищаемой линии без замедления, а применение других типов быстродействующих защит линий (продольной дифференциальной, дифференциально-фазной высокочастотной и др.) невозможно или менее целесообразно.

Рассматриваемое комплексное выполнение основной и резервной защит, когда отдельная резервная защита отсутствует, а ряд реле и цепей схемы в. ч. блокировки и ступенчатых защит от многофазных замыканий и от замыканий на землю являются общими, в некоторых случаях может оказаться предпочтительнее установка отдельных основной и резервной защит, так как:

а) является более простым (не требуется установка отдельной сложной основной защиты);

б) позволяет несколько проще решать вопросы защиты в процессе развития сети и при ее реконструкции.

Для линий с числом концов более двух (линий с ответвлениями), в особенности при приключении к линии сравнительно маломощных подстанций без питания со стороны пониженных напряжений, рассматриваемое выполнение защиты часто оказывается предпочтительнее установки отдельной высокочастотной защиты по условию простоты выполнения.

Кроме того, на линиях с ответвлениями при наличии питания более чем с двух концов данная защита может оказаться предпочтительнее дифференциально-фазной высокочастотной защиты по условиям чувствительности. Указанное объясняется тем, что последняя для предотвращения излишнего срабатывания при внешних коротких замыканиях требует значительного дополнительного загрубления.

На линиях с большим уровнем естественной несимметрии (например, питающих электротягу на переменном токе) применение дифференциально-фазной в. ч. защиты с пусковыми органами тока обратной последовательности может оказаться менее предпочтительным по условию чувствительности, чем рассматриваемой дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности с в. ч. блокировкой.

2. При выборе типа в. ч. защиты необходимо также учитывать, что рассматриваемая защита по сравнению с дифференциально-фазной в. ч. защитой с пуском по току (например, типа ДФЗ-2) имеет следующие основные недостатки:

а) защита может излишне срабатывать в неполнофазных режимах; в связи с этим использование ее в сочетании с устройством ОАПВ менее целесообразно, чем дифференциально-фазной в. ч. защиты; для предотвращения возможного излишнего срабатывания защиты при

кратковременных неполнофазных режимах, возникающих при включении выключателей, в схемах в. ч. блокировки предусматриваются дополнительные цепи, снижающие надежность защиты и усложняющие эксплуатацию;

б) защита принципиально может излишне срабатывать при качаниях и асинхронном ходе; в связи с этим она обязательно должна выполняться в сочетании с устройством блокировки при качаниях.

Кроме того, в отличие от случая применения отдельно устанавливаемых основной и резервной защит при применении данной защиты следует учитывать невозможность осуществления полноценного ближнего резервирования и вывода защиты из действия для ревизии при оставлении в работе линии.

Следует учитывать также ряд недостатков, присущих наиболее широко распространенному выполнению защиты с. в. ч. блокировкой (схема по рис. 1):

а) необходимость выведения из действия первой ступени дистанционной защиты при использовании для действия на отключение по цепи в. ч. блокировки второй ступени дистанционной защиты; указанное связано с выполнением дистанционной защиты с общим дистанционным органом первой и второй ступеней (подробнее см. ниже п. 7);

б) затруднения в согласовании по чувствительности пусковых органов, действующих на пуск в. ч. передатчика и на отключение (при отсутствии дистанционного пуска в. ч. передатчиков); указанное связано с использованием для пуска в. ч. передатчика и для отключения органов, реагирующих на разные электрические величины (устройство блокировки при качаниях и реле сопротивления соответственно);

в) несколько увеличенное время действия защиты по сравнению, например, с дифференциально-фазной в. ч. защитой; указанный недостаток связан в основном с наличием промежуточных реле, размножающих контакты реле сопротивления дистанционной защиты.

3. В соответствии с указанным выше дистанционная защита и токовая направленная защита нулевой последовательности с в. ч. блокировкой может применяться для менее ответственных линий 110—220 кВ, для которых считается допустимым отсутствие полноценного ближнего резервирования (например, при удовлетворительном дальнем резервировании) и несколько увеличенное время действия. Следует учитывать также, что для линий с ответвлениями применение рассматриваемого выполнения защиты может быть более целесообразным, чем отдельной в. ч. защиты, если при этом окажется возможным выполнить защиту более чувствительной либо значительно более простой.

4. Дистанционную защиту и токовую направленную защиту нулевой последовательности с в. ч. блокировкой можно рассматривать как разновидность направленной в. ч. защиты. Излишние срабатывания ее при внешнем коротком замыкании предотвращаются посылкой блокирующего в. ч. сигнала передатчиком того конца линии, где мощность короткого замыкания направлена к шинам. При коротком замыкании на защищаемой линии защита действует (без выдержки времени) в связи с тем, что отсутствует блокирующий в. ч. сигнал.

Схема в. ч. блокировки содержит следующие пусковые органы:

орган пуска в. ч. передатчика;

орган остановки в. ч. передатчика;

отключающий орган.

В зависимости от выполнения защиты ее полукомплект может содержать как все три типа пусковых органов, так и только некоторые из них.

5. В настоящем выпуске Руководящих указаний приведены два типа схем релейной части полукомплекта в. ч. блокировки:

а) с органом пуска в. ч. передатчика, действующим независимо от направления мощности короткого замыкания (ненаправленный пуск в. ч. передатчика) — схема по рис. 1;

б) с органом пуска в. ч. передатчика, действующим при направлении мощности короткого замыкания к шинам (направленный пуск в. ч. передатчика) — схемы по рис. 2—4.

Для осуществления направленного пуска в. ч. передатчика, как правило, требуется специально устанавливать относительно сложные реле, в то время как для ненаправленного пуска в. ч. передатчика могут быть использованы простые реле, а также устройства, выполняющие одновременно и другие функции.

Органы пуска в. ч. передатчика выполнены:

в схеме по рис. 1 с использованием устройства блокировки при качаниях дистанционной защиты и реле тока нулевой последовательности;

в схемах по рис. 2—4 с использованием направленных реле сопротивления и реле направления мощности нулевой или обратной последовательности.

В качестве отключающих органов защиты могут использоваться как отдельно устанавливаемые реле, так и измерительные органы резервной защиты, действующие без в. ч. блокировки с выдержкой времени. В последнем случае практически осуществляется ускорение указанной защиты с помощью в. ч. блокировки. Этот способ используется, как правило, для дистанционной защиты от многофазных коротких замыканий.

При применении схемы по рис. 1 орган остановки в. ч. передатчика (являющийся также отключающим) выполняется с использованием:

направленных реле сопротивления дистанционной защиты (например, второй или третьей ступени) для действия при междуфазных коротких замыканиях;

реле направления мощности ступенчатой токовой направленной защиты нулевой последовательности, а также специально предусмотренных реле тока и напряжения нулевой последовательности для действия при замыканиях на землю.

В схеме по рис. 4 в качестве отключающих органов используются направленные реле сопротивления дистанционной защиты, а также реле направления мощности ступенчатой токовой направленной защиты нулевой последовательности и специально предусмотренные реле тока и напряжения нулевой последовательности.

Полукомплекты защиты, выполненные по схемам рис. 2 и 3, являются блокирующими и предназначены для установки на конце линии без питания. В рассматриваемых полукомплектах предусмотрены только органы пуска в. ч. передатчика и отсутствуют органы отключения или остановки в. ч. передатчика, поскольку в них нет необходимости.

6. В схеме по рис. 1 предусмотрена возможность осуществления дистанционного пуска в. ч. передатчика. При использовании последнего в случае срабатывания органа пуска в. ч. передатчика на одном из концов линии осуществляется дистанционый (по в. ч. каналу) пуск в. ч. передатчиков на других концах линии. Это позволяет не производить согласования по чувствительности органов пуска и остановки в. ч. передатчика разных концов линии, что в свою очередь дает возможность повысить чувствительность защиты и упростить расчеты (подробнее — см. п. 12 описания схемы по рис. 1).

7. С помощью в. ч. блокировки могут ускоряться следующие ступени дистанционной защиты от многофазных коротких замыканий:

а) вторая ступень трехступенчатой защиты;

б) вторая ступень двухступенчатой защиты при выполнении первой ступени без выдержки времени;

в) третья ступень трехступенчатой защиты;

г) первая ступень двух- или трехступенчатой защиты при выполнении этой ступени с выдержкой времени.

При использовании способов по пп. «а», «б» для дистанционной защиты, имеющей общий дистанционный орган первой и второй ступени, первая ступень защиты при введенной в. ч. блокировке выводится из действия, поскольку с целью исключения замедления действия защиты, определяемого временем переключения дистан-

ционных органов с уставки первой ступени на уставку второй ступени, требуется постоянное включение этих органов на уставку второй ступени. При этом в случае отказа защиты с в. ч. блокировкой повреждение в зоне действия первой ступени дистанционной защиты будет отключено с выдержкой времени второй ступени, а при трехфазных повреждениях в мертвой зоне направленных реле сопротивления — лишь действием резервных защит смежных элементов (при отсутствии на данном конце линии токовой отсечки от многофазных коротких замыканий). Последнее возможно вследствие того, что время замкнутого состояния контактов реле сопротивления при их работе «по памяти» недостаточно для действия защиты с выдержкой времени.

Вывод из работы первой ступени дистанционной защиты может оказаться недопустимым в случаях, когда при коротком замыкании в зоне действия этой ступени защиты, установленной на одном из концов линии, на другом конце (в случае использования со стороны последнего ненаправленного пуска в. ч. передатчика) чувствительность органа остановки в. ч. передатчика обеспечивается лишь после отключения линии с противоположного конца. При выводе из действия указанной первой ступени защиты в рассматриваемом случае имел бы место отказ защиты с в. ч. блокировкой на всех остальных концах линии.

Способ по п. «в» имеет недостаток, заключающийся в необходимости в ряде случаев загрубления третьей ступени дистанционной защиты для выполнения условия ее согласования по чувствительности с органами пуска в. ч. передатчиков на других концах линии при отсутствии дистанционного пуска; указанное может привести к нежелательному или недопустимому ухудшению дальнего резервирования.

Кроме того, на линиях с ответвлениями при использовании способа по п. «в» в некоторых случаях может потребоваться усложнение защиты по сравнению со случаем использования способа по п. «а». Это может иметь место в случаях, когда при отстройке третьей ступени защиты, ускоряемой с помощью в. ч. блокировки, от короткого замыкания за трансформатором на одном из концов линии эта ступень не будет удовлетворять требованиям чувствительности, а для обеспечения чувствительности потребуется установить на указанном конце блокирующий полукомплект защиты.

Ускорение с помощью в. ч. блокировки первой ступени с выдержкой времени дистанционной защиты (п. «г») не приводит к ухудшению характеристик этой защиты.

Следует отметить, что в настоящее время наибольшее распространение получило использование в сочетании с в. ч. блокировкой трехступенчатой дистанционной защиты (выполненной, например, с помощью комплектных устройств ДЗ-2 и КРС-1, устанавливаемых на типовых панелях ЭПЗ-1636-67 либо ПЗ-2, или с помощью типовых панелей защиты типа ПЗ-159).

При этом, учитывая указанные выше недостатки способов по пп. «а» и «в», в случае выполнения первой ступени защиты без выдержки времени следует стремиться в первую очередь ускорять с помощью в. ч. блокировки третью ступень дистанционной защиты в сочетании с дистанционным пуском в. ч. передатчика, если последнее позволяет обеспечить повышение чувствительности третьей ступени защиты или упрощение расчетов. При отсутствии дистанционного пуска, если ускорение третьей ступени приводит к неприемлемому ухудшению ее чувствительности, а также в случае применения защиты на линиях с ответвлениями, когда для исключения излишнего срабатывания защиты с в. ч. блокировкой при коротких замыканиях за трансформатором конца без питания требуется неприемлемое загрубление или усложнение защиты, должен рассматриваться вопрос о возможности ускорения с помощью в. ч. блокировки второй ступени дистанционной защиты.

При выполнении первой ступени дистанционной защиты с выдержкой времени эту ступень, как правило, следует ускорять с помощью в. ч. блокировки.

8. При применении полукомплекта с ненаправленным пуском в. ч. передатчика (рис. 1) необходимо учитывать следующие его особенности.

а) При установке данного полукомплекта на конце линии, питание со стороны которого может быть отключено, возможен отказ защиты с в. ч. блокировкой при междуфазном коротком замыкании на защищаемой линии в указанном режиме вследствие посылки в линию блокирующего в. ч. сигнала с этой стороны. Последнее может иметь место, поскольку в. ч. передатчик на данном конце линии, пущенный, например, при срабатывании устройства блокировки при качаниях от тока обратной последовательности нагрузки либо от напряжения обратной последовательности, не будет остановлен, так как дистанционная защита не подействует. Отказ защиты по аналогичной причине будет также иметь место в случае замыкания на землю на защищаемой линии при разземленных нейтралях трансформаторов со стороны данного конца линии. В рассматриваемых случаях поврежденная линия будет отключаться со стороны, где имеется питание, дистанционной защитой или ступенчатой токовой защитой нулевой последовательности.

б) По принципу действия защита не может работать каскадно, т. е. если орган остановки в. ч. передатчика данного полукомплекта не срабатывает при повреждении на защищаемой линии, то передатчик данного конца, не будучи остановленным, будет продолжать посылать блокирующий в. ч. сигнал, в результате чего откажут в действии и полукомплекты защит с в. ч. блокировкой, установленные на других концах линии.

В связи с указанным схемы с ненаправленным пуском в. ч. передатчика (рис. 1) могут устанавливаться на тех концах линии, со стороны которых во всех режимах имеется питание и обеспечивается достаточная чувствительность органов защиты, действующих на остановку в. ч. передатчика.

В случаях, если питание с данного конца линии может быть отключено или если органы остановки в. ч. передатчика полукомплекта защиты, установленного на данном конце линии, не удовлетворяют требованиям чувствительности в режиме до отключения повреждения с других сторон, на этом конце может оказаться целесообразным установить полукомплект защиты с направленным пуском в. ч. передатчика (выполненный, например, по схеме рис. 4). При этом действие защиты с в. ч. блокировкой на других концах линии при коротких замыканиях на защищаемой линии обеспечивается независимо от того, сработали или нет отключающие органы полукомплекта в. ч. блокировки на рассматриваемом конце линии.

Необходимо учитывать, что схемы с направленным пуском в. ч. передатчика значительно сложнее схем с ненаправленным пуском, поэтому их применение на концах с питанием может быть оправдано только в случаях, когда при использовании последних не может быть выполнена удовлетворительная защита.

9. При применении схем с направленным пуском в. ч. передатчика, в которых для пуска при многофазных коротких замыканиях используются направленные реле сопротивления, следует учитывать особенности согласования по чувствительности реле сопротивления при замыканиях между двумя фазами на стороне соединенной в треугольник обмотки трансформатора (автотрансформатора), на которой установлен полукомплект с направленным пуском в. ч. передатчика. Как показано в приложении IV, при замыкании между двумя фазами за трансформатором с соединением обмоток звезда — треугольник условия чувствительности реле сопротивления, включенных на междуфазные напряжения и разности фазных токов на стороне обмотки, соединенной в звезду, ухудшаются по мере приближения реле к месту

короткого замыкания. Это затрудняет, а в ряде случаев делает невозможным согласование по чувствительности при указанных повреждениях реле сопротивления, используемых в отключающих органах, с реле сопротивления, используемыми в органах пуска в. ч. передатчика.

При выборе способа выполнения направленного пуска при многофазных коротких замыканиях по условию обеспечения возможности согласования по чувствительности отключающих органов с органами пуска в. ч. передатчика в рассматриваемых случаях необходимо учитывать следующее:

а) При наличии на данном конце линии двухобмоточного трансформатора с соединением обмоток звезда—треугольник и отсутствии других линий того же напряжения (например, схема блока линия—трансформатор) для пуска в. ч. передатчика целесообразно использовать три однофазных направленных реле сопротивления, включенных на междуфазные напряжения и разности фазных токов на стороне обмотки, соединенной в треугольник.

б) При наличии на данном конце линии трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора в случаях, когда отключающие органы на противоположных концах линии не отстроены от повреждений на стороне его обмотки, соединенной в треугольник, пуск в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях принципиально может выполняться по одному из следующих вариантов:

с помощью трех однофазных направленных реле сопротивления при условии, если оказывается возможным обеспечить согласование по чувствительности с указанными реле отключающих органов, установленных на противоположных концах линии (схемы по рис. 2 и 4);

с помощью реле направления мощности обратной последовательности в сочетании с одним однофазным направленным реле сопротивления (схема по рис. 3);

с помощью многофазного направленного реле сопротивления, действующего при всех видах несимметричных многофазных коротких замыканий, в сочетании с одним однофазным направленным реле сопротивления, предназначенным для действия при симметричных трехфазных коротких замыканиях;

с помощью трех однофазных направленных реле сопротивления, включенных на трансформаторы тока и трансформаторы напряжения стороны высшего (или среднего) напряжения, и трех однофазных направленных реле сопротивления, включенных на трансформаторы тока и трансформаторы напряжения стороны обмотки низшего напряжения (соединенной в треугольник).

в) При наличии на данном конце линии трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора в случаях, когда отключающие органы на противоположных концах линии отстроены от повреждений на стороне его обмотки, соединенной в треугольник, для пуска в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях могут быть использованы три однофазных направленных реле сопротивления (схемы по рис. 2 и 4).

10. Цепи напряжения реле сопротивления, используемых для направленного пуска в. ч. передатчика, на конце линии с трехобмоточным автотрансформатором или трансформатором (рис. 2 и 3) наиболее желательно питать от трансформаторов напряжения, установленных со стороны высшего напряжения, поскольку при этом облегчаются условия согласования по чувствительности пусковых органов полукомплектов на противоположных питающих подстанциях и полукомплекта на данной подстанции (см. приложение IV). При отсутствии указанных трансформаторов напряжения для рассматриваемой цели должны использоваться трансформаторы напряжения, присоединенные непосредственно к выводам низшего напряжения автотрансформатора (трансформатора).

Питание цепей тока реле сопротивления осуществляется от трансформаторов тока, встроенных во втулки стороны высшего напряжения автотрансформатора (трансформатора).

Схемы по рис. 2 и 3 даны для случая отсутствия трансформаторов напряжения на стороне высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора). К реле сопротивления в схеме по рис. 2 подводятся разность фазных токов стороны высшего напряжения и фазные напряжения относительно нулевой точки системы стороны низшего напряжения, что соответствует междуфазным напряжениям стороны высшего напряжения.

В схеме по рис. 3 реле сопротивления включено на разность фазных токов трансформаторов тока стороны высшего напряжения и одноименное междуфазное напряжение трансформатора напряжения, присоединенного непосредственно со стороны вывода низшего напряжения.

Характеристика срабатывания реле сопротивления в схемах по рис. 2 и 3 должна быть направлена в сторону внешних повреждений (за трансформатором или автотрансформатором данной подстанции), а в схеме по рис. 2 иметь смещение относительно начала координат, которое не должно превышать сопротивления стороны высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора); указанное ограничение смещения необходимо для предотвращения пуска в. ч. передатчика при коротких замыканиях на защищаемой линии.

Использование трансформатора напряжения стороны среднего напряжения допустимо в случаях, когда обеспечивается достаточно быстрое выведение из действия защиты дежурным персоналом при отключении выключателя стороны среднего напряжения автотрансформатора (трансформатора). При невыполнении указанного возможен отказ защиты при повреждении на защищаемой линии в случаях, когда на шинах среднего напряжения отсутствует напряжение и реле сопротивления срабатывают от тока нагрузки. При использовании трансформаторов напряжения стороны среднего напряжения реле сопротивления включаются на междуфазные напряжения. Как и в случае использования трансформаторов напряжения стороны низшего напряжения, при использовании трансформаторов напряжения стороны среднего напряжения характеристика реле сопротивления также должна иметь смещение относительно начала координат.

Когда возможно отстроить отключающие органы полукомплектов, установленных на питающих подстанциях, от коротких замыканий за автотрансформатором (трансформатором) в сети низшего напряжения данной подстанции, для полукомплекта, устанавливаемого на этой подстанции, допустимо использовать трансформаторы тока стороны среднего напряжения автотрансформатора (трансформатора). Однако при этом следует дополнительно учитывать необходимость отстройки отключающих органов полукомплектов питающих концов линии от бросков тока намагничивания автотрансформатора (трансформатора). В рассматриваемом случае целесообразно выполнить питание цепей напряжения реле сопротивления от трансформаторов напряжения, установленных на шинах среднего напряжения, поскольку при использовании трансформаторов тока стороны среднего напряжения исключается возможность длительного срабатывания реле сопротивления данного полукомплекта при отключении выключателя на стороне среднего напряжения автотрансформатора.

11. При каскадном отключении внешнего короткого замыкания в условиях, когда происходит изменение направления мощности по защищаемой линии, принципиально могло бы иметь место излишнее срабатывание дистанционной защиты с в. ч. блокировкой вследствие невозврата реле сопротивления. Указанный вопрос рассмотрен в приложении I, в котором показано, что излишнее срабатывание в практических случаях невозможно.

12. Как указано выше (п. 2), рассматриваемая защита может излишне срабатывать в кратковременном неполнофазном режиме, вызванном неодновременностью замыкания фаз выключателя при его включении. Для предотвращения указанного излишнего срабатывания должны предусматриваться специальные мероприятия. При этом необходимо учитывать следующие случаи.

а) Защита, установленная на конце линии, включаемом первым, может излишне срабатывать на отключение:

при установке трансформаторов напряжения на шинах — под влиянием токов нагрузки подстанций, приключенных к линии, или емкостных токов линии;

при установке трансформаторов напряжения на линии — под влиянием емкостных токов линии;

б) При включении второго или следующих выключателей линии возможно излишнее срабатывание защиты под влиянием токов нагрузки или качаний, если трансформаторы напряжения на включаемом конце установлены на шинах.

В обоих случаях (пп. «а», «б»), если защита не может быть отстроена от указанного режима по току или время ее действия не перекрывает с достаточным запасом возможную разновременность включения фаз выключателя (например, при масляных выключателях с пофазным приводом), для предотвращения излишнего срабатывания необходимо:

в схемах с ненаправленным пуском в. ч. передатчика (рис. 1) размыкать при включении выключателя цепь, подготавливающую остановку в. ч. передатчика при замыканиях на землю с помощью размыкающего контакта реле ускорения защиты при включении выключателя либо его повторителя;

в схемах с направленным пуском в. ч. передатчика (рис. 4) осуществлять пуск в. ч. передатчика при включении выключателя;

в) При установке трансформаторов напряжения на линии защита с направленным пуском в. ч. передатчика (рис. 4) на включаемом конце может значительно увеличить время действия при включении выключателя на короткое замыкание, поскольку при неодновременном включении фаз выключателя может произойти пуск в. ч. передатчика; увеличение времени действия нежелательно, поэтому в рассматриваемом режиме цепи защиты, осуществляющие пуск в. ч. передатчика при замыканиях на землю, должны быть заблокированы.

13 Приведенные в данном выпуске Руководящих указаний схемы даны:

рис. 1 — для случая установки в цепи линии двух выключателей (может быть использована при установке одного выключателя);

рис. 2 и 3 — для схемы соединений «блок автотрансформатор (трансформатор) — линия»;

рис. 4 — для случая установки в цепи линии одного выключателя.

14. Схемы по рис. 1 и 4 даны для случая установки масляных выключателей. При этом с целью повышения надежности цепей отключения при действии защиты предусмотрено удерживание отключающего сигнала с помощью удерживающих обмоток выходного промежуточного реле. При установке воздушного выключателя удерживающие обмотки выходных промежуточных реле должны быть исключены из схемы для предотвращения возможного повреждения отключающей катушки при отказе в отключении одной из фаз выключателя.

15. Схемы по рис. 1 и 4 даны для случая установки на подстанции устройства резервирования при отказе выключателей (УРОВ). Пуск УРОВ осуществляется одним из контактов выходного промежуточного реле. Для обеспечения надежного замыкания цепи на пуск УРОВ в схемах предусмотрено шунтирование контакта устройства блокировки при качаниях контактом выходного промежуточного реле, а также и другие меры (подробнее — см. п. 13 описания схемы по рис. 1). В обеих схемах предусмотрена остановка в. ч. передатчика при действии УРОВ.

16. В схемах по рис. 2 и 3 в связи с их использованием для подстанции с короткозамыкателем и отделителем со стороны высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) предусмотрена остановка в. ч. передатчика при действии защиты от внутренних повреждений трансформатора (автотрансформатора), а также при действии реле тока блокировки отключения отделителя, установленного в цепи короткозамыкателя (подробнее — см. п. 7 описания схемы по рис. 2).

17. В схемах рис. 1—4 предусмотрены указательные реле, предназначенные для сигнализации: действия защиты на отключение выключателя, работы приемника и вызова персонала для проверки в. ч. канала, неисправности цепей накала ламп приемопередатчика, неисправности цепей напряжения защиты, действия защиты при замыканиях на землю.

18. Для введения в действие и выведения из действия в. ч. блокировки в схемах по рис. 1—4 предусмотрен переключатель. Для выведения из действия цепей отключения, а также некоторых других цепей в рассматриваемых схемах предусмотрены накладки.

19. Схемы по рис. 1—4 даны для напряжения оперативного постоянного тока 220 В.

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

1. На линиях с ответвлениями без питания со стороны ее некоторых концов рассматриваемая защита может быть выполнена с использованием полукомплектов в. ч. блокировки, устанавливаемых только на питающих концах, либо с использованием полукомплектов, устанавливаемых как на питающих концах, так и на некоторых концах без питания. В последнем случае на питающих концах устанавливаются полукомплекты, выполненные, например, по схемам рис. 1 или 4, а на концах без питания — блокирующие полукомплекты, например, по схемам рис. 2 или 3.

2. При отсутствии полукомплектов в. ч. блокировки на некоторых концах линии реле, используемые в качестве отключающих органов защиты с в. ч. блокировкой в полукомплектах противоположных концов, должны быть отстроены от коротких замыканий за трансформаторами (автотрансформаторами) концов линии, на которых не установлены полукомплекты защиты.

3. Возможность осуществления защиты с установкой на концах без питания блокирующих полукомплектов рассматривается в случаях, когда при отстройке от коротких замыканий за трансформаторами (автотрансформаторами) концов линии без питания защита с в. ч. блокировкой не удовлетворяет требованиям чувствительности.

Следует отметить, что при применении дистанционной защиты с в. ч. блокировкой выполнение защиты без установки блокирующего полукомплекта на конце без питания (т. е. с отстройкой от коротких замыканий за трансформатором этого конца) возможно по условию чувствительности при междуфазных коротких замыканиях на защищаемой линии при бóльших мощностях трансформаторов концов без питания или при бóльших длинах линий, чем при применении в. ч. защит других типов (например, дифференциально-фазной высокочастотной без дополнительных пусковых органов сопротивления). Данный вариант защиты также является значительно более простым по сравнению с вариантом применения дифференциально-фазной в. ч. защиты, в которой для отстройки от коротких замыканий за трансформатором используются дополнительные пусковые органы сопротивления.

4. Схема по рис. 2 дана для случая, когда отключающие органы полукомплектов защиты с в. ч. блокировкой, установленных на противоположных питающих концах линии, отстроены от коротких замыканий на стороне низшего напряжения автотрансформатора и не отстроены от коротких замыканий на стороне среднего напряжения автотрансформатора. Схема может быть также применена в случаях, когда указанные отключающие органы не отстроены от короткого замыкания на стороне низшего напряжения автотрансформатора, но могут быть согласованы по чувствительности при рассматриваемых повреждениях с органами пуска в. ч. передатчика данного полукомплекта.

Схема по рис. 3 дана для случая, когда отключающие органы полукомплектов защиты с в. ч. блокировкой, установленных на противоположных питающих концах линии, не отстроены от коротких замыканий на сторонах низшего и среднего напряжения трансформатора. Применение рассматриваемой схемы может оказаться целесообразным, если в случае выполнения блокирующего полукомплекта по схеме рис. 2 (с использованием для пуска в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях трех реле сопротивления) не представляется возможным осуществить согласование по чувствительности отключающих органов полукомплектов питающих концов с органом пуска в. ч. передатчика блокирующего полукомплекта при замыканиях между двумя фазами на стороне низшего напряжения.

5. При применении рассматриваемой защиты на линиях с ответвлениями ее чувствительность снижается по сравнению со случаем использования этой защиты на линиях без ответвлений. Указанное объясняется в основном следующими причинами.

а) При замыканиях на защищаемой линии ток повреждения распределяется не между двумя концами линии, как это имеет место для линий без ответвлений, а между тремя и большим числом концов линии.

б) При наличии обходных связей в ряде случаев может потребоваться произвести дополнительное загрубление органов отключения (остановки в. ч. передатчика) в целях предотвращения излишнего срабатывания защиты при коротком замыкании на обходной связи; это необходимо для учета случаев токораспределения, при котором ток в полукомплектах, действующих на отключение, оказывается больше тока в полукомплекте, осуществляющем пуск блокирующего сигнала (например, рис. 5,*а*).

в) Как указывалось выше, отключающие органы полукомплектов защиты питающих концов должны быть отстроены от коротких замыканий за трансформаторами концов линии, на которых полукомплекты в. ч. блокировки не устанавливаются.

В ряде случаев чувствительность отключающих органов полукомплекта в. ч. блокировки на данном конце линии может оказаться достаточной лишь после отключения повреждения с одного или нескольких из остальных питающих концов линии. Такое каскадное отключение повреждения защитами без выдержки времени при использовании схем в. ч. блокировки с ненаправленным пуском в. ч. передатчика возможно лишь после действия на остальных питающих концах быстродействующих ступеней защит (первой ступени дистанционной защиты, первой ступени токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий).

6. На линиях с ответвлениями при наличии питания более чем с двух концов, рассматриваемая защита выполняется, как правило, с установкой полукомплектов в. ч. блокировки на всех питающих концах.

В случаях, когда питание данного конца линии является постоянно обеспеченным (т. е. отключение питания или невозможно или маловероятно), защита на этом конце выполняется с установкой полукомплекта в. ч. блокировки с ненаправленным пуском в. ч. передатчика (например, схема по рис. 1), если отключающие органы этого полукомплекта удовлетворяют требованиям чувствительности. В случаях, когда питание с данного конца линии может быть в некоторых режимах отключено или недостаточно для обеспечения требований чувствительности, на этом конце устанавливается полукомплект в. ч. блокировки с направленным пуском в. ч. передатчика, выполненным, например, по схеме рис. 4. Указанное позволяет предотвратить возможный отказ защиты с в. ч. блокировкой с других концов линии в режиме отсутствия питания с данного конца и обеспечить каскадное ее действие в случае, когда защита с данного конца нечувствительна до отключения повреждения с противоположных концов.

7. На конце линии с питанием, на котором со стороны напряжения защищаемой линии отсутствуют другие элементы, кроме трансформаторов, полукомплект в. ч. блокировки может не устанавливаться, если мощность этих трансформаторов относительно невелика. При этом отключающие органы полукомплектов защиты с в. ч. блокировкой остальных концов линии должны быть отстроены от повреждений за трансформатором данного конца. Отключение повреждения на защищаемой линии со стороны рассматриваемого конца в этом случае может быть обеспечено с помощью отдельных защит, установленных с его стороны, или специальных устройств (например, делительные устройства, реагирующие на снижение частоты, скорость снижения частоты и др.).

8. Необходимо иметь в виду, что на линии с ответвлениями с питанием с нескольких концов при наличии обходной связи между двумя концами рассматриваемая защита с в. ч. блокировкой (а также и другие в. ч. защиты) может отказать в срабатывании при коротком замыкании у одного из этих двух концов (рис. 5,*б*) в связи с направлением мощности короткого замыкания к шинам на другом из этих двух концов (на подстанции *III*). В этом случае защита будет действовать правильно только после отключения короткого замыкания резервной защиты со стороны подстанции *I*.

Аналогичный отказ защиты может иметь место при установке на ответвлении достаточно мощного трансформатора (автотрансформатора) с заземленной нейтралью, если влияние заземленной нейтрали приводит к тому, что при замыкании на землю на защищаемой линии мощность нулевой последовательности на одном из ее концов направлена как при внешнем коротком замыкании (рис. 5,*в*). В этом случае защита будет действовать правильно только после отключения короткого замыкания ступенчатой токовой защитой нулевой последовательности от замыканий на землю со стороны подстанции *II*.

В. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

Схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для питающего конца линии 110—220 кВ, выполненного с использованием типовой панели типа ЭПЗ-1643-69 (рис. 1).

1. Полукомплект высокочастотной блокировки, выполненный по данной схеме, предназначен для установки на конце линии, со стороны которого во всех режимах работы системы имеется питание, достаточное для действия защиты. Рассматриваемый полукомплект выполнен с использованием типовой панели типа ЭПЗ-1643-69 для случая ее применения совместно с панелью типа ЭПЗ-1636-67 (рис. П-12), которая содержит:

а) трехступенчатую дистанционную защиту от всех видов многофазных коротких замыканий;

б) четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности от замыканий на землю;

в) токовую отсечку от многофазных коротких замыканий.

Данная панель полукомплекта в. ч. блокировки может использоваться не только с панелью типа ЭПЗ-1636-67, но и с другими панелями, содержащими аналогичные защиты.

2. Схема релейной части полукомплекта в. ч. блокировки содержит:

а) пусковые органы:

орган пуска в. ч. передатчика;

орган остановки в. ч. передатчика (орган отключения); реле органа остановки, действующие при замыканиях на землю, используются также в органе выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях (п. 6);

б) поляризованное реле (*ПР1* приставки в. ч. блокировки *ПВБ*), предназначенное для блокирования действия защиты на отключение при внешних повреждениях (при наличии в. ч. сигнала);

в) реле и цепи, предназначенные для осуществления дистанционного пуска в. ч. передатчика;

г) выходные цепи;

д) цепи сигнализации.

3. Орган пуска в. ч. передатчика выполнен с использованием:

а) устройства блокировки при качаниях дистанционной защиты *КРБ* панели ЭПЗ-1636-67 для действия при междуфазных коротких замыканиях;

б) реле тока нулевой последовательности *РТ* для действия при коротких замыканиях на землю.

Контакты устройства *КРБ* $1РП_7$ и $3РП_3$, а также реле тока $РТ—РТ_1$ включены непосредственно в цепь пуска в. ч. передатчика.

Для предотвращения возможного излишнего срабатывания защиты после отключения внешних коротких замыканий сигнал на пуск передатчика снимается с выдержкой времени после устранения причины, вызвавшей срабатывание пусковых органов. Указанное при замыканиях на землю достигается применением реле *6РП* с замедлением при возврате, а при многофазных коротких замыканиях — применением возврата в исходное положение устройства блокировки при качаниях дистанционной защиты с выдержкой времени (контакт $3РП_3$ устройства *КРБ*).

4. Орган остановки в. ч. передатчика выполнен с использованием:

направленных реле сопротивления дистанционной защиты (контакты $2РП_6$ и $4РП_3$ комплекта *ДЗ* панели ЭПЗ-1636-67) для действия при междуфазных коротких замыканиях;

реле тока нулевой последовательности *РТН*, реле напряжения нулевой последовательности *РН* и реле направления мощности нулевой последовательности (контакт $1РП_5$ комплекта *2КЗ* панели ЭПЗ-1636-67) для действия при замыканиях на землю.

Реле напряжения *РН* предназначено в органе остановки для исключения необходимости отстройки реле тока *РТН* от тока небаланса в реле при внешних коротких замыканиях между фазами или при качаниях. При отсутствии реле напряжения отстройка была бы необходима для предотвращения остановки в. ч. передатчика и действия защиты на отключение в рассматриваемых условиях (указанное возможно, если сработает реле направления мощности нулевой последовательности от тока и напряжения небаланса).

При действии реле органа остановки в. ч. передатчика срабатывают промежуточные реле *2РП* и *10РП*, которые останавливают в. ч. передатчик, подготавливают цепь отключения защиты и замыкают цепь рабочей обмотки $ПР1_р$ поляризованного реле *ПР1* комплекта приставки в. ч. блокировки *ПВБ*. Реле *ПР1* срабатывает, если остановка в. ч. передатчиков произведена на всех концах линии (при остановленных в. ч. передатчиках тормозная обмотка $ПР1_т$ обесточена).

Для остановки в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях используется ступень дистанционной защиты, ускоряемая с помощью в. ч. блокировки.

Схема дана для случая ускорения с помощью в. ч. блокировки третьей ступени дистанционной защиты. В этом случае в цепи остановки в. ч. передатчика используются параллельно соединенные замыкающие контакты реле-повторителя контакта реле сопротивления пускового органа (контакт $2РП_6$ комплекта *ДЗ* панели ЭПЗ-1636-67) и выходного промежуточного реле дистанционной защиты (контакт $4РП_3$ комплекта *ДЗ*).

Характеристика реле сопротивления пускового органа должна выполняться без смещения в третий квадрант комплексной плоскости сопротивлений для предотвращения излишнего срабатывания дистанционной защиты с в. ч. блокировкой при внешних коротких замыканиях.

Контакт $4РП_3$ включается параллельно контакту $2РП_6$ для предотвращения отказа защиты с в. ч. блокировкой при междуфазном коротком замыкании вблизи места установки защиты. Указанное может иметь место при отсутствии контакта реле *4РП* в связи с выполнением характеристики реле сопротивления пускового органа без смещения в третий квадрант комплексной плоскости сопротивлений, поскольку указанные реле в отличие от реле сопротивления дистанционного органа не имеют контура подпитки от неповрежденной фазы.

Следует отметить, что в схеме по рис. 1, данной для случая ускорения с помощью в. ч. блокировки третьей ступени дистанционной защиты, контакт $4РП_3$ комплекта *ДЗ* показан условно. Если этот контакт используется в схеме дистанционной защиты (что имеет место при необходимости отстройки дистанционной защиты от действия трубчатых разрядников), то в цепи остановки в. ч. передатчика должен использоваться другой из свободных замыкающих контактов реле *4РП* комплекта *ДЗ*.

Время возврата реле-повторителей реле сопротивления должно быть минимально возможным для исключения излишнего срабатывания защиты с в. ч. блокировкой при отключении внешних коротких замыканий.

В случае ускорения с помощью в. ч. блокировки второй ступени или первой ступени защиты (при выполнении последней с выдержкой времени) в схеме по рис. 1 используется замыкающий контакт реле-повторителя контакта дистанционного органа (контакт $3РП_4$ комплекта дистанционной защиты *ДЗ*).

Если реле напряжения *РН* не удовлетворяет требованиям чувствительности при замыканиях на землю, то его замыкающий контакт может быть исключен из схемы. При этом в соответствии с указанным выше реле тока *РТН* должно быть отстроено от максимального тока небаланса при внешних замыканиях между фазами или при качаниях. Для исключения замыкающего контакта реле напряжения *РН* из схемы должна быть установлена перемычка между зажимами *1* и *3* этого реле (должна быть также установлена перемычка на сборке зажимов панели *21—22* — подробнее см. п. 6).

Следует отметить, что в случаях, когда реле *РТН* не удовлетворяет требованиям чувствительности, а реле РН удовлетворяет требованиям чувствительности, может быть выполнена схема без реле тока *РТН*. При этом для возможности согласования по чувствительности органов пуска и остановки в. ч. передатчиков (п. 5) в полукомплектах противоположных концов реле РН должно действовать не только на остановку, но и на пуск в. ч. передатчика (если дистанционный пуск в. ч. передатчика не осуществляется — п. 12). В данной схеме типовой панели необходимые для производства

соответствующих переключений цепи в целях упрощения не предусматриваются.

В качестве реле *РТН* использовано реле серии РНТ-560 с насыщающимся трансформатором для облегчения отстройки от бросков тока намагничивания трансформаторов, приключенных к линии, при включении их под напряжение или при отключении внешних коротких замыканий.

5. Для исключения излишнего срабатывания защиты при внешних повреждениях при отсутствии дистанционного пуска в. ч. передатчика (п. 12) должно производиться согласование по чувствительности органа остановки в. ч. передатчика с органами пуска в. ч. передатчиков полукомплектов противоположных концов линии. Указанное согласование производится отдельно для органов, действующих при междуфазных замыканиях, и для органов, действующих при замыканиях на землю.

Предусмотренное в схеме (п. 3) реле тока *РТ*, действующее на пуск в. ч. передатчика, позволяет облегчить согласование по чувствительности органов, действующих при замыканиях на землю. При неиспользовании в схеме реле *РТ* потребовалось бы производить согласование по чувствительности реле *РТН* противоположных концов с устройством блокировки при качаниях *КРБ* данного конца линии, что представляет определенные трудности, так как реле *РТН* и устройство блокировки при качаниях реагируют на разные электрические величины.

6. В схеме предусмотрен орган выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях в случаях замыканий на землю. Это необходимо для предупреждения возможного отключения неповрежденной линии в случаях, когда при внешних замыканиях на землю (например, при двухфазном замыкании на землю на обходной связи) в защищаемой линии направление токов нулевой последовательности и полных токов в фазах таково, что возможно действие на остановку в. ч. передатчика реле защиты нулевой последовательности на одном конце линии и реле дистанционной защиты на другом конце линии (приложение VI).

Для выполнения органа выведения используются реле тока *РТН* и реле напряжения *РН* органа остановки в. ч. передатчика, действующие при замыканиях на землю. Схема на рис. 1 дана для случая использования в обоих органах как реле *РТН*, так и реле *РН*. При этом рассматриваемое выведение цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях осуществляется размыкающим контактом $1РП_2$ промежуточного реле *1РП*, которое срабатывает при действии реле тока *РТН* и реле напряжения *РН* и разрывает эту цепь при замыканиях на землю.

Использование реле напряжения *РН* в органе выведения необходимо, поскольку при неиспользовании этого реле потребовалось бы отстраивать реле тока *РТН* от тока небаланса при трехфазном коротком замыкании в месте установки защиты. Указанная отстройка была бы необходима для предотвращения отказа защиты с в. ч. блокировкой при междуфазных замыканиях на защищаемой линии вследствие срабатывания реле *РТН* от тока небаланса и выведения в связи с этим цепи остановки в. ч. передатчика от дистанционной защиты.

Использование в органе выведения кроме реле *РН* еще и реле *РТН* необходимо в случаях, когда последнее реле не удовлетворяет требованиям чувствительно-

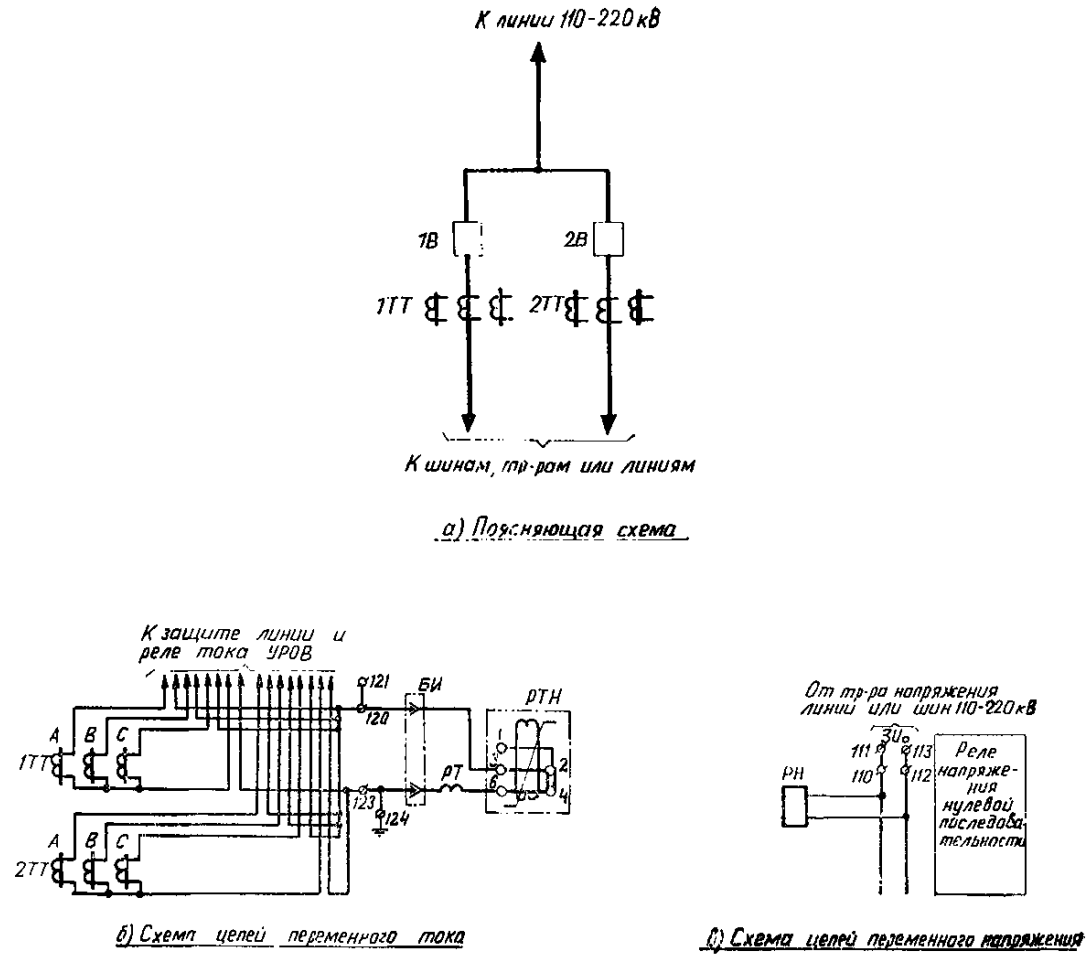


Рис. 1. Схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для питающего конца линий 110—220 кВ, выполненного с использованием типовой панели типа ЭПЗ-1643-69.

1В, 2В — выключатели; *1ТТ, 2ТТ* — трансформаторы тока; *РТ* — реле тока типа РТ-40; *РТН* — реле тока с насыщающимся трансформатором; *РН* — реле напряжения типа РНН-57; *ПВБ* — приставка в. ч. блокировки типа ПВБ-158; *1РП* — реле промежуточное типа РП-225; *3РП, 10РП* — реле промежуточные типа РП-253; *4РП* — реле промежуточное типа РП-223; *2РП, 5РП* — реле промежуточные типа РП-222; *6РП* — реле промежуточное типа РП-252 110 В; *7РП, 8РП* — реле промежуточные типа РП-252; *9РП* — реле промежуточное типа РП-23; *1РУ* — реле указательное типа РУ-21/110; *2РУ* — реле указательное типа РУ-21/0,01; *3РУ* — реле указательное типа РУ-21; *4РУ, 5РУ* — реле указательные типа РУ-21; *1R* — резистор 1800 Ом, 50 Вт; *2R* — резистор 7500 Ом, 10 Вт; *1Н—7Н* — накладки типа НКР-3; *1П, 2П* — переключатели типа ПМОФ90-111111/ПД42; *1ЛС, 2ЛС, ЛС* — лампы сигнальные; *БИ* — блок испытательный типа БИ-4; *1Д, 2Д* — диоды типа Д-229Е; *К* — кнопка типа КОЗ.

Примечания: 1. Схема выполнена применительно к случаю использования данной панели совместно с панелью ЭПЗ-1636-67. Штриховой линией обведены контакты реле и устройств, установленных на указанной панели: $1РПУ_5$ — контакт реле ускорения защит; $2РПУ_1$ — контакт реле повторителя реле ускорения защит; $1РП_5$ и $1РП_7$ устройства *КРБ* — контакты устройства блокировки при качаниях, замыкающиеся при появлении составляющей обратной последовательности на время 0,3—0,5 с; $3РП_3$ устройства *КРБ* — контакт устройства блокировки при качаниях, замкнутый до возврата устройства; $2РП_6$ комплекта *ДЗ* — контакт промежуточного реле, управляемого реле сопротивления пускового органа дистанционной защиты; $4РП_3$ комплекта *ДЗ* — контакт выходного промежуточного реле дистанционной защиты; $1РП_5$ комплекта *2КЗ* — контакт промежуточного реле, управляемого реле направления мощности защиты от замыканий на землю.

Штриховой линией также обведены контакты *1РПО* и *11РПО* реле положения «отключено» выключателей *1В* и *2В* соответственно.

2. При применении воздушных выключателей последовательно включенные обмотки промежуточного реле *4РП* должны быть исключены из цепей отключения.

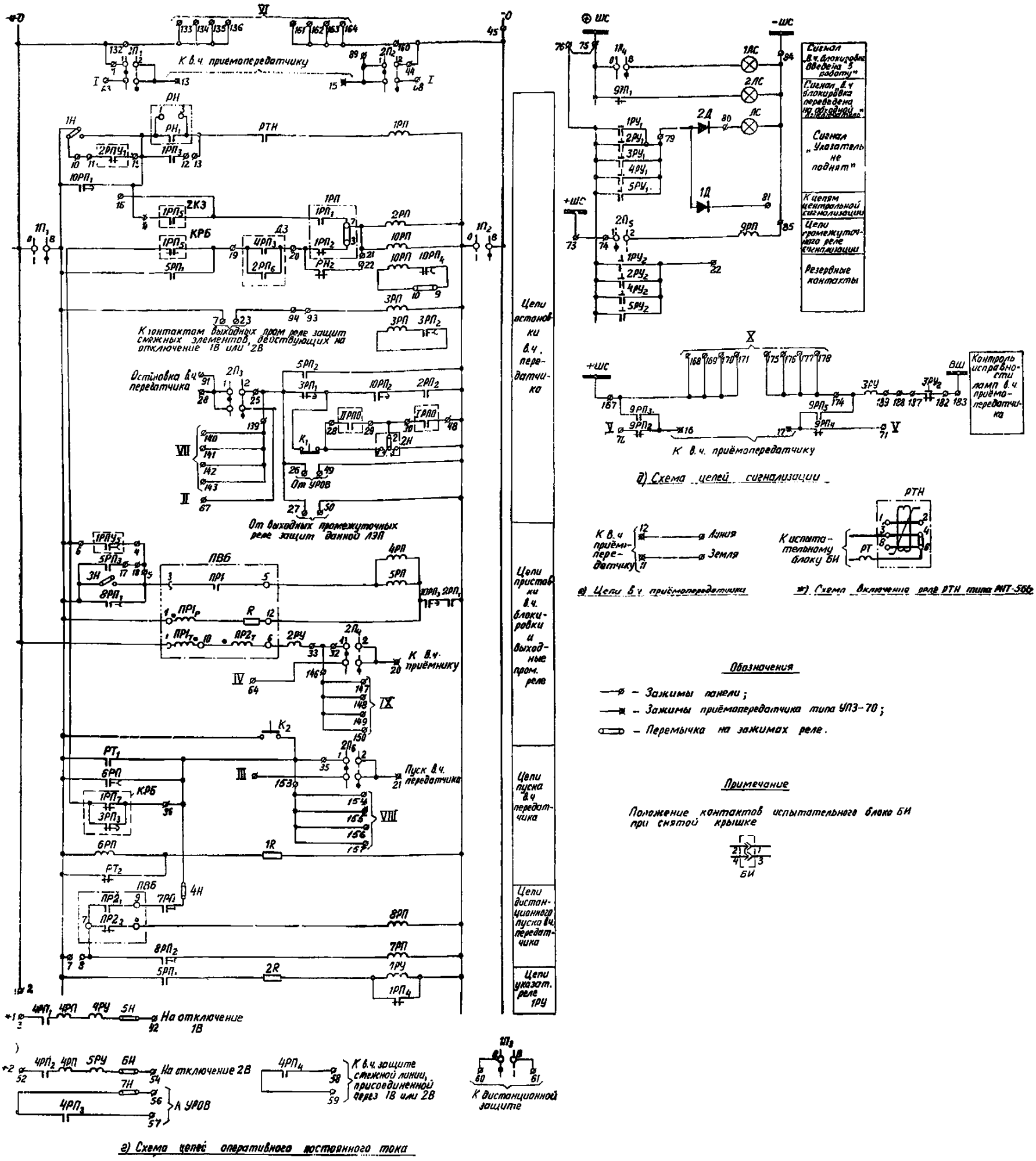
3. При использовании трансформаторов тока с номинальным вторичным током 5 А реле *РТН* принимается типа РНТ-565, с номинальным вторичным током 1А—РНТ-566. В некоторых случаях возможно применение реле типа РНТ-566 при номинальном вторичном токе трансформаторов тока 5 А, если это допустимо по условиям нагрузки на трансформаторы тока.

4. Размыкающий контакт в цепи демпфирующей обмотки реле *3РП* должен быть заменен на замыкающий.

5. Контакт переключателя $1П_3$ включается последовательно с обмоткой промежуточного реле $1РП_р$ дистанционной защиты, при обесточенном состоянии которого реле сопротивления дистанционного органа защиты включены на уставку второй ступени. При ускорении третьей ступени с помощью в. ч. блокировки этот контакт не используется.

6. В цепи контактов $10РП_2$, $10РП_3$ реле *10РП*, удерживающие обмотки, должны быть исключены.

7. Схема является предварительной и подлежит уточнению после выпуска информационных материалов заводом.



г) Схема цепей оперативного постоянного тока

д) Схема цепей сигнализации

в) Цепи в.ч. приёмопередатчика

ж) Схем включения реле РТН типа АНТ-566

сти при замыкании двух фаз на землю на защищаемой линии. В этих случаях при неиспользовании реле *РТН* в органе выведения возможен полный отказ защиты при повреждении на защищаемой линии из-за размыкания цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях в результате срабатывания реле *РН*, а цепи остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю — в результате несрабатывания реле *РТН*.

При оценке целесообразности использования реле *РТН* в органе выведения необходимо учитывать следующее. Наличие в органе выведения кроме реле *РН* еще и реле *РТН* в общем случае обусловливает возможность излишнего срабатывания защиты при внешних замыканиях на землю (по сравнению со случаем использования для этой цели только одного реле *РН*). Такое излишнее срабатывание может иметь место, если при замыкании на землю на обходной связи оказалось нечувствительным реле *РТН* или *РН* на том конце линии, где имеются условия для действия реле сопротивления, а на другом конце сработали реле направления мощности нулевой последовательности, реле *РТН* и *РН*. Поэтому в случаях, когда реле тока *РТН* удовлетворяет требованиям чувствительности при двухфазных замыканиях на землю на защищаемой линии, целесообразно осуществить выведение цепи остановки с помощью только одного реле напряжения *РН*.

При использовании реле *РТН* и реле *РН* в обоих органах (остановки и выведения) каждого полукомплекта линии без ответвлений, когда уставки реле *РТН* на обоих концах могут быть приняты одинаковыми, рассматриваемое излишнее срабатывание защиты маловероятно, поскольку оно может быть только в результате несрабатывания реле тока *РТН* на одном из концов линии из-за погрешности в токе срабатывания; реле напряжения *РН* в полукомплекте, где имеются условия для срабатывания направленного реле сопротивления дистанционной защиты, имеет большую чувствительность к рассматриваемому внешнему повреждению, так как уставки реле *РН* на всех концах линии, как правило, одинаковы, а напряжение нулевой последовательности, подводимое к реле на данном конце, имеет бо́льшее значение, чем напряжение на другом конце. На линиях с ответвлениями чувствительность реле тока *РТН* полукомплектов противоположных концов при внешнем замыкании на землю в общем случае различна. При этом в ряде случаев (например, при наличии обходных связей между тремя и более концами) может оказаться, что реле тока *РТН* на конце, где имеются условия для срабатывания направленного реле сопротивления дистанционной защиты, не удовлетворяет требованиям чувствительности, а на других концах линии — удовлетворяет этим требованиям. При этом может иметь место излишнее срабатывание защиты с в. ч. блокировкой. В связи с этим в рассматриваемых случаях может оказаться необходимым исключить действие реле *РТН* на выведение цепи остановки, т. е. осуществлять это выведение только с помощью реле *РН*.

Для исключения действия реле тока *РТН* на выведение цепи остановки в. ч. передатчика в схеме по рис. 1 должна быть снята перемычка между зажимами *7—3* реле *1РП* и установлена перемычка между зажимами *21* и *22* на сборке зажимов панели.

Как уже указывалось (п. 4), в случаях, когда реле напряжения *РН* не удовлетворяет требованиям чувствительности при замыканиях на землю, из схемы исключается его замыкающий контакт. Однако функции реле *РН* в органе выведения сохраняются (в схеме используется размыкающий контакт $РН_2$ реле *РН*, для этого устанавливается перемычка *21—22* на сборке зажимов). В рассматриваемом случае в зависимости от конкретных условий защищаемой сети цепь размыкающего контакта $1РП_2$:

а) либо сохраняется (перемычка между зажимами *7* и *3* реле *1РП* остается установленной);

б) либо размыкается (перемычка между зажимами *7* и *3* реле *1РП* снимается).

Последний вопрос решается с учетом следующих обстоятельств.

При выполнении схемы по п. «а» повышается вероятность неправильного действия защиты в условиях внешнего короткого замыкания на землю, рассмотренных выше в данном пункте. Последнее определяется тем, что при отсутствии замыкающего контакта реле *РН* в схеме реле тока *РТН* на конце, где должна выводиться цепь остановки в. ч. передатчика от реле сопротивления дистанционной защиты, может оказаться более грубым, чем реле тока *РТН* в полукомплекте противоположного конца. При выполнении схемы по п. «б» в случаях, когда реле *РТН* не удовлетворяет требованиям чувствительности при двухфазных замыканиях на землю на защищаемой линии, возможен полный отказ защиты с в. ч. блокировкой при указанном повреждении.

Вариант по п. «б» является более предпочтительным. Вариант по п. «а» целесообразно применять только в случаях, когда реле *РТН* не удовлетворяет требованиям чувствительности при двухфазных замыканиях на землю на защищаемой линии.

Подробнее вопрос о наиболее целесообразной схеме выведения цепи остановки в. ч. передатчика (на линиях без ответвлений) рассмотрен в приложении VI.

7. В качестве промежуточного реле *10РП* в рассматриваемой схеме использовано реле типа РП-253 с демпфирующей обмоткой. Указанное реле необходимо для возможности увеличения времени действия схемы на остановку в. ч. передатчика и на отключение.

Увеличение времени действия защит на отключение может потребоваться в следующих случаях:

для отстройки от действия трубчатых разрядников (при наличии последних на линии);

в случаях использования дистанционного пуска в. ч. передатчика (п. 12);

для согласования по времени с временем действия полукомплекта на противоположных концах линии (особенно в случае наличия на конце без питания линии с ответвлением блокирующего полукомплекта, пуск в. ч. передатчика которого осуществляется от сравнительно медленно действующих реле сопротивления или реле направления мощности);

в случаях, когда при отключении внешних повреждений на обходной связи возможно изменение направления мощности; дополнительное замедление при этом необходимо для надежной переориентации реле сопротивления полукомплектов.

Реле *2РП* предусмотрено для осуществления быстрого возврата цепей отключения и остановки в. ч. передатчика после отключения короткого замыкания.

8. В цепи остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю предусмотрен размыкающий контакт реле-повторителя реле ускорения защиты после включения выключателя ($2РПУ_1$). Указанный контакт осуществляет блокировку защиты при включении выключателя на время, несколько большее времени включения. При отсутствии такой блокировки в результате кратковременного неполнофазного режима могут сработать реле направления мощности нулевой последовательности всех включенных сторон линии (на включаемом конце — при установке трансформаторов напряжения на шинах), что в случае срабатывания реле *РТН* и *РН* может привести к излишнему срабатыванию защиты при включении выключателя (разд. А, п. 12). Применение рассматриваемой блокировки может оказаться необходимым при выключателях с пофазными приводами; при выключателях с трехфазными приводами достаточная отстройка защиты от указанного режима обеспечивается при полном времени действия защиты более 0,1 с; в связи с этим в последнем случае данная блокировка может не предусматриваться (например, на линиях 110 кВ с трубчатыми разрядниками).

Выведение защиты из действия с помощью реле ускорения должно предусматриваться с того конца, который включается не первым. В связи с этим при применении рассматриваемой защиты устройство АПВ должно выполняться таким образом, чтобы включение выключателей линии от АПВ производилось в определенной последовательности, что может быть достигнуто, например, применением АПВ с контролем наличия напряжения на линии. Возможность излишнего срабатывания защиты на конце, включенном ранее, в момент включения линии с данного конца предотвращается посылкой блокирующего сигнала от передатчика данного конца линии, запущенного от действия реле *РТ*.

В случаях, когда при включении линии под напряжение возможно излишнее срабатывание защиты (например, под влиянием токов нагрузки, приключенных к линии подстанции, или броска тока намагничивания трансформаторов этих подстанций, или емкостных токов линии) и отстройка от указанного режима по току срабатывания недопустима, рассматриваемое выведение защиты при включении должно предусматриваться также и на конце, включаемом первым. Отключение повреждения при этом должно осуществляться с помощью более грубой ступени защиты, ускоряемой при включении.

Предусмотренная в схеме накладка *1Н* позволяет исключать выведение защиты из действия контактом $2РПУ_1$ в тех случаях, когда этого выведения не требуется (например, при изменении заданной последовательности включения выключателей линии при АПВ).

9. Предусмотренные в цепи остановки передатчика контакты *IРПО* и *IIРПО* реле положения «отключено» выключателей линии необходимы для предотвращения возможного отказа в срабатывании защиты при включении линии с противоположного конца на короткое замыкание, а также для обеспечения действия защиты противоположных концов в режиме каскадного отключения повреждения. Отказ защиты в этих случаях мог бы иметь место вследствие посылки в линию блокирующего сигнала передатчика, установленного на том конце, где выключатели отключены.

Рассматриваемая цепь остановки в. ч. передатчика должна удовлетворять следующим требованиям:

при отключении выключателей линии защитой смежных элементов образование цепи остановки в. ч. передатчика без дополнительного замедления в ряде случаев недопустимо; в связи с этим цепь контактов реле положения выключателей должна размыкаться контактом $3РП_1$ ранее, чем замкнутся указанные контакты реле положения (п. 10);

при включении выключателя цепь остановки в. ч. передатчика должна быть разомкнута прежде, чем замкнутся главные контакты выключателя; это необходимо для предотвращения возможности излишнего срабатывания защиты на конце, включенном ранее, при включении выключателя данного конца (п. 8).

С учетом указанных требований в рассматриваемой цепи использованы замыкающие контакты реле положения «отключено» (а не контакты реле положения «включено» или блок-контакты выключателя).

С учетом желательности более быстрой остановки в. ч. передатчика при отключении выключателя в случае каскадного отключения повреждения в схеме предусмотрена остановка в. ч. передатчика от контактов выходных промежуточных реле других защит линии. Для некоторого удлинения импульса на остановку в. ч. передатчика от данной защиты в случае отключения линии с рассматриваемого конца остановка в. ч. передатчика предусмотрена также и от выходных промежуточных реле защиты (контакт $5РП_2$). Последнее является желательным, например, в случаях, когда данная защита может действовать каскадно (если на одном из противоположных концов установлен полукомплект с направленными органами пуска в. ч. передатчика).

Следует отметить, что при выключателях, блок-контакты которых при отключении размыкаются значительно позже главных контактов (например, воздушные выключатели с ножевыми отделителями), может оказаться необходимым для действия защит данной линии на остановку в. ч. передатчика предусматривать специальное промежуточное реле с замедлением при возврате. Для управления этим реле может быть использован контакт $5РП_2$.

В схеме предусмотрена накладка *2Н*, предназначенная для исключения из схемы контактов реле положения выключателя линии в случае вывода этого выключателя в ремонт. При присоединении линии через один выключатель накладка *2Н* не используется и должна быть исключена из схемы.

10. В цепи остановки в. ч. передатчика предусмотрен размыкающий контакт $3РП_1$ реле *3РП* с замедлением при возврате, срабатывающего при действии защит элементов, смежных с рассматриваемой линией и действующих на отключение одного или всех выключателей. Размыкание контактом $3РП_1$ цепи остановки в. ч. передатчика, образуемой контактами реле положения выключателя, необходимо для предотвращения излишнего срабатывания защиты на других концах линии при отключении повреждения на смежном элементе. Излишнее срабатывание защиты возможно при работе на данном конце линии через один выключатель в связи с тем, что органы защиты с в. ч. блокировкой противоположных концов линии, подготавливающие цепи отключения, могут возвратиться в исходное положение позже, чем замкнется цепь остановки в. ч. передатчика контактом реле положения этого отключаемого выключателя данного конца линии. Одновременно указанный контакт контролирует цепь контактов $2РП_2$ и $10РП_2$, что позволяет предотвратить излишнее срабатывание защиты на других концах рассматриваемой линии, возможное под влиянием кратковременной несимметрии, возникающей при отключении междуфазного повреждения на смежном элементе выключателем с пофазным приводом.

Замедление при возврате реле *3РП* должно быть больше максимального возможного времени от момента возврата защиты смежного элемента до момента возврата полукомплекта защиты данной линии, установленного на противоположном ее конце. Указанное замедление (не менее 0,2 с) осуществляется с помощью демпфирующей обмотки, при этом размыкающий контакт в ее цепи должен быть переделан на замыкающий.

Следует отметить, что использование контакта $3РП_1$ в цепи остановки в. ч. передатчика особенно целесообразно в случаях, когда неправильное действие защиты на отключение выключателя противоположного конца линии при коротком замыкании на смежном элементе может привести к перерыву электроснабжения потребителя (например, при наличии на линии ответвлений). С другой стороны, использование указанного контакта в некоторых случаях может привести к нежелательному замедлению отключения повреждения (например, повреждение между выключателем и выносным трансформатором тока, которое при отсутствии контакта $3РП_1$ отключалось бы с противоположного конца без замедления). В связи с указанным вопрос о необходимости использования реле *3РП* и его контакта $3РП_1$ должен решаться в каждом отдельном случае с учетом конкретных условий. При неиспользовании контакта $3РП_1$ он должен быть зашунтирован.

11. В качестве выходных промежуточных реле *4РП* и *5РП* в схеме использованы реле серии РП-220, имеющие время срабатывания порядка 10 мс.

Следует отметить, что в некоторых случаях (например, при установке на противоположном конце полукомплекта с пуском в. ч. передатчика от реле сопротивления или направления мощности) с целью повышения надежности несрабатывания защиты при внешних коротких замыканиях (п. 7) может оказаться необходимым использование в качестве выходных промежуточных реле *4РП* и *5РП* реле с замедлением при срабатывании (например, типа РП-253).

12. В схеме предусмотрена возможность осуществления дистанционного пуска в. ч. передатчика [1].

При использовании дистанционного пуска передатчика устанавливается перемычка между зажимами *7* и *8* на сборке зажимов панели.

Для осуществления дистанционного пуска передатчика используется второе поляризованное реле *ПР2* приставки в. ч. блокировки ПВБ типа ПВБ-158. Полярность включения тормозной обмотки $ПР2_т$ этого реле в цепи в. ч. приемника принята обратной по отношению к полярности тормозной обмотки реле *ПР1*. Рабочая обмотка реле *ПР2* в схеме приставки не используется. Замыкающий контакт реле *ПР2* включается в цепь пуска в. ч. передатчика. С помощью этого контакта осуществляется дистанционный пуск передатчика данного конца линии токами высокой частоты передатчика противоположного конца линии.

---

[1] При разработке схемы дистанционного пуска в. ч. передатчика использованы материалы Киевского ОКП Украинского отделения института «Энергосетьпроект».

Промежуточное реле *8РП*, имеющее замедление при возврате, производит вывод из действия цепи отключения (контакт $8РП_1$) через время порядка 0,6 с после пуска в. ч. передатчика.

Промежуточное реле *7РП*, управляемое замыкающим контактом реле *8РП*, имеющее замедление при возврате порядка 0,6 с, предусмотрено для разрыва цепи дистанционного пуска в. ч. передатчика. Это необходимо для снятия самоудерживания пуска обоих в. ч. передатчиков, приводящего к непрерывной работе последних. Указанное самоудерживание будет иметь место при использовании дистанционного пуска в. ч. передатчика на обоих концах линии.

Вывод из действия цепи отключения раньше на некоторое время разрыва цепи дистанционного пуска в. ч. передатчика необходим для предотвращения излишнего срабатывания защиты после снятия в. ч. сигнала передатчика, пущенного дистанционно, в случае, если внешнее короткое замыкание еще не отключено.

Работа схемы при внешнем коротком замыкании происходит следующим образом. При действии на одном из концов линии пусковых органов на пуск в. ч. передатчика последний запускается и посылает в. ч. сигналы в линию. На противоположном конце линии, где установлен комплект по рассматриваемой схеме, срабатывает реле *ПР2* приставки в. ч. блокировки *ПВБ*, которое замыкает цепь пуска в. ч. передатчика (контакт $ПР2_1$). Через 0,6 с в результате возврата в начальное состояние реле *8РП* происходит выведение цепи отключения защиты; через время 0,6 с после возврата реле *8РП* при возврате в начальное состояние реле *7РП* происходит остановка передатчика, пущенного дистанционно. Следует отметить, что для правильного действия схемы достаточно иметь замедление при возврате реле *7РП* и *8РП* 0,3 с. Замедление указанных реле 0,6 с вызвано применением реле РП-252 для которых это значение замедления является минимальным.

С учетом необходимости определенного времени на дистанционный пуск передатчика другого конца линии и прием сигнала этого передатчика на данном конце линии реле *10РП* должно иметь замедление при срабатывании.

Контакт реле ускорения защиты $1РПУ_5$ предусмотрен для обеспечения действия защиты при включении выключателя. На случай, когда выдержка времени УРОВ превышает время замкнутого состояния контакта $8РП_1$, для обеспечения действия УРОВ предусмотрено шунтирование указанного контакта контактом выходного промежуточного реле $5РП_3$.

Накладки *3Н* и *4Н* предусмотрены для оперативного выведения дистанционного пуска в. ч. передатчика в зависимости от режима работы сети (например, при отключении питания с одного из концов линии).

При использовании дистанционного пуска в. ч. передатчика только на одном конце линии цепи, связанные с дистанционным пуском, могут быть упрощены. На том конце, где предусматривается дистанционный пуск передатчика, цепь дистанционного пуска вводится накладкой *4Н*, а вывод цепи отключения контактом $8РП_1$ исключается (накладка *3Н* поставлена). На противоположном конце цепь дистанционного пуска разрывается накладкой *4Н*, а вывод цепи отключения контактом $8РП_1$ сохраняется (накладка *3Н* снята). Последнее необходимо для исключения излишнего срабатывания защиты при внешних повреждениях, если в. ч. передатчик на противоположном конце линии уже остановлен (при возврате реле *7РП*), а повреждение еще не ликвидировано. В том случае, когда на линии не используется дистанционный пуск в. ч. передатчика, должна быть снята перемычка между зажимами *7* и *8*, а также поставлена перемычка между зажимами *5* и *6* на сборке зажимов панели.

Дистанционный пуск в. ч. передатчика, выполненный по данной схеме, имеет следующие недостатки:

снижается надежность цепи отключения в связи с введением в нее контакта $8РП_1$;

при наличии дистанционного пуска в. ч. передатчика цепь отключения защиты с в. ч. блокировкой выводится из действия через небольшое время (0,6 с) после возникновения повреждения и вводится в действие после возврата органов пуска в. ч. передатчиков на всех концах линии. Таким образом, время повторной готовности защиты, определяемое временем существования внешнего короткого замыкания и временем возврата органов пуска в. ч. передатчиков на всех концах линии после отключения, может быть значительным не только для защиты от междуфазных замыканий (как это всегда имеет место при применении блокировки при качаниях с заданным временем возврата), но и для защиты от более вероятных замыканий на землю. Для сокращения этого времени в случаях, когда в процессе эксплуатации не предусматривается вывод из действия дистанционного пуска, целесообразно не использовать в цепи пуска в. ч. передатчика контакт $3РП_3$ устройства блокировки при качаниях *КРБ*;

При наличии дистанционного пуска в. ч. передатчика может иметь место отказ защиты в случае, если органы остановки полукомплекта, в. ч. передатчик которого пущен дистанционно, не сработают при повреждении на защищаемой линии; при отсутствии дистанционного пуска в. ч. передатчика отказ защиты данного конца линии исключается, если на противоположном конце не сработали органы пуска в. ч. передатчика.

Следует отметить, что в случае, когда произведено согласование по чувствительности органов пуска и остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю полукомплектов противоположных концов линии, контакт реле блокировки цепи отключения $8РП_1$ использовать не следует (устанавливается перемычка между зажимами *5* и *6*). При этом правильное действие защиты при внешних междуфазных коротких замыканиях обеспечивается выведением цепи остановки в. ч. передатчика при указанных повреждениях контактом устройства блокировки при качаниях через время порядка 0,4 с.

Преимуществом схемы с дистанционным пуском в. ч. передатчика является отсутствие необходимости в согласовании по чувствительности пусковых органов защиты с в. ч. блокировкой, действующих на остановку и на пуск в. ч. передатчика. Указанное согласование наиболее трудоемко и в ряде случаев приводит к недопустимому загрублению защиты при междуфазных повреждениях. В связи с этим, а также с учетом приведенных выше особенностей данной схемы дистанционного пуска дистанционный пуск рекомендуется использовать, как правило, для повышения чувствительности защиты с в. ч. блокировкой при междуфазных замыканиях, а также для упрощения расчетов по согласованию по чувствительности реле пусковых органов, предназначенных для действия при указанных повреждениях (см. также разд. А, п. 7). При этом, как указано выше, контакт $8РП_1$ должен быть зашунтирован, а расчеты реле пусковых органов в. ч. блокировки, действующих при замыканиях на землю, должны производиться так же, как и для случая отсутствия дистанционного пуска в. ч. передатчика.

13. В схеме предусмотрена возможность действия защиты (контакт $4РП_3$) на пуск устройства резервирования при отказе выключателей.

Поскольку выдержка времени УРОВ, как правило, превышает время замкнутого состояния контакта устройства блокировки при качаниях (*КРБ*) $1РП_5$ в цепи остановки в. ч. передатчика, в схеме предусмотрено шунтирование этого контакта контактом выходного реле защиты ($5РП_1$).

При установке трансформаторов напряжения на линии в случае отказа одной или двух фаз выключателя при коротком замыкании на землю реле напряжения, а также реле направления мощности нулевой последо-

вательности могут разомкнуть свои контакты; для обеспечения действия защиты на пуск УРОВ в указанных случаях в схеме должна осуществляться фиксация срабатывания указанных реле шунтированием контакта *РН* контактом $1РП_3$ (устанавливается перемычка между зажимами *12* и *13* на сборке зажимов) и шунтированием контакта $1РП_5$ комплекта *2КЗ* одним из неиспользуемых контактов выходного промежуточного реле *4РП* или *5РП* (например, $5РП_3$) [1]. Для выполнения последнего на сборке зажимов панели должна быть установлена перемычка *16—17* и снята *17—18*.

В схеме также предусмотрено шунтирование контакта $2РПУ_1$ реле-повторителя реле ускорения защиты контактом $10РП_1$. Шунтирование контакта $2РПУ_1$ может оказаться необходимым для обеспечения пуска УРОВ в случае отказа выключателя, если при этом реле ускорения защиты остается в положении после срабатывания.

14. Схема выполнена с возможностью сохранения в. ч. блокировки защиты при замене выключателя линии обходным. При этом принято, что в случае, когда на подстанции предполагается сохранение в. ч. блокировки защиты линии при работе последней через обходный выключатель, на обходном выключателе устанавливается панель в. ч. блокировки, аналогичная установленной на линии, но без в. ч. приемопередатчика; в рассматриваемом режиме для выполнения в. ч. блокировки используются релейная часть панели в. ч. блокировки обходного выключателя и приемопередатчик панели линии с ремонтируемым выключателем. Установка отдельной панели релейной части в. ч. блокировки на обходном выключателе предусмотрена в предположении выполнения на обходном выключателе дистанционной защиты и направленной защиты нулевой последовательности аналогично устанавливаемым на линии. Перевод на обходной выключатель релейной части панели в. ч. блокировки линии (а не только цепей приемопередатчика) привел бы к значительному усложнению схемы. С другой стороны, использование в. ч. приемопередатчика, устанавливаемого на обходном выключателе (а не перевод приемопередатчика защиты линии на обходной выключатель), потребовало бы при замене выключателей разных линий обходным производить переналадку в. ч. приемопередатчика. Следует отметить, что установка на обходном выключателе отдельной панели в. ч. блокировки особенно оправдана при наличии на подстанции нескольких линий, на которых предусматривается рассматриваемая защита.

Для отключения приемопередатчика от релейной части панели линии и приключения его к релейной части панели на обходном выключателе предусмотрен переключатель *2П*. Для размножения контактов переключателя предусмотрено промежуточное реле *9РП*. Контакты указанного реле используются в цепях сигнализации.

В целях унификации данная схема разработана таким образом, чтобы панель могла использоваться при ее установке как на линии, так и на обходном выключателе. Для возможности выполнения необходимых соединений между панелями линий и обходного выключателя предусмотрены специальные зажимы на сборке зажимов панели *I—X* (условное обозначение зажимов на схеме). При этом предполагается возможность перевода цепей в. ч. приемопередатчика не более чем четырех линий. Зажимы панели *I—V* используются при ее установке на линии. Указанные зажимы соединяются с соответствующими зажимами *VI—X* панели, установленной на обходном выключателе (зажимы *I* соединяются с зажимами *VI*, *II* — с *VII*, *III* — с *VIII*, *IV* — с *IX* и *V* — с *X*).

Следует отметить, что переключатель *2П* при установке панели на обходном выключателе не используется.

15. Предусмотренный в схеме переключатель *1П* предназначен для введения в действие и выведения из действия в. ч. блокировки. При ускорении с помощью в. ч. блокировки второй ступени дистанционной защиты один из контактов переключателя включается в цепь обмотки $1РП_р$ реле *1РП* комплекта ДЗ панели ЭПЗ-1636-67, которое осуществляет переключение уставки дистанционного органа с первой ступени на вторую. Последнее обеспечивает при введенной в. ч. блокировке постоянное включение реле сопротивления первой и второй ступени дистанционной защиты на уставку второй ступени, а при выведенной в. ч. блокировке — ввод в действие первой ступени дистанционной защиты.

16. Предусмотренные в схеме указательные реле предназначены:

1РУ для сигнализации действия защиты при замыканиях на землю;

2РУ для сигнализации работы приемника и вызова персонала при проверке в. ч. канала;

3РУ для сигнализации неисправности ламп приемопередатчика;

4РУ для сигнализации действия защиты на отключение выключателя *1В*;

5РУ для сигнализации действия защиты на отключение выключателя *2В*.

Указательное реле *1РУ* принято шунтовым в связи с отсутствием у выходных реле *4РП* и *5РП* свободного размыкающего контакта.

17. В схеме предусмотрены сигнальные лампы, предназначенные для:

1ЛС — введения в. ч. блокировки в работу;

2ЛС — перевода в. ч. блокировки на обходный выключатель;

ЛС — срабатывания указательных реле.

18. В схеме предусмотрена кнопка *К* (дополнительно к кнопке, имеющейся в приемопередатчике), предназначенная для проверки в. ч. канала при отключенных выключателях линии.

Схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для конца линии 220 кВ с ответвлением, со стороны которого отсутствует питание. Вариант 1 (рис. 2).

1. Полукомплект высокочастотной блокировки, выполненный по данной схеме, предназначен для установки на конце линии 220 кВ с ответвлением, со стороны которого отсутствует питание.

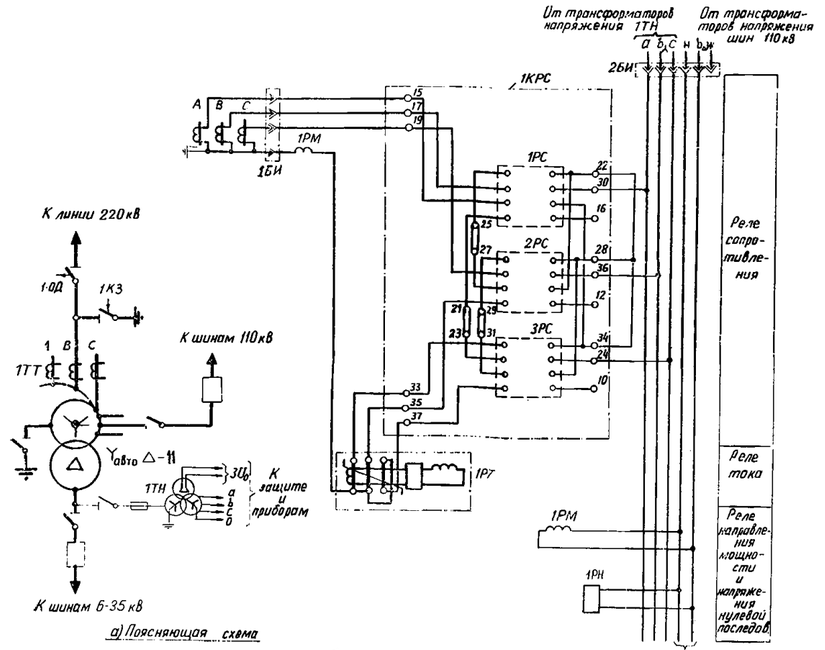
Схема дана для случая, когда отключающие органы полукомплектов защиты с в. ч. блокировкой, установленных на противоположных питающих концах линии, отстроены от коротких замыканий на стороне 6—35 кВ и не отстроены от коротких замыканий на стороне 110 кВ данной подстанции. Схема может быть также применена в случаях, когда указанные отключающие органы не отстроены от короткого замыкания на стороне 6—35 кВ данной подстанции, но могут быть согласованы по чувствительности при указанных повреждениях с органом пуска в. ч. передатчика данного полукомплекта.

2. Схема дана применительно к подстанции, приключенной к питающей линии по схеме блока «линия — автотрансформатор», при установке на стороне высшего напряжения отделителя и короткозамыкателя.

3. Пуск в. ч. передатчика осуществляется предусмотренным в схеме органом пуска, срабатывающим при направлении мощности короткого замыкания от линии к шинам данной подстанции (направленный пуск в. ч. передатчика).

---

[1] Решение Технического управления по эксплуатации ГПКЭиЭ СССР № Э-5/65 «Об изменении схемы направленных защит от замыканий на землю при питании реле направления мощности нулевой последовательности от трансформаторов напряжения, подключенных к защищаемой линии».



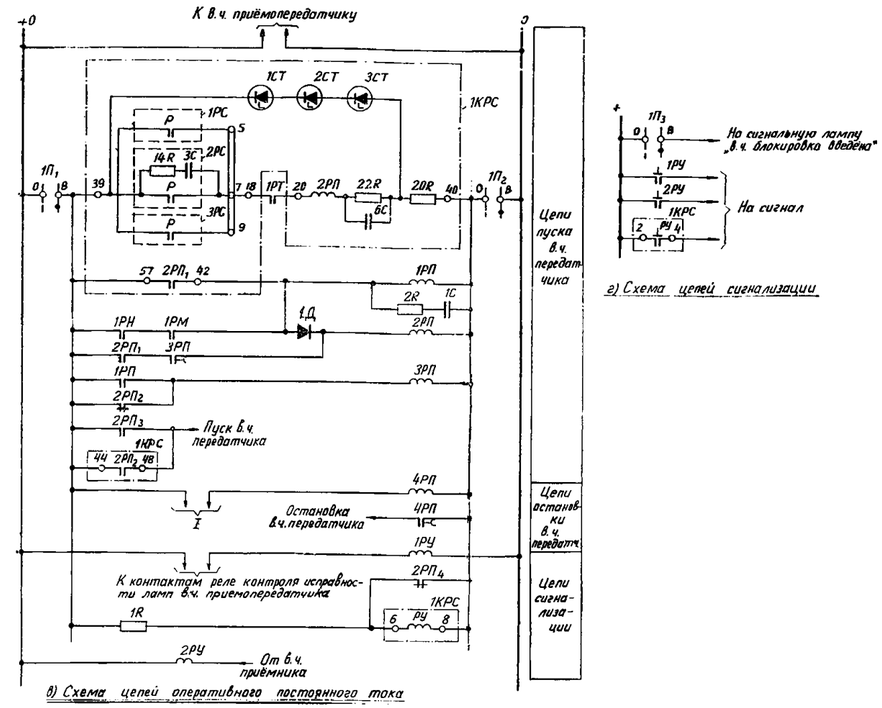


Рис. 2. Схема релейной части полукомплекта **высокочастотной блокировки** дистанционной за щиты и токовой направленной защиты нулевой **последовательности** для конца линии 220 кВ с ответвлением, со стороны которого отсутствует питание.

Вариант 1. *1·ОД* — отделитель; *1КЗ* — короткозамыкатель; *1ТТ* — трансформаторы тока; *1ТН* — трансформа мощности типа РБМ-177 или РБМ 178; *1РН* — реле напряжения типа РНН-57; *1РП* — реле промежуточное промежуточное типа РП-252; *1РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; *2РУ* — реле указательное типа типа ПМОФ90-1,1,1/ПД42; *1Д* — диод; *1R* — резистор 7,5 кОм, 10 Вт; *2R* — резистор

Примечания: 1. Схема внутренних соединений комплекта реле сопротивления *1КРС* типа КРС-2
2. Указательное реле *РУ* комплекта *1КРС* принимается на напряжение 110 В.
Обозначение *1* — к параллельно соединенным **замыкающим контактам** выходного промежуточного реле защиты автотрансформатора и реле тока блокировки отключения отделителя.

Орган пуска в. ч. передатчика выполнен с использованием:

направленных реле сопротивления комплекта *1КРС* для действия при междуфазных коротких замыканиях;

реле направления мощности нулевой последовательности *1РМ* и реле напряжения *1РН* для действия при замыканиях на землю.

Комплект реле сопротивления *1КРС* типа КРС-2 содержит (рис. П-11): три реле сопротивления *1РС—3РС*, каждое из которых выполнено на выпрямленных токах с использованием схемы сравнения и магнитоэлектрического реле, три промежуточных реле, указательное реле, делитель напряжения, кремниевые стабилитроны и другие элементы.

В данной схеме используется только одно промежуточное реле *2РП* комплекта *1КРС*, на которое действуют все три реле сопротивления. Необходимость использования промежуточного реле определяется тем, что **коммутационная способность** контактов магнитоэлектрических реле недостаточна для действия на промежуточные реле *1РП* и *2РП* серии РП-220 (рис. 2,*в*).

4. Цепи напряжения реле сопротивления приключены к трансформатору напряжения *1ТН*, присоединенному непосредственно к выводам низшего напряжения автотрансформатора, и цепи тока — к трансформаторам тока, встроенным во втулки 220 кВ автотрансформатора. При этом реле сопротивления включены на разность фазных токов стороны высшего напряжения и на фазные напряжения относительно нулевой точки системы, что соответствует междуфазным напряжениям стороны высшего напряжения.

Характеристика срабатывания реле сопротивления **выполняется направленной** в сторону внешних повреждений и имеет смещение относительно начала координат. Это смещение не должно превышать сопротивления стороны высшего напряжения автотрансформатора. Указанное ограничение смещения необходимо для предотвращения пуска в. ч. передатчика при коротких замыканиях на защищаемой линии, что может привести к отказу защиты с питающих концов при указанных **повреждениях**.

В ряде случаев схема может быть выполнена с включением реле сопротивления на трансформаторы напряжения шин 110 кВ и трансформаторы тока, установленные со стороны 110 кВ автотрансформатора (разд. А, п. 10).

При наличии трансформаторов напряжения на стороне 220 кВ они должны использоваться для питания цепей напряжения реле сопротивления *1РС—3РС*, поскольку при этом облегчаются условия согласования по чувствительности пусковых органов полукомплектов на питающих подстанциях и полукомплекта на данной подстанции (приложение IV). При этом характеристика реле сопротивления должна выполняться без смещения относительно начала координат в целях предотвращения отказа защиты при повреждении на защищаемой линии.

Питание цепей тока реле направления мощности нулевой последовательности *1РМ* осуществляется от тех же трансформаторов тока, что и цепей тока реле сопротивления *1РС—3РС*.

Для питания цепей напряжения реле направления мощности *1РМ* и реле напряжения используются трансформаторы напряжения, приключенные к шинам 110 кВ.

Реле *1РТ* типа РТ-40/Р предусмотрено для предотвращения отказа защиты с питающих концов при повреждении на защищаемой линии, возможного в связи со следующим. При повреждении автотрансформатора и последующем отключении его отделителем магнитоэлектрические реле, используемые в качестве реагирующих органов реле сопротивления комплекта КРС-2, могут не вернуться в начальное состояние, так как в этом случае будет отсутствовать тормозной момент на реле сопротивления, создаваемый напряжением. В связи с невозвратом реле сопротивления в. ч. передатчик будет работать и посылать блокирующий в. ч. сигнал. Последнее в случае короткого замыкания на защищаемой линии приводит к отказу защиты с в. ч. блокировкой.

5. Реле напряжения нулевой последовательности *1РН* предусмотрено для предотвращения пуска в. ч. передатчика при срабатывании реле направления мощности нулевой последовательности *1РМ* от тока и напряжения небаланса при междуфазных коротких замыканиях на защищаемой линии.

6. Промежуточное реле *1РП* предусмотрено для размножения контактов реле напряжения *1РН* и реле направления мощности *1РМ*. Промежуточное реле *2РП* и промежуточное реле *2РП* комплекта *1КРС* действуют на пуск в. ч. передатчика. При этом первое реле включено по схеме, обеспечивающей фиксацию пуска в. ч. передатчика на некоторое время как при кратковременном срабатывании органа пуска, так и после отключения короткого замыкания. Для осуществления фиксации реле *2РП* в схеме предусмотрены диод *1Д*, разделяющий цепи обмоток *1РП* и *2РП*, и самоудерживание реле *2РП* с помощью контакта $2РП_1$. Параллельно обмотке реле *1РП* включены последовательно соединенные резистор *2R* и конденсатор *1С* для защиты диода от повышенных напряжений, которые могут возникнуть на обмотке указанного реле при размыкании контактов реле *2РП* комплекта *1КРС*, *1РН* или *1РМ* в цепи этой обмотки.

Фиксация пуска в. ч. передатчика осуществляется в схеме на время 0,1—0,2 с, определяемое замедлением при возврате в состояние до срабатывания реле *3РП*. Указанное время фиксации пуска в. ч. передатчика должно проверяться дополнительно при наладке защиты (по условию предотвращения возможности излишнего срабатывания защиты после отключения внешнего короткого замыкания).

Фиксация пуска в. ч. передатчика после отключения короткого замыкания необходима для предотвращения возможного излишнего срабатывания защиты. Последнее могло бы иметь место при отключении внешнего короткого замыкания, если органы отключения в полукомплектах питающих концов возвращаются

в исходное положение несколько медленнее органа пуска в. ч. передатчика данного конца.

7. В схеме предусмотрена остановка в. ч. передатчика при действии защиты от внутренних повреждений автотрансформатора (с помощью контакта выходного промежуточного реле его защит), а также реле тока блокировки отключения отделителя, установленного в цепи короткозамыкателя.

Остановка в. ч. передатчика при действии защиты автотрансформатора обеспечивает отключение без замедления линии с питающих концов в случаях таких повреждений автотрансформатора, при которых защита на питающих концах обладает достаточной чувствительностью.

Остановку в. ч. передатчика от реле тока блокировки отключения отделителя целесообразно использовать для предотвращения отказа защиты на питающих концах, который возможен, если до включения короткозамыкателя защита линии нечувствительна к повреждению в автотрансформаторе, а после включения короткозамыкателя вследствие возникшего сложного повреждения вернулась в положение до срабатывания защита автотрансформатора.

Для осуществления рассматриваемой остановки передатчика предусмотрено реле *4РП* типа РП-252, имеющее замедление при возврате, которое необходимо для повышения надежности действия защиты с в. ч. блокировкой с питающих концов.

8. Предусмотренные в схеме указательные реле предназначены:

1РУ для сигнализации неисправности ламп приемопередатчика;

2РУ для сигнализации работы в. ч. приемника и вызова персонала при проверке в. ч. канала;

РУ комплекта *1КРС* для сигнализации пуска в. ч. передатчика.

Для управления указательным реле *РУ* комплекта *1КРС* используется размыкающий контакт реле *2РП* в связи с отсутствием в указанном реле третьего замыкающего контакта.

9. Схема дана в предположении наличия контроля исправности цепей напряжения трансформатора напряжения *1ТН* в других защитах. При отсутствии указанного контроля он должен быть предусмотрен в данной схеме. Следует отметить, что при неисправности цепей напряжения может работать сигнализация в результате срабатывания реле сопротивления.

10. Предусмотренный в схеме переключатель *1П* предназначен для введения в действие и выведения из действия данного полукомплекта в. ч. блокировки.

11. В том случае, если при включении выключателя 110 кВ автотрансформатора на данной подстанции возможно срабатывание отключающих органов защиты с в. ч. блокировкой других концов линии, на данном конце при включении указанного выключателя необходимо осуществить пуск передатчика, например, по способу, предусмотренному в схеме рис. 4 (описание схемы по рис. 4, п. 3).

Схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для конца линии 110—220 кВ с ответвлением, со стороны которого отсутствует питание. Вариант 2 (рис. 3).

1. Полукомплект высокочастотной блокировки, выполненный по данной схеме, предназначен для установки на конце линии 110—220 кВ с ответвлением, со стороны которого отсутствует питание.

Схема дана для случая, когда отключающие органы полукомплектов защиты с в. ч. блокировкой, установленных на противоположных питающих концах линии, не отстроены от коротких замыканий на шинах низшего и среднего напряжения данной подстанции. Применение схемы может оказаться целесообразным в случаях, когда при использовании для пуска в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях трех направленных реле сопротивления (рис. 2) не представляется возможным осуществить согласование по чувствительности отключающих органов полукомплектов питающих концов с органами пуска в. ч. передатчика блокирующего полукомплекта при замыканиях между двумя фазами на стороне низшего напряжения.

2. Схема дана применительно к подстанции, приключаемой к питающей линии по схеме блока «линия — трансформатор», при установке на стороне высшего напряжения трансформатора отделителя и короткозамыкателя.

3. Орган пуска в. ч. передатчика выполнен с использованием:

направленного реле сопротивления *1РС* для действия при симметричных коротких замыканиях;

реле направления мощности обратной последовательности *РМ* устройства фильтр-реле *1РМОП* для действия при несимметричных коротких замыканиях.

Характеристики реле направления мощности *РМ* и реле сопротивления *1РС* должны быть направлены в сторону внешних повреждений на данном конце.

Для отстройки от тока небаланса при трехфазном коротком замыкании на линии может возникнуть также необходимость использования дополнительно к реле *РМ* реле тока устройства *1РМОП*; при этом контакт указанного реле включается последовательно с контактом реле *РМ*.

4. Реле сопротивления *1РС* включено на разность фазных токов трансформаторов тока стороны высшего напряжения и на одноименное междуфазное напряжение трансформатора напряжения (*1ТН*), присоединенного непосредственно к трансформатору со стороны выводов низшего напряжения. Такое включение цепей напряжения реле обеспечивает (по сравнению со случаем включения на фазное напряжение относительно земли) недействие реле сопротивления при однофазном замыкании на землю в сети низшего напряжения подстанции, однако приводит к снижению чувствительности защиты. В случаях, когда при включении реле сопротивления на междуфазное напряжение защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, целесообразно рассмотреть возможность включения реле сопротивления на фазное напряжение относительно земли. При этом следует учитывать возможный отказ защиты при коротком замыкании на защищаемой линии в режиме замыкания на землю одной фазы в сети низшего напряжения данной подстанции.

К устройству фильтр-реле *1РМОП* подводятся фазные токи и междуфазные напряжения от указанных выше трансформаторов тока и напряжения.

Следует отметить, что при использовании для защиты трансформаторов напряжения, установленных со стороны соединенной в треугольник обмотки низшего напряжения трансформатора, кратность момента на реле направления мощности обратной последовательности по сравнению со случаем использования для защиты трансформаторов напряжения, установленных со стороны обмотки, соединенной в звезду, за счет сдвига на 30° напряжения, подводимого к реле направления мощности обратной последовательности, снижается незначительно.

При наличии трансформаторов напряжения на стороне высшего напряжения трансформатора они должны использоваться для питания цепей напряжения устройства *1РМОП* и реле *1РС*.

5. Промежуточное реле *1РП* предназначено для размножения контактов реле сопротивления *1РС* и реле направления мощности *РМ*. Промежуточное реле *2РП*, действующее на пуск в. ч. передатчика, включено по схеме, обеспечивающей фиксацию пуска в. ч. передатчика на некоторое время при кратковременном срабатывании реле *1РС* и *РМ*, а также после отключения короткого замыкания. Назначение фиксации, а также ее выполнение аналогичны таковым в схеме по рис. 2 (описание схемы по рис. 2, п. 6). Фиксация пуска в. ч.

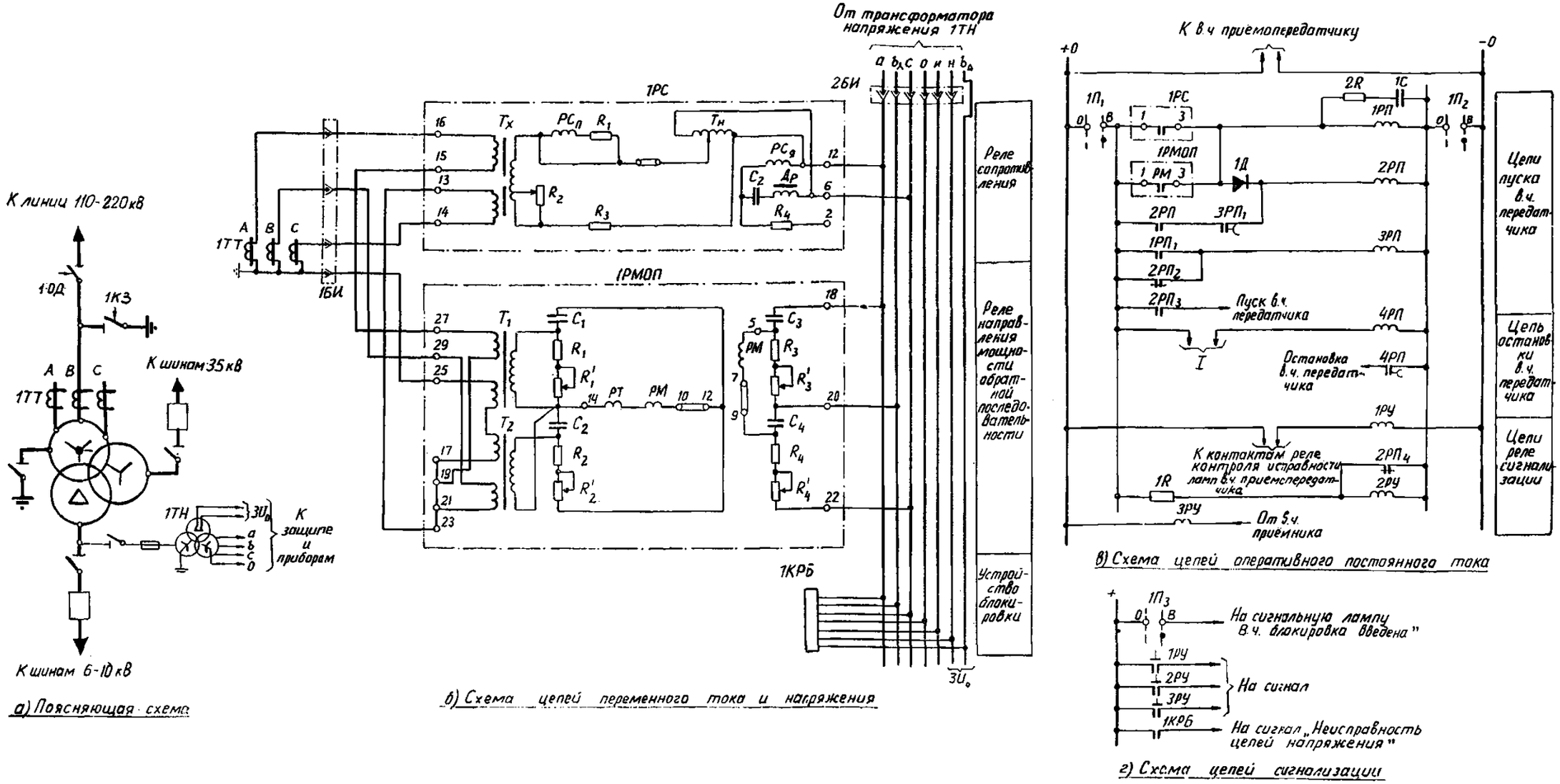


Рис. 3. Схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для конца линии 110—220 кВ с ответвлением, со стороны которого отсутствует питание.

Вариант 2. *1 · ОД* — отделитель; *1КЗ* — короткозамыкатель; *1ТТ* — трансформаторы тока; *1ТН* — трансформатор напряжения; *1РС* — реле сопротивления типа КРС-132; *1РМОП* — устройство фильтр-реле типа РМОП-2; *1КРБ* — устройство блокировки типа КРБ-12; *1РП* — реле промежуточное типа РП-222; *2РП* — реле промежуточное типа РП-225; *3РП, 4РП* — реле промежуточное типа РП-252; *1РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; *2РУ* — реле указательное типа РУ-21/110; *3РУ* — реле указательное типа РУ-21/0,01; *1БИ* — блок испытательный типа БИ-4; *2БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *1Д* — диод; *1П* — переключатель типа ПМОФ90-1,1,1/ПД42; *1R* — резистор 7,5 кОм, 10 Вт; *2R* — резистор типа МЛТ 2 кОм, 2 Вт; *1С* — конденсатор типа МБГП-3 1 мкФ, 400 В.

Обозначение *1* — к параллельно соединенным замыкающим контактам выходного промежуточного реле защиты трансформатора и реле тока блокировки отключения отделителя.

передатчика осуществляется в схеме на время 0,6—0,7 с, определяемое временем возврата в начальное состояние реле *3РП*. В данной схеме фиксация необходима также для предотвращения излишнего срабатывания защиты при трехфазном коротком замыкании за трансформатором данной подстанции в мертвой зоне реле сопротивления. В последнем случае излишнее срабатывание при отсутствии фиксации могло бы иметь место в связи с тем, что время замкнутого состояния контакта реле сопротивления, кратковременно срабатывающего «по памяти», может оказаться меньше времени существования короткого замыкания. Несрабатывание защиты при внешнем трехфазном коротком замыкании в мертвой зоне реле сопротивления длительностью более 0,6—0,7 с обеспечивается введением цепи отключения при трехфазном коротком замыкании в полукомплектах питающих концов устройством блокировки при качаниях на время 0,35—0,45 с. т. е. меньшее, чем время пуска передатчика на данном конце.

6. В рассматриваемой схеме, как и в схеме по рис. 2, предусмотрена остановка в. ч. передатчика при действии защиты от внутренних повреждений трансформатора и реле тока блокировки отделителя. Назначение и выполнение остановки аналогично таковым в схеме по рис. 2 (описание схемы по рис. 2, п. 7).

7. Предусмотренные в схеме указательные реле предназначены:

1РУ для сигнализации неисправности ламп приемопередатчика;

2РУ для сигнализации пуска высокочастотного передатчика;

3РУ для сигнализации работы приемника и вызова персонала при проверке высокочастотного канала.

Для управления указательным реле *2РУ*, как и в схеме по рис. 2, используется размыкающий контакт реле *2РП*.

8. В схеме предусмотрено устройство контроля исправности цепей напряжения, выполненное с использованием устройства блокировки *1КРБ*, которое действует на сигнал.

9. Предусмотренный в схеме переключатель *1П* предназначен для введения в действие и выведения из действия данного полукомплекта в. ч. блокировки.

Схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности, выполненная с использованием направленного пуска высокочастотного передатчика, для питающего конца линии 110—220 кВ (рис. 4).

1. Полукомплект в. ч. блокировки, выполненный по данной схеме, предназначен для установки на конце линии, питание со стороны которого в некоторых режимах может быть либо отключено, либо недостаточно для обеспечения требуемой чувствительности защиты при повреждениях на защищаемой линии.

Рассматриваемый полукомплект предназначается для совместного использования с панелью типа ЭПЗ-1636-67 (рис. П-12). Данный полукомплект также может быть использован с другими панелями, имеющими аналогичные защиты.

2. Схема релейной части в. ч. блокировки содержит:

а) орган пуска в. ч. передатчика;

б) орган отключения;

в) поляризованное реле (*ПР1* приставки в. ч. блокировки *1ПВБ*), предназначенное для блокирования действия защиты на отключение при внешних повреждениях (при наличии в. ч. сигнала);

г) выходные цепи;

д) цепи сигнализации.

3. Орган пуска в. ч. передатчика в рассматриваемой схеме в отличие от схемы по рис. 1 выполнен с помощью направленных реле (характеристика срабатывания которых направлена в сторону внешних повреждений за шинами данной подстанции).

В схеме используются:

комплект направленных реле сопротивления *1КРС* для действия при междуфазных коротких замыканиях;

реле направления мощности нулевой последовательности *1РМ* и реле напряжения нулевой последовательности *1РН* для действия при замыканиях на землю.

В рассматриваемой схеме цепи пуска в. ч. передатчика выполнены аналогично таковыми в схеме по рис. 2 (см. описание схемы по рис. 2, п. 3 и 6) со следующими дополнениями:

реле напряжения *1РН* используется также для действия на отключение (п. 5); для размножения контактов реле *1РН* предусмотрено промежуточное реле *7РП*;

предусмотрен пуск передатчика при включении выключателя.

Фиксация пуска в. ч. передатчика в схеме должна осуществляться на время порядка 0,1—0,2 с (определяется замедлением при возврате в начальное состояние реле *3РП*). Указанное время фиксации пуска в. ч. передатчика должно проверяться дополнительно при наладке защиты (по условию предотвращения возможности излишнего срабатывания защиты после отключения внешнего короткого замыкания).

При установке на линии панели типа ЭПЗ-1636-67 для пуска в. ч. передатчика могло бы быть использовано реле направления мощности нулевой последовательности *РМ*, предусмотренное в указанной панели. Однако это привело бы к некоторому усложнению защиты и снижению ее надежности в связи с отсутствием необходимого числа контактов реле-повторителя *2РП* комплекта защиты *2КЗ* упомянутой панели.

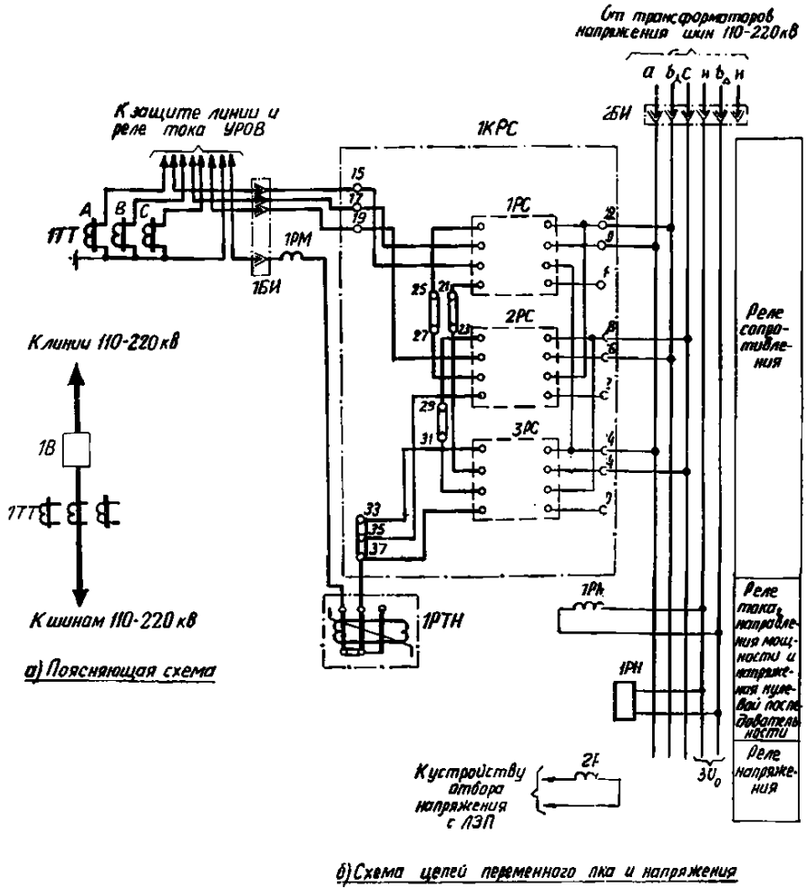
Цепь пуска передатчика при включении выключателя предусмотрена для предотвращения излишнего срабатывания защиты при включении выключателя данной подстанции, когда линия уже включена хотя бы еще с одного конца (разд. А, п. 12).

Когда линия включена хотя бы с одного из противоположных питающих концов и отключена со стороны данной подстанции, реле *4РП* находится в положении после срабатывания. При включении выключателя разрывается цепь указанного реле контактом реле положения «отключено» $РПО_1$ и замыкается цепь пуска в. ч. передатчика контактом $РПО_2$. Реле *4РП* имеет замедление при возврате. Поэтому цепь пуска в. ч. передатчика после включения выключателя остается замкнутой на время, превышающее длительность неполнофазного режима, вызванного включением выключателя.

Реле напряжения *2РН* предусмотрено для исключения пуска передатчика, когда линия включается под напряжение с данного конца.

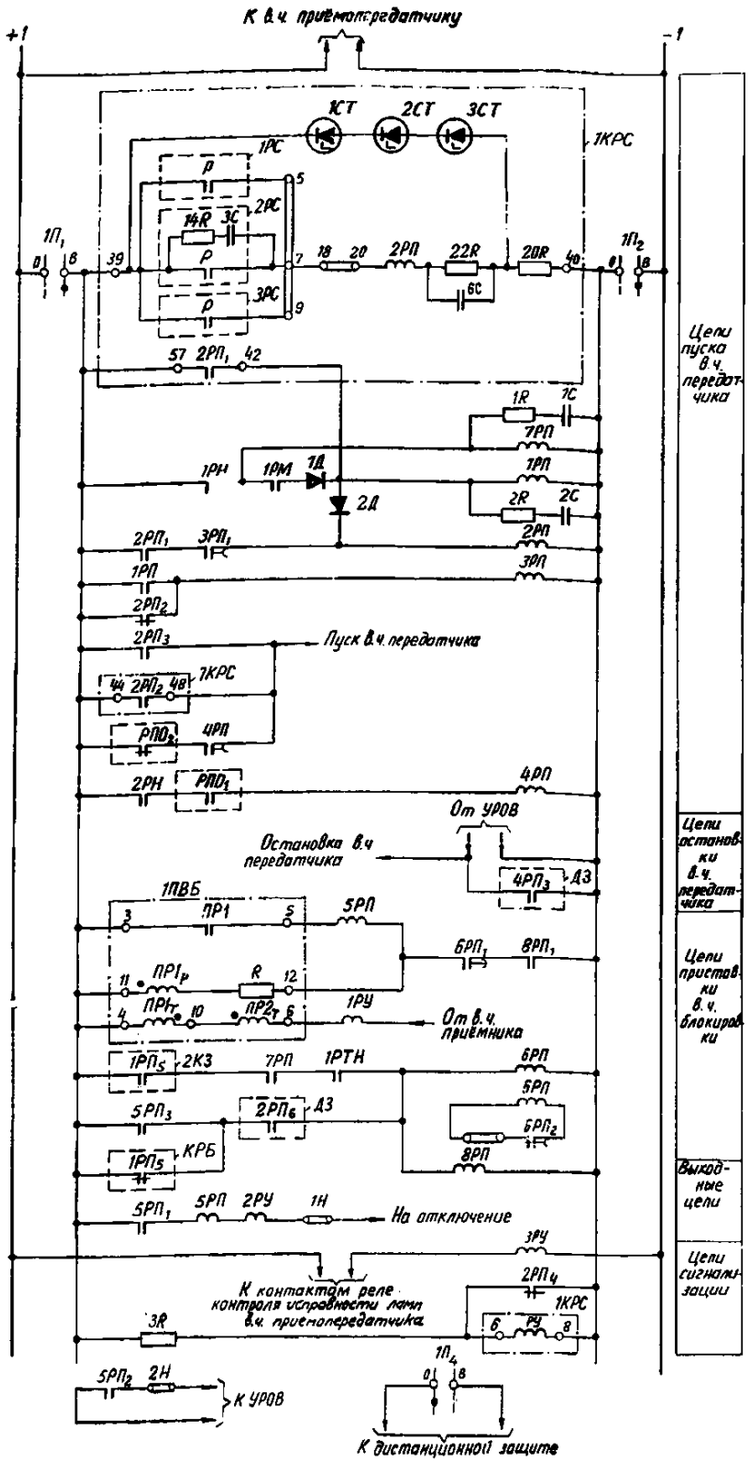
Реле *4РП* принято типа РП-252 с замедлением при возврате. При использовании максимального замедления схема может быть применена при установке выключателей с временем включения не более 0,6 с. При больших временах включения выключателя вместо реле *4РП* должно использоваться два промежуточных реле, работающих последовательно.

При установке трансформаторов напряжения на линии в цепь контакта *1РМ* должен быть включен размыкающий контакт реле-повторителя реле ускорения защиты после включения выключателя $2РПУ_1$ панели типа ЭПЗ-1636-67, необходимый для предотвращения значительного замедления защиты с в. ч. блокировкой при включении линии на короткое замыкание на землю. Замедление может иметь место, поскольку в рассматриваемых условиях при неодновременном включении фаз выключателя может сработать реле направления мощности *1РМ*, что приведет к пуску в. ч. передатчика. Указанный контакт должен использоваться в схеме, если действие ступенчатой токовой защиты нулевой последовательности по цепи ускорения в рассматриваемых условиях считается недостаточно эффективным (например, при наличии в указанной цепи замедления при срабатывании).

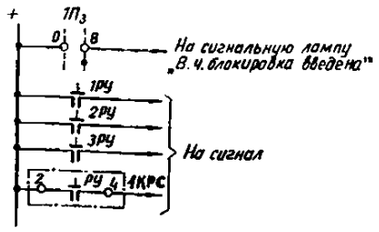


а) Пояснающая схема

б) Схема цепей переменного тка и напряжения



в) Схема цепей оперативного постоянного тока



г) Схема цепей сигнализации

Рис. 4. Схема релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности, выполненная с использованием направленного пуска высокочастотного передатчика, для питающего конца линии 110—220 кВ.

1В — выключатель; *1ТТ* — трансформаторы тока; *1КРС* — комплект реле сопротивления типа КРС-2; *1РМ* — реле мощности типа РБМ-177 или РБМ-178; *1РТН* — реле тока с насыщающимся трансформатором; *1РН* — реле напряжения типа РНН-57; *2РН* — реле напряжения; *1ПВБ* — приставка в. ч. блокировки типа ПВБ-158; *1РП, 7РП* — реле промежуточные типа РП-222; *2РП, 8РП* — реле промежуточные типа РП-225; *3РП* — реле промежуточное типа РП-251; *4РП* — реле промежуточное типа РП-252; *5РП* — реле промежуточное типа РП-223; *6РП* — реле промежуточное типа РП-253; *1РУ* — реле указательное типа РУ-21/0,01; *2РУ* — реле указательное типа *РУ-21*; *3РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; *1БИ* — блок испытательный типа БИ-4; *2БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *1П* — переключатель типа ПМОФ90-1,1,1,1/ПД42; *1Н, 2Н* — накладки типа НКР-3; *1Д, 2Д* — диоды; *1R, 2R* — резисторы типа МЛТ 2 кОм, 2 Вт; *3R* — резистор 7,5 кОм, 10 Вт: *1С, 2С* — конденсаторы типа МБГП-3 1 мкФ, 400 В.

Примечания: 1. Схема выполнена применительно к случаю совместного использования ее с панелью ЭПЗ-1636-67. Штриховой линией обведены контакты реле и устройств, установленных на указанной панели: $1РП_5$ устройства *КРБ* — контакт устройства блокировки при качаниях, замыкающийся при появлении составляющей обратной последовательности на время порядка 0,3—0,5 с; $2РП_6$ комплекта *ДЗ* — контакт промежуточного реле, управляемого реле сопротивления пускового органа дистанционной защиты; $4РП_3$ комплекта *ДЗ*—контакт выходного промежуточного реле дистанционной защиты.

Штриховой линией также обведены контакты $РПО_1$ и $РПО_2$ реле положения «отключено» выключателя *1В*.

2. При использовании трансформаторов тока с номинальным вторичным током 5 А реле *1РТН* принимается типа РНТ-565, с номинальным вторичным током 1 А—РНТ-566. В некоторых случаях возможно применение реле типа РНТ-566 при номинальном вторичном токе трансформаторов тока 5 А, если это допустимо по условиям нагрузки на трансформаторы тока.

3. Указательное реле *РУ* комплекта 1КРС принимается на напряжение 110 В.

4. Схема внутренних соединений комплекта реле сопротивления *1КРС* типа КРС-2 приведена на рис. П-11.

5. Контакт переключателя $1П_4$ включается последовательно с обмоткой промежуточного реле $1РП_р$ дистанционной защиты, при обесточенном состоянии которого реле сопротивления дистанционного органа защиты включены на уставку второй ступени, и используется только при ускорении с помощью в. ч. блокировки второй ступени.

4. Для питания цепей переменного тока и напряжения реле сопротивления *1РС—3РС* комплекта *1КРС*, реле напряжения *1РН*, реле тока *1РТН*, реле направления мощности *1РМ* используются трансформаторы тока, установленные в цепи линии, и трансформаторы напряжения, установленные на шинах 110—220 кВ подстанции. К реле сопротивления подводятся разность фазных токов и междуфазное напряжение. Характеристики срабатывания реле сопротивления *1РС—3РС* выполняются охватывающими начало координат. Указанное предусмотрено в целях повышения надежности пуска в. ч. передатчика при внешних коротких замыканиях вблизи шин 110—220 кВ подстанции.

5. Орган отключения выполнен с использованием:

направленных реле сопротивления третьей ступени дистанционной защиты (контакт $2РП_6$ комплекта *ДЗ* панели ЭПЗ-1636-67) для действия при междуфазных коротких замыканиях;

реле направления мощности нулевой последовательности (контакт $1РП_5$ комплекта *2КЗ* панели ЭПЗ-1636-67), реле тока нулевой последовательности *1РТН* и реле напряжения нулевой последовательности (контакт *7РП*) для действия при замыканиях на землю.

При действии указанных реле срабатывают промежуточные реле *6РП* и *8РП*, которые подготавливают цепь отключения защиты, замыкая цепь рабочей обмотки $ПР1_р$ поляризованного реле *ПР1* комплекта приставки высокочастотной блокировки *1ПВБ*. Реле *ПР1* срабатывает, если в. ч. передатчики не работают ни на одном из концов линии.

Применение в данной схеме ускорения с помощью в. ч. блокировки третьей (а не второй) ступени дистанционной защиты позволяет использовать первую ступень защиты (при выполнении ее без выдержки времени) для остановки в. ч. передатчика при к. з. вблизи шин подстанции (контакт $4РП_3$ комплекта *ДЗ* панели типа ЭПЗ-1636-67).

Указанное необходимо в связи с тем, что характеристики реле сопротивления *1РС—3РС* комплекта *1КРС* выполняются охватывающими начало координат (п. 4).

При ускорении с помощью в. ч. блокировки второй ступени дистанционной защиты (первая ступень при введенной в. ч. блокировке отсутствует) имел бы место отказ или замедление защиты при междуфазном коротком замыкании вблизи места установки рассматриваемого полукомплекта, поскольку в. ч. передатчик, пущенный в результате срабатывания реле сопротивления комплекта *1КРС*, не будучи остановленным, блокировал бы защиту до момента возврата в начальное состояние реле *3РП*.

Следует отметить, что характеристики срабатывания реле сопротивления третьей ступени дистанционной защиты (комплекта *КРС* панели ЭПЗ-1636-67), у которых контур подпитки от неповрежденной фазы отсутствует, должны выполняться охватывающими начало координат комплексной плоскости сопротивлений для обеспечения действия при междуфазном коротком замыкании вблизи места установки защиты. При этом излишнее срабатывание защиты с в. ч. блокировкой при внешнем коротком замыкании в зоне, охватываемой указанными реле, исключается, так как не предусмотрена остановка передатчика от этих реле.

Реле тока *1РТН* предусмотрено для облегчения согласования по чувствительности с пусковыми органами полукомплектов других концов линии, где для пуска в. ч. передатчика используется реле тока, включенное на ток нулевой последовательности.

В качестве реле *1РТН* использовано реле серии РНТ-560 с насыщающимся трансформатором (описание схемы по рис. 1, п. 4).

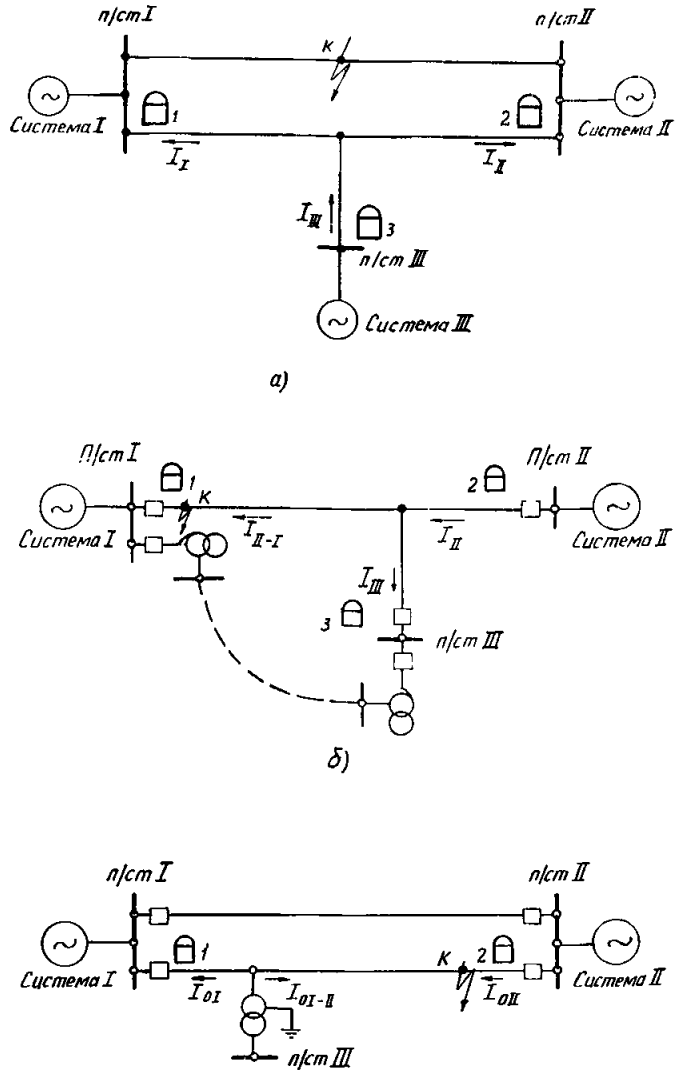


Рис. 5. Поясняющие схемы.

Следует отметить, что при установке трансформаторов напряжения на линии в целях обеспечения действия защиты на пуск *УРОВ* должно предусматриваться шунтирование цепи контактов $1РП_5$ комплекта *2КЗ* и *7РП* в органе отключения замыкающим контактом реле *5РП* (описание схемы по рис. 1, п. 13).

6. В качестве промежуточного реле *6РП* принято реле типа РП-253 с демпфирующей обмоткой. Указанное необходимо для возможности увеличения времени действия схемы на отключение (описание схемы по рис. 1, п. 7).

7. Предусмотренный в схеме переключатель *1П* предназначен для введения в действие и выведения из действия в. ч. блокировки.

8. Предусмотренные в схеме указательные реле предназначены:

1РУ для сигнализации работы приемника и вызова персонала при проверке в. ч. канала;

2РУ для сигнализации действия защиты на отключение выключателя;

3РУ для сигнализации неисправности ламп в. ч. приемопередатчика;

РУ комплекта *1КРС* для сигнализации пуска в. ч. передатчика.

Для управления указательным реле *РУ* комплекта *1КРС*, как и в схеме по рис. 2, используется размыкающий контакт реле *2РП*.

Глава вторая

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ЛИНИЙ БЕЗ ОТВЕТВЛЕНИЙ

В настоящей главе рассматривается расчет параметров срабатывания пусковых органов в. ч. блокировки защиты линий без ответвлений.

В полном объеме (с учетом условия согласования по чувствительности — разд. Б или В) расчет производится только в случае ускорения с помощью в. ч. блокировки третьей ступени дистанционной защиты и неиспользования дистанционного пуска в. ч. передатчика.

В целях упрощения расчета, а также повышения чувствительности третьей ступени дистанционной защиты рекомендуется использовать пуск в. ч. передатчика (гл. 1, разд. А, п. 6). В случае использования дистанционного пуска в. ч. передатчика при выполнении его по схеме, рассмотренной в гл. 1 (описание схемы по рис. 1, п. 12), в дополнение к обычному объему расчетов дистанционной защиты без в. ч. блокировки (разд. А, п. 1) должен выполняться только расчет параметров срабатывания реле пусковых органов в. ч. блокировки, предназначенных для действия при замыканиях на землю (разд. Г). При ускорении с помощью в. ч. блокировки второй ступени дистанционной защиты условие согласования по чувствительности (разд. Б) в большинстве случаев не является расчетным.

Ниже дан расчет применительно к случаю установки на обоих концах линии полукомплекта в. ч. блокировки, выполненного по схеме, в которой для пуска в. ч. передатчика используется устройство блокировки при качаниях и чувствительное реле тока нулевой последовательности (рис. 1).

Расчет параметров срабатывания пусковых органов в. ч. блокировки, выполненной по схеме рис. 4, при ее применении на линиях с ответвлениями приведен в гл. 3, разд. Е. Этот расчет может быть использован также при применении указанного устройства в. ч. блокировки и на линиях без ответвлений.

А. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

1. Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты, используемых для остановки в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях, а также уставки пускового органа устройства блокировки при качаниях определяются при расчете дистанционной защиты в соответствии с «Руководящими указаниями по релейной защите. Дистанционная защита линий 35—330 кВ» Вып. 7.

2. Для предотвращения излишнего срабатывания защиты при внешних коротких замыканиях в случае неиспользования дистанционного пуска в. ч. передатчика должно производиться также согласование по чувствительности органа остановки в. ч. передатчика (отключающего органа) с органом пуска в. ч. передатчика. Согласование должно выполняться таким образом, чтобы при коротких замыканиях вне защищаемой линии (например, в точке K_1 сети по рис. 6,*а*) в случае срабатывания действующих на остановку в. ч. передатчика реле пускового органа защиты на конце, где мощность короткого замыкания направлена от шин в сторону линии (защита *1* на рис. 6,*а*), обеспечивался бы пуск в. ч. передатчика защиты на противоположном конце (защита *2* на рис. 6,*а*), где мощность короткого замыкания направлена к шинам.

При внешних многофазных коротких замыканиях указанное условие удовлетворяется выполнением одного из следующих мероприятий:

а) согласованием по чувствительности реле сопротивления ступени дистанционной защиты, используемой для остановки в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях, с органами пуска в. ч. передатчика (пусковым органом устройства блокировки при качаниях и чувствительным реле тока нулевой последовательности) защиты противоположного конца линии;

б) согласованием по чувствительности пускового органа устройства блокировки при качаниях данной защиты с пусковым органом устройства блокировки при качаниях защиты противоположного конца.

Условие п. «б» принципиально является достаточным, поскольку контакты устройства блокировки при качаниях в схеме по рис. 1 предусмотрены как в цепи пуска в. ч. передатчика, так и в цепи его остановки.

Следует отметить, что условие согласования по чувствительности в общем случае должно соблюдаться как для замыкания между двумя фазами, так и для замыкания двух фаз на землю. Однако в последнем случае вместо согласования реле сопротивления с пусковым органом устройства блокировки при качаниях (по п. «а») может производиться согласование с чувствительным реле тока нулевой последовательности (*РТ* в схеме по рис. 1), также действующим на пуск в. ч. передатчика.

3. Способы согласования подробно рассмотрены ниже.

Как следует из этого рассмотрения, выбор того или иного способа согласования определяется конкретными особенностями защищаемой сети, типом устройства блокировки при качаниях, условиями чувствительности защиты.

При выборе способа согласования можно исходить из следующих соображений.

а) Способ расчета по п. 2 «а» более универсальный, поскольку он применим независимо от конфигурации защищаемой сети и от типа устройства блокировки при качаниях. Однако он несколько сложнее способа по п. 2 «б» и в ряде случаев может привести к недопустимому загрублению дистанционной защиты (особенно в случаях, когда для остановки в. ч. передатчика используются реле сопротивления третьей ступени дистанционной защиты).

б) Способ расчета по п. 2«б» несколько проще и не требует загрубления реле сопротивления дистанционной защиты. Однако в ряде случаев он либо неприменим принципиально, либо требует значительного загрубления устройства блокировки. Возможность использования этого способа целесообразно рассматривать в случаях, когда расчет по п. 2«а» приводит к недопустимому загрублению дистанционной защиты, а также когда это позволяет существенно упростить расчет (например, при установке на обоих концах одиночной линии

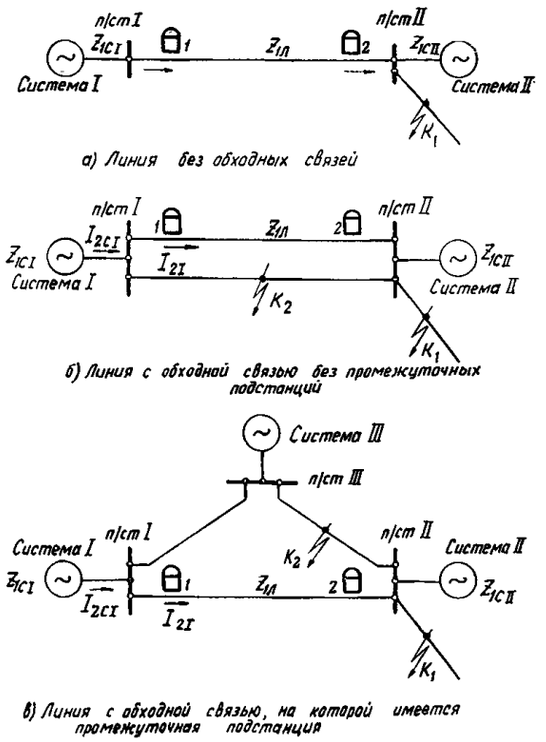


Рис. 6. Примеры схем линий без ответвлений, входящих в сеть простой конфигурации.

устройств блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности).

4. В тех случаях, когда рассмотренное выше согласование реле сопротивления с пусковым органом устройства блокировки при качаниях (по п. 2«а»), а также пусковых органов устройств блокировки при качаниях между собой (по п. 2«б») не позволяет обеспечить требуемую чувствительность защиты или устройств блокировки при качаниях (а выполнение защиты с дистанционным пуском в. ч. передатчика невозможно или нецелесообразно), следует рассмотреть вопрос о возможности использования для остановки в. ч. передатчика второй ступени дистанционной защиты (см. также гл. 1, разд. А, п. 7).

Б. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЙ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОСТАНОВКИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕДАТЧИКА

I. Общие положения

1. В настоящем разделе рассматривается согласование по чувствительности реле сопротивления дистанционной защиты, используемых для остановки в. ч. передатчика, с органами пуска в. ч. передатчика, что является спецификой расчета дистанционной защиты при использовании ее совместно с в. ч. блокировкой (разд. А).

При рассматриваемом согласовании проверяется или обеспечивается выполнение условия, что при любом внешнем многофазном повреждении (например, в точке K_1 сети по рис. 6,*а*), когда реле сопротивления дистанционной защиты (защиты *1* на рис. 6,*а*), используемое для остановки в. ч. передатчика, находится на грани срабатывания, должно обеспечиваться надежное действие пускового органа устройства блокировки при качаниях или чувствительного реле тока нулевой последовательности защиты, установленной на противоположном конце линии (защиты 2 на рис. 6,*а*), что обеспечит посылку в. ч. блокирующего сигнала.

2. Согласование производится при металлическом коротком замыкании исходя из следующего.

а) Пусковые органы устройств блокировки при качаниях являются быстродействующими и срабатывают в момент возникновения короткого замыкания, когда переходное сопротивление между фазами невелико и его можно не учитывать; при этом цепь пуска в. ч. передатчика оказывается замкнутой до момента возврата устройства блокировки.

Кроме того, при согласовании реле сопротивления с пусковым органом устройства блокировки при качаниях, реагирующим на ток обратной последовательности (например, типа КРБ-126), появление переходного сопротивления между фазами облегчает условия согласования, поскольку при этом чувствительность реле сопротивления снижается больше, чем чувствительность пускового органа устройства блокировки (приложение II, А, п. 5).

б) Согласование реле сопротивления с чувствительным реле тока нулевой последовательности утяжеляется при наличии переходного сопротивления в цепи тока нулевой последовательности. Однако при этом замыкание двух фаз на землю приближается к замыканию между двумя фазами, в связи с чем представляется возможным учесть влияние переходного сопротивления повышением коэффициента надежности согласования (разд. Б, III, п. 2«е»).

3. На линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации (рис. 6), рассматриваемое согласование может производиться с использованием расчетных выражений по методу, изложенному в разд. Б, II; на линиях, входящих в сеть сложной конфигурации, — по методу, изложенному в разд. Б, III.

Следует отметить, что при расчете по упрощенному методу, изложенному в разд. Б, II, в ряде случаев приходится пользоваться предельными значениями величин, что может привести к большому загрублению. В связи с этим и для линий, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации, в отдельных случаях в целях уточнения может потребоваться производить расчет по методу, изложенному в разд. Б, III.

II. Согласование на линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации (рис. 6)

1. Выбор первичного сопротивления срабатывания реле сопротивления, используемых для остановки в. ч. передатчика, по условию согласования с пусковым органом устройства блокировки при качаниях защиты противоположного конца линии на линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации (которая приводится к схемам по рис. 6), может производиться по расчетным выражениям.

2. Расчетные выражения для согласования приведены в табл. 1. Выражения составлены для случая замыкания двух фаз на землю. Вывод этих расчетных выражений, а также определение расчетных условий приведены в приложении II, А.

Расчетные выражения табл. 1 даны для случаев, когда на противоположном конце линии для пуска в. ч. передатчика используется устройство блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности (например, типа КРБ-126) или с пуском по напряжению обратной последовательности (например, типа КРБ-125).

Выражения (1)—(3) табл. 1 могут быть использованы как для случая отсутствия обходных связей (рис. 6,*а*), так и для случая наличия обходных связей (рис. 6,*б*, *в*).

3. Входящее в выражение (1) значение тока срабатывания обратной последовательности пускового органа устройства блокировки при качаниях при замыка-

Таблица 1

Расчетные выражения для согласования реле сопротивления, используемых для остановки высокочастотного передатчика, с пусковым органом устройства блокировки при качаниях на линиях без ответвлений в простой сети

Устройство блокировки при качаниях защиты *2*	Расчетные выражения
С пуском по току обратной последовательности	$$z_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left[\frac{E_ф}{k_н I^{(1,1)}_{2с.р.п2}\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)} - \frac{z_{1cI}}{k'_т}\right] \quad (1)$$
С пуском по напряжению обратной последовательности	$$z_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left[\frac{E_ф\left(\frac{z_{1cI}}{k'_т}+z_{1л}\right)}{k_н U_{2с.р.п2}\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)} - \frac{z_{1cI}}{k'_т}\right] \quad (2)$$
	$$z_{с.з.1} \leqslant 0{,}85\left[\frac{E_ф\left(\frac{z_{1cI}}{k'_т}+z_{1л}\right)}{2k_н U_{2с.р.п2}} - \frac{z_{1cI}}{k'_т}\right] \quad (3)$$

Примечание. Расчетные выражения даны для согласования реле сопротивления дистанционной защиты *1* с устройством блокировки при качаниях защиты *2* в схемах сети по рис. 6.

Обозначения:

$z_{с.з1}$ — первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления защиты *1*;

z_{1cI} — сопротивление прямой (обратной) последовательности системы *I*;

$z_{1л}$ — сопротивление прямой (обратной) последовательности линии;

$\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}$ — отношение результирующих сопротивлений прямой (обратной) и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания;

$E_ф$ — фазная э.д.с. системы;

$I^{(1,1)}_{2с.р.п2}$ — первичный ток срабатывания обратной последовательности устройства блокировки при качаниях защиты *2* при замыканиях двух фаз на землю;

$U_{2с.р.п2}$ — первичное напряжение срабатывания обратной последовательности устройства блокировки при качаниях защиты *2*;

$k_н$ — коэффициент надежности;

$k'_т$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки защиты *1* к току обратной последовательности в сопротивлении z_{cI} при коротком замыкании в расчетной точке.

нии двух фаз на землю $I^{(1,1)}_{2с.р.п2}$ в целях повышения надежности должно определяться с учетом нагрузки. Приближенно с запасом указанное значение может быть получено по выражению (приложение II, А):

$$I^{(1,1)}_{2с.р.п2} = \frac{I_{2уст2} n_{т2} + k_{торм2} I_{нагр}}{1 - k_{торм2}\sqrt{\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+1\right)\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)+1}}, \quad (4)$$

где $I_{2уст2}$ и $k_{торм2}$ — уставка по току обратной последовательности и коэффициент торможения устройства блокировки при качаниях защиты *2*, полученные при расчете дистанционной защиты;

$I_{нагр}$ — максимальный ток нагрузки линии в режиме, принимаемом в качестве расчетного для согласования;

$z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ — отношение результирующих сопротивлений прямой (обратной) и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания; определяется в соответствии с п. 6 и 7;

$n_{т2}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока, используемых для защиты *2*.

4. В выражениях (1)—(3) для повышения надежности согласования введен коэффициент надежности $k_н$, учитывающий погрешность устройства блокировки при качаниях и необходимость обеспечения определенной кратности тока в реле пускового органа устройства блокировки по отношению к его току срабатывания для получения достаточного его быстродействия в расчетных условиях (при срабатывании реле сопротивления защиты на другом конце линии).

Следует отметить, что рассматриваемый расчет $z_{с.з}$ в целях обеспечения достаточной надежности следует производить с учетом нагрузки. Однако точный учет нагрузки весьма затруднителен. В целях упрощения влияние нагрузки может быть учтено увеличением коэффициента $k_н$. Значение коэффициента $k_н$ для большинства случаев может быть принято $k_н = 1{,}2 \div 1{,}4$. Большие значения коэффициента $k_н$ следует принимать для сильно нагруженных линий в случаях, когда ток нагрузки и аварийная составляющая тока короткого замыкания близки по фазе.

Если указанный приближенный учет нагрузки приводит к недопустимому загрублению, целесообразно произвести уточненный учет нагрузки.

5. В качестве расчетных внешних повреждений, при которых производится согласование, должны рассматриваться короткие замыкания:

а) для линий без обходных связей — в системе *II* (рис. 6,*а*, точка K_1);

б) для линий с обходными связями — в системе *II* (рис. 6,*б*, *в*, точка K_1), а при расчете по (1) — и на обходной связи (рис. 6,*б*, *в*, точка K_2); в качестве расчетного значения $z_{с.з}$ в последнем случае принимается наименьшее из значений, полученных из расчета при коротком замыкании в системе *II* и на обходной связи.

6. Для линий без обходных связей значение коэффициента, входящего в выражения (1)—(3), принимается $k'_т = 1$.

Для линий с обходными связями значение коэффициента $k'_т$ при коротком замыкании в системе *II* определяется по короткому замыканию на шинах противоположной подстанции (п/ст *II* на рис. 6,*б*, *в*).

При расчете по выражению (1) в качестве расчетного должен приниматься режим, при котором значение $k'_т$ минимально; при расчете по выражениям (2) и (3) — режим, при котором значение $k'_т$ максимально (приложение II, А. п. 1, 2, 6).

При повреждении в питающей системе *II* (рис. 6, точка K_1) как при наличии, так и при отсутствии обходных связей в выражениях (1) и (2) в качестве расчетного значения отношения результирующих сопротивлений прямой (обратной) и нулевой последовательностей для места повреждения $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ должно приниматься максимальное значение.

В связи с тем, что при коротком замыкании в системе *II* расчетное положение места короткого замыкания определить затруднительно, значение отношения $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ определяется приближенно при коротком замыкании на шинах той из подстанций сети (расположенной в защищаемом направлении через одну-две линии), для которой отношение $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ является максимальным. В большинстве случаев значение $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma} < 2$; в некоторых случаях оно может быть и больше 2 (например при коротком замыкании на шинах подстанции с автотрансформаторами).

7. Для случая наличия обходной связи при расчете по выражению (1) необходимо учитывать следующее.

Значение $k'_т$ в выражении (1) при повреждении на обходной связи (рис. 6,*б*, *в*, точка K_2) определяется для такой точки, при повреждении в которой по рассматриваемой линии проходит ток, равный току надежного срабатывания устройства блокировки при качаниях на противоположном конце линии $k_н I_{2с.р.п}$.

Указанная расчетная точка короткого замыкания на обходной связи определяется графически по кривой зависимости тока обратной последовательности в защищаемой линии $I_{2з1}$ от удаленности места повреждения на обходной связи. При этом расчетное значение $k'_т$ определяется по выражению (приложение *II* А, п. 2):

$$k'_т = \frac{k_н I_{2с.р.п}}{I_{2сI}}, \qquad (5)$$

где $I_{2с.р.п}$ — первичный ток срабатывания по обратной последовательности устройства блокировки защиты, установленной на противоположном конце линии;

$I_{2сI}$ — ток обратной последовательности со стороны системы *I* при повреждении в расчетной точке в минимальном режиме работы систем.

Значение $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ при повреждении на обходной связи определяется при коротком замыкании в той же точке, что и значение $k'_т$.

Для случая наличия на обходной связи промежуточной подстанции (например, п/ст *III* на рис. 6,*в*), если согласуемое реле сопротивления не отстроено от повреждений на шинах этой подстанции, должно производиться согласование при повреждениях в трансформаторах (автотрансформаторах) промежуточной подстанции и в сети за этими трансформаторами (автотрансформаторами). При указанном согласовании расчетное значение $k'_т$ в выражении (1) определяется при коротком замыкании на шинах рассматриваемой промежуточной подстанции, а значение $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$. в целях упрощения может приниматься для точки, ограничивающей зону надежного срабатывания пускового органа устройства блокировки при замыканиях между двумя фазами [разд. Б, III, выражение (17)].

8. В качестве расчетного значения сопротивления системы $z_{сI}$ должно приниматься (приложение II, А, п. 1, 2, 6):

в выражении (1) — максимальное значение, соответствующее минимальному режиму работы системы *I*:

в выражениях (2) и (3) — минимальное значение, соответствующее максимальному режиму работы системы *I*.

9. Выражения (1) и (2) даны без учета тока нулевой последовательности в пусковом органе устройства блокировки при качаниях, что повышает надежность согласования в случаях использования тока нулевой последовательности.

Как показано в приложении II, А, неучет тока нулевой последовательности в устройствах блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности (например, типа КРБ-126) при наиболее употребительных уставках $3I_{0уст}=3$ А и $3I_{0уст}=6$ А не приводит к значительному уменьшению чувствительности устройства и в связи с этим является допустимым.

При применении устройства блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности в случае неиспользования в устройстве тока нулевой последовательности расчет должен производиться для случая замыкания двух фаз на землю по выражению (2). Однако при использовании тока $3I_0$ неучет этого тока в выражении (2) может привести к излишнему дополнительному загрублению защиты. В целях повышения чувствительности дистанционной защиты может оказаться целесообразным учет тока нулевой последовательности. При этом расчет должен производиться как для случая замыкания двух фаз на землю по выражению (2) с учетом тока нулевой последовательности, так и для случая замыкания между двумя фазами по выражению (3).

При расчетах по замыканию двух фаз на землю и необходимости учета тока нулевой последовательности в устройстве блокировки при качаниях в выражение (2) подставляется значение:

$$U_{2с.р.п2} = U_{2с.р.п(0)}, \qquad (6)$$

где $U_{2с.р.п(0)}$ — напряжение срабатывания устройства блокировки с учетом влияния тока нулевой последовательности.

Значение $U_{2с.р.п(0)}$ определяется по характеристикам чувствительности устройства при заданных уставках по напряжению обратной последовательности и току нулевой последовательности при утроенном токе нулевой последовательности, равном минимальному току $3I_{0к.з}$ при повреждении на границе зоны действия устройства блокировки. Практически определение указанного тока $3I_{0к.з}$ затруднительно, в связи с этим ток $3I_{0к.з}$ может быть определен при замыкании на землю двух фаз вне зоны действия устройства блокировки, на-

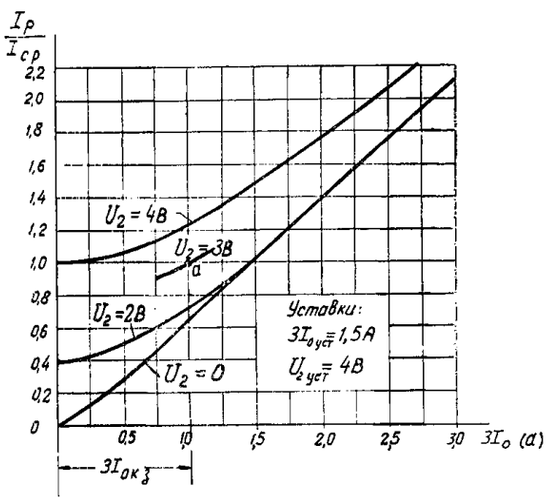


Рис. 7. Определение напряжения срабатывания устройства блокировки при качаниях типа КРБ-125 с учетом тока нулевой последовательности.

$I_р$ — ток в обмотке реле *1РН*; $I_{с.р}$ — ток срабатывания реле *1РН*; $3I_{0к.з}$ — минимальный утроенный ток нулевой последовательности при замыкании на землю на границе зоны действия устройства блокировки; $3I_{0уст}$ — уставка по утроенному току нулевой последовательности; $U_{2уст}$ — уставка по фазному напряжению обратной последовательности.

пример на шинах ближайшей подстанции, расположенной в защищаемом направлении, где коэффициент чувствительности устройства блокировки при качаниях $k_т \leqslant 1$.

На рис. 7 дан пример определения значения $U_{2с.р.п(0)}$. Точка *а* соответствует искомому значению $U_{2с.р.п(0)}=3$ В при вторичном утроенном токе нулевой последовательности $3I_{0к.з}=1$ А.

Пример согласования реле сопротивления с устройством блокировки при качаниях, имеющим пуск по току обратной последовательности, на линии, входящей в сеть простой конфигурации, рассмотрен ниже, в разд. Е.

III. Согласование на линиях, входящих в сеть сложной конфигурации

1. Рассматриваемый метод является общим и может быть использован для согласования элементов защит линий, входящих в сеть как сложной, так и простой конфигурации (в последнем случае в целях уточнения — разд. Б, I, п. 3).

Для согласования по рассматриваемому методу требуется ряд кривых, которые могут быть построены на основании расчетов токов короткого замыкания. Этот расчет целесообразно производить с учетом нагрузок.

2. Согласование начинается с проверки надежного срабатывания органов пуска в. ч. передатчика при замыканиях между двумя фазами и замыканиях двух фаз на землю в конце зоны, охватываемой реле сопротивления.

В общем случае проверка производится в следующем порядке (рис. 8).

а) На расчетных для согласования участках (п. 5) строится кривая первичного сопротивления в месте установки согласуемой защиты в зависимости от удаленности места повреждения (l):

$$z_з = f(l). \qquad (7)$$

б) Определяется точка, ограничивающая зону надежной отстройки согласуемого реле сопротивления (точка L на рис. 8,*б*). Эта точка находится на пересечении прямой, параллельной оси абсцисс

$$z_з = k'_н z_{с.з}, \qquad (8)$$

соответствующей минимальному сопротивлению надежной отстройки реле сопротивления, с кривой $z_з = f(l)$.

В выражении (8) коэффициент надежности $k'_н$ учитывает возможность увеличения охватываемой зоны и может быть принят равным $k'_н = 1{,}15$.

в) Определяется чувствительность устройства блокировки при качаниях, с которым производится согласование, к замыканиям между двумя фазами ($k^{(2)}_{ч.блок}$) и замыканиям двух фаз на землю ($k^{(1,1)}_{ч.блок}$) в точке, ограничивающей зону надежной отстройки реле сопротивления (точка L на рис. 8, *б*).

В рассматриваемом случае эта чувствительность определяет запас, обусловливающий надежность срабатывания устройства блокировки.

г) Проводится проверка согласованности защиты с пусковым органом устройства блокировки при качаниях.

Если в точке, ограничивающей зону надежной отстройки реле сопротивления,

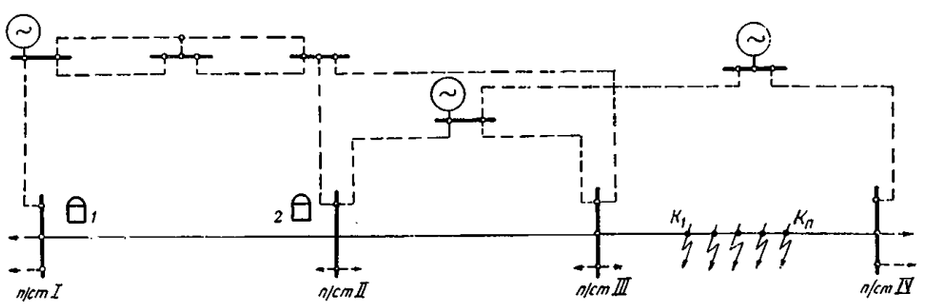
$$k^{(2)}_{ч.блок} \geqslant k_{н.доп}; \qquad (9)$$

$$k^{(1,1)}_{ч.блок} \geqslant k_{н.доп}, \qquad (10)$$

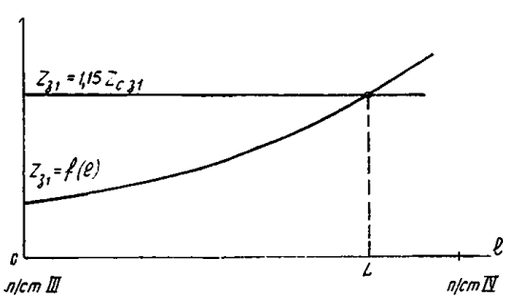
то согласование обеспечено.

В выражениях (9) и (10) $k_{н.доп}$ — наименьший допустимый коэффициент надежности, который может быть принят равным 1,2.

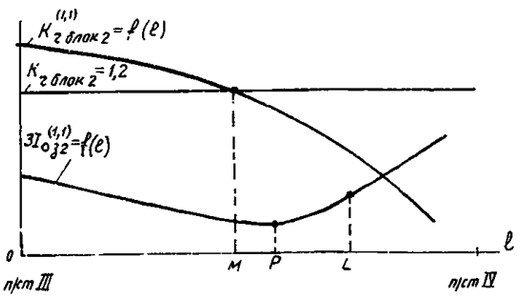
д) В случаях, когда требуемый коэффициент надежности срабатывания устройства блокировки при качаниях обеспечивается только при замыканиях между двумя фазами [условие (9) удовлетворяется, а (10) нет], определяется чувствительность действующего на пуск в. ч. передатчика реле тока нулевой последовательности



а) Исходная схема



б) Определение точки, ограничивающей зону надежной отстройки реле сопротивления защиты



в) Проверка согласованности реле сопротивления с чувствительным реле тока нулевой последовательности.

Рис. 8. Проверка согласованности защит, установленных на линии без ответвлений в сложной сети.

Примечания: 1. Рассматривается согласование реле сопротивления, используемого для остановки в. ч. передатчика защиты *1*, с органами пуска в. ч. передатчика защиты *2*.

2. За расчетный для согласования принимается участок п/ст *III*—п/ст *IV*.

$I^{(PT)}_{0с.р.п} \approx 0{,}1 I_{ном}$ — разд. Г, п. 1) защиты, с которой производится согласование, к замыканиям двух фаз на землю ($k^{(1,1)}_{ч.ток}$) в точке, ограничивающей зону надежной отстройки согласуемого реле сопротивления (точка L на рис. 8,*б*).

е) Производится проверка согласованности защиты с чувствительным реле тока нулевой последовательности исходя из условия

$$k^{(1,1)}_{ч.ток} \geqslant k'_{н.доп}, \qquad (11)$$

где $k'_{н.доп}$ — в соответствии с разд. Б, I, п. 2«б» может быть принят равным $k'_{н.доп} = 1{,}5$.

3. Следует учитывать, что в сетях сложной конфигурации кривая первичного тока нулевой последовательности в месте установки защиты, с которой производится согласование, в зависимости от удаленности места повреждения

$$3I^{(1,1)}_{0з} = f(l) \qquad (12)$$

в отдельных случаях может иметь минимум (рис. 8,*в*) или представлять собой монотонно возрастающую функцию.

В связи с этим при согласовании реле сопротивления с чувствительным реле тока нулевой последовательности по п. 2«д», «е» в общем случае, следует проверить, не будет ли отказывать последнее при более близких повреждениях в зоне, где не удовлетворяется условие (10).

Указанная проверка производится в следующем порядке (рис. 8,*в*).

а) На расчетных для согласования участках строится кривая (12) и определяется ее характер.

Если кривая представляет собой монотонно убывающую функцию, то условие (11) является достаточным для согласования.

б) В случаях, когда кривая (12) имеет минимум или представляет собой монотонно возрастающую функцию, на расчетном для согласования участке строится кривая коэффициента чувствительности устройства блокировки при качаниях к замыканиям двух фаз на землю в зависимости от удаленности места повреждения

$$k^{(1,1)}_{блок} = f(l). \qquad (13)$$

в) Определяется зона, где не удовлетворяется условие (10). Эта зона ограничивается точкой пересечения кривой (13) с прямой, параллельной оси абсцисс $k_{ч.блок} = 1{,}2$ (точка M на рис. 8,*в*).

г) Дополнительно проверяется, удовлетворяется ли условие (11) в точке минимума кривой (12) (точка P на рис. 8,*в*), если этот минимум находится в зоне, где не удовлетворяется условие (10), или в точке, ограничивающей зону, где удовлетворяется условие (10) (точка M на рис. 8,*в*), если минимум кривой (12) находится в зоне, где удовлетворяется условие (10), или если кривая (12) представляет собой монотонно возрастающую функцию.

4. В случаях, когда проверка чувствительности органов пуска в. ч. передатчика по п. 2 и 3 показывает, что согласование не обеспечивается, т. е. не удовлетворяются условия (9) и (10) или (9) и (11), сопротивление срабатывания реле сопротивления может быть выбрано по условию согласования, если загрубление реле допустимо с точки зрения обеспечения им требуемой чувствительности.

Выбор сопротивления срабатывания реле по условию согласования в общем случае производится в следующем порядке (рис. 9).

а) На расчетных для согласования участках (см. п. 5) строится кривая коэффициента чувствительности устройства блокировки при качаниях к замыканиям

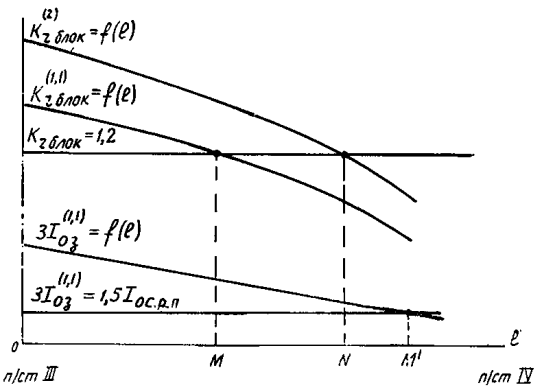


Рис. 9. Выбор сопротивления срабатывания реле сопротивления, используемых для остановки в. ч. передатчика, по условию согласования на линиях без ответвлений в сложной сети.

Примечания: 1. За исходную принята схема по рис. 8,*а*.
2. См. примечания 1 и 2 к рис. 8.

между двумя фазами в зависимости от удаленности места повреждения

$$k^{(2)}_{ч.блок} = f(l), \qquad (14)$$

а также кривые (13) и (12).

б) Определяются точки, ограничивающие зоны, где обеспечивается надежное срабатывание устройства блокировки при качаниях при замыканиях между двумя фазами [условие (9)] — точка N на рис. 9 — и замыканиях двух фаз на землю [условие (10)] — точка M на рис. 9, а также надежное срабатывание реле тока нулевой последовательности при замыканиях двух фаз на землю [условие (11)] — точка M' на рис. 9.

Эти точки находятся на пересечении соответствующих кривых и прямых, параллельных оси абсцисс: кривых (13) и (14) с прямой $k_{ч.блок} = 1{,}2$ и кривой (12) с прямой $3I^{(1,1)}_{0з} = 1{,}5 \cdot I^{(PT)}_{0с.р.п}$, где $I^{(PT)}_{0с.р.п}$ — первичный ток срабатывания реле тока нулевой последовательности, действующего на пуск в. ч. передатчика.

в) Определяется расчетная точка, от повреждения в которой должно быть отстроено согласуемое реле сопротивления. Этой расчетной точкой является конец зоны, где обеспечивается чувствительность устройства блокировки к замыканиям между двумя фазами и чувствительность органа пуска в. ч. передатчика (устройства блокировки при качаниях или чувствительного реле тока нулевой последовательности) к замыканиям двух фаз на землю, т. е. точка, ограничивающая зону надежного действия органа пуска в. ч. передатчика при том из указанных повреждений, при котором эта зона меньше (точка N на рис. 9). При этом в качестве конца зоны, где обеспечивается чувствительность органа пуска в. ч. передатчика при замыканиях двух фаз на землю, может быть выбран конец зоны, где обеспечивается надежное действие устройства блокировки при качаниях (точка M на рис. 9) или чувствительного реле тока нулевой последовательности (точка M' на рис. 9) того из этих элементов, который охватывает бо́льшую зону.

г) Определяется первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления по условию согласования по выражению

$$z_{с.з} = 0{,}85 z_{з.расч}, \qquad (15)$$

где $z_{з.расч}$ — первичное сопротивление в месте установки согласуемой защиты при двухфазном коротком замыкании в расчетной точке.

5. Расчетными участками для проверки надежности срабатывания (надежности согласования) реле органа

пуска в. ч. передатчика по п. 2 и 3, а также для выбора сопротивления срабатывания реле сопротивления по условию согласования по п. 4 являются такие участки, на которых находится точка, ограничивающая зону надежной отстройки согласуемого реле сопротивления, и при этом надежное срабатывание органов пуска в. ч. передатчика [условие (9) и (10) или (9) и (11)] обеспечивается при повреждении в начале и не обеспечивается при повреждении в конце участка (см. рис. 8 и 9).

Если имеются такие участки, на которых находится точка, ограничивающая зону надежной отстройки согласуемого реле сопротивления, и при этом надежное действие органов пуска в. ч. передатчика не обеспечивается как при повреждении в конце, так и при повреждении в начале участка, то смежные участки, расположенные ближе к участку, на котором установлена согласуемая защита, являются расчетными для выбора сопротивления срабатывания реле сопротивления по условию согласования по п. 4 [выражение (15)].

Кроме того, должна производиться проверка надежного срабатывания органа пуска в. ч. передатчика, а в случае необходимости и выбор сопротивления срабатывания реле сопротивления по условию согласования при повреждении в трансформаторе (автотрансформаторе) и в сети за трансформатором (автотрансформатором) каждой подстанции, начиная от примыкающей к линии, на которой установлено согласуемое реле сопротивления, до подстанции, примыкающей к расчетному участку. При этом трансформатор (автотрансформатор) условно представляется как распределенное сопротивление бесконечно большого значения (что учитывает возможность повреждения в обмотке трансформатора или автотрансформатора вблизи нулевой точки), при повреждении в котором и рассматривается согласование в соответствии с пп. 2—4.

В целях упрощения расчета любая линия без обходных связей, от начала которой не отстроено согласуемое реле сопротивления, может рассматриваться в целом как расчетный участок.

Следует отметить, что при наличии у рассматриваемого участка (на котором установлены согласуемые защиты) нескольких обходных связей расчетной для согласования реле сопротивления с пусковым органом устройства блокировки при качаниях, реагирующим на ток обратной последовательности (например, типа КРБ-126) является, как правило, кратчайшая обходная связь (в частности, параллельная линия). Указанное следует из анализа выражения (1) табл. 1 (см. п. 6), поскольку значение коэффициента токораспределения $k'_т$ находится в прямой, а отношение сопротивлений $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ в обратной зависимости от длины обходной связи, на которой рассматривается повреждение.

Однако необходимо учитывать, что при присоединении к обходной связи (независимо от ее длины) трансформаторов (автотрансформаторов) с заземленной нейтралью дополнительно требуется проверить согласование при повреждении в этих трансформаторах (автотрансформаторах) и в сети за ними.

6. Расчетные режимы для проверки надежности срабатывания органа пуска в. ч. передатчика по п. 2 и 3, а также для выбора сопротивления срабатывания реле сопротивления по условию согласования по п. 4 могут быть выбраны по аналогии с согласованием защит на линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации.

При согласовании реле сопротивления с устройством блокировки при качаниях, имеющим пуск по току обратной последовательности, в сетях сравнительно простой конфигурации расчетными являлись режимы, при которых коэффициент токораспределения $k'_т$ имел минимальное значение, а система, примыкающая к месту установки согласуемой защиты, находилась в минимальном режиме (разд. Б, II п. 6 и 8 и приложение II, А, п. 1 и 2).

Указанным условиям в сложной сети соответствует режим, в котором включены все обходные связи линии, на которой установлена согласуемая защита ($k'_т$ минимальный), а примыкающая к месту установки согласуемой защиты часть системы как в отношении питающих мощностей, так и включенных линий находится в реальном минимальном режиме.

При согласовании реле сопротивления с устройством блокировки при качаниях, имеющим пуск по напряжению обратной последовательности, в сетях сравнительно простой конфигурации расчетными являлись режимы, при которых коэффициент токораспределения $k'_т$ имел максимальное значение, а система, примыкающая к месту установки согласуемой защиты, находилась в максимальном режиме (разд. Б, II п. 6, 8 и приложение II, А, 6).

Указанным условиям в сложной сети соответствует режим, в котором включено минимальное число обходных связей линии, на которой установлена согласуемая защита ($k'_т$ максимальный), а примыкающая к месту установки согласуемой защиты часть системы как в отношении питающих мощностей, так и включенных линий находится в максимальном режиме.

7. В соответствии с п. 1 и разд. Б, II п. 4 при проверке надежности срабатывания реле органа пуска в. ч. передатчика по пп. 2 и 3, а также при выборе сопротивления срабатывания реле сопротивления по условию согласования по п. 4 построение всех расчетных кривых целесообразно производить с учетом нагрузки. При этом расчетным нагрузочным режимом является такой, при котором ток в рассматриваемом участке (участок п/ст *I* — п/ст *II* на рис. 8,*а*) максимален и проходит в сторону расчетного для согласования участка (участок п/ст *III*—п/ст *IV*), т. е. режим максимального включения нагрузок на подстанциях, лежащих между участком, на котором установлена согласуемая защита, и расчетным участком (на п/ст *II* и *III* сети по рис. 8), и минимального включения нагрузок на подстанциях, лежащих со стороны согласуемой защиты (на п/ст *I* сети по рис. 8).

8. Следует отметить, что в случаях, когда расчетным участком по п. 5 является линия без обходных связей, а также трансформатор (автотрансформатор) расчеты по п. 2 и 4 могут быть несколько упрощены.

а) Определение точки, ограничивающей максимально возможную зону, охватываемую согласуемым реле сопротивления, может быть произведено не графически, как показано в п. 2 «б», а с помощью выражения:

$$\Delta z = k_т(1{,}15 z_{с.з} - z_з), \qquad (16)$$

где Δz — сопротивление части расчетного участка, не входящей в зону надежной отстройки согласуемого реле сопротивления, т. е. части расчетного участка, при повреждении на которой согласуемое реле сопротивления может сработать;

$1{,}15 z_{с.з}$ — максимально возможное первичное сопротивление, при котором согласуемое реле сопротивления может сработать;

$z_з$ — первичное сопротивление в месте установки согласуемой защиты при двухфазном коротком замыкании в начале расчетного участка;

$k_т$ — коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока, проходящего в месте установки согласуемой защиты, к току в расчетном участке.

б) Определение точки, ограничивающей зону надежного срабатывания реле пускового органа устройства блокировки, при замыканиях между двумя фазами может быть произведено не графически, как показано в п. 4«б», а с помощью выражений:

для устройства блокировки с пуском по току обратной последовательности

$$\Delta z = \frac{I_{2з} z_{1\Sigma}}{1{,}2 I_{2с.р.п}} - z_{1\Sigma}; \qquad (17)$$

для устройства блокировки с пуском по напряжению обратной последовательности

$$\Delta z = \frac{U_{2з} z_{1\Sigma}}{1{,}2 U_{2с.р.п}} - z_{1\Sigma}, \qquad (18)$$

где Δz — сопротивление части расчетного участка, входящей в зону надежного срабатывания пускового органа устройства блокировки при замыканиях между двумя фазами;

$I_{2з}$ и $U_{2з}$ — первичный ток и напряжение обратной последовательности в месте установки защиты, с которой производится согласование, при замыкании между двумя фазами в начале расчетного участка;

$1{,}2I_{2с.р.п}$ и $1{,}2U_{2с.р.п}$ — первичный ток и напряжение обратной последовательности в месте установки защиты, с которой производится согласование, обеспечивающие надежное срабатывание блокировки при замыканиях между двумя фазами; $I_{2с.р.п}$ может быть определено в соответствии с приложением II, А, п. 1 и 3;

$z_{1\Sigma}$ — результирующее сопротивление прямой последовательности при коротком замыкании в начале расчетного участка.

В. СОГЛАСОВАНИЕ ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ УСТРОЙСТВ БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ ОБОИХ КОНЦОВ ЛИНИИ МЕЖДУ СОБОЙ

I. Общие положения

В настоящем разделе рассматривается согласование устройства блокировки при качаниях с устройством блокировки при качаниях защит противоположного конца линии, что является спецификой расчета при использовании дистанционной защиты совместно с в. ч. блокировкой (разд. А).

Рассматриваемое согласование заключается в том, что при любом внешнем многофазном повреждении, когда пусковой орган устройства блокировки при качаниях защиты, установленной со стороны, где мощность короткого замыкания направлена от шин в сторону линии (например, защиты *1* на рис. 6,*а*), находится на грани срабатывания, должно обеспечиваться надежное действие пускового органа устройства блокировки при качаниях защиты, установленной на противоположном конце линии (защиты *2* на рис. 6,*а*), что обеспечит посылку в. ч. блокирующего сигнала.

2. Согласование производится при металлическом коротком замыкании исходя из того, что пусковые органы устройств блокировки при качаниях являются быстродействующими и срабатывают в момент возникновения короткого замыкания, когда переходное сопротивление между фазами невелико и его можно не учитывать; при этом цепь пуска в. ч. передатчика оказывается замкнутой до момента возврата устройства блокировки.

3. На линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации (рис. 6), рассматриваемое согласование может производиться с использованием расчетных выражений по методу, изложенному в разд. В, II; на линиях, входящих в сеть сложной конфигурации, согласование должно производиться по методу, изложенному в разд. В, III.

II. Согласование на линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации (рис. 6)

1. Согласование по чувствительности пусковых органов устройств блокировки при качаниях на линиях сравнительно простой конфигурации (например, по рис. 6) может производиться по расчетным выражениям, приведенным в табл. 2 для схем линий по рис. 6. В приложении II, Б рассматриваются расчетные условия для указанного согласования.

2. Расчетные выражения даны для случаев установки на концах линии устройств блокировки при качаниях как с пуском по току обратной последовательности (например, типа КРБ-126), так и с пуском по напряжению обратной последовательности (например, типа КРБ-125).

При этом рассмотрены следующие случаи.

а) На данном конце линии установлено устройство блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности и на противоположном — также с пуском по напряжению обратной последовательности — выражение (19).

б) На данном конце линии установлено устройство блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности, а на противоположном — с пуском по току обратной последовательности — выражение (20).

в) На данном конце линии установлено устройство блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности и на противоположном — также с пуском по току обратной последовательности — выражения (21) и (22).

г) На данном конце линии установлено устройство блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности, а на противоположном — с пуском по напряжению обратной последовательности — выражение (23).

3. Расчетные выражения (19) и (21)—(23) могут использоваться как для линий без обходных связей (рис. 6,*а*), так и с обходными связями (рис. 6,*б* и *в*); выражение (20) используется только для линий без обходных связей.

4. Расчет по условию согласования по чувствительности устройств блокировки с пуском по напряжению обратной последовательности зависит от наличия или отсутствия промежуточных подстанций на обходной связи, а также от чувствительности устройств блокировки при коротком замыкании на обходной связи (приложение II, Б, п. 1).

а) При отсутствии промежуточной подстанции на обходной связи согласование должно производиться при коротком замыкании как на обходной связи, так и в системе *II*. В последнем случае расчет ведется по выражению (19), в котором значение коэффициента $k'_т$ определяется по короткому замыканию на шинах п/ст *II*, противоположной месту установки защиты *1*, параметры срабатывания устройства блокировки которой выбираются. Согласование при коротком замыкании на обходной связи ведется с использованием кривых зависимости

Таблица 2

Расчетные выражения для согласования пусковых органов устройств блокировки при качаниях на линиях без ответвлений в простой сети

Исходная схема на рис. 6	Устройство блокировки при качаниях		Расчетные выражения
	защиты *1*	защиты *2*	
а *б* *в*	С пуском по напряжению обратной последовательности	С пуском по напряжению обратной последовательности	$U_{2с.р.п1} \geqslant k_н \dfrac{U_{2с.р.п2}}{1 + k'_т \dfrac{z_{1л}}{z_{1cI}}}$ (19)
а		С пуском по току обратной последовательности	$U_{2с.р.п1} \geqslant k_н I^{(1,1)}_{2с.р.п2} z_{1cI}$ (20)
а *б* *в*	С пуском по току обратной последовательности		$I_{2уст1} \geqslant k_н I_{2уст2} \dfrac{n_{т2}}{n_{т1}}$ (21) $k_{торм1} \geqslant k_н k_{торм2}$ (22)
а *б* *в*		С пуском по напряжению обратной последовательности	$I_{2с.р.п1} \geqslant k_н \dfrac{U_{2с.р.п2}}{\dfrac{z_{1cI}}{k'_т} + z_{1л}}$ (23)

Примечание. Расчетные выражения даны для согласования по чувствительности устройства блокировки при качаниях защиты *1* с устройством блокировки при качаниях защиты *2* в схемах сети по рис. 6.

Обозначения:

$U_{2с.р.п1}$ и $U_{2с.р.п2}$ — первичные напряжения срабатывания обратной последовательности устройств блокировки при качаниях соответственно защит *1* и *2*;

$I_{2с.р.п1}$ и $I^{(1,1)}_{2с.р.п2}$ — первичный ток срабатывания обратной последовательности устройств блокировки при качаниях соответственно защит *1* и *2*;

$I_{2уст1}$ и $I_{2уст2}$ — уставки по току обратной последовательности устройств блокировки при качаниях соответственно защит *1* и *2*;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;

$k_{торм1}$ и $k_{торм2}$ — коэффициенты торможения устройств блокировки при качаниях соответственно защит *1* и *2*;

$n_{т1}$ и $n_{т2}$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока, используемых соответственно для защит *1* и *2*;

$z_{1л}$, z_{1cI} и $k'_т$ — см. обозначения к табл. 1.

напряжений обратной последовательности в местах установки согласуемых защит от удаленности короткого замыкания на обходной связи в соответствии с указанным в приложении II, Б, п. 1.

В частном случае, когда устройство блокировки защиты *2* удовлетворяет требованиям чувствительности ($k_ч \geqslant 1{,}5$) при коротком замыкании в точке на обходной связи, соответствующей отсутствию тока по линии, защита которой рассматривается, специальное согласование при коротком замыкании на обходной связи не требуется. Например, согласование не требуется при коротком замыкании на параллельной линии, поскольку в этом случае устройства блокировки при качаниях всегда удовлетворяют требованиям чувствительности.

б) При наличии на обходной связи промежуточной подстанции в зоне действия дистанционной защиты *1* (например п/ст *III* на рис. 6,*в*) дополнительно к указанному в п. «а» производится согласование при коротком замыкании на обходной связи по выражению (19), в котором $k'_т$ определяется по короткому замыканию на шинах промежуточной подстанции. В этом случае короткое замыкание на шинах п/ст *II* не является расчетным для определения $k'_т$ и поэтому не должно рассматриваться.

При определении $U_{2с.р.п.т}$ по выражению (19) в качестве расчетного должен приниматься режим, соответствующий минимальному значению $k'_т$ при максимальном значении z_{1cI} (минимальном режиме работы системы *I*).

Как следует из приложения II, Б, согласование устройств блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности возможно в значительном числе случаев без дополнительного загрубления. При равных значениях напряжений срабатывания устройств блокировки по концам линии без обходных связей $U_{2с.р.п1} = U_{2с.р.п2}$ согласование соблюдается при

$$\frac{z_{1л}}{z_{1cI}} \geqslant 0{,}5. \quad (24)$$

В приложении также указаны условия, при которых возможно согласование устройств блокировки при качаниях при других соотношениях между напряжениями срабатывания.

5. Согласование устройства блокировки при качаниях, имеющего пуск по напряжению обратной последовательности, с устройством блокировки при качаниях, имеющим пуск по току обратной последовательности, при отсутствии обходных связей по выражению (20) возможно в значительном числе случаев. Однако согласование устройств блокировки в обратном направлении (т. е. устройства, имеющего пуск по току, с устройством, имеющим пуск по напряжению, по выражению (23) может быть произведено в меньшем числе случаев (приложение II, Б).

При определении $U_{2с.р.п1}$ по выражению (20) в качестве расчетного принимается минимальный режим работы системы *I*.

Значение $I^{(1,1)}_{2с.р.п2}$, используемое в выражении (20), определяется по выражению (4).

6. При расчете по выражению (23) в качестве расчетного принимается максимальное значение $k'_т$ (включено наименьшее число обходных связей), которое оп-

ределяется по короткому замыканию на шинах противоположной подстанции.

Короткое замыкание на обходной связи в качестве расчетного рассматриваться не должно.

Выражение (23) дано в целях упрощения расчетов без учета торможения, что допустимо, так как это повышает надежность согласования. При этом уставка устройства блокировки при качаниях по току обратной последовательности может быть определена по выражению:

$$I_{2уст1} \geqslant \frac{I_{2с.р.п1}}{n_т}, \qquad (25)$$

где $n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

При определении $I_{2с.р.п1}$ по выражению (23) в качестве расчетного принимается максимальный режим системы *I*.

Следует отметить, что согласование по рассматриваемому условию наиболее целесообразно использовать при наличии большого числа обходных связей ($k'_т$ мал).

7. Выражения (21) и (22) составлены на основании аналитического выражения характеристики срабатывания устройства блокировки при качаниях:

$$I_{2с.р}=k_{торм}I_{торм}+I_{2уст}, \qquad (26)$$

где $k_{торм}$ — коэффициент торможения;
$I_{торм}$ — тормозной ток;
$I_{2уст}$ — уставка устройства блокировки при качаниях по току обратной последовательности.

Условие согласования по чувствительности считается выполненным, если одновременно удовлетворяются оба расчетных выражения [(21) и (22)].

8. Расчетные выражения (19)—(23) даны для случая неиспользования в пусковых органах устройств блокировки при качаниях защит *1* и *2* тока нулевой последовательности. Неучет тока нулевой последовательности при его использовании только в пусковом органе напряжения обратной последовательности устройства блокировки при качаниях защиты *1* недопустим, так как это может привести к излишнему срабатыванию защиты при внешних замыканиях двух фаз на землю. Использование тока нулевой последовательности в устройстве блокировки при качаниях защиты *2* во всех случаях допустимо не учитывать, так как это повышает надежность согласования этих устройств.

При использовании в устройствах блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности, например, типа КРБ-125 тока нулевой последовательности (когда это необходимо по условиям чувствительности) выбор уставок по условию согласования может быть проведен следующим образом.

а) Уставка по напряжению обратной последовательности определяется по значению $U_{2с.р.п1}$, полученному в соответствии с выражением (19).

б) Уставка по току нулевой последовательности (при одинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов тока по концам линии) грубо приближенно с запасом определяется по выражению:

$$3I_{0\ уст1} \geqslant k_н 3I_{0уст2}, \qquad (27)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;
$3I_{0уст2}$ — уставка по току нулевой последовательности устройства блокировки при качаниях защиты *2*.

Следует отметить, что при применении рассмотренного упрощенного способа затрудняется согласование по чувствительности в обратном направлении (т. е. устройства блокировки защиты *2* с устройством блокировки защиты *1*).

Как показано в приложении II, А, учет тока нулевой последовательности в устройствах блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности (например, типа КРБ-126) при наиболее употребительных уставках $3I_{0уст}=3$ и 6А приводит лишь к незначительному повышению чувствительности. В соответствии с этим при использовании тока нулевой последовательности только в пусковом органе устройства блокировки защиты *1* при уставках $3I_{0уст}=3$ и 6А допустимо производить расчет по выражениям (21) и (23), если в них принять значение $k_н$ увеличенным примерно на 10%.

Использование уставок $3I_{0уст}=1{,}5$ А в пусковом органе тока обратной последовательности не рекомендуется, так как это может привести к загрублению устройств блокировки при качаниях при согласовании их по чувствительности.

III. Согласование на линиях, входящих в сеть сложной конфигурации

1. По рассматриваемому ниже методу производится согласование пусковых органов устройств блокировки при качаниях в следующих случаях:

а) согласование устройств блокировки, имеющих пуск по напряжению обратной последовательности, с устройствами блокировки, имеющими пуск также по напряжению обратной последовательности;

б) согласование устройств блокировки, имеющих пуск по напряжению обратной последовательности, с устройствами блокировки, имеющими пуск по току обратной последовательности;

в) согласование устройств блокировки, имеющих пуск по току обратной последовательности, с устройствами блокировки, имеющими пуск по напряжению обратной последовательности.

Согласование устройств блокировки, имеющих пуск по току обратной последовательности, с устройствами блокировки, имеющими пуск также по току обратной последовательности, производится по выражениям (21) и (22) табл. 2 так же, как и на линиях, входящих в сеть простой конфигурации (разд. В, II).

Следует отметить, что согласование устройств блокировки, имеющих пуск по напряжению обратной последовательности, с устройствами блокировки, имеющими пуск по току обратной последовательности, в ряде случаев невозможно, например, при установке их на параллельных линиях (приложение II, Б, п. 3).

2. Для согласования по рассматриваемому методу требуется ряд кривых, которые могут быть построены на основании расчетов токов коротких замыканий; этот расчет целесообразно производить с учетом нагрузок.

3. Согласование устройства блокировки при качаниях, имеющего пуск по напряжению обратной последовательности, с устройством блокировки при качаниях, имеющим пуск по току или напряжению обратной последовательности и установленным на противоположном конце линии (по п. 1 «а» и «б»), производится при замыканиях между двумя фазами и замыканиях двух фаз на землю в следующем порядке (рис. 10,*а*).

а) На расчетных для согласования участках (п. 7) для рассматриваемых видов повреждения строятся кривые коэффициента чувствительности устройства блокировки при качаниях, с которым производится согласование, в зависимости от удаленности места повреждения (13) и (14) и кривая первичного напряжения обратной последовательности в месте установки согласу-

емого устройства блокировки также в зависимости от удаленности места повреждения:

$$U_{2з1}^{(2)} = f(l); \quad (28)$$

$$U_{2з1}^{(1,1)} = f(l). \quad (29)$$

б) Определяются точки, ограничивающие зоны, где удовлетворяются условия надежного срабатывания (9) и (10) устройства блокировки, с которым производится согласование при рассматриваемых видах повреждения (точка N и M на рис. 10,*а*).

в) По кривым (28) и (29) определяется расчетное первичное напряжение обратной последовательности в месте установки согласуемого устройства блокировки $U_{2з.\,расч}$, от которого она должна быть отстроена, как наибольшее из напряжений при повреждениях в точках, ограничивающих зоны надежного срабатывания при рассматриваемых видах повреждения.

г) Напряжение срабатывания согласуемого устройства блокировки проверяется или выбирается по условию согласования

$$U_{2с.р.п1} \geqslant k_н U_{2з1расч}, \quad (30)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности; может быть принят равным 1,2.

Следует отметить, что в случаях, когда расчетным участком по п. 7 является линия без обходных связей, а также трансформатор (автотрансформатор), расчет может быть несколько упрощен по аналогии с разд. Б, III, п. 8.

4. Согласование устройства блокировки при качаниях, имеющего пуск по току обратной последовательности, с устройством блокировки при качаниях, имеющим пуск по напряжению обратной последовательности (по п. 1 «в»), производится в том же порядке (рис. 10,*б*), что и согласование, рассмотренное в п. 3.

Отличие заключается в следующем.

а) Вместо кривых (28) и (29) строятся кривые первичного тока обратной последовательности в месте установки согласуемого устройства блокировки в зависимости от удаленности места повреждения

$$I_{2з1}^{(2)} = f(l). \quad (28а)$$

$$I_{2з1} = f(l) \quad (29а)$$

б) По кривым (28а) и (29а) определяется расчетный первичный ток обратной последовательности в месте установки согласуемого устройства блокировки $I_{2з1расч}$, от которого она должна быть отстроена, как наибольший из токов при повреждениях в точках, ограничивающих зоны надежного срабатывания при рассматриваемых видах повреждения.

в) Ток срабатывания согласуемого устройства блокировки проверяется или выбирается по условию согласования

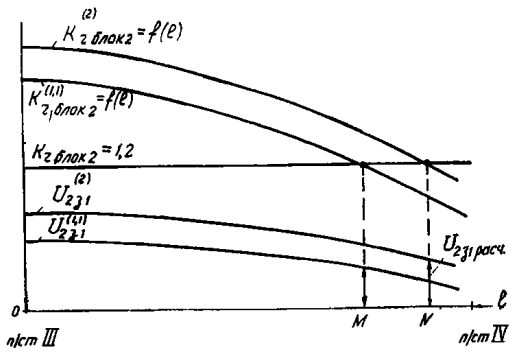
$$I_{2с.р.п1} \geqslant k_н I_{2з1расч}, \quad (31)$$

где $k_н$ — то же, что и в (30).

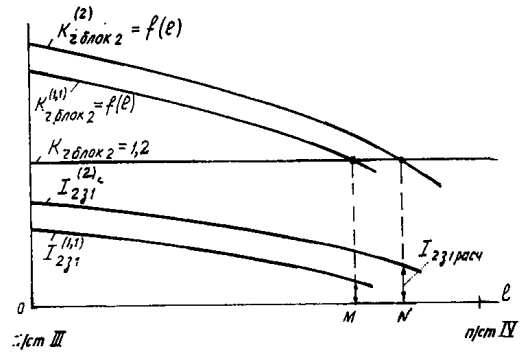
5. Рассмотренное в п. 3 и 4 согласование устройств блокировки дано в предположении, что ток $3I_0$ в устройствах блокировки не используется.

В случаях, когда ток $3I_0$ используется в устройствах блокировки, построение кривой коэффициента чувствительности при замыканиях двух фаз на землю устройства, с которым производится согласование, а также проверка или выбор уставок согласуемого устройства производятся с учетом тока $3I_0$ и использованием характеристик чувствительности пускового органа устройства блокировки при качаниях.

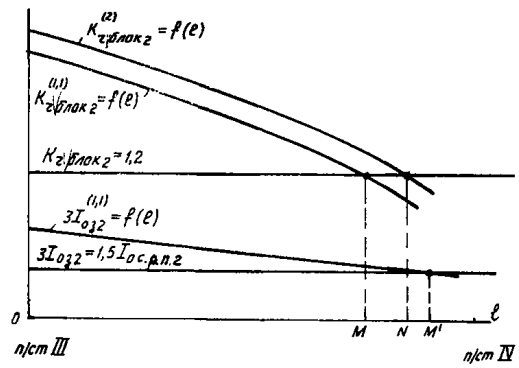
6. В тех случаях, когда при согласовании по п. 3, 4 или 5 устройство блокировки недопустимо загрубляется, можно попытаться несколько снизить его уставку путем учета реле тока нулевой последовательности, действующего на пуск в. ч. передатчика той же защиты, что и устройство блокировки, с которым производится согласование.



а) Согласование устройства блокировки при качаниях, имеющего пуск по напряжению обратной последовательности.



б) Согласование устройства блокировки при качаниях, имеющего пуск по току обратной последовательности



в) Согласование устройств блокировки при качаниях с учётом действия чувствительного реле тока нулевой последовательности

Рис. 10. Согласование устройств блокировки при качаниях на линиях без ответвлений в сложной сети.

Примечания: 1. За исходную принята схема по рис. 8,*а*.

2. Рассматривается согласование устройства блокировки при качаниях защиты *1* с устройством блокировки при качаниях защиты *2*.

3. См. примечание 2 к рис. 8.

Указанное в некоторых случаях позволяет увеличить расчетную зону надежного срабатывания реле органа пуска в. ч. передатчика, от повреждения в конце которой должно быть отстроено согласуемое устройство блокировки (рис. 10,*в*).

7. Расчетными участками для согласования пусковых органов устройств блокировки при качаниях обоих концов линии между собой по п. 3—6 являются такие участки, на которых находится точка, ограничивающая зону надежного срабатывания устройства блокировки, с которым производится согласование (например, участок п/ст *III* — п/ст *IV* на рис. 10).

Кроме того, при согласовании должны также рассматриваться повреждения в трансформаторе (автотрансформаторе) и в сети за трансформатором (автотрансформатором) каждой подстанции, начиная от примыкающей к линии, на которой установлены согласуемые между собой устройства блокировки, до подстанции, примыкающей к расчетному участку. При этом трансформатор (автотрансформатор) условно представляется как распределенное сопротивление бесконечно большого значения (что учитывает возможность повреждения в обмотке трансформатора или автотрансформатора вблизи нулевой точки), при повреждении в котором и рассматривается согласование в соответствии с п. 3—5.

Следует отметить, что в целях упрощения расчета любая линия без обходных связей, от начала которой не отстроена согласуемая защита, может рассматриваться в целом как расчетный участок.

При выборе расчетного участка необходимо также учитывать, что согласование должно рассматриваться в зоне, где работает дистанционная защита, на пуск которой действует согласуемое устройство блокировки.

8. Расчетные режимы для согласования могут быть выбраны по аналогии с согласованием устройств блокировки при качаниях на линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации.

При согласовании устройства блокировки, имеющего пуск по напряжению обратной последовательности, с устройством блокировки, имеющим пуск также по напряжению обратной последовательности, в сетях простой конфигурации (по рис. 6) расчетным являлся режим, при котором коэффициент токораспределения $k'_т$ имел минимальное значение, а система со стороны установки согласуемого устройства находилась в минимальном режиме (разд. В, II, п. 4).

Такими же будут расчетные режимы и для согласования устройства блокировки, имеющего пуск по напряжению обратной последовательности, с устройством блокировки, имеющим пуск по току обратной последовательности.

Указанным условиям в сложной сети соответствует режим, в котором включены все обходные связи линии, на которой установлено согласуемое устройство ($k'_т$ минимальный), а примыкающая к месту установки согласуемой защиты часть системы как в отношении питающих мощностей, так и включенных линий находится в реальном минимальном режиме.

При согласовании устройства блокировки, имеющего пуск по току обратной последовательности, с устройством блокировки, имеющим пуск по напряжению обратной последовательности, в сетях простой конфигурации (по рис. 6) расчетным являлся режим, при котором коэффициент токораспределения $k'_т$ имел максимальное значение, а система со стороны установки согласуемого устройства находилась в максимальном режиме (разд. В, II, п. 5).

Указанным условиям в сложной сети соответствует режим, в котором включено наименьшее число обходных связей линии, на которой установлено согласуемое устройство ($k'_т$ максимальный), а примыкающая к месту установки согласуемого устройства блокировки часть системы как в отношении питающих мощностей, так и включенных линий находится в максимальном режиме.

Г. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДЕЙСТВИЯ ПРИ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

1. Первичный ток срабатывания реле тока, включенного на ток нулевой последовательности и предназначенного для пуска в. ч. передатчика при замыканиях на землю (реле *РТ* в схеме по рис. 1), выбирается по условию отстройки от тока в нулевом проводе трансформаторов тока в максимальном нагрузочном режиме по выражению

$$I^{(рт)}_{0с.р.п} = \frac{k_н}{k_в}(I_{0нб.нагр} + 3I_{0н.р}), \qquad (32)$$

где $I_{0нб.нагр}$ — ток небаланса (первичный) в нулевом проводе трансформаторов тока в максимальном нагрузочном режиме;

$I_{0\,н.р}$ — ток нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме, обусловленный несимметрией сети, если такая несимметрия имеется;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;

$k_в$ — коэффициент возврата реле.

Ток $I_{0нб.нагр}$ грубо приближенно может быть определен по выражению:

$$I_{0нб.нагр} \approx (0{,}03 \div 0{,}05) I_{нагр.макс}, \qquad (32а)$$

где $I_{нагр.макс}$ — максимальный ток нагрузки линии.

При этом для случаев отсутствия тока нулевой последовательности, обусловленного несимметрией нагрузки ($I_{0н.р}=0$), значение вторичного тока срабатывания реле $I^{(рт)}_{0с.р.в}$ может быть принято (при номинальном вторичном токе 5 А) не превышающим 0,5 А.

2. Первичный ток срабатывания реле тока, включенного на ток нулевой последовательности и предназначенного для остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю (*РТН* в схеме по рис. 1), выбирается по условиям:

а) согласования по чувствительности с реле тока нулевой последовательности, действующим на пуск в. ч. передатчика в защите, установленной на противоположном конце линии:

$$I^{(ртн)}_{0\,с.р.п} \geqslant k_н I^{(рт)}_{0\,с.р.п}; \qquad (33)$$

б) отстройки от расчетного максимального тока небаланса при внешнем замыкании между фазами вблизи места установки защиты или при качаниях (условие учитывается только в случае неиспользования для остановки в. ч. передатчика реле напряжения, включенного на напряжение нулевой последовательности):

$$I^{(ртн)}_{0\,с.р.п} \geqslant k'_н I_{0нб.макс}. \qquad (34)$$

В выражениях (33) и (34):

$I^{(рт)}_{0с.р.п.}$ — первичный ток срабатывания реле тока, с которым производится согласование;

$I_{0нб.макс}$ — ток небаланса (первичный) в нулевом проводе трансформаторов тока при внешнем замыкании между фазами или качаниях;

$k_н$, $k'_н$ — коэффициенты надежности, принимаемые

$$k_н = 1{,}5 \div 2;\ k'_н = 1{,}25.$$

Ток $I_{0нб.макс}$ может быть определен по выражению

$$I_{0нб.макс} \approx 0{,}1 I_{расч}, \qquad (35)$$

где $I_{расч}$ — расчетный максимальный ток в месте установки согласуемой защиты при внешнем трехфазном коротком замыкании вблизи места установки этой защиты или при качаниях.

3. Первичное напряжение срабатывания реле, включенного на напряжение нулевой последовательности (реле *РН* в схеме по рис. 1), должно выбираться по условию отстройки от напряжения на реле при междуфазном коротком замыкании в месте установки защиты. Практически первичное напряжение срабатывания указанного реле выбирается по условию отстройки от напряжения на реле в нормальном нагрузочном режиме:

$$U_{0с.р.п} = \frac{k_н}{k_в}(U_{0нб} + 3U_{он.р}), \qquad (36)$$

где $U_{0нб}$ — напряжение небаланса (первичное) на реле в рассматриваемом режиме;

$k_н$ и $k_в$ — то же, что в выражении (32);

$U_{он.р}$ — напряжение нулевой последовательности в нагрузочном режиме, обусловленное несимметрией сети.

При применении реле напряжения типа РНН-57, выполненного с фильтром третьей гармоники, и отсутствии напряжения нулевой последовательности, обусловленного несимметрией нагрузки ($U_{он.р}=0$), исходя из опыта эксплуатации напряжение срабатывания этого реле может быть принято 4 В.

Д. ПРОВЕРКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

1. Чувствительность органов остановки в. ч. передатчиков каждого полукомплекта защиты проверяется при коротком замыкании на противоположном конце линии.

При этом в соответствии с «Правилами устройств электроустановок» защита должна иметь следующие коэффициенты чувствительности:

а) реле сопротивления дистанционной защиты, используемые для остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях, — $k_ч \geqslant 1{,}5$;

б) реле тока и напряжения, включенные на токи и напряжения нулевой последовательности (реле *РТН* и *РН* в схеме по рис. 1), используемые для остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю, — $k_ч \geqslant 2$;

в) реле направления мощности, включенное на ток и напряжение нулевой последовательности и используемое для остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю, — $k_ч \geqslant 3$.

2. Коэффициент чувствительности реле сопротивления дистанционной защиты, действующих на остановку в. ч. передатчика, определяется по выражению

$$k_ч = \frac{z_{с.з}}{z_{1л}}, \qquad (37)$$

где $z_{с.з}$ — первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления;

$z_{1л}$ — сопротивление прямой последовательности защищаемой линии.

3. Чувствительность реле сопротивления по току точной работы определяется коэффициентом чувствительности $k_{ч.точ}$ при замыкании между двумя фазами в конце защищаемой линии:

$$k_{ч.точ} = \frac{I_{к.з.мин}}{I_{з.точ}}, \qquad (38)$$

где $I_{к.з.мин}$ — первичный ток в месте установки защиты при металлическом коротком замыкании между двумя фазами в конце защищаемой линии в расчетном минимальном режиме;

$I_{з.точ}$ — ток точной работы защиты (первичный) при рассматриваемом виде повреждения; принимается для соответствующего реле сопротивления и времени от начала короткого замыкания примерно $t=0{,}12$ с.

Минимальное значение коэффициента чувствительности $k_{ч.точ}$ допускается 1,3.

4. Целесообразно, чтобы органы остановки в ч. передатчика при замыканиях на землю (реле ток , напряжения и направления мощности нулевой последовательности) удовлетворяли требованию чувствительности при замыканиях на землю не только одной, но и двух фаз. Последнее требуется, например, для обеспечения действия защиты при данном виде повреждения на защищаемой линии, возникшем после предшествующего возмущения (срабатывания трубчатого разрядника, внешнего короткого замыкания и т. д.) в момент, когда устройство блокировки при качаниях, сработавшее в результате этого возмущения, уже разомкнуло свой контакт в цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях, заблокировав эту цепь до момента возврата устройства блокировки.

Соблюдение (или несоблюдение) требований чувствительности при замыкании двух фаз на землю учитывается также при выборе схемы выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях в случаях замыканий на землю (п. 5, а также приложение VI).

5. Значение коэффициента чувствительности реле тока, используемого для остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю (*РТН* в схеме по рис. 1), определяется по выражению:

$$k_{ч.т} = \frac{3I_{0к.з.мин}}{I^{(РТН)}_{0с.р.п}}, \qquad (39)$$

где $I^{(РТН)}_{0с.р.п}$ — первичный ток срабатывания реле;

$I_{0к.з.мин}$ — ток нулевой последовательности в месте установки защиты при замыкании на землю расчетного вида в расчетном режиме работы.

В качестве расчетного режима принимается реально возможный режим, при котором имеет место минимальное значение тока $I_{0к.з.мин}$.

Если реле тока, действующее на остановку в. ч. передатчика при замыканиях на землю, удовлетворяет требованиям чувствительности при замыкании двух фаз на землю, оно может не использоваться для выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях в случаях замыканий на землю (приложение VI).

6. Значение коэффициента чувствительности реле напряжения нулевой последовательности определяется по выражению

$$k_{ч.н} = \frac{3U_{0к.з.мин}}{U_{0с.р.п}}, \qquad (40)$$

где $U_{0с.р.п}$ — первичное напряжение срабатывания реле;

$U_{0к.з.мин}$ — напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при замыкании на землю расчетного вида в расчетном режиме работы.

В качестве расчетного режима принимается реально возможный режим, при котором имеет место минимальное значение напряжения $U_{0к.з.мин}$.

В случае, если данное реле напряжения не удовлетворяет требованиям чувствительности, должен рассматриваться вопрос о возможности исключения его замыкающего контакта из цепи остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю. При этом ток срабатывания реле тока нулевой последовательности, действующего на остановку в. ч. передатчика, должен выбираться не только по выражению (33), но и по выражению (34).

7. Значение коэффициента чувствительности реле направления мощности, действующего при замыканиях

на землю, определяется по выражению

$$k_{\text{ч.м}} = \frac{3I_{\text{0к.з.мин}} 3U_{\text{0к.з.мин}}}{n_{\text{н}} n_{\text{т}} S_{\text{ос.р}}}, \qquad (41)$$

где $I_{\text{0к.з.мин}}$ и $U_{\text{0к.з.мин}}$ — ток и напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при замыкании на землю расчетного вида в расчетном режиме работы;

$n_{\text{н}}$, $n_{\text{т}}$ — коэффициенты трансформации соответственно трансформаторов напряжения и трансформаторов тока;

$S_{\text{0ср}}$ — мощность срабатывания реле направления мощности.

Для ориентировочных расчетов значения $I_{\text{0к.з.мин}}$ и $U_{\text{0к.з.мин}}$ можно условно принимать теми же, что и при определении чувствительности реле тока и напряжения.

Если условие чувствительности не удовлетворяется, следует рассмотреть реальные режимы, при которых имеют место минимальные значения мощности нулевой последовательности (произведения $3I_{\text{0к.з}} \cdot 3U_{\text{0к.з}}$).

В тех случаях, когда в цепи остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю используются контакты реле тока и напряжения нулевой последовательности (*РТН* и *РН*), чувствительность реле направления мощности типов РБМ-178 и РБМ-177, а также реле направления мощности комплекта защиты типа КЗ-10 может не проверяться, поскольку если реле тока и реле напряжения обладают требуемой чувствительностью, то и реле направления мощности также обладает требуемой чувствительностью (приложение III).

Е. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

I. Пример расчета параметров срабатывания пусковых органов высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности в сети простой конфигурации (по рис. 11)

1. На линии 110 кВ п/ст *I* — п/ст *II* (рис. 11 и табл. 3) установлены трехступенчатая дистанционная защита (с комплектными устройствами типов ДЗ-2 и КРС-1) и токовая направленная защита нулевой последовательности с в. ч. блокировкой, выполненной по схеме рис. 1 (без использования дистанционного пуска в. ч. передатчика). Для пуска в. ч. передатчика используется устройство блокировки при качаниях типа КРБ-126.

Ниже приводится пример расчета параметров срабатывания пусковых органов в. ч. блокировки.

Таблица 3

Сопротивления систем в схеме по рис. 11

Режим работы системы	Сопротивление системы, Ом		
	I	*II*	*III*
Максимальный	$z_{1cI} = 15$ $z_{0cI} = 25$	$z_{1cII} = 10$ $z_{0cII} = 15$	$z_{1cIII} = 5$ $z_{0cIII} = 10$
Минимальный	$z_{1cI} = 20$ $z_{0cI} = 30$	$z_{1cII} = 15$ $z_{0cII} = 20$	$z_{1cIII} = 10$ $z_{0cIII} = 10$

Обозначения:
z_{1c} — сопротивление системы прямой (обратной) последовательности;
z_{0c} — сопротивление системы нулевой последовательности.

Расчет производится в объеме, необходимом для согласования органа остановки в. ч. передатчика защиты *1* с органом пуска в. ч. передатчика защиты *2* и оценки чувствительности органа остановки защиты *1* при замыканиях на землю.

2. Для остановки в. ч. передатчика защиты при междуфазных коротких замыканиях используются реле сопротивления третьей ступени дистанционной защиты, а для пуска в. ч. передатчика — устройство блокировки при качаниях типа КРБ-126. Из расчета защиты получены следующие параметры срабатывания органов защиты, которые ниже принимаются в качестве исходных.

Первичное сопротивление срабатывания третьей ступени дистанционной защиты *1*: $z^{\text{III}}_{\text{с.з1}} = 80$ Ом.

Уставки устройства блокировки при качаниях защиты *2* (во вторичных величинах): $I_{2\text{уст}} = 0{,}75$ А; $k_{\text{торм}} = 0{,}06$ (уставка на $TH_{\text{т}}$ 4%). Ток $3I_0$ в устройстве блокировки при качаниях не используется.

3. Первичный ток срабатывания при двухфазных замыканиях на землю устройства блокировки при качаниях защиты *2* рассчитывается по выражению (4)

$$I^{(1,1)}_{\text{2с.р.п2}} \approx \frac{I_{2\text{уст}} n_{\text{т}} + k_{\text{торм}} I_{\text{нагр}}}{1 - k_{\text{торм}} \sqrt{\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 1\right)\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 2\right) + 1}} =$$

$$= \frac{0{,}75 \cdot 120 + 0{,}06 \cdot 600}{1 - 0{,}06 \sqrt{(0{,}9 + 1)(0{,}9 + 2) + 1}} = 149 \text{ А},$$

$z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma} = 0{,}9$ — отношение результирующих сопротивлений прямой и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания; принято (см. результаты расчета в табл. 4) с запасом, так как точка короткого замыкания K_3 находится вне зоны действия защиты *1*.

Таблица 4

Результаты расчетов токов короткого замыкания (для расчетного минимального режима) в схеме по рис. 11

Параметры короткого замыкания	Точка короткого замыкания		
	K_1	K_2	K_3
Суммарные сопротивления в месте короткого замыкания $z_{1\Sigma}$	9,4	15,4	8,4
$z_{0\Sigma}$	15,2	36,7	9,4
Отношение $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$	0,62	0,42	0,90
Ток обратной последовательности в месте установки защиты *1* при замыкании двух фаз на землю $I^{(1,1)}_{\text{2к.з}}$, А	505	200	103
Утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты *1* при замыкании на землю одной фазы $3I^{(1)}_{\text{ок.з}}$, А	741	201	74
Утроенное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты *1* при замыкании на землю одной фазы $3U^{(1)}_{\text{0к.з}}$, кВ	22,2	6,03	2,22
Утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты *1* при замыкании двух фаз на землю $3I^{(1,1)}_{\text{ок.з}}$, А	630	153	72
Утроенное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты *1* при замыкании двух фаз на землю $3U^{(1,1)}_{\text{0к.з}}$, кВ	18,9	4,59	2,16

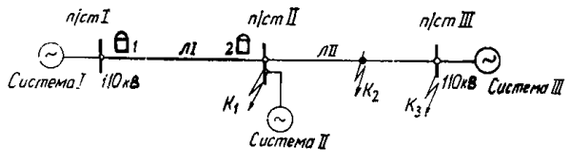


Рис. 11. Исходная схема для примера расчета высокочастотной блокировки защиты линии без ответвлений в простой сети.

Параметры схемы: длина линий $l_{\text{л I}}=75$ км; $l_{\text{л II}}=100$ км; максимальный рабочий ток линии п/ст *I* — п/ст *II* $I_{\text{раб.макс}}=600$ А; коэффициент трансформации трансформаторов тока $n_{\text{т}}=600/5$; удельное сопротивление линий прямой (обратной) последовательности 0,4 Ом/км, нулевой последовательности — 1,4 Ом/км.

Примечание. Сопротивления систем и результаты расчетов токов коротких замыканий (для расчетного минимального режима) приведены соответственно в табл. 3 и 4.

4. Первичное сопротивление срабатывания третьей ступени дистанционной защиты *1* по условию согласования по чувствительности с устройством блокировки при качаниях определяется по выражению (1)

$$z_{\text{с.з.1}} \leqslant 0{,}85\left[\frac{E_{\Phi}}{k_{\text{н}} I^{(1,1)}_{\text{с.р.п2}}\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)} - z_{\text{cI}}\right] =$$

$$= 0{,}85\left[\frac{66{,}5\cdot 10^{3}}{1{,}2\cdot 149\,(0{,}9+2)} - 20\right] = 92 \text{ Ом},$$

где $z_{\text{cI}}=20$ Ом — сопротивление прямой (обратной) последовательности системы *I* в минимальном режиме ее работы;

$E_{\Phi}=66{,}5\cdot 10^{3}$ В — фазная э. д. системы;

$k_{\text{н}}=1{,}2$ — коэффициент надежности.

Проверка согласования по рассмотренному условию не привела к загрублению III ступени дистанционной защиты.

5. Первичный ток срабатывания реле тока *РТ* защит *1* и *2*, включенного на ток нулевой последовательности и предназначенного для пуска в. ч. передатчика при замыканиях на землю, выбирается по условию отстройки от тока в нулевом проводе трансформаторов тока в максимальном нагрузочном режиме по выражению (32):

$$I^{(\text{рт})}_{\text{0с.р.п}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}}\left(I_{\text{0нб.нагр}} + 3I_{\text{0н.р}}\right) = \frac{1{,}2}{0{,}8}\,30 = 45 \text{ А},$$

где $k_{\text{н}}=1{,}2$ — коэффициент надежности;

$k_{\text{в}}=0{,}8$ — коэффициент возврата;

$I_{\text{0нб.нагр}} = 0{,}05 I_{\text{нагр.макс}} = 0{,}05\cdot 600 = 30$ А — ток небаланса нулевой последовательности, определяемый по выражению (32а) при максимальном токе нагрузки $I_{\text{нагр.макс}}=600$ А;

$I_{\text{0н.р}}$ — ток нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме, обусловленный несимметрией сети; принят равным нулю.

Определяется значение вторичного тока срабатывания:

$$I^{(\text{рт})}_{\text{0с.р.в}} = \frac{I^{(\text{рт})}_{\text{0с.р.п}}}{n_{\text{т}}} = \frac{45}{120} = 0{,}37 \text{ А},$$

где $n_{\text{т}}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

В соответствии с указаниями разд. Г, п. 1 настоящей главы принимается

$$I^{(\text{рт})}_{\text{0с.р.в}} = 0{,}5 \text{ А или } I^{(\text{рт})}_{\text{0с.р.п}} = 60 \text{ А}.$$

6. Первичный ток срабатывания реле тока *РТН* защиты *1*, включенного на ток нулевой последовательности и предназначенного для остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю, выбирается по условию согласования по чувствительности с реле тока *РТ* защиты *2* (рис. 11), действующего на пуск в. ч. передатчика, по выражению (33):

$$I^{(\text{ртн})}_{\text{0с.р.п}} = k_{\text{н}} I^{(\text{рт})}_{\text{0с.р.п}} = 2\cdot 60 = 120 \text{ А},$$

где $k_{\text{н}}$ — коэффициент надежности; принимается равным 2;

$I^{(\text{рт})}_{\text{0с.р.п}}$ — первичный ток срабатывания реле *РТ* защиты *2*, с которым производится согласование.

Принимается, что в схеме по рис. 1 в качестве реле *РТН* используется реле типа РНТ-565, минимальный ток срабатывания которого равен $I_{\text{с.р}}=1{,}5$ А. В связи с этим первичный ток срабатывания реле *РТН* принимается равным:

$$I^{(\text{ртн})}_{\text{с.р.п}} = I_{\text{с.р}} n_{\text{т}} = 1{,}5\cdot 120 = 180 \text{ А}.$$

7. В соответствии с указаниями разд. Г, п. 3 настоящей главы значение напряжения срабатывания реле напряжения *РН*, включенного на напряжение нулевой последовательности, принимается равным:

$$U_{\text{0с.р}}=4 \text{ В}.$$

При этом предполагается, что напряжение нулевой последовательности в нагрузочном режиме, обусловленное несимметрией сети, равно $U_{\text{0н.р}}=0$.

8. Оценка чувствительности органа остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю защиты *1* в соответствии с указаниями разд. Д, п. 5 должна производиться для замыкания как одной, так и двух фаз на землю. Рассматривается последний вид повреждения, при котором ток нулевой последовательности меньше.

Коэффициент чувствительности реле тока *РТН* при замыкании на шинах п/ст *II* определяется по выражению (39)

$$k_{\text{ч.т}} = \frac{3I_{\text{0к.з.мин}}}{I^{(\text{ртн})}_{\text{0с.р.п}}} = \frac{630}{180} = 3{,}5,$$

где $3I_{\text{0к.з.мин}}=630$ А — минимальный утроенный ток нулевой последовательности при замыкании на землю двух фаз на шинах п/ст *II* (табл. 4);

$I^{(\text{ртн})}_{\text{0с.р.п}}=180$ А — первичный ток срабатывания реле *РТН*.

Коэффициент чувствительности реле напряжения *РН* определяется по выражению (40)

$$k_{\text{ч.н}} = \frac{3U_{\text{0к.з.мин}}}{U_{\text{0с.р.п}}} = \frac{3U_{\text{0к.з.мин}}}{n_{\text{т.н}} U_{\text{0с.р}}} = \frac{18\,900}{1100/\sqrt{3}\cdot 4} =$$

$$= 7{,}33,$$

где $3U_{\text{0к.з.мин}}=18\,900$ В — минимальное утроенное первичное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при замыкании на землю двух фаз на шинах п/ст *II* (табл. 4);

$U_{\text{0с.р}}=4$ В — напряжение срабатывания реле напряжения *РН*;

$n_{\text{т.н}} = \dfrac{110\,000}{\sqrt{3}} : 100$ — коэффициент трансформации трансформаторов напряжения.

II. Пример согласования реле сопротивления, используемых для остановки высокочастотного передатчика с органами пуска высокочастотной блокировки в сети сложной конфигурации (по рис. 12)

1. На линии 110 кВ п/ст *II* — п/ст *III* (рис. 12) установлены трехступенчатая дистанционная защита (с комплектными устройствами типов ДЗ-2 и КРС-1) и токовая направленная защита нулевой последовательности с в. ч. блокировкой, выполненной по схеме рис. 1 (без использования дистанционного пуска в. ч. передатчика). Для пуска в. ч. передатчика используется устройство блокировки при качаниях типа КРБ-126.

Ниже приводится пример согласования реле сопротивления третьей ступени защиты *1*, используемых для остановки в. ч. передатчика, с органами пуска в. ч. передатчика защиты *2*.

2. Из расчета дистанционной защиты получены следующие параметры срабатывания рассматриваемых устройств, которые ниже принимаются в качестве исходных.

Первичное сопротивление срабатывания третьей ступени дистанционной защиты *1*: $z^{III}_{с.з1} = 140$ Ом.

Уставки устройства блокировки при качаниях защиты *2* (во вторичных величинах):

$I_{2уст}=0{,}75$ А, $k_{торм}=0{,}165$ (уставка на $ТН_т$ 11%).

Ток $3I_0$ в устройстве блокировки при качаниях не используется.

3. Первичный ток срабатывания чувствительного реле тока *РТ* защит *1* и *2*, включенного на ток нулевой последовательности и предназначенного для пуска в. ч. передатчика при замыканиях на землю, выбирается по условию отстройки от тока в нулевом проводе трансформаторов тока в максимальном нагрузочном режиме по выражению (32)

$$I^{(рт)}_{0с.р.п} = \frac{k_н}{k_в}(I_{0нб.нагр} + 3I_{0п.р}) = \frac{1{,}2}{0{,}8}20 = 30 \text{ А},$$

где $k_н=1{,}2$ — коэффициент надежности;

$k_в=0{,}8$ — коэффициент возврата;

$I_{0нб.нагр} = 0{,}05I_{нагр.макс}=0{,}05\cdot 400=20$ А — ток небаланса нулевой последовательности, определяемый по выражению (32а) при максимальном токе нагрузки $I_{нагр.макс}=400$ А;

$I_{0п.р}$ — ток нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме, обусловленный несимметрией сети; принят равным нулю.

Определяется значение вторичного тока срабатывания:

$$I^{(рт)}_{0с.р.в} = \frac{I_{0с.р.п}}{n_т} = \frac{30}{120} = 0{,}250 \text{ А},$$

где $n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

В соответствии с указаниями разд. Г, п. 1 принимается:

$$I^{(рт)}_{0с.р.в} = 0{,}5 \text{ А или } I^{(рт)}_{0с.р.п} = 60 \text{ А}.$$

4. Согласованность реле сопротивления защиты *1* с органами пуска в. ч. передатчика защиты *2* проверяется по условию обеспечения надежного срабатывания органов пуска в. ч. передатчика защиты *2* (реле тока нулевой последовательности *РТ* с $k_ч \geqslant 1{,}5$ и устройства блокировки при качаниях с $k_ч \geqslant 1{,}2$) в конце зоны действия реле сопротивления, используемых для остановки в. ч. передатчика защиты *1*.

Производится проверка согласованности при коротком замыкании на линии п/ст *III* — п/ст *VIII*, поскольку расчет показал, что при коротком замыкании на шинах п/ст *VIII* реле сопротивления не работает из-за направления мощности короткого замыкания к шинам п/ст *II*.

С этой целью на рис. 13 построена кривая изменения первичного сопротивления в месте установки защиты в зависимости от удаленности места короткого замыкания (кривая $z_{з1}$). Для построения кривой требуется определить точку на обходной связи, при повреждении в которой коэффициент чувствительности устройства блокировки при качаниях примерно равен нулю, а первичное сопротивление в месте установки защиты равно бесконечности. Эта точка может быть найдена по кривой изменения коэффициента чувствительности устройства блокировки при качаниях, построенной для замыкания между двумя фазами в зависимости от удаленности места короткого замыкания (кривая $k^{(2)}_{ч2}$ на рис. 13).

По кривой $z_{з1}$ определяется точка, ограничивающая зону возможного срабатывания реле сопротивления при выбранной уставке (предполагается, что

$$z_{с.з.макс1} = 1{,}15z^{III}_{с.з1} = 1{,}15\cdot 140 = 161 \text{ Ом}).$$

Как видно из рис. 13, реле сопротивления может охватывать 67% длины линии п/ст *III* — п/ст *VIII* со стороны п/ст *III*.

Для выявления вида короткого замыкания, при котором следует произвести согласование, на рис. 13 дополнительно построены кривые изменения коэффициента

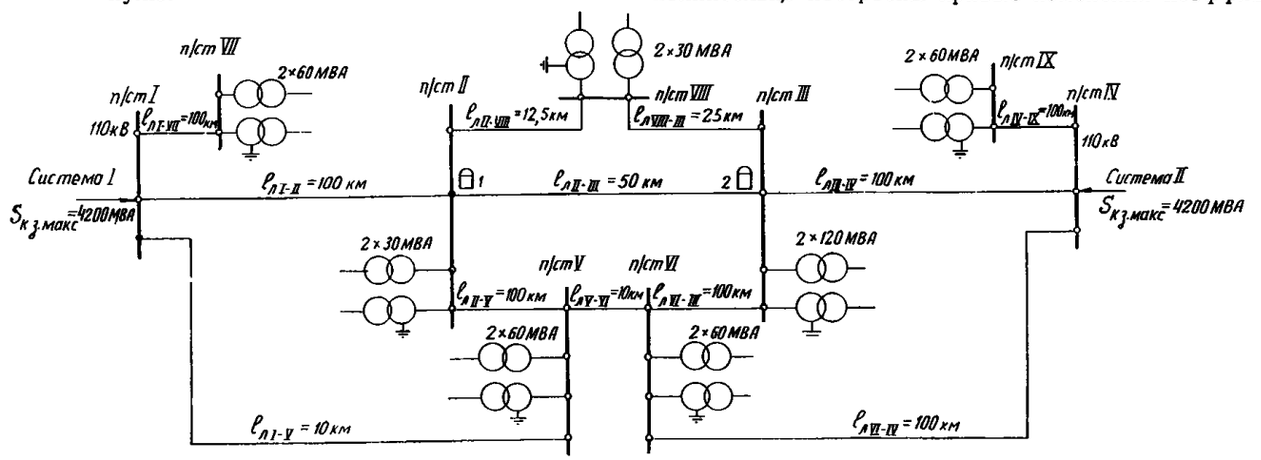


Рис. 12. Исходная схема для примера согласования реле сопротивления, используемых для остановки в. ч. передатчика, с пусковыми органами в. ч. блокировки на линии без ответвлений в сложной сети.

Параметры схемы: напряжение короткого замыкания всех трансформаторов $e_к=10{,}5\%$; удельное сопротивление линий принято в прямой (обратной) последовательности 0,4 Ом/км, в нулевой последовательности — 1,4 Ом/км; максимальный рабочий ток линии п/ст *II* — п/ст *III* $I_{раб.макс}=400$ А; коэффициент трансформации трансформаторов тока, установленных на этой линии, $n_т=600/5$.

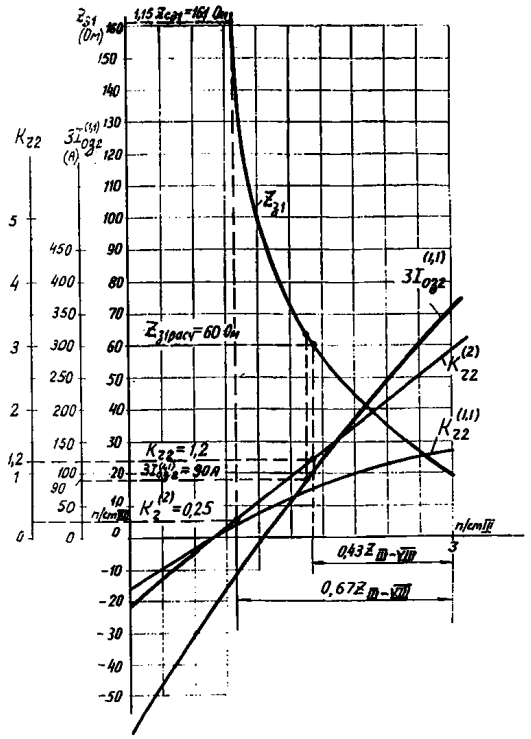


Рис. 13. Определение сопротивления $z_{з1\,расч}$ для согласования реле сопротивления защиты *1* при коротком замыкании на линии п/ст *III* — п/ст *VIII* в сети по рис. 12.

чувствительности устройства блокировки при качаниях при замыкании двух фаз на землю (кривая $k_{ч2}^{(1,1)}$) и изменения тока $3I_{0з2}$ в защищаемой линии при том же виде короткого замыкания (кривая $3I_{0з2}^{(1,1)}$).

Из этих кривых видно, что зона надежного действия устройства блокировки при качаниях (при $k_{ч2}^{(2)}=1{,}2$) при замыкании между двумя фазами больше, чем при замыкании двух фаз на землю.

Однако в последнем случае надежный пуск в. ч. передатчика обеспечивается реле тока нулевой последовательности (при токе $3I_{0з2}=k_{ч.ток}^{(1,1)}\,I_{ос.р.п}=1{,}5\cdot 60=$ $=90$ А) при еще более удаленном повреждении, чем устройством блокировки при качаниях в случае замыкания между двумя фазами. Поэтому согласование должно производиться при замыкании между двумя фазами.

При замыкании между двумя фазами в точке, ограничивающей зону возможного срабатывания реле сопротивления, согласно кривой $k_{ч2}^{(2)}$ коэффициент чувствительности устройства блокировки при качаниях $k_{ч2}^{(2)}=0{,}25<1{,}2$, и оно охватывает (при $k_{ч2}^{(2)}=1{,}2$) лишь 43 % участка п/ст *III* — п/ст *VIII* со стороны п/ст *III*.

Из этого следует, что выбранное сопротивление срабатывания реле сопротивления не удовлетворяет условия согласования при повреждениях на линии п/ст *III*— п/ст *VIII*, т. е. по условию согласования его требуется уменьшить.

Поскольку точке, ограничивающей зону надежного действия устройства блокировки при качаниях (с $k_{ч2}^{(2)}\geqslant$ $\geqslant 1{,}2$), соответствует на кривой $z_{з1}$ точка $z_{з1\,расч}=$ $=60$ Ом, первичное сопротивление срабатывания согласуемого реле сопротивления, определяемое по выражению (15), равно:

$$z_{с.з1}=0{,}85z_{з1\,расч}=0{,}85\cdot 60=51\ \text{Ом}.$$

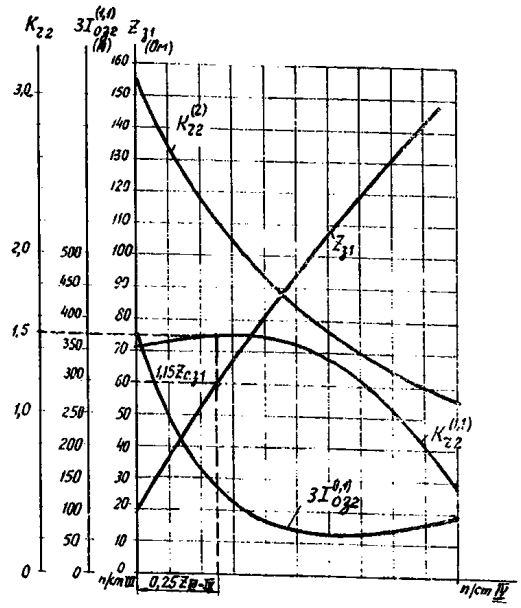


Рис. 14. Проверка согласованности реле сопротивления защиты *1* с органами пуска в. ч. блокировки защиты *2* при коротком замыкании на линии п/ст *III* — п/ст *IV* в сети по рис. 12.

При проверке согласованности рассматриваемого реле сопротивления защиты *1* с органом пуска в. ч. передатчика защиты *2* при коротком замыкании на участках п/ст *III* — п/ст *IV* и п/ст *III* — п/ст *VI* учитывается, что при $z_{с.з1}=51$ Ом конец зоны действия реле сопротивления не выходит за пределы этих линий, имеющих сопротивления $z_1=40$ Ом, т. е. эти линии также являются расчетными участками (разд. Б, III, п. 5).

На линии п/ст *III* — п/ст *IV* конец зоны действия реле сопротивления при $z_{с.з.макс1}=1{,}15\cdot 51=60$ Ом в со-

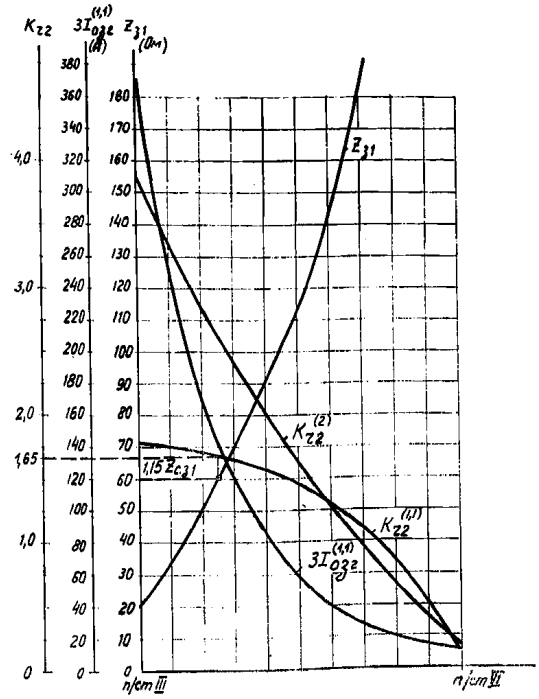


Рис. 15. То же, что и на рис. 14, но при коротком замыкании на линии п/ст *III*—п/ст *VI*.

ответствии с кривой $z_{э1}$ на рис. 14 отстоит от п/ст *III* на 25% длины этой линии.

Для проверки согласованности при коротком замыкании в этой точке вычисляется $k_{ч2}^{(1,1)}$ устройства блокировки при качаниях; $k_{ч2}^{(1,1)} = 1{,}5$ (рис. 14). Так как $1{,}5 > 1{,}2$, условие согласования на линии п/ст *III* — п/ст *IV* выполнено.

Для иллюстрации этого на рис. 14 построены кривые коэффициентов чувствительности устройства блокировки при качаниях защиты 2 : $k_{ч2}^{(2)}$ и $k_{ч2}^{(1,1)}$, а также тока $3I_{0з2}^{(1,1)}$, проходящего в месте установки защиты *2*. Из этих кривых видно, что при рассматриваемых видах повреждения согласование обеспечено.

На линии п/ст *III* — п/ст *VI* согласование защит проверяется аналогично. Согласование обеспечивается, поскольку при коротком замыкании в конце зоны возможного действия рассматриваемого реле сопротивления (рис. 15) $k_{ч2}^{(1,1)} = 1{,}65$.

На рис. 15 также приведены кривые $k_{ч2}^{(2)}$, $k_{ч2}^{(1,1)}$ и $3I_{0з2}^{(1,1)}$, наглядно иллюстрирующие надежность проведенного согласования.

Проверка согласованности реле сопротивления защиты *1* с органом пуска в. ч. передатчика защиты *2* при повреждениях в трансформаторах п/ст *III* в соответствии с разд. Б, III, п. 5 и 8 показала, что и при этих повреждениях согласование обеспечивается.

Однако расчет показал, что в результате согласования реле сопротивления третьей ступени сильно загрубилось, поэтому в данном случае целесообразно рассмотреть вопрос об использовании для остановки в. ч. передатчика второй ступени дистанционной защиты или применении дистанционного пуска.

Глава третья

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

А. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ

1. Расчет проводится в соответствии с основными принципами, изложенными в гл. 2, разд. А. Приведенные ниже расчетные условия учитывают, кроме того, особенности расчета данной защиты на линиях с ответвлениями, которые в основном заключаются:

а) в необходимости учета токораспределения на линии с ответвлениями при внешнем коротком замыкании;

б) в необходимости отстройки отключающих органов от короткого замыкания за трансформаторами, приключенными к концам линии, на которых полукомплекты в. ч. блокировки не устанавливаются;

в) в необходимости отстройки отключающих органов от броска тока намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов, приключенных к защищаемой линии;

г) в выборе параметров срабатывания пусковых органов блокирующих полукомплектов, устанавливаемых на концах линии без питания.

2. При внешних коротких замыканиях на линии с ответвлениями ток на конце линии, ближайшем к месту короткого замыкания, отличается по абсолютному значению от тока на противоположном конце. Учет этой особенности распределения токов необходим в первую очередь при согласовании по чувствительности отключающих органов с органами пуска в. ч. передатчика. При этом рассматриваются два принципиально различных случая внешнего короткого замыкания:

а) внешнее короткое замыкание (в точке K_1 на рис. 16,*а* и *б*), при котором ток в месте установки рассматриваемого полукомплекта *1* меньше тока в месте установки полукомплекта, с которым производится согласование *2*;

б) внешнее короткое замыкание на обходной связи (в точке K_2 на рис. 16,*б*), связывающей подстанции, на которых установлены полукомплекты *1* и *2*, с которыми производится согласование; при этом ток в месте установки рассматриваемого полукомплекта *3* может быть больше токов в местах установки полукомплектов *1* и *2*,

В первом случае учет токораспределения может позволить получить более чувствительную защиту, чем на линии без ответвлений.

Во втором случае учет токораспределения, необходимый для обеспечения правильного действия защиты при коротком замыкании на обходной связи, приводит к загрублению защиты по сравнению со случаем использования защиты на линиях без ответвлений.

При согласовании по чувствительности реле пусковых органов, реагирующих на полные электрические

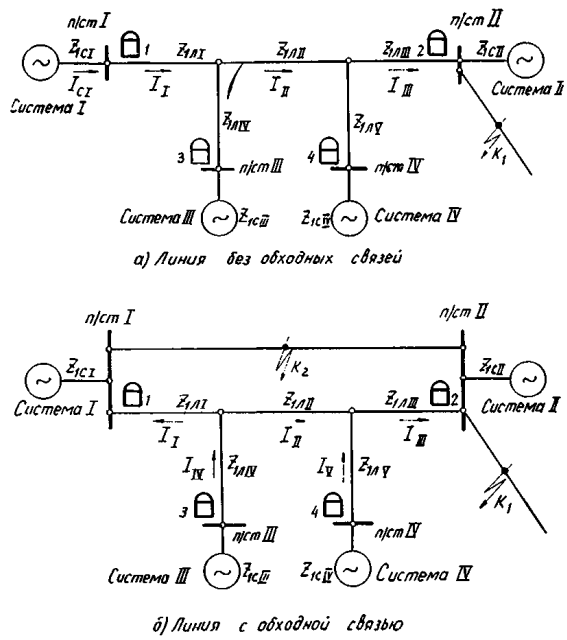
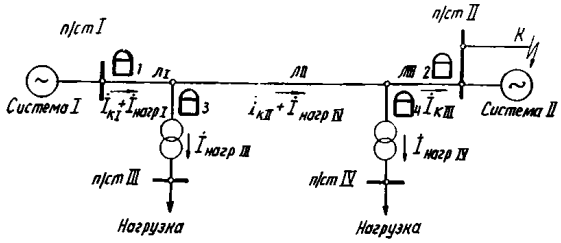


Рис. 16. Примеры схем линий с ответвлениями, входящих в сеть простой конфигурации.



Без учета нагрузки п/ст III и п/ст IV

$$K_т = \frac{I_{кI}}{I_{кIII}} \simeq 1$$

При учете нагрузки п/ст III и п/ст IV

$$K_{т(н)} = \left| \frac{\dot{I}_{кI} + \dot{I}_{нагр\ I}}{\dot{I}_{кIII}} \right| = \left| 1 + \frac{\dot{I}_{нагр\ III} + \dot{I}_{нагр\ IV}}{\dot{I}_{кIII}} \right| > 1 ,$$

$$K_{т(н)} > K_т .$$

Рис. 17. Пример токораспределения при внешнем коротком замыкании с учетом тока нагрузки на линии с ответвлениями.

величины (фазные токи, сопротивления), в общем случае может оказаться необходимым учитывать при рассматриваемом внешнем коротком замыкании не только распределение аварийных составляющих токов, но и распределение токов нагрузки.

На рис. 17 показан пример, когда при удаленном внешнем трехфазном коротком замыкании в точке *К* ток в месте установки полукомплекта *1* больше тока в полукомплекте *2* за счет токов нагрузки (токов отсоса) п/ст *III* и *IV*, приключенных к защищаемой линии между подстанциями, на которых установлены рассматриваемые полукомплекты.

При согласовании отключающего органа полукомплекта *1* с органом пуска в. ч. передатчика полукомплекта *2* указанная разница токов принципиально должна учитываться. Рассмотренное влияние токов нагрузки может оказаться существенным, в особенности при длинных линиях и большой суммарной мощности нагрузки подстанций, приключенных между согласуемыми полукомплектами.

3. Приведенный ниже расчет дан применительно к схемам полукомплектов в. ч. блокировки по рис. 1—4. Для других схем, выполненных в соответствии с теми же принципами, что и схемы по рис. 1—4, расчет должен проводиться аналогично.

4. Приведенный для случая использования полукомплекта по схеме рис. 4 расчет (разд. Е) дан применительно к линиям с ответвлениями; он может быть использован также при применении полукомплекта по схеме рис. 4 на линии без ответвлений.

5. Приведенный в разд. Б и В расчет дан в целях упрощения для случаев неиспользования в пусковом органе устройства блокировки при качаниях тока нулевой последовательности. При использовании тока нулевой последовательности следует руководствоваться соответствующими соображениями, приведенными для случая линии без ответвлений (гл. 2, разд. Б, II, п. 9 и разд. В, II, п. 8).

6. Проверка чувствительности реле отключающих органов в. ч. блокировки производится в соответствии с указаниями, приведенными для линий без ответвлений (гл. 2, разд. Д), при коротком замыкании на всех противоположных по отношению к месту установки рассматриваемого полукомплекта защиты концах линии. Выбор расчетного для проверки чувствительности режима работы должен производиться с учетом возможного наиболее неблагоприятного токораспределения.

Б. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЙ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОСТАНОВКИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕДАТЧИКА, В СХЕМЕ ПО РИС. 1

1. Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты, используемых для остановки в. ч. передатчика при междуфазных коротких замыканиях, определяется при расчете дистанционной защиты в соответствии с «Руководящими указаниями по релейной защите, вып. 7. Дистанционная защита линий 35—330 кВ».

Кроме того, при определении сопротивления срабатывания указанных реле сопротивления должны также учитываться дополнительно следующие условия:

а) согласование по чувствительности с реле, действующими на пуск в. ч. передатчика защиты на противоположном конце линии; при использовании для пуска в. ч. передатчика устройства блокировки при качаниях указанное согласование необходимо только в случаях, когда не используется дистанционный пуск в. ч. передатчика защиты на рассматриваемом конце линии и не производится согласования по чувствительности пусковых органов устройств блокировки при качаниях обоих концов линии между собой (разд. В);

б) отстройка от короткого замыкания за трансформаторами (автотрансформаторами), установленными на тех концах линии, где не предусмотрены полукомплекты в. ч. блокировки (п. 15); при установке на конце линии полукомплекта в. ч. блокировки, предназначенного для действия на пуск в. ч. передатчика только при коротком замыкании на стороне среднего напряжения трансформатора или автотрансформатора (схема по рис. 2), должно рассматриваться также условие отстройки от короткого замыкания на стороне низшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) этого конца;

в) отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов), приключенных к рассматриваемой линии (п. 16).

2. В табл. 5 даны расчетные выражения (42)—(44) для согласования по чувствительности реле сопротивления с пусковым органом устройства блокировки при качаниях на линиях, входящих в сеть простой конфигурации (по рис. 16).

Выражения даны для случаев применения устройств блокировки при качаниях:

с пуском по току обратной последовательности (например, типа КРБ-126);

с пуском по напряжению обратной последовательности (например, типа КРБ-125).

3. Входящее в выражения (42) и (43) значение тока срабатывания обратной последовательности пускового органа устройства блокировки при качаниях при замыкании двух фаз на землю $I^{(1,1)}_{2с.р.п2}$ в целях повышения надежности согласования должно определяться с учетом нагрузки. Приближенно значение этого тока может быть получено по выражению (4).

4. В выражения (42)—(44) введен коэффициент надежности $k_н$, назначение которого то же, что и аналогичного коэффициента $k_н$ в выражениях (1)—(3) (гл. 2, разд. Б, II, п. 4). Значение этого коэффициента также может быть принято приближенно, порядка $k_н = 1{,}2 \div 1{,}4$.

5. Выражения (42) и (44) составлены как для случая отсутствия обходных связей (рис. 16,*а*), так и для случая наличия обходных связей между подстанциями, на которых установлены согласуемые между собой защиты (защиты *1* и *2* на рис. 16,*б*), при отсутствии обходных связей между подстанциями, противоположными месту установки рассматриваемой защиты *1* (п/ст *II*, п/ст *III* и п/ст *IV* на рис. 16,*б*).

Выражение (43) составлено для случая наличия обходных связей между подстанциями (п/ст *I* и п/ст *II*

Таблица 5

Расчетные выражения для согласования реле сопротивления, используемых для остановки высокочастотного передатчика, с пусковым органом устройства блокировки при качаниях на линиях с ответвлениями в простой сети

Устройство блокировки при качаниях защиты *2*	Расчетные выражения
С пуском по току обратной последовательности	$z_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left[\dfrac{E_Ф}{k_н I^{(1,1)}_{2с.р.п2}\left(\dfrac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)k_{тI\text{-}III}}-\dfrac{z_{1cI}}{k'_т}\right]$ (42)
	$z_{с.з3} \leqslant 0{,}85\left[\dfrac{E_Ф}{k_н I^{(1,1)}_{2с.р.п2}\left(\dfrac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)k_{тIV\text{-}III}}-z_{1cIII}\right]$ (43)
С пуском по напряжению обратной последовательности	$z_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left[\dfrac{E_Ф\left(\dfrac{z_{1cI}}{k'_т}+z_{1лI}+\dfrac{z_{1лII}}{k_{тI\text{-}II}}+\dfrac{z_{1лIII}}{k_{тI\text{-}III}}\right)}{k_н U_{2с.р.п2}\left(\dfrac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)}-\dfrac{z_{1cI}}{k'_т}\right]$ (44)

Примечание. Расчетные выражения даны для согласования в схемах сети по рис. 16: реле сопротивления защиты *1* с устройством блокировки при качаниях защиты *2* [выражения (42) и (44)] и реле сопротивления защиты *3* с устройством блокировки при качаниях защиты *2* [для схемы по рис. 16, *б* — выражение (43)].

Обозначения:

$z_{с.з1}$ и $z_{с.з3}$ — первичные сопротивления срабатывания реле сопротивления соответственно защит *1* и *3*;

z_{1cI}, z_{1cIII} — сопротивления прямой (обратной) последовательности соответственно систем *1* и *III*;

$z_{1лI}$, $z_{1лII}$, $z_{1лIII}$ — сопротивление участков линии;

$z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ — отношение результирующих сопротивлений прямой (обратной) и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания;

$E_Ф$ — фазная э. д. с. системы;

$I^{(1,1)}_{2с.р.п2}$ — первичный ток срабатывания обратной последовательности устройства блокировки при качаниях защиты *2* при замыканиях двух фаз на землю;

$U_{2с.р.п2}$ — первичное напряжение срабатывания обратной последовательности устройства блокировки при качаниях защиты *2*;

$k_н$ — коэффициент надежности;

$k'_т$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки защиты *1* к току в сопротивлении z_{cI} при внешнем коротком замыкании;

$k_{тI\text{-}II}$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки защиты *1* к току в сопротивлении $z_{1лII}$ при внешнем коротком замыкании в расчетной точке;

$k_{тI\text{-}III}$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки защиты *1* к току в месте установки защиты *2*, с которой производится согласование, при внешнем коротком замыкании в расчетной точке;

$k_{тIV\text{-}III}$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки защиты *3* к току в месте установки защиты *2*, с которой производится согласование, при внешнем коротком замыкании в расчетной точке.

на рис. 16,*б*), противоположными месту установки рассматриваемой защиты (защита *3* на рис. 16,*б*).

6. Расчетным повреждением, при котором производится согласование, является короткое замыкание вне защищаемой линии, при котором ток или напряжение обратной последовательности в месте установки защиты, с которой производится согласование (защита *2* на рис. 16,*а* и *б*), равен току или напряжению надежного срабатывания устройства блокировки при качаниях. При этом должны рассматриваться повреждения:

а) при расчете по выражениям (42) и (44) для линий без обходных связей — короткое замыкание в системе *II* (точка K_1 на рис. 16,*а*); для линий с обходными связями — короткое замыкание в системе *II* (точка K_1 на рис. 16,*б*), а при расчете по выражению (42) — и на обходной связи (точка K_2 на рис. 16,*б*);

б) при расчете по выражению (43) — короткое замыкание на обходной связи (точка K_2 на рис. 16,*б*) и в системе *II* (точка K_1 на рис. 16,*б*).

7. Для линий без обходных связей значение коэффициента $k'_т$, входящего в выражения (42) и (44), принимается $k'_т = 1$.

Для линий с обходными связями между подстанциями, на которых установлены согласуемые между собой защиты (защиты *1* и *2* на рис. 16,*б*), значение коэффициента $k'_т$ определяется:

а) при повреждении в системе *II* — по короткому замыканию на шинах п/ст *II*;

б) при повреждении на обходной связи [в расчете по выражению (42)] — для точки повреждения, расположение которой определяется в соответствии с указаниями гл. 2, разд. Б, II, п. 7.

При расчете по выражению (42) в качестве расчетного должен приниматься режим, при котором значение $k'_т$ минимально, а при расчете по выражению (44) — режим, при котором значение $k'_т$ максимально.

Для линии с обходными связями между подстанциями, противоположными месту установки рассматриваемой защиты (защита *3* на рис. 16,*б*), значение коэффициента k_{IV-III} в выражении (43) определяется:

а) при повреждении в системе *II* — по короткому замыканию на шинах п/ст *II*;

б) при повреждении на обходной связи расчетным является режим и место повреждения при которых токи обратной последовательности в местах установки защит *1* и *2* наиболее близки по значениям (при одинаковых уставках устройств блокировки при качаниях и одинаковых коэффициентах трансформации трансформа-

торов тока защит *I* и *2*) или пропорциональны первичным токам срабатывания устройств блокировки при качаниях (при разных уставках этих устройств или разных коэффициентах трансформации трансформаторов тока защит *I* и *2*).

8. В выражениях (42)—(44) в качестве расчетных принимаются максимальные значения коэффициентов токораспределения $k_{тI-III}$, $k_{тI-II}$, $k_{тIV-III}$. При этом необходимо учитывать следующее.

а) В качестве расчетной точки короткого замыкания для определения $k_{тI-III}$ [выражение (42)] на линии с обходной связью ($k'_т<1$) в общем случае должна рассматриваться точка на обходной связи, расчетная для определения $k'_т$, и шины противоположной подстанции (п/ст *II*). Поскольку влияние $k_{тI-III}$ и $k'_т$ на значение, подсчитываемое по выражению (42), противоречиво, в общем случае расчет по выражению (42) должен производиться исходя из значений $k_{тI-III}$ и $k'_т$, определяемых при коротком замыкании в обеих указанных точках. На линии без обходной связи $k_{тI-III}$ определяется при коротком замыкании на шинах п/ст *II*. При отключении подстанций, расположенных между местами установки согласуемых полукомплектов защиты (п/ст *III* и п/ст *IV* на рис. 16,*б*) $k_{тI-III}=1$.

б) Значение $k_{тIV-III}$ [выражение (43)] может быть больше 1; при одинаковых уставках устройств блокировки при качаниях и одинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов тока защит *I* и *2* для расчетного режима, когда п/ст *IV* отключена, может быть принято $k_{тIV-III}=2$, что соответствует наихудшему возможному токораспределению — равенству токов в полукомплектах *I* и *2* при коротком замыкании на обходной связи.

в) Расчетные значения $k_{тI-II}$ и $k_{тI-III}$ [выражение (44)] определяются при коротком замыкании на шинах противоположной подстанции (п/ст *II*).

9. В качестве расчетных значений сопротивлений систем z_{1cI} и z_{1cIII} должны приниматься:

в выражениях (42) и (43) — максимальные значения, соответствующие минимальному режиму работы систем;

в выражении (44) — минимальное значение, соответствующее максимальному режиму работы системы *I* (приложение II, А, п. 6).

10. Для случая повреждения в питающей системе *II* (точка K_1 на рис. 16, *а* и *б*) как при наличии, так и при отсутствии обходных связей в выражениях (42) — (44) расчетное значение отношения результирующих сопротивлений прямой и нулевой последовательностей принимается в соответствии с указаниями гл. 2, разд. Б, II, п. 6.

Для линий с обходными связями между подстанциями, на которых установлены согласуемые между собой защиты, значение $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ определяется для короткого замыкания в той точке на обходной связи, для которой определяется значение коэффициента $k'_т$.

11. При наличии обходной связи между подстанциями, с защитами которых производится согласование (например, согласование защиты *3* с защитами *I* и *2* на рис. 16, *б*) и при использовании в указанных защитах для пуска в. ч. передатчика устройств блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности (например, типа КРБ-125) более целесообразным является согласование между собой пусковых органов устройств блокировки при качаниях, чем согласование реле сопротивления с пусковым органом устройства блокировки при качаниях. В связи с этим расчетное выражение для рассматриваемого случая, аналогичное выражению (43) не приводится.

12. Согласование по чувствительности реле сопротивления с реле органа пуска в. ч. передатчика на линиях с ответвлениями, входящих в сеть сложной конфигурации (рис. 18), производится так же, как на линиях без ответвлений (гл. 2, разд. Б, III). При этом

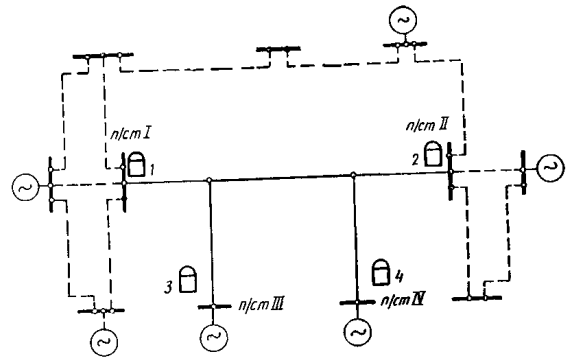


Рис. 18. Пример схемы линии с ответвлениями, входящей в сеть сложной конфигурации.

расчетными являются минимальные режимы работы промежуточных подстанций, расположенных между подстанциями, на которых установлены согласуемые между собой защиты (т. е. режимы присоединения минимальных генерирующих мощностей на п/ст *III* и п/ст *IV* при согласовании защиты *I* с защитой *2* и защиты *2* с защитой *I* и минимальных генерирующих мощностей на п/ст *IV* при согласовании защиты *3* с защитой *2* и защиты *2* с защитой *3*).

Расчетные режимы участков сети или систем, примыкающих к подстанции, на которой установлена согласуемая защита, должны приниматься по аналогии с согласованием защит на линиях без ответвлений (гл. 2, разд. Б, III, п. 6).

При наличии обходных связей между подстанциями, противоположными месту установки согласуемой защиты (защиты *3* или *4* на рис. 18), расчетными для согласования по чувствительности реле сопротивления с устройствами блокировки при качаниях, имеющими пуск по току обратной последовательности, являются такие режимы и точки обходных связей, при коротком замыкании в которых первичные токи обратной последовательности в местах установки защит, с которыми производится согласование (*I* и *2* на рис. 18), пропорциональны первичным токам срабатывания устройств блокировки при качаниях указанных защит. Кроме того, по аналогии с гл. 2, разд Б, III, п. 6 для подстанций, где установлена согласуемая защита, должен приниматься реальный минимальный режим.

13. Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты по условию согласования по чувствительности с реле сопротивления блокирующего полукомплекта, устанавливаемого на конце без питания и выполненного по схемам рис. 2 или 3, определяется по выражению (рис. 16):

$$z_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left(z_{1лI} + \frac{z_{1лIV} + 0{,}8\alpha z_{с.р.пз}}{k_т}\right), \quad (45)$$

где $z_{1лI}$ — сопротивление участка защищаемой линии от места установки рассматриваемой защиты до места разветвления;

$z_{1лIV}$ — сопротивление участка защищаемой линии от места разветвления до шин подстанции, на которой установлен блокирующий полукомплект, с которым производится согласование;

$k_т$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки рассматриваемой защиты к току в месте установки блокирующего полукомплекта при коротком замыкании за трансформатором (автотрансформатором); при определении $k_т$ в качестве расчетного принимается, как правило, режим, когда линия включена только с одного питающего конца, на котором установлена рассматриваемая защита,

при этом $k_т=1$; следует отметить, что в общем случае расчетное значение коэффициента токораспределения $k_т$ должно определяться с учетом тока нагрузки, если последний приводит к увеличению значения этого коэффициента (разд. А, п. 2); при этом может оказаться $k_т>1$;

$z_{с.р.пз}$ — первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления, с которым производится согласование (реле *1РС—3РС* комплекта *1 КРС* в схеме по рис. 2, реле *1РС* — в схеме по рис. 3); значение $z_{с.р.пз}$ определяется в соответствии с разд. Д, п. 1 настоящей главы и приводится к стороне высшего напряжения при минимальном возможном при регулировании коэффициенте трансформации силового трансформатора (автотрансформатора), на котором устанавливается данный блокирующий полукомплект;

α — понижающий коэффициент, учитывающий снижение момента на реле сопротивления в схеме по рис. 3 при включении его на междуфазное напряжение стороны низшего напряжения и разность фазных токов стороны высшего напряжения; при угле максимальной чувствительности реле сопротивления в схеме по рис. 3 $\varphi_{м.ч}\approx 70°$ значение α может быть принято равным 0,8; при выполнении блокирующего полукомплекта по рис. 2 может приниматься $\alpha=1$.

Выражение (45) составлено без учета падения напряжения в сопротивлении трансформатора (автотрансформатора) между выводами высшего напряжения и стороной, где установлены трансформаторы напряжения, используемые для защиты. При питании цепей напряжения защиты на конце без питания от трансформаторов напряжения, установленных на стороне среднего или низшего напряжения трансформатора (автотрансформатора), расчет по выражению (45) дает дополнительный запас; при более точном расчете в величину $z_{1лIII}$ следует ввести соответствующее значение сопротивления трансформатора (автотрансформатора).

При наличии на конце без питания трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора в случаях, когда реле сопротивления на питающем конце, используемые для остановки в. ч. передатчика, не отстроены от повреждений на стороне обмотки его, соединенной в треугольник, а для пуска в. ч. передатчика на конце без питания используются установленные со стороны высшего напряжения три направленных реле сопротивления (схема на рис. 2), выражение (45) не должно использоваться для согласования по чувствительности при замыканиях между двумя фазами на стороне треугольника. Это объясняется тем, что при указанных повреждениях условия чувствительности реле сопротивления, включенных на разности фазных токов и междуфазные напряжения со стороны обмотки, соединенной в звезду (или соответствующие величины со стороны обмотки, соединенной в треугольник), ухудшаются по мере приближения места установки реле к месту короткого замыкания (приложение IV). В рассматриваемых случаях проверку согласования реле сопротивления по чувствительности при указанных повреждениях целесообразно выполнять графически аналогично тому, как это выполняется в приложении IV.

С целью уточнения проверку согласования реле сопротивления по чувствительности рекомендуется производить графически и для случая использование блокирующего полукомплекта по рис. 3.

Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты по условию согласования по чувствительности с реле сопротивления органа пуска в. ч. передатчика полукомплекта, устанавливаемого на противоположном конце линии и выполненного по схеме рис. 4, определяется по выражению (рис. 16):

$$z_{зз}\leqslant 0{,}85\left(z_{1лIV}+\frac{z_{1лI}+0{,}8z_{с.р.п1}}{k_т}\right), \quad (45а)$$

где $z_{1лIV}$, $z_{1лI}$, $z_{с.р.п1}$ — то же, что в (45) соответственно $z_{1лI}$, $z_{1лIV}$, $z_{с.р.пз}$;

$k_т$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки рассматриваемого полукомплекта к току в месте установки полукомплекта, с которым производится согласование, при внешнем коротком замыкании, определяется для режима работы и точки замыкания, при которых имеет максимальное значение; при наличии обходной связи между подстанциями (п/ст *I* и п/ст *II* на рис. 16,*б*), противоположными месту установки рассматриваемого полукомплекта (*3* на рис. 16, *б*), при определении $k_т$ должно рассматриваться короткое замыкание на обходной связи в точке, соответствующей границе зоны надежной работы реле сопротивления полукомплекта (*1* на рис. 16,*б*), с которым производится согласование, при этом может оказаться $k_т>1$.

Дополнительно также должна быть проверена согласованность реле сопротивлений полукомплектов *1* и *3* при замыканиях между двумя фазами на стороне треугольника трансформаторов, присоединенных к шинам п/ст *I*.

14. При согласовании по чувствительности реле сопротивления в соответствии с п. 13 должно быть проверено также условие согласования токов точной работы

$$I_{р.точ1}\geqslant k_н k_т I_{р.точ3}\frac{n_{т3}}{n_{т1}}. \quad (46)$$

где $I_{р.точ1}$ и $I_{р.точ3}$ — токи точной работы (вторичные) реле сопротивления, соответственно используемых для остановки в. ч. передатчика рассматриваемой защиты (*1*) и для пуска в. ч. передатчика полукомплекта, с которым производится согласование (*3*), для одинакового времени от начала короткого замыкания;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1;

$k_т$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки рассматриваемой защиты (*1*) к току в месте установки полукомплекта, с которым производится согласование (*3*); в качестве расчетного принимается максимальное значение;

$n_{т1}$, $n_{т3}$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока, используемых соответственно для защит *1* и *3*.

15. Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты, используемых для остановки в. ч. передатчика, по условию отстройки от короткого замыкания за трансформатором (автотрансформатором) конца линии, на котором не устанавливается полукомплект в. ч. блокировки, определяется по выражению:

$$z_{сз1}\leqslant 0{,}85\left(z_{1лI}+\frac{z_{1лIV}+z_{1тр}}{k_т}\right), \quad (47)$$

где $z_{1лI}$, $z_{1лIV}$ — то же, что в выражении (45);

$z_{1тр}$ — минимальное сопротивление трансформатора или автотрансформатора (с учетом регулирования напряжения под нагрузкой);

$k_т$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки данного полукомплекта к току в трансформаторе, за которым рассматривается короткое замыкание.

При определении $k_т$ в качестве расчетного рассматривается режим, когда линия включена только с того питающего конца, на котором установлен рассматриваемый полукомплект; при этом $k_т=1$. В случае, когда при выборе сопротивления срабатывания реле сопротивления по данному условию защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, рассматривается возможность неучета в качестве расчетного указанного режима.

16. Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты, используемых для остановки в. ч. передатчика, по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов) концов линии, на которых полукомплекты в. ч. блокировки не установлены или установлены полукомплекты по рис. 3, определяется по выражению:

$$z_{с.з} \leqslant z_{с.з.б}, \qquad (48)$$

где $z_{с.з.б}$ — первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления, выбранное по выражению (VIIП-5) приложения VII.

В. СОГЛАСОВАНИЕ ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ УСТРОЙСТВ БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ ОБОИХ КОНЦОВ ЛИНИИ МЕЖДУ СОБОЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СХЕМЫ ПО РИС. 1

1. Согласование по чувствительности пусковых органов устройств блокировки при качаниях на линиях сравнительно простой конфигурации (например, по рис. 16) может производиться по расчетным выражениям, приведенным в табл. 6 для схем линий по рис. 16.

2. Расчетные выражения даны для случаев установки на концах линии устройств блокировки при качаниях как с пуском по току обратной последовательности (например, типа КРБ-126), так и с пуском по напряжению обратной последовательности (например, типа КРБ-125).

При этом рассмотрены следующие случаи:

а) На данном конце линии установлено устройство блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности и на противоположном конце, где установлена защита, с которой производится согласование, также с пуском по напряжению обратной последовательности — выражения (49) и (50).

б) На данном конце линии установлено устройство блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности, а на противоположном конце, где установлена защита, с которой производится согласование, — с пуском по току обратной последовательности — выражения (51) и (52).

в) На данном конце линии установлено устройство блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности и на противоположном конце, где установлена защита с которой производится согласование,— также с пуском по току обратной последовательности — выражения (53)—(55).

г) На данном конце линии установлено устройство блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности, а на противоположном конце, где установлена защита с которой производится согласование,— с пуском по напряжению обратной последовательности — выражения (57) и (58).

3. Расчетные выражения (49), (53), (54) и (57) могут использоваться для линии как без обходных связей (рис. 16, *а*), так и с обходными связями между подстанциями, согласование защит которых производится (защиты *1* и *2* на рис. 16, *б*); выражение (51) используется только для линий без обходных связей между подстанциями, согласование защит которых производится.

Выражения (50), (52), (55), (56) и (58) составлены для линий с обходными связями между подстанциями, противоположными месту установки согласуемой защиты (защита *3* на рис. 16, *б*).

4. При установке защиты на линиях без обходных связей значение коэффициента $k'_т$ в выражениях (49) и (57) принимается равным 1.

5. Расчет по условию согласования устройств блокировки, имеющих пуск по напряжению обратной последовательности, зависит от наличия или отсутствия промежуточных подстанций на обходной связи между подстанциями, на которых установлены согласуемые между собой защиты, а также чувствительности устройств блокировки при коротком замыкании на обходной связи (аналогично согласованию таких же устройств на линии без ответвлений — гл. 2, разд. В, II, п. 4).

а) При отсутствии промежуточной подстанции на обходной связи согласование должно производиться при коротком замыкании как на обходной связи, так и в системе *II*. В последнем случае расчет ведется по выражению (49), в котором значение $k'_т$ определяется по короткому замыканию на шинах п/ст *II*, противоположной месту установки защиты *1*, параметры срабатывания устройства блокировки которой выбираются. При этом режим работы систем принимается таким, при котором значение коэффициента $k'_т$ является минимальным при максимальном z_{1cI}. Согласование при коротком замыкании на обходной связи ведется с использованием кривых зависимости напряжения обратной последовательности в местах установки согласуемых защит от удаленности короткого замыкания на обходной связи в соответствии с указанным в приложении II, Б п. 1.

В частном случае, когда устройство блокировки защиты *2* удовлетворяет требованиям чувствительности ($k_ч \geqslant 1{,}5$) при коротком замыкании в точке на обходной связи, соответствующей отсутствию тока по линии, защита которой рассматривается, специальное согласование при коротком замыкании на обходной связи не требуется. Например, согласования не требуется при коротком замыкании на параллельной линии, поскольку в этом случае устройства блокировки при качаниях всегда удовлетворяют требованиям чувствительности.

б) При наличии на обходной связи промежуточной подстанции в зоне действия дистанционной защиты дополнительно к указанному в п. «а» производится согласование при коротком замыкании на обходной связи по выражению (49), в котором $k'_т$ определяется по короткому замыканию на шинах этой промежуточной подстанции. В рассматриваемом случае короткое замыкание на шинах п/ст *II* не является расчетным для определения $k'_т$ и поэтому не должно рассматриваться.

При определении $U_{2с.р.пI}$ по выражению (49) в качестве расчетного должен приниматься режим, соответствующий минимальному значению $k'_т$ при максимальном значении z_{1cI} (минимальном режиме работы системы *I*).

Согласование устройства блокировки, имеющего пуск по току обратной последовательности, с устройством блокировки, имеющим пуск по напряжению обратной последовательности, по выражению (57) производится при коротком замыкании в системе *II*.

Расчетное значение коэффициента $k'_т$, используемого в выражении (57), определяется при коротком замыкании на шинах подстанции, где установлена защита, с которой производится согласование. При этом режимы работы систем принимаются соответствующими максимальному значению $k'_т$ (при минимальном z_{1cI}).

Значения сопротивлений системы z_{1cIII} в выражениях (50), (52) и (58) должны приниматься соответственно, максимальным и минимальным.

6. Значения коэффициентов токораспределения $k_{тI-II}$, $k_{тI-III}$, $k_{тIV-II}$, $k_{тIV-III}$ в выражениях (49)—

Таблица 6

Расчетные выражения для согласования пусковых органов устройств блокировки при качаниях на линиях с ответвлениями в простой сети

Исходная схема на рис. 16	Устройство блокировки при качаниях: защит *1* или *3*	Устройство блокировки при качаниях: защиты *2*	Расчетные выражения
а и *б*	С пуском по напряжению обратной последовательности	С пуском по напряжению обратной последовательности	$U_{2с.р.п1} \geqslant k_н \dfrac{U_{2с.р.п2}}{1 + k'_т\left(\dfrac{z_{1лI}}{z_{1cI}} + \dfrac{z_{1лII}}{z_{1cI}k_{тI\text{-}II}} + \dfrac{z_{1лIII}}{z_{1cI}k_{тI\text{-}III}}\right)}$ (49)
б			$U_{2с.р.п3} \geqslant k_н \dfrac{U_{2с.р.п2}}{1 + \dfrac{z_{1лIV}}{z_{1cIII}} + \dfrac{z_{1лII}}{z_{1cIII}k_{тIV\text{-}II}} + \dfrac{z_{1лIII}}{z_{1cIII}k_{тIV\text{-}III}}}$ (50)
а		С пуском по току обратной последовательности	$U_{2с.р.п1} \geqslant k_н I^{(1,1)}_{2с.р.п2} z_{1cI} k_{тI\text{-}III}$ (51)
б			$U_{2с.р.п3} \geqslant k_н I^{(1,1)}_{2с.р.п2} z_{1cIII} k_{тIV\text{-}III}$ (52)
а и *б*	С пуском по току обратной последовательности	С пуском по току обратной последовательности	$I_{2уст1} \geqslant k_н k_{тI\text{-}III} I_{2уст2} \dfrac{n_{т2}}{n_{т1}}$ (53) $k_{торм1} \geqslant k_н k_{торм2}$ (54)
б			$I_{2уст3} \geqslant k_н k_{тIV\text{-}III} I_{2уст2} \dfrac{n_{т2}}{n_{т3}}$ (55) $k_{торм3} \geqslant k_н k_{торм2}$ (56)
а и *б*		С пуском по напряжению обратной последовательности	$I_{2с.р.п1} \geqslant k_н \dfrac{U_{2с.р.п2}}{\dfrac{z_{1cI}}{k'_т} + z_{1л1} + \dfrac{z_{1лII}}{k_{тI\text{-}II}} + \dfrac{z_{1лIII}}{k_{тI\text{-}III}}}$ (57)
б			$I_{2с.р.п3} \geqslant k_н \dfrac{U_{2с.р.п2}}{z_{1cIII} + z_{1лIV} + \dfrac{z_{1лII}}{k_{тIV\text{-}II}} + \dfrac{z_{1лIII}}{k_{тIV\text{-}III}}}$ (58)

Примечание. Расчетные выражения даны для согласования в схемах сети по рис. 16 устройства блокировки при качаниях защиты *1* с устройством блокировки при качаниях защиты *2* [выражения (49), (51), (53), (54) и (57)] и устройства блокировки при качаниях защиты 3 с устройством блокировки при качаниях защиты *2* [для схемы по рис. 16, *б* — выражения (50), (52), (55) (56) и (58)].

Обозначения:

$U_{2с.р.п1}$ и $U_{2с.р.п3}$ — первичные напряжения срабатывания обратной последозательности устройств блокировки при качаниях соответственно защит *1* и *3*;

$I_{2с.р.п1}$, $I^{(1,1)}_{2с.р.п2}$ и $I_{2с.р.п3}$ — первичный ток срабатывания обратной последовательности устройств блокировки при качаниях соответственно защит *1*, *2* и *3*;

$I_{2уст1}$ и $I_{2уст2}$ — уставки по току обратной последовательности устройств блокировки при качаниях соответственно защит *1* и 2;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;

$n_{т1}$, $n_{т2}$ и $n_{т3}$ — коэффициенты трансформации трансформатороз тока, используемых соответственно для защит *1*, *2* и *3*;

$k_{торм1}$, $k_{торм2}$ и $k_{торм3}$ — коэффициенты торможения устройств блокировки при качаниях соответственно защит *1*, *2* и *3*;

$k_{тIV\text{-}II}$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки защиты *3* к току в сопротивлении $z_{1лII}$, при внешнем к. з. в расчетной точке.

Остальные обозначения см. в табл. 5.

(53), (55), (57) и (58) должны определяться в режимах, когда эти коэффициенты имеют максимальные значения.

При определении расчетных значений коэффициентов токораспределения необходимо учитывать следующее.

При наличии обходной связи между концом линии, где установлена защита, с которой производится согласование (защита *2* на рис. 16,*б*), и другим концом линии, противоположным месту установки рассматриваемой защиты (защита *3* на рис. 16,*б*), расчет по выражениям (50), (52), (55) и (58) является затруднительным в связи с необходимостью определения расчетных значений коэффициентов токораспределения $k_{тIV-II}$ и $k_{тIV-III}$ при коротком замыкании на обходной связи. Расчет существенно упрощается для режима, когда система *IV* отключена. Этот режим, как следует из рассматриваемых выражений, и является расчетным. При этом в выражениях (52) и (55) при равных первичных токах срабатывания пусковых органов устройств блокировки при качаниях защит *1* и *2* может быть принято $k_{тIV-III}=2$, что соответствует наихудшему возможному токораспределению — равенству токов в местах установки защит *1* и *2* при коротком замыкании на обходной связи. При расчете по выражению (50) и (58) в случае равенства напряжений срабатывания пусковых органов устройств блокировки при качаниях защит *1* и *2* в качестве расчетного места короткого замыкания на обходной связи должно приниматься такое, при коротком замыкании в котором напряжения обратной последовательности на шинах п/ст *I* и *II* равны. При указанных условиях выражения (50) и (58) соответст-

венно принимают вид:

$$U_{2c.\,р.из} \geqslant k_н \frac{U_{2c.\,р.и2}}{1+\dfrac{z_{1лIV}}{z_{1cIII}}+\dfrac{z_{1лI}(z_{1лII}+z_{1лIII})}{z_{1cIII}(z_{1лI}+z_{1лII}+z_{1лIII})}}; \quad (59)$$

$$I_{2c.р.из} \geqslant k_н \frac{U_{2c.\,р.и2}}{z_{1cIII}+z_{1лIV}+\dfrac{z_{1лI}(z_{1лII}+z_{1лIII})}{z_{1лI}+z_{1лII}+z_{1лIII}}}. \quad (60)$$

Если расчет по выражениям (59) и (60) приводит к нежелательному загрублению защиты *3* или первичные напряжения срабатывания устройств блокировки при качаниях защит *1* и *2* различны, расчет целесообразно вести графо-аналитическим методом, как для линий, входящих в сеть сложной конфигурации (п. 8).

Следует отметить, что для предельного расчетного режима, когда $k_{тI-II}=k_{тI-III}=k_{т.макс}=1$ (подстанции *III* и *IV* отключены), при одинаковых первичных токах срабатывания устройств блокировки при качаниях защит *1* и *2* выражение (49) удовлетворяется, если

$$\frac{z_{1лI}+z_{1лII}+z_{1лIII}}{z_{1cI}} \geqslant \frac{0{,}5}{k'_т}. \quad (61)$$

По аналогии с выражением (20) согласование по выражению (51) возможно в большом числе случаев, однако согласование в обратном направлении [выражение (57)] может быть произведено в небольшом числе случаев.

7. Расчетные выражения (53)—(56) составлены на основании аналитического выражения (26) характеристики срабатывания устройства блокировки при качаниях.

По аналогии с выражениями (21) и (22) согласование по выражениям (53), (54) и (55), (56) допустимо, если одновременно удовлетворяются выражения (53) и (54) или (55) и (56).

Следует отметить, что выражения (54) и (56) являются приближенными, так как составлены исходя из равенства коэффициентов токораспределения для токов обратной последовательности и фазных токов.

8. На линиях, входящих в сеть сложной конфигурации (рис. 18), согласование устройств блокировки, имеющих пуск по току обратной последовательности с устройствами блокировки, имеющими пуск тоже по току обратной последовательности, производится так же, как и на линиях, входящих в сеть простой конфигурации, т. е. по выражению (53)—(56) табл. 6.

При других сочетаниях пусковых органов согласуемых устройств блокировки при качаниях согласование их производится так же, как на линиях без ответвлений (гл. 2, разд. В, III).

При этом расчетными являются реальные минимальные режимы работы промежуточных подстанций, расположенных между подстанциями, на которых установлены согласуемые между собой устройства (т. е. режимы присоединения минимальных генерирующих мощностей на п/ст *III* и *IV* при согласовании устройств блокировок защит *1* и *2* и минимальных генерирующих мощностей на п/ст *IV* при согласовании устройств блокировок защит *3* и *2*).

Расчетные режимы части внешней сети, примыкающей к подстанции, на которой установлено согласуемое устройство блокировки (*1* или *2* на рис. 18), будут такими же, как и при согласовании устройств блокировки защит, установленных на линиях без ответвлений (гл. 2, разд. В, III, п. 7).

При наличии обходных связей между подстанциями, противоположными месту установки согласуемого устройства блокировки (*3* и *4* на рис. 18), расчетным будет такой режим включения обходных связей рассматриваемой линии и места короткого замыкания, при которых токи (или напряжения) обратной последовательности в местах установки устройств блокировок при качаниях, с которыми производится согласование (*1* и *2* на рис. 18), будут пропорциональны их первичным токам (напряжениям) срабатывания.

Г. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДЕЙСТВИЯ ПРИ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ, В СХЕМЕ ПО РИС. 1

1. Первичный ток срабатывания реле тока нулевой последовательности, предназначенного для пуска в. ч. передатчика при замыканиях на землю (реле *РТ* в схеме по рис. 1), выбирается так же, как на линиях без ответвлений — по выражению (32).

2. Первичное напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности (реле *РН* в схеме по рис. 1) должно выбираться по условиям:

а) отстройки от напряжения на реле при междуфазном коротком замыкании в месте установки защиты (гл. 2, разд. Г, п. 3);

б) согласования по чувствительности с реле напряжения нулевой последовательности, предназначенным для пуска в. ч. передатчика полукомплектов противоположных концов линии при замыканиях на землю, при выполнении схем в. ч. блокировки этих полукомплектов по рис. 2 и 4;

в) отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов) при включении линии под напряжение (см. также п. 3«в»).

Первичное напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности по условию согласования по чувствительности в случае, когда относительное распределение токов нулевой последовательности в части сети, в которую входит защищаемая линия, не зависит от места рассматриваемого внешнего короткого замыкания, может быть определено по выражению

$$U_{0c.р.п1} \geqslant k_н U_{0c.\,р.из} \frac{U_{0I}}{U_{0III}}, \quad (62)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;

$U_{0c.р.из}$ — первичное напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности полукомплекта, с которым производится согласование, приведенное к стороне напряжения защищаемой линии;

U_{0I}, U_{0III} — первичные напряжения нулевой последовательности соответственно в месте включения рассматриваемой защиты и полукомплекта, с которым производится согласование, при замыкании на землю на шинах подстанции (для схемы по рис. 2 — стороны среднего напряжения автотрансформатора), на которой установлен последний полукомплект, приведенные к стороне напряжения защищаемой линии.

Значение $U_{0c.р.п1}$ по рассматриваемому условию согласования по чувствительности в ряде случаев может быть определено из схемы замещения нулевой последовательности.

Так, для схемы по рис. 19 напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности защиты *1* по условию согласования по чувствительности

с реле напряжения нулевой последовательности полукомплекта 3 может быть определено по выражению

$$U_{\text{ос. р.пI}} \geqslant k_{\text{н}} U_{\text{ос. р. пз}} \frac{U_{0\text{I}}}{U_{0\text{III}}} =$$

$$= k_{\text{н}} \frac{U_{\text{ос. р.пз}}}{1 + \dfrac{z_{0\text{лI}}}{z_{0\text{cI}}} + \dfrac{z_{0\text{c}}}{z_{0\text{cI}} k_{0\text{тI-c}}} + \dfrac{z_{0\text{в}} + z_{0\text{лIV}}}{z_{0\text{cI}} k_{0\text{тI-IV}}}}, \qquad (63)$$

где $k_{\text{н}}$, $U_{\text{ос.р.пз}}$ — то же, что в (62);

$z_{0\text{cI}}$, $z_{0\text{лI}}$, $z_{0\text{лIV}}$, $z_{0\text{c}}$, $z_{0\text{в}}$ — сопротивление нулевой последовательности элементов схемы замещения по рис. 19,*б*;

$k_{0\text{тI-c}}$, $k_{0\text{тI-IV}}$ — коэффициенты токораспределения для токов нулевой последовательности, определяемые при коротком замыкании в месте установки трансформатора напряжения, используемого для защиты (на шинах среднего напряжения); для схемы по рис. 19,*б*; коэффициенты токораспределения определяются:

$$k_{0\text{тI-c}} = \frac{I_{0\text{I}}}{I_{0\text{c}}} < 1; \quad k_{0\text{тI-IV}} = \frac{I_{0\text{I}}}{I_{0\text{IV}}} \leqslant 1.$$

Для предельного расчетного режима, когда $k_{0\text{тI-IV}} = 1$ (п/ст *II* и *IV* отключены), выражение (63) при равных первичных напряжениях срабатывания реле напряжения нулевой последовательности защит *1* и *3* удовлетворяется, если

$$\frac{z_{0\text{лI}} + \dfrac{z_{0\text{c}}}{k_{0\text{тI-c}}} + z_{0\text{в}} + z_{0\text{лIV}}}{z_{0\text{cI}}} \geqslant 0{,}5. \qquad (64)$$

Как видно из выражения (64), выражение (63) удовлетворяется во многих случаях; при этом специальный расчет для согласования по чувствительности по выражению (63) можно не производить.

В случае, когда относительное распределение токов нулевой последовательности зависит от места рассматриваемого внешнего короткого замыкания (при наличии обходной связи между подстанциями, на которых установлены согласуемые полукомплекты), расчет должен производиться по выражению (62) для места повреждения, соответствующего максимальному отношению напряжений $U_{0\text{I}}/U_{0\text{III}}$. При этом следует учитывать, что согласование полукомплектов, установленных на параллельных линиях, связанных взаимной индуктивностью, по условию (62) должно производиться также для короткого замыкания в конце параллельной линии при ее отключении с одного конца; в этом случае при определенных сочетаниях параметров нулевой последовательности сети может оказаться $U_{0\text{I}}/U_{0\text{III}} > 1$. Если при учете указанного условия защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, следует рассмотреть возможность согласования по чувствительности реле тока нулевой последовательности РТН с реле напряжения нулевой последовательности, предназначенным для пуска в. ч. передатчика полукомплекта противоположного конца линии (п. 3).

Первичное напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов) при включении линии под напряжение определяется по выражению

$$U_{\text{ос.р.п}} \geqslant U_{\text{ос.р.п.б}}, \qquad (65)$$

где $U_{\text{ос.р.п.б}}$ — первичное напряжение срабатывания реле напряжения, выбранное по выражению (VIIП-4) приложения VII.

3. Первичный ток срабатывания реле тока нулевой последовательности, предназначенного для остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю (реле *РТН* в схеме по рис. 1), на линиях с ответвлениями выбирается по условиям:

а) согласования по чувствительности с реле тока нулевой последовательности, действующим на пуск в. ч. передатчика, полукомплекта противоположного конца линии;

б) отстройки от расчетного максимального тока небаланса при внешнем замыкании между фазами вблизи места установки защиты или при качаниях (условие учитывается только в случае неиспользования для остановки в. ч. передатчика реле напряжения, включенного на напряжение нулевой последовательности);

в) отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов), имеющих заземленные нейтрали и приключенных к другим концам защищаемой линии; указанное условие требуется учитывать в общем случае как при отсутствии на этих концах полукомплектов в. ч. блокировки, так и при их наличии; последнее объясняется тем, что при использовании для пуска в. ч. передатчика на этих концах реле направления мощности нулевой или обратной последовательностей (схемы по рис. 2-4) следует принимать во внимание возможность несрабатывания этого реле в рассматриваемом режиме, а при использовании на этих концах реле направления мощности нулевой последовательности только для остановки в. ч. передатчика (схема по рис. 1) следует принимать во внимание возмож-

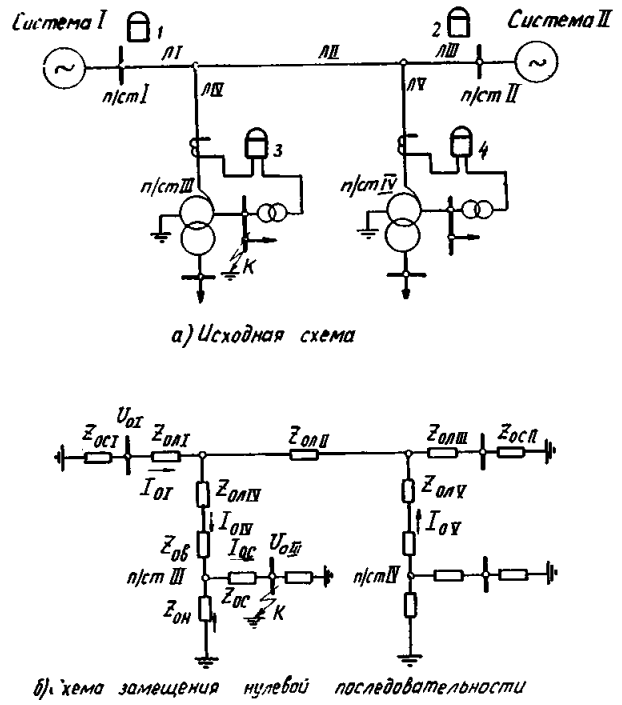


Рис. 19. Пример схемы линии с ответвлениями в простой сети для согласования пусковых органов в. ч. блокировки при замыкании на землю за автотрансформатором.

$z_{0\text{в}}$, $z_{0\text{c}}$, $z_{0\text{н}}$ — сопротивления сторон высшего, среднего и низшего напряжений автотрансформатора в схеме замещения нулевой последовательности; $z_{0\text{cI}}$, $z_{0\text{cII}}$ — сопротивления нулевой последовательности соответственно систем *I*, *II*; $z_{0\text{лI}}$, $z_{0\text{лII}}$, $z_{0\text{лIII}}$, $z_{0\text{лIV}}$, $z_{0\text{л V}}$ — сопротивления нулевой последовательности соответственно участков линии *ЛI*, *ЛII*, *ЛIII*, *ЛIV*, *ЛV*; $U_{0\text{I}}$, $U_{0\text{III}}$ — первичные напряжения нулевой последовательности соответственно в месте включения рассматриваемой защиты и полукомплекта, с которым производится согласование.

ность срабатывания этого реле в рассматриваемом режиме;

г) отстройки от тока нулевой последовательности, возникающего в кратковременном неполнофазном режиме при включении линии под напряжение и самозапуске двигателей нагрузки подстанций, приключенных к рассматриваемой линии при заземленных нейтралях трансформаторов этих подстанций; условие рассматривается при выключателях с пофазными приводами и установке трансформаторов напряжения на шинах и (по аналогии с указанными выше в п. «в») как при отсутствии, так и при наличии полукомплектов в. ч. блокировки на питаемых концах линии; рассматриваемое условие не учитывается в случаях, когда предусматривается выведение защиты при включении выключателя (например, с помощью контакта реле ускорения защиты в схеме по рис. 1), либо в случаях, когда защита отстроена от указанного режима с помощью замедления (например, на выходном промежуточном реле);

д) отстройки от замыкания на землю на стороне среднего напряжения автотрансформатора, приключенного к концу данной линии, со стороны которого не установлен полукомплект в. ч. блокировки.

Первичный ток срабатывания рассматриваемого реле тока по условию согласования по чувствительности определяется следующим образом.

При отсутствии обходных связей между концом линии, где установлен полукомплект, с которым производится согласование (*2* на рис. 16,*а* и *б*), и другим концом линии, противоположным месту установки согласуемого полукомплекта (*1* на рис. 16,*а* и *б*), — по выражению:

$$I^{(\text{ртн})}_{\text{0с. р.п1}} \geqslant k_{\text{н}} k_{\text{0тI-III}} I^{(\text{рт})}_{\text{0с. р.п2}}, \qquad (66)$$

где $k_{\text{н}}$ — то же, что в выражении (33);

$I^{(\text{рт})}_{\text{с. р.п}2}$ — первичный ток срабатывания реле тока нулевой последовательности, действующего на пуск в. ч. передатчика полукомплекта противоположного конца линии, с которым производится согласование;

$k_{\text{0тI-III}}$ — то же, что $k_{\text{тI-III}}$ в выражении (42) табл. 5, но для токов нулевой последовательности; может быть определен при коротком замыкании на шинах подстанции (*II* на рис. 16), где установлен полукомплект, с которым производится согласование.

При наличии обходной связи между концом линии, где установлен полукомплект, с которым производится согласование (защита *2* на рис. 16,*б*), и другим концом линии противоположным месту установки данной (защиты *3* на рис. 16,*б*), — по выражению:

$$I^{(\text{ртн})}_{\text{0с. р.п3}} > k_{\text{н}} k_{\text{0тIV-III}} I^{(\text{рт})}_{\text{0с. р.п2}}, \qquad (67)$$

где $k_{\text{н}}$ — то же, что в выражении (33);

$I^{(\text{рт})}_{\text{0с. р.п2}}$ — то же, что в выражении (66);

$k_{\text{0тIV-III}}$ — то же, что $k_{\text{тIV-III}}$ в выражении (43) табл. 5, но для токов нулевой последовательности.

При выполнении полукомплекта, с которым производится согласование, по схеме рис. 4 в случае, если расчет по выражению (62) при коротком замыкании в конце отключенной с одного конца параллельной линии (п. 2) приводит к недопустимому загрублению защиты, следует рассмотреть возможность согласования по чувствительности реле тока нулевой последовательности с реле напряжения нулевой последовательности, предназначенным для пуска в. ч. передатчика полукомплекта противоположного конца линии.

Первичный ток срабатывания рассматриваемого реле тока по условию отстройки от броска тока намагничивания при включении трансформаторов (автотрансформаторов) определяется по выражению

$$I^{(\text{ртн})}_{\text{0с. р.п}} \geqslant I_{\text{0с. р.п.б}}, \qquad (68)$$

где $I_{\text{0с.р.п.б}}$ — первичный ток срабатывания реле тока, выбранный по выражению (VIII-1) приложения VII.

Следует отметить, что при использовании для остановки передатчика реле напряжения РН и реле тока РТН в схеме по рис. 1 достаточно отстроить от броска тока намагничивания только одно из них. Выбор реле, обеспечивающего отстройку защиты от рассматриваемого режима, определяется условиями чувствительности.

В случае, когда при выборе параметров срабатывания реле напряжения *РН* или реле тока *РТН* по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, должно предусматриваться выведение защиты при включении выключателя на конце линии, включаемом первым (см. описание схемы по рис. 1, п.8), или замедление защиты (на выходном промежуточном реле или промежуточном реле остановки в. ч. передатчика) для отстройки от кратковременного неполнофазного режима при включении выключателя. При этом значение коэффициента $C_{\text{б}}$ в выражении (VIII-1) может быть значительно снижено.

Первичный ток срабатывания рассматриваемого реле тока по условию отстройки от тока нулевой последовательности, возникающего в кратковременном неполнофазном режиме при включении выключателя с пофазным приводом, определяется по выражению

$$I^{(\text{ртн})}_{\text{0с. р.п}} = k_{\text{н}} 3 I_{\text{0н.р}}, \qquad (69)$$

где $k_{\text{н}}$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,3;

$I_{\text{0н.р}}$ — ток нулевой последовательности в месте установки защиты в указанном несимметричном режиме.

Первичный ток срабатывания рассматриваемого реле тока по условию отстройки от замыкания на землю на стороне среднего напряжения автотрансформатора определяется по выражению

$$I^{(\text{ртн})}_{\text{0с. р.п}} = k_{\text{н}} 3 I_{\text{0к.з}}, \qquad (70)$$

где $k_{\text{н}}$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,4;

$I_{\text{0к.з}}$ — максимальный ток нулевой последовательности в месте установки защиты при указанном повреждении.

Д. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО СХЕМАМ РИС. 2 и 3

1. Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления блокирующего полукомплекта (реле *1РС—3РС* в схеме по рис. 2 и *1РС* в схеме по рис. 3) определяется по условию отстройки от минимального сопротивления в месте установки полукомплекта в максимальном нагрузочном режиме по выражению

$$z_{\text{с.р.п}} \leqslant \frac{z_{\text{раб.мин}}}{k_{\text{н}} k_{\text{в}} \cos(\varphi_{\text{м.ч}} - \varphi_{\text{раб}})}, \qquad (71)$$

где $k_{\text{н}}$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;

$k_{\text{в}}$ — коэффициент возврата реле;

$\varphi_{\text{м.ч}}$ — угол максимальной чувствительности реле;

$\varphi_{\text{раб}}$ — максимальное значение угла полного сопротивления нагрузки;

$z_{раб.мин}$ — минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме; может быть определено по выражению:

$$z_{раб.мин} = \frac{0{,}9U_{ном}}{\sqrt{3}I_{раб.макс}}, \quad (72)$$

где $U_{ном}$ — номинальное междуфазное напряжение сети;

$I_{раб.макс}$ — максимальный рабочий ток.

Следует отметить, что выбор сопротивления срабатывания рассматриваемых реле сопротивления производится без учета условий самозапуска с целью повышения надежности пуска защиты при внешних замыканиях через переходное сопротивление вблизи места установки полукомплекта. Неучет условий самозапуска может привести к отказу защиты при включении линии на короткое замыкание в случае, если на конце без питания будет пущен в. ч. передатчик от тока самозапуска заторможенных двигателей нагрузки. Указанное можно считать допустимым, исходя из наличия ускоряемых при включении ступеней резервных защит линии, а также учитывая, что наличие большого тока самозапуска в рассмотренных условиях является достаточно маловероятным.

2. Мощность срабатывания реле направления мощности обратной последовательности в схеме по рис. 3 должна удовлетворять условию согласования по чувствительности реле сопротивления, действующего на остановку в. ч. передатчика (отключение), в полукомплекте питающего конца с реле направления мощности обратной последовательности на данном конце при внешних замыканиях между двумя фазами:

$$S_{2с.\,рз} \leqslant \frac{U_{2з}I_{2з}}{k_н n_т n_н n_{тр}}, \quad (73)$$

где $U_{2з}$, $I_{2з}$ — напряжение и ток обратной последовательности в месте включения рассматриваемого полукомплекта, приведенные к стороне высшего напряжения (стороне защищаемой линии), при расчетном внешнем замыкании между двумя фазами на границе зоны, охватываемой реле сопротивления, действующим на отключение в полукомплекте питающего конца;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 2;

$n_т$, $n_н$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и трансформаторов напряжения, используемых для данного полукомплекта;

$n_{тр}$ — коэффициент трансформации трансформатора (автотрансформатора) между стороной его высшего напряжения (стороной защищаемой линии) и стороной установки трансформатора напряжения; в целях большей надежности должно учитываться максимально возможное при регулировании напряжения значение коэффициента трансформации.

В качестве расчетного для согласования может быть принят режим, когда линия включена с одного питающего конца, на котором установлен полукомплект, согласование реле сопротивления которого рассматривается. При этом значения $U_{2з}$ и $I_{2з}$ могут быть определены по выражениям:

$$I_{2з} = \frac{E_ф}{2\,(1{,}15z_{с.\,р.п1} + z_{1сI})}; \quad (74)$$

$$U_{2з} = I_{2з}(z_{1сI} + z_{1лI} + z_{1лIII}) + I_{2з}z_{1тр}, \quad (75)$$

где $E_ф$ — фазная э. д. с. системы;

$z_{с.р.п1}$ — первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления согласуемого полукомплекта

$z_{1сI}$ — результирующее сопротивление прямой (обратной) последовательности системы, примыкающей к месту установки согласуемого полукомплекта, в рассматриваемом режиме одностороннего питания; в качестве расчетного принимается минимальный режим работы системы;

$z_{1лI}$ — сопротивление участка защищаемой линии от места установки согласуемого полукомплекта до места разветвления;

$z_{1лIII}$ — сопротивление участка защищаемой линии от места разветвления до шин подстанции, на котором установлен данный блокирующий полукомплект;

$z_{1тр}I_{2з}$ — напряжение обратной последовательности между стороной высшего напряжения трансформатора подстанции, на которой установлен данный блокирующий полукомплект, и стороной установки трансформатора напряжения; принимается минимально возможное значение $z_{1тр}$.

3. Первичное напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности *1РН* в схеме по рис. 2 должно выбираться по условию отстройки от напряжения на реле при замыкании между фазами на защищаемой линии в соответствии с указанным в гл. 2, разд. Г, п. 3.

4. Мощность срабатывания реле направления мощности нулевой последовательности *1РМ* в схеме по рис. 2 должна удовлетворять условию

$$S_{ос.рз} \leqslant \frac{I_{0с.\,р.п1}^{(ртн)}U_{ос.\,рз}}{k_н n_т}, \quad (76)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 2;

$I_{0с.\,р.п1}^{(ртн)}$ — первичный ток срабатывания реле тока нулевой последовательности, предназначенного для остановки в. ч. передатчика (отключения) при замыканиях на землю, в полукомплекте противоположного питающего конца (приведенный к напряжению стороны установки трансформаторов тока, на которые включен рассматриваемый полукомплект);

$U_{ос.рз}$ — напряжение срабатывания (вторичное) реле напряжения *1РН* в схеме по рис. 2;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Е. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ПОЛУКОМПЛЕКТА ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ, ВЫПОЛНЕННОГО ПО СХЕМЕ РИС. 4

1. Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления, действующих на пуск в. ч. передатчика при многофазных коротких замыканиях (реле 1РС—3РС в схеме по рис. 4), определяется по условию отстройки от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме [по выражению (71)].

2. Первичное сопротивление срабатывания ступени дистанционной защиты, используемой для действия с в. ч. блокировкой (в органе отключения дистанцион-

ной защиты с в. ч. блокировкой), определяется в соответствии с указанным в разд. Б (настоящей главы) и гл. 2, разд. Б. Ток точной работы этой ступени дистанционной защиты должен быть проверен по выражению, аналогичному (46).

3. Первичное напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности *1PH* определяется по условиям:

а) отстройки от напряжения на реле при коротком замыкании между фазами в месте установки защиты (гл. 2, разд. Г, п. 3);

б) согласования по чувствительности с реле напряжения нулевой последовательности, предназначенным для пуска в. ч. передатчика полукомплектов противоположных концов линии при замыканиях на землю, в случае, когда эти полукомплекты выполняются по схемам рис. 2 или 4 (разд. Г, п. 2, «б» настоящей главы).

в) отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов) при включении линии под напряжение (разд. Г, п. 2 «в»).

4. Первичный ток срабатывания реле тока нулевой последовательности (реле *PTH*) отключающего органа защиты с в. ч. блокировкой должен определяться по аналогии с указанным в гл. 2, разд. Г, п. 2 и разд. Г, п. 3 настоящей главы.

5. Мощность срабатывания реле направления мощности нулевой последовательности *1PM* должна удовлетворять условию (76).

Приложение I

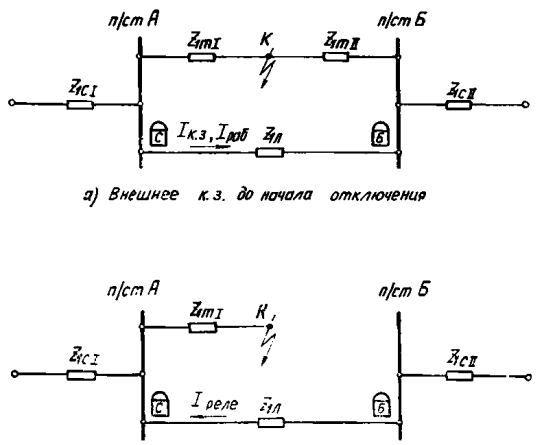
АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ КАСКАДНОМ ОТКЛЮЧЕНИИ ВНЕШНЕГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

В настоящем приложении рассмотрено действие реле сопротивления дистанционной защиты с в. ч. блокировкой при каскадном отключении внешнего короткого замыкания в условиях, когда при этом происходит изменение направления мощности в защищаемой линии (рис. П-1).

После отключения выключателя поврежденной линии со стороны, противоположной месту установки рассматриваемого реле, передатчик, установленный с этой стороны, может быть остановлен, а рассматриваемое реле сопротивления должно вернуться, так как в противном случае возможно неправильное действие защиты на отключение защищаемой неповрежденной линии.

Возврат направленного реле сопротивления современной конструкции, выполненного на схеме сравнения с использованием магнитоэлектрического реле (например, реле комплекта типа КРС-1), возможен только за счет подведения к реле вектора сопротивления (напряжения), создающего тормозной момент. Необходимое для возврата значение вектора сопротивления зависит от значения тока, проходящего в месте установки защиты.

Известно, что рассматриваемое реле возвращается при подведении к нему следующих сочетаний вектора первичного сопротивления $z_{возв.з}$, находящегося в третьем квадранте и направленного по оси максимальной чувствительности характеристики реле, и тока



а) Внешнее к.з. до начала отключения

б) Внешнее к.з. после отключения поврежденной линии с одной стороны

Рис. П-1. Схема замещения сети для анализа действия реле сопротивления при каскадном отключении внешнего короткого замыкания.

в защите:

Значение тока в месте установки защиты $I_з$ в долях от тока точной работы защиты $I_{з.точ}$	0,5	1	2
Значение сопротивления возврата $z_{возв.з}$ в долях от сопротивления срабатывания защиты $z_{с.з}$	0,4	0,2	0,1

Необходимое значение первичного сопротивления возврата защиты $z_{возв.з}$ находится в прямолинейной обратной зависимости от проходящего в месте установки защиты тока $I_з$.

Анализ действия реле сопротивления при каскадном отключении внешнего короткого замыкания произведен ниже для элементарной схемы линии с двусторонним питанием и одной обходной связью (рис. П-1), однако выводы, сделанные в этом анализе, могут быть распространены и на более сложные сети.

Рассмотрим короткое замыкание в точке, ограничивающей зону чувствительности рассматриваемого реле сопротивления (точка K на рис. П-1). При этом сопротивление в месте установки рассматриваемой защиты $z_з$ равно ее сопротивлению срабатывания $z_{с.з}$.

При отключении поврежденной линии со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты, сопротивление $z_з$ должно быть достаточно для обеспечения возврата защиты

$$z_з > z_{возв.з}. \qquad (IП\text{-}1)$$

Из рис. П-1, *б*

$$z_з = \frac{z_{1mI}(z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cII})}{z_{1cI}}, \qquad (IП\text{-}2)$$

а ток, проходящий в месте установки защиты,

$$I_з = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}\left(z_{1mI} + \dfrac{z_{1cI}(z_{1л} + z_{1cII})}{z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cII}}\right)} \cdot \frac{z_{1cI}}{z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cII}}. \qquad (IП\text{-}3)$$

Условие обеспечения возврата защиты (IП-1) с учетом необходимого сочетания значений сопротивления и тока в защите для комплекта типа КРС-1, у которого ток точной работы $I_{р.точ} = 1{,}6$ А, может быть записано в следующем виде:

$$z_з \geqslant \frac{2 \cdot 1{,}6}{5} \frac{I_{раб.макс}}{I_з} 0{,}1 z_{с.з}. \qquad (IП\text{-}4)$$

Первичное сопротивление срабатывания направленного реле сопротивления третьей ступени (см. «Руково-

дящие указания по релейной защите», Вып. 7. «Дистанционная защита линий 35—330 кВ»).

$$z_{с.з} = \frac{U_{мин}}{\sqrt{3}\, k_н k_в k_{самозап} \cos(\varphi_л - \varphi_{раб})\, I_{раб.макс}}, \quad (IП\text{-}5)$$

Подставив в (IП-5) значения коэффициентов, а также приняв $U_{мин}=0{,}8\ U_{ном}$ и произведя некоторые преобразования, получим выражение для максимального первичного рабочего тока в защищаемой линии:

$$I_{раб.\,макс} = \frac{U_{мин}}{\sqrt{3}\, k_н k_в k_{самозап} \cos(\varphi_л - \varphi_{раб})\, z_{с.\,з}} = \frac{0{,}8 U_{ном}}{\sqrt{3}\cdot 1{,}2\cdot 1{,}1\cdot 1{,}5 \cos(\varphi_л - \varphi_{раб})\, z_{с.\,з}} = \frac{0{,}404 U_{ном}}{\sqrt{3}\cos(\varphi_л - \varphi_{раб})\, z_{с.\,з}}. \quad (IП\text{-}6)$$

Подставив значения $z_з$, $I_з$ и $I_{раб.макс}$ по выражениям (IП-2), (IП-3) и (IП-6) в выражение (IП-4) и произведя некоторые преобразования, получим:

$$\frac{z_{1mI}(z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cII})}{z_{1cI}} \geqslant \frac{0{,}64\cdot 0{,}404 U_{ном}\sqrt{3}\left(z_{1mI} + \dfrac{z_{1cI}(z_{1л} + z_{1cII})}{z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cII}}\right)}{\sqrt{3}\cos(\varphi_л - \varphi_{раб})\, z_{с.\,з} U_{ном} \dfrac{z_{1cI}}{z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cII}}} 0{,}1 z_{с.\,з};$$

$$z_{1mI} \geqslant \frac{0{,}0258}{\cos(\varphi_л - \varphi_{раб})}\left(z_{1mI} + \frac{z_{1cI}(z_{л1} + z_{1cII})}{z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cII}}\right);$$

$$z_{1mI}\left(1 - \frac{0{,}0258}{\cos(\varphi_л - \varphi_{раб})}\right) \geqslant \frac{0{,}0258}{\cos(\varphi_л - \varphi_{раб})} \frac{z_{1cI}(z_{1л} + z_{1cII})}{z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cII}};$$

$$z_{1mI} \geqslant \frac{0{,}0258}{\cos(\varphi_л - \varphi_{раб}) - 0{,}0258} \frac{z_{1cI}(z_{1л} + z_{1cII})}{z_{1cI} + z_{1л} + z_{1cIII}}. \quad (IП\text{-}7)$$

Из (IП-7) видно, что расчетным будет минимально возможное значение $\cos(\varphi_л - \varphi_{раб})$, т. е. максимальная разность этих углов. Принимаем $\varphi_л = 70°$, $\varphi_{раб} = 10°$, $\cos(70° - 10°) = 0{,}5$. Подставляя найденное предельное значение $\cos(\varphi_л - \varphi_{раб})$ в (IП-7) и деля обе части неравенства, а также числитель и знаменатель правой части на $z_{1л}$, получаем:

$$\frac{z_{1mI}}{z_{1л}} \geqslant 0{,}0545 \frac{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}}\left(1 + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}\right)}{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}} + 1 + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}}. \quad (IП\text{-}8)$$

Поскольку срабатывание направленного реле сопротивления при коротком замыкании в точке K до начала каскадного отключения (рис. П-1,*а*) возможно только при условии, когда ток в месте установки реле направлен от шин в линию, напряжение на шинах п/ст *А* должно быть выше напряжения на шинах п/ст *Б*, т. е.

$$U_A > U_B \quad (IП\text{-}9)$$

или

$$\frac{z_{1mI}}{z_{1cI}} > \frac{z_{1mII}}{z_{1cII}}. \quad (IП\text{-}10)$$

Учитывая, что расчетным для возврата реле (IП-1) является внешнее короткое замыкание на наиболее короткой обходной связи, принимаем, что:

$$z_{1mI} + z_{1mII} = z_{1л}. \quad (IП\text{-}11)$$

С учетом (IП-11) выражение (IП-10) можно представить в виде

$$\frac{z_{1mI}}{z_{1л}} > \frac{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}}\left(1 - \dfrac{z_{1mI}}{z_{1л}}\right)}{\dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}}. \quad (IП\text{-}12)$$

Отсюда

$$\frac{z_{1mI}}{z_{1л}} > \frac{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}}}{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}} + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}}. \quad (IП\text{-}13)$$

Подставляя (IП-13) в (IП-8) и учитывая при этом, что поскольку подставляемая величина не равна, а меньше $z_{1mI}/z_{1л}$, в условие (IП-8) вносится дополнительный запас, получаем:

$$\frac{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}}}{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}} + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}} \geqslant 0{,}0545 \frac{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}}\left(1 + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}\right)}{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}} + 1 + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}}$$

или окончательно

$$1 \geqslant 0{,}0545 \frac{\left(\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}} + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}\right)\left(1 + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}\right)}{\dfrac{z_{1cI}}{z_{1л}} + 1 + \dfrac{z_{1cII}}{z_{1л}}}. \quad (IП\text{-}14)$$

Из выражения (IП-14) видно, что наиболее тяжелые условия для возврата реле будут при максимальных возможных значениях отношений

$$\frac{z_{1cI}}{z_{1л}} \text{ и } \frac{z_{1cII}}{z_{1л}}.$$

Рассмотрим несколько случаев:

1. Защита установлена на линии 110 кВ с двусторонним питанием минимально возможной длины 10 км с минимально возможными мощностями систем *I* и *II* в 1000 МВ·А. При этом отношения $z_{1cI}/z_{1л} = z_{1cII}/z_{1л} = 3{,}3$.

Подставляя эти значения в (IП-14), получаем:

$$1 \geqslant 0{,}0545 \frac{(3{,}3 + 3{,}3)(1 + 3{,}3)}{3{,}3 + 1 + 3{,}3} = 0{,}203,$$

т. е. даже в таком предельном случае обеспечивается возврат реле сопротивления с пятикратным запасом.

2. Рассмотрим, какими должны быть значения отношений $z_{1cI}/z_{1л}$ и $z_{1cII}/z_{1л}$, чтобы неравенство (IП-14) еще соблюдалось.

Примем:

$$\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}=\frac{z_{1cII}}{z_{1л}},$$

тогда из (1П-14)

$$1\geqslant 0{,}0545\,\frac{2\,\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}\left(1+\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}\right)}{2\,\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}+1};$$

$$0{,}109\left(\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}\right)^2+(0{,}109-2)\,\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}-1\leqslant 0,$$

откуда

$$\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}\leqslant\frac{1{,}891\pm\sqrt{1{,}891^2+4\cdot 0{,}109}}{2\cdot 0{,}109}=17{,}8.$$

3. Защита установлена на линии с двусторонним питанием со стороны системы бесконечной мощности $z_{1cI}/z_{1л}=0$.

При этом из (IП-14) получаем:

$$1\geqslant 0{,}0545\,\frac{\frac{z_{1cII}}{z_{1л}}\left(1+\frac{z_{1cII}}{z_{1л}}\right)}{1+\frac{z_{1cII}}{z_{1л}}};\ \frac{z_{1cII}}{z_{1л}}\leqslant\frac{1}{0{,}0545}=18{,}3.$$

4. Защита установлена на линии с двусторонним питанием со стороны, противоположной системе бесконечной мощности, $z_{cII}/z_{cI}=0$.

При этом из (IП-14) получаем:

$$1\geqslant 0{,}0545\,\frac{\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}}{\frac{z_{1cI}}{z_{1л}}+1};\ \frac{z_{1cI}}{z_{1л}}(1-0{,}0545)\geqslant -1,$$

откуда

$$z_{1cI}/z_{1л}\geqslant -1{,}06,$$

т. е. неравенство (IП-14) будет соблюдаться, а возврат реле сопротивления обеспечивается при любых значениях отношения $z_{1cI}/z_{1л}$.

Из рассмотренного следует, что во всех практически возможных случаях возврат реле сопротивления при каскадном отключении внешнего короткого замыкания будет обеспечиваться.

Приложение II

СОГЛАСОВАНИЕ ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Ниже рассматриваются способы согласования по чувствительности реле пусковых органов в. ч. блокировки дистанционной защиты, предназначенных для действия при междуфазных коротких замыканиях на пуск и остановку в. ч. передатчика, при использовании для пуска в. ч. передатчика устройств блокировки при качаниях как типов КРБ-126, КРБ-124 и КРБ-122, так и типов КРБ-125, КРБ-123 и КРБ-121.

А. СОГЛАСОВАНИЕ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С УСТРОЙСТВОМ БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ

1. Для вывода расчетного выражения для согласования по чувствительности реле сопротивления с устройством блокировки при качаниях наиболее удобно выразить сопротивление в месте установки защиты через симметричные составляющие токов и напряжений.

Первичное сопротивление в месте установки защиты для реле сопротивления, включенного на напряжение $\dot{U}_{BC}$ и ток $\dot{I}_B-\dot{I}_C$:

$$Z_з=\frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{I}_B-\dot{I}_C}=\frac{\dot{U}_B-\dot{U}_C}{\dot{I}_B-\dot{I}_C}=$$

$$=\frac{a^2\dot{U}_1+a\dot{U}_2-(a\dot{U}_1+a^2\dot{U}_2)}{a^2\dot{I}_1+a\dot{I}_2-(a\dot{I}_1+a^2\dot{I}_2)}=\frac{\dot{U}_1-\dot{U}_2}{\dot{I}_1-\dot{I}_2},\qquad (\text{IIП-1})$$

где $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$, $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$ — напряжения и токи прямой и обратной последовательностей в месте установки рассматриваемого реле сопротивления.

Напряжения прямой и обратной последовательностей в месте установки защиты *1* (см. рис. 6,*а*) для случая замыкания между двумя фазами (*B* и *C*) и равенства сопротивлений прямой и обратной последовательностей отдельных ветвей:

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_1^{(2)}&=\dot{E}_\Phi-Z_{1cI}\dot{I}_1^{(2)}=E_\Phi-z_{1cI}\,I_2^{(2)};\\ \dot{U}_2^{(2)}&=-Z_{1cI}\,I_2^{(2)}=z_{1cI}\,I_2^{(2)},\end{aligned}\right\}\qquad (\text{IIП-2})$$

где $\dot{E}_\Phi$ — фазная э. д. с. системы;

$Z_{1cI}\approx jz_{1cI}$ — сопротивление прямой (обратной) последовательности системы *1*;

$\dot{I}_1^{(2)}=-j\dot{I}_1^{(2)}$ — ток прямой последовательности в месте установки защиты;

$\dot{I}_2^{(2)}=j\dot{I}_2^{(2)}=j\dot{I}_1^{(2)}$ — ток обратной последовательности в месте установки защиты.

Из выражения (IIП-1) с учетом выражений (IIП-2) определяется сопротивление на зажимах реле при замыкании между двумя фазами (BC)

$$Z_{з1}^{(2)}=j\left(\frac{E_\Phi}{2I_2^{(2)}}-z_{1cI}\right).\qquad (\text{IIП-3})$$

Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления защиты *1* (рис. 6,*а*) по условию согласования по чувствительности с устройством блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности (типа КРБ-122, КРБ-124 и КРБ-126) защиты *2* при внешнем замыкании между двумя фазами (в точке K_1) [исходя из выражения (IIП-3)] может быть определено по выражению

$$z_{с.зl}^{(2)}\lessapprox 0{,}85\left(\frac{E_\Phi}{2k_н I_{2с.р.п}^{(2)}}-z_{1cI}\right),\qquad (\text{IIП-4})$$

где $I^{(2)}_{2с.р.п}$ — первичный ток срабатывания обратной последовательности устройства блокировки при качаниях защиты *2* при замыканиях между двумя фазами;

$E_ф$ — фазная э. д. с. системы;

$z_{1с1}$ — сопротивление обратной (прямой) последовательности системы, примыкающей к месту установки защиты (системы *I* на рис. 6,*а*);

$k_н$ — коэффициент надежности, учитывающий погрешность устройства блокировки при качаниях и необходимость обеспечения определенной кратности тока в реле для получения достаточного его быстродействия.

При наличии обходных связей (схема по рис. 6,*б*) выражение (ПП-4) может быть представлено в следующем виде:

$$z^{(2)}_{с.з1} < 0{,}85\left(\frac{E_ф}{2k_н I^{(2)}_{2с.р.п}} - \frac{z_{1с1}}{k'_т}\right), \qquad \text{(ПП-5)}$$

где $k'_т$ — коэффициент токораспределения, определяемый при внешнем коротком замыкании в расчетной точке как отношение тока обратной последовательности в месте установки защиты к току в сопротивлении системы, примыкающей к данной подстанции (на рис. 6,*б* $k'_т = I_{21}/I_{2с1}$).

В качестве расчетного должно приниматься минимальное значение $k'_т$ (при максимальном $z_{1с1}$). Более подробно определение расчетного значения $k'_т$ рассмотрено ниже (см. пояснения к выражению (ПП-10)).

Значение $I_{2с.р.п}$ определяется исходя из тормозной характеристики устройства блокировки при качаниях при условии, что фазный ток короткого замыкания $I_{торм.к.з.п}$ проходит по фазе, в которую включена тормозная обмотка устройства блокировки при качаниях:

$$I_{2с.р.п} = I_{2уст} n_т + k_{торм} I_{торм.к.з.п}. \qquad \text{(ПП-6)}$$

При замыкании между двумя фазами

$$I^{(2)}_{2с.р.п} = I_{2уст} n_т + k_{торм}\sqrt{3} I^{(2)}_{2с.р.п},$$

откуда

$$I^{(2)}_{2с.р.п} = \frac{I_{2уст} n_т}{1 - k_{торм}\sqrt{3}}. \qquad \text{(ПП-7)}$$

В выражениях (ПП-6) и (ПП-7):

$I_{2уст}$, $k_{торм}$ — уставки устройства блокировки при качаниях по току обратной последовательности и коэффициенту торможения соответственно, полученные при расчете дистанционной защиты;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока, используемых для защиты, с устройством блокировки, при качаниях которой производится согласование.

При замыкании двух фаз на землю ток прямой последовательности может быть выражен через ток обратной последовательности (при $z_{1Σ} = z_{2Σ}$):

$$I^{(1,1)}_1 = I^{(1,1)}_2 (z_{1Σ}/z_{0Σ} + 1), \qquad \text{(ПП-8)}$$

где $z_{1Σ}/z_{0Σ}$ — отношение результирующих сопротивлений прямой (обратной) и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания.

Исходя из (ПП-1) с учетом (ПП-8) по аналогии с (ПП-4) и (ПП-5) может быть получено:

а) для линии без обходных связей:

$$z^{(1,1)}_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left[\frac{E_ф}{k_н I^{(1,1)}_{2с.р.п}\left(\frac{z_{1Σ}}{z_{0Σ}} + 2\right)} - z_{1с1}\right]; \qquad \text{(ПП-9)}$$

б) для линии с обходными связями:

$$z^{(1,1)}_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left[\frac{E_ф}{k_н I^{(1,1)}_{2с.р.п}\left(\frac{z_{1Σ}}{z_{0Σ}} + 2\right)} - \frac{z_{1с1}}{k'_т}\right], \qquad \text{(ПП-10)}$$

где $I^{(1,1)}_{2с.р.п}$ — первичный ток срабатывания обратной последовательности устройства блокировки при качаниях защиты *2* при замыкании двух фаз на землю.

Остальные обозначения — см. выражения (ПП-4), (ПП-5) и (ПП-8).

2. Определение входящего в (ПП-10) расчетного значения $k'_т$ является затруднительным. На рис. П-2,*б* показана кривая зависимости коэффициента токораспределения $k'_т$ для защиты *1* в сети по рис. П-2,*а* от места короткого замыкания на обходной связи. Как видно из этой кривой, соответствующим минимальному значению $k'_т$ является короткое замыкание на обходной связи. Указанная расчетная точка короткого замыкания может быть найдена графически как точка, при коротком замыкании в которой ток в месте установки защиты *2* равен первичному току надежного срабатывания пускового органа устройства блокировки при качаниях $I_{21} = k_н \cdot I_{2с.р.п}$ (как показано на рис. П-2,*б*). При коротком замыкании в указанной точке определяется расчетное значение коэффициента токораспределения

$$k'_{т.расч} = \frac{k_н I_{2с.р.п}}{I_{2с1}},$$

где $I_{2с1}$ — ток обратной последовательности в сопротивлении системы при коротком замыкании в найденной расчетной точке

Указанный расчет должен быть проведен для минимального режима системы *I*. Последнее объясняется тем, что $z_{1с1}$ больше влияет на значение отношения $z_{1с1}/k'_т$, чем на значение $k'_т$ (положение расчетной точки).

В качестве расчетного в (ПП-9) и (ПП-10) должно приниматься максимальное значение отношения $z_{1Σ}/z_{0Σ}$.

Как видно из кривой зависимости $z_{1Σ}/z_{0Σ}$ от места короткого замыкания на обходной связи, приведенной на рис. П-2,*б*, при коротком замыкании в точке K_5 указанное отношение может быть больше, чем при коротком замыкании на обходной связи. В связи с этим расчет по выражению (ПП-10) должен производиться для двух случаев: короткого замыкания на обходной связи и короткого замыкания в системе *II*.

В первом случае расчетное значение $z_{1Σ}/z_{0Σ}$ определяется в той же точке, что и $k'_т$, во втором случае расчетное значение $k'_т$ определяется при коротком замыкании на шинах п/ст *II*, а $z_{1Σ}/z_{0Σ}$ — как максимальное возможное значение при внешнем коротком замыкании в системе *II*.

При наличии на рассматриваемой обходной связи промежуточной подстанции (например, п/ст *III* на рис. 6,*в* и П-2,*а*), если согласуемое реле сопротивления не отстроено от короткого замыкания на шинах этой подстанции, должно производиться также согласование при повреждениях в трансформаторах (автотрансформаторах) промежуточной подстанции и в сети за этими трансформаторами (автотрансформаторами). Указанное согласование производится также по выражению (ПП-10), в котором расчетное значение $k'_т$ определяется при коротком замыкании на шинах рассматриваемой промежуточной подстанции, а $z_{1Σ}/z_{0Σ}$ может приниматься для точки, ограничивающей зону надежного сра-

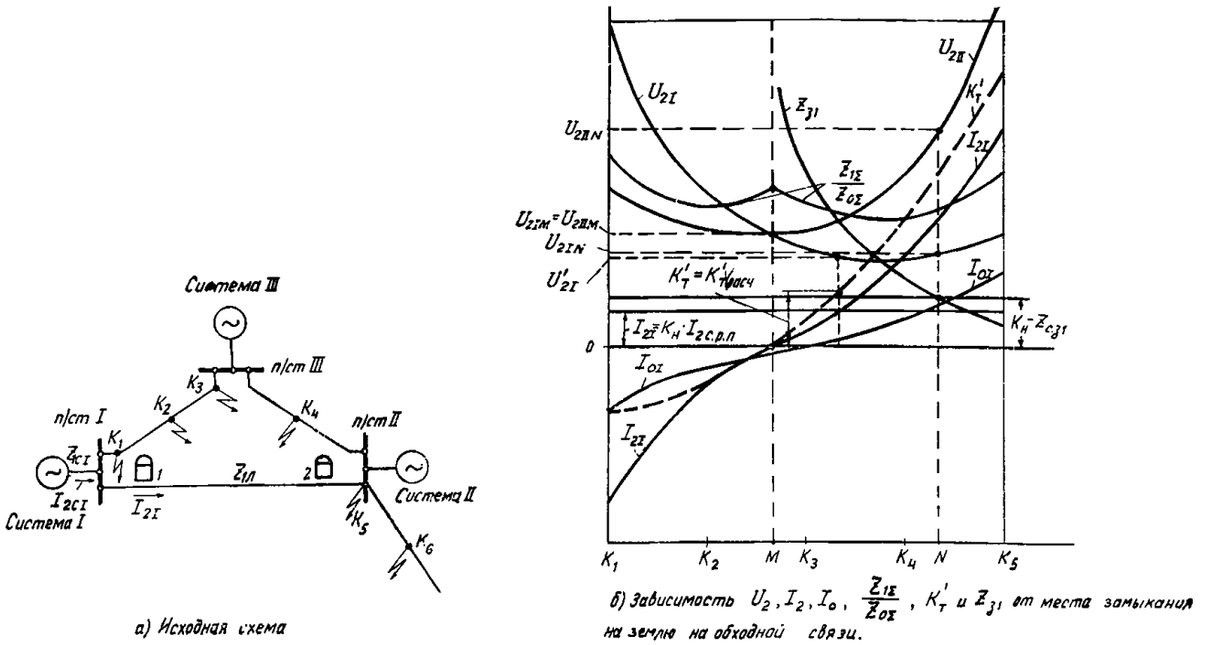


Рис. П-2. Зависимость U_2, I_2, I_0, $k'_т$, $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ и $z_{з1}$ от места замыкания на землю двух фаз на обходной связи. U_{2I}, U_{2II} — напряжения обратной последовательности на шинах п/ст *I* и *II*; I_{2I}, I_{0I} — токи обратной и нулевой последовательностей в месте установки защиты *I*; $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ — отношение результирующих сопротивлений прямой и нулевой последовательностей; $k'_т$ — коэффициент токораспределения для токов обратной последовательности $k'_т = I_{2I}/I_{2cI}$.

батывания пускового органа устройства блокировки при замыканиях между двумя фазами [см. гл. 2, разд. Б, III, выражение (17)].

3. Для получения входящего в (IIП-9) и (IIП-10) значения $I^{(1,1)}_{2c.p.п}$ определим абсолютное значение фазного тока поврежденной фазы при замыкании двух фаз на землю:

$$I^{(1,1)}_{ф} = I^{(1,1)}_{торм.\,п} = \sqrt{[I^{(1,1)}_0 + 0{,}5\,(I^{(1,1)}_1 - I^{(1,1)}_2)]^2 + \frac{3}{4}(I^{(1,1)}_1 + I^{(1,1)}_2)^2}\,, \quad \text{(IIП-11)}$$

где $I^{(1,1)}_1$, $I^{(1,1)}_2$, $I^{(1,1)}_0$ — токи прямой, обратной и нулевой последовательностей в месте установки защиты.

Для случая, когда пусковой орган устройства блокировки при качаниях находится на грани срабатывания, примем в (IIП-11):

$$I^{(1,1)}_0 = I^{(1,1)}_{2c.p.п}\,, \quad \text{(IIП-12)}$$

а по аналогии с (IIП-8):

$$I^{(1,1)}_1 = I^{(1,1)}_{2c.p.п}\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 1\right). \quad \text{(IIП-13)}$$

Ток нулевой последовательности с запасом можно принять соответствующим первичному току срабатывания $I^{(рт)}_{0c.p.п}$ реле тока нулевой последовательности, предназначенного для пуска в. ч. передатчика при замыканиях на землю (реле *РТ* в схеме по рис. 1), т. е.

$$I^{(1,1)}_0 = \frac{I^{(рт)}_{0c.p.п}}{3}\,. \quad \text{(IIП-14)}$$

Из (IIП-11) с учетом (IIП-12)—(IIП-14) получим:

$$I^{(1,1)}_{торм.п} = \sqrt{\frac{(I^{(рт)}_{0c.p.п})^2}{9} + \frac{I^{(рт)}_{0c.p.п} I^{(1,1)}_{2c.p.п}}{3}\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + (I^{(1,1)}_{2c.p.п})^2\left[\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 1\right)\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 2\right) + 1\right]}\,. \quad \text{(IIП-15)}$$

Учитывая, что обычно $I^{(рт)}_{0c.p.п} \leqslant 0{,}5 I^{(1,1)}_{2c.p.п}$, подставляем в (IIП-15) $I^{(рт)}_{0c.p.п} = 0{,}5 I^{(1,1)}_{2c.p.п}$ и получаем:

$$I^{(11)}_{торм.\,п} = I^{(1,1)}_{2c.p.п}\sqrt{\frac{1}{36} + \frac{1}{6}\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + \left[\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 1\right)\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 2\right) + 1\right]},$$

откуда видно, что первыми двумя членами подкоренного выражения можно пренебречь.

Таким образом,

$$I^{(1,1)}_{торм.\,п} \approx I^{(1,1)}_{2c.p.п}\sqrt{\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 1\right)\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 2\right) + 1}\,. \quad \text{(IIП-16)}$$

Из (IIП-6) с учетом (IIП-16) получим:

$$I^{(1,1)}_{2c.p.п} = \frac{I_{2уст} n_т}{1 - k_{торм}\sqrt{\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 1\right)\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 2\right) + 1}}\,, \quad \text{(IIП-17)}$$

где $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ принимается соответственно, как в (IIП-9) и (IIП-10).

Расчетными для проверки $z_{с.з}$ по рассматриваемому условию, очевидно, является замыкание двух фаз на землю. Указанное следует также из сравнения выражений (IIП-4) и (IIП-9), с учетом (IIП-7) и (IIП-17), из которых видно, что сопротивление срабатывания защиты, определенное по (IIП-9), меньше определенного по выражению (IIП-4).

Первичный ток срабатывания обратной последовательности пускового органа устройства блокировки при качаниях $I^{(1,1)}_{2c.p.п}$, входящий в (IIП-9) и (IIП-10), с учетом тока нагрузки приближенно (с допущением, что аварийная составляющая фазного тока совпадает по фазе с током нагрузки) определяется по аналогии

с (IIП-17) как

$$I_{2\text{с. р.п}}^{(1,1)} = \frac{I_{2\text{уст}} n_{\text{т}} + k_{\text{торм}} I_{\text{нагр}}}{1 - k_{\text{торм}} \sqrt{\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 1\right)\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 2\right) + 1}}. \quad \text{(IIП-18)}$$

4. При использовании в устройстве блокировки при качаниях тока $3I_0$ чувствительность устройства повышается.

Однако необходимо учитывать, что согласование по чувствительности реле сопротивления с устройством блокировки при качаниях при замыкании двух фаз на землю производится для условий, когда ток $3I_0$ в месте установки защиты *2* (рис. 6) не больше тока срабатывания реле тока, предназначенного для пуска, в. ч. передатчика при замыканиях на землю (реле *РТ* в схеме по рис. 1).

Из кривых чувствительности пускового органа устройства блокировки при качаниях типа КРБ-126 следует, что при токе срабатывания указанного реле тока $I_{\text{с.р}}=0{,}5$ А (уставка на этом реле практически мало отличается от этого значения) чувствительность устройства повышается по сравнению со случаем неиспользования тока $3I_0$ при уставках по току нулевой последовательности этого устройства:

$3I_{0\text{уст}} = 1{,}5$ А . . . Не более чем на 25%
$3I_{0\text{уст}} = 3$ А . . . . Не более чем на 15%
$3I_{0\text{уст}} = 6$ А . . . . Не более чем на 7%

В связи с этим, принимая во внимание, что уставка $3I_{0\text{уст}}=1{,}5$ А используется сравнительно редко, при рассматриваемых расчетах с некоторым запасом ток $3I_0$ в устройстве практически можно не учитывать.

Таким образом, расчет для проверки $z_{\text{с.з}}$ по условию согласования по чувствительности с устройством блокировки при качаниях должен производиться по выражению (IIП-9) или (IIП-10) с учетом (IIП-17) или (IIП-18).

5. Приведенный расчет дан для случая металлического короткого замыкания. Учет переходного сопротивления в месте повреждения при этом не требуется. Указанное для случая замыкания между двумя фазами может быть объяснено на основании рис. П-3, в соответствии с которым можно получить:

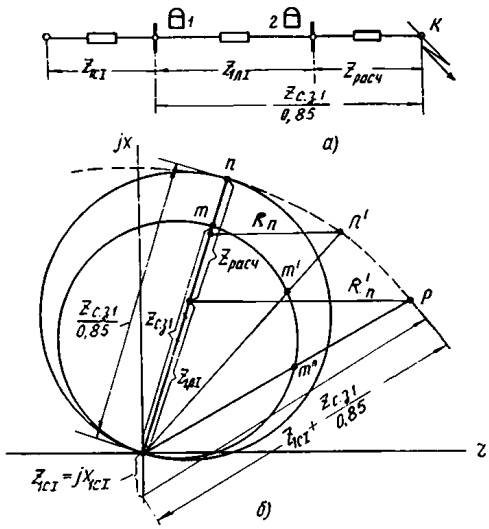


Рис. П-3. Влияние переходного сопротивления в месте короткого замыкания при согласовании реле сопротивления с устройством блокировки при качаниях.

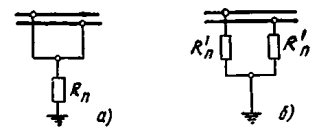


Рис. П-4. Переходное сопротивление в месте замыкания на землю двух фаз.

$$1{,}2I_{2\text{с. р.п}}^{(2)} = \frac{0{,}5E_{\Phi}}{\frac{Z_{\text{с. з1}}}{0{,}85} + Z_{\text{сI}}},$$

т. е. надежное действие пускового органа устройства блокировки при качаниях обеспечивается в случае металлического замыкания между двумя фазами за результирующим сопротивлением $\frac{Z_{\text{с. з1}}}{0{,}85} + Z_{\text{сI}}$.

На рис. П-3 дуга *nn'p* представляет собой геометрическое место точек концов векторов равных по значению результирующих сопротивлений схемы при металлическом замыкании (точка *n*) и замыкании через различные переходные сопротивления (точки *n'* и *p*). Эти результирующие сопротивления соответствуют току обратной последовательности в реле защиты *2*, равному току надежного срабатывания устройства блокировки при качаниях $1{,}2I_{2\text{с. р.п}}^{(2)}$. Поэтому дуга *nn'p* является частью характеристики надежного срабатывания пускового органа устройства блокировки при качаниях в плоскости сопротивлений. Характеристика срабатывания направленного реле сопротивления лежит полностью внутри характеристики надежного срабатывания пускового органа устройства блокировки, причем при замыкании через переходное сопротивление надежность согласования, характеризуемая на рис. П-3 отрезками *m'n'* и *m''p*, увеличивается по сравнению с металлическим замыканием (отрезок *mn*).

Для случая замыкания двух фаз на землю также можно показать, что учет переходного сопротивления не требуется.

На рис. П-4 приведены возможные предельные случаи переходного сопротивления в месте замыкания двух фаз на землю. Рассмотрим эти случаи с учетом того, что расчетным является максимальное значение отношения $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ сопротивлений прямой к нулевой последовательности в место повреждения (соответствующее минимальному значению тока обратной последовательности).

В случае, показанном на рис. П-4, *а*, отношение $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$ при увеличении переходного сопротивления уменьшается, поскольку

$$\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} = \frac{z_{1\Sigma}}{\sqrt{z_{0\Sigma}^2 + (3R_{\text{п}})^2}};$$

сопротивление же на зажимах реле сопротивления при данном виде повреждения не отличается от такового при металлическом повреждении.

Влияние переходного сопротивления $R'_{\text{п}}$ (рис. П-4,*б*) сказывается меньше на работе пускового органа устройства блокировки при качаниях, чем влияние $R_{\text{п}}$ (рис. П-4,*а*) поскольку $R_{\text{п}} \gg R'_{\text{н}}$; следовательно, можно считать, что при наличии сопротивлений $R_{\text{п}}$ и $R'_{\text{п}}$ характер изменения электрических величин при одновременном увеличении обоих сопротивлений не отличается от такового для случая, показанного на рис. П-4,*а*. Кроме того, поскольку $R_{\text{п}} \gg R'_{\text{п}}$, замыкание двух фаз на землю через переходное сопротивление можно при-

ближенно рассматривать как замыкание между двумя фазами через переходное сопротивление. При этом могут быть использованы приведенные выше для замыкания между двумя фазами соображения (рис. П-3), на основании которых согласование должно производиться по металлическому короткому замыканию.

6. Для случая, когда в защите на противоположном конце линии используется устройство блокировки при качаниях с пуском по напряжению (например, типа КРБ-125), первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты по рассматриваемому условию при неучете нагрузки определяется по выражению (2) табл. 1.

Это выражение может быть переписано в виде

$$z_{\text{с. з1}} \leqslant 0{,}85\left[\frac{E_\Phi z_{1\text{л}}}{k_\text{н}U_{\text{2с. р.п}}\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)}+\right.$$
$$\left.+\frac{z_{1\text{cI}}}{k'_\text{т}}\left(\frac{E_\Phi}{k_\text{н}U_{\text{2с. р.п}}\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)}-1\right)\right]. \qquad \text{(III-19)}$$

При максимальной уставке устройства блокировки $U_{\text{2с.р.макс}}=4$ В получим максимальное значение первичного напряжения срабатывания устройства:

$$U_{\text{2с. р.п}} \approx \frac{4}{100/\sqrt{3}}E_\Phi = 0{,}069E_\Phi. \qquad \text{(III-20)}$$

Для анализа (III.19) при учете (III-20) и $(z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma})_{\text{макс}}=2$, получим, что

$$\frac{E_\Phi}{k_\text{н}U_{\text{2с. р.п}}\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}+2\right)}=\frac{1}{0{,}331}>1.$$

Указанное означает, что расчетными являются минимальное значение $z_{1\text{cI}}$ и максимальное значение $k'_\text{т}$. Последнее должно определяться, как следует из рис. П-2,*б*, для случая короткого замыкания на шинах противоположной подстанции.

Б. СОГЛАСОВАНИЕ ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ УСТРОЙСТВ БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ ОБОИХ КОНЦОВ ЛИНИИ МЕЖДУ СОБОЙ

1. Рассматриваются условия согласования по чувствительности пусковых органов устройств блокировки при качаниях при установке на обоих концах линии устройств блокировки с пуском по напряжению обратной последовательности (например, типа КРБ-125).

В случае, когда относительное распределение токов обратной последовательности в части сети, в которую входит защищаемая линия, не зависит от места внешнего короткого замыкания (например, при коротком замыкании в системе *II* сети по рис. П-2,*а*), рассматриваемое согласование по чувствительности может быть произведено по выражению (при неиспользовании тока $3I_0$ в устройствах):

$$U_{\text{2с. р.п1}} \geqslant k_\text{н}U_{\text{2с. р.п2}}\frac{U_{2\text{I}}}{U_{2\text{II}}}, \qquad \text{(III-21)}$$

где $U_{\text{2с.р.п1}}$ и $U_{\text{2с.р.п2}}$ — первичные напряжения срабатывания устройств блокировки при качаниях соответственно рассматриваемой защиты (*1* на рис. П-2,*а*) и защиты, с которой производится согласование (*2* на рис. П-2,*а*);

$U_{2\text{I}}$ и $U_{2\text{II}}$ — первичные напряжения обратной последовательности соответственно в месте включения рассматриваемой защиты и защиты, с которой производится согласование, при расчетном внешнем коротком замыкании;

$k_\text{н}$ — коэффициент надежности, может быть принят равным $k_\text{н}=1{,}5$.

Для случая отсутствия обходных связей (схема по рис. 6,*а*) выражение (III-21) может быть переписано в виде

$$U_{\text{2с. р.п1}} \geqslant k_\text{н}\frac{U_{\text{2с. р.п2}}}{1+\frac{z_{1\text{л}}}{z_{1\text{cI}}}}, \qquad \text{(III-22)}$$

При равных напряжениях срабатывания устройств блокировки обоих полукомплектов $U_{\text{2с.р.п1}}=U_{\text{2с.р.п2}}$ и при $k_\text{н}=1{,}5$ согласование по чувствительности пусковых органов устройств блокировки при качаниях, реагирующих на напряжения обратной последовательности, обеспечивается при

$$z_{1\text{л}}/z_{1\text{cI}} \geqslant 0{,}5. \qquad \text{(III-23)}$$

Для схем по рис. 6,*б* и *в* условие согласования по чувствительности может быть записано по аналогии с предыдущим как

$$U_{\text{2с. р.п1}} \geqslant k_\text{н}\frac{U_{\text{2с. р.п2}}}{1+k'_\text{т}\frac{z_{1\text{л}}}{z_{1\text{cI}}}}, \qquad \text{(III-22a)}$$

откуда

$$\frac{z_{1\text{л}}}{z_{1\text{cI}}} \geqslant \frac{0{,}5}{k'_\text{т}}, \qquad \text{(III-23a)}$$

где $k'_\text{т}$ — то же, что в (III-5).

На рис. П-2,*б* приведен примерный характер кривых зависимости напряжений $U_{2\text{I}}$ и $U_{2\text{II}}$ обратной последовательности на шинах подстанции *I* и *II* в схеме по рис. П-2,*а* от места короткого замыкания на обходной связи. Как видно из указанных кривых, на обходной связи имеется точка (точка *M*), при коротком замыкании в которой напряжения на обоих концах линии равны или близки по значению. В связи с этим согласование по чувствительности при коротком замыкании на обходной связи имеет ряд особенностей. При этом согласовании следует учитывать, что рассматриваемая дистанционная защита (*1* на рис. П-2,*а*) может действовать только при коротком замыкании на участке вправо от точки *M* (рис. П-2,*б*), при коротком замыкании в которой ток по неповрежденной линии меняет свое направление, а напряжения обратной последовательности на концах линии равны между собой ($U_{2\text{I}}=U_{2\text{II}}$).

При отсутствии на обходной связи промежуточной подстанции рассматриваемое согласование по чувствительности может не производиться, если при коротком замыкании в точке *M* устройство блокировки при качаниях защиты *2* удовлетворяет требованиям чувствительности ($k_\text{ч}\geqslant 1{,}5$). Например, согласование не производится при коротком замыкании на параллельной линии, поскольку в этом случае устройства блокировки при качаниях всегда удовлетворяют требованиям чувствительности.

Если при коротком замыкании в точке *M* устройство блокировки защиты *2* не удовлетворяет требованиям чувствительности ($k_\text{ч}<1{,}5$), рассматриваемое согласование грубо приближенно может быть произведено по выражениям:

$$\text{при } U_{2\text{II}M} \leqslant U_{\text{2с.р.п2}},$$
$$U_{\text{2с.р.п1}} \geqslant k_\text{н}U_{\text{2с.р.п2}}, \qquad \text{(III-24)}$$
$$\text{при } 1{,}5U_{\text{2с.р.п2}} > U_{2\text{II}M} > U_{\text{2с.р.п2}},$$
$$U_{\text{2с. р.п1}} \geqslant k_\text{н}U_{\text{2с. р.п2}}\frac{U_{\text{2с. р.п2}}}{U_{2\text{II}M}}. \qquad \text{(III-25)}$$

Более точно значение $U_{2c.p.п1}$ может быть определено не по выражениям (IIП-24) и (IIП-25), а графоаналитически с использованием кривой зависимости сопротивления в месте установки защиты *1* $z_{з1}$ от места короткого замыкания на обходной связи (рис. П-2,*б*); при этом

$$U_{2c.\,р.п1} \geqslant k_н U_{2c.\,р.п2} \frac{U_{2IN}}{U_{2IIN}}. \qquad \text{(IIП-21а)}$$

При наличии промежуточной подстанции на том участке обходной связи, при коротком замыкании на котором может сработать дистанционная защита, дополнительно к указанному должно производиться согласование по чувствительности устройств блокировки при качаниях по (IIП-21) или (IIП-22а), в котором U_{2I} и U_{2II} (или $k'_т$) определяются при коротком замыкании на шинах этой промежуточной подстанции, а короткое замыкание в системе *II*, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемой линии (подстанции *II*), не является расчетным и потому не должно рассматриваться. Короткое замыкание в системе *II* не должно рассматриваться (так как не является расчетным) также и в тех случаях, когда согласование при повреждении на обходной связи производится по выражению (IIП-24) или (IIП-21а).

2. При расчете по выражению (IIП-22) в случае, когда условие (IIП-23) не удовлетворяется, напряжения срабатывания устройств блокировки на обоих концах линии оказываются неодинаковыми. Рассмотрим условия, при которых в этих случаях обеспечивается согласование устройств блокировки по чувствительности.

Первичное напряжение срабатывания пускового органа устройства блокировки при качаниях защиты *2* в схеме по рис. 6,*а*:

$$U_{2c.\,р.п2} \geqslant k_н \frac{U_{2c.\,р.п1}}{1 + \dfrac{z_{1л}}{z_{1cII}}}, \qquad \text{(IIП-26)}$$

где z_{1cII} — сопротивление прямой (обратной) последовательности системы *II*, определяемое в минимальном режиме.

Из (IIП-22) и (IIП-26) при $k_н = 1{,}5$:

$$\left(1 + \frac{z_{1л}}{z_{1cI}}\right)\left(1 + \frac{z_{1л}}{z_{1cII}}\right) \geqslant 2{,}25, \qquad \text{(IIП-27)}$$

откуда

$$\frac{z_{1л}}{z_{1cI}} \geqslant \frac{2{,}25}{1 + \dfrac{z_{1л}}{z_{1cII}}} - 1. \qquad \text{(IIП-28)}$$

На рис. П-5 приведена кривая $z_{1л}/z_{1cI} = f(z_{1л}/z_{cII})$, построенная по (IIП-28). По этой кривой можно определить, возможно ли при данных значениях z_{1cI}, z_{1cII} и $z_{1л}$ согласование по чувствительности обоих устройств блокировки при качаниях. Если при данных сопротивлениях систем в минимальном режиме работы и линии соответствующая точка лежит не ниже кривой, то это означает, что рассматриваемое согласование по чувствительности возможно. Как видно из приведенной кривой, указанное условие удовлетворяется в большом числе случаев.

Пример. Определить первичные напряжения срабатывания устройств блокировки при качаниях защит, установленных на обеих сторонах линии (рис. 6,*а*), при следующих уловиях.

Сопротивление линии $z_{1л} = 10$ Ом.

Сопротивления обратной последовательности систем в минимальном режиме работы $z_{1cI} = 10$ Ом; $z_{1cII} = 40$ Ом.

Для защиты *1* выражение (IIП-23а) удовлетворяется ($z_{1л}/z_{1cI} = 1 > 0{,}5$), для защиты *2* — не удовлетворяется ($z_{1л}/z_{1cII} = 0{,}25 < 0{,}5$).

По выражению (IIП-26):

$$U_{2c.\,р.п2} = 1{,}5 \frac{U_{2c.\,р.п1}}{1 + \dfrac{z_{1л}}{z_{1cII}}} = \frac{1{,}5}{1 + \dfrac{10}{40}} U_{2c.\,р.п1} = 1{,}2 U_{2c.\,р.п1}. \qquad \text{(IIП-29)}$$

По выражению (IIП-22)

$$U_{2c.\,р.п1} \geqslant 1{,}5 \frac{U_{2c.\,р.п2}}{1 + \dfrac{z_{1л}}{z_{1cI}}} = 1{,}5 \frac{1{,}2 U_{2c.\,р.п1}}{1 + \dfrac{10}{10}} = 0{,}9 U_{2c.\,р.п1}. \qquad \text{(IIП-29а)}$$

Поскольку выражение (IIП-22) удовлетворяется, согласование обеспечивается в обоих направлениях.

То же можно проверить и по кривой рис. П-5. Действительно, $z_{1л}/z_{1cII} = 10/40 = 0{,}25$; этому значению по кривой соответствует $z_{1л}/z_{1cI} = 0{,}8$.

По условию:

$z_{1л}/z_{1cI} = 10/10 = 1 > 0{,}8$, т. е. согласование обеспечивается.

3. Рассмотрим согласование по чувствительности при использовании в защите устройства блокировки при качаниях с пуском по напряжению обратной последовательности (например, типа КРБ-125), а на противоположном конце — с пуском по току обратной последовательности (например, типа КРБ-126).

Первичное напряжение срабатывания устройства блокировки при качаниях защиты *1* в схеме по рис. 6,*а* (при отсутствии обходных связей) определяется при неиспользовании в устройствах тока $3I_0$ по выражению (20) табл. 2.

При наличии обходных связей рассмотренное согласование по чувствительности в ряде случаев не может быть произведено. Указанное видно из рис. П-2,*б*. При протекании по линии тока $I_2 = k_н I^{(1,1)}_{2c.р.п2}$ напряжение в месте установки защиты *1* U'_{2I} может незначительно отличаться от напряжения обратной последовательности при коротком замыкании в конце линии. Очевидно, что при отстройке от напряжения U'_{2I} защита не будет удовлетворять требованиям чувствительности.

Из выражения (20) следует, что при отсутствии обходных связей согласование по данному условию может быть произведено в значительном числе случаев. Так, например, для линии 110 кВ при $I^{(1,1)}_{2c.р.п2} = 100$ А, $k_н = 1{,}5$ максимальное сопротивление системы, при котором указанное согласование не требует загрубления устройств блокировки при качаниях выше 6 В, составит:

$$z_{1cIмакс} = \frac{6 \cdot 1100}{1{,}5 \cdot 100} = 44 \text{ Ом}.$$

4. Первичный ток срабатывания обратной последовательности устройства блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности (например, типа КРБ-126) по условию согласования по чувствительности с установленным на противоположном конце устройством блокировки с пуском по напряжению обрат-

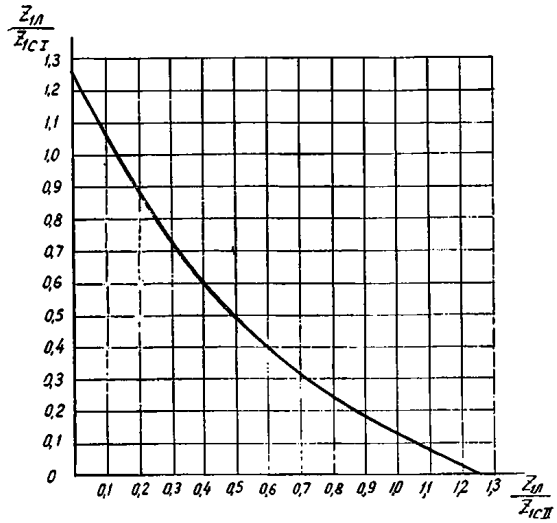


Рис. П-5. Кривая $z_{1л}/z_{1cI}=f(z_{1л}/z_{1cII})$ для схемы по рис. 6,*а*.

ной последовательности (например, типа КРБ-125) при неиспользовании в устройствах тока $3I_0$ определяется по выражению (23) табл. 2.

В данном выражении в качестве расчетного должно приниматься максимальное значение $k'_т$ и минимальное значение z_{1cI}; для одиночной линии (схема по рис. 6,*а*) $k'_т=1$.

Как видно из рис. П-2,*б*, для сети по рис. П-2,*а* при коротком замыкании на обходной связи значение $k'_т$ меньше, чем при других внешних коротких замыканиях Поэтому для определения расчетного значения $k'_т$ короткое замыкание на обходной связи рассматриваться не должно.

Согласование рассматриваемых устройств наиболее целесообразно для случаев, когда $k'_т$ мал (например, при большом числе обходных связей, шунтирующих данную линию). Для одиночной линии без обходных связей ($k'_т=1$) выбор тока срабатывания по рассматриваемому условию без значительного загрубления устройства блокировки при качаниях возможен только в ограниченном числе случаев. Так, например, для напряжения 110 кВ при $U_{2c.p}=4$ В, $k_н=1{,}5$ суммарное сопротивление $z_{1cI}+z_{1л}$, при котором согласование не требует загрубления устройства блокировки выше $I_{2c.p.пI}=100$ А, должно быть:

$$z_{1cI}+z_{1л}\geqslant\frac{1{,}5\cdot4\cdot1100}{100}=66\text{ Ом}.$$

Таким образом, согласование защиты по данному условию возможно произвести без значительного загрубления только в случаях длинных линий или малой мощности системы, примыкающей к месту установки рассматриваемой защиты.

Приложение III

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ

Ниже показано, что реле направления мощности нулевой последовательности, используемое для контроля цепи остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю в схеме в. ч. блокировки дистанционной защиты и направленной защиты нулевой последовательности (схема по рис. 1) при применении реле высокой чувствительности не ограничивает чувствительность защиты.

Вопрос рассматривается для случая, когда в цепи остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю используются последовательно соединенные замыкающие контакты реле тока и напряжения нулевой последовательности (реле *РТН* и *РН* в схеме по рис. 1).

Коэффициент чувствительности рассматриваемого реле

$$k_{ч.м}=\frac{U_{0р}I_{0р}}{S_{0с.р}},\qquad\text{(IIIП-1)}$$

где $U_{0р}$ — напряжение, подведенное к реле направления мощности нулевой последовательности;

$I_{0р}$ — ток в реле направления мощности нулевой последовательности;

$S_{0с.р}$ — мощность срабатывания реле направления мощности нулевой последовательности.

Принимая с запасом, что чувствительность реле направления мощности проверяется по тем же значениям $U_{0р}$ и $I_{0р}$, по которым проверяется чувствительность соответственно реле напряжения и реле тока, действующих на остановку в. ч. передатчика при замыканиях на землю, выражение (IIIП-1) можно преобразовать следующим образом:

$$k_{ч.м}=\frac{U_{0р}}{U_{0с.р}}\frac{I_{0р}}{I_{0с.р}}\frac{U_{0с.р}I_{0с.р}}{S_{0с.р}}=$$
$$=k_{ч.н}k_{ч.т}\frac{U_{0с.р}I_{0с.р}}{S_{0с.р}},\qquad\text{(IIIП-2)}$$

где $U_{0с.р}$ — напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности, действующего на остановку в. ч. передатчика при замыканиях на землю;

$I_{0с.р}$ — ток срабатывания реле тока нулевой последовательности, действующего на остановку, в. ч. передатчика при замыканиях на землю;

$k_{ч.н}$ и $k_{ч.т}$ — коэффициенты чувствительности соответственно указанных реле напряжения и реле тока.

Из выражения (IIIП-2) при учете того, что $k_{ч.н}=k_{ч.т}\geqslant2$, $k_{ч.м}\geqslant3$, $U_{0с.р}=4$ В, можно получить:

$$I_{0с.р}\geqslant0{,}188\,S_{0с.р}.\qquad\text{(IIIП-3)}$$

Из выражения (IIIП-3) следует, что если реле тока и реле напряжения удовлетворяют требованиям чувствительности, то реле направления мощности также

удовлетворяет требованиям чувствительности, если $I_{ос.р}$ превышает следующие значения (для трансформаторов тока с вторичным номинальным током 5 А):

реле типа РБМ-178 ($S_{ос.р}$=1 В·А) — $I_{ос.р} \geqslant$0,19 А;

реле типа РБМ-177 ($S_{ос.р}$=3 В·А) — $I_{ос.р} \geqslant$0,56 А;

реле направления мощности комплекта защиты типа КЗ-5 А ($S_{ос.р}$=6 В·А) — $I_{ос.р} \geqslant$1,13 А;

реле направления мощности комплекта защиты типа КЗ-10 ($S_{ос.р}$=1,5 В·А) — $I_{ос.р} \geqslant$0,282 А; ($S_{ос.р}$=4,5 В·А) — $I_{ос.р} \geqslant$0,845 А;

реле типа ИМБ-178 ($S_{ос.р}$=20 В·А) — $I_{ос.р} \geqslant$3,76 А.

Поскольку практически всегда $I_{ос.р}>0{,}56$ А, можно считать, что если реле тока и реле напряжения, действующие на остановку в. ч. передатчика при замыканиях на землю, удовлетворяют требованиям чувствительности, то реле направления мощности типов РБМ-178 и РБМ-177 также удовлетворяют требованиям чувствительности. Указанное можно отнести также к реле направления мощности комплекта типа КЗ-10 (независимо от мощности срабатывания реле).

Приложение IV

ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, УСТАНОВЛЕННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ТОЧКАХ СЕТИ, ПРИ ЗАМЫКАНИЯХ МЕЖДУ ДВУМЯ ФАЗАМИ ЗА ТРАНСФОРМАТОРОМ С СОЕДИНЕНИЕМ ОБМОТОК ПО СХЕМЕ Y/△

Рассмотренные в настоящем приложении вопросы возникают в связи с необходимостью согласования по чувствительности реле сопротивления, установленных в различных точках сети при замыканиях между двумя фазами за трансформаторами с соединением обмоток Y/△. Указанные вопросы рассмотрены применительно к комплекту дистанционной защиты с в. ч. блокировкой, в котором пуск в. ч. передатчика осуществляется с помощью направленных реле сопротивления, срабатывающих при направлении мощности короткого замыкания от защищаемой линии к данной подстанции.

Для обеспечения правильного действия рассматриваемой защиты при внешних междуфазных коротких замыканиях необходимо, чтобы чувствительность реле, осуществляющих пуск в. ч. передатчика, была выше чувствительности реле, осуществляющих отключение на тех концах линии, где мощность короткого замыкания направлена в линию. В качестве последних в рассматриваемой защите используются реле сопротивления, действие которых обеспечивается при повреждениях на всем протяжении защищаемой линии.

При замыканиях между тремя, а также двумя фазами в сети данного напряжения и за трансформаторами и автотрансформаторами с соединением обмоток *Y/Y* реле, установленные в различных точках сети, реагируют на токи и напряжения петли короткого замыкания, т. е. сопротивления на зажимах этих реле равны сопротивлениям прямой последовательности от места установки защиты до места короткого замыкания.

Следовательно, в этих условиях угол сопротивления на зажимах реле при металлических коротких замыканиях близок к углу максимальной чувствительности реле, что облегчает согласование по чувствительности.

При замыканиях между двумя фазами (как металлических, так и через переходное сопротивление) за трансформаторами с соединением обмоток Y/△ углы сопротивлений на зажимах реле, установленных в отдельных точках сети, отличаются друг от друга, а также в значительной степени отличаются от угла максимальной чувствительности реле; эти отличия возрастают по мере удаления защиты от источника питания.

В связи с указанным для оценки поведения реле сопротивления при замыканиях между двумя фазами целесообразно использовать графический способ.

При металлическом замыкании между фазами *B* и *C* за трансформатором с соединением обмоток Y/△-11 (в точке *K*, рис. П-6,*а*) сопротивления на зажимах реле, включенных на разности фазных токов и междуфазные напряжения на стороне обмоток, соединенных в звезду, без учета влияния нагрузки и для случая равенства сопротивлений в схемах прямой и обратной последовательностей, равны [1]:

для точки *M*

$$\left.\begin{aligned} &Z_{abM}=\infty \\ &Z_{bcM}=Z_{\text{I}}+Z_{\text{II}}+Z_{\text{III}}-j\frac{\sqrt{3}}{3}(Z_{\text{I}}+Z_{\text{II}}+Z_{\text{III}})=Z_{э}-j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_{э}=\frac{2}{\sqrt{3}}Z_{э}\angle\underline{-30°}; \\ &Z_{caM}=Z_{\text{I}}+Z_{\text{II}}+Z_{\text{III}}+j\frac{\sqrt{3}}{3}(Z_{\text{I}}+Z_{\text{II}}+Z_{\text{III}})=Z_{э}+j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_{э}=\frac{2}{\sqrt{3}}Z_{э}\angle\underline{+30°}; \end{aligned}\right\} \quad \text{(IVП-1)}$$

для точки *N*

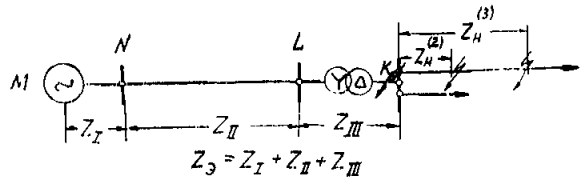
$$\left.\begin{aligned} &Z_{abN}=\infty; \\ &Z_{bcN}=Z_{\text{II}}+Z_{\text{III}}-j\frac{Z_{э}}{\sqrt{3}}; \\ &Z_{caN}=Z_{\text{II}}+Z_{\text{III}}+j\frac{Z_{э}}{\sqrt{3}}; \end{aligned}\right\} \quad \text{(IVП-2}$$

для точки *L*

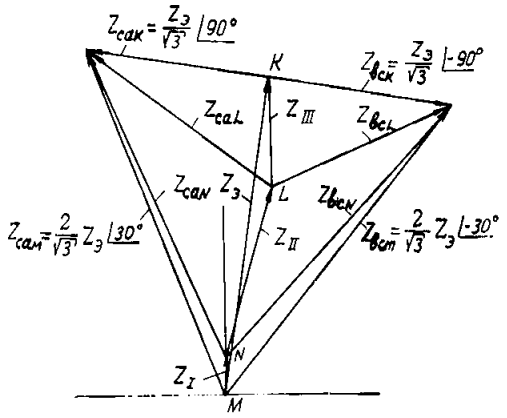
$$\left.\begin{aligned} &Z_{abL}=\infty; \\ &Z_{bcL}=Z_{\text{III}}-j\frac{Z_{э}}{\sqrt{3}}; \\ &Z_{caL}=Z_{\text{III}}+j\frac{Z_{э}}{\sqrt{3}}. \end{aligned}\right\} \quad \text{(IVП-3)}$$

Для реле, установленных в точке *K* (на стороне треугольника) и включенных на сочетания фаз тока и напряжения, соответствующие разностям токов и линей-

[1] Федосеев А. М. Основы релейной защиты. М., Госэнергоиздат, 1961.



а) Поясняющая схема



б) Сопротивления на зажимах реле, установленных в точках N, L и K, при металлических замыканиях между двумя и тремя фазами в точке K.

Рис. П-6. Согласование реле сопротивления при коротких замыканиях за трансформатором Y /△-11.

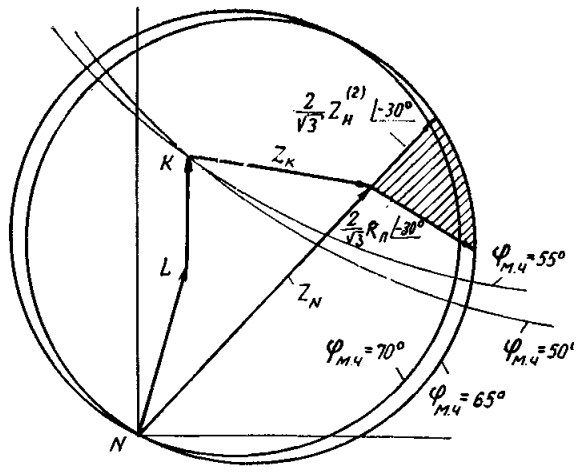
$\varphi_{м.ч}$ — угол максимальной чувствительности реле сопротивления; $R_п$ — переходное сопротивление в месте повреждения; $R_{п.пред}$ — максимально возможное переходное сопротивление при замыкании между тремя фазами в точке *K*.

ным напряжениям на стороне звезды, сопротивления на зажимах реле равны:

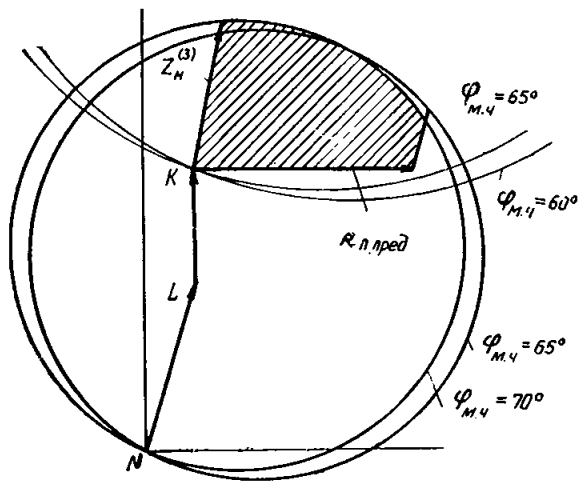
$$\left.\begin{aligned} Z_{abK} &= \infty; \\ Z_{bcK} &= -j\frac{Z_э}{\sqrt{3}}; \\ Z_{caK} &= +j\frac{Z_э}{\sqrt{3}}. \end{aligned}\right\} \qquad \text{(IVП-4)}$$

Из приведенных выражений видно, что сопротивление на зажимах реле, установленных в отдельных точках сети, при рассматриваемом виде повреждения может быть представлено состоящим из двух составляющих: сопротивления от места установки защиты до места короткого замыкания, равного сопротивлению на зажимах реле при замыканиях между тремя фазами в той же точке, и дополнительной составляющей, не зависящей от места установки защиты. Эта составляющая отстает (или опережает) на 90° от вектора, равного сумме сопротивлений от нулевой точки системы до места короткого замыкания ($Z_э$ на рис. П-6,*а*); по абсолютному значению дополнительная составляющая равна $1/\sqrt{3}$ этой суммы сопротивлений.

Для реле, находящихся в нулевой точке системы (точка *M* на рис. П-6,*а*), влияние дополнительной составляющей проявляется в увеличении примерно на 15% значения и изменении на +30° или —30° угла сопротивления на зажимах реле. По мере приближения места установки реле к точке короткого замыкания дополнительная составляющая во все большей степени искажает сопротивление на зажимах по сравнению с сопротивлением при замыканиях между тремя фазами. Указанное иллюстрируется векторными диаграммами, приведенными на рис. П-6,*б*.



в) Согласование характеристик срабатывания реле, установленных в точках N и K, при замыканиях между двумя фазами за трансформатором.



г) Согласование характеристик срабатывания реле, установленных в точках N и K, при замыканиях между тремя фазами за трансформатором.

Для реле, установленных в точке *K*, сопротивление на зажимах которых при замыкании между тремя фазами равно нулю, дополнительная составляющая обусловливает наличие на зажимах реле векторов сопротивлений во *II* или *IV* квадрантах комплексной плоскости полных сопротивлений.

Оценка возможности использования (для действия на пуск в. ч. передатчика) трех реле сопротивления, включенных на стороне звезды или же на стороне треугольника, но на сочетания фаз, соответствующих междуфазным напряжениям и разностям фазных токов на стороне звезды, производится следующим образом.

1. На комплексной плоскости полных сопротивлений с началом координат в точке, где установлен полукомплект с реле сопротивления, действующим на отключение, наносится характеристика срабатывания этого реле сопротивления; реле должно удовлетворять требованиям чувствительности при повреждениях на всем протяжении защищаемой линии.

2. На ту же диаграмму наносится сопротивление на зажимах реле при металлическом замыкании между двумя фазами за трансформатором с соединением обмоток Y/△ (для реле, включенного на одно сочетание поврежденных фаз тока и напряжения) Z_{bcN} на рис. П-6,*б* и *в*.

3. Определяется область на комплексной плоскости, охватываемая характеристикой срабатывания реле при повреждениях в сети, расположенной за обмоткой трансформатора, соединенной в треугольник, как металлических, так и через переходные сопротивления. Эта область, выделенная на рис. П-6,*в* штриховкой, ограничена прямыми линиями, пересекающимися в точке конца сопротивления Z_{bcN}. Отрезки прямых составляют углы —30° соответственно с положительной полуосью действительных величин и с прямой, характеризующей сопротивление на зажимах реле при замыканиях между тремя фазами в рассматриваемой сети.

В приложении V показано, что переходное сопротивление электрической дуги зависит от значения сопротивления между э. д. с. источников питания и местом короткого замыкания ($Z_э$). Используя рекомендации упомянутого приложения, следует оценить наибольшее возможное значение переходного сопротивления и в случае необходимости сократить заштрихованные области, характеризующие сопротивления на зажимах реле при замыканиях между двумя фазами за трансформатором, при которых могут срабатывать отключающие органы защиты, установленной в точке *N*.

4. Для обеспечения правильного действия защиты при замыканиях между двумя фазами характеристики срабатывания реле сопротивления, действующих на пуск в. ч. передатчика и установленных в точках *L* или *K*, должны охватывать рассмотренную выше заштрихованную область. Для повышения надежности согласования должна учитываться положительная ошибка в угле максимальной чувствительности реле сопротивления, оказывающая наибольшее влияние на чувствительность реле в рассматриваемом случае.

Для сравнения условий при замыканиях между двумя и тремя фазами на рис. П-6,*г* построены диаграммы для случая замыкания между тремя фазами за трансформатором в точке *K* и в примыкающей сети как металлических, так и через переходные сопротивления; область сопротивлений, охватываемая характеристикой реле сопротивления, установленных в точке *N* и подготавливающих цепи отключения, заштрихована.

Рассмотрен случай, когда предельное значение переходного сопротивления дуги при повреждении в точке *K* ($R_{п.пред}$) и в примыкающей сети таково, что область, которая может быть охвачена реле сопротивления, превышает область сопротивлений на зажимах реле при повреждениях через реально возможные переходные сопротивления.

На рис. П-6,*в* и *г* рассмотрен случай использования для пуска в. ч. передатчика направленных реле сопротивления, цепи напряжения которых питаются от трансформаторов напряжения, установленных в точке *K* (характеристика этих реле проходит через точку *K*).

Необходимая чувствительность реле, рассмотренного на рис. П-6,*г*, при замыканиях между тремя фазами обеспечивается при сопротивлении срабатывания, примерно 1,5 раза превышающем сопротивление реле, установленного в точке *N*.

Обеспечение чувствительности реле при замыканиях между двумя фазами в рассмотренном случае обеспечивается лишь при существенном уменьшении угла максимальной чувствительности реле (примерно на 10—15°) и увеличении его сопротивления срабатывания примерно в 2 раза по сравнению со случаем обеспечения необходимой чувствительности при замыканиях между тремя фазами (рис. П-6,*в*).

Возможность использования реле сопротивления с таким сопротивлением срабатывания ограничивается условием их отстройки от режимов нагрузки.

При установке реле, действующих на пуск в. ч. передатчика, в точке *L* (т. е. при включении реле на трансформаторы напряжения, установленные со стороны высшего напряжения трансформатора) условия выбора характеристики этих реле сопротивления более благоприятны, чем при рассмотренном на рис. П-6,*в* случае установки реле в точке *K*. Характеристика срабатывания реле при этом должна проходить не через точку *K*, а через точку *L*, что позволяет охватить заштрихованную площадь на рис. П-6,*в* и *г* при меньшем сопротивлении срабатывания реле.

Приложение V

ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ПРИ МЕЖДУФАЗНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

В настоящем приложении даны расчетные выражения для определения относительного значения переходного сопротивления при междуфазных коротких замыканиях.

Расчетные выражения выведены для схемы, показанной на рис. П-7,*а*. В этой схеме все элементы приведены к месту короткого замыкания, что может быть выполнено для сети любой конфигурации с любым числом источников питания.

Переходное сопротивление в месте повреждения при рассматриваемых видах короткого замыкания определяется в основном сопротивлением электрической дуги.

Многочисленные опыты показывают [1], что при токах, превышающих 100 А, градиент напряжения на дуге является постоянной величиной, равной около 15 В/см. Следовательно, сопротивление дуги обратно пропорционально току. Эти данные подтверждают выражение для подсчета сопротивления дуги [2]

$$R_д = \frac{1{,}05l}{I}, \text{ Ом}, \qquad \text{(VП-1)}$$

где l — длина дуги, м;

I — ток в дуге, кА.

Если пренебречь разницей длин дуги между отдельными фазами, то при замыкании между тремя фазами ток в дуге меньше фазного тока короткого замыкания в $\sqrt{3}$ раз, а сопротивление на фазу — в 3 раза меньше сопротивления дуги, возникшей между фазами.

В соответствии с указанным сопротивление дуги на фазу при замыкании между тремя фазами представ-

[1] Майкопар А. С. Дуговые замыкания на линиях электропередачи. М., «Энергия», 1965.

[2] Бургсдорф В. В. Открытые электрические дуги большой мощности. — «Электричество», 1948, № 10.

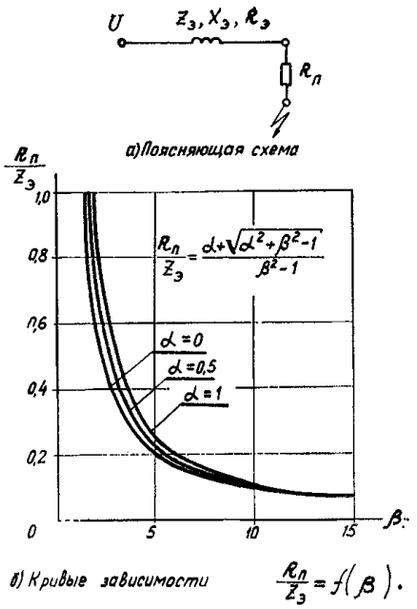


Рис. П-7. Зависимость переходного сопротивления электрической дуги при междуфазных повреждениях от параметров эквивалентной схемы.

$\alpha=\frac{R_э}{Z_э}$; $\beta=\frac{U}{L}$; $L=\frac{1{,}05l}{\sqrt{3}}$;

U — номинальное напряжение в точке короткого замыкания кВ; l длина электрической дуги, м.

ляется выражением

$$R_п^{(3)}=\frac{1{,}05l}{I^{(3)}}\frac{\sqrt{3}}{3}=\frac{1{,}05l}{\sqrt{3}I^{(3)}}. \qquad (VП\text{-}2)$$

При замыканиях между двумя фазами в дуге протекает полный ток повреждения, а сопротивление дуги на фазу равно половине полного сопротивления дуги:

$$R_п^{(2)}=\frac{1{,}05l}{I^{(2)}}\frac{1}{2}, \qquad (VП\text{-}3)$$

При равенстве сопротивлений прямой и обратной последовательностей всех элементов системы имеет место соотношение

$$I^{(2)}=\frac{\sqrt{3}}{2}I^{(3)}. \qquad (VП\text{-}4)$$

Из соотношений (VП-2) и (VП-3) с учетом (VП-4):

$$R_п^{(3)}=R_п^{(2)}, \qquad (VП\text{-}5)$$

т. е. при принятых допущениях сопротивления электрической дуги на фазу при замыканиях между тремя и двумя фазами в данном режиме и в одной и той же точке системы одинаковы. Поэтому дальнейшее рассмотрение производится для случая трехфазного повреждения.

Для сокращения записи вводим обозначение:

$$\frac{1{,}05l}{\sqrt{3}}=L. \qquad (VП\text{-}6)$$

Для схемы по рис. П-7,*а*

$$R_п=\frac{L}{I}=\frac{L\sqrt{x_э^2+(R_э+R_п)^2}}{U}, \qquad (VП\text{-}7)$$

где U — фазное напряжение той ступени напряжения, где рассматривается повреждение, кВ;
$x_э$, $R_э$ — индуктивное и активное результирующие сопротивления относительно места короткого замыкания.

Вводя дополнительно

$$z_э=\sqrt{x_э^2+R_э^2} \text{ и } \alpha=R_э/z_э$$

и решая уравнение (VП-7) относительно $R_п/z_э$, получаем:

$$\frac{R_п}{z_э}=\frac{\alpha L^2\pm L\sqrt{\alpha^2L^2+U^2-L^2}}{U^2-L^2}. \qquad (VП\text{-}8)$$

Для удобства анализа выражения (VП-8) дополнительно вводим $\beta=U/L$, что дает:

$$\frac{R_п}{z_э}=\frac{\alpha\pm\sqrt{\alpha^2+\beta^2-1}}{\beta^2-1}. \qquad (VП\text{-}9)$$

Поскольку, как следует из выражений (VП-1) и (VП-6), β не может быть меньше 1, подкоренное выражение в числителе (VП-9) всегда больше α^2 и, следовательно, знак минус перед корнем не должен учитываться (следует принимать во внимание лишь значения $R_п/z_э>0$). Выражение (VП-9) приобретает вид:

$$\frac{R_п}{z_э}=\frac{\alpha+\sqrt{\alpha^2+\beta^2-1}}{\beta^2-1}, \qquad (VП\text{-}10)$$

С увеличением α относительное значение переходного сопротивления растет; это можно объяснить тем, что с увеличением доли активного сопротивления в цепи короткого замыкания переходное сопротивление электрической дуги в большей степени ограничивает ток в дуге, что при прочих равных условиях приводит к увеличению сопротивления этой дуги.

При чисто индуктивном характере эквивалентного сопротивления ($\alpha=0$) выражение (VП-10) приобретает вид:

$$\frac{R_п}{z_э}=\frac{1}{\sqrt{\beta^2-1}}. \qquad (VП\text{-}11)$$

Наибольшего значения переходное сопротивление могло бы достигнуть при чисто активном характере эквивалентного сопротивления ($\alpha=1$), что дает:

$$\frac{R_п}{z_э}=\frac{1}{\beta-1}. \qquad (VП\text{-}12)$$

С увеличением β относительное значение переходного сопротивления уменьшается.

На рис. П-7,*б* представлены кривые $R_п/z_э=\varphi(\beta)$ для различных значений α.

Приложение VI

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ВЫВЕДЕНИЯ ИЗ ДЕЙСТВИЯ ЦЕПИ ОСТАНОВКИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕДАТЧИКА ПРИ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В СЛУЧАЯХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Как отмечалось выше (гл. 1, разд. В, п. 6, описания схемы по рис. 1), в случае внешнего замыкания двух фаз на землю, сопровождающегося срабатыванием направленного реле сопротивления дистанционной защиты с в. ч. блокировкой на одном конце линии и срабатыванием токовой защиты нулевой последовательности с в. ч. блокировкой с противоположного конца, возможно излишнее срабатывание защиты с в. ч. блокировкой по схеме рис. 1 ввиду остановки передатчиков с обоих концов.

Указанное излишнее срабатывание защиты с в. ч. блокировки при отсутствии специальных мер не исключено, например, при замыкании двух фаз на землю на обходной (по отношению к рассматриваемой линии) связи. Объясняется это следующим.

При перемещении (условном) места короткого замыкания вдоль обходной связи от одного конца защищаемой линии к другому одной из точек на обходной связи соответствует «опрокидывание» фазы (изменение угла на 180°) тока, подводимого к реле сопротивления, включенного на петлю короткого замыкания, а другой точке — «опрокидывание» фазы тока нулевой последовательности в защищаемой линии (рис. П-8,*а*). Отмеченные точки в общем случае не совпадают, и это может обусловить некоторую зону во внешней сети, короткие замыкания в которой сопровождаются срабатыванием направленного реле сопротивления защиты с одного конца линии и токовой направленной защиты нулевой последовательности — с другого конца.

Необходимо, однако, отметить, что вероятность рассматриваемых случаев, по-видимому, мала по следующим причинам.

Образование указанной зоны во внешней сети объясняется исключительно наличием тока в неповрежденной фазе при замыкании на землю двух фаз. Действительно, как видно из векторной диаграммы токов по рис. П-8,*б*, при принятии допущения об отсутствии тока в неповрежденной фазе (I_A) при замыкании на землю двух фаз (B и C) «опрокидыванию» фазы и тока нулевой последовательности линии и тока, подводимого к реле сопротивления, включенного на петлю короткого замыкания, соответствует одна и та же точка на обходной связи сети по рис. П-8,*а* и, следовательно, упомянутая выше опасная зона отсутствует. Поэтому можно утверждать, что указанная зона в большинстве реальных случаев относительно невелика.

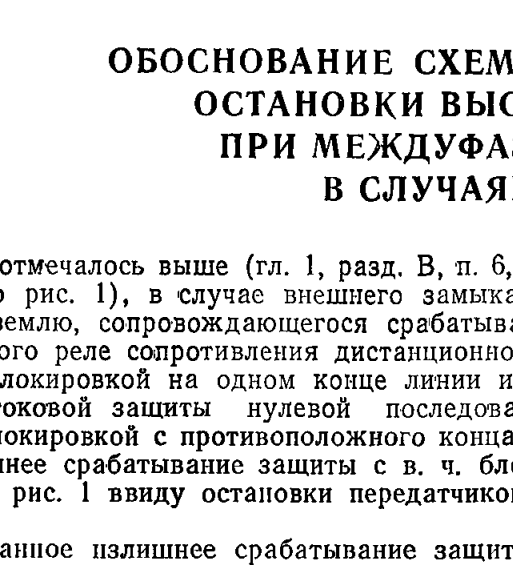


Рис. П-8. Схема защищаемой линии с обходной связью (*а*) и векторная диаграмма токов, подводимых к защите (*б*), для обоснования схемы органа выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях в случаях замыканий на землю.

Л — защищаемая линия; *О* — точка «опрокидывания» фаз тока нулевой последовательности в линии; *С* — точка «опрокидывания» фазы тока, подводимого к реле сопротивления; I_0 — ток нулевой последовательности; $I_р$ — ток, подводимый к направленному реле сопротивления.

Одна из точек на обходной связи по рис. П-8,*а*, ограничивающих опасную зону с двух сторон, соответствует отсутствию тока в реле сопротивления (точка *С*), а другая (точка 0) — отсутствию тока в защите нулевой последовательности. В связи с этим достаточно уверенно можно предположить, что рассматриваемая опасная зона либо полностью, либо большей своей частью окажется внутри зон нечувствительности рассматриваемой защиты с в. ч. блокировкой.

Не следует также исключать некоторую возможность срабатывания направленного реле сопротивления дистанционной защиты с в. ч. блокировкой от коротких замыканий между фазами при внешних замыканиях на землю с направлением мощности короткого замыкания к шинам (для реле сопротивления, включенного не на петлю короткого замыкания). Объясняется это возможностью неблагоприятных фазовых сдвигов между подводимыми к отдельным реле сопротивления напряжением и током.

Как показал анализ, указанное неблагоприятное сочетание фаз принципиально возможно при металлическом замыкании на землю одной фазы вблизи места установки защиты в условиях с весьма малым отношением результирующих сопротивлений нулевой и обратной последовательностей при заметном влиянии тока нагрузки. При отсутствии в. ч. блокировки дистанционной защиты с возможностью этих случаев обычно не считаются. Объясняется указанное их малой вероятностью и тем, что при этом угол между подводимыми к направленному реле сопротивления величинами резко отличается от угла максимальной чувствительности. Поэтому рассматриваемые случаи вряд ли возможны с реле сопротивления первых и вторых ступеней. Возможность же ускорения наиболее чувствительной ступени дистанционной защиты с помощью в. ч. блокировки увеличивает вероятность рассматриваемых случаев.

Следует еще раз подчеркнуть, что вероятность появления рассматриваемых условий, ведущих к неправильному срабатыванию защиты, относительно мала. Поэтому нецелесообразно принимать такие меры по предотвращению рассматриваемых случаев, которые вели бы к ухудшению основных качеств защиты. В то же время не имеется оснований совсем не считаться с их возможностью.

В связи со сказанным в схеме по рис. 1 предусматривается выведение из действия цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях в случае замыканий на землю.

Предусматриваемый в этих целях орган выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях может частично или полностью совмещаться с органом остановки в. ч. передатчика. Поэтому схема автоматического выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях определяется ва-

рнантом выполнения органа остановки в. ч. передатчика (в части реле, предназначенных для действия при замыканиях на землю). Кроме того, выбор указанной схемы должен производиться, исходя из ряда условий, расчетных для выбора параметров срабатывания реле органа остановки в. ч. передатчика, предназначенных для действия при замыканиях на землю, и органа выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях (гл. 2, разд. Г, п. 2; разд. Д, п. 4—6), а также исходя из дополнительного условия, вытекающего из сказанного выше об опасности излишних срабатываний защиты с в. ч. блокировкой.

Все эти условия перечислены ниже.

1) Отстройка реле органа остановки в. ч. передатчика, действующих при замыканиях на землю, от небалансов при внешних замыканиях между фазами с целью предотвращения остановки в. ч. передатчиков в указанных случаях, которая может повлечь излишнее срабатывание защиты с в. ч. блокировкой.

2) Согласование по чувствительности реле органа остановки в. ч. передатчика и реле органа пуска в. ч. передатчика, предназначенных для действия при замыканиях на землю.

3) Обеспечение требуемой чувствительности органа остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю.

4) Отстройка органа выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях от небалансов при замыканиях между фазами на защищаемой линии с целью предотвращения отказа дистанционной защиты с в. ч. блокировкой в указанных случаях.

5) Отстройка органа выведения от таких замыканий на землю на защищаемой линии, при которых реле органа остановки в. ч. передатчика, действующие при замыканиях на землю, данного конца линии находятся на грани срабатывания, с целью сохранения возможности срабатывания дистанционной защиты в указанных случаях.

Это условие практически следует учитывать в случаях, когда реле органа остановки в. ч. передатчика, действующие при замыканиях на землю, не обеспечивают, а дистанционная защита обеспечивает требуемую чувствительность при замыканиях на землю двух фаз.

6) Согласование по чувствительности при замыканиях на землю органа остановки в. ч. передатчика защиты на противоположном конце линии и органа выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях защиты на данном конце линии. Целью указанного согласования является предупреждение отмеченной выше возможности отключения неповрежденной линии в случаях, когда при внешних замыканиях на землю направление токов нулевой последовательности и полных токов в фазах на рассматриваемой линии таково, что возможно срабатывание дистанционной защиты на данном конце линии и токовой защиты нулевой последовательности на другом конце.

Остановка в. ч. передатчика при замыканиях на землю осуществляется в одном из двух возможных вариантов — с помощью одного реле тока *РТН* или с помощью реле тока *РТН* и реле напряжения *РН*, замыкающие контакты которых для этой цели соединяются последовательно.

Первый из указанных вариантов соответствует случаям, в которых при выполнении условия 1 выбора параметров, отмеченного выше, одно реле тока обеспечивает большую чувствительность по условию 3, чем при использовании реле напряжения. В противном случае следует использовать схему остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю по второму варианту, т. е. с реле *РТН* и реле *РН*. При этом реле тока в схему вводится для облегчения выполнения условия 2, и отстройка этого реле от тока небаланса по условию 1 не требуется, так как указанная отстройка обеспечивается реле напряжения.

С помощью перемычки в схеме по рис. 1 предусмотрена возможность шунтирования замыкающего контакта реле *РН* и тем самым осуществления любого из указанных вариантов выполнения остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю.

Те же самые реле используются и для осуществления органа выведения, который также может выполняться в одном из двух вариантов.

Необходимость отстройки органа выведения от небаланса по условию 4 и обеспечения чувствительности органа остановки в. ч. передатчика по условию 3, а также желательность обеспечения условия 6 не позволяют выполнять схему выведения с одним реле тока *РТН*. Это объясняется тем, что отстройка тока срабатывания реле тока от тока небаланса при трехфазном коротком замыкании вблизи места установки защиты (условие 4) в большинстве случаев недопустимо загрубляет это реле, а это означает загрубление и органа остановки в. ч. передатчика, и органа выведения.

В случаях, когда обеспечивается требуемая чувствительность реле органа остановки в. ч. передатчика, предусматриваемых для действия при замыканиях на землю, к замыканиям на землю двух фаз, и поэтому условие 5 соблюдать не требуется, орган выведения целесообразно осуществлять одним реле напряжения *РН*. При этом в большинстве случаев обеспечивается выполнение как условия 4, так и условия 6, так как при замыканиях на землю вне защищаемой линии напряжение нулевой последовательности в месте установки данной защиты обычно достаточно велико. Если же орган остановки в. ч. передатчика защиты на противоположном конце линии содержит реле напряжения (т. е. выполнен по варианту с *РТН* и *РН*), то условие 6 обеспечивается при этом автоматически: напряжение нулевой последовательности в месте установки данной защиты при опасных с точки зрения условий 6 замыканиях на землю больше напряжения нулевой последовательности в месте установки защиты на другом конце линии.

В случаях, когда требуемая чувствительность дистанционной защиты к замыканиям на землю двух фаз обеспечивается, а реле органа остановки в. ч. передатчика, предназначенных для действия при замыканиях на землю, не обеспечивается, целесообразно выведение цепи остановки в. ч. передатчика от дистанционной защиты осуществлять с помощью и реле напряжения *РН*, и реле тока *РТН*, действующих при выведении по логической схеме И. Включением в схему выведения контакта реле тока, кроме контакта реле напряжения, может быть предотвращен полный отказ защиты с в. ч. блокировкой при замыкании на землю двух фаз на защищаемой линии, когда орган остановки в. ч. передатчика отказывает в срабатывании из-за недостаточной чувствительности реле *РТН*, а реле напряжения *РН* при этом срабатывает. Указанные случаи возможны, например, в минимальном режиме работы системы. При рассматриваемом выполнении схемы обеспечивается выполнение обязательного в данных случаях условия 5.

Следует отметить, что использование в схеме выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях кроме реле напряжения *РН* также реле тока *РТН* может привести к невыполнению условия 6. Это возможно, например, в случаях, когда реле тока *РТН* в защите на данном конце имеет ток срабатывания, больший или равный току срабатывания реле *РТН* в защите на другом конце линии (равные токи срабатывания реле *РТН* имеют место, например, в случаях, когда на обоих концах защищаемой линии органы остановки в. ч. передатчика при замыканиях на землю выполнены с *РТН* и *РН*).

Однако в рассматриваемых случаях, когда реле органа остановки в. ч. передатчика, предназначенные для действия при замыканиях на землю, недостаточно чувствительны к замыканию на землю двух фаз, обеспечение условия 5 является более важным, чем условия 6.

Объясняется это отмеченной выше малой вероятностью одновременного срабатывания направленного реле сопротивления защиты на одном конце линии и токовой защиты нулевой последовательности на другом конце линии при внешних замыканиях на землю.

Некоторое снижение надежности выведения цепи остановки в. ч. передатчика при междуфазных замыканиях из-за использования для указанного выведения реле *РТН*, кроме реле *РН*, вряд ли будет значительным.

Таким образом, с точки зрения предупреждения рассмотренных в данном приложении излишних срабатываний защиты с в. ч. блокировкой наиболее эффективным является вариант, когда с обоих концов орган остановки в. ч. передатчика выполнен с использованием и реле тока *РТН*, и реле напряжения *РН*, а орган выведения осуществлен одним реле напряжения *РН*. При выполнении органа остановки в. ч. передатчика с одним реле тока *РТН* (без реле напряжения *РН*) с указанной точки зрения более желательным остается вариант с использованием в качестве органа выведения только реле напряжения *РН*. Однако в случаях с недостаточной чувствительностью токовой защиты нулевой последовательности к замыканиям на землю двух фаз при любом варианте выполнения органа остановки в. ч. передатчика орган выведения следует выполнять с реле тока *РТН* и реле напряжения *РН*, действующих при выведении по логической схеме И.

Приложение VII

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ ПО УСЛОВИЮ ОТСТРОЙКИ ОТ БРОСКА ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ) [1]

1. В данном приложении рассматриваются вопросы выбора параметров срабатывания реле тока *РТН*, реле напряжения *РН* и реле сопротивления ступени дистанционной защиты, ускоряемой с помощью в. ч. блокировки (рис. 1), а также реле тока *1РТН*, реле напряжения *1РН* и реле сопротивления (рис. 4) по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов) при включении линии с ответвлениями под напряжение.

2. Значение первичного тока срабатывания реле тока, включенного на ток нулевой последовательности (реле *РТН* рис. 1 и реле *1РТН* рис. 4), по условию отстройки от броска тока намагничивания определяется по выражению

$$I_{0.с\,р.пб} = \frac{C_б U_{ном}}{\sqrt{3}\,(x_{1с} + x^{(1)}_{тр.\,экв})}, \qquad \text{(VIII-1)}$$

где $C_б$ — расчетный коэффициент; значение коэффициента принимается в соответствии с табл. П-1;

$U_{ном}$ — номинальное напряжение линии;

$x_{1с}$ — сопротивление прямой последовательности системы;

$x^{(1)}_{тр.\,экв}$ — эквивалентное сопротивление трансформаторов и линии для однофазного включения; определяются в соответствии с указаниями п. 3 и 4.

При определении значений коэффициента $C_б$ учитывались постоянная времени контура включения трансформатора, тип стали магнитопровода, тип реле, параметры срабатывания которого определяются, время срабатывания реле тока типов РТ-40 и РТН-565.

Для реле типа РТ-40, включенного на ток нулевой последовательности, расчетным является однофазное включение, а для реле типа РНТ-565, включенного также на ток нулевой последовательности, расчетным является двухфазное включение (при котором в нулевом проводе имеет место бросок периодического тока). В обоих случаях расчеты производятся по значению сопротивления трансформатора $x^{(1)}_{тр.экв}$, соответствующему однофазному включению. При этом учитываются только трансформаторы с заземленными нейтралями.

3. Значения сопротивлений трансформаторов (автотрансформаторов) для однофазного включения $x^{(1)}_{тр}$ подсчитываются по выражениям табл. П-2.

Сопротивление $x^{(1)}_{тр}$ есть сопротивление трансформатора в условиях насыщения магнитопровода при однофазном включении.

4. При наличии на линии одного трансформатора эквивалентное сопротивление $x^{(1)}_{тр.\,экв}$ определяется по выражению

$$x^{(1)}_{тр.\,экв} = x^{(1)}_{тр} + x_{1л}, \qquad \text{(VIII-2)}$$

где $x^{(1)}_{тр}$ — сопротивление трансформатора, определяемое с помощью расчетных выражений табл. П-2;

$x_{1л}$ — сопротивление прямой последовательности участка линии от питающей подстанции до шин подстанции, на которой установлен рассматриваемый трансформатор.

Таблица П-1

Значения коэффициента $C_б$

Реле в схеме	Холоднокатаная сталь		Горячекатаная сталь	
	$U_{ном}$=110 кВ	$U_{ном}$=220 кВ	$U_{ном}$=110 кВ	$U_{ном}$=220 кВ
Реле тока типа РТ-40 (включенное на ток нулевой последовательности) . . .	0,84	0,92	0,6	0,66
Реле тока типа РНТ-565 (включенное на ток нулевой последовательности)	0,6	0,65	0,48	0,52
Реле сопротивления ступени дистанционной защиты, ускоряемой с помощью в. ч. блокировки	1,75	1,55	2,65	2,5

[1] Данное приложение составлено по материалам, представленным Г. В. Бердовым (Южное отделение Энергосетьпроекта). Более подробно расчет приводится в «Руководящих указаниях по релейной защите. Вып. 9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110—330 кВ». М., «Энергия», 1972.

Таблица П-2

Расчетные выражения для определения сопротивления трансформатора (автотрансформатора) при включении $x^{(1)}_{тр}$

Включаемый элемент	Мощность $S_{ном}$, МВ·А	Расчетное выражение для определения сопротивления $x^{(1)}_{тр}$, %
Трансформатор	6,3—60	$\frac{12,7 + u_к}{1,35}$
	80	$\frac{21,4 + u_к}{1,35}$
Автотрансформатор	125	$\frac{25,7 + u_к}{1,3}$
	200	$\frac{35 + u_к}{1,28}$

Примечание. $u_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора (автотрансформатора) между включаемой и внутренней обмоткой (лежащей на стержне) в процентах; для большинства типов отечественных понижающих трансформаторов при их включении со стороны высшего напряжения это соответствует наибольшему из междуобмоточных напряжений короткого замыкания. Для автотрансформаторов $u_к$ должно быть приведено к проходной мощности автотрансформатора.

При наличии на линии нескольких трансформаторов значение $x^{(1)}_{тр.экв}$ подсчитывается по более сложному выражению. Например, для схемы по рис. П-9 значение $x_{тр.экв}$ при включении линии под напряжение со стороны подстанции *1* может быть определено

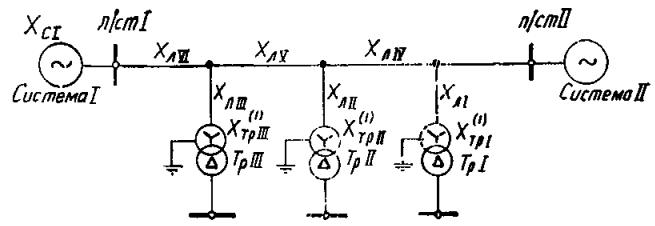


Рис. П-9. Схема сети для определения $x_{тр.экв}$.

маторов и линии для однофазного включения, определяется в соответствии с указаниями п. 3 и 4 при учете только трансформаторов с заземленными нейтралями;

$U_{ном}$ — номинальное напряжение линии;

$k_{1г}$ — расчетный коэффициент действующего значения первой гармоники напряжения нулевой последовательности; значение коэффициента принимается в соответствии с табл. П-3.

6. Первичное сопротивление срабатывания реле сопротивления ступени дистанционной защиты, ускоряемой с помощью в. ч. блокировки, по условию отстройки от броска тока намагничивания определяется по выражению

$$z_{с.з.б} = C_б (x_{1с} + x^{(1)}_{тр.экв}) - x_{1с}, \qquad (VIII-5)$$

где $C_б$ — расчетный коэффициент, значение коэффициента принимается в соответствии с табл. П-1;

$x_{1с}$ — сопротивление прямой последовательности системы;

$x^{(1)}_{тр.экв}$ — эквивалентное сопротивление трансформаторов и линии для однофазного включения, определяется в соответствии с указаниями п. 3 и 4 с учетом всех трансформаторов, приключенных к линии.

$$x^{(1)}_{тр.экв} = [(x^{(1)}_{трI} + x_{лI} + x_{лIV}) \| (x^{(1)}_{трII} + x_{лII}) + x_{лV}] \| [x^{(1)}_{трIII} + x_{лIII}] + x_{лVI}, \qquad (VIII-3)$$

где $x_{лI}$, $x_{лII}$, $x_{лIII}$, $x_{лIV}$, $x_{лV}$, $x_{лVI}$ — сопротивления прямой последовательности участков линии схемы по рис. П-9;

$x^{(1)}_{трI}$, $x^{(1)}_{трII}$ и $x^{(1)}_{трIII}$ — сопротивления соответственно трансформаторов, *I*, *II* и *III* схемы по рис. П-9.

Использование сопротивления прямой последовательности линий при расчетах по выражениям (VIII-2) и (VIII-3) является приближенным (дающим запас) и применяется в целях упрощения расчетов.

5. Реле напряжения типа РНН-57 реагирует на действующее значение первой гармоники напряжения. Расчетным режимом для определения напряжения срабатывания рассматриваемого реле (включенного на напряжение нулевой последовательности) по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформатора является однофазное включение, при котором значение напряжения нулевой последовательности U_0 имеет наибольшее значение по сравнению с другими видами включений.

Первичное напряжение срабатывания реле напряжения типа РНН-57 (реле *РН* схемы на рис. 1 и реле *1РН* схемы на рис. 4) по условию отстройки от броска тока намагничивания в соответствии с указанным выше определяется по выражению

$$U_{0с.р.п.б} = k_{1г} \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} \frac{x_{0с}}{x_{1с} + x^{(1)}_{тр.экв}}, \qquad (VIII-4)$$

где $x_{1с}$ и $x_{0с}$ — сопротивления прямой и нулевой последовательностей системы соответственно;

$x^{(1)}_{тр.экв}$ — эквивалентное сопротивление трансформаторов и линии для однофазного включения, определяется в соответствии с указаниями п. 3 и 4 с учетом всех трансформаторов, приключенных к линии.

Необходимо учитывать, что значения коэффициента $C_б$, приведенные в табл. П-1, определены на основании исследований, проведенных для индукционных реле сопротивления. Соответствующие исследования для реле сопротивления, выполненного на схеме сравнения абсолютных значений с использованием в качестве реагирующего органа магнитоэлектрического реле (дистанционная защита, устанавливаемая на панелях типов ПЗ-2 и ЭПЗ-1636-67), отсутствуют. В связи с этим при применении указанных панелей сопротивление срабатывания, определенное по выражению (VIII-5), подлежит дополнительному уточнению в условиях эксплуатации.

Таблица П-3

Значение коэффициента $k_{1г}$

Холоднокатаная сталь при $U_{ном}$		Горячекатаная сталь при $U_{ном}$	
110 кВ	220 кВ	110 кВ	220 кВ
0,64	0,7	0,48	0,52

Пример расчета

1. Ниже приводится пример расчета напряжения срабатывания реле напряжения типа РНН-57 по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов (примеры расчета для реле тока типов РТ-40 и РНТ-565 приведены в «Руководящих указаниях по релейной защите». Вып. 9).

2. Исходные данные:

схема и параметры сети приведены на рис. П-10; трансформаторы изготовлены из холоднокатаной стали.

Расчет производится для реле защиты, установленной на подстанции *I*.

3. Определяется сопротивление трансформаторов для однофазного включения по выражениям, приведенным в табл. П-2 для трансформаторов *I* и *III*:

$$x_{тр}^{(1)}\,[\%] = \frac{12{,}7 + U_к}{1{,}35} = \frac{12{,}7 + 17}{1{,}35} = 22\,\%;$$

$$x_{тр}^{(1)} = \frac{x_{трI}^{(1)}[\%]U_{ном}^2}{100 S_{ном}} = \frac{22 \cdot 115^2}{100 \cdot 31{,}5} = 92\ \text{Ом}.$$

В приведенных расчетах принято в соответствии с примечанием к табл. П-2 $U_к = 17\%$.

4. Определяется эквивалентное сопротивление трансформаторов и линии для однофазного включения по выражению (VIII-3)

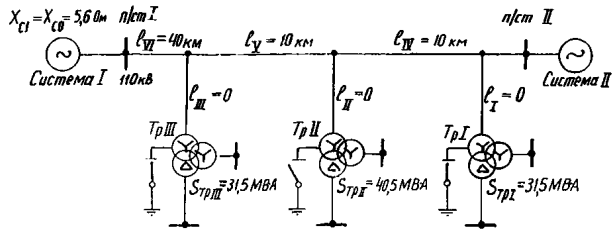
$$x_{тр.\,экв}^{(1)} = (x_{трI}^{(1)} + x_{лI} + x_{лIV} + x_{лV}) \,||\, (x_{трII}^{(1)} + x_{лIII}) + x_{лIV} = (92 + 4 + 4) \,||\, 92 + 16 = 63{,}9\ \text{Ом}.$$

(при определении $x_{тр.\,экв}^{(1)}$ сопротивление трансформатора *II* не учитывалось, так как нейтраль его не заземлена).

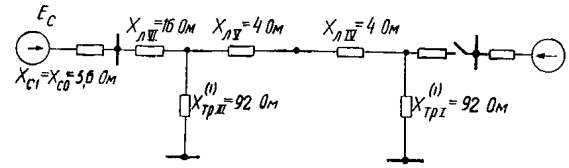
5. Определяется первичное напряжение срабатывания реле напряжения типа РНН-57 по выражению (VIII-4):

$$U_{0с.\,р.п.б} = k_{1г} \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} \frac{x_{0с}}{x_{1с} + x_{тр.\,экв}^{(1)}} =$$

$$= 64 \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \frac{5{,}6}{5{,}6 + 63{,}9} = 3430\ \text{В}.$$



а) Исходная схема



б) Схема замещения

Рис. П-10. Схемы для примера расчета.

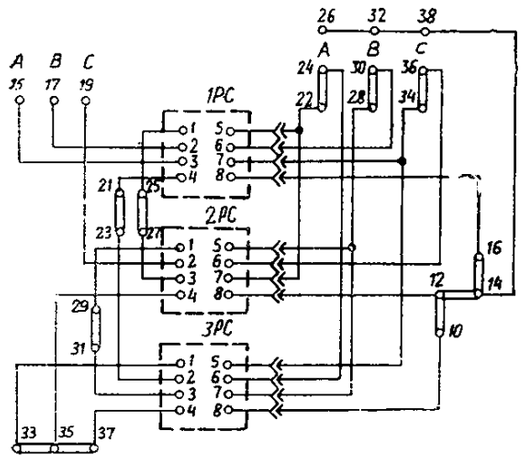
Напряжение срабатывания реле

$$U_{0с.\,р.б} = \frac{U_{0с.\,р.п.б}}{n_н} = \frac{3430}{\frac{110\,000}{\sqrt{3} \cdot 100}} = 5{,}4\ \text{В},$$

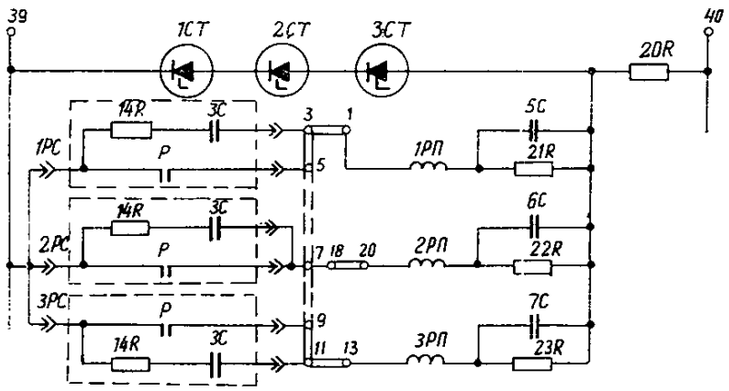
где $n_н = \frac{110\,000}{\sqrt{3} \cdot 100}$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

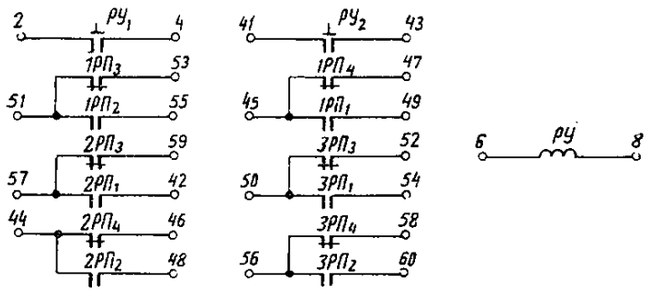
В предыдущий вып. 9 «Руководящих указаний по релейной защите» должно быть внесено следующее исправление:

В схеме по рис. 6 контакт $2РП_2$ должен быть показан замыкающим с замедлением при размыкании.

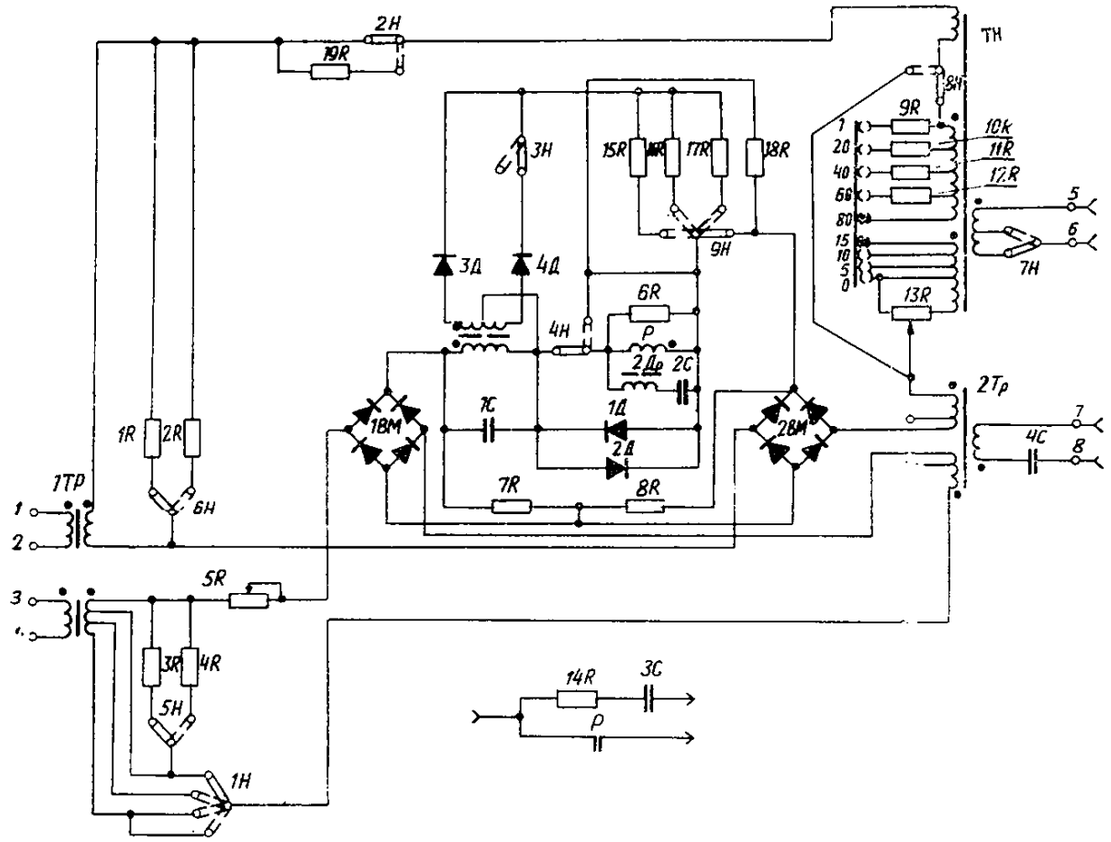


а) Схема цепей переменного тока и напряжения комплекта





б) Схема цепей постоянного тока комплекта



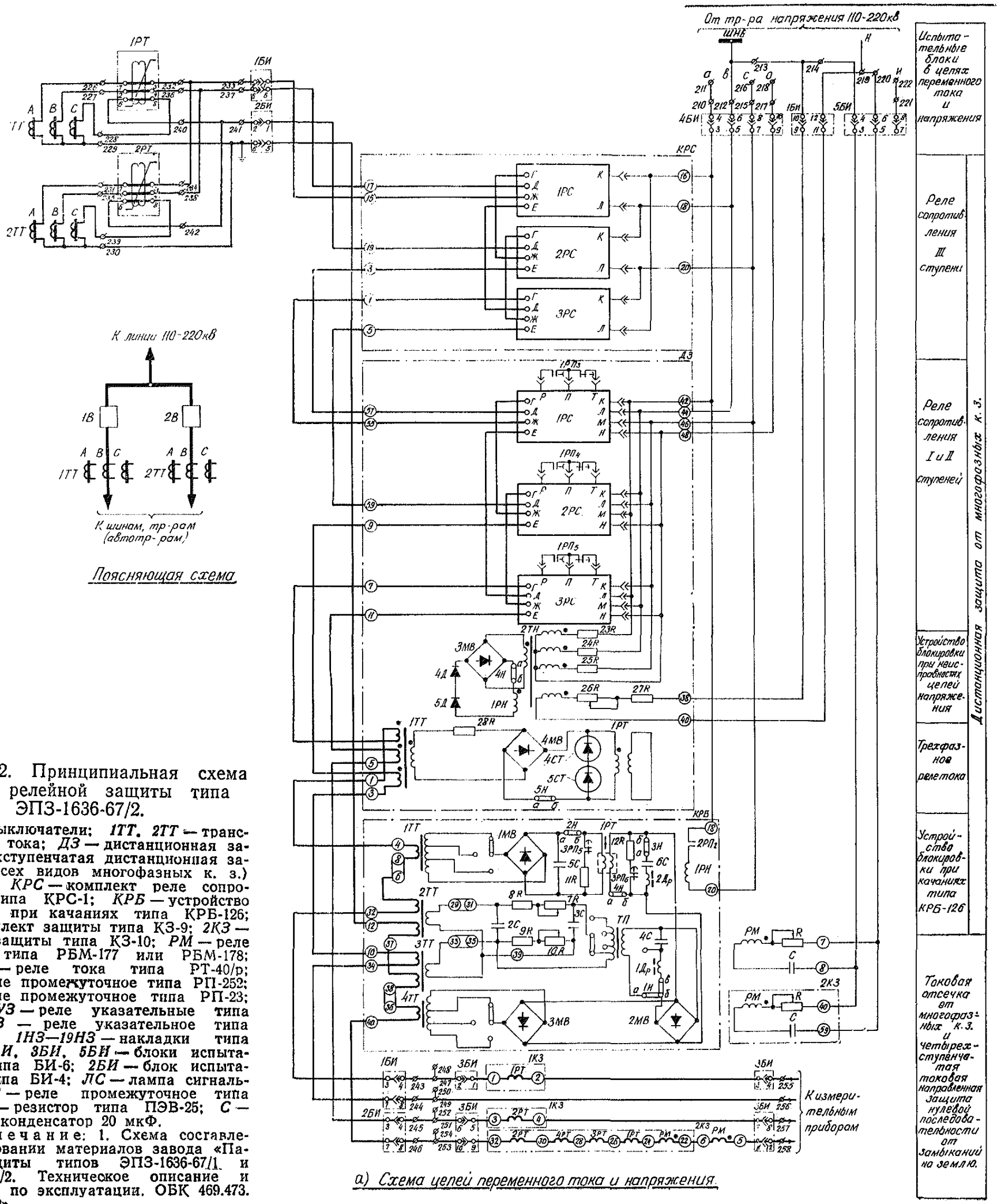
в) Схема внутренних соединений одного реле сопротивления

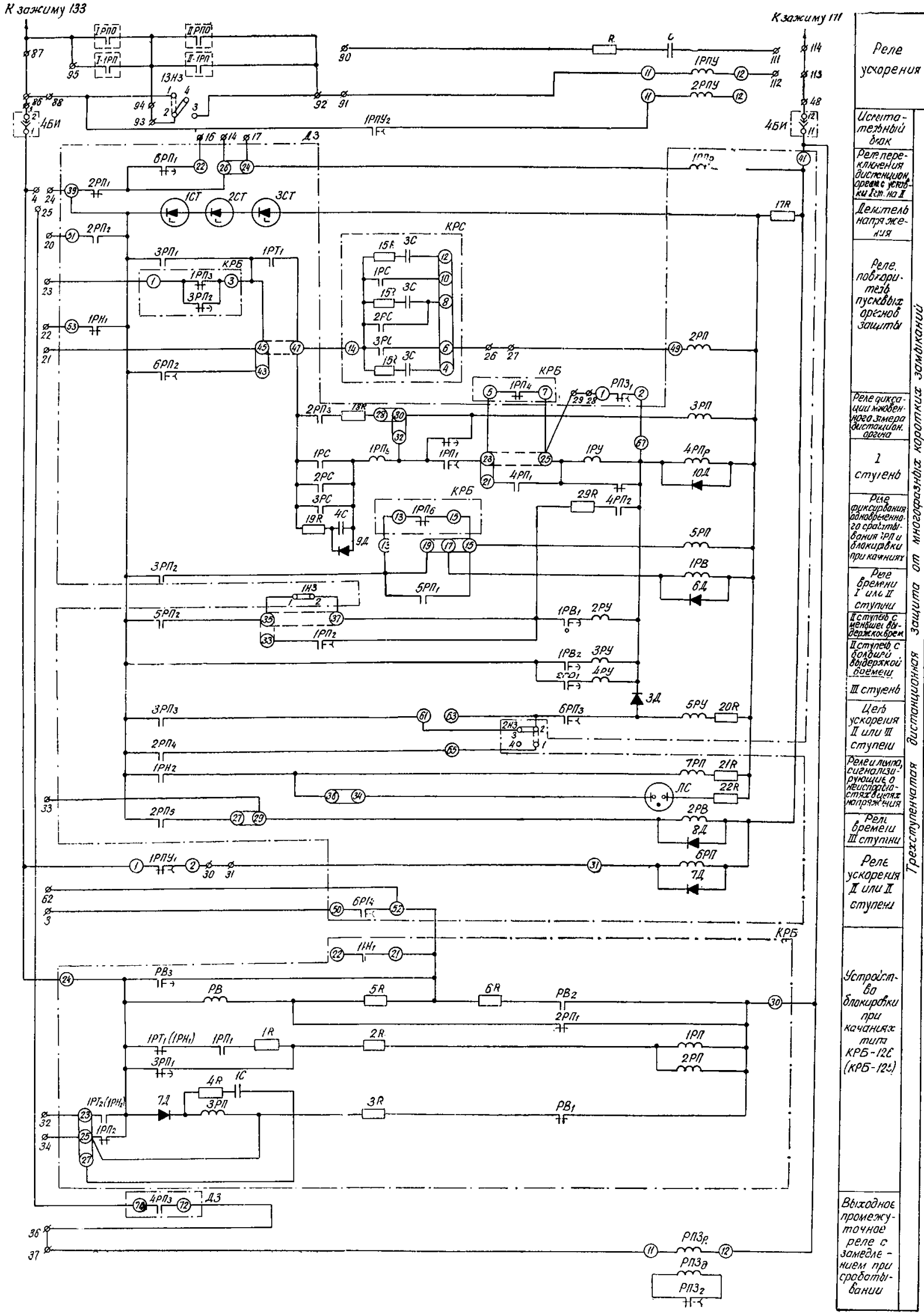
Рис. П-11. Принципиальная схема комплекта реле сопротивления типа КРС-2.

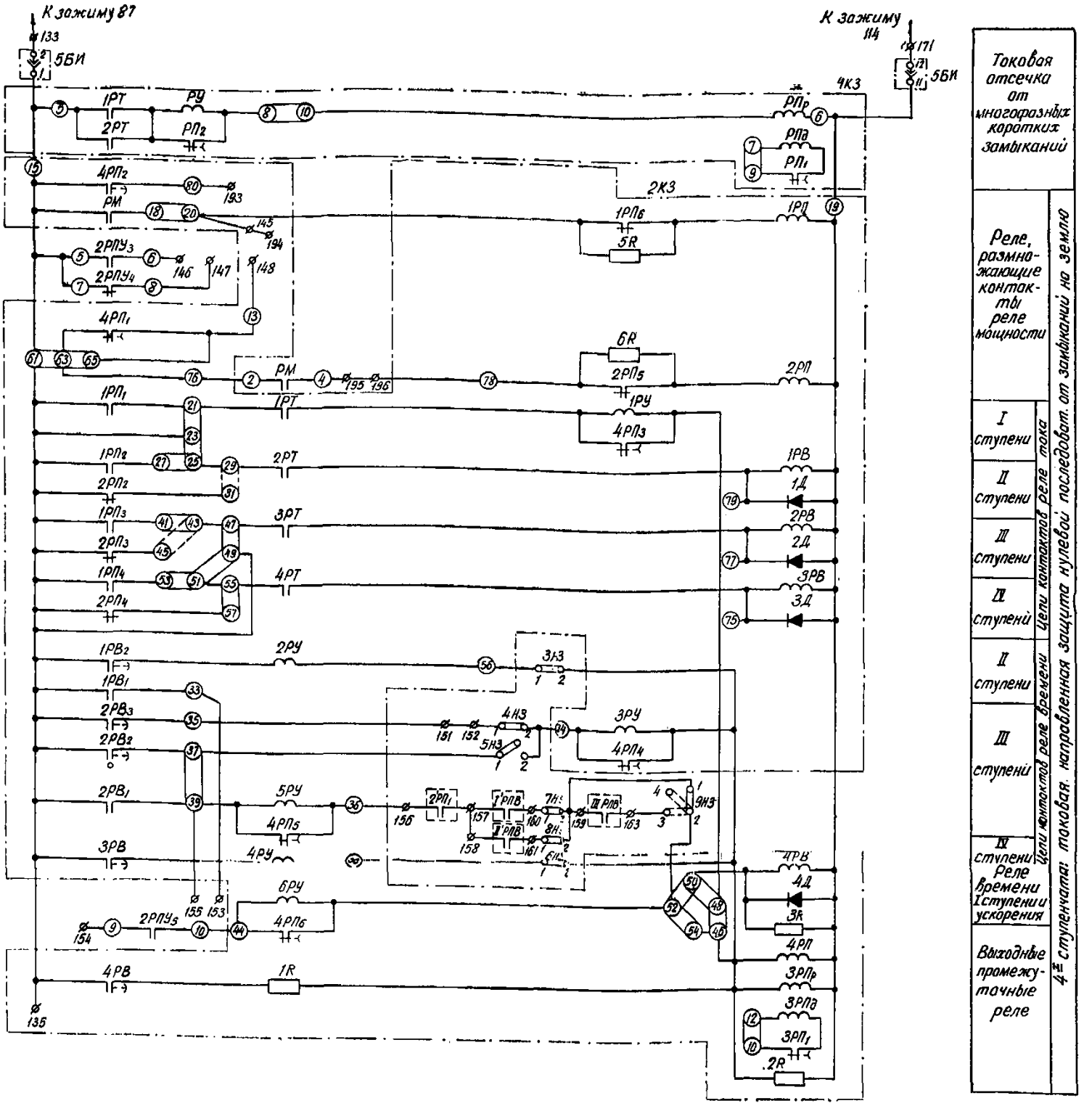
Примечания: 1. Схема составлена на основании заводских материалов «Комплект (блок-реле) типа КРС-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ОБК 469.514. Издание 01» с сохранением основных обозначений, принятых в указанном материале.

2. Схема приведена для исполнения комплекта на 220 В постоянного тока. При использовании комплекта на 110 В стабилитроны *1СТ—3СТ* и резистор *20R* не устанавливаются.

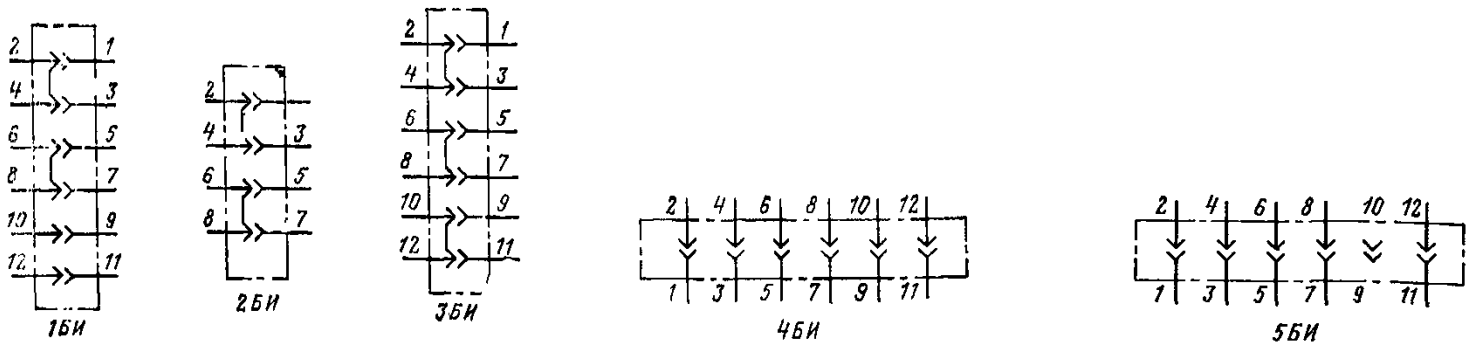
3. Схема дана для случая включения реле и сопротивления на разность фазных токов и междуфазное напряжение.


От тр-ра напряжения 110-220кВ
ШНВ
Испытательные блоки в цепях переменного тока и напряжения
Реле сопротивления III ступени
Реле сопротивления I и II ступеней
Дистанционная защита от многофазных к. з.
Устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения
Трехфазное реле тока
Устройство блокировки при качаниях типа КРБ-126
Токовая отсечка от многофазных к. з. и четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю.
1РТ
2РТ
1ТТ
2ТТ
1БИ
2БИ
3БИ
4БИ
5БИ
КРС
КРБ
ДЗ
1РС
2РС
3РС
1РПЗ
1РП4
1РП5
1ВН
2ВН
3ВН
4ВН
5ВН
1ВН
2ВН
1ВН
1ВН
1


К зажиму 133
К зажиму 171
Реле ускорения
Испытательный блок
Реле переключения дистанцион. органа с уставки I ст. на II
Делитель напряжения
Реле повторителя пусковых органов защиты
Реле фиксации мгновенного замера дистанцион. органа
I ступень
Реле фиксирования одновременного срабатывания 1РП и блокировки при качаниях
Реле времени I или II ступени
II ступень с меньшей выдержкой врем.
II ступень с большей выдержкой времени
III ступень
Цепь ускорения II или III ступени
Реле и лампа, сигнализирующие о неисправностях в цепях напряжения
Реле времени III ступени
Реле ускорения II или II ступени
Устройство блокировки при качаниях типа КРБ-12Е (КРБ-12Б)
Выходное промежуточное реле с замедлением при срабатывании
Трехступенчатая дистанционная защита от многофазных коротких замыканий

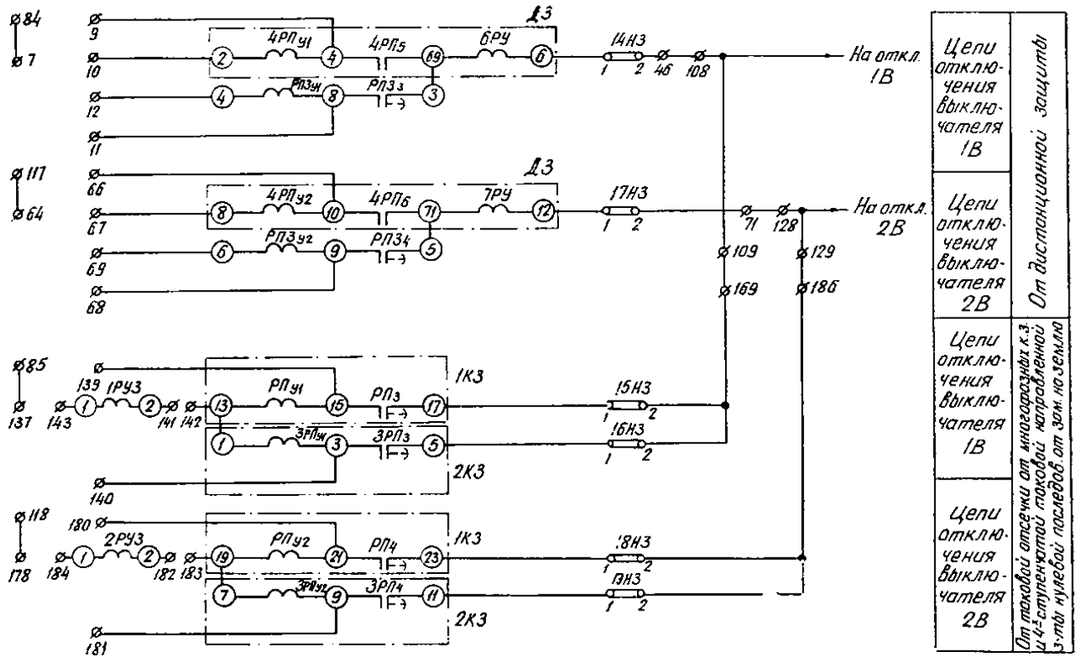


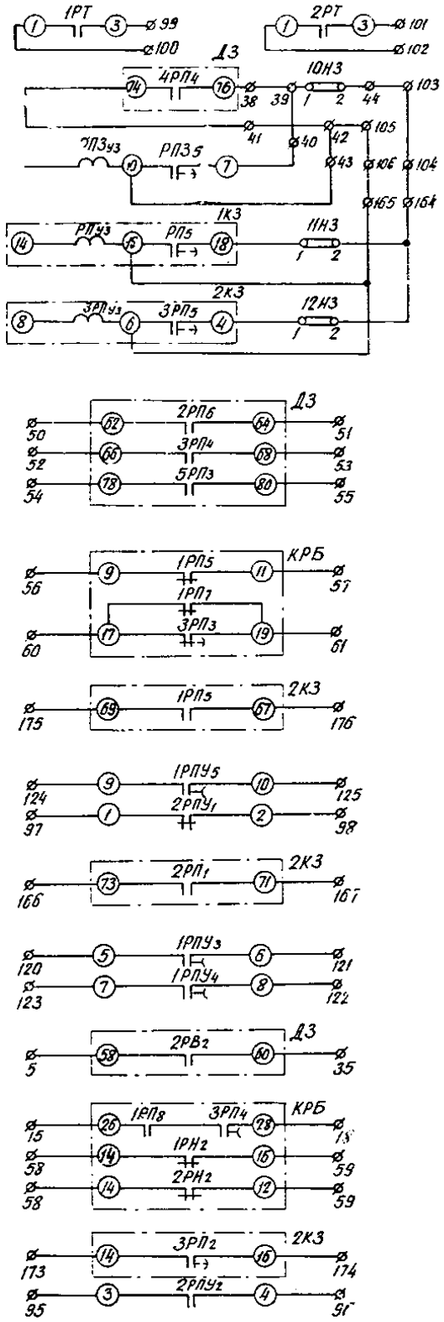
б) Схема цепей оперативного постоянного тока

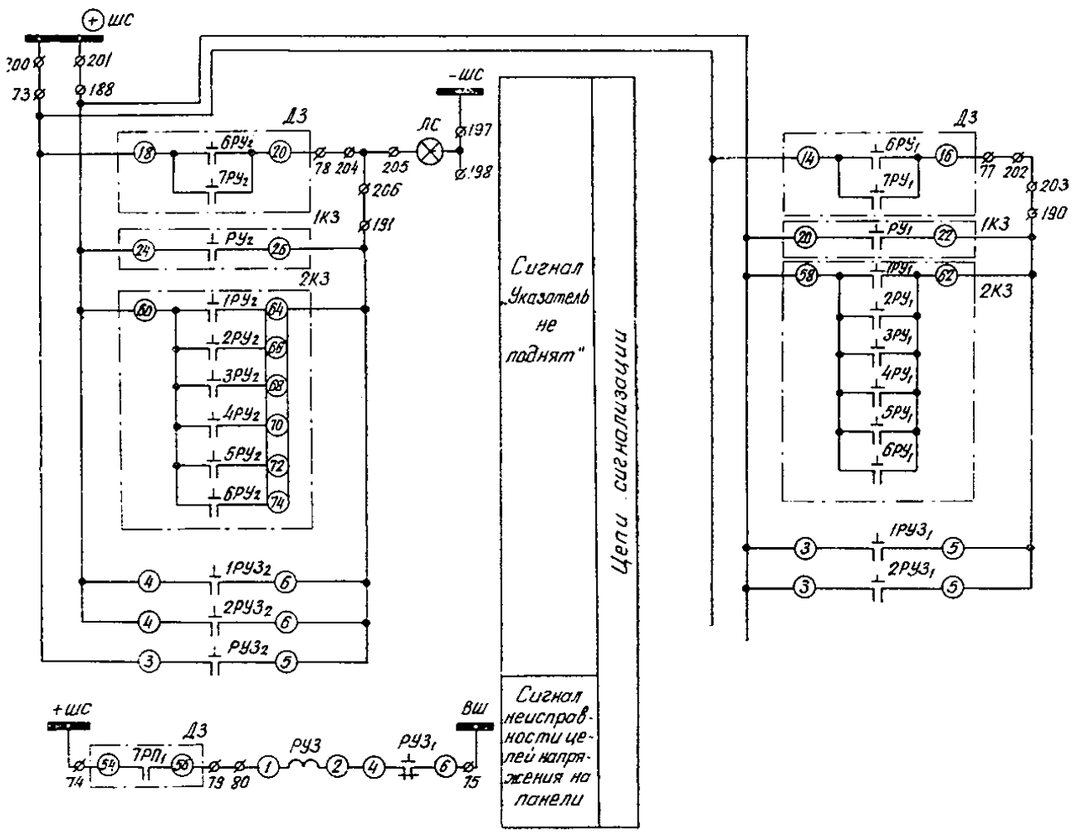


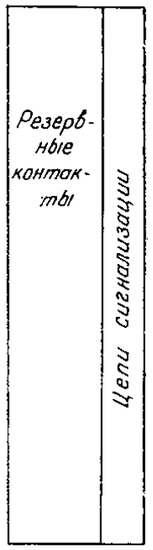
Положение контактов испытательных блоков при снятой рабочей крышке.

Обозначения: *IРПО*, *IIРПО* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно *1В* и *2В*; *I-1РП*, *II-1РП* — контакты реле контроля непереключения фаз выключателей соответственно *1В* и *2В*; *I'РПВ*, *II'РПВ* — контакты реле положения «включено» выключателей параллельной линии; *IIIРПВ* — контакт реле положения «включено» шиносоединительного выключателя; *2'РП*$_1$ — контакт промежуточного реле комплекта *2'КЗ*, размножающего контакт реле направления мощности *РМ* аналогичной защиты параллельной линии; ∅ — зажим сборки панели; ⊂⊃ — зажимы комплектов аппаратов с внешней перемычкой.









в) Выходные цепи защит

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 2

Глава первая. **Схемы релейной части полукомплектов высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности** . . . 3

А. Общие принципы выполнения схем высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности 3
Б. Особенности выполнения дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой на линиях с ответвлениями 7
В. Особенности выполнения схем 8

Глава вторая. **Расчет параметров срабатывания пусковых органов высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для линий без ответвлений** 23

А. Общие указания по расчету параметров срабатывания пусковых органов высокочастотной блокировки дистанционной защиты, действующих при междуфазных коротких замыканиях 23
Б. Расчет сопротивлений срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты, используемых для остановки высокочастотного передатчика 24
I. Общие положения 24
II. Согласование на линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации (рис. 6) 24
III. Согласование на линиях, входящих в сеть сложной конфигурации 27
В. Согласование по чувствительности пусковых органов устройств блокировки при качаниях обоих концов линий между собой 30
I. Общие положения 30
II. Согласование на линиях, входящих в сеть сравнительно простой конфигурации (рис. 6) 30
III. Согласование на линиях, входящих в сеть сложной конфигурации 32
Г. Расчет параметров срабатывания реле пусковых органов высокочастотной блокировки, предназначенных для действия при замыканиях на землю 34
Д. Проверка чувствительности 35
Е. Примеры расчета 36
I. Пример расчета параметров срабатывания пусковых органов высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности в сети простой конфигурации (по рис. 11) 36
II. Пример согласования реле сопротивления, используемых для остановки высокочастотного передатчика с органами пуска высокочастотной блокировки в сети сложной конфигурации (по рис. 12) 38

Глава третья. **Особенности расчета параметров срабатывания пусковых органов высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности для линий с ответвлениями** 40

А. Общие указания по расчету 40
Б. Расчет сопротивлений срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты, используемых для остановки высокочастотного передатчика, в схеме по рис. 1 . . 41
В. Согласование по чувствительности пусковых органов устройств блокировки при качаниях обоих концов линии между собой при применении схемы по рис. 1 . . 45
Г. Расчет параметров срабатывания реле пусковых органов высокочастотной блокировки, предназначенных для действия при замыканиях на землю в схеме по рис. 1 47
Д. Расчет параметров срабатывания пусковых органов полукомплектов высокочастотной блокировки, выполненных по схеме рис. 2 и 3 49
Е. Расчет параметров срабатывания пусковых органов полукомплекта высокочастотной блокировки, выполненного по схеме рис. 4 50

Приложение I. **Анализ действия реле сопротивления при каскадном отключении внешнего короткого замыкания** 52

Приложение II. **Согласование по чувствительности пусковых органов высокочастотной блокировки дистанционной защиты** 54

А. Согласование реле сопротивления дистанционной защиты с устройством блокировки при качаниях 54
Б. Согласование по чувствительности пусковых органов устройств блокировки при качаниях обоих концов линии между собой 58

Приложение III. **Оценка чувствительности реле направления мощности направленной защиты нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой** 60

Приложение IV. **Оценка поведения реле сопротивления, установленных в различных точках сети, при замыканиях между двумя фазами за трансформатором с соединением обмоток по схеме Y/△** 61

Приложение V. **Зависимость переходного сопротивления электрической дуги при междуфазных повреждениях от параметров цепи короткого замыкания** 63

Приложение VI. **Обоснование схемы выведения из действия цепи остановки высокочастотного передатчика при междуфазных коротких замыканиях в случаях замыканий на землю** . 65

Приложение VII. **Расчет параметров срабатывания реле пусковых органов высокочастотной блокировки защиты линий с ответвлениями по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов)** 67

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Вып. 10. **Высокочастотная блокировка дистанционной и токовой направленной нулевой последовательности защит линий 110—220 кВ**

Редактор *Т. Дороднова*
Редактор издательства *Э. Я. Бранденбургская*
Технический редактор *Л. А. Молодцова*
Корректор *И. А. Володяева*

Сдано в набор 19/VII 1974 г. Подписано к печати 6/V 1975 г. Т-09502 Формат 84×108¹/₁₆ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 7,98 Уч.-изд. л. 11,53 Тираж 18 000 экз. Зак. 866 Цена 58 коп.

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

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

gost.e-ecolog.ru