

А. Н. КОЖИН
В. А. РУБИНЧИК

РЕЛЕЙНАЯ
ЗАЩИТА
ЛИНИЙ
С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

• ЭНЕРГИЯ •



Глава седьмая. Принципы использования защит с передачей отключающих и разрешающих сигналов для линий с ответвлениями	186
7-1. Общие положения	186
7-2. Принципы осуществления быстродействующей защиты линии с отключающими и разрешающими сигналами	186
7-3. Примеры комбинированного выполнения защит	194
7-4. Каналы связи для осуществления защит с отключающими и разрешающими сигналами	209
Глава восьмая. Релейная защита линий, питающих тяговые подстанции электрифицированных железных дорог	215
8-1. Схемы и режимы работы тяговых подстанций и линий 110—220 кв	215
8-2. Принципы выполнения защиты от многофазных коротких замыканий со стороны опорных подстанций	221
8-3. Параметры срабатывания дистанционной защиты	223
8-4. Устройства блокировки при качаниях	227
8-5. Защита от замыканий на землю со стороны опорных подстанций	234
8-6. Устройства резервирования при отказе выключателей	236
8-7. Защита линии со стороны промежуточных подстанций	238
Приложение. Особенности высокочастотных каналов связи для релейной защиты по высоковольтным линиям с ответвлениями	247
Литература	256

КОЖИН АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ,
РУБИНЧИК ВИКТОР АЗАРЬЕВИЧ

Релейная защита линий с ответвлениями

Редактор Г. Т. Грек
Переплет художника П. П. Перевалова
Технический редактор Л. И. Гаврилина
Корректор Н. В. Лобанова

Сдано в набор 20/VII 1967 г.

Подписано к печати 20/X 1967 г. Т-13631
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская мелюзанная
Усл. печ. л. 14,28 Уч.-изд. л. 14,94
Тираж 12 000 экз. Цена 97 коп. Зак. 412
Издательство „Энергия“. Москва, Ж-114,
Шлюзовая наб., 10.

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

А. Н. КОЖИН,
В. А. РУБИНЧИК

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1967

Кожин А. Н., Рубинчик В. А.

К 58 Релейная защита линий с ответвлениями. М., «Энергия», 1967.

264 с. с илл.

В книге рассматриваются основные вопросы релейной защиты линий электропередачи с ответвлениями и особенности ее по сравнению с релейной защитой линий без ответвлений. Даны основные принципы выполнения, схемы и расчеты различных типов защиты, анализируется их поведение при повреждениях на линиях с ответвлениями. Рассматриваются вопросы целесообразности применения и основные принципы выполнения на линиях с ответвлениями защит с передачей отключающих и разрешающих сигналов. Книга имеет целью ознакомить с современными задачами в области релейной защиты, возникающими в связи с широким развитием линий с ответвлениями, и путями их решения. Книга предназначена для инженеров, работающих в области проектирования и эксплуатации релейной защиты, и может быть полезна для студентов соответствующих специальностей вузов.

3-3-13

82-67

6П2.13

ПРЕДИСЛОВИЕ

Линии электропередачи с ответвлениями, также называемые многоконцевыми линиями (в отличие от линий без ответвлений, имеющих два конца), находят широкое распространение в электрических сетях. Применение подстанций на ответвлениях и выполнение их по упрощенным схемам имеет большое значение в условиях высоких темпов энергетического строительства, поскольку позволяет быстрее вводить в строй подстанции и линии электропередачи, снизить затраты на их строительство и уменьшить потребность в дефицитной и дорогостоящей аппаратуре.

В связи с широким распространением линий с ответвлениями практический интерес представляют вопросы выполнения их релейной защиты. Особенности схем линий с ответвлениями и токораспределения на этих линиях при коротких замыканиях определяют значительную специфику их релейной защиты, которую необходимо учитывать при ее проектировании и эксплуатации. Поэтому возникла необходимость специально рассмотреть вопросы релейной защиты линий с ответвлениями.

Настоящая книга является попыткой осветить в систематизированной форме вопросы релейной защиты линий с ответвлениями напряжением 35 кВ и выше. В книге приведены основные принципы выполнения, схемы и особенности расчета токовых, поперечной дифференциальной направленной, дистанционной и высокочастотных защит линий с ответвлениями. В книге также рассмотрены применительно к линиям с ответвлениями основные принципы осуществления имеющих значительно меньшее распространение защит, использующих передачу отключающих и разрешающих сигналов. Отдельно рассмотрены вопросы релейной защиты линий с ответвлениями, питающих тяговые подстанции электрифициро-

ванных железных дорог. В приложении кратко изложены особенности выполнения и расчета высокочастотных каналов релейной защиты.

При составлении книги авторами использованы работы по данной теме, выполненные ими в отделе релейной защиты, автоматики, устойчивости и моделирования (ОРЗАУМ) института «Энергосетьпроект», а также работы, выполненные с участием других работников отдела (А. Б. Чернин, В. М. Ермоленко, С. Я. Петров, Т. Н. Дороднова, Э. П. Смирнов, М. М. Богина, А. К. Мержанов). Кроме того, в книге использованы некоторые работы Северо-Западного (Д. И. Веприк и М. С. Израилев) и Украинского (И. Ю. Готлибович, М. И. Гурарий, В. Г. Гольденберг) отделений института «Энергосетьпроект». Авторы с благодарностью отмечают, что написание данной книги стало возможным в результате длительного общения с коллективом сотрудников ОРЗАУМ, руководимого А. М. Федосеевым.

Глава 1 книги написана авторами совместно. А. И. Кожиным написаны гл. 2, 3 и 5, В. А. Рубинчиком — гл. 4, 6, 7, 8 и приложение (последнее — совместно с В. Г. Каганом). В. А. Рубинчиком выполнено также общее редактирование книги.

Авторы приносят большую благодарность рецензенту Н. В. Виноградову за тщательный просмотр рукописи и ценные указания, данные при ее рецензировании. Авторы выражают также признательность редактору книги Г. Т. Греку и А. Б. Чернину, руководившему некоторыми работами авторов по данной теме и являющемуся инициатором настоящей книги.

Авторы

Глава первая

СХЕМЫ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ И ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

1-1. СХЕМЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

В настоящее время все большее распространение получает использование ответвлений от линий электропередачи 35 кВ и выше. Большая часть линий, вновь вводимых в эксплуатацию, выполняется с ответвлениями. Ответвления также предусматриваются от линий, уже находящихся в эксплуатации. К одной линии может подключаться несколько ответвлений (до 3—4).

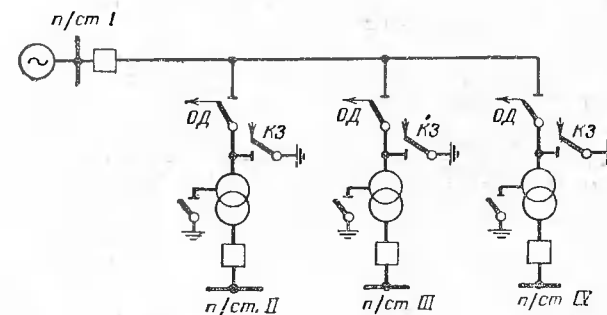


Рис. 1-1. Одиночная линия с односторонним питанием с ответвлениями.

Подстанции на ответвлениях выполняются, как правило, по упрощенным схемам первичных соединений.

Ниже рассматриваются некоторые наиболее распространенные схемы линий с ответвлениями и подстанций на ответвлениях напряжением 35—220 кВ.

На рис. 1-1 показана одиночная линия с односторонним питанием, от которой питаются три подстанции II, III, IV. Одна из этих подстанций может рассматривать-

ся как тупиковая, остальные — как подстанции на ответвлениях. Следует отметить, что при схемах подстанций, показанных на рис. 1-1, тупиковая подстанция ничем не отличается от остальных подстанций, питающихся от данной линии.

Подстанции II, III, IV подключаются к питающей линии по широко распространенной для подстанций на ответвлениях схеме блока линия — трансформатор без выключателей на стороне высшего напряжения. На указанном напряжении подстанции предусматривается установка короткозамыкателей КЗ и отделителей ОД. Короткозамыкатель, который автоматически включается при действии защиты трансформатора, предназначен для искусственного создания короткого замыкания (к. з.); последнее необходимо, чтобы вызвать срабатывание защиты линии. В связи с этим к защите линии предъявляется требование достаточной чувствительности к искусственному короткому замыканию, вызываемому включением короткозамыкателя.

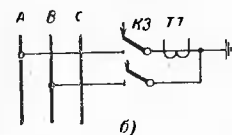
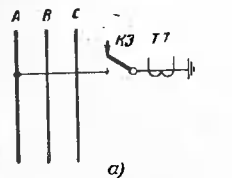


Рис. 1-2. Схемы включения короткозамыкателей.

а — для сетей с большими токами замыкания на землю; б — для сетей с малыми токами замыкания на землю.

Время действия этой защиты после включения короткозамыкателя не должно быть значительным во избежание увеличения размеров повреждения трансформатора. Отделитель используется для автоматического отделения от питающей линии поврежденного трансформатора после отключения линии. Отключение отделителя должно производиться в период, когда линия отключена, поскольку отделители не рассчитаны на отключение значительных токов.

На рис. 1-2 приведены принципиальные схемы включения короткозамыкателей для сетей с большими токами замыкания на землю и для сетей с малыми токами замыкания на землю. В первом случае устанавливается однофазный короткозамыкатель; его включение приводит к однофазному короткому замыканию. Во втором случае устанавливается двухфазный короткозамыкатель; при его включении возникает двухфазное короткое замыкание.

На рис. 1-3 приведена схема параллельных линий с односторонним питанием, питающих две двухтрансформаторные подстанции. На стороне высшего напряжения подстанций II и III предусмотрены перемычки с отделителем. Наиболее целесообразна установка в перемычке отделителя двустороннего действия (так называемая «автоматическая перемычка»). Наличие перемычки по-

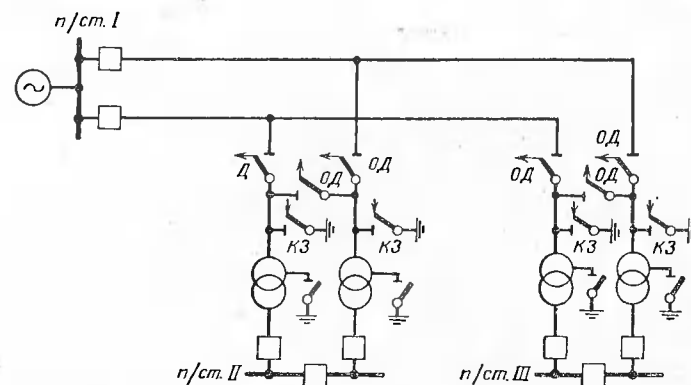


Рис. 1-3. Параллельные линии с односторонним питанием с ответвлением.

зволяет в случае отключения одной из параллельных линий (например, в случае ее повреждения) переключить трансформатор, питающийся от указанной линии, на линию, остающуюся в работе. В этом случае к одной линии оказываются подключенными оба трансформатора каждой подстанции.

Следует отметить, что на данной схеме, так же как и на других схемах, приводимых ниже, условно не показаны разъединители, устанавливаемые в перемычке. Подстанции на ответвлении от одной линии также могут быть выполнены с установкой на подстанции двух трансформаторов (приключаемых, например, по схеме блока два трансформатора — линия).

На подстанциях ответвлений могут устанавливаться двух- и трехобмоточные трансформаторы или автотрансформаторы.

На рис. 1-4 и 1-5 приведены одиночная и параллельные линии с двусторонним питанием, имеющие ответвления. На рис. 1-4 в качестве примера показана установка

трехобмоточного трансформатора, а на рис. 1-5 — автотрансформаторов.

На стороне среднего напряжения двухтрансформаторных подстанций более целесообразной считается параллельная работа трансформаторов (автотрансформаторов); на стороне низшего напряжения может предусматриваться как раздельная, так и параллельная работа.

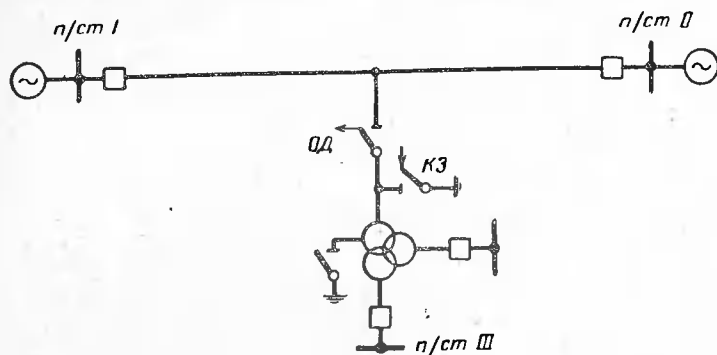


Рис. 1-4. Однотрансформаторная линия с двусторонним питанием с ответвлением.

В некоторых случаях подстанция может приключаться к линии как проходная, но без выключателей в цепи линии. Такую подстанцию с точки зрения релейной защиты также можно рассматривать как подстанцию на

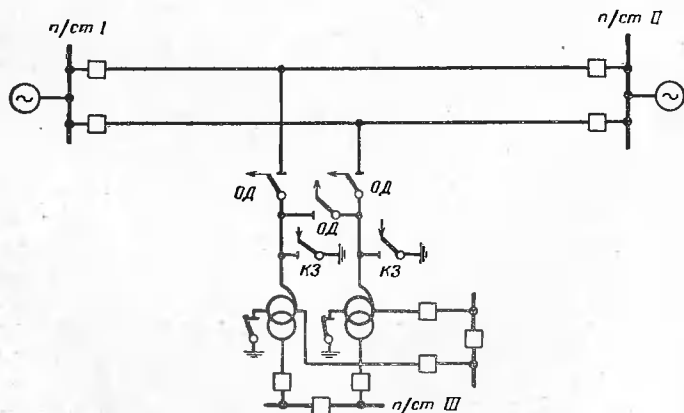


Рис. 1-5. Параллельные линии с двусторонним питанием с ответвлением.

ответвлении (подстанция III на рис. 1-6 и 1-7). В таких случаях в цепи трансформатора со стороны высшего напряжения вместо короткозамыкателя и отделителя может устанавливаться выключатель. Выполнение подстанции проходной целесообразно на длинных линиях в связи с большей вероятностью повреждения их, чем коротких линий. С помощью отделителей в цепи линии представляется возможным автоматически отключить

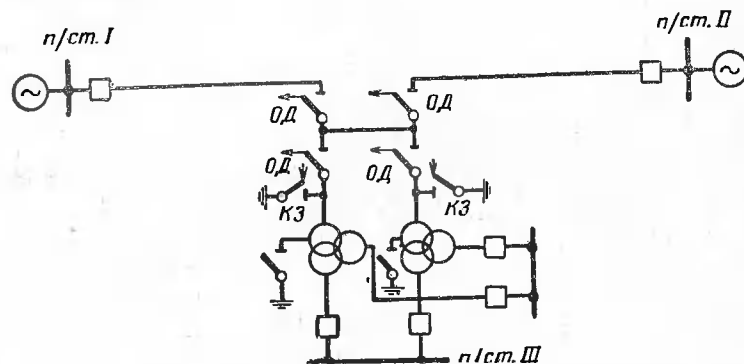


Рис. 1-6. Однотрансформаторная линия с двусторонним питанием и проходной подстанцией.

поврежденный участок линии. При этом питание подстанции на ответвлении сохраняется от одной из питающих подстанций.

Следует отметить, что на ответвлениях могут приключаться подстанции и по другим схемам (мостик на выключателях, с установкой выключателя в цепи линии и др.). Однако такие схемы не имеют широкого распространения.

На ответвлениях могут приключаться как подстанции, со стороны которых отсутствует питание, так и подстанции, со стороны которых питание имеется. В последнем случае линии с ответвлениями называются также линиями с многосторонним питанием.

Источниками питания со сторон среднего или низшего напряжений трансформаторов (автотрансформаторов) подстанций на ответвлениях могут быть:

- станции относительно небольшой мощности, питающие местную нагрузку;
- небольшие гидроэлектростанции;

в) сеть, через которую осуществляется связь питающей линии и подстанции на ответвлении с другими источниками питания энергосистемы;

г) контактная сеть однофазного переменного тока электрифицированной железной дороги и др.

Как правило, мощность питающего источника со стороны ответвления значительно меньше мощности остальных питающих систем. Необходимо также учитывать, что напряжение на питающей линии после ее отключе-

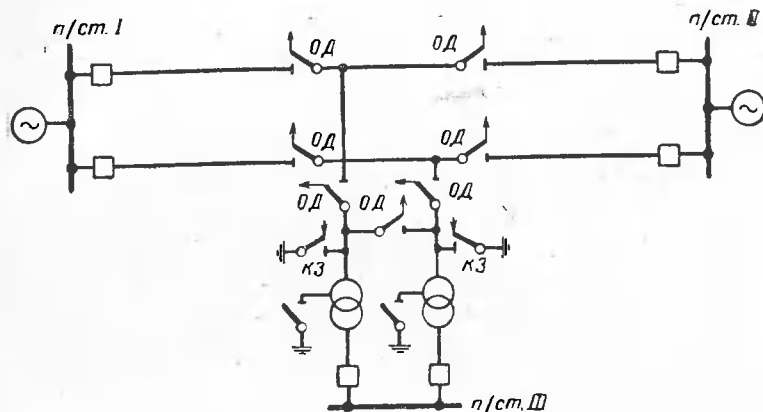


Рис. 1-7. Параллельные линии с двусторонним питанием с ответвлением на проходную подстанцию.

ния с питающих концов может поддерживаться со стороны подстанции ответвления и при отсутствии с этой стороны генераторов — от приключенных к ней синхронных компенсаторов и синхронных двигателей, а также через приключенные к разным линиям трансформаторы двухтрансформаторной подстанции (см., например, рис. 1-3).

При выполнении релейной защиты линий с ответвлениями необходимо учитывать следующие основные особенности режимов их работы.

а) Линия с ответвлениями с двух- или многосторонним питанием может работать в режиме, когда она отключена с одного из питающих концов. Такой режим наиболее вероятен при схемах, приведенных на рис. 1-6 и 1-7, поскольку при таких схемах линия может отключаться на ремонт отдельными участками.

б) Для подстанций на ответвлениях, имеющих связь с источниками питания со стороны пониженных напряжений, вероятны режимы, в которых указанное питание отсутствует.

Особое значение с точки зрения выполнения защиты нулевой последовательности от замыканий на землю в сетях с большими токами замыкания на землю имеет вопрос о режиме заземления нейтралей трансформаторов и автотрансформаторов подстанций, приключаемых к питающей линии на ответвлениях. В соответствии с характеристиками изоляции трансформаторов (автотрансформаторов) 220 кВ и выше, применяемых в СССР, нейтралей их должны глухо заземляться. Изоляция нейтралей трансформаторов 110 кВ, как правило, не рассчитана на работу в сети с изолированной нейтралью. В связи с этим при приключении к линии 110 кВ нескольких трансформаторов без выключателей со стороны высшего напряжения и наличии питания со сторон среднего или низшего напряжений, хотя бы один из этих трансформаторов (не имеющий выключателя со стороны высшего напряжения) должен иметь глухозаземленную нейтраль. Указанное необходимо для предотвращения повреждения изоляции трансформаторов, нейтралей которых разземлены, при замыкании на землю на питающей линии и отключении ее с питающих концов, имеющих заземленные нейтралей. Нейтралей остальных трансформаторов, приключаемых к данной линии, разземляются; для защиты их изоляции устанавливаются вентильные разрядники. Нейтралей трансформаторов 110 кВ на ответвлениях, не имеющих питания со стороны среднего или низшего напряжений, как правило, также заземляются через вентильные разрядники.

1-2. ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Специфика поведения и выполнения релейной защиты на линиях с ответвлениями во многом определяется особенностями распределения токов по концам линии с ответвлениями как при внешних повреждениях, так и при повреждениях на защищаемой линии. Основные из указанных особенностей рассматриваются ниже применительно к линии с одним ответвлением.

На рис. 1-8 дано распределение аварийных составляющих [Л. 4] токов по концам линии без ответвлений

и с ответвлением при внешнем коротком замыкании. Как видно из этих рисунков, на линии с ответвлениями (рис. 1-8, б), в отличие от линии без ответвлений при неучете емкостной проводимости последней, значение тока данной последовательности в месте установки защиты, ближайшей к месту повреждения, больше значений токов на других концах линии.

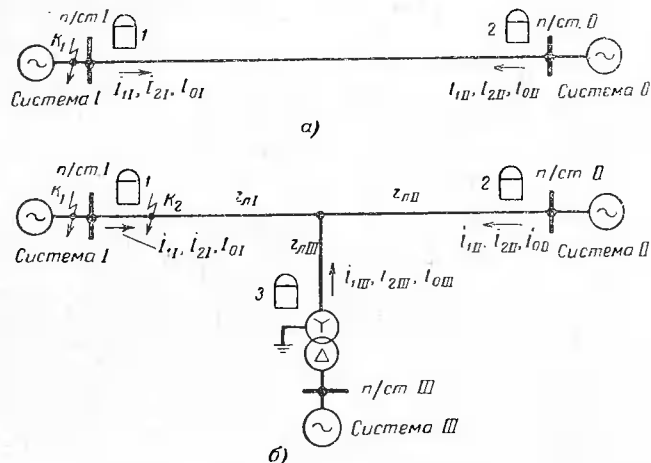


Рис. 1-8. Распределение аварийных составляющих токов при внешних повреждениях.

а — на линии без ответвлений; б — на линии с ответвлением.

$i_{1I}, i_{1II}, i_{1III}$ — токи прямой последовательности в местах установки защит 1, 2, 3; $i_{2I}, i_{2II}, i_{2III}$ — то же, но для токов обратной последовательности; $i_{0I}, i_{0II}, i_{0III}$ — то же, но для токов нулевой последовательности.

В рассматриваемом случае (короткое замыкание в точке K_1) ближайшем к месту к. з. является защита 1. Таким образом,

$$\left. \begin{aligned} |i_{1I}| &> |i_{1II}|; |i_{1I}| > |i_{1III}|; |i_{1I}| = |i_{1II}| + |i_{1III}|; \\ |i_{2I}| &> |i_{2II}|; |i_{2I}| > |i_{2III}|; |i_{2I}| = |i_{2II}| + |i_{2III}|; \\ |i_{0I}| &> |i_{0II}|; |i_{0I}| > |i_{0III}|; |i_{0I}| = |i_{0II}| + |i_{0III}|. \end{aligned} \right\} (1-1)$$

Рассмотренные общие соотношения справедливы как при наличии питания со стороны ответвления (как показано на рис. 1-8, б), так и при отсутствии питания в связи с прохождением в этом случае токов прямой и обратной последовательности через ветвь нагрузки ответвле-

ния и токов нулевой последовательности через нейтраль трансформатора на ответвлении. Очевидно, что разница между токами i_I и i_{II} тем больше, чем больше шунтирующее действие ответвлений, т. е. чем больше их мощность и число. При наличии питания со стороны ответвлений токи прямой и обратной последовательностей по концам линии различаются больше, чем при отсутствии питания (при одной и той же мощности трансформаторов на ответвлениях).

В ряде случаев требуется учитывать влияние тока нагрузки ответвлений на распределение результирующих токов по концам линии.

Результирующий ток прямой последовательности (сумма тока нагрузки и аварийного тока прямой последовательности) при удаленном внешнем повреждении, т. е. когда аварийная составляющая тока соизмерима с током нагрузки, может иметь распределение по концам линии, отличное от распределения аварийных составляющих тока. При этом, например за счет влияния тока нагрузки подстанции III, результирующее значение тока прямой последовательности в месте установки защиты 2 при к. з. в системе I может оказаться больше тока прямой последовательности в месте установки защиты 1. Распределение результирующих токов прямой последовательности может отличаться от распределения аварийных составляющих не только по абсолютным величинам, но и по фазам. Аналогичные условия могут иметь место также при наложении режима к. з. на качания или асинхронный ход. Все указанные обстоятельства необходимо учитывать для ряда защит, например, для дифференциально-фазной защиты (см. гл. 5).

При наличии обходных связей возможно такое распределение аварийных составляющих токов при к. з. на обходной связи, при котором значения токов на концах данной линии, ближайших к месту повреждения, меньше соответствующих значений токов у шин подстанции, удаленной от места повреждения (рис. 1-9):

$$\left. \begin{aligned} |i_{1I}| &< |i_{1III}|; |i_{1II}| < |i_{1III}|; \\ |i_{2I}| &< |i_{2III}|; |i_{2II}| < |i_{2III}|; \\ |i_{0I}| &< |i_{0III}|; |i_{0II}| < |i_{0III}|. \end{aligned} \right\} (1-2)$$

При указанном токораспределении могут иметь место случаи, когда мощности обратной и нулевой последова-

тельностью на концах линий с ответвлением, ближайших к месту повреждения, меньше соответствующих мощностей на удаленном конце линии, т. е. (рис. 1-9):

$$\left. \begin{aligned} S_{2I} < S_{2II}; S_{2II} < S_{2III}; \\ S_{0I} < S_{0II}; S_{0II} < S_{0III}. \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

Следует отметить, что для фазных токов могут иметь место соотношения, аналогичные выражениям (1-1). Помимо рассмотренного выше случая влияния нагрузки ответвлений на значения результирующих токов прямой последовательности, должна также рассматриваться необходимость учета влияния нагрузки ответвлений в следующих случаях.

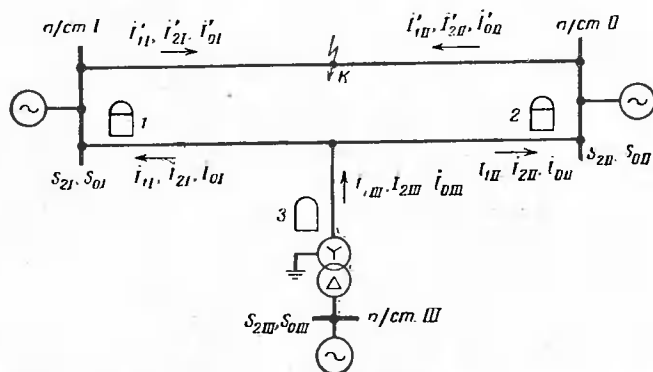


Рис. 1-9. Распределение аварийных составляющих токов при повреждении на обходной связи.

а) При внешних к. з. в питающих системах, когда к месту повреждения посылаются токи двигателями подстанций на ответвлениях. Эти токи достигают в первый момент повреждения наибольших значений. При наличии на линии нескольких трансформаторов на ответвлениях значение тока, посылаемого двигателями нагрузки на ответвлениях, на конце, ближайшем к месту внешнего трехфазного к. з., может превосходить значение тока на этом же конце при трехфазном к. з. за трансформатором ответвления. Токи от асинхронных двигателей быстро затухают (в течение нескольких периодов). Для отстройки защиты от токов, посылаемых двигателями, мо-

жет потребоваться ее заглубление, установка специальных органов направления мощности в схеме защиты или увеличение времени ее действия.

Максимальное значение тока, посылаемого двигателями к месту повреждения, может быть ориентировочно оценено для случая трехфазного короткого замыкания на выводах трансформатора ответвления по выражению

$$I_{к.з.дв} = \frac{E''_{дв}}{x_{тр} + x''_{дв}} I_{ном.тр}, \quad (1-4)$$

где $E''_{дв}$ — сверхпереходная э. д. с. двигателей нагрузки, *отн. ед.*;

$x''_{дв}$ — результирующее сверхпереходное реактивное сопротивление двигателей нагрузки, *отн. ед.*;

$x_{тр}$ — реактивное сопротивление трансформатора ответвления, *отн. ед.*;

$I_{ном.тр}$ — номинальный ток трансформатора на ответвлении.

В выражении (1-4) в качестве базисных приняты номинальные ток и напряжение трансформатора на ответвлении.

Учитывая, что $E''_{дв} = 0,8 \div 0,9$, $x''_{дв} = 0,2 \div 0,35$, ориентировочное значение $I_{к.з.дв}$ при $x_{тр} \approx 0,1$ оценивается как $I_{к.з.дв} \approx (2 \div 3) I_{ном.}$

Учет тока, посылаемого двигателями нагрузки на ответвлениях, необходим также и при к. з. на защищаемой линии, например при использовании высокочастотных защит (см. гл. 5 и 6).

б) При наличии на линии нескольких трансформаторов на ответвлениях в ряде случаев оказывается необходимым учет токов самозапуска двигателей на ответвлениях при восстановлении напряжения на линии после отключения короткого замыкания или включения линии под напряжение. На линиях с ответвлениями токи самозапуска двигателей могут иметь большие значения, по сравнению с такими же на линиях без ответвлений, в связи с относительно большими значениями суммарной мощности трансформаторов, питаемых по данной линии (для линий с односторонним питанием), либо в связи с тем, что эти токи при включении подстанции на ответвлениях под напряжение могут быть больше, чем после отключения короткого замыкания (для линий с двусторонним питанием).

в) Для защит, реагирующих на ток обратной (а также нулевой) последовательности и установленных на линиях с ответвлениями без питания со стороны ответвлений, весьма важным является учет короткого замыкания в питающей системе за шинами подстанции, где установлена рассматриваемая защита (например, для линий с двусторонним питанием при отключении линий

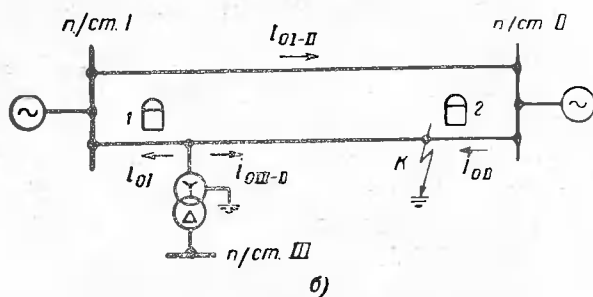
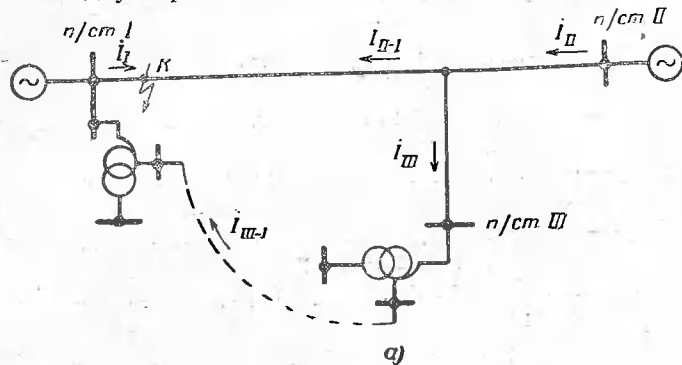


Рис. 1-10. Случай повреждений на защищаемой линии, когда мощность на одном из концов линии направлена как при внешнем к. з.

а — для полных мощностей или мощностей отдельных последовательностей; б — для мощности нулевой последовательности.

с противоположного питающего конца). Это необходимо для отстройки от токов, проходящих через место установки защиты в указанном режиме и может привести, в особенности на линиях с несколькими ответвлениями, к дополнительному, по сравнению со случаем установки аналогичной защиты на линии без ответвлений, заглублению защиты или потребовать выполнения защиты направленной.

При повреждениях на одном из концов защищаемой линии с ответвлениями (например, в точке K_2 на рис. 1-8,б) токи в местах установки защиты на противоположных концах (при учете только их аварийных составляющих), а также напряжения обратной и нулевой последовательностей могут значительно снижаться по сравнению со случаем отсутствия ответвлений. Указанное объясняется подпиткой места повреждения со стороны других концов линий и имеет весьма существенное влияние на чувствительность защиты.

На линиях с ответвлениями возможны случаи, когда полные мощности или мощности отдельных последовательностей при к. з. на защищаемой линии направлены на одном из концов линии, как при внешнем к. з. Указанное может иметь место, например при наличии обходной связи между двумя концами линии и коротком замыкании на одном из них (рис. 1-10,а); для мощностей нулевой последовательности это может иметь место, например, в схеме, показанной на рис. 1-10,б. Как будет указано в гл. 5 и 6, в рассмотренных случаях возможен отказ в действии высокочастотных защит.

1-3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Ниже рассматриваются наиболее общие, характерные для ряда типов защит, особенности выполнения защиты на линиях с ответвлениями. Указанные особенности более подробно для каждого типа защиты рассматриваются в соответствующих главах.

На линиях с ответвлениями могут быть использованы те же типы защит, что и на линиях без ответвлений. Однако при применении их на линиях с ответвлениями необходим учет ряда особенностей этих линий.

Как уже указывалось в § 1-2, при повреждениях на линиях с ответвлениями значения токов в местах установки защит в ряде случаев могут быть меньше, чем на аналогичных линиях без ответвлений. В связи с этим при тех же токах срабатывания чувствительность токовых защит при повреждениях на линиях с ответвлениями может быть ниже, чем чувствительность аналогичных защит при повреждениях на линиях без ответвлений. Указанное также относится к дистанционной, высокочастотным дифференциально-фазной и направленной защитами, а также к ряду других типов защит.

При использовании защит на линиях с ответвлениями в ряде случаев возникает необходимость их дополнительного заглубления по сравнению со случаем использования этих защит на линиях без ответвлений. Дополнительное заглубление определяется необходимостью учета особенностей распределения токов на линиях с ответвлениями при внешних повреждениях, а также некоторыми другими особенностями выбора параметров срабатывания защит. Дополнительное заглубление также приводит к снижению чувствительности защит по сравнению с аналогичными защитами на линиях без ответвлений.

Дополнительное заглубление защиты может потребоваться в связи с необходимостью учета следующих расчетных условий при выборе параметров срабатывания.

а) отстройка от повреждений за трансформаторами (автотрансформаторами) ответвлений;

б) отстройка от бросков тока намагничивания трансформаторов подстанций на ответвлениях;

в) отстройка от самозапуска двигателей нагрузки подстанций на ответвлениях;

г) отстройка от коротких замыканий в сети, за шиной питающей подстанции, на которой установлена рассматриваемая защита, в режиме одностороннего питания подстанций на ответвлениях (например, для высокочастотных защит);

д) различие в токах по концам защищаемой линии при внешних повреждениях (например, для высокочастотных дифференциально-фазных защит — см. § 5-6).

Условие «а» учитывается при выборе параметров срабатывания быстродействующих защит, устанавливаемых на питающих концах линий с ответвлениями, для обеспечения недействия их при коротких замыканиях на сторонах среднего и низшего напряжений трансформаторов (автотрансформаторов) на ответвлениях. Указанное, в частности, относится к первым (а в ряде случаев ко вторым ступеням токовых и дистанционных защит), а также к действующим на отключение пусковым органам высокочастотных дифференциально-фазных и направленных защит (в случаях отсутствия полуккомплектов последних на подстанциях ответвлений).

Для линий с ответвлениями без питания условия «б» и «г» могут оказаться расчетными (по сравнению с условием «а») для защит, реагирующих на полные электри-

ческие величины (фазные токи, сопротивления), как правило, только в случае, если к данной линии приключается несколько трансформаторов.

Следует отметить, что защиты без выдержки времени, отстраиваемые от к. з. за трансформаторами ответвлений, являются неселективными по отношению к основным защитам этих трансформаторов (дифференциальным и пр.). Указанное допустимо, поскольку неселективное действие защиты линии при повреждении в трансформаторе исправляется действием АПВ линии.

Высокочастотные защиты (дифференциально-фазные и направленные) на линиях с ответвлениями выполняются в основном с использованием двух способов:

1-й способ — полуккомплекты защиты устанавливаются только на основных питающих подстанциях (двухполуккомплектный вариант).

2-й способ — полуккомплекты защиты устанавливаются на основных питающих подстанциях и на подстанциях ответвлений. При двухполуккомплектном варианте для обеспечения правильного действия защиты при повреждениях за трансформаторами (автотрансформаторами) ответвлений, как уже отмечалось, пусковые органы защит, действующие на отключение, отстраиваются от указанных повреждений.

В случаях, когда при отстройке от к. з. за трансформаторами ответвлений защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, либо когда установка полуккомплекта высокочастотной защиты на подстанции ответвления необходима для быстрого отключения к. з. на линии, применяется второй способ выполнения защиты. При этом на линии с несколькими ответвлениями может оказаться целесообразной установка полуккомплектов защиты только на некоторых подстанциях ответвлений; пусковые органы полуккомплектов защит, действующих на отключение, отстраиваются от повреждений за трансформаторами (автотрансформаторами) только тех подстанций, где не установлены полуккомплекты защиты.

На линиях с ответвлениями могут иметь место затруднения в выполнении высокочастотных каналов защиты. Указанный вопрос, а также способы расчета и снижения затухания высокочастотного канала рассмотрены в приложении.

При питании со стороны ответвления на подстанции ответвления должна устанавливаться защита, предназ-

наченная для отключения этого питания при к. з. на защищаемой линии. Эти защиты могут быть, в общем случае, того же типа, что и со стороны основных питающих концов. Из-за малой мощности источников питания со стороны ответвления в ряде случаев затруднительно осуществление защиты с этой стороны, удовлетворяющей требованиям чувствительности. Кроме того, необходимо учитывать, как указано в § 1-1, что питание со стороны ответвления в ряде режимов может быть отключено. В этих режимах затруднительно обеспечение правильного действия некоторых типов высокочастотных защит (гл. 5 и 6).

С другой стороны, необходимо принимать во внимание, что генераторы приключенной к подстанции ответвления местной станции, мощность которой значительно меньше мощности нагрузки, после отключения питающей линии резко тормозятся, что приводит к невозможности применения во многих случаях АПВ с контролем синхронизма; несинхронное АПВ в этих случаях также может оказаться недопустимым по условиям кратности тока в генераторах местных станций. По изложенным причинам, а также для разгрузки местных станций небольшой мощности последние должны отделяться от подстанций ответвлений с помощью специальных делительных устройств (реагирующих на ток или напряжение, изменение направления мощности, снижение частоты, скорость снижения частоты и т. д.). Отделение станции должно производиться с частью наиболее ответственной нагрузки с тем, чтобы остальная часть нагрузки подстанций подхватывалась после успешного АПВ линии.

При повреждении на линии, к которой приключены на ответвлениях подстанции с синхронными компенсаторами или синхронными двигателями, последние в ряде случаев также должны отключаться (для снижения времени АПВ или для предотвращения несинхронного включения). Для отключения синхронных компенсаторов или синхронных двигателей в рассматриваемых условиях могут использоваться некоторые из указанных выше делительных устройств.



Глава вторая

ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ

2-1. ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

На линиях 35—220 кВ с односторонним питанием с ответвлениями, со стороны которых отсутствует питание, широко используются ступенчатые токовые защиты от многофазных коротких замыканий.

В качестве первой ступени защиты, выполняемой, как правило, без выдержки времени, или второй ступени, выполняемой с выдержкой времени, используется токовая отсечка. Комбинированная отсечка по току и напряжению, как правило, используется в качестве первой ступени защиты без выдержки времени. На рассматриваемых линиях токовые отсечки могут являться как основной, так и дополнительной защитой от междуфазных повреждений.

Последняя ступень, выполняемая в виде максимальной токовой защиты с выдержкой времени (с пуском или без пуска по напряжению), является резервной защитой.

На одиночных или параллельных линиях 35—220 кВ с двусторонним питанием с ответвлениями без источников питания, а также на линиях 35—220 кВ с многосторонним питанием токовая отсечка применяется в качестве дополнительной защиты.

В сетях с большими токами замыкания на землю для одиночных или параллельных линий с ответвлениями, а также линий с многосторонним питанием используется в качестве защиты от замыканий на землю токовая ступенчатая направленная или ненаправленная защита нулевой последовательности.

Защита может выполняться одно- или многоступенчатой и использоваться как основная или резервная.

2-2. ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА. КОМБИНИРОВАННАЯ ОТСЕЧКА ПО ТОКУ И НАПРЯЖЕНИЮ. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА

а) Отсечка на линиях с односторонним питанием с ответвлениями

На рис. 2-1 приведена принципиальная схема токовой отсечки. Схема содержит реле тока $3PT$ и $4PT$, включенные на фазные токи. Через промежуточное реле $5PP$ реле тока действуют на отключение выключателя $1B$. Для сигнализации действия защиты служит указательное реле $6PY$.

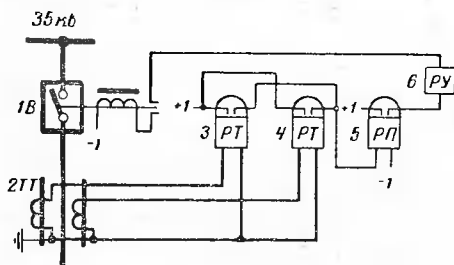


Рис. 2-1. Принципиальная схема токовой отсечки.

В качестве примера рассматривается выбор параметров токовой отсечки, устанавливаемой на тупиковой одиночной линии с односторонним питанием (см. рис. 1-1).

Первичный ток срабатывания токовой отсечки, используемой в качестве первой ступени защиты, на линии без ответвлений выбирается по условию отстройки от тока в месте установки защиты при трехфазных коротких замыканиях за трансформаторами тупиковой подстанции. В случае установки такой защиты на линии с односторонним питанием с ответвлениями (рис. 1-1) она должна быть также отстроена от тока в месте ее установки:

а) возникающего при трехфазных коротких замыканиях за трансформаторами ответвлений;

б) посылаемого двигателями ответвлений при трехфазных коротких замыканиях в сети за шинами подстанции, на которой установлена данная защита;

в) определяемого броском тока намагничивания трансформаторов, питаемых по защищаемой линии, при включении линии под напряжение;

г) определяемого током самозапуска двигателей подстанций, питаемых от защищаемой линии [см. (4-9)]

Условия «б»—«г» могут оказаться расчетными только при наличии на линии нескольких ответвлений.

Учет указанных дополнительных условий может привести к загромождению защиты, устанавливаемой на линии с ответвлениями, по сравнению со случаем использования ее на аналогичной линии без ответвлений.

Первичный ток срабатывания отсечки по условиям отстройки от коротких замыканий за трансформаторами тупиковой подстанции и подстанций на ответвлениях, а также по условию отстройки от повреждений в питающей системе выбирается по выражению:

$$I_{с.з} \geq k_n I_{н.з.макс}^{(3)} \quad (2-1)$$

В этом выражении $I_{н.з.макс}^{(3)}$ — максимальный ток в месте установки защиты при трехфазном коротком замыкании в указанных расчетных точках. При использовании в защите реле типа РТ-40 коэффициент надежности принимается равным $k_n = 1,3 \div 1,4$.

Ток, посылаемый асинхронными двигателями ответвлений, при внешних к. з. достаточно быстро затухает во времени [Л. 4]. В связи с этим эффективным способом отстройки от этого тока является введение дополнительной небольшой выдержки времени в защите.

Первичный ток срабатывания отсечки по условию «в» определяется по значению суммы номинальных токов трансформаторов, питаемых по защищаемой линии $I_{ном.сум}$:

$$I_{с.з} = k_n I_{ном.сум} \quad (2-2)$$

Коэффициент надежности принимается:

при использовании реле тока типа РТ-40 — $k_n = 3-4$;

при использовании реле тока с насыщающимися трансформаторами (например, серии РНТ-560 — $k_n = 1-1,3$).

Следует отметить, что когда сопротивление линии соизмеримо с сопротивлениями трансформаторов, то значение коэффициента k_n может быть принято меньшим [Л. 5].

Для отстройки от бросков тока намагничивания трансформаторов целесообразно использовать реле тока

с насыщающимися трансформаторами, например, серии РНТ-560, что дает возможность повысить чувствительность защиты.

Чувствительность токовой отсечки проверяется по двухфазному короткому замыканию у шин подстанций, питаемых по защищаемой линии.

В ряде случаев токовая отсечка должна действовать на той части линии, при коротких замыканиях в пределах которой остаточное напряжение на шинах питающей подстанции менее $0,6U_{ном}$. Это может быть необходимо по условиям устойчивости параллельной работы станций энергосистемы. Этому условию соответствует сопротивление зоны, в пределах которой обеспечивается срабатывание токовой отсечки $x_{дл} \leq 1,5x_c$ (x_c — сопротивление системы в расчетном режиме).

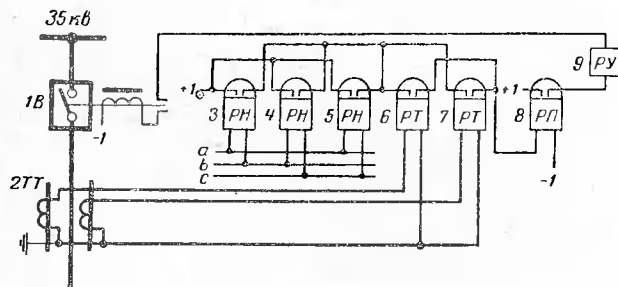


Рис. 2-2. Принципиальная схема отсечки по току и напряжению.

В том случае, когда токовая отсечка с током срабатывания, выбранным по рассмотренным выше условиям, не удовлетворяет требованиям чувствительности, может оказаться целесообразным применение двухступенчатой токовой отсечки. Первая ступень защиты выполняется без выдержки времени с током срабатывания, выбранным по условиям «а»—«г». Эта ступень защиты защищает только часть линии. Вторая ступень защиты выполняется с некоторой выдержкой времени порядка 0,5—1,5 сек и защита по току согласовывается с быстродействующими ступенями защит линий, отходящих от шин низшего и среднего напряжения подстанций на ответвлениях.

В тех случаях, когда при выборе тока срабатывания отсечки по условию отстройки от коротких замыканий

за трансформаторами ответвлений или от токов самозапуска она не удовлетворяет требованиям чувствительности, может оказаться целесообразным использование комбинированной отсечки по току и напряжению.

Принципиальная схема комбинированной отсечки по току и напряжению приведена на рис. 2-2. Схема содержит два реле тока РТ и 7РТ, включенных на фазные токи, и три минимальных реле напряжения, включенных на междуфазные напряжения 3РН—5РН.

Селективность действия комбинированной отсечки при внешних повреждениях обеспечивается отстройкой от этих повреждений по току и напряжению. К внешним повреждениям относятся: междуфазные короткие замыкания за трансформаторами тупиковой подстанции или подстанций на ответвлениях и междуфазные короткие замыкания в питающей системе.

Ток срабатывания реле тока выбирается по условиям:

а) обеспечения требуемой чувствительности при двухфазных коротких замыканиях в конце защищаемой линии в минимальном режиме работы питающей системы;

б) отстройки от максимального рабочего тока линии.

По условию п. «а» при токе короткого замыкания $I_{к.з.мин}^{(2)}$, при котором должна обеспечиваться требуемая чувствительность ($k_{ч.т} \geq 1,3 \div 1,5$), первичный ток срабатывания защиты определяется по выражению

$$I_{с.з} \leq \frac{I_{к.з.мин}^{(2)}}{k_{ч.т}}. \quad (2-3)$$

По условию п. «б» при максимальном рабочем токе $I_{раб.макс}$ значение $I_{с.з}$ определяется из выражения

$$I_{с.з} \geq \frac{k_n}{k_B} I_{раб.макс}. \quad (2-4)$$

В выражении (2-4) принимается при использовании реле типа РТ-40 коэффициент надежности $k_n = 1,2$ и коэффициент возврата $k_B = 0,8$.

При выборе тока срабатывания также учитывается условие отстройки от токов, посылаемых двигателями при междуфазных коротких замыканиях в питающей системе [см. выражение (2-1)].

Напряжение срабатывания реле напряжения $U_{с.з.}$ (первичное) выбирается по условию отстройки от короткого замыкания на шинах низшего (или среднего) напряжения той подстанции, при повреждении на указанных шинах которой остаточное напряжение в месте

установки защиты будет наименьшим при токе короткого замыкания, равном выбранному току срабатывания реле тока $I_{с.з}$:

$$U_{с.з} \leq \frac{\sqrt{3}I_{с.з}(x_{лп} + x_{тр})}{k_n}, \quad (2-5)$$

где $x_{тр}$ — сопротивление трансформатора, повреждение за которым является расчетным для выбора параметров срабатывания комбинированной отсечки;

$x_{лп}$ — сопротивление участка линии от шин питающей подстанции до шин подстанции, повреждение за трансформатором которой является расчетным;

k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2.

Реле напряжения также должно быть отстроено от минимального напряжения $U_{мин}$ в месте установки защиты в условиях самозапуска:

$$U_{с.з} \leq \frac{U_{мин}}{k_n}, \quad (2-6)$$

где k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2.

Напряжение срабатывания реле напряжения не может быть принято большим $0,7U_{ном}$ по условию отстройки от напряжения нормального режима, а также меньшим $0,2U_{ном}$ по условию термической устойчивости реле.

Рассматриваемая защита не может быть отстроена по напряжению от коротких замыканий в питающей системе. Ток срабатывания реле тока комбинированной отсечки меньше тока срабатывания реле тока токовой отсечки. Комбинированная отсечка может быть отстроена от меньших токов повреждения в питающей системе, чем токовая отсечка. В связи с этим, если определяющим при выборе тока срабатывания защит является условие отстройки от коротких замыканий в питающей системе, то комбинированная отсечка не имеет преимуществ по сравнению с токовой отсечкой.

Комбинированная отсечка, как и токовая, может быть отстроена от токов, посылаемых асинхронными двигателями на ответвлениях при повреждениях в питающей системе, по времени.

Чувствительность реле напряжения проверяется по остаточному напряжению $U_{ост}$ в месте установки защиты при междуфазных повреждениях в конце защищаемой линии в максимальном режиме работы системы.

б) Отсечка на линиях с двусторонним питанием с ответвлениями, со стороны которых отсутствует питание

Ток срабатывания реле тока токовой отсечки, устанавливаемой на линии с двусторонним питанием с ответвлениями, со стороны которых отсутствует питание (например, рис. 1-4 и 1-5), выбирается по тем же условиям, что и отсечки, устанавливаемой на аналогичной линии без ответвлений. Реле тока должно быть отстроено от тока в месте установки защиты, обусловленного:

а) трехфазным коротким замыканием на шинах противоположной питающей подстанции;

б) трехфазным коротким замыканием на шинах подстанции, на которой установлена рассматриваемая защита.

Определение тока срабатывания реле тока отсечки производится по выражению (2-1), в котором в качестве $I_{к.з.макс}^{(3)}$ принимается больший из токов, проходящих в месте установки защиты при внешних коротких замыканиях.

В качестве примера на рис. 2-3 приведены кривые изменения токов в местах установки защит (подстанции I и II) $I_I^{(3)}$ и $I_{II}^{(3)}$ при трехфазных коротких замыканиях на защищаемой линии. Как следует из рис. 2-3, в рассматриваемом случае $I_{Iмакс}^{(3)} > I_{IIмакс}^{(3)}$, т. е. в выражение (2-1) подставляется $I_{к.з.макс}^{(3)} = I_{Iмакс}^{(3)}$. В качестве расчетных при определении $I_{Iмакс}^{(3)}$ и $I_{IIмакс}^{(3)}$ принимаются максимальные режимы работы систем I и II.

На линии с двусторонним питанием возможен режим прохождения уравнительного тока, возникающего в результате качаний генерирующих источников по концам защищаемой линии. В случаях вероятности такого режима он также должен учитываться при выборе тока срабатывания отсечки.

Следует отметить, что на длинных линиях при присоединении ответвлений с трансформаторами большой мощности вблизи одного из концов ее при выборе тока срабатывания отсечки расчетным может оказаться

условие отстройки от трехфазного короткого замыкания за трансформатором ответвления в режиме, когда линия отключена с противоположного конца. Учет указанных условий может привести к загромождению токовой отсечки, в связи с чем сократится ее зона действия. Если режим, когда линия отключена с противоположного конца, редкий, то в некоторых случаях целесообразно не учитывать его.

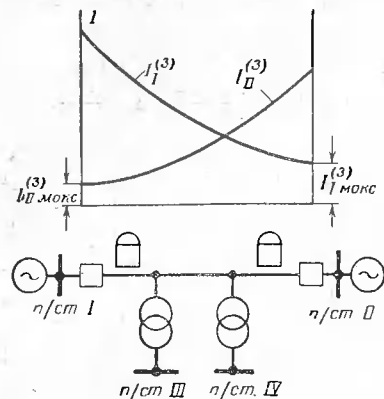


Рис. 2-3. Кривые изменения токов в местах установки защит при трехфазных коротких замыканиях на защищаемой линии.

Ток срабатывания реле тока токовой отсечки, установленной на линии с многосторонним питанием (например, рис. 1-8,б), выбирается по условиям отстройки от тока в месте установки защиты при трехфазных коротких замыканиях на шинах данной подстанции и на шинах противоположных подстанций. При этом режимы работы питающих систем должны выбираться соответствующими максимальному значению тока в месте установки рассматриваемой защиты.

Защита также должна быть отстроена от токов, возникающих в результате качаний.

При определении зоны, в пределах которой действует отсечка, установленная на данном конце линии, необходимо учитывать влияние токов, посылаемых к месту повреждения системами со стороны других концов линии. Влияние указанных токов приводит к сокращению защищаемой зоны по сравнению со случаем применения отсечки на аналогичной линии с двусторонним питанием.

г) Максимальная токовая защита на линиях с ответвлениями

Особенностью выполнения максимальной токовой защиты на линиях с ответвлениями является необходи-

мость отстройки от токов самозапуска электродвигателей всех подстанций, питаемых от данной линии. В связи с этим защита может иметь недостаточную чувствительность к повреждениям на защищаемой линии. В целях повышения чувствительности защита может выполняться с пуском напряжения.

2-3. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

а) Линии с односторонним питанием с ответвлениями

В том случае, если не предполагается работа линий в неполнофазном режиме, то защита от замыканий на землю тупиковой линии с односторонним питанием может быть выполнена одноступенчатой с помощью реле тока, включенного на ток нулевой последовательности.

Принципиальная схема такой защиты для случая заземления нейтралей трансформаторов на приемных подстанциях приведена на рис. 2-4. Схема содержит реле тока $4PTH$ и реле направления мощности нулевой последовательности $3PM$. Реле тока предусмотрено с насыщающимся трансформатором в предположении необходимости его отстройки от бросков тока намагничивания трансформаторов при включении линии под напряжение. Реле тока и реле направления мощности через выходное промежуточное реле $5PII$ действуют на отключение выключателя $1B$. Реле мощности при разземленных нейтралях трансформаторов подстанций на ответвлениях не требуется.

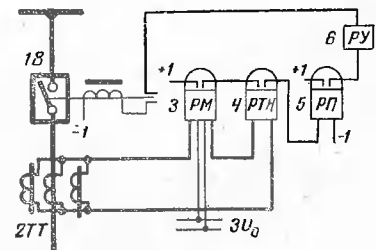


Рис. 2-4. Принципиальная схема токовой направленной защиты нулевой последовательности.

В качестве примера рассматривается выбор параметров защиты, устанавливаемой на тупиковой линии с односторонним питанием (рис. 1-1).

Ток срабатывания реле тока выбирается по условиям отстройки:

а) от тока небаланса в реле при трехфазных коротких замыканиях вне защищаемой линии; к таким повреждениям относятся короткие замыкания за трансформатором ответвления;

б) от тока нулевой последовательности, возникающего при замыканиях на землю в сети за шинами под-

станции, на которой устанавливается рассматриваемая защита; это условие рассматривается при заземлении нейтралей трансформаторов на ответвлениях и выполнении защиты ненаправленной;

в) от бросков тока намагничивания трансформаторов на ответвлениях при включении линии под напряжение;

г) от токов нулевой последовательности, возникающих при неодновременном включении фаз выключателя.

Токи срабатывания защиты, определяемые по вышеперечисленным условиям, для защиты линии с ответвлениями могут оказаться большими аналогичных токов для линий без ответвлений.

Первичный ток срабатывания защиты по условиям «а» и «б» определяется по выражению

$$I_{с.з} \geq k_n I_{расч}, \quad (2-7)$$

При расчете по условию «а» в качестве $I_{расч}$ принимается ток небаланса $I_{нб.уст}$, определяемый приближенно:

$$I_{расч} = I_{нб.уст} = k_{нб} I_{к.з}, \quad (2-8)$$

где $I_{к.з}$ — установившийся ток трехфазного короткого замыкания;

$k_{нб}$ — коэффициент небаланса, значение которого может быть принято равным 0,05—0,1.

Способ определения $I_{нб.уст}$ приводится в [Л. 5].

В выражении (2-7) коэффициент надежности принимается равным $k_n = 1,2—1,3$.

При расчете по условию «б» в качестве $I_{расч}$ принимается утроенный ток нулевой последовательности, от которого отстраивается защита.

Расчетным для определения тока нулевой последовательности по условию «б» является режим, когда на подстанциях, питаемых по защищаемой линии, заземлено наибольшее число трансформаторов. Кроме этого, следует также учитывать расположение трансформаторов по отношению к месту повреждения.

Первичный ток срабатывания защиты по условию отстройки от бросков тока намагничивания (условие «в») определяется по выражению (2-2), где под $I_{ном.сум}$ понимается сумма номинальных первичных токов трансформаторов на ответвлениях, нейтрали которых заземлены. Для отстройки от бросков тока намагничи-

вания в ряде случаев может оказаться целесообразным использование реле тока с насыщающимися трансформаторами. Значения коэффициента k_n ориентировочно принимаются те же, что и в выражении (2-2), однако они требуют уточнения после дополнительных исследований.

Условие отстройки от токов нулевой последовательности, возникающих в результате неодновременного включения фаз выключателя, учитывается только при установке на линии выключателей с пофазным приводом.

Чувствительность реле тока защиты от замыканий на землю проверяется по короткому замыканию на землю в конце защищаемой линии. В случае наличия на подстанциях ответвлений трансформаторов с заземленной нейтралью учитывается наибольшее реально возможное число таких трансформаторов. Отсос тока нулевой последовательности в нейтрали трансформаторов уменьшает ток нулевой последовательности в месте установки защиты, что приводит к снижению ее чувствительности.

При использовании в схеме реле направления мощности нулевой последовательности также должна быть проверена его чувствительность при повреждениях в конце защищаемой линии. В том случае если одноступенчатая защита линии не удовлетворяет требованиям чувствительности, следует рассмотреть возможность выполнения защиты двухступенчатой.

Первая ступень защиты выполняется без выдержки времени с током срабатывания, выбранным по тем же условиям, что и для одноступенчатой защиты. Вторая ступень защиты может быть эффективно использована в случае, когда определяющим при выборе тока срабатывания первой ступени является условие отстройки от токов нулевой последовательности, возникающих при неодновременном включении фаз выключателя, или условие отстройки от бросков тока намагничивания. В этом случае введение дополнительной выдержки времени позволяет не учитывать условие отстройки от тока, возникающего при неодновременном включении фаз выключателя, а при отстройке от бросков тока намагничивания принимать меньшие коэффициенты надежности k_n в выражении (2-2). Ток срабатывания второй ступени в ряде случаев выбирается по условию отстройки от тока небаланса при внешних коротких замыканиях.

В случаях, если на защищаемой линии с односторонним питанием предполагается неполнофазный режим, то, как правило, предусматривается дополнительная ступень защиты, предназначенная для работы в этом режиме.

Например, первая ступень защиты, выполняемая в виде токовой направленной защиты, отстраивается от токов небаланса в полнофазном режиме. При неполнофазном режиме эта защита выводится из действия, поскольку она не отстроена от токов нулевой последовательности, обусловленных нагрузкой в этом режиме. Вторая ступень защиты от замыканий на землю отстраивается от токов нулевой последовательности нагрузки неполнофазного режима. При таком выборе параметров срабатывания защиты она реагирует в неполнофазном режиме на повреждения на стороне низшего напряжения трансформаторов на ответвлениях. В связи с этим защита по времени отстраивается от резервных защит предыдущих элементов и не выводится из действия при неполнофазном режиме.

Дополнительная ступень защиты отстраивается от токов нулевой последовательности при коротких замыканиях на стороне низшего напряжения трансформаторов на ответвлениях в неполнофазном режиме.

б) Линии с двусторонним питанием с ответвлениями, со стороны которых отсутствует питание

Для защиты от замыканий на землю линий 110—220 кВ с двусторонним питанием и ответвлениями без питания (например, рис. 1-4 и 1-5) широко используется многоступенчатая токовая защита от замыканий на землю как направленная, так и ненаправленная.

В качестве примера на рис. 2-5 приведена принципиальная схема трехступенчатой токовой направленной защиты нулевой последовательности. Схема дана для случая присоединения линии к шинам 110—220 кВ через один выключатель 1В. Реле тока первой (ЗРПН) и второй (4РПН) ступеней предусмотрены с насыщающимися трансформаторами тока в целях облегчения отстройки от бросков тока намагничивания при включении линии под напряжение. Указанные реле тока, а также реле тока третьей ступени 5РТ включены на ток нулевой последовательности. В схеме предусмотрено общее реле направления мощности нулевой последовательности 6РМ для всех трех ступеней защиты. Для второй и третьей ступеней установлены отдельные реле времени 7РВ и 8РВ. Схема дана для случая, когда ускорение защиты после включения выключателя осуществляется во второй ступени (с помощью мгновенного контакта реле времени этой ступени 7РВ). Для сигнализации действия каждой ступени защиты предусмотрены указательные реле 10РУ—13РУ. Подробное описание схемы рис. 2-5 дано в [Л. 5].

Рассмотрение вопросов использования ступенчатой защиты нулевой последовательности на линиях с ответ-

влениями производится применительно к случаю установки трехступенчатой защиты.

Ток срабатывания первой ступени защиты, выполняемой без выдержки времени, выбирается по условиям отстройки от тока в месте установки защиты:

а) при коротких замыканиях на шинах противоположной подстанции;

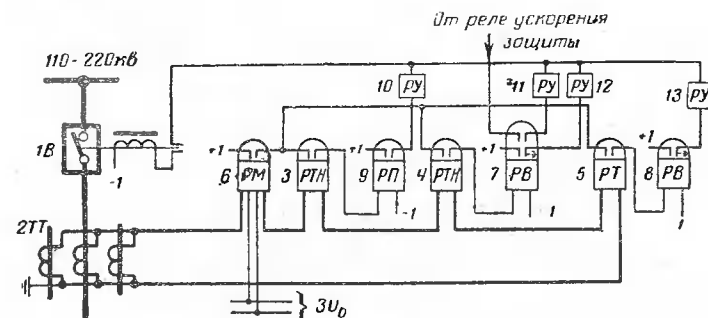


Рис. 2-5. Принципиальная схема трехступенчатой токовой направленной защиты нулевой последовательности.

б) при коротких замыканиях на шинах подстанций, где установлена защита; это условие учитывается только при выполнении защиты ненаправленной;

в) возникающего в результате неодновременного включения фаз выключателя.

Расчетным при выборе тока срабатывания первой ступени по условию п. «а» является режим заземления наименьшего числа трансформаторов на ответвлениях, а по условию п. «б» — режим заземления наибольшего числа трансформаторов на ответвлениях. При этом учитывается также расположение трансформатора по отношению к месту повреждения.

Вопросы определения токов нулевой последовательности, обусловленных неодновременностью включения фаз выключателя, рассмотрены в § 2-4.

При наличии на линии ответвлений с трансформаторами или автотрансформаторами, нейтрали которых заземлены, дополнительно должны учитываться условия отстройки от тока в месте установки защиты:

а) определяемого броском токов намагничивания трансформаторов, установленных на ответвлениях и имеющих заземленные нейтрали, при включении линии под напряжение;

б) при коротких замыканиях на землю на стороне среднего напряжения подстанций ответвлений в случае установки на ответвлении автотрансформатора.

Ток срабатывания по условию п. «а» определяется по выражению (2-2). В случаях, когда возможна работа линии в режиме одностороннего питания, кроме трансформаторов, приключенных на ответвлениях от данной линии, следует также учитывать трансформаторы, приключенные к шинам противоположной подстанции, нейтрали которых заземлены.

Ток срабатывания второй ступени защиты выбирается по условию согласования с первыми или вторыми ступенями защит от замыканий на землю линий (в зависимости от условий чувствительности):

а) отходящих от шин противоположной подстанции;

б) отходящих от шин данной подстанции; это условие учитывается только при выполнении защиты ненаправленной.

В случае, если защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, то рассматривается возможность согласования со вторыми ступенями защит. Вторая ступень защиты согласовывается также по времени с первыми или вторыми ступенями защит.

Расчетным для выбора тока срабатывания по условию согласования с защитами линий, отходящих от шин противоположной подстанции, является режим разземления нейтралей наибольшего числа трансформаторов на ответвлениях от данной линии, а при согласовании с защитами линий, отходящих от шин данной подстанции, — режим заземления нейтралей наибольшего числа трансформаторов на ответвлениях.

В схемах предусматривается ускорение защиты после АПВ. В зависимости от условий чувствительности ускорение может быть предусмотрено во второй или третьей ступенях защиты. В целях повышения селективности предпочтительно ускорение выполнять во второй ступени защиты.

Ускоряемая ступень дополнительно должна быть отстроена от токов в месте ее установки, определяемых:

а) бросками токов намагничивания трансформаторов, устанавливаемых на ответвлениях и имеющих заземленные нейтрали;

б) неодновременностью включения фаз выключателя;

в) токами небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока, возникающих при качаниях (если на линии предусмотрено несинхронное АПВ).

Ток срабатывания третьей ступени защиты, как правило, выбирается по условию отстройки от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при внешних замыканиях между фазами. К таким повреждениям относятся короткие замыкания за трансформаторами на шинах питающих подстанций линии, а также короткие замыкания за трансформаторами ответвлений, присоединенных к данной линии. Рассматриваемая отстройка проводится в предположении, что третья ступень защиты имеет выдержку времени, равную или меньшую, чем выдержка времени защиты от замыканий между фазами на поврежденном элементе. Такое соотношение выдержек времени защит имеет место на практике.

Оценка чувствительности защиты от замыканий на землю на линиях с ответвлениями, а также определение зоны действия первой ее ступени должны производиться для случая включения наибольшего числа трансформаторов на ответвлениях, нейтрали которых заземлены.

При наличии на линии ответвлений, на которых установлены трансформаторы с заземленной нейтралью, зона действия первой ступени защиты значительно сокращается. В связи с этим «Руководящими указаниями по релейной защите» [Л. 5] рекомендуется применение в таких случаях токовой защиты обратной последовательности с блокировкой от тока или напряжения нулевой последовательности. Для блокировки по току нулевой последовательности используется реле тока третьей ступени защиты. Ток срабатывания реле тока обратной последовательности выбирается по условию отстройки от тока обратной последовательности в месте установки защиты при замыканиях на землю на шинах противоположной подстанции. Ток срабатывания блокирующего реле нулевой последовательности выбирается по условию отстройки от тока небаланса при междупазных коротких замыканиях за трансформаторами ответвлений. Наличие блокировки по току нулевой последовательности позволяет не отстраивать реле тока обратной последовательности от двухфазных коротких замыканий на шинах противоположной подстанции, а также за трансформаторами ответвлений, что приводит к повышению чувствительности защиты в случаях, когда двухфазное короткое замыкание является расчетным для выбора тока срабатывания реле тока обратной последовательности.

Наличие на линии трансформаторов с заземленными нейтралью также приводит к снижению чувствительности второй и других ступеней защиты. Для повышения чувствительности второй ступени также может быть использована комбинированная защита обратной и нулевой последовательностей (см. § 8-5).

Токовая многоступенчатая защита от замыканий на землю используется также на параллельных линиях с ответвлениями без питания. При выборе параметров срабатывания защиты в рассматриваемом случае руководствуются основными положениями, принятыми для расчета защиты параллельных линий с двусторонним питанием без ответвлений [Л. 5].

При выборе параметров срабатывания защиты учитывается возможность отключения одной из параллельных линий на данном или соседних участках линий, а также влияние взаимной индукции на величины и характер распределения токов нулевой последовательности при замыканиях на землю. Особое внимание обращается на режим заземления нейтралей трансформаторов на ответвлениях.

Следует отметить, что в случае использования на параллельных линиях поперечной дифференциальной направленной защиты могут возникнуть условия, когда вторая ступень токовой защиты неповрежденной линии действует ложно. Так, например, в схеме рис. 3-7 на подстанциях I и II, где установлены поперечные дифференциальные направленные защиты, при повреждении в точке K_1 срабатывает только поперечная защита на подстанции I, а поперечная защита на подстанции II отказывает в действии (например, из-за неисправности в ее цепях). В связи с наличием на линиях трансформаторов с заземленными нейтралью и влиянием взаимной индукции ток нулевой последовательности поврежденной линии может оказаться меньшим тока нулевой последовательности неповрежденной линии. Это может привести к отказу первой ступени защиты поврежденной линии и срабатыванию второй ступени защиты со стороны подстанции I неповрежденной линии.

Вопросы составления схем замещения нулевой последовательности параллельных линий с ответвлениями при наличии взаимной индукции между ними рассмотрены в § 2-5.

в) Линии с многосторонним питанием

В качестве защиты от замыканий на землю на линиях с многосторонним питанием (например, рис. 2-8) могут быть использованы ступенчатые токовые защиты нулевой последовательности. В зависимости от условий чувствительности и времени действия защиты могут выполняться как направленными, так и ненаправленными.

Особенностью выбора уставок защиты и проверки ее чувствительности при выполнении защиты на линиях

с многосторонним питанием является необходимость учета влияния токов нулевой последовательности, посылаемых к месту повреждения со стороны других концов линии.

Вычисление токов нулевой последовательности, возникающих при неодновременном включении фаз выключателя на линиях с ответвлениями, имеет некоторые особенности; указанный вопрос рассмотрен в § 2-4.

2-4. ТОК НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИ НЕОДНОВРЕМЕННОМ ВКЛЮЧЕНИИ ФАЗ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

При неодновременном включении фаз выключателя кратковременно возникает неполнофазный режим работы линии, характеризуемый разрывом на контактах выключателя одной или двух фаз. В связи с этим в линии кратковременно появляется ток нулевой последовательности. Длительность прохождения тока нулевой последовательности при включении выключателя с трехфазным приводом такова, что от него представляется возможным отстроиться по времени без введения выдержки времени. При этом необходимая отстройка обеспечивается выходным промежуточным реле с временем срабатывания 70—100 мсек. При использовании выключателей с пофазным приводом замедление на срабатывание, которое имеет выходное промежуточное реле, уже недостаточно для отстройки от неполнофазного режима. Отстройка от указанного режима должна производиться или по току или по времени. В последнем случае дополнительная выдержка времени для первой ступени защиты, а также ступени, ускоряемой при АПВ, должна быть порядка 0,2—0,3 сек.

На рис. 2-6 и 2-7 приведены схемы замещения отдельных последовательностей для расчетов тока нулевой последовательности в неполнофазных режимах работы линии с двусторонним питанием для случая, когда со стороны ответвления отсутствует питание и для линии с трехсторонним питанием. Схема на рис. 2-6 может быть использована и для линии с односторонним питанием.

Например, в случае отсутствия питания со стороны системы II эквивалентная э. д. с. этой системы принимается равной нулю $E_{\Sigma II} = 0$.

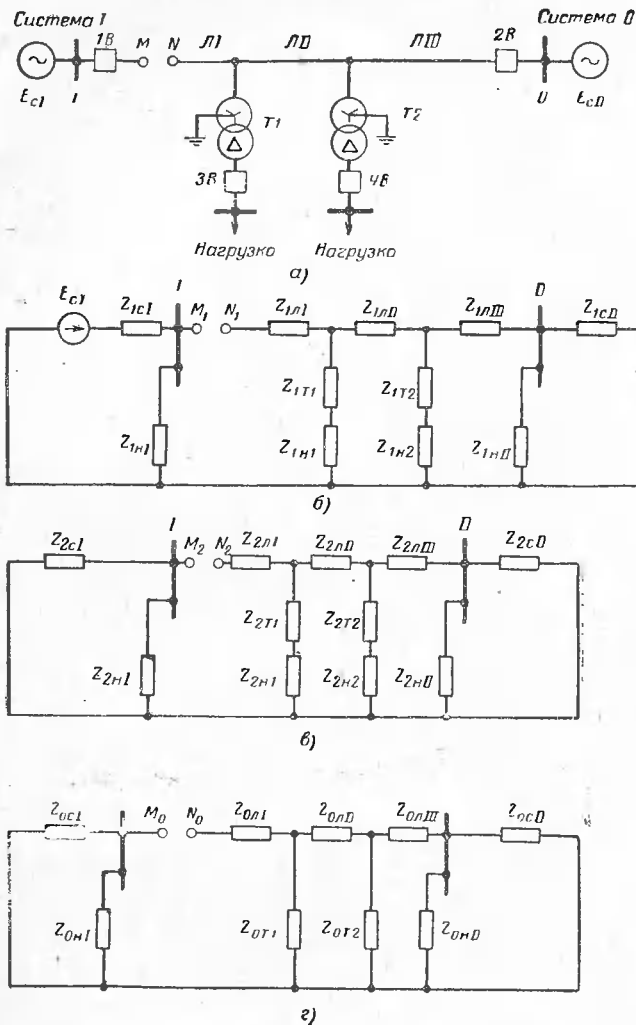


Рис. 2-6. Исходная схема (а) и схемы замещения прямой (б), обратной (в) и нулевой (г) последовательностей для расчета тока разрыва в неполнофазных режимах линии с двусторонним питанием с ответвлениями без питания.

$E_{сI}$, $E_{сII}$ и $E_{сIII}$ (для рис. 2-7) — эквивалентные э. д. с. систем I, II и III; $Z_{1сI}$, $Z_{2сI}$ и $Z_{0сI}$ — сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей системы I; $Z_{1сII}$, $Z_{2сII}$ и $Z_{0сII}$ — то же, но для системы II; $Z_{1сIII}$, $Z_{2сIII}$ и $Z_{0сIII}$ — то же, но для системы III (рис. 2-7); $Z_{1лI}$, $Z_{2лI}$ и $Z_{0лI}$ — сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей для участка линии LI; $Z_{1лII}$, $Z_{2лII}$ и $Z_{0лII}$ — то же для участка линии LII; $Z_{1лIII}$, $Z_{2лIII}$ и $Z_{0лIII}$ — то же для участка линии LIII; $Z_{1лD}$, $Z_{2лD}$ и $Z_{0лD}$ — то же для участка линии LD; $Z_{1тI}$, $Z_{2тI}$ и $Z_{0тI}$ — сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей трансформатора T1; $Z_{1тII}$, $Z_{2тII}$ и $Z_{0тII}$ — то же для трансформатора T2; $Z_{1нI}$, $Z_{2нI}$ и $Z_{0нI}$ — сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей нагрузки, присоединенной к шинам подстанции I; $Z_{1нII}$, $Z_{2нII}$ и $Z_{0нII}$ — то же для нагрузки, присоединенной к шинам подстанции II; $Z_{1нIII}$, $Z_{2нIII}$ и $Z_{0нIII}$ — то же для нагрузки, присоединенной к шинам подстанции III (рис. 2-7).

Токи нулевой последовательности при обрыве одной или двух фаз определяются в соответствии с комплексными схемами замещения, приведенными на рис. 2-8, а и б:

а) при обрыве одной фазы

$$j_0 = \frac{E_{сI\phi} - E_{сII\phi}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}, \quad (2-9)$$

б) при обрыве двух фаз

$$j_0 = \frac{E_{сI\phi} - E_{сII\phi}}{Z_{1\Sigma} + \frac{Z_{2\Sigma} Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}}, \quad (2-10)$$

где

$E_{сI\phi}$ и $E_{сII\phi}$ — эквивалентные э. д. с. систем I и II (рис. 2-6) или систем I, II и III (рис. 2-7);

$Z_{1\Sigma}$, $Z_{2\Sigma}$ и $Z_{0\Sigma}$ — результирующие сопротивления относительно точки разрыва в схемах прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Как следует из схем замещения рис. 2-6 и 2-7, наличие ответвлений приводит к увеличению токов нулевой последовательности, обусловленных одновременным включением фаз выключателя. Увеличение токов нулевой последовательности объясняется уменьшением результирующего сопротивления $Z_{0\Sigma}$ в связи с появлением параллельных ветвей в схеме замещения, определяемых ответвлениями.

и $Z_{0нI}$ — сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей для нагрузки, присоединенной к шинам подстанции I; $Z_{1нII}$, $Z_{2нII}$ и $Z_{0нII}$ — то же для нагрузки, присоединенной к шинам подстанции II; $Z_{1нIII}$, $Z_{2нIII}$ и $Z_{0нIII}$ — то же для нагрузки, присоединенной к шинам подстанции III (рис. 2-7).

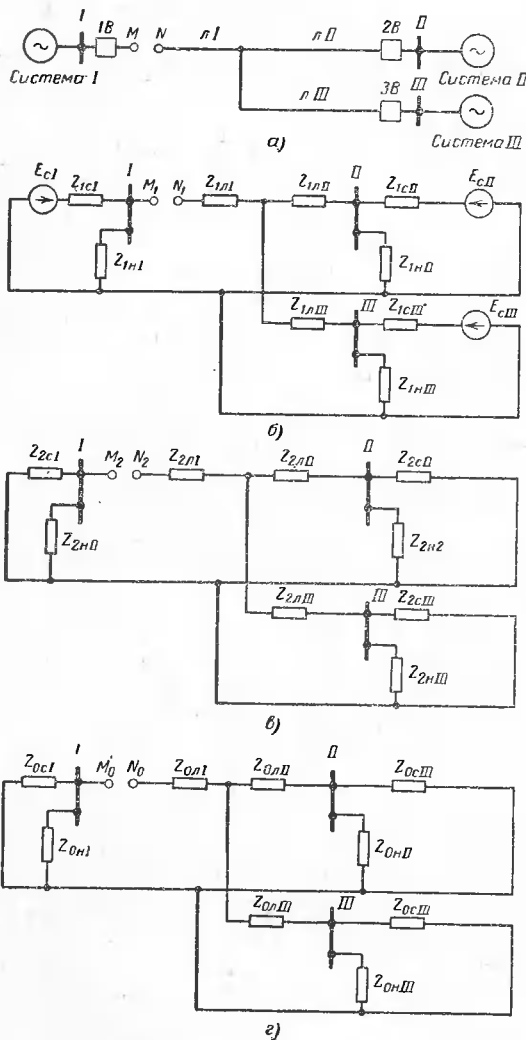


Рис. 2-7. Исходная схема (а) и схемы замещения прямой (б), обратной (в) и нулевой (г) последовательностей для расчета тока нулевой последовательности в неопнфазных режимах линии с трехсторонним питанием (обозначения см. на рис. 2-6).

Рис. 2-8. Комплексные схемы замещения для случаев обрыва одной (а) или двух (б) фаз линии.

1 — схема замещения прямой последовательности; 2 — схема замещения обратной последовательности; 3 — схема замещения нулевой последовательности.

2-5. СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ ПРИ НАЛИЧИИ ВЗАИМОИНДУКЦИИ МЕЖДУ ЛИНИЯМИ

Рассматриваемые схемы замещения нулевой последовательности параллельных линий с ответвлениями при наличии взаимоиנדукции между линиями используются для расчета токов короткого замыкания на землю как на защищаемой линии, так и вне ее [Л. 5 и 6].

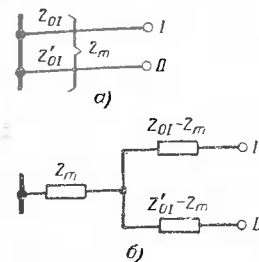


Рис. 2-9. Исходная схема (а) и схема замещения нулевой последовательности (б) двух параллельных линий с взаимоиנדукцией, имеющих одну общую точку с одного конца. Z_m — сопротивление взаимоиנדукции; Z_{01} и Z'_{01} — сопротивления нулевой последовательности линий.

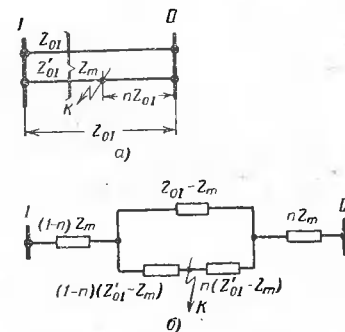


Рис. 2-10. Исходная схема (а) и схема замещения нулевой последовательности (б) двух параллельных линий с взаимоиנדукцией, имеющих общие точки с обеих сторон. Обозначения см. рис. 2-9.

При составлении схем замещения используется известная схема замещения двух параллельных линий с взаимоиנדукцией [Л. 5]. На рис. 2-9,б приведена схема замещения двух параллельных линий, имеющих общую точку с одного конца. На рис. 2-10,б дана схема замещения двух параллельных линий, имеющих общие точки с обеих сторон, для случая замыкания на землю на одной из защищаемых линий.

На рис. 2-11,б приведена схема замещения параллельных линий с ответвлением при наличии взаимоиנדукции как на основной линии, так и на ответвлении. При составлении схемы замещения по рис. 2-11,б учитывалось, что по сопротивлению $(1-n)Z_m$ протекает суммарный ток нулевой последовательности систем, замыкающихся к подстанциям II и III. По этой причине ука-

занное сопротивление вынесено за объединенные нулевые точки систем II и III.

На рис. 2-12,б приведена схема замещения для параллельных линий с ответвлением при наличии взаимной индукции на всех участках. Подстанция на ответвлении присоединена к линиям по схеме блоков линия — транс-

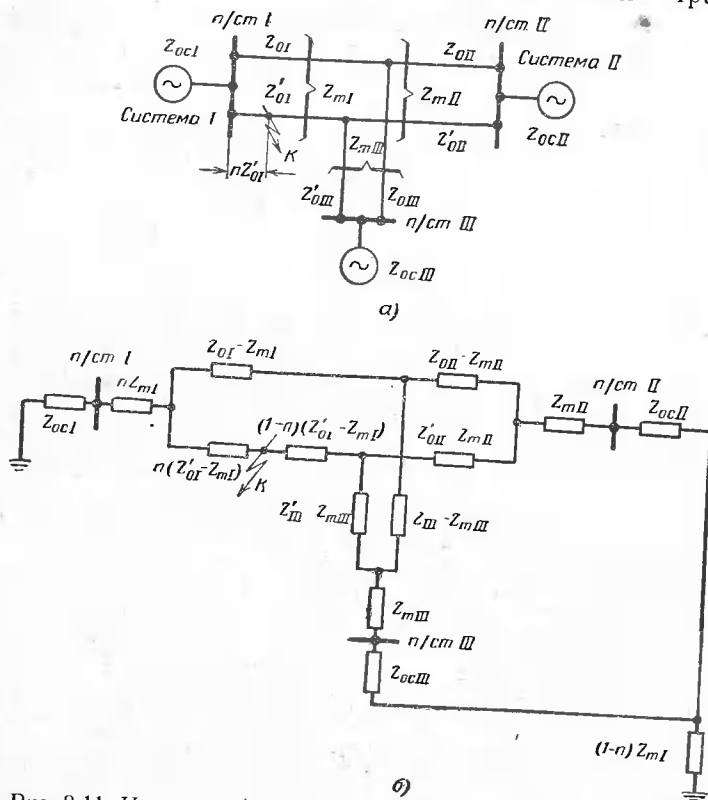


Рис. 2-11. Исходная схема (а) и схема замещения (б) нулевой последовательности параллельных линий с ответвлением при наличии взаимной индукции между линиями.

Z_{m1} , Z_{m2} и Z_{m3} — сопротивления взаимной индукции; Z_{01} , Z'_{01} , Z_{02} , Z'_{02} , Z_{03} и Z'_{03} — сопротивления нулевой последовательности участков линии.

форматор; нейтрали трансформаторов заземлены. Схема замещения дана для случая короткого замыкания на одной из параллельных линий и составлена по аналогии с вышеприведенными схемами.

На рис. 2-13,б приведена схема замещения двух параллельных линий, когда одна из них, не имеющая ответвления, заземлена по концам. В том случае, если на ответвлении установлен трансформатор с заземленной нейтралью, то сопротивление $Z_{0ш}$ в схеме рис. 2-13,б равно сумме сопротивлений нулевой последовательности от ответвления от линии $Z_{0ш}$ и трансформатора $Z_{тр}$. При на-

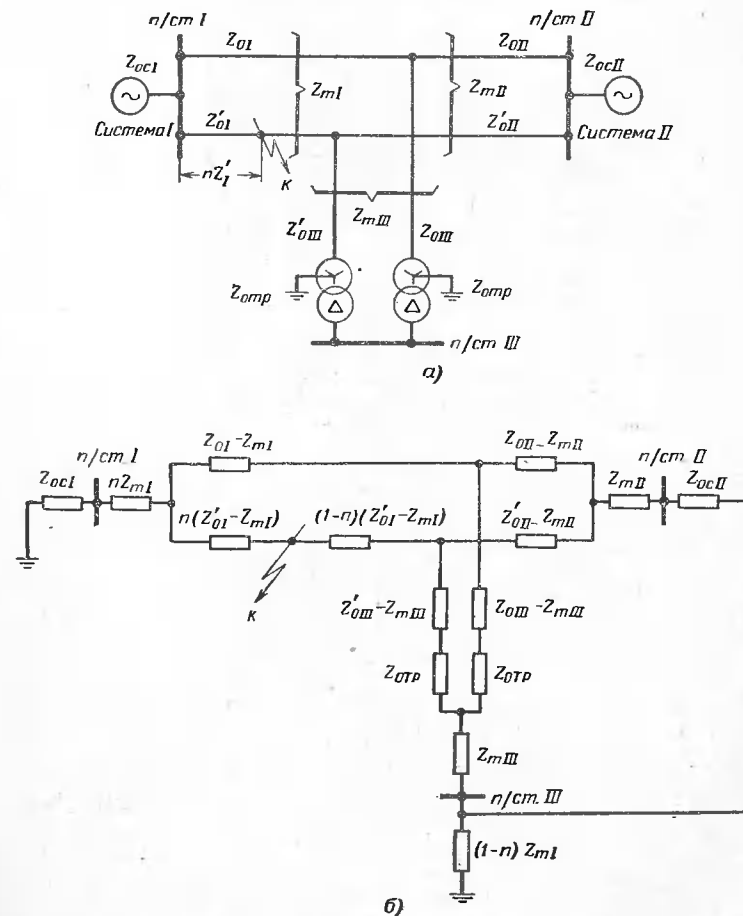


Рис. 2-12. Исходная схема (а) и схема замещения нулевой последовательности (б) параллельных линий с взаимной индукцией для случая, когда на ответвлении установлены трансформаторы с заземленными нейтралью.

$Z_{0тр}$ — сопротивление нулевой последовательности трансформатора; остальные обозначения см. рис. 2-11.

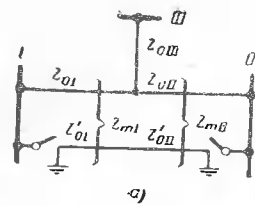


Рис. 2-13. Исходная схема (а) и схема замещения нулевой последовательности (б) параллельных линий с взаимной индукцией, когда одна из линий заземлена по концам. При $Z_{0I} = Z'_{0I}$ и $Z_{0II} = Z'_{0II}$ — сопротивления схемы замещения равны:

$$A = Z_{0I} - Z_{mI} \frac{Z_{mI} + Z_{mII}}{Z_{0I} + Z_{0II}};$$

$$C = Z_{0III} + \frac{Z_{mI} \cdot Z_{mII}}{Z_{0I} + Z_{0II}};$$

$$B = Z_{0II} - Z_{mII} \frac{Z_{mI} + Z_{mII}}{Z_{0I} + Z_{0II}}.$$

Обозначения см. на рис. 2-11.

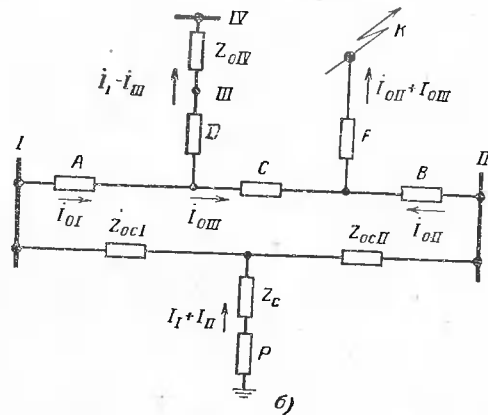
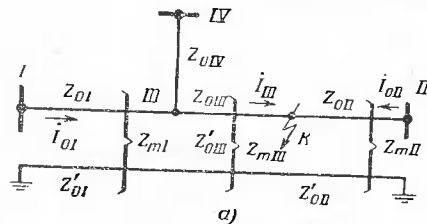
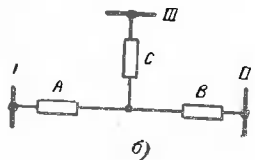


Рис. 2-14. Исходная схема (а) и схема замещения нулевой последовательности (б) при замыкании на землю на линии с ответвлением в случае заземления параллельной ей линии.

$$A = Z_{0I} - \frac{Z_m Z_{mI}}{Z}, \quad B = Z_{0II} - \frac{Z_m Z_{mII}}{Z},$$

$$C = Z_{0III} - \frac{Z_m Z_{mIII}}{Z}, \quad D = \frac{Z_{mI} Z_{mII}}{Z}, \quad P = \frac{Z_{mI} Z_{mII}}{Z}, \quad F = \frac{Z_{mII} Z_{mIII}}{Z},$$

$$Z = Z_{0I} + Z_{0II} + Z_{0III} \text{ и } Z_m = Z_{mI} + Z_{mII} + Z_{mIII}.$$

Остальные обозначения см. на рис. 2-11.

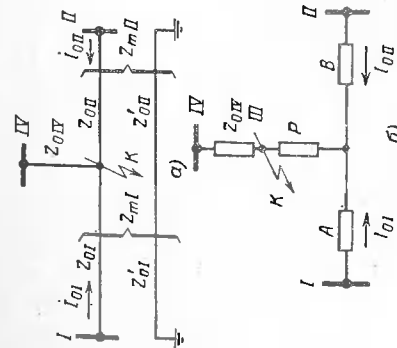
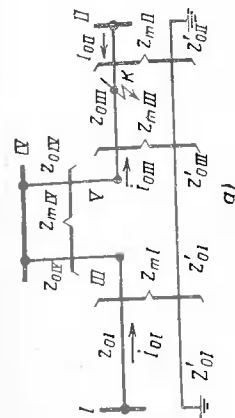


Рис. 2-15. Исходная схема (а) и схема замещения нулевой последовательности (б) при замыкании на землю на линии с ответвлением в месте присоединения ответвления в случае заземления параллельной ей линии. При $Z_{0II} = Z'_{0II} = Z_{mIII} = 0$

$$A = Z_{0I} - \frac{Z_m Z_{mI}}{Z}, \quad B = Z_{0II} - \frac{Z_m Z_{mII}}{Z} \text{ и } P = \frac{Z_m Z_{mII}}{Z}.$$

Остальные обозначения см. на рис. 2-11 и 2-14.

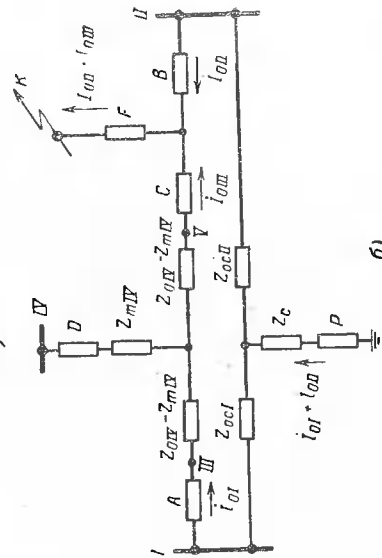


Рис. 2-16. Исходная схема (а) и схема замещения нулевой последовательности (б) при замыкании на землю на линии с заходом на подстанцию от ветвления в случае заземления параллельной ей линии. Обозначения см. на рис. 2-11 и 2-14.

личии со стороны ответвления питания сопротивление $Z_{отв}$ равно сумме сопротивлений $Z_{отв}$ и сопротивления нулевой последовательности системы $Z_{сн}$.

На рис. 2-14—2-16 приведены схемы замещения нулевой последовательности для случая замыкания на землю на линии с ответвлением при заземлении с двух сторон параллельной ей линии [Л. 6]. В схемах замещения рис. 2-14,б и 2-16,б сопротивление R вынесено за нулевую точку систем I и II. Сопротивления систем представлены эквивалентными сопротивлениями $Z_{сн}$, $Z_{сп}$ и $Z_{с}$, к которым в данном случае может быть приведена сеть любой сложности. Схема замещения на рис. 2-15,б является частным случаем схемы рис. 2-14,б при условии

$$Z_{III} = Z'_{III} = Z_{mIII} = 0.$$

В том случае, если заход на подстанцию ответвления выполняется в виде параллельных линий, как показано на рис. 2-16 (участки III, IV и V), то на основании схемы замещения рис. 2-14,б может быть получена схема замещения рис. 2-16,б. В этой схеме, в отличие от схемы рис. 2-14,б, участок III—V замещен трехлучевой звездой.



Глава третья

ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА

3-1. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТ

В данной главе рассматриваются вопросы применения поперечных дифференциальных токовых направленных защит на параллельных линиях с ответвлениями напряжением 35—110 кВ [Л. 2].

Для сетей с большими токами замыкания на землю применяется защита, состоящая из комплекта для действия при междуфазных коротких замыканиях и комплекта для действия при замыканиях на землю. Первый комплект имеет двухфазное исполнение. В схеме защиты предусматривается выведение из действия комплекта от междуфазных коротких замыканий при замыканиях на землю, что необходимо для правильного действия защиты при каскадном отключении замыканий на землю.

Для сетей с малыми токами замыкания на землю защита предусматривается в двухфазном исполнении в виде одного комплекта для действия при междуфазных коротких замыканиях, а также при двойных замыканиях на землю. При отключении выключателя одной из параллельных линий защита выводится из действия.

Для комплекта от замыканий между фазами используется токовый пусковой орган, содержащий реле тока, включенные на разность токов одноименных фаз защищаемых линий, а также комбинированный пусковой орган, содержащий реле тока, включенные на разность токов одноименных фаз защищаемых линий, и минимальные реле напряжения, включенные на междуфазные напряжения.

Для комплекта от замыканий на землю используется пусковой орган, содержащий реле тока, включенное на разность токов нулевой последовательности защищаемых линий, и реле напряжения, включенное на напряжение нулевой последовательности.

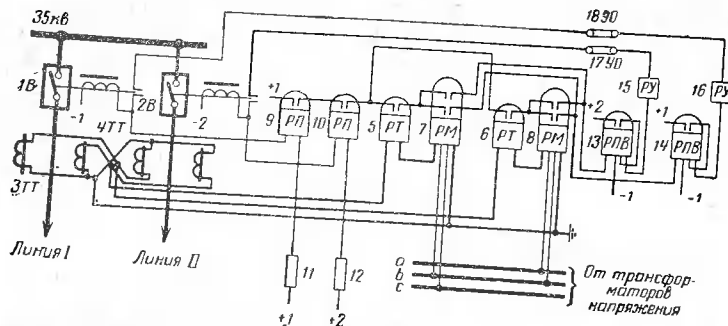


Рис. 3-1. Принципиальная схема поперечной дифференциальной токовой направленной защиты для сетей с малыми токами замыкания на землю.

На рис. 3-1 приведена принципиальная схема поперечной дифференциальной токовой направленной защиты для сетей с малыми токами замыкания на землю. Схема выполнена с токовыми пусковыми органами, в качестве которых использованы реле тока 5РТ и 6РТ, включенные соответственно на разность токов фаз А и С. В схеме использованы реле мощности 7РМ и 8РМ двустороннего действия. Подведение оперативного постоянного тока к защите осуществляется через контакты реле положения «включено» выключателей 1В и 2В. Указательные реле 15РУ и 16РУ предусмотрены для фиксации действия защиты. С помощью отключающих устройств 17УО и 18УО производится выведение защиты из действия.

Вопросы применения поперечных дифференциальных направленных защит на линиях, питающих тяговые подстанции, рассмотрены в гл. 8.

3-2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ В ЗАЩИТЕ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Рассматривается распределение токов в комплектах защит от междупазных повреждений при трехфазном коротком замыкании на защищаемой линии (рис. 3-2). Предполагается установка комплектов поперечной защиты на всех подстанциях I—V. Токи в комплектах защит на подстанциях I—V определяются, соответственно, по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} i_{3I} &= i_1 - i'_1, \\ i_{3II} &= i_2 - i'_2, \\ i_{3III} &= i_3 - i'_3, \\ i_{3IV} &= i_4 - i'_4, \\ i_{3V} &= i_5 - i'_5. \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

По аналогии обозначается:

$$\left. \begin{aligned} i_{3VI} &= i_6 - i'_6, \\ i_{3VII} &= i_7 - i'_7, \\ i_{3VIII} &= i_8 - i'_8, \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

где $i_1, i'_1, i_2, i'_2, i_3, i'_3, i_4, i'_4, i_5, i'_5, i_6, i'_6, i_7, i'_7, i_8$ и i'_8 — токи на участках линии рис. 3-2, а.

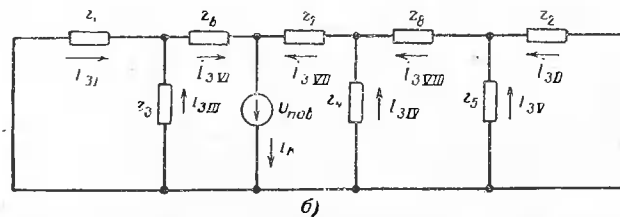
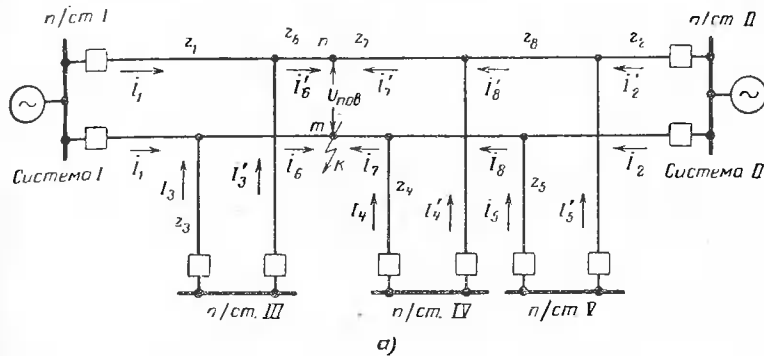


Рис. 3-2. Исходная схема (а) и схема замещения (б) для определения токов в комплектах защит.

Для левой части схемы относительно места повреждения могут быть записаны следующие равенства:

$$\dot{U}_{\text{пов}} = i_6 z_6 + i_1 z_1 - i'_1 z_1 - i'_6 z_6 = i_{3VI} z_6 + i_{3I} z_1, \quad (3-3)$$

$$\dot{U}_{\text{пов}} = i_6 z_6 + i_3 z_3 - i'_3 z_3 - i'_6 z_6 = i_{3VI} z_6 + i_{3III} z_3, \quad (3-4)$$

где $\dot{U}_{\text{пов}}$ — напряжение в месте повреждения между одноименными фазами поврежденной и неповрежденной линии;

z_1, z_3 и z_6 — сопротивление участков линии.

Выражениям (3-3) и (3-4) соответствует левая часть

схемы замещения рис. 3-2,б. Аналогичным образом может быть получена схема замещения правой части исходной схемы.

Используя схему замещения на рис. 3-2,б, можно получить расчетные выражения для определения токов

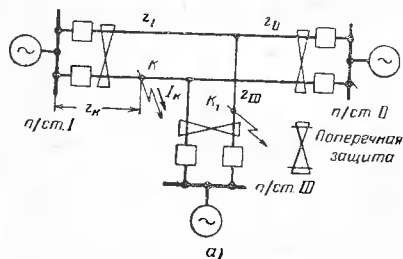


Рис. 3-3. Поясняющая схема для определения токов в защитах.

а — исходная схема; б — схема замещения.

в защитах при повреждении на защищаемой линии, а также при к. з. за трансформатором. Рассматриваемая схема замещения также может быть использована для определения точек равной чувствительности и зон каскадного действия защит.

Как следует из рассмотрения схемы замещения, коэффициент распределения тока повреждения для данной защиты, определяемый как отношение тока в реле данного комплекта к току повреждения, зависит от места повреждения и значений сопротивлений отдельных участков параллельных линий. Сумма токов защит равна току повреждения:

$$I_{зI} + I_{зII} + I_{зIII} + I_{зIV} + I_{зV} = I_K. \quad (3-5)$$

На рис. 3-3,а приведены параллельные линии с ответвлением. Предполагается наличие питания со стороны всех трех подстанций I, II и III.

Первичный ток в реле пусковых органов защит определяется из схемы замещения, приведенной на рис. 3-3,б:

а) для защиты на подстанции I

$$I_{зI} = I_K \left(1 - \frac{z_K(z_{II} + z_{III})}{z_I z_{II} + z_{II} z_{III} + z_I z_{III}} \right) = \alpha I_K; \quad (3-6)$$

б) для защиты на подстанции II

$$I_{зII} = I_K \frac{z_K z_{III}}{z_I z_{II} + z_{II} z_{III} + z_I z_{III}} = \beta I_K; \quad (3-7)$$

в) для защиты на подстанции III

$$I_{зIII} = I_K \frac{z_K z_{II}}{z_I z_{II} + z_{II} z_{III} + z_I z_{III}} = \gamma I_K, \quad (3-8)$$

где I_K — ток в месте повреждения;
 z_I , z_{II} и z_{III} — сопротивления участков линии рис. 3-3,а;
 z_K — сопротивление линии от подстанции I до места повреждения;
 α , β и γ — коэффициенты, определяющие долю тока к. з. I_K соответственно в защитах на подстанциях I, II и III.

3-3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ КАСКАДНОГО ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ

Как известно, у шин противоположных подстанций имеются участки, при повреждении в пределах которых поперечные дифференциальные токовые защиты не действуют до отключения повреждения защитой с противоположного конца. Эти участки называют зонами каскадного действия защит. Ниже дается оценка зон каскадного действия применительно к комплекту защит от междуфазных повреждений.

На границе зоны каскадного действия ток в реле равен его току срабатывания. Определим значение сопротивления, соответствующего длине зоны каскадного действия $z_{касII}$ для защиты на подстанции II при повреждении у шин подстанции I (рис. 3-3). В соответствии с выражением (3-7), при токе короткого замыкания на границе каскадного действия $I_{зII}$ при $z_K = z_{касII}$ имеем:

$$I_{с.зII} = I_K \frac{z_{касII} z_{III}}{z_I z_{II} + z_{II} z_{III} + z_I z_{III}}. \quad (3-9)$$

Из этого выражения следует:

$$z_{касII} = \frac{I_{с.зII} (z_I z_{II} + z_{II} z_{III} + z_I z_{III})}{I_K z_{III}}. \quad (3-10)$$

Расчетное выражение (3-10) составлено для случая, когда зона каскадного действия не превышает участка

21. Аналогичным образом могут быть определены зоны каскадного действия рассматриваемой защиты при замыканиях у шин подстанции III, а также для защит, установленных на других подстанциях.

В связи с тем, что ток I_K на границе зоны каскадного действия является искомой величиной, то целесообразно в выражении (3-10) подставлять ток при повреждениях

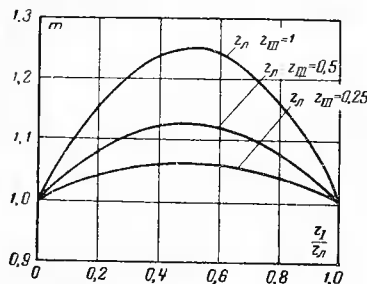


Рис. 3-4. Зависимость величины зоны каскадного действия защиты от места присоединения ответвления.

на шинах той подстанции, возле шин которой определяется значение зоны каскадного действия. Однако такой способ оценки значения зоны каскадного действия является приближенным. Точнее значение зоны каскадного действия может быть определено графоаналитическим способом по кривым изменения тока в реле в зависимости от места повреждения.

При неизменных значениях тока короткого замыкания в месте повреждения и тока срабатывания защиты значение зоны каскадного действия защиты зависит только от соотношения между сопротивлениями участков.

На рис. 3-4 приведены построенные по формуле (3-10) кривые, характеризующие значение $z_{касII}$ в зависимости от места присоединения ответвления к линии. При построении кривой принималось сопротивление линии $z_{II} = z_I + z_{II}$ постоянным. Постоянным также принималось значение сопротивления ответвления z_{III} . Значение $z_{касII}$ определяется выражением

$$z_{касII} = \frac{I_{с.сII}}{I_{зI}} z_{II} \left(1 + \frac{z_I z_{II}}{z_{III} z_{II}} \right) = z'_{касII} m. \quad (3-11)$$

Как известно [Л. 2], при отсутствии ответвления сопротивление, соответствующее зоне каскадного действия $z_{касII}$, определяется выражением

$$z'_{касII} = (I_{с.сII} : I_K) z_{II}.$$

Таким образом, значение коэффициента m показывает, во сколько раз увеличивается зона каскадного дей-

ствия при наличии на линии ответвления по сравнению со случаем его отсутствия.

Как следует из рис. 3-4, при заданном значении отношения $z_{II} : z_{III}$ наибольшего значения зона каскадного действия достигает при присоединении ответвления в середине линии и наименьшего значения — при присоединении ответвления вблизи одного из концов линии. Значение зоны каскадного действия увеличивается с увеличением отношения $z_{II} : z_{III}$. При малых значениях сопротивления ответвления защита практически не действует на участке от противоположной подстанции до точки присоединения ответвления.

3-4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ РАВНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Для параллельных линий без ответвлений чувствительность поперечной дифференциальной токовой защиты в режиме, когда линии включены с обоих концов, оценивается по коэффициенту чувствительности в такой точке, для которой коэффициенты чувствительности защит с обоих концов линий имеют одинаковые значения. Такую точку принято называть точкой равной чувствительности защит.

Для параллельных линий с ответвлениями также целесообразно производить оценку чувствительности рассматриваемой защиты по коэффициенту чувствительности в точках равной чувствительности защит, установленных по концам линий. При наличии ответвлений от параллельных линий имеются некоторые отличительные особенности в определении точки равной чувствительности.

Ниже рассматривают-

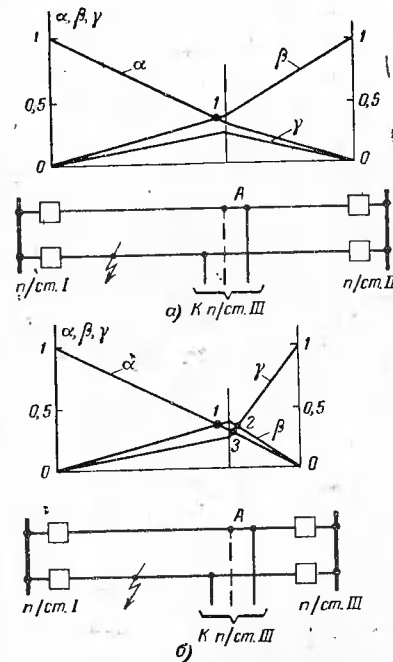


Рис. 3-5. Изменение коэффициентов α , β и γ в зависимости от места повреждения на линии.

ся вопросы определения точки равной чувствительности защит применительно к комплексу от междофазных повреждений.

На рис. 3-5 показаны графики изменения коэффициентов α , β и γ при повреждениях на разных участках защищаемых параллельных линий для схемы рис. 3-3. Рассматривается случай, когда защиты, установленные на подстанциях *I*, *II* и *III*, имеют равные токи срабатывания. На рис. 3-5,а показано изменение коэффициентов α , β и γ в зависимости от места повреждения на участке между подстанциями *I* и *II*, а на рис. 3-5,б — между подстанциями *I* и *III*.

Точка 1 пересечения прямых α и β ($\alpha=\beta$) определяет положение точки равной чувствительности для защит на подстанциях *I* и *II*. Аналогично точка 2 определяет положение точки равной чувствительности для защит на подстанциях *II* и *III* и точка 3 — для защит на подстанциях *I* и *III*.

Как следует из рассмотрения рис. 3-5, точки равной чувствительности для разных пар защит в общем случае не совпадают. Для двух защит точка равной чувствительности находится на участках линии, соединяющих подстанции, на которых установлены рассматриваемые защиты. При этом она находится на участке с большим сопротивлением. Например, для защит на подстанциях *I* и *II* при $z_I < z_{II}$ точка равной чувствительности находится на участке z_I . Значение z_K , определяющее положение точки равной чувствительности, вычисляется исходя из попарного равенства соответствующих коэффициентов α , β , γ . Для случая, когда $\alpha=\beta$ из выражений (3-6) и (3-7) получаем:

$$z_K = \frac{z_I z_{II} + z_{II} z_{III} + z_I z_{III}}{2z_{III} + z_{II}}. \quad (3-12)$$

Точки равной чувствительности для всех трех защит совпадают при условии равенства сопротивлений участков линии:

$$z_I = z_{II} = z_{III}.$$

При этом точкой равной чувствительности является точка разветвления *A* (рис. 3-5).

В том случае, если первичные токи срабатывания защит имеют разные значения, положение точки равной чувствительности определяется с учетом значений токов

срабатывания. Например, для защит на подстанциях *I* и *II* (рис. 3-5) положение точки равной чувствительности определяется из выражения:

$$\frac{\alpha}{I_{с.з. I}} = \frac{\beta}{I_{с.з. II}}, \quad (3-13)$$

где $I_{с.з. I}$ и $I_{с.з. II}$ — токи срабатывания защит, установленных на подстанциях *I* и *II*.

В том случае, если в точке равной чувствительности коэффициент чувствительности для защит $k_q \geq 2$, то при повреждениях на защищаемой линии подействует хотя бы одна из них с указанным коэффициентом чувствительности.

В ряде случаев может оказаться затруднительным произвести оценку чувствительности защиты по точкам равной чувствительности. В этом случае может быть рекомендовано произвести проверку чувствительности защит по короткому замыканию в точках разветвления. Например, для схемы рис. 3-5 по короткому замыканию в точке *A*.

Как и для точки равной чувствительности, если коэффициент чувствительности защит при коротком замыкании в точке разветвления $k_q \geq 2$, то при повреждении на защищаемой линии подействует хотя бы одна из установленных защит с указанным коэффициентом чувствительности.

Если параллельные линии с ответвлением отключены с одного из концов, оценка чувствительности их защиты производится для точек равной чувствительности для двух оставшихся в работе защит. Для линии с одним ответвлением (рис. 3-3) значение сопротивления, характеризующего положение точки равной чувствительности, определяется для защит *I* и *II*, когда линия отключена со стороны подстанции *III*, по выражению [Л. 2]

$$z_K = \frac{I_{с.з. II} (z_I + z_{II})}{I_{с.з. I} + I_{с.з. II}}. \quad (3-14)$$

Значение z_K отсчитывается от подстанции *I*.

Точки равной чувствительности в режимах, когда линия включена со всех концов или только с части из них, в общем случае не совпадают. В режимах, когда линия отключена с одного или нескольких концов, проверяется также чувствительность защиты при коротких замыка-

ниях на отключенных участках. Например, в схеме по рис. 3-3 должна быть проверена чувствительность защиты при коротком замыкании в точке K_1 при отключении параллельных линий со стороны подстанции III.

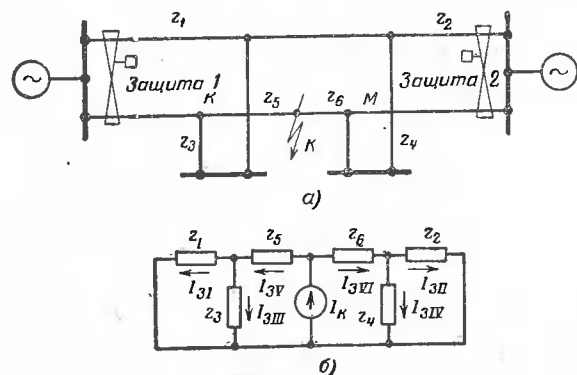


Рис. 3-6. Пример определения точки равной чувствительности.
а — исходная схема; б — схема замещения.

Пример определения точки равной чувствительности. Найти точку равной чувствительности для защиты I и II рис. 3-6,а. Схема замещения показана на рис. 3-6,б. Предполагается, что защиты I и II имеют одинаковые токи срабатывания.

Первичные токи в защитах определяются соотношениями: для защиты I

$$I_{3I} = \alpha I_K,$$

для защиты II

$$I_{3II} = \beta I_K,$$

где α и β — коэффициенты пропорциональности;
 I_K — ток короткого замыкания.

Предполагается, что точка равной чувствительности расположена на участке КМ. Схема замещения для определения токов в защитах при коротком замыкании в точке К на этом участке дана на рис. 3-6,б. Для данной схемы коэффициенты α и β равны:

$$\alpha = \frac{z_3}{z_1 + z_3} \frac{z_6 + \frac{z_2 z_4}{z_2 + z_4}}{z_5 + z_6 + \frac{z_1 z_3}{z_1 + z_3} + \frac{z_2 z_4}{z_2 + z_4}};$$

$$\beta = \frac{z_4}{z_4 + z_2} \frac{z_5 + \frac{z_4 z_3}{z_4 + z_3}}{z_5 + z_6 + \frac{z_1 z_3}{z_1 + z_3} + \frac{z_2 z_4}{z_2 + z_4}},$$

где $z_1=10 \text{ Ом}$, $z_2=15 \text{ Ом}$, $z_3=15 \text{ Ом}$, $z_4=8 \text{ Ом}$ и $z_5=z_6=25 \text{ Ом}$ — сопротивления участков линии рис. 3-6,а.

Положение точки равной чувствительности определяется из соотношения $\alpha=\beta$. Из этого соотношения получено:

$$z_6 = \frac{z_1 z_9 - z_3 \frac{z_2 z_4}{z_2 + z_4} + z_1 \frac{z_1 z_3}{z_1 + z_3}}{z_1 + z_3} =$$

$$= \frac{10 \cdot 25 - 15 \cdot \frac{15 \cdot 8}{15 + 8} + 10 \cdot \frac{10 \cdot 15}{10 + 15}}{10 + 15} \approx 9,3 \text{ Ом}.$$

Таким образом, точка равной чувствительности расположена на участке КМ и отстоит от точки М на сопротивлением $z_6=9,3 \text{ Ом}$.

3-5. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЛЕКТА ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ МЕЖДУ ФАЗАМИ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

На рис. 3-7 приведена схема параллельных линий с ответвлением от одной из линий на понизительную подстанцию, со стороны которой отсутствует питание. На подстанциях I и II предполагается установка поперечной дифференциальной токовой защиты. Особенно

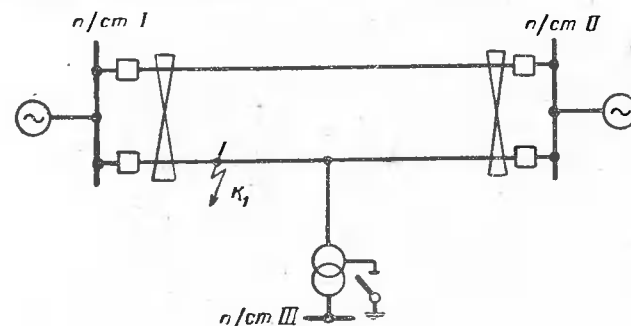


Рис. 3-7. Параллельные линии с ответвлением от одной из линий.

стью выбора параметров срабатывания пускового органа защиты в рассматриваемом случае является учет условия отстройки от короткого замыкания за трансформатором ответвления. Расчетным для выбора параметров срабатывания является максимальный режим работы систем со стороны питающих подстанций. Следует отметить, что в случае присоединения трансформатора

В середине линий ток короткого замыкания за трансформатором ответвления распределяется поровну между пусковыми органами комплектов защиты и при включении его вблизи шин одной из подстанций ток практически отсутствует в реле пускового органа удаленного комплекта защиты и имеет максимальное значение в пусковом органе комплекта, ближайшего к месту повреждения.

На рис. 3-8 приведена схема параллельных линий с ответвлением на понизительную подстанцию без питания. На подстанциях *I* и *II* устанавливается поперечная дифференциальная токовая защита.

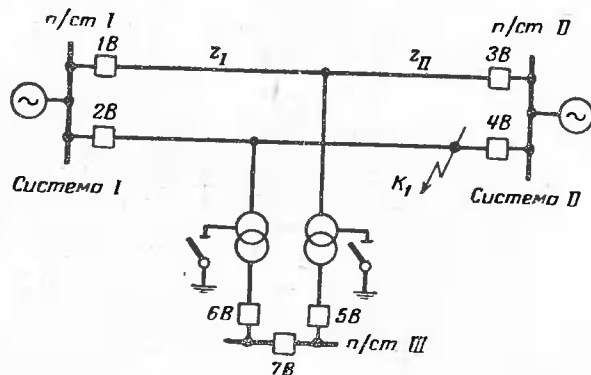


Рис. 3-8. Параллельные линии с ответвлением на двухтрансформаторную подстанцию.

Возможны режимы работы подстанции на ответвлении, когда отключен секционный выключатель со стороны низшего напряжения 7В или один из трансформаторов. В связи с этим параметры срабатывания пусковых органов защиты на подстанциях *I* и *II* должны выбираться с учетом отстройки от междуфазных к. з. за трансформатором ответвления в указанных режимах.

Как отмечено в § 3-3, наибольшая зона каскадного действия защит (при заданных параметрах линий и ответвлений) имеет место в случае присоединения ответвления в середине линий и наименьшая — в случае присоединения ответвлений у шин подстанций *I* или *II*.

Если сопротивление трансформатора на ответвлении больше сопротивления линии, то имеет место незначительное увеличение зоны каскадного действия при нали-

ции одного ответвления по сравнению со случаем отсутствия ответвления на данной линии.

В случае присоединения ответвления к понизительной подстанции в середине параллельных линий (рис. 3-8) имеют место следующие зоны каскадного действия: у шин подстанции *I* имеется зона, при повреждении в которой не действуют защиты, установленные на подстанциях *II* и *III*; аналогично имеется зона каскадного действия около шин подстанции *II*, при повреждении в которой не действуют защиты, установленные на подстанциях *I* и *III*. Трансформаторы на подстанции *III* имеют собственную защиту. Поэтому к поперечным защитам предъявляется требование обеспечения необходимой чувствительности только при повреждениях на выводах трансформаторов ответвления. Сопротивление трансформаторов, как правило, больше сопротивления линии, поэтому выводы трансформаторов находятся вне зон каскадного действия защит на подстанциях *I* и *II*.

При повреждениях у шин одной из питающих подстанций возможно двойное каскадное действие защит линии. Например, при повреждении в точке K_1 (рис. 3-8) действует защита на подстанции *II* и отключает выключатель 4В. До отключения линии со стороны подстанции *II* защиты на подстанциях *I* и *III* не действуют. После отключения выключателя 4В срабатывают защиты на подстанциях *I* и *III*. Однако возможен случай, когда либо защита на подстанции *I*, либо защита на подстанции *III* после отключения выключателя 4В не действует. Например, если в рассматриваемом случае не действует защита на подстанции *III*, то после отключения выключателя 2В защитой на подстанции *I* срабатывает также защита на подстанции *III* и отключает выключатель 6В.

Таким образом, повреждение ликвидируется в результате двойного каскадного действия защиты. Это приводит к увеличению времени отключения повреждения, что является существенным недостатком рассматриваемой защиты. Принципиально не представляется возможным исключить двойное каскадное действие защиты.

В случае присоединения ответвления вблизи шин одной из питающих подстанций, например вблизи подстанции *I* (рис. 3-8), в части зон каскадного действия необходимо учитывать следующее. При повреждениях на участке от точки присоединения ответвления до шин

подстанции II защита на подстанции III действует только после отключения выключателя защитой на подстанции I. Практически может оказаться, что защита действует каскадно при повреждениях в любой точке линии, включая ответвление.

В ряде случаев поперечная дифференциальная токовая защита устанавливается только на ответвлении, а на питающих концах линии устанавливаются защиты других типов (например, дистанционная защита). Это позволяет ускорить отключение повреждений. Защита линий также может осуществляться с использованием поперечных дифференциальных токовых направленных защит со стороны питающих подстанций и поперечных токовых дифференциальных защит со стороны ответвлений. В обоих случаях поперечная дифференциальная токовая защита со стороны ответвления может выполняться действующей на секционный выключатель [Л. 1].

С увеличением на параллельных линиях числа ответвлений, на которых осуществляется параллельная работа, увеличиваются зоны каскадного действия. Кроме этого, возможно двойное, тройное и более каскадное действие (в зависимости от числа ответвлений). Это приводит к увеличению времени отключения повреждений, что может оказаться недопустимым по условиям устойчивости системы.

Отстройка от короткого замыкания за трансформаторами ответвлений в ряде случаев приводит к загромождению защиты и по этой причине чувствительность ее пусковых органов может оказаться недостаточной при повреждениях на защищаемой линии. В целях повышения чувствительности защиты может быть предусмотрен комбинированный пусковой орган, содержащий реле тока и минимальные реле напряжения.

Ток срабатывания реле тока выбирается по условию обеспечения требуемой чувствительности в точке равной чувствительности защиты. Напряжение срабатывания реле напряжения выбирается по условию отстройки от минимального напряжения в месте установки защиты при трехфазном коротком замыкании за трансформатором ответвления, когда ток в месте установки защиты равен первичному току срабатывания реле тока. Если на подстанции ответвления установлено два трансформатора, то расчетным является случай, когда оба транс-

форматора присоединены к одной линии (если это допускает схема первичных соединений) и трансформаторы на стороне низшего (среднего) напряжения работают параллельно.

Зона каскадного действия защит при использовании комбинированного пускового органа в связи с меньшим значением тока срабатывания реле тока по сравнению со случаем использования токового пускового органа меньше.

Чувствительность реле напряжения комбинированного пускового органа проверяется по режиму каскадного отключения, поскольку остаточное напряжение в этом режиме в месте установки защиты больше, чем в режиме до отключения выключателя на противоположном конце линии. Таким образом, наличие реле напряжения может ограничивать чувствительность пускового органа, но не увеличивает зону каскадного действия.

В ряде случаев после отключения повреждения с одного из концов линии, напряжение в месте установки защиты с другого конца линии оказывается большим напряжением срабатывания реле напряжения и защита с этого конца отказывает в действии, хотя ток в месте ее установки превосходит ток срабатывания реле тока.

Для обеспечения действия защиты в рассматриваемом случае может оказаться целесообразным дополнить защиту токовым пусковым органом, отстроенным от повреждений за трансформаторами ответвлений.

Контакты реле тока второго пускового органа включаются параллельно контактам комбинированного пускового органа.

При напряжении в месте установки защиты, меньшем напряжении срабатывания реле напряжения, защита действует с минимальным током срабатывания и при напряжении, большем напряжения срабатывания реле напряжения, защита может действовать с максимальным током срабатывания.

Аналогичную характеристику может иметь пусковой орган, выполненный с использованием полупроводниковых приборов [Л. 8].

Характеристика пускового органа приведена на рис. 3-9. Пусковой орган выполняется на принципе сравнения напряжения U_p , пропорционального разности токов одноименных фаз защищаемых линий, с заданным напряжением U_0 . Значение U_0 меняется ступенчато в зависимости от междуфазного напряжения.

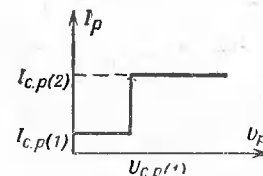


Рис. 3-9. Ступенчатая характеристика пускового органа.

3-6. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЛЕКТА ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Ток срабатывания реле тока комплекта защиты от замыкания на землю определяется по условию отстройки от тока небаланса в нулевом проводе при замыканиях на землю на шинах подстанций, соединяемых параллельными линиями. Напряжение срабатывания реле напряжения рассматриваемого комплекта защиты выбирается по условию отстройки от максимального напряжения небаланса нулевой последовательности в нормальном нагрузочном режиме. В соответствии с опытом эксплуатации напряжение срабатывания реле напряжения принимается порядка 4 в.

При наличии на одной из параллельных линий ответвления, на котором установлен трансформатор с заземленной нейтралью (рис. 3-7), при выборе тока срабатывания реле тока необходимо дополнительно учитывать

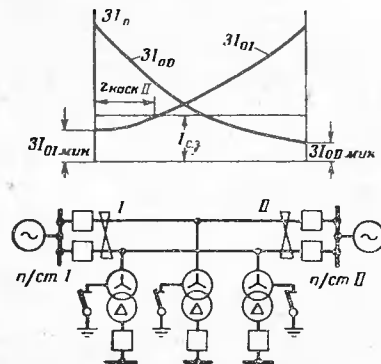


Рис. 3-10. Изменение токов нулевой последовательности в зависимости от места повреждения на защищаемой линии.

на аналогичных линиях без ответвления.

В том случае, если на подстанции ответвления установлены два трансформатора с заземленными нейтралями (рис. 3-8), присоединенные к разным линиям, то расчетный для выбора тока срабатывания является случай, когда один из трансформаторов отключен или нейтраль его разземлена.

В том случае, если к каждой из параллельных линий подключено неодинаковое число трансформаторов с за-

земленными нейтралями, то при внешних замыканиях на землю токи нулевой последовательности в линиях также имеют неодинаковые значения. На рис. 3-10 показано изменение токов нулевой последовательности в реле защиты в зависимости от места повреждения. Значения $3I_{0\text{мин}}$ и $3I_{0\text{опмин}}$ обусловлены неодинаковым числом трансформаторов с заземленными нейтралями, присоединенных к каждой из параллельных линий. Аналогичное распределение токов повреждения между комплектами защит имеет место в случае, когда трансформаторы с заземленными нейтралями присоединены к параллельным линиям в разных точках или если трансформаторы, присоединенные в одной и той же точке, имеют разные сопротивления.

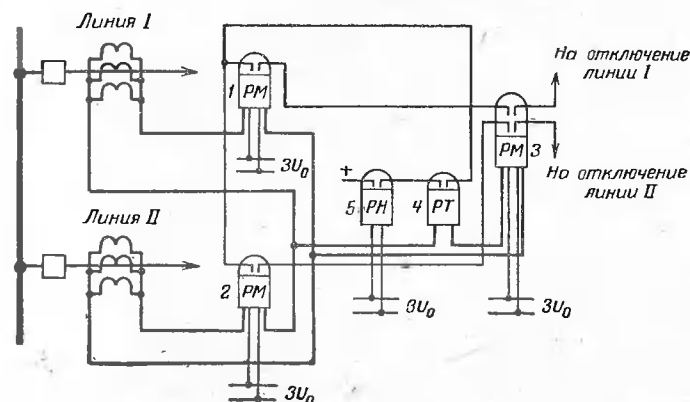


Рис. 3-11. Принципиальная схема включения дополнительных реле мощности нулевой последовательности.

Для исключения загробления, связанного с учетом рассмотренной разницы в токах нулевой последовательности обеих линий при к. з. на землю на шинах одной из питающих подстанций, предложено дополнительно предусмотреть два реле направления мощности нулевой последовательности [Л. 9]. Принципиальная схема включения этих реле приведена на рис. 3-11. Реле 4РТ выполняет функции пускового органа защиты. Реле направления мощности двустороннего действия 3РМ производит выбор поврежденной линии. Реле направления мощности нулевой последовательности 1РМ и 2РМ предусмотрены для отстройки от коротких замыканий на землю на шинах данной подстанции.

Для реле тока комплекта защиты от замыканий на землю в случаях, когда взаимной индукцией между параллельными линиями можно пренебречь, зона каскадного действия при наличии на подстанции ответвления двух трансформаторов с заземленными нейтралями

(рис. 3-8) может быть ориентировочно определена по выражению, аналогичному (3-10).

В связи с тем, что сопротивление нулевой последовательности линии в три и более раз превышает ее сопротивление прямой (обратной) последовательности, а сопротивления трансформатора прямой (обратной) и нулевой последовательностей равны, отношения $Z_{\Sigma} : Z_{1\Sigma}$ для нулевой последовательности больше, чем для прямой последовательности. Таким образом, для реле тока комплекта защиты от замыканий на землю имеет место большее увеличение зоны каскадного действия, чем для реле тока комплекта защиты от междуфазных повреждений.

Увеличение зоны каскадного действия также имеет место при наличии на подстанции ответвления одного трансформатора с заземленной нейтралью в связи с отсосом токов нулевой последовательности в нейтраль этого трансформатора и уменьшением по этой причине токов в реле пусковых органов защиты.

На параллельных линиях с ответвлениями в целях повышения чувствительности при замыканиях на землю может оказаться целесообразным использование комбинированной защиты обратной и нулевой последовательностей.



Глава четвертая

ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

4.1. ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА, УСТАНОВЛИВАЕМАЯ НА ОСНОВНЫХ ПИТАЮЩИХ КОНЦАХ

На линиях с ответвлениями дистанционная защита от многофазных коротких замыканий используется, как и на линиях без ответвлений, в качестве основной защиты, а также в качестве резервной к основной, обеспечивающей отключение без выдержки времени повреждений на всем протяжении защищаемой линии.

Основные принципы использования дистанционных защит, типы и схемы защит, устанавливаемых на основных питающих концах линий с ответвлениями, аналогичны таковым для обычных линий без ответвлений [Л. 10]. В связи с этим в настоящей главе рассматриваются только основные особенности выполнения и расчета дистанционной защиты для линий с ответвлениями по сравнению с выполнением и расчетом дистанционной защиты для линий без ответвлений.

а) Основные особенности защиты

При выполнении рассматриваемой защиты на линиях с ответвлениями необходимо учитывать в основном следующие ее особенности.

а) Отстройка I и II ступеней дистанционной защиты от к. з. на шинах низшего или среднего напряжений трансформаторов на ответвлениях может привести к укорочению зоны срабатывания этих ступеней по сравнению с соответствующими зонами защиты аналогичных линий без ответвлений.

б) При расчете дистанционной защиты на линиях с ответвлениями необходимо учитывать токораспределение на отдельных участках линии. Учет указанного токораспределения приводит также к сокращению зоны срабатывания дистанционной защиты.

При наличии на ответвлениях трансформаторов с соединением обмоток $Y/\Delta-11$ в общем случае необходимо учитывать влияние схемы соединения обмоток трансформатора на работу дистанционной защиты, установленной со стороны питания, в случаях к. з. между двумя фазами на стороне Δ .

Как показано в [Л. 10], при включении реле сопротивления на разность фазных токов и соответствующие междупазные напряжения в случае, если активные составляющие сопротивлений исходной схемы замещения не учитываются, сопротивление на зажимах реле при всех видах к. з. между двумя фазами на стороне Δ больше, чем соответствующее сопротивление при к. з. между тремя фазами.

При большом переходном сопротивлении сопротивление на зажимах одного из реле при замыкании между двумя фазами может оказаться меньшим, чем при замыкании между тремя фазами, но остается большим, чем при металлическом к. з. между тремя фазами.

Учитывая указанное, при определении сопротивления срабатывания реле сопротивления по условию отстройки от замыканий за трансформатором $Y/\Delta-11$ рассматривается только случай к. з. между тремя фазами. Защита с трехфазным направленным реле сопротивления, реагирующим на двухфазные к. з. (реле типа КРС-121), действует одинаково независимо от вида двухфазного к. з. за трансформатором $Y/\Delta-11$, поскольку работа этого реле определяется разностью квадратов составляющих обратной и прямой последовательностей компенсированных напряжений.

б) Особенности выбора параметров срабатывания

На примере схемы рис. 4-1 рассмотрим особенности выбора параметров срабатывания дистанционной защиты линий с ответвлениями.

Сопротивление срабатывания первой ступени защиты I выбирается по условиям отстройки от короткого замыкания на шинах противоположной подстанции (точка K_1), а также на шинах низшего (среднего) напряжений подстанций на ответвлениях (точки K_2 и K_3). Первичное сопротивление срабатывания первой ступени ди-

станции защиты по условиям отстройки от короткого замыкания за трансформаторами ответвлений определяется по выражениям

$$z_{с.з.1}^I \leq 0,85 \left(z_{лI} + \frac{z_{отв} + z_{тр1}}{k_{т.тр1}} \right); \quad (4-1)$$

$$z_{с.з.1}^I \leq 0,85 \left(z_{лI} + \frac{z_{лII}}{k_{тII}} + \frac{z_{тр2}}{k_{т.тр2}} \right), \quad (4-2)$$

а по условию отстройки от короткого замыкания на шинах противоположной подстанции — по выражению

$$z_{с.з.1}^I \leq 0,85 \left(z_{лI} + \frac{z_{лII}}{k_{тII}} + \frac{z_{лIII}}{k_{тIII}} \right). \quad (4-3)$$

Обозначения сопротивлений, входящих в (4-1) — (4-3), даны на рис. 4-1. В выражениях (4-1) — (4-3) $k_{т.тр1}$, $k_{т.тр2}$, $k_{тII}$, $k_{тIII}$ — коэффициенты токораспределения, рав-

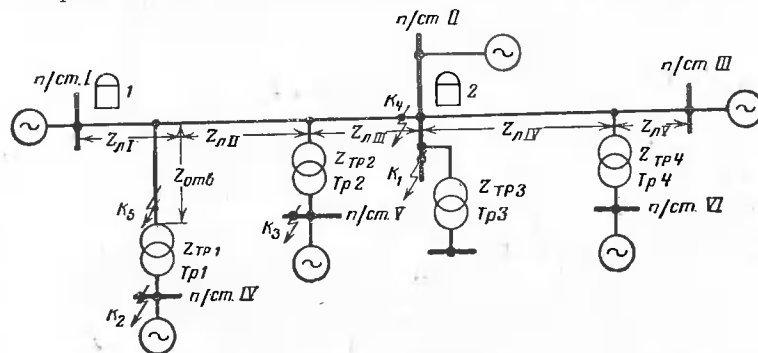


Рис. 4-1. Пример схемы линий с ответвлениями.

$z_{тр1}$, $z_{тр2}$, $z_{тр3}$, $z_{тр4}$ — минимальные эквивалентные сопротивления параллельно работающим трансформаторов, приведенные к напряжению защищаемой линии; $z_{лI}$, $z_{лII}$, $z_{лIII}$, $z_{лIV}$, $z_{лV}$ — сопротивления отдельных участков линий; $z_{отв}$ — сопротивление ответвления.

ные отношению тока в месте установки защиты I к току на данном участке (соответственно, в трансформаторах $Tr1$ и $Tr2$ и на участках III и LIII).

При наличии на трансформаторе $Tr1$ регулирования напряжения под нагрузкой в качестве $z_{тр1}$ в (4-1) и (4-2) принимается их минимальное возможное значение при регулировании напряжения.

Очевидно, что в качестве расчетных значений коэффициентов токораспределения должны приниматься их

максимальные значения, что соответствует максимальному режиму работы системы со стороны подстанции I и, в общем случае, минимальным режимам соответствующих систем на противоположных концах. Практически при расчетах по (4-1) и (4-2) в качестве расчетного должен, как правило, приниматься такой режим, когда линия отключена со стороны, противоположной основной питающей подстанции (так называемый «консольный» режим). При этом и при отсутствии питания со стороны ответвлений $k_{т.тр1}=k_{т.тр2}=k_{тп}=1$ выражения (4-1) и (4-2) примут вид:

$$z_{с.з1}^I \leq 0,85(z_{лI} + z_{отв} + z_{тI1}); \quad (4-1a)$$

$$z_{с.з1}^I \leq 0,85(z_{лI} + z_{лII} + z_{тI2}). \quad (4-2a)$$

В качестве расчетного принимается наименьшее из значений, полученных по формулам (4-1) — (4-3). Определим из сравнения (4-1) и (4-3), когда расчетным будет условие отстройки от к. з. за трансформатором ответвления. Примем в (4-1) и (4-3):

$$k_{т.тI1}=k_{тп}=k_{тIII}=1, \quad z_{отв}=0,$$

$$z_{лI} + z_{лII} + z_{лIII} = z_{л}, \quad z_{лI} = \alpha z_{л}.$$

Из (4-1) и (4-3)

$$z_{тI1} \leq z_{л}(1 - \alpha), \quad (4-4)$$

или для предельного случая, принимая $\alpha=0$, получим, что условие отстройки от к. з. за трансформатором ответвления будет расчетным при

$$z_{тI1} \leq z_{л}. \quad (4-4a)$$

Из выражения (4-4) можно получить, например, для линии 110 кВ и $x_{тр}=0,1$ при мощности трансформатора $S_{ном}=25$ Мва, что данное условие будет расчетным (т. е. наличие ответвлений будет приводить к укорочению длины зоны первой ступени дистанционной защиты по сравнению со случаем линии без ответвлений) при длине линии более 130 км; соответственно при $S_{ном}=40$ Мва — 80 км и при $S_{ном}=60$ Мва — 55 км.

Сопротивление срабатывания второй ступени защиты I (рис. 4-1) выбирается по следующим условиям:

а) по условию отстройки от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на

ответвлениях — по выражениям, аналогичным (4-1) — и (4-2);

б) по условию согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка (защита 2 на рис. 4-1):

$$z_{с.з1}^{II} \leq 0,85 \left(z_{лI} + \frac{z_{лII}}{k_{тII}} + \frac{z_{лIII}}{k_{тIII}} \right) + 0,78 \left(\frac{z_{лIV}}{k_{тIV}} + \frac{z_{с.з2}^I}{k_{тV}} + \frac{z_{лIV}}{k_{тV}} \right); \quad (4-5)$$

в) по условию отстройки от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения противоположной подстанции (подстанции II на рис. 4-1):

$$z_{с.з1}^{II} \leq 0,85 \left(z_{лI} + \frac{z_{лII}}{k_{тII}} + \frac{z_{лIII}}{k_{тIII}} + \frac{z_{тр3}}{k_{ттр3}} \right). \quad (4-6)$$

В (4-5) $z_{с.з2}^I$ — сопротивление срабатывания первой ступени защиты 2 (рис. 4-1). Аналогично предыдущему, в качестве расчетных коэффициентов токораспределения в выражениях (4-1), (4-2), (4-5) и (4-6) должны приниматься их максимальные значения. Также аналогично предыдущему, $z_{тр3}$ в выражении (4-6) — минимальное возможное при регулировании напряжения значение сопротивления трансформатора Тр3.

В качестве расчетного значения $z_{с.з1}^{II}$ принимается наименьшее из полученных значений. Если расчетным явилось условие «а» и защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, параметры срабатывания второй ступени защиты выбирают по условию согласования с максимальными защитами трансформаторов на ответвлении, либо с быстродействующими ступенями защит линий, отходящих от шин низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях. Согласование второй ступени защиты по времени с максимальными защитами трансформаторов приводит к значительному увеличению их выдержек времени; при согласовании с быстродействующими ступенями защит линий необходима установка быстродействующей защиты шин низшего (среднего) напряжения подстанции на ответвлениях для предотвращения неселективного отключения линии при к. з. на этих шинах; при этом также следует учитывать возможность неправильного действия дистанционной защиты при отказе защиты или выключателя

на стороне низшего (среднего) напряжения трансформатора.

Определим условия, при которых сопротивление срабатывания второй ступени дистанционной защиты, выбранное из условия отстройки от к. з. за трансформатором ответвления, удовлетворяет требованиям чувствительности при к. з. на линии.

В предельном случае при $z_{л1} = z_{отв} = 0$ из выражения, аналогичного (4-1а), получим:

$$z_{с.з.1}^{\Pi} \leq 0,85 z_{т1}. \quad (4-16)$$

Условие чувствительности для второй ступени дистанционной защиты [Л. 11] для случая отсутствия питания со сторон ответвлений (подстанций IV и V):

$$z_{с.з.1}^{\Pi} \geq 1,25 z_{л}. \quad (4-7)$$

Из (4-16) и (4-7) следует:

$$0,68 z_{т1} \geq z_{л}. \quad (4-8)$$

При сохранении условия (4-8) вторая ступень дистанционной защиты удовлетворяет требованию чувствительности, если расчетной является отстройка от к. з. за трансформатором ответвления.

Из (4-8) можно, например, получить, что для линии 110 кВ и $x_{тр} = 0,1$ данное условие сохраняется при мощности трансформатора $S_{ном} = 25$ Мва для линий длиной не более 90 км, при $S_{ном} = 40$ Мва — 56 км и $S_{ном} = 60$ Мва — 38 км. Как видно из рассмотренного примера, выполнить вторую ступень дистанционной защиты, отстроенной от к. з., за трансформатором ответвления в ряде реальных случаев не представляется возможным.

Параметры срабатывания пусковых органов. При выборе параметров срабатывания пусковых органов дистанционной защиты, установленной со стороны основных питающих концов, необходимо в дополнение к расчетным условиям для пусковых органов защиты линий без ответвлений [Л. 10] учитывать также условие отстройки от режима самозапуска нагрузки подстанций, питающихся от данной линии (в том числе и подстанций на ответвлениях), при включении защищаемой линии со стороны, где расположена рассматриваемая защита.

Первичный ток срабатывания пускового органа тока по данному условию:

$$I_{с.з} \geq k_n k_{самозап} I_{раб.макс}, \quad (4-9)$$

где $I_{раб.макс}$ — максимальный рабочий ток, равный сумме максимальных токов нагрузки подстанций, питающихся от данной линии;

$k_n = 1,2$ — коэффициент надежности;

$k_{самозап}$ — коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске заторможенных двигателей.

Первичное сопротивление срабатывания:

пускового органа — реле полного сопротивления

$$z_{с.з} \leq \frac{z_{мин}}{k_n} \quad (4-10)$$

пускового органа — направленного реле сопротивления

$$z_{с.з} \leq \frac{z_{мин}}{k_n \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_{раб})}, \quad (4-11)$$

где k_n — то же, что в (4-9), принимается равным 1,1;

$\varphi_{раб}$ — угол полного сопротивления нагрузки в режиме самозапуска;

$\varphi_{м.ч}$ — угол максимальной чувствительности реле;

$$z_{мин} = \frac{U_{мин}}{\sqrt{3} k_{самозап} I_{раб.макс}}, \quad (4-12)$$

где

$U_{мин}$ — минимальное значение междупазного напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска; ориентировочно может быть принято равным $(0,8 \div 0,9) U_{раб}$;

$I_{раб.макс}$ и $k_{самозап}$ — то же, что в (4-9).

При применении для дистанционной защиты комбинированного пускового органа по току и напряжению отстройка от режима самозапуска производится по напряжению. Первичное напряжение срабатывания пускового органа напряжения по данному условию выбирается в соответствии с выражением:

$$U_{с.з} \leq \frac{U_{мин}}{k_n}. \quad (4-13)$$

Следует отметить, что при выборе параметров срабатывания, ускоряемых после включения выключателя ступеней дистанционной защиты (второй или третьей), необходимо учитывать условие отстройки их от броска

тока намагничивания трансформаторов на ответвлении при включении линии под напряжение. Так, например, в случае ускорения третьей ступени (пускового органа тока) дистанционной защиты типа ПЗ-152 и отсутствия в цепи ускорения дополнительного замедления ток срабатывания этой ступени по рассматриваемому условию может быть приближенно определен (в предположении, что все ответвления приключены непосредственно вблизи места установки рассматриваемой защиты) как

$$I_{с.з.} = (3-4) I_{\text{ном.сум}},$$

где $I_{\text{ном.сум}}$ — суммарный номинальный ток трансформаторов на ответвлениях.

Чувствительность дистанционной защиты. Как указано выше (§ 1-3), наличие ответвлений приводит к снижению чувствительности защиты по сравнению со случаем установки ее на линиях без ответвлений как при к. з. в конце линии (при наличии питания со стороны ответвлений), так и при к. з. у шин подстанции на ответвлении из-за подпитки места повреждения со стороны других концов линии (при значительной длине ответвления). Коэффициент чувствительности дистанционной защиты (дистанционного органа или пускового органа сопротивления)

$$k_{\text{ч}} = \frac{z_{с.з.1}}{z_{з.1}}, \quad (4-14)$$

где $z_{з.1}$ — сопротивление, подведенное к защите 1 при к. з. в точке K_4 (рис. 4-1):

$$z_{з.1} = z_{лI} + \frac{z_{лII}}{k_{тII}} + \frac{z_{лIII}}{k_{тIII}}; \quad (4-15)$$

при к. з. в точке K_5

$$z_{з.1} = z_{лI} + \frac{z_{отвI}}{k_{т.трI}}. \quad (4-16)$$

Обозначения в (4-15) и (4-16) аналогичны обозначениям в (4-1) — (4-3).

Для случая к. з. в конце линии (точка K_4) из (4-15) можно получить следующее значение отношения коэффициента чувствительности дистанционной защиты при отсутствии ответвлений или (приближенно) при от-

сутствии питания со стороны ответвлений $k'_{\text{ч}}$ к коэффициенту чувствительности защиты при наличии ответвлений $k''_{\text{ч}}$:

$$\frac{k'_{\text{ч}}}{k''_{\text{ч}}} = \alpha + \frac{1 - \alpha - \beta}{k_{тII}} + \frac{\beta}{k_{тIII}}, \quad (4-17)$$

где

$$\alpha = \frac{z_{лI}}{z_{з.1}}; \quad \beta = \frac{z_{лIII}}{z_{з.1}}.$$

Выражение (4-17) показывает, во сколько раз грублея защита из-за наличия питания со стороны ответвлений по сравнению со случаем отсутствия ответвлений или отсутствия питания со стороны ответвлений.

Так, например, при $\alpha = \beta = 0,3$, $k_{тII} = 0,7$ и $k_{тIII} = 0,6$ из выражения (4-17) можно получить:

$$\frac{k'_{\text{ч}}}{k''_{\text{ч}}} = 0,3 + \frac{1 - 0,3 - 0,3}{0,7} + \frac{0,3}{0,6} \approx 1,4.$$

Очевидно, что во всех случаях расчетными для проверки чувствительности следует принимать режимы, соответствующие максимальным значениям $z_{з.1}$, т. е. принимать в выражениях (4-15) и (4-16) минимальные значения коэффициентов токораспределения $k_{тII}$, $k_{тIII}$, $k_{т.трI}$.

Следует отметить, что при отсутствии питания со стороны ответвлений обычно принимается $k_{тII} = k_{тIII} = 1$. Однако в действительности, благодаря влиянию нагрузки на ответвлениях, указанные коэффициенты токораспределения отличны от 1; поскольку вторая и третья ступени защиты действуют с выдержкой времени, можно считать, что при учете нагрузки коэффициенты токораспределения больше 1; последнее, как видно из (4-17), приводит к увеличению чувствительности защиты по сравнению со случаем неучета нагрузки на ответвлениях.

На чувствительность дистанционной защиты влияет также длина ответвления. При достаточно длинном ответвлении расчетным для проверки чувствительности может оказаться к. з. у шин подстанции на ответвлении, а не к. з. в конце защищаемой линии. Для случая отсутствия питания со стороны ответвлений из выражений (4-15) и (4-16) можно получить, что указанное будет иметь место, если

$$1 < \alpha + \frac{\gamma}{k_{т.трI}}, \quad (4-18)$$

где

$$\gamma = \frac{z_{отв1}}{z_{л}}$$

Из (4-18) можно определить, при какой длине ответвления короткое замыкание в конце ответвления является расчетным для проверки чувствительности. Так, например, для симметричной схемы линии ($\alpha=0,5$; $k_{т.тр1}=0,5$) получим $\gamma=0,25$.

Некоторые дополнительные вопросы, связанные с расчетом дистанционной защиты линий с ответвлениями, рассмотрены в гл. 8 применительно к линиям, питающим подстанции электрифицированных железных дорог.

4-2. ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА, УСТАНОВЛИВАЕМАЯ СО СТОРОНЫ ОТВЕТВЛЕНИЯ

Дистанционная защита на ответвлении устанавливается при наличии питания со стороны ответвления для действия при многофазных коротких замыканиях на линии (например, защита 3 на рис. 4-2) в случаях, если более простые защиты (токовые) не удовлетворяют требованиям чувствительности, селективности или быстроты действия.

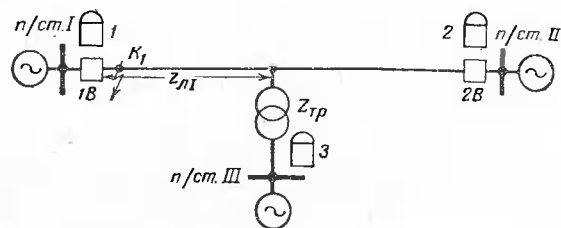


Рис. 4-2. Линия с одним ответвлением.

Дистанционная защита может устанавливаться как в качестве основной, так и в качестве резервной. В последнем случае на подстанции ответвления устанавливается полуконтакт основной быстродействующей защиты, например высокочастотной (см. гл. 5 и 6).

При любой схеме электрических соединений подстанции на ответвлении, кроме схемы блока трансформатор — линия или автотрансформатор — линия (при схеме со сборными шинами, мостиковой схеме и т. д.), дистанционная защита на этой подстанции выполняется,

как правило, таким же образом, как и на остальных питающих концах линии. При блочной схеме подстанции на ответвлении выполнение дистанционной защиты имеет ряд особенностей, которые в основном связаны с тем, что в данном случае со стороны высшего напряжения трансформаторы напряжения могут не устанавливаться; при этом питание цепей напряжения защит линии осуществляется от трансформаторов напряжения со стороны среднего или низшего напряжения.

В схемах блока трансформатор (автотрансформатор) — линия при питании защиты от трансформаторов напряжения, установленных на стороне среднего (низшего) напряжения, на значение сопротивления на зажимах защиты оказывают влияние следующие факторы:

- а) значение сопротивления трансформатора (автотрансформатора);
- б) наличие на трансформаторе (автотрансформаторе) встроенного регулирования напряжения под нагрузкой;
- в) угол полного сопротивления трансформатора (автотрансформатора).

Влияние значения сопротивления трансформатора приводит по сравнению со случаем установки отдельной защиты к сокращению длины зоны, охватываемой первой ступенью защиты, и снижению чувствительности второй и третьей ступеней. Указанное объясняется тем, что при питании цепей напряжения дистанционной защиты от трансформаторов напряжения, установленных со стороны среднего или низшего напряжений трансформатора, в зону действия защиты входит сопротивление трансформатора между линией и местом установки трансформаторов напряжения.

При наличии встроенного регулирования напряжения под нагрузкой значение сопротивления срабатывания защиты, а также значение сопротивления, подводимого к защите при повреждениях на защищаемой линии, зависит от используемого ответвления устройства регулирования напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока.

Указанные вопросы более подробно рассматриваются ниже.

В связи с установкой трансформаторов напряжения защиты на стороне среднего или низшего напряжения и при использовании для осуществления дистанционной защиты направленных реле сопротивления их угол мак-

симальной чувствительности целесообразно выполнять максимально возможным, поскольку в связи с большим индуктивным сопротивлением трансформатора блока угол суммарного сопротивления трансформатора и линии обычно превышает это максимально возможное значение.

а) Выполнение защиты

Дистанционная защита со стороны подстанции на ответвлении со схемой электрических соединений блок трансформатор — линия может выполняться, как правило, одно- или двухступенчатой. Двухступенчатая дистанционная защита может использоваться в качестве основной или в качестве резервной. При этом первая ступень защиты может быть выполнена как без выдержки времени, так и с выдержкой времени. Выполнение первой ступени с выдержкой времени целесообразно, когда требуется резервирование действия защиты и выключателя предыдущей линии; в случае использования защиты в качестве основной это возможно только, если остаточное напряжение на шинах низшего (среднего) напряжения, через которые осуществляется параллельная работа генерирующих источников, при трехфазном к. з. на выводах трансформатора больше $0,6U_{ном}$ [Л. 11]. В этом случае в качестве основной может быть применена одноступенчатая защита. Последняя может использоваться также и в качестве резервной. При использовании защиты как в качестве основной, так и в качестве резервной функции резервирования действия защиты и выключателя предыдущей линии (далее резервирование) на нее не возлагаются.

Использование (в качестве основной) трехступенчатой дистанционной защиты может оказаться целесообразным только в сравнительно редких случаях. Это объясняется тем, что применение первой ступени защиты без выдержки времени в ряде случаев не требуется или ввиду малой длины защищаемой ею зоны (см. § 4-3), или в связи с тем, что при трехфазном к. з. на выводах высшего напряжения трансформатора ответвления остаточное напряжение на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции (станции), подключаемой к ответвлению, больше $0,6U_{ном}$. В случаях же, когда используется первая ступень без выдержки времени, применение трехступенчатой защиты также может оказаться нецелесо-

образным, поскольку затруднительно обеспечить надежное резервное действие третьей ступени защиты при к. з. на предыдущем участке из-за сокращения длины зоны защиты как в связи с установкой трансформаторов напряжения на стороне среднего (низшего) напряжения, так и в связи с влиянием подпитки места повреждения с основной стороны линии, противоположной месту к. з.

При блоке с двухобмоточным трансформатором для питания дистанционной защиты могут быть использованы трансформаторы тока, установленные на стороне защищаемой линии, или на стороне низшего напряжения трансформатора. В последнем случае рассматриваемая защита одновременно резервирует защиту трансформатора блока, при этом может не устанавливаться специальная защита трансформатора от внешних междуфазных коротких замыканий.

Однако, как видно из выражений, приведенных ниже [(4-30) и (4-31)], использование для рассматриваемой защиты трансформаторов тока, установленных со стороны низшего напряжения трансформатора блока, связано с недостатком, заключающимся в том, что при этом защищаемая зона или чувствительность защиты уменьшаются (при наличии встроенного регулирования напряжения под нагрузкой) в большей мере, чем при использовании трансформаторов тока, установленных со стороны высшего напряжения. На рис. 4-3 приведены схемы включения трансформаторов тока и векторные диаграммы токов в месте установки дистанционной защиты для случая соединения обмоток трансформатора по схеме Y/Δ-11 для трех вариантов: трансформаторы тока устанавливаются со стороны высшего напряжения и соединяются в звезду (рис. 4-3,а), устанавливаются со стороны низшего напряжения и соединяются в звезду (рис. 4-3,б) и в треугольник (рис. 4-3,в). Как видно из этих схем, все варианты обеспечивают подвод к реле тока одного и того же направления, однако значение тока, подводимого к реле, зависит от варианта включения трансформаторов тока (значения токов, подводимых к реле, для этих вариантов находятся в отношении

$1 : \frac{2}{\sqrt{3}} : \sqrt{3}$), что должно быть учтено при выборе вторичных сопротивлений срабатывания реле сопротивления [см. (4-26) — (4-28)].

Следует отметить, что приведенное на рис. 4-3 рассмотрение дано для случая трехфазного к. з. Можно показать, что полученные выводы справедливы также и для случая замыкания между двумя фазами.

Следует отметить также, что при использовании для защиты трансформаторов тока, установленных на стороне низшего напряжения трансформатора блока, их целесообразно соединять в треугольник (рис. 4-3, в). При этом

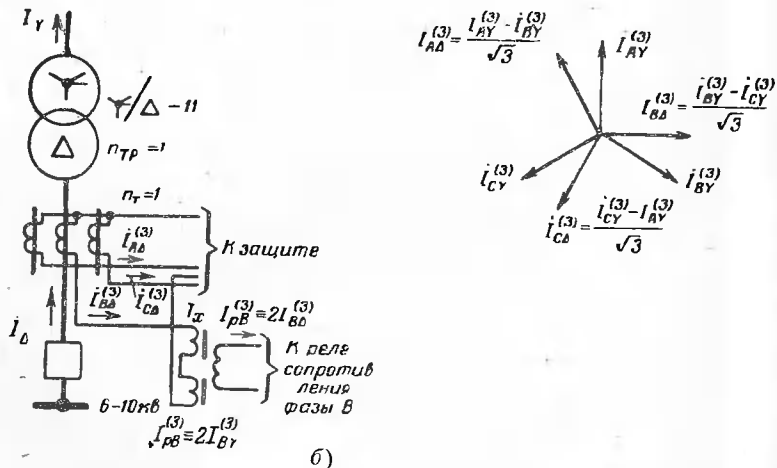
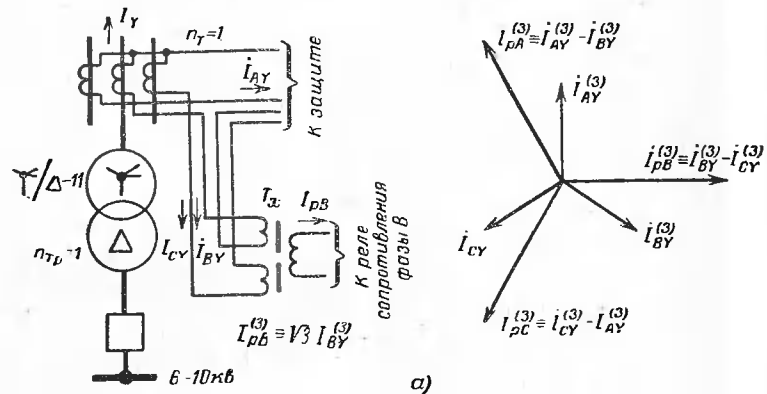
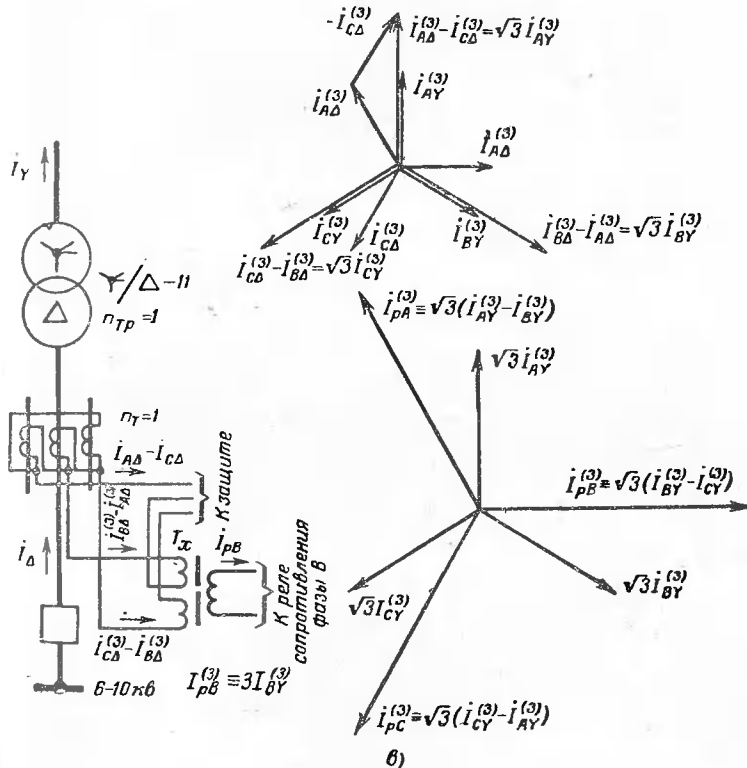


Рис. 4-3. Схемы включения трансформаторов тока, установленные со стороны высшего напряжения; а — трансформаторы тока установлены со стороны высшего напряжения; и соединены в звезду; б — трансформаторы тока установлены со стороны низшего напряжения трансформатора блока, их целесообразно соединять в треугольник. 1. На схемах условно показано включение трансформаторов в двух других фазах производится аналогично с учетом 2. Векторные диаграммы построены для случая трехфазного к. з. 3. Условно принято, что коэффициент трансформации трансформатора

сохраняется такая же схема включения реле (на разность токов), что и при использовании для защиты трансформаторов тока, установленных на стороне защищаемой линии.

Для блока двухобмоточный трансформатор — линия цепи напряжения защиты линии могут быть включены на трансформаторы напряжения стороны низшего напряжения трансформатора блока, причем могут быть использованы трансформаторы напряжения шин или трансформаторы напряжения на ответвлении от выводов низшего напряжения трансформатора блока. При этом



лленных со стороны высшего и низшего напряжений.

б — трансформаторы тока установлены со стороны низшего напряжения трансформатора блока, их целесообразно соединять в треугольник. 1. На схемах условно показано включение трансформаторов в двух других фазах производится аналогично с учетом 2. Векторные диаграммы построены для случая трехфазного к. з. 3. Условно принято, что коэффициент трансформации трансформатора

$n_{TP}=1$ и коэффициент трансформации трансформаторов тока $n_T=1$.

защита должна быть включена на фазные напряжения относительно нулевой точки системы, которые соответствуют междофазным напряжениям со стороны высшего напряжения.

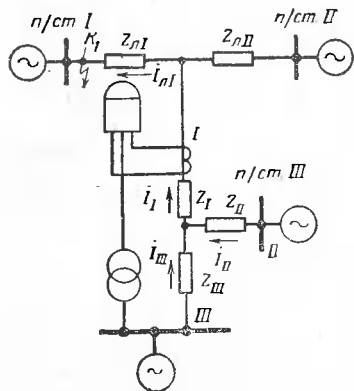


Рис. 4-4. Включение реле сопротивления на трансформаторы тока стороны высшего напряжения и трансформаторы напряжения стороны низшего напряжения трехобмоточного трансформатора (расчетная схема).

I, II, III — стороны высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора; I_I, I_{II}, I_{III} — токи в обмотках высшего, среднего и низшего напряжений; z_I, z_{II}, z_{III} — сопротивления сторон, соответственно, высшего, среднего и низшего напряжений в схеме замещения трансформатора; $z_{лI}$ и $z_{лII}$ — сопротивления участков линии от места разветвления до шин питающих подстанций I и II .

Для блока трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия защита включается на трансформаторы тока, установленные на стороне защищаемой линии. Цепи напряжения защиты включаются на трансформаторы напряжения, установленные на стороне его низшего или среднего напряжений. При этом сопротивление на зажимах реле зависит от того, на какой стороне установлены трансформаторы напряжения и от значения тока подпитки со стороны, где трансформаторы напряжения не использованы для релейной защиты линии (рис. 4-4).

Напряжение в месте включения защиты (на стороне III) при к. з. в точке K_1 :

$$U_3 = I_{лI} z_{лI} + I_I z_I + (I_I - I_{II}) z_{III}.$$

Сопротивление, подводимое к защите при к. з. в точке K_1 :

$$z_3 = \frac{U_3}{I_I} = z_{лI} \frac{I_{лI}}{I_I} + z_I + z_{III} \left(1 - \frac{I_{II}}{I_I}\right). \quad (4-19)$$

Как видно из (4-19), в общее сопротивление z_3 входит величина, зависящая от сопротивления трансформатора, пропорциональная сопротивлению от места установки трансформаторов напряжения до места установки трансформаторов тока при условиях: если сопротивление сто-

роны трансформатора, где установлены трансформаторы напряжения, близко к 0 ($z_{III} \approx 0$), или если отсутствует подпитка с той стороны, где трансформаторы напряжения не используются для дистанционной защиты ($I_{II} = 0$).

Следует отметить, что при сохранении указанных условий, и если не учитывается питание со стороны подстанции II ($I_{лI} = I_I$), сопротивление, подводенное к защите, пропорционально суммарному сопротивлению от места установки трансформаторов напряжения до места повреждения.

При отсутствии питания со стороны III защита может быть включена на трансформаторы тока, установленные на стороне II . При этом все рассмотренные соотношения остаются справедливыми.

б) Компенсация сопротивления трансформатора

Если указанные условия ($z_{III} \approx 0$ или $I_{II} = 0$) не имеют места, влияние подпитки с третьей стороны трансформатора может быть исключено применением компенсации падения напряжения в сопротивлении той стороны трансформатора, где установлены трансформаторы напряжения, используемые для защиты, т. е. в сопротивлении $z_{лI}$ (рис. 4-4).

Необходимо отметить, что исключение сопротивления трансформатора из зоны защиты с помощью компенсации падения напряжения в этом сопротивлении не приведет к увеличению длины зоны, защищаемой первой ступенью. Указанное объясняется тем, что компенсирующее устройство в целях обеспечения селективности должно настраиваться на недокомпенсацию, поскольку в противном случае сопротивление на защите может оказаться преуменьшенным из-за ошибок компенсирующего устройства, обуславливающих перекомпенсацию. Для первой ступени защиты доля длины незащищенной части участка линии составляет $m(z_{лI} + z_{тр})$, где m — коэффициент, характеризующий погрешности реле, а также расчета; $z_{лI}$ — сопротивление участка защищаемой линии между местом установки трансформатора блока и шинами противоположной подстанции, $z_{тр}$ — сопротивление трансформатора от места его присоединения к линии до места установки трансформаторов напряжения защиты. При наличии компенсации погрешность компенси-

рующего устройства можно приближенно принять равной погрешности реле; при этом незащищенная часть линии равна сумме некомпенсированного сопротивления трансформатора ($mz_{\text{тр}}$) и не охваченной защитой (по условию селективного выбора уставки реле) части линии ($mz_{\text{лI}}$), т. е. $mz_{\text{тр}} + mz_{\text{лI}} = m(z_{\text{лI}} + z_{\text{тр}})$.

Применение компенсации падения напряжения в сопротивлении трансформатора (автотрансформатора) блока целесообразно также для повышения чувствительности второй и третьей ступеней защиты.

При отсутствии компенсации коэффициент чувствительности второй ступени защиты со стороны блока двухобмоточный трансформатор — линия (например, защиты 3 при к. з. в точке K_1 на рис. 4-2) составляет при отключенном выключателе 2В и при неучете регулирования коэффициента трансформации трансформатора под нагрузкой:

$$k_{\text{ч}} = \frac{z_{\text{с.з}}^{\text{II}}}{z_{\text{а}}} = \frac{(1-m)(z_{\text{тр}} + z_{\text{лI}}) + \Delta z}{z_{\text{тр}} + z_{\text{лI}}}. \quad (4-20)$$

При наличии компенсации

$$k'_{\text{ч}} = \frac{mz_{\text{тр}} + (1-m)z_{\text{лI}} + \Delta z}{z_{\text{тр}} + z_{\text{лI}}}, \quad (4-21)$$

где Δz — дополнительное сопротивление, определяемое из расчетного условия для выбора сопротивления срабатывания второй ступени, например, по условию согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка, аналогичному выражению (4-24).

Как видно из сравнения (4-20) и (4-21), $k'_{\text{ч}} > k_{\text{ч}}$.

При выборе сопротивления срабатывания третьей ступени защиты по условию отстройки от нагрузочного режима или режима самозапуска коэффициент чувствительности этой ступени защиты при отсутствии компенсации (без учета регулирования коэффициента трансформации под нагрузкой)

$$k_{\text{ч}} = \frac{z_{\text{с.з}}^{\text{III}}}{z_{\text{тр}} + z_{\text{лI}}},$$

а при наличии компенсации $k'_{\text{ч}} = \frac{z_{\text{с.з}}^{\text{III}}}{mz_{\text{тр}} + z_{\text{лI}}}$, т. е. $k'_{\text{ч}}$ боль-

ше $k_{\text{ч}}$ в $\frac{z_{\text{тр}} + z_{\text{лI}}}{mz_{\text{тр}} + z_{\text{лI}}}$ раз.

в) Цепи напряжения защиты линий блока трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия

Цепи напряжения дистанционной защиты линии блока трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия, в общем случае, как указано выше, могут питаться от трансформаторов напряжения, установленных как на стороне среднего, так и на стороне низшего напряжения. При этом с целью обеспечения правильного замера сопротивления петли короткого замыкания при повреждении на линии для блока с трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) и соединением обмоток $Y/Y/\Delta$ -12/11 защита включается:

на фазные напряжения относительно нулевой точки системы при использовании для защиты трансформаторов напряжения, установленных на стороне низшего напряжения трансформатора (автотрансформатора);

на междофазные напряжения при использовании для защиты трансформаторов напряжения, установленных на стороне среднего напряжения трансформатора (автотрансформатора).

При наличии питания как со стороны среднего, так и со стороны низшего напряжения цепи напряжения наиболее целесообразно приключать к трансформаторам напряжения, присоединенным на ответвлении к трансформатору со стороны выводов низшего напряжения. Питание цепей напряжения от трансформаторов напряжения шин, как правило, нецелесообразно, поскольку при отключении выключателя трансформатора той стороны, трансформаторы напряжения которой используют-ся для защиты, последняя должна выводиться из действия во избежание ее неправильного срабатывания. Указанное может иметь место вследствие подвода к защите несоответствующих токам напряжений или отсутствия напряжения на защите, когда последняя может сработать под действием токов нагрузки. Следует отметить, что цепи напряжения защиты для возможности ввода ее в действие после отключения выключателя со стороны установки трансформаторов напряжения могли бы быть переведены на питание от трансформаторов напряжения шин другого напряжения. Однако в связи с тем, что необходимо изменение уставок [см. (4-26) — (4-28)] при переключении питания цепей напряжения практически не может производиться из-за эксплуатационных не-

удобств, указанное переключение может привести либо к значительному загроблению защиты, либо, наоборот, к неправильному действию при к. з. вне защищаемой зоны.

При отсутствии питания со стороны среднего или низшего напряжения, если не имеется трансформаторов напряжения, присоединенных на ответвлении со стороны низшего напряжения трансформатора, наиболее целесообразным является питание цепей напряжения от трансформаторов напряжения шин той из сторон, где имеется питание.

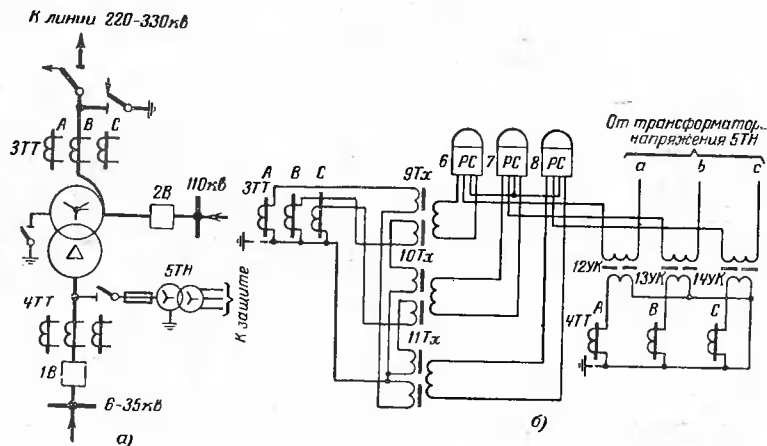


Рис. 4-5. Принципиальная схема включения реле сопротивления дистанционной защиты для блока автотрансформатор — линия.

а — поясняющая схема; б — схема цепей переменного тока и напряжения. 1В, 2В — выключатели; 3ТТ, 4ТТ — трансформаторы тока; 5ТН — трансформатор напряжения; 6РС—8РС — реле сопротивления защиты; 9Тх—11Тх — трансформаторы реле сопротивления (условно показаны вынесенными); 12УК—14УК — устройства компенсации.

В этом случае при отключении выключателя трансформатора со стороны шин, к которым приключены трансформаторы напряжения, питающие защиту, последнюю может оказаться необходимым выводить из действия во избежание ее неправильного срабатывания.

На рис. 4-5 в качестве примера дана принципиальная схема включения цепей тока и напряжения трех реле сопротивления, используемых для дистанционной защиты линии блока автотрансформатор — линия. Для защиты использованы трансформаторы тока, установленные на стороне высшего напряжения автотрансфор-

матора блока, и трансформаторы напряжения на ответвлении со стороны низшего напряжения автотрансформатора. Реле сопротивления защиты включены на разность фазных токов стороны высшего напряжения автотрансформатора и на фазные напряжения относительно нулевой точки системы со стороны низшего напряжения автотрансформатора. Схема дана для случая, когда сопротивление обмотки низшего напряжения автотрансформатора не равно нулю и имеется питание как со стороны среднего, так и со стороны низшего напряжений. В связи с этим в схеме предусмотрены устройства 12УК — 14УК для компенсации падения напряжения в сопротивлении обмотки низшего напряжения автотрансформатора. Устройства компенсации выполнены в виде трансреакторов, первичные обмотки которых включены на трансформаторы тока, установленные на стороне низшего напряжения автотрансформатора блока, а вторичные — в цепи напряжения защиты линии. Остальные цепи защиты (оперативные, цепи блокировки при качаниях, блокировки при неисправностях цепей напряжения и др.) выполняются так же, как и для обычного случая. Защита должна действовать на отключение выключателей автотрансформатора тех сторон, откуда имеется питание или может быть подано напряжение (например, при действии АВР).

4-3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ СО СТОРОНЫ ОТВЕТВЛЕНИЯ

Отличия расчета дистанционной защиты, установленной со стороны ответвления, от расчета защиты, установленной со стороны основного питающего конца, связаны в основном с использованием для защиты трансформаторов напряжения, установленных со стороны обмотки низшего или среднего напряжения трансформатора или автотрансформатора ответвления (при схеме блока трансформатор — линия).

Указанное, как отмечено выше, приводит к сокращению доли длины линии, защищаемой первой ступенью, и снижению чувствительности второй и третьей ступеней защиты. Это определяется следующим:

1. При применении первой ступени защиты без выдержки времени не защищенная ею часть линии больше,

чем при использовании трансформаторов напряжения со стороны высшего напряжения. Для схемы блока трансформатор — линия указанное увеличение доли длины линии, не защищенной первой ступенью защиты, составляет (без учета встроенного регулирования напряжения под нагрузкой):

$$m(z_{\text{тр}} + z_{\text{л}}) - mz_{\text{л}} = mz_{\text{тр}},$$

где m — коэффициент, характеризующий погрешности реле сопротивления, а также расчета.

2. Сопротивление на зажимах реле при повреждении в конце линии в случае использования для защиты трансформаторов напряжения стороны низшего (среднего) напряжения, по сравнению со случаем использования для этой цели трансформаторов напряжения стороны высшего напряжения, увеличивается в большей степени, чем сопротивление срабатывания второй ступени защиты, что объясняется относительно меньшим влиянием сопротивления трансформатора на значение последнего, чем на значение сопротивления на зажимах реле при повреждении в конце линии. Сопротивление срабатывания третьей ступени защиты практически не зависит от того, трансформаторы напряжения какой стороны используются для защиты.

3. При наличии встроенного регулирования напряжения под нагрузкой сопротивление трансформатора (автотрансформатора), а также вторичное сопротивление на зажимах реле защиты зависят от коэффициента трансформации этого трансформатора (автотрансформатора). Первичные сопротивления срабатывания защиты и вторичные сопротивления срабатывания реле определяются для различных (расчетных) коэффициентов трансформации трансформатора (автотрансформатора). Расчеты по селективности и по чувствительности производятся также для различных коэффициентов трансформации и сопротивлений трансформатора (автотрансформатора).

а) Первичные сопротивления срабатывания защиты

В табл. 4-1 даны основные расчетные выражения для определения первичных сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты, установленной со стороны ответвления (защита I на рис. 4-6).

Таблица 4-1

Расчетные выражения для определения сопротивления срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты (I на рис. 4-6) со стороны ответвления при включении ее на трансформаторы напряжения стороны низшего напряжения

Ступень защиты	Расчетное условие	Расчетное выражение
Первая	Отстройка от к. з. на шинах противоположной подстанции (точка K_1)	$z_{\text{с.зI}}^I \leq 0,85 \left(z_{\text{тр}} + z_{\text{отв}} + \frac{z_{\text{лI}}}{k_{\text{тI}}} \right) \quad (4-22)$
Первая	Отстройка от к. з. на шинах противоположной подстанции (точка K_2)	$z_{\text{с.зI}}^I \leq 0,85 \left(z_{\text{тр}} + z_{\text{отв}} + \frac{z_{\text{лII}}}{k_{\text{тII}}} \right) \quad (4-23)$
Вторая	Согласование с первой ступенью защиты 2	$z_{\text{с.зI}}^{\text{II}} \leq 0,85 \left(z_{\text{тр}} + z_{\text{отв}} + \frac{z_{\text{лII}}}{k_{\text{тII}}} \right) + \frac{0,66z_{\text{лIII}}}{k_{\text{тIII}}} \quad (4-24)$
Вторая	Отстройка от к. з. на шинах низшего напряжения противоположной подстанции (точка K_3)	$z_{\text{с.зI}}^{\text{II}} \leq 0,85 \left(z_{\text{тр}} + z_{\text{отв}} + \frac{z_{\text{лII}}}{k_{\text{тII}}} + \frac{z_{\text{трI}}}{k_{\text{т.трI}}} \right) \quad (4-25)$

Примечания: 1. Значения коэффициентов токораспределения определяются для соответствующих расчетных точек к. з.:

$$k_{\text{тI}} = \frac{I_{\text{тр}}}{I_{\text{I}}}; k_{\text{тII}} = \frac{I_{\text{тр}}}{I_{\text{II}}};$$

$$k_{\text{тIII}} = \frac{I_{\text{тр}}}{I_{\text{III}}}; k_{\text{т.трI}} = \frac{I_{\text{тр}}}{I_{\text{трI}}}.$$

2. Остальные обозначения см. рис. 4-6,

Указанные выражения составлены для случая включения защиты на трансформаторы напряжения, установленные на стороне низшего напряжения блока двухобмоточный трансформатор — линия или трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия (в последнем случае при отсутствии питания со стороны среднего напряжения или равенстве нулю сопротивления обмот-

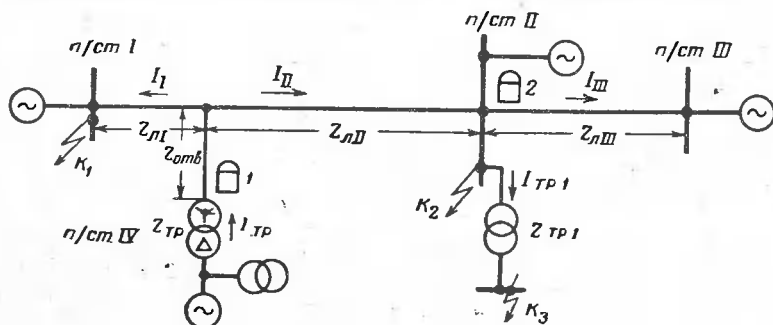


Рис. 4-6. Пример схемы линии с ответвлением для выбора уставок защиты со стороны ответвления.

$Z_{лI}, Z_{лII}, Z_{лIII}, Z_{отв}$ — сопротивления отдельных участков линии и ответвления; $Z_{тр}$ — сопротивление трансформатора на ответвлении; $Z_{трI}$ — сопротивление трансформатора подстанции II.

ки низшего напряжения). Эти выражения могут быть использованы также и для случаев включения защиты на трансформаторы напряжения, установленные на стороне среднего напряжения блока трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия, при отсутствии питания со стороны низшего напряжения или равенстве нулю сопротивления обмотки среднего напряжения. Во всех этих случаях под $Z_{тр}$ понимается возможное при регулировании напряжения под нагрузкой расчетное значение сопротивления трансформатора (автотрансформатора) между стороной высшего напряжения и стороной установки используемых для защиты трансформаторов напряжения. Выражения табл. 4-1 могут быть использованы также для случая блока трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия при наличии трехстороннего питания и неравенстве нулю сопротивления (в схеме замещения трансформатора и автотрансформатора) стороны того напряжения, где установлены используемые для защиты трансформаторы напряжения.

При этом в защите применяется компенсация падения напряжения в сопротивлении этой стороны трансформатора (автотрансформатора). В этом случае под $Z_{тр}$ надо понимать расчетное значение сопротивления стороны высшего напряжения в схеме замещения трансформатора (автотрансформатора).

Вопрос о выборе расчетного значения $Z_{тр}$ более подробно рассмотрен несколько ниже.

При определении сопротивлений срабатывания защиты по выражениям (4-22) — (4-25) в качестве расчетных должны рассматриваться режимы, в которых коэффициенты токораспределения имеют максимальные значения. Так, в частности, в качестве расчетного может быть принят режим, когда линия отключена с одного из противоположных концов; при этом в (4-22) $k_{TI}=1$ и в (4-23) — (4-25) $k_{TII}=1$.

Первичное сопротивление срабатывания третьей ступени защиты (пускового органа) должно быть отстроено от сопротивления в месте включения защиты в режиме максимальной нагрузки с учетом самозапуска двигателей. Указанная отстройка для направленного реле сопротивления производится по выражению [Л. 10]:

$$Z_{с.в}^{III} \leq \frac{Z_{мин}}{k_n k_b \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_{раб})}, \quad (4-11a)$$

где k_b — коэффициент возврата; остальные обозначения те же, что в (4-11), причем значение $\varphi_{м.ч}$ принимается максимально возможным.

В случае, если возможен самозапуск двигателей нагрузки линии при включении защищаемой линии со стороны рассматриваемого ответвления (например, в случае успешного АПВ), коэффициент k_b в (4-11a) не должен учитываться.

б) Учет влияния встроенного регулирования напряжения под нагрузкой

Расчетные выражения (4-22) — (4-25), а также (4-11a) не учитывают влияния изменения коэффициента трансформации трансформатора при регулировании напряжения под нагрузкой на сопротивление срабатывания защиты. Для учета указанного влияния при наличии встроенного регулирования напряжения под нагрузкой окончательный выбор уставок защиты наиболее целесо-

образно производить после определения вторичных сопротивлений срабатывания реле. По этой же причине проверку чувствительности защиты, а также определение длины зоны, защищаемой первой ступенью защиты, также целесообразно производить во вторичных величинах.

Сопротивление срабатывания реле $z_{с.р}$ дистанционной защиты, установленной со стороны ответвления, определяется исходя из значений первичного сопротивления срабатывания $z_{с.з}$, определенных по выражениям табл. 4-1 следующим образом [Л. 10].

При включении защиты на трансформаторы тока и напряжения, установленные со стороны низшего напряжения трансформатора блока (защита включена на разность токов по схеме рис. 4-3, в и фазные напряжения относительно нулевой точки системы),

$$z_{с.р} = \frac{n_T^{(H)}}{3n_H^{(H)}n_{тр}^2} z_{с.з}. \quad (4-26)$$

При включении защиты на трансформаторы напряжения, установленные со стороны низшего напряжения, и на трансформаторы тока, установленные со стороны высшего напряжения (защита включается на разность фазных токов и фазные напряжения относительно нулевой точки системы):

$$z_{с.р} = \frac{n_T^{(B)}}{\sqrt{3} n_H^{(H)} n_{тр}} z_{с.з}. \quad (4-27)$$

При включении защиты на трансформаторы напряжения, установленные со стороны среднего напряжения, и на трансформаторы тока, установленные со стороны высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока (защита включается на разность фазных токов и междуфазные напряжения):

$$z_{с.р} = \frac{n_T^{(B)}}{n_H^{(C)} n_{тр}} z_{с.з}. \quad (4-28)$$

В выражениях (4-26) — (4-28):

$z_{с.з}$ — первичное сопротивление срабатывания защиты, приведенное к напряжению на стороне защищаемой линии;

$n_{тр}$ — коэффициент трансформации двухобмоточного трансформатора блока или трехобмоточного трансформатора (автотрансформатора) — между стороной его высшего напряжения и стороной, где установлены используемые для защиты трансформаторы напряжения;

$n_T^{(H)}, n_T^{(B)}$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока, установленных, соответственно, на сторонах низшего и высшего напряжений;

n_H^H, n_H^C — коэффициенты трансформации трансформаторов напряжения, установленных, соответственно, на сторонах низшего и среднего напряжений.

Для каждой схемы включения защиты на трансформаторы тока и трансформаторы напряжения расчетным будет минимальное значение вторичного сопротивления срабатывания реле данной ступени защиты. Как видно из сравнения выражений (4-22) — (4-25) и (4-26) — (4-28), минимальное значение вторичного сопротивления срабатывания реле соответствует определенному реальному сочетанию $z_{тр}$ и $n_{тр}$, которое может иметь место при регулировании напряжения под нагрузкой. При этом для выявления минимального значения сопротивления срабатывания реле в общем случае может потребоваться расчет $z_{с.р}$ по соответствующему из выражений (4-26) — (4-28) для каждого из расчетных условий табл. 4-1.

Очевидно, что при проверке чувствительности вторичное сопротивление на зажимах реле в расчетных по чувствительности условиях должно определяться по выражениям, аналогичным (4-26) — (4-28), при таком реальном расчетном сочетании $z_{тр}$ и $n_{тр}$, которое соответствует максимальному значению этого сопротивления. При описанном методе выбора уставок защиты может оказаться необходимым рассмотрение в ряде случаев для каждого из условий селективности и чувствительности нескольких сочетаний $z_{тр}$ и $n_{тр}$. Очевидно также, что такой расчет является достаточно громоздким; в некоторых случаях он не может быть использован ввиду отсутствия данных, определяющих зависимость сопротивления трансформатора от коэффициента трансформации. В связи с этим при наличии регулирования напряжения под нагрузкой рекомендуется в целях упрощения производить расчеты приближенно (с запасом) следующим образом.

Первичное сопротивление срабатывания защиты, приведенное к стороне высшего напряжения, рассчитывается по (4-22) — (4-25) с учетом наименьшего возможного при регулировании сопротивления трансформатора $z_{тр.мин.}$. При этом в качестве сопротивлений срабатывания для первой и второй ступеней защиты принимаются наименьшие из сопротивлений, полученных по приведенным для данной ступени расчетным условиям [выражения (4-22) — (4-25)].

Вторичное сопротивление срабатывания реле рассчитывается по (4-26) — (4-28) с учетом наибольшего возможного коэффициента трансформации $n_{тр.макс.}$.

Коэффициент чувствительности защиты определяется по вторичным величинам:

$$k_{\chi} = \frac{z_{с.р.}}{z_p}, \quad (4-29)$$

где $z_{с.р.}$ — сопротивление срабатывания реле, определенное в соответствии с указанным выше;

z_p — вторичное сопротивление на зажимах реле; рассчитывается по выражениям, аналогичным (4-26) — (4-28), в которых первичные сопротивления на зажимах защиты определяются с учетом наибольшего возможного при регулировании сопротивления трансформатора $z_{тр.макс.}$, а коэффициент трансформации трансформатора принимается равным наименьшему возможному при регулировании значению $n_{тр.мин.}$.

Определение длины зоны, защищаемой первой ступенью защиты, производится во вторичных величинах.

В случаях, когда указанный метод расчета приводит к недопустимому заглублению защиты, требуется производить более точные расчеты с учетом действительных сочетаний $z_{тр}$ и $n_{тр.}$.

в) Оценка влияния места установки трансформаторов напряжения на чувствительность защиты и длину защищаемой зоны.

Оценим, как влияет установка трансформаторов напряжения со стороны среднего (низшего) напряжения трансформатора на ответвлении на снижение чувствительности защиты и длины защищаемой зоны. В случае, когда расчет производится описанным выше упрощенным методом, при включении защиты на трансформаторы тока

и напряжения, установленные со стороны низшего напряжения, коэффициент чувствительности для случая к. з. в точке K_2 (рис. 4-6)

$$k_{\chi}^{(H)} = \frac{n_T^{(H)} z_{с.з} 3n_N^{(H)} n_{тр.мин}^2}{3n_N^{(H)} n_{тр.макс}^2 n_T^{(H)} \left(z_{тр.макс} + z_{отв} + \frac{z_{лII}}{k_{тIIмин}} \right)} = \frac{z_{с.з}}{z_{тр.макс} + z_{отв} + \frac{z_{лII}}{k_{тIIмин}}} \left(\frac{n_{тр.мин}}{n_{тр.макс}} \right)^2, \quad (4-30)$$

где $n_{тр.мин}$ и $n_{тр.макс}$ — минимальное и максимальное значения коэффициента трансформации трансформатора блока между стороной высшего и низшего напряжений;

$z_{тр.макс}$ — максимальное значение сопротивления трансформатора, возможное при регулировании напряжения под нагрузкой;

$k_{тIIмин}$ — минимальное значение коэффициента тока-распределения $k_{тII} = I_{II}/I_{тр}$ (рис. 4-6).

При включении защиты на трансформаторы напряжения, установленные со стороны низшего напряжения, и трансформаторы тока со стороны высшего напряжения

$$k_{\chi}^{(H)} = \frac{z_{с.з}}{z_{тр.макс} + z_{отв} + \frac{z_{лII}}{k_{тIIмин}}} \cdot \frac{n_{тр.мин}}{n_{тр.макс}}. \quad (4-31)$$

Выражение (4-31) может быть также использовано для случая включения защиты на трансформаторы напряжения, установленные со стороны среднего напряжения, и на трансформаторы тока, установленные со стороны высшего напряжения; при этом $n_{тр}$ — коэффициент трансформации трансформатора блока между стороной высшего и среднего напряжений. Коэффициент чувствительности защиты I (рис. 4-6) для случая к. з. в точке K_1 определяется аналогично.

Рассмотрим, как снижается чувствительность второй ступени защиты при установке трансформаторов напряжения со стороны низшего напряжения трансформатора, по сравнению с установкой трансформаторов напряжения со стороны высшего напряжения. Для последнего случая сопротивление срабатывания второй ступени дистанционной защиты по условию согласования с первой ступенью защиты 2 (рис. 4-6):

$$z_{с.зI} \leq 0,85 \left(z_{отв} + \frac{z_{лII}}{k_{тIIмакс}} \right) + \frac{0,66 z_{лIII}}{k_{тIIIмакс}}. \quad (4-32)$$

Коэффициент чувствительности для этого случая при к. з. в точке K_2 на рис. 4-6:

$$k_{\chi}^{(B)} = \frac{0,85 \left(z_{отв} + \frac{z_{лII}}{k_{тIIмакс}} \right) + \frac{0,66 z_{лIII}}{k_{тIIIмакс}}}{z_{отв} + \frac{z_{лII}}{k_{тIIмин}}}. \quad (4-33)$$

Коэффициент чувствительности защиты при установке трансформаторов напряжения со стороны низшего (среднего) напряжения и трансформаторов тока со стороны высшего напряжения при выборе сопротивления срабатывания защиты I по (4-24) в соответствии с (4-31) равен:

$$k_q^{(H)} = \frac{0,85 \left(z_{тр.мин} + z_{отв} + \frac{z_{лII}}{k_{тIIмакс}} \right) + \frac{0,66 z_{лII}}{k_{тIIмакс}} \frac{n_{тр.мин}}{n_{тр.макс}}}{z_{тр.макс} + z_{отв} + \frac{z_{лII}}{k_{тIIмин}}}, \quad (4-34)$$

где $z_{тр.макс}$ и $z_{тр.мин}$, $n_{тр.макс}$ и $n_{тр.мин}$ — максимальные и минимальные сопротивления и соответственно коэффициенты трансформации трансформатора, возможные при регулировании напряжения под нагрузкой.

Принимая в целях упрощения в (4-33) и (4-34) $z_{отв}=0$, $k_{тIIмакс}=0,78 z_{лIII}$, $k_{тIIмин}=1$ и обозначая $\Delta z = \frac{0,78 z_{лIII}}{k_{тIIмакс}}$, получим из (4-33) и (4-34)

$$\begin{aligned} \frac{k_q^{(H)}}{k_q^{(B)}} &= \frac{0,85 z_{лII} \left(\frac{z_{тр.мин}}{z_{лII}} + 1 + \frac{\Delta z}{z_{лII}} \right) z_{лII} \frac{n_{тр.мин}}{n_{тр.макс}}}{z_{лII} \left(\frac{z_{тр.макс}}{z_{лII}} + 1 \right) 0,85 \left(1 + \frac{\Delta z}{z_{лII}} \right) z_{лII}} = \\ &= \frac{\left(\frac{z_{тр.мин}}{z_{лII}} + 1 + \frac{\Delta z}{z_{лII}} \right) \frac{n_{тр.мин}}{n_{тр.макс}}}{\left(\frac{z_{тр.макс}}{z_{лII}} + 1 \right) \left(1 + \frac{\Delta z}{z_{лII}} \right)} = \\ &= \frac{\left[\frac{z_{тр.мин}}{z_{лII}} - \frac{1}{1 + \frac{\Delta z}{z_{лII}}} + 1 \right] \frac{n_{тр.мин}}{n_{тр.макс}}}{\frac{z_{тр.макс}}{z_{лII}} + 1}. \end{aligned} \quad (4-35)$$

По аналогии с (4-35) получим для случая отсутствия регулирования напряжения под нагрузкой:

$$\left(\frac{k_q^{(H)}}{k_q^{(B)}} \right)_{(б.р)} = \frac{\frac{z_{тр.ср}}{z_{лII}} - \frac{1}{1 + \frac{\Delta z}{z_{лII}}} + 1}{\frac{z_{тр.ср}}{z_{лII}} + 1}. \quad (4-35a)$$

Для оценки влияния сопротивления трансформатора и регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой рассмотрим работающий в блоке с линией 220 кВ трехобмоточный трансформатор $220\,000 \pm 10 \cdot 1,2\% / 38\,500 / 6\,600$ в, у которого напряжения короткого замыкания:

при среднем коэффициенте трансформации $u_{к.в-н(ср)} = 19,1\%$,
при максимальном коэффициенте трансформации $u_{к.в-н(макс)} = 15,8\%$,
при минимальном коэффициенте трансформации $u_{к.в-н(мин)} = 23,9\%$.

Примем для рассматриваемого примера $\Delta z / z_{лII} = 1$.

С учетом принятых данных по выражению (4-35), в котором

$$z_{тр.мин} = \frac{15,8}{23,9} z_{тр.макс} = 0,66 z_{тр.макс}$$

и

$$\frac{n_{тр.мин}}{n_{тр.макс}} = \frac{1 - 0,12}{1 + 0,12} = 0,79,$$

и по выражению (4-35a), в котором

$$z_{тр.ср} = \frac{19,1}{23,9} z_{тр.макс} = 0,8 z_{тр.макс},$$

для различных значений отношения $z_{тр.макс} / z_{лII}$ получим значения отношений:

$$\frac{k_q^{(H)}}{k_q^{(B)}} \text{ и } \left(\frac{k_q^{(H)}}{k_q^{(B)}} \right)_{(б.р)}$$

Результаты расчетов сведены в табл. 4-2.

Таблица 4-2

$\frac{z_{тр.макс}}{z_{лII}}$	0	0,5	1	2	3	5	10
$\frac{k_q^{(H)}}{k_q^{(B)}}$	0,79	0,62	0,525	0,436	0,4	0,35	0,31
$\left(\frac{k_q^{(H)}}{k_q^{(B)}} \right)_{(б.р)}$	1	0,86	0,78	0,69	0,65	0,6	0,56
$\left(\frac{k_q^{(H)}}{k_q^{(B)}} \right) : \left(\frac{k_q^{(H)}}{k_q^{(B)}} \right)_{(б.р)}$	0,79	0,72	0,67	0,63	0,62	0,58	0,55

Из данных табл. 4-2 видно, что влияние регулирования напряжения под нагрузкой приводит к значительному снижению чувствительности по сравнению со случаем отсутствия встроенного регулирования напряжения под нагрузкой (дополнительно на 20—40%).

Аналогичное сравнение можно произвести и для третьей ступени защиты. По аналогии с (4-35) и (4-35а) можно получить:

$$\frac{k_{\text{ч}}^{(\text{н})}}{k_{\text{ч}}^{(\text{в})}} = \frac{z_{\text{с.з}} \frac{n_{\text{тр.мин}}}{n_{\text{тр.макс}}} z_{\text{лII}}}{z_{\text{тр.макс}} + z_{\text{лII}} z_{\text{с.з}}} = \frac{\frac{n_{\text{тр.мин}}}{n_{\text{тр.макс}}}}{\frac{z_{\text{тр.макс}}}{z_{\text{лII}}} + 1}; \quad (4-35б)$$

$$\left(\frac{k_{\text{ч}}^{(\text{н})}}{k_{\text{ч}}^{(\text{в})}} \right)_{(\text{б.р})} = \frac{1}{\frac{z_{\text{тр.ср}}}{z_{\text{лII}}} + 1}, \quad (4-35в)$$

где $z_{\text{тр.ср}}$ — сопротивление трансформатора, соответствующее среднему коэффициенту трансформации.

Результаты расчетов по (4-35б) и (4-35в) для различных значений $z_{\text{тр.макс}}/z_{\text{лII}}$ и $z_{\text{тр.ср}} = 0,8z_{\text{тр.макс}}$ сведены в табл. 4-3.

Таблица 4-3

$\frac{z_{\text{тр.макс}}}{z_{\text{лII}}}$	0	0,5	1	2	3	5	10
$\frac{k_{\text{ч}}^{(\text{н})}}{k_{\text{ч}}^{(\text{в})}}$	0,79	0,53	0,395	0,264	0,198	0,132	0,072
$\left(\frac{k_{\text{ч}}^{(\text{н})}}{k_{\text{ч}}^{(\text{в})}} \right)_{(\text{б.р})}$	1	0,72	0,555	0,385	0,295	0,2	0,111
$\left(\frac{k_{\text{ч}}^{(\text{н})}}{k_{\text{ч}}^{(\text{в})}} \right) : \left(\frac{k_{\text{ч}}^{(\text{н})}}{k_{\text{ч}}^{(\text{в})}} \right)_{(\text{б.р})}$	0,79	0,74	0,71	0,685	0,67	0,66	0,65

Как следует из сравнения выражений (4-35) с (4-35б) и (4-35а) с (4-35в), а также из сравнения данных табл. 4-2 и 4-3, на снижение чувствительности второй ступени изменение коэффициента трансформации при регулировании напряжения под нагрузкой влияет больше, чем на снижение чувствительности третьей ступени; увеличение сопротивления трансформатора больше влияет на снижение чувствительности третьей ступени, чем чувствительности второй ступени.

Оценим снижение длины зоны, защищаемой первой ступенью, в результате влияния установки трансформатора напряжения со стороны низшего напряжения трансформатора блока и регулирования напряжения под нагрузкой.

Доля длины линии, защищаемая I ступенью защиты, при наличии на трансформаторе регулирования напряжения под нагрузкой

определяется из (4-23) для условий, аналогичных принятым для выражения (4-35):

$$\Delta z_{\text{л}} = \frac{0,85(z_{\text{тр.мин}} + z_{\text{лII}}) \frac{1}{\frac{n_{\text{тр.макс}}}{n_{\text{тр.мин}}}} - \frac{z_{\text{тр.макс}}}{n_{\text{тр.макс}}}}{\frac{z_{\text{лII}}}{n_{\text{тр.мин}}}} = 0,85 \left(\frac{z_{\text{тр.мин}}}{z_{\text{лII}}} + 1 \right) \frac{n_{\text{тр.мин}}}{n_{\text{тр.макс}}} - \frac{z_{\text{тр.макс}}}{z_{\text{лII}}}. \quad (4-36)$$

Аналогично, при отсутствии регулирования напряжения под нагрузкой

$$\Delta z_{\text{л(б.р)}} = \frac{0,85(z_{\text{тр.ср}} + z_{\text{лII}}) - z_{\text{тр.ср}}}{z_{\text{лII}}} = 0,85 - 0,15 \frac{z_{\text{тр.ср}}}{z_{\text{лII}}}. \quad (4-36а)$$

Следует отметить, что выражения (4-36) и (4-36а) даны в целях упрощения в предположении, что защищаемая зона определяется как доля длины того же участка линии (ЛII), в конце которого рассматривается к. з. по условию селективности, т. е. по выражению (4-23).

Результаты расчетов для различных значений $\frac{z_{\text{тр.макс}}}{z_{\text{лII}}}$,

$\frac{n_{\text{тр.мин}}}{n_{\text{тр.макс}}} = 0,79$, $\frac{z_{\text{тр.мин}}}{z_{\text{тр.макс}}} = 0,66$ и $\frac{z_{\text{тр.ср}}}{z_{\text{тр.макс}}} = 0,8$ сведены в табл. 4-4.

Таблица 4-4

$\frac{z_{\text{тр.макс}}}{z_{\text{лII}}}$	0	0,25	0,5	1	2	6
$\Delta z_{\text{л}}$	0,67	0,53	0,39	0,115	-0,44	—
$\Delta z_{\text{л(б.р.)}}$	0,85	0,82	0,79	0,73	0,61	0,13

Как видно из данных табл. 4-4, наличие регулирования напряжения под нагрузкой существенно влияет на сокращение длины зоны, защищаемой первой ступенью, по сравнению со случаем отсутствия регулирования напряжения под нагрузкой. При наличии регулирования напряжения под нагрузкой применение первой ступени защиты для рассматриваемого примера практически неэффективно уже при $\frac{z_{\text{тр.макс}}}{z_{\text{лI}}} > 1$, тогда как при отсутствии регулирования напряжения под нагрузкой первая ступень является практически неэффективной при $\frac{z_{\text{тр.макс}}}{z_{\text{лI}}} > 6$.

Глава пятая

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНАЯ ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЗАЩИТА

5-1. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЗАЩИТЫ С ТОКОВЫМИ ПУСКОВЫМИ ОРГАНАМИ

На линиях с ответвлениями 110—330 кВ в качестве основной защиты от междофазных к. з. и к. з. на землю в ряде случаев используется дифференциально-фазная высокочастотная защита с токовыми пусковыми органами типов ДФЗ-2 и ДФЗ-402, а также с пусковыми органами напряжения типа ДФЗ-501. Рассмотрение вопросов использования защит с токовыми пусковыми органами дается применительно к защите типа ДФЗ-2, однако основные вопросы могут быть решены аналогично при использовании защиты типа ДФЗ-402.

Ниже приводится краткое описание схемы типовой панели релейной части полукompлекта высокочастотной (в. ч.) дифференциально-фазной защиты типа ДФЗ-2 (рис. 5-1). Подробное описание панели приводится в [Л. 12]. Защита выполнена с использованием принципа сравнения фаз токов на концах линии при помощи токов высокой частоты. В защите сравниваются фазы токов от комбинированных фильтров токов прямой и обратной последовательностей типа $I_1 + kI_2$.

Защита состоит из трех основных органов: пускового органа, органа манипуляции высокочастотным передатчиком и органа сравнения фаз токов.

Пусковой орган защиты содержит следующие реле: поляризованные реле $1ПР1$ и $1ПР2$, реле сопротивления $1РС$, реле тока $3РТ$ и $4РТ$, а также промежуточные реле $2КР1—2КР5$. Реле $1ПР1$ и $1ПР2$ реагируют либо на ток обратной последовательности, либо в случае использования трансформатора $1ТН_0$ — на сумму токов обратной и нулевой последовательностей $|I_2| + k|I_0|$. Реле тока $3РТ$ и $4РТ$ включены на фазный ток.

Запуск в. ч. передатчика осуществляется от реле $1ПР1$ при появлении хотя бы кратковременной несимметрии токов, а также от реле $3РТ$ (при трехфазных к. з.).

Реле $1ПР2$, $4РТ$ и $1РС$ действуют на отключение выключателей. Реле $1ПР2$ и $4РТ$ имеют большие токи срабатывания, чем соответственно, реле $1ПР1$ и $3РТ$. При указанном выборе токов срабатывания реле пускового органа при внешних к. з. в случае срабатывания в одном из полукompлектов реле $1ПР2$ (или $4РТ$), действующего на отключение, в обоих полукompлектах надежно срабатывают реле $1ПР1$ (или $3РТ$), что обеспечивает пуск в. ч. передатчиков и блокирование защиты.

При отключенном трансформаторе $1ТН_0$ уставки устройства фильтр — реле $1ПР2$ по току обратной последовательности могут быть выбраны $I_{уст} = 1; 1,5$ и 2 а. При включенном трансформаторе $1ТН_0$ могут быть выбраны также уставки по току нулевой последовательности $3I_{уст} = 1; 1,5$ и 2 а.

Орган манипуляции в. ч. передатчиком состоит из комбинированного фильтра токов прямой и обратной последовательностей типа $I_1 + kI_2$, промежуточного трансформатора $2ТМ$, конденсатора $2Сб$, сопротивления $2СД4$ и стабилизаторов напряжения $2СТ1$, $2СТ2$. Минимальные токи прямой I_1 и обратной I_2 последовательностей, при которых обеспечивается надежная манипуляция, для различных значений коэффициента комбинированного фильтра приводятся в табл. 5-1.

Таблица 5-1

k	4	6	8
$I_1, а$	1,1	1,6	2,0
$I_2, а$	0,28	0,27	0,25

Орган сравнения фаз токов содержит поляризованные реле $2ПР3$ и $2ПР4$, а также меднозакисный выпрямитель $2ВКЗ$ и трансформатор. Через выпрямитель и трансформатор $2ТС$ указанные промежуточные реле подключены к в. ч. приемнику.

При несимметричном повреждении вне защищаемой зоны срабатывает реле $1ПР1$, что обеспечивает запуск в. ч. передатчика. В случае срабатывания реле $1ПР2$ подготавливается цепь отключения. Однако отключения выключателя не происходит в связи с тем, что на вход в. ч. приемника подается сплошной неманипулируемый сигнал, по этой причине ток в реле $2ПР4$ отсутствует и оно не срабатывает. Замыкающий контакт этого реле предусмотрен в цепи отключения. Защита имеет уставки угла блокировки $+45^\circ$, $+52^\circ$ и $+60^\circ$ с отклонениями $\pm 15\%$.

После отключения внешнего к. з. снятие в. ч. сигнала осуществляется через промежуток времени 0,5—0,6 сек, определяемый временем возврата реле $2КР2$. Возврат защиты по цепям отключения происходит без замедления. Задержка в снятии в. ч. сигнала необходима для обеспечения селективности действия защиты при внешних симметричных к. з.

При симметричном повреждении вне защищаемой зоны пуск в. ч. передатчика осуществляется в результате кратковременного размыкания замыкающего контакта $1ПР1$, реле $1ПР1$.

При токах, достаточных для действия реле $3РТ$ и $4РТ$, пуск защиты осуществляется и от этих реле. Ток срабатывания реле $1ПР1$ выбирается по условию согласования по чувствительности с реле $3РТ$, что обеспечивает срабатывание реле $3РТ$ в случаях внешних трехфазных к. з., если от токов небаланса сработает реле $1ПР2$. Указанное обеспечивает селективность действия защиты при

пользованием двух полуккомплектов, устанавливаемых на питающих подстанциях. При выполнении защиты с использованием двух полуккомплектов параметры срабатывания реле пускового органа 4РТ и 1ПР2, действующих на отключение, в отличие от случая установки защиты на линии без ответвления, выбираются с учетом следующих дополнительных условий:

а) отстройка от к. з. за трансформаторами ответвлений;

б) отстройка от к. з. в питающей системе, примыкающей к шинам подстанции, на которой установлен рассматриваемый полуккомплект защиты, в режиме однофазного питания.

в) отстройка от бросков тока намагничивания трансформаторов на ответвлениях при включении линии под напряжение.

Следует также учитывать особенности согласования по чувствительности реле 1ПР2 и 1ПР1, а также реле 4РТ и 3РТ (см. § 5-6).

Ток срабатывания реле 4РТ по условиям «а», «б» и «в» выбирается по выражениям (2-1) и (2-2).

Первичный ток срабатывания устройства фильтр — реле 1ПР2 по обратной последовательности по условию «а» выбирается по выражению:

$$I_{2c.p.н} \geq k_n I_{2к.з}, \quad (5-1)$$

где k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;

$I_{2к.з}$ — максимальный ток обратной последовательности при двухфазном к. з. за трансформатором ответвления.

Следует отметить, что ток нулевой последовательности целесообразно не использовать в пусковых органах по условиям селективности защиты при внешних повреждениях (см. § 5-6). Ток нулевой последовательности в пусковых органах используется в случаях, когда при его неиспользовании защита не удовлетворяет требованиям чувствительности. Ток срабатывания реле 1ПР2 по нулевой последовательности выбирается по условию отстройки от тока небаланса при внешних трехфазных к. з.

Ток срабатывания реле 1ПР2 по обратной последовательности по условию «б» при незаземленных нейтральных трансформаторов на ответвлениях определяется по

выражению (5-1). При этом $I_{2к.з}$ — ток обратной последовательности при повреждении в питающей системе в режиме, когда линия отключена с другого питающего конца. Кратность тока срабатывания реле 1ПР2 по рассматриваемому условию при заземлении нейтралей трансформаторов на ответвлениях и использовании тока нулевой последовательности в пусковом органе определяется с использованием характеристик чувствительности пускового органа по значениям расчетных токов:

$$I_{2р.н} \geq k_n I_{2к.з}, \quad (5-2)$$

$$3I_{0р.в} \geq k_n 3I_{0к.з}, \quad (5-3)$$

где k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;

$I_{2к.з}$ — вторичный ток обратной последовательности при замыкании на землю в питающей системе в режиме, когда линия отключена с другого питающего конца;

$I_{0к.з}$ — вторичный ток нулевой последовательности при замыкании на землю в питающей системе в режиме, когда линия отключена с другого питающего конца.

Способ определения кратности тока срабатывания реле 1ПР2 по характеристикам чувствительности рассмотрен в § 5-7.

Ток срабатывания реле 1ПР2 по обратной последовательности по условию «в» при незаземленных нейтральных трансформаторов на ответвлениях определяется по выражению:

$$I_{2c.p} = k_n \frac{I_{ном.сум}}{n_T}, \quad (5-4)$$

где k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5—2;

$I_{ном.сум}$ — сумма номинальных токов трансформаторов на ответвлениях;

n_T — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Кратность тока срабатывания реле 1ПР2 по рассматриваемому условию при заземлении нейтралей трансформаторов на ответвлениях и использовании тока нулевой последовательности в пусковом органе определяет-

ся с использованием характеристик чувствительности пускового органа по значениям расчетных токов:

$$I_{2P, \text{н}} = k_{\text{н}} \frac{I_{\text{ном, сум}}}{n_{\text{т}}}; \quad (5-5)$$

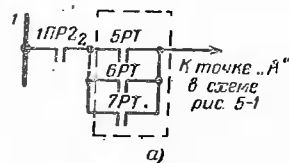
$$3I_{0P, \text{в}} = k_{\text{н}} \frac{I_{0\text{ном, сум}}}{n_{\text{т}}}, \quad (5-6)$$

где $I_{\text{ном, сум}}$ — сумма номинальных токов трансформаторов на ответвлениях, нейтрали которых заземлены;

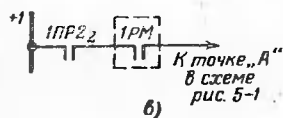
$k_{\text{н}}$ и $n_{\text{т}}$ — те же, что и в (5-4).

Значения коэффициентов $k_{\text{н}}$ в (5-2) — (5-6) приняты ориентировочно и требуют уточнения после дополнительных исследований.

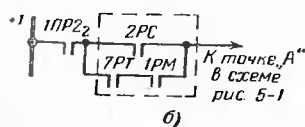
В ряде случаев возникает необходимость выполнения тока срабатывания реле $1ПР2$, большего чем это предусмотрено в типовом исполнении панели защиты ДФЗ-2 (§ 5-1). Увеличение тока срабатывания осуществляется применением специальных способов заглубления реле $1ПР2$, описание которых приводится в § 5-7.



а)



б)



в)

Рис. 5-2. Включения контактов дополнительных реле (контакты дополнительных реле обведены штриховой линией).

а — реле тока; б — реле сопротивления тока и мощности нулевой последовательности; в — реле направления мощности обратной последовательности.

При использовании дополнительных реле тока два из них включаются на фазные токи и одно — на ток нулевой последовательности. Контакты дополнительных реле тока включаются в цепь отключения, как это показано на рис. 5-2, а. Реле $5РТ$ и $6РТ$ включены на фазные токи, а реле $7РТ$ — на ток нулевой последовательности. Токи срабатывания реле $5РТ$ и $6РТ$ выбираются по условию отстройки от трехфазных к. з. за трансформаторами отвлений, бросков тока намагничивания трансформаторов на ответвлении при включении линии под напряжение, а также от к. з. в питающей системе в режиме одно-стороннего питания.

Следует отметить, что при наличии дополнительных реле тока токи срабатывания реле $1ПР2$ по току обратной и нулевой последовательностей выбираются по условию согласования по чувствительности с реле $1ПР1$ другого полукомплекта. Контакт реле $1ПР2$ в цепи отключения мог бы быть и исключен, в целях упрощения схемы. Однако наличие этого контакта облегчает согласование по чувствительности реле пускового органа, действующих на отключение и на пуск в. ч. передатчика. При отсутствии в схеме контакта $1ПР2$, необходимо было бы производить согласование по чувствительности реле $1ПР1$ с дополнительными реле тока. Такое согласование затруднительно в связи с тем, что рассматриваемые реле реагируют на различные электрические величины. Реле $7РТ$ предусмотрено в целях повышения чувствительности пускового органа к замыканиям на землю на защищаемой линии. Ток срабатывания реле $7РТ$ выбирается по условиям отстройки от тока в реле, обусловливаемого:

а) током небаланса при трехфазных к. з. за трансформатором отвления;

б) бросками токов намагничивания трансформаторов на ответвлениях при включении линии под напряжение;

в) короткими замыканиями на землю в питающей системе в режиме одно-стороннего питания.

В целях облегчения отстройки от бросков тока намагничивания трансформаторов целесообразно реле тока $5РТ$ — $7РТ$ принять с насыщающимися трансформаторами, например серии РНТ-560.

В тех случаях, когда токовые пусковые органы, в том числе и дополнительные, при токах срабатывания, выбранных по условию отстройки от к. з. за трансформаторами,

ром ответвления, не удовлетворяют условиям чувствительности при двухфазных к. з. на защищаемой линии, то вместо реле тока $5PT$ и $6PT$ предусматривается реле сопротивления типа КРС-121. Схема включения контактов реле сопротивления в цепь отключения приведена на рис. 5-2, б. Параллельно контакту реле $2PC$ предусмотрены последовательно включенные контакты реле тока $7PT$ и реле направления мощности нулевой последовательности $1PM$. Реле тока включено на ток нулевой последовательности и его назначение то же, что и в схеме рис. 5-2, а. Назначение реле направления мощности объяснено ниже. В тех случаях, когда используются дополнительные реле в пусковом органе защиты и реле $1PP2$ не отстраивается от к. з. за трансформатором ответвления, то следует произвести отстройку реле $1PC$ от к. з. за трансформатором ответвления.

В том случае, если с использованием дополнительных реле тока не представляется возможным отстроиться от к. з. в питающей системе, то предусматривают дополнительные реле направления мощности.

Характеристики реле направления мощности выбираются таким образом, что они срабатывают при повреждении на защищаемой линии и не срабатывают при повреждении в питающей системе, примыкающей к подстанции, на которой установлен рассматриваемый полукompлект защиты. Контакты реле направления мощности включаются в цепь отключения последовательно с контактом $1PP2$.

Для указанной цели могут быть использованы реле направления мощности обратной последовательности (типа РМОП-1М) и реле направления мощности нулевой последовательности.

Реле направления мощности обратной последовательности используется в случаях, когда необходимо отстроиться только от повреждений в питающей системе, в том числе от замыканий на землю. Схема включения контактов реле направления мощности обратной последовательности приведена на рис. 5-2, в.

Направленное реле сопротивления типа КРС-121 позволяет отстроиться от двухфазных к. з. за трансформаторами ответвлений, а в ряде случаев и от двухфазных к. з. в питающей системе. Реле сопротивления имеет пониженную чувствительность к повреждениям на землю. В целях повышения чувствительности защиты к указанным

повреждениям на защищаемой линии дополнительно предусматривается реле тока, включенное на ток нулевой последовательности, контакт которого включен параллельно контакту реле сопротивления.

При заземлении нейтралей трансформаторов на ответвлениях и выборе тока срабатывания реле тока нулевой последовательности $7PT$ в схеме рис. 5-2, а по условию отстройки от к. з. на землю в питающей системе в ряде случаев не удовлетворяются условия чувствительности при к. з. на землю на защищаемой линии. В этих случаях для отстройки от повреждений на землю в питающей системе используется реле направления мощности нулевой последовательности, контакты которого включены последовательно с контактами дополнительного реле тока, как это показано на рис. 5-2, б. При выборе тока срабатывания реле $7PT$ при наличии реле мощности не учитывается условие отстройки от повреждений в питающей системе.

Для исключения неселективного действия защиты при трехфазных к. з. в питающей системе в режиме одностороннего питания характеристика реле $1PC$ должна выполняться проходящей через начало координат.

В целях оценки области применения двухполукompлектного варианта на линиях 110—220 кВ с ответвлением были построены кривые (рис. 5-3 и 5-4), показывающие, при каких длинах линии l и отношении мощности трансформатора к его сопротивлению $S_{тр}/x_{тр}$ ($MBA/\%$) возможно по условиям чувствительности применение двухполукompлектного варианта. При построении кривых учитывалась возможность загробления реле $1PP2$ пусковых органов.

При построении кривых рис. 5-3 и 5-4 принималось:

а) ток срабатывания реле $1PP2$ выбирается по условию отстройки от двухфазного к. з. за трансформатором ответвления в максимальном режиме работы системы, примыкающей к подстанции, где установлена данная защита, и при отключении линии с противоположного конца; длина ответвления и расстояние от данной подстанции до места его присоединения к линии принимаются равными нулю;

б) чувствительность защиты проверяется по двухфазному к. з. на противоположном конце линии; при проверке чувствительности реле $1PP2$ ($k_n=2$) принималось, что система, примыкающая к подстанции, на которой установлен рассматриваемый полукompлект защиты, работает в минимальном режиме;

в) в случае, если нейтраль трансформатора на ответвлении не заземлена, то достаточная чувствительность защиты при к. з. на землю, большая чем при двухфазных к. з., может быть достигнута использованием в пусковом органе тока нулевой последовательности.

На рис. 5-3 и 5-4 даны также кривые, определяющие область применения защиты с дополнительным реле сопротивления. Расчет

ные выражения для построения этих кривых получены по аналогии с предыдущим при $k_{\text{ч}}=1,5$.

Кривые $\frac{S_{\text{тр}}}{x_{\text{тр}}\%} = f(l)$ для токовых пусковых органов построены

для случаев, когда первичный ток срабатывания реле постоянный $I_{2\text{с.р}}=\text{пост.}$ и постоянно сопротивление системы в максимальном режиме $x_{\text{с.макс}}=\text{пост.}$. Область возможного использования защиты при данном значении отношения сопротивлений системы в минимальном

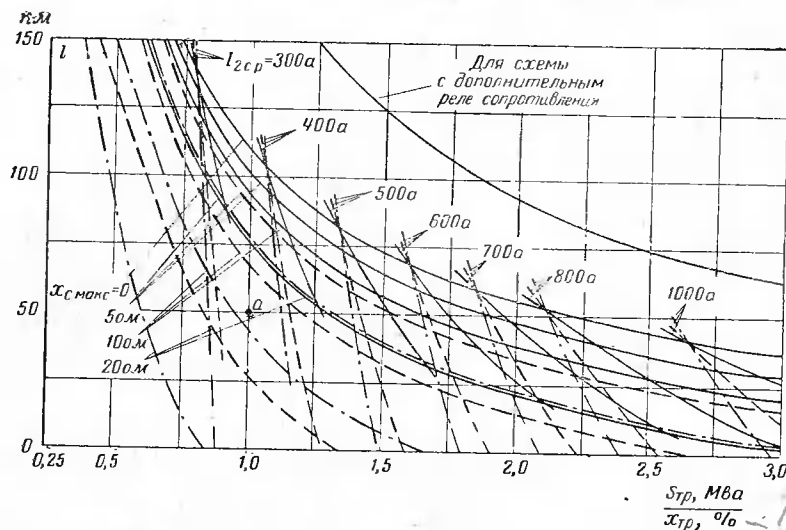


Рис. 5-3. Кривые, характеризующие область применения двухполукompлектного варианта защиты типа ДФЗ-2 на линиях 110 кВ с ответвлениями.

l — длина линии, км; $S_{\text{тр}}$ — номинальная мощность трансформатора на ответвлении, Мва; $x_{\text{тр}}$ — сопротивление трансформатора на ответвлении, %; $x_{\text{с.макс}}$ — сопротивление прямой и обратной последовательностей системы в максимальном режиме, ом; $\alpha_{\text{с}}$ — отношение сопротивления прямой и обратной последовательностей системы в минимальном режиме к аналогичному сопротивлению в максимальном режиме; $I_{2\text{с.р}}$ — первичный ток срабатывания обратной последовательности устройства фильтр — реле ИРР2; — — — при $\alpha_{\text{с}}=1$; - - - - при $\alpha_{\text{с}}=2$; · · · · · при $\alpha_{\text{с}}=3$.

и максимальном режимах ее работы $\alpha_{\text{с}}$ расположена выше и правее соответствующей кривой при $I_{2\text{с.р.п}}=\text{пост.}$ или $x_{\text{с.макс}}=\text{пост.}$. Например, для линии 110 кВ, длина которой $l=50$ км, трансформатор на ответвлении мощностью $S_{\text{тр}}=10$ Мва с сопротивлением $x_{\text{тр}}\%=10\%$ ($S_{\text{тр}}:x_{\text{тр}}\%=1$). На рис. 5-3 показана точка a с координатами $l=50$ км и $S_{\text{тр}}:x_{\text{тр}}\%=1$. Защиту допустимо использовать при $I_{2\text{с.р.п}}=300$ а и $\alpha_{\text{с}}=2$ или при $x_{\text{с.макс}}=10$ ом и $\alpha_{\text{с}}=3$.

Из указанных кривых видно, что при применении для отстройки от короткого замыкания за трансформаторами реле сопротивления

область применения двухполукompлектного варианта больше, чем при применении пусковых органов других типов. Последнее справедливо не только для дифференциально-фазных защит, но и для высокочастотных защит других типов (см. § 6-4).

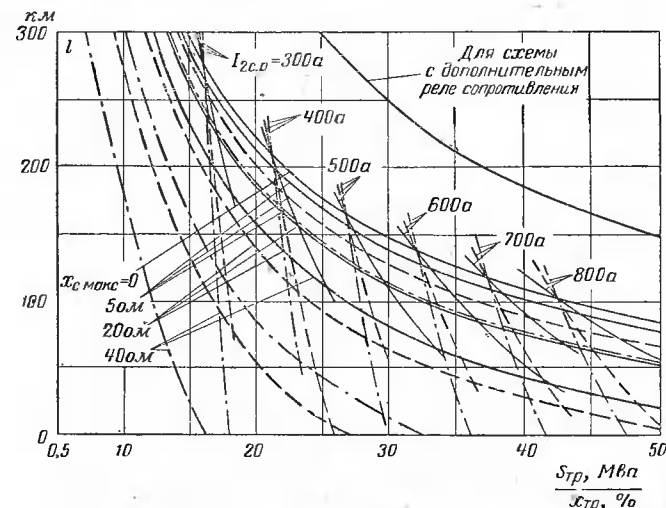


Рис. 5-4. Кривые, характеризующие область применения двухполукompлектного варианта защиты типа ДФЗ-2 на линиях 220 кВ с ответвлениями. Обозначения см. рис. 5-3.

5-3. ЗАЩИТА ЛИНИИ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ БЕЗ ПИТАНИЯ СО СТОРОНЫ ОТВЕТВЛЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕСКОЛЬКИХ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ

Как следует из кривых рис. 5-3 и 5-4, при определенных длинах линии и мощностях трансформаторов на ответвлении двухполукompлектный вариант защиты не может быть применен. В этих случаях следует рассмотреть возможность использования нескольких полукompлектов. На питающих подстанциях устанавливаются полукompлекты по типовой схеме, в которых в ряде случаев могут быть предусмотрены дополнительные реле, а на подстанциях ответвлений — неполные полукompлекты защиты, в которых, в отличие от типового полукompлекта, исключены цепи, связанные с отключением выключателя, а также произведены некоторые изменения схемы.

Цепи отключения исключены в связи с тем, что при отсутствии питания со стороны ответвления нет необхо-

димости в его отключении при повреждениях на линии. Другие необходимые изменения в схеме типового полукомплекта защиты предусмотрены в целях исключения отказа защиты при коротких замыканиях на защищаемой линии. Отказ защиты может произойти при следующих условиях. При симметричных трехфазных коротких замыканиях на защищаемой линии срабатывает реле $1ПР1$ пускового органа защиты от токов первоначальной несимметрии. В результате этого запускается высокочастотный передатчик. После перехода повреждения в трехфазное короткое замыкание реле $1ПР1$ возвращается в исходное положение, однако пуск передатчика будет продолжаться в течение времени 0,5—0,6 сек. Это время определяется временем возврата реле $2КР2$. Ток, посылаемый со стороны ответвления к месту повреждения, быстро затухает. По этой причине напряжение на выходе фильтра манипуляции может оказаться меньше напряжения, соответствующего надежной манипуляции, и передатчик будет посылать сплошной неманипулированный высокочастотный сигнал, который будет блокировать защиту. Это приведет к отказу защиты, если сработали в полукомплектах на питающих подстанциях реле сопротивления $1РС$, или задержке отключения на время 0,5—0,6 сек, если в полукомплектах на питающих подстанциях сработали реле $4РТ$.

Исключение отказа или замедления действия защиты при повреждениях на линии может быть достигнуто использованием следующих способов, осуществляемых в полукомплекте на ответвлении:

- 1) отстройкой пусковых органов защиты (реле $1ПР1$ и $3РТ$) от коротких замыканий на защищаемой линии;
- 2) исключением фиксации пуска в. ч. передатчика;
- 3) снятием фиксации пуска в. ч. передатчика при симметричных коротких замыканиях на защищаемой линии [Л. 14];

- 4) остановкой в. ч. передатчика при напряжении на выходе фильтра манипуляции, недостаточном для надежной манипуляции.

При использовании первого способа защита имеет ограниченную область применения в связи с низкой чувствительностью к повреждениям на защищаемой линии. Это объясняется тем, что для обеспечения селективности действия защиты при внешних повреждениях на ответвлении ток срабатывания реле $1ПР2$ по току обратной

последовательности полукомплектов на питающих подстанциях выбирается большим тока срабатывания реле $1ПР1$ полукомплекта на ответвлении. В связи с этим увеличение тока срабатывания реле $1ПР1$ на ответвлении приводит к увеличению тока срабатывания реле $1ПР2$ на питающих подстанциях.

Исключение фиксации пуска в. ч. передатчика (способ 2) снижает надежность защиты при отключении внешних коротких замыканий. При использовании рассматриваемого способа может быть применено направленное реле сопротивления $1РС$ для пуска в. ч. передатчика при внешних симметричных к. з. на ответвлении.

На рис. 5-5 приведена схема цепей постоянного тока неполного полукомплекта, выполненного с использованием способа 3. В этой схеме предусмотрено снятие фиксации пуска высокочастотного передатчика при симметричных коротких замыканиях на защищаемой линии. Для этой цели размыкающим контактом реле сопротивления $1РС$ шунтируют контакты реле $2КР1$ и $2КР2$, предусмотренные в цепи обмотки реле $2КР1$. Характеристика реле сопротивления выбирается таким образом, что реле срабатывает при внешних трехфазных коротких замыканиях на ответвлении и не действует при повреждениях на защищаемой линии.

При повреждении на защищаемой линии в случае, если сработают реле $1ПР1$ (несимметричное к. з.) или реле $3РТ$ (симметричное к. з.) полукомплекта на ответвлении, будет запущен в. ч. передатчик, который будет посылать манипулированный в. ч. сигнал (минимальный

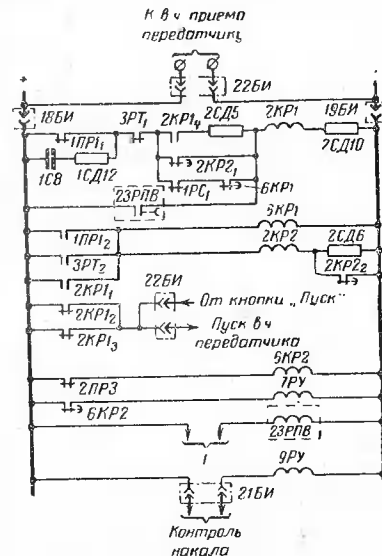


Рис. 5-5. Схема цепей постоянного тока неполного полукомплекта. I — к параллельно соединенным замыкающим контактам выходных промежуточных реле защиты трансформатора и реле тока блокировки отделителя.

ток надежной манипуляции в. ч. передатчика меньше или равен току срабатывания реле *1ПР1*, а также реле *ЗРТ*).

При трехфазном повреждении на защищаемой линии, если кратковременно сработает реле *1ПР1* и запустится в. ч. передатчик, после исчезновения первоначальной несимметрии и возврата реле *1ПР1*, он будет остановлен, так как реле *1РС* не сработает и его контакт будет шунтировать контакт реле *2КР1*. В рассматриваемом случае предполагалось, что реле *ЗРТ* не действует.

При внешнем повреждении на ответвлении срабатывает реле *1ПР1* или реле *ЗРТ* и запускают в. ч. передатчик. При трехфазных к. з. в связи с тем, что реле *1РС*, сработав, держит разомкнутым свой контакт в цепи снятия фиксации пуска в. ч. передатчика и если реле *ЗРТ* не чувствительно к рассматриваемому повреждению, то остановка в. ч. передатчика будет произведена через 0,5—0,6 сек. Это время определяется временем возврата реле *2КР2*.

Последовательно с размыкающим контактом реле *1РС* включен размыкающий контакт реле с замедлением при возврате (в качестве которого использовано реле *6КР1*), необходимый для повышения надежности защиты. Обмотка указанного реле включена параллельно обмотке реле *2КР2*. В случае возникновения несимметрии, предшествующей трехфазному к. з. за трансформатором ответвления, реле *1ПР1* срабатывает и размыкает свой размыкающий контакт в цепи обмотки реле *2КР1*. После перехода повреждения в симметричное реле *1ПР1* возвращается и замыкает указанный контакт. Если к этому времени реле *1РС* не успело сработать, то (в случае отсутствия указанного контакта реле *6КР1*) реле *2КР1*, которое имеет форсировку в цепи срабатывания, быстро срабатывает и самоудерживается. При этом фиксация пуска в. ч. передатчика будет снята и защита на питающих концах неселективно отключит линию. При включении замыкающего контакта реле *6КР1*, отпадающего с небольшим замедлением (до 0,1 сек), в цепь снятия фиксации пуска передатчика, эта цепь замыкается к моменту, когда реле *1РС* уже сработало, что и предотвращает повторное срабатывание реле *2КР1*. Для обеспечения правильного действия защиты необходимо, чтобы время размыкания размыкающего контакта реле *1РС* полукompлекта на ответвлении (при

кратности момента на реле, соответствующей условиям, когда реле *1РС* каждого из питающих концов при коротком замыкании за трансформатором ответвления находится на грани срабатывания) было меньше времени возврата реле *6КР1*. Последнее условие необходимо проверять при наладке защиты.

Использование реле *6КР1* позволяет также повысить селективность защиты при отключении внешних несимметричных к. з. на ответвлении, а также симметричных к. з., при которых ток достаточен для срабатывания реле *ЗРТ*. В указанных случаях снятие пуска в. ч. передатчика производится через 0,1 сек (определяемое временем возврата реле *6КР1*) после отключения к. з.

Следует отметить, что для повышения селективности действия защиты при отключении внешних трехфазных к. з. на ответвлении может потребоваться замена в полукompлектах на питающих концах выходных промежуточных реле на реле с замедлением при срабатывании (например, типа РП-253).

В типовом полукompлексе защиты типа ДФЗ-2 характеристика срабатывания реле сопротивления имеет некоторое смещение относительно начала координат. В связи с этим указанное реле полукompлекта на ответвлении срабатывает при трехфазных повреждениях на защищаемой линии. Посылка манипулированного в. ч. сигнала защитой на ответвлении обеспечивается тем, что минимальный ток срабатывания реле *1РС*, равный примерно $2a$, соответствует току надежной манипуляции, который при коэффициенте фильтра $k=8$ равен тоже $2a$. Большей надежности в согласовании характеристики реле сопротивления и устройства манипуляции можно достигнуть, если характеристика реле сопротивления будет проходить через начало координат. При этом мертвая зона реле сопротивлений должна перекрываться действием реле тока *ЗРТ*.

Схема на рис. 5-5 применима в случаях, когда нейтраль трансформатора на ответвлении не заземлена. При заземлении нейтрали трансформатора данная схема также применима, однако при этом недопустимо использование тока нулевой последовательности в пусковом органе полукompлекта на ответвлении. При использовании тока нулевой последовательности возможен отказ защиты при замыканиях на землю на защищаемой линии вследствие запуска в. ч. передатчика от совместного

действия токов обратной и нулевой последовательностей. Однако ток обратной последовательности может оказаться недостаточным для надежной манипуляции и полукомплект на ответвлении будет посылать сплошной блокирующий в. ч. сигнал. Если в пусковых органах полукомплектов на питающих подстанциях используется ток нулевой последовательности, нейтраль трансформатора на ответвлении заземлена и в полукомплексе на ответвлении не используется ток нулевой последовательности, то при внешних замыканиях на землю в питающей системе возможно неправильное действие защиты в режиме одностороннего питания в результате запуска полукомплекта на питающей подстанции и недействия полукомплекта на ответвлении. Для исключения рассматриваемого неправильного действия защиты в полукомплектах на питающих подстанциях предусматриваются дополнительно реле направления мощности обратной последовательности, которые срабатывают при несимметричных коротких замыканиях на защищаемой линии. Замыкающий контакт реле включается в цепь отключения последовательно с контактом реле *1ПР2* по аналогии со схемой рис. 5-2, в.

Схема по рис. 5-5 дана для случая, когда на стороне высшего напряжения подстанции на ответвлении установлены короткозамыкатель и отделитель. В схеме предусмотрена остановка в. ч. передатчика на ответвлении (реле *23ПРВ*) в случае действия защиты от внутренних повреждений трансформатора, а также при включении короткозамыкателя. Остановка передатчика при действии дифференциальной или газовой защиты трансформатора предусмотрена в целях ускорения отключения линии с питающих концов в случаях, когда защита линии чувствительна к рассматриваемым повреждениям. При повреждении в трансформаторе и включении короткозамыкателя возникает сложное повреждение. В целях исключения отказа дифференциально-фазной защиты линии в этих условиях предусмотрена остановка в. ч. передатчика при включении короткозамыкателя.

В случае установки на подстанции ответвления автотрансформатора, нейтраль которого всегда заземляется, и использования тока нулевой последовательности в пусковых органах полукомплектов защиты на питающих подстанциях, на подстанции ответвления могут быть использованы неполные полукомплекты защиты с дополни-

тельными реле мощности нулевой последовательности. Необходимость в дополнительных реле мощности возникает в связи с возможностью неправильного действия полукомплектов на питающих подстанциях при замыканиях на землю за автотрансформатором ответвления. В этом случае возможен запуск полукомплектов на питающих подстанциях от токов нулевой и обратной последовательностей и недействие на пуск в. ч. передатчика пусковых органов полукомплекта на ответвлении, так как они реагируют только на ток обратной последовательности.

Возможны два способа использования дополнительных реле мощности:

1. В пусковом органе полукомплекта на ответвлении не используется ток нулевой последовательности. Дополнительное реле направления мощности нулевой последовательности срабатывает при внешних замыканиях на землю на ответвлении и производит при этом пуск в. ч. передатчика.

2. В пусковом органе полукомплекта на ответвлении используется ток нулевой последовательности. Дополнительное реле направления мощности нулевой последовательности срабатывает при замыканиях на землю на защищаемой линии и производит при этом остановку в. ч. передатчика, если он был запущен.

Первый способ по сравнению со вторым имеет тот недостаток, что реле мощности должно быть согласовано по чувствительности с реле *1ПР2* полукомплектов на питающих концах для обеспечения селективности защиты при внешних к. з. на землю на ответвлении. В связи с тем, что указанные реле реагируют на разные электрические величины, согласовать их по чувствительности в ряде случаев затруднительно.

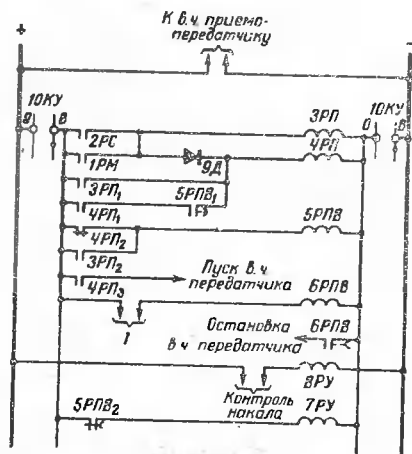
При выполнении защиты по второму способу к реле мощности предъявляется требование обеспечения необходимой чувствительности при замыканиях на землю на защищаемой линии.

При использовании на ответвлении полукомплекта с дополнительным реле мощности на питающих подстанциях предусматривается установка полукомплекта с дополнительным реле мощности обратной последовательности, выполненного в соответствии с рис. 5-2, в. Это необходимо для предотвращения неселективного действия защиты питающих концов при замыканиях на землю в питающей системе в режиме, когда линия отключена с противоположного конца. Например, при выполнении защиты по второму способу неселективное действие возможно в случае действия на отключение пускового органа полукомплекта на питающей подстанции и остановки в. ч. передатчика на ответвлении в результате действия реле мощности нулевой последовательности.

На питающих подстанциях также целесообразно выполнить характеристику реле сопротивления *1РС*, проходящей через начало координат, для исключения неселективного действия защиты при переходе внешнего замыкания на землю в трехфазное к. з. в режиме, когда линия отключена с противоположного питающего конца. При наличии характеристики реле *1РС*, смещенной относительно начала координат, неселективное отключение возможно в результате оста-

При использовании четвертого способа неполный комплект может быть выполнен как с дополнительными пусковыми органами, так и с использованием приемопередатчика с манипуляцией по второму способу (§ 5-4). Подробно эти вопросы рассмотрены в § 5-4 и 5-10.

На рис. 5-6 дан пример выполнения цепей постоянного тока такого блокирующего полуконтакта. В качестве органов пуска передатчика в схеме использованы:



1 — к параллельно соединенным замыкающим контактам выходных промежуточных реле защиты трансформатора и реле тока блокировки отделителя.

Для отстройки от тока небаланса при трехфазном к. з. на линии может возникнуть также необходимость использования дополнительного реле *IPM* реле тока устройства РМОП-1; при этом контакт указанного реле включается последовательно с контактом реле *IPM*.

116

Характеристики реле мощности *1РМ* и реле сопротивления *2РС* должны быть направлены в сторону внешних повреждений на ответвлении. В этом случае пуск в. ч. передатчика осу-

Фиксация пуска в ч. передатчика предусмотрена для предотвращения возможного неправильного действия защиты после отключения внешних к. з. Она необходима также для предотвращения неправильного действия защиты при трехфазном к. з. в мертвой зоне реле сопротивления. В последнем случае неселективное действие при отсутствии фиксации могло бы иметь место в связи с тем, что время замкнутого состояния контакта реле сопротивления, временно срабатывающего «по памяти», может оказаться меньше времени существования к. з. Правильность действия защиты при внешнем трехфазном к. з. в мертвой зоне реле сопротивления длительностью более 0,5—0,6 сек обеспечивается введением цепи отключения при трехфазном к. з. в полуккомплектах питающих концов на время порядка 0,2 сек, т. е. меньшее, чем время пуска передатчика на ответвлении.

Следует также учитывать, что при установке реле мощности обратной последовательности характеристика реле сопротивления (*IPC* в защите типа ДФЗ-2) должна проходить через начало координат, что необходимо для обеспечения селективности защиты при трехфазных к. з. в питающих системах.

Для селективного действия защиты при внешних коротких замыканиях за шинами автотрансформатора на ответвлении необходимо соблюдение следующих условий:

Следует отметить, что при значительных расстояниях между питающим концом и ответвлением согласование по чувствительности реле направления мощности обеспечивается за счет того, что напряжение обратной последовательности при внешнем к. з. на ответвлении значительно выше в месте установки полуконспекта на этом конце, чем полуконспекта на питающем конце.

в) Время действия защиты на питающих концах должно быть больше времени пуска передатчика на конце без питания.

5.4. ЗАЩИТА ЛИНИИ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ ПРИ НАЛИЧИИ ПИТАНИЯ СО СТОРОНЫ ОТВЕТВЛЕНИЙ

Дифференциально-фазная защита линий 110—330 кВ с ответвлениями, со стороны которых имеется надежное питание, выполняется с использованием нескольких полукомплектов, устанавливаемых как на основных подстанциях, так и на подстанциях ответвлений.

Если со стороны ответвления имеется маломощное питание, то в ряде случаев возможно выполнить защиту с использованием двух полукомплектов, устанавливаемых на основных питающих подстанциях. При этом параметры срабатывания реле пускового органа, действующих на отключение, выбираются по тем же условиям, что и для случая установки полукомплектов защиты только на питающих концах линии с ответвлениями без питания (см. § 5-2).

При повреждении на защищаемой линии дифференциально-фазная защита отключает линию со сторон основных питающих подстанций, а со стороны ответвления отключение линии производится с помощью резервных защит или вспомогательных защит и устройств, устанавливаемых для действия в рассматриваемых условиях (§ 1-3). Недостатком двухполукомплектного варианта выполнения защиты является замедленное отключение повреждения на линии со стороны ответвления.

При использовании двухполукомплектного варианта защиты возможно ее неселективное действие при внешних повреждениях в питающей системе в режиме, когда отключено питание со стороны, где установлен другой полукомплект при применении типовых полукомплектов защиты. Указанное неправильное действие может произойти в связи с возможностью срабатывания защиты в рассматриваемых условиях от токов, посылаемых генерирующим источником на ответвлении к месту повреждения.

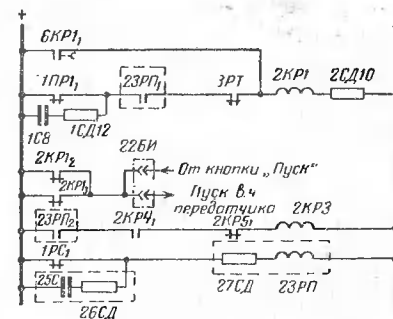
В целях исключения рассматриваемого неправильного действия целесообразно произвести отстройку по току срабатывания реле 1ПР2 и реле 4РТ от соответственно несимметричных и симметричных коротких замыканий в рассматриваемом режиме одностороннего питания. Характеристика реле сопротивления 1РС должна проходить через начало координат. При этом предпола-

гается, что мертвая зона реле сопротивления перекрывается действием реле тока 4РТ.

В том случае, когда отстройка от внешних несимметричных коротких замыканий в питающей системе в указанном режиме одностороннего питания не допустима по условиям чувствительности защиты к повреждениям на защищаемой линии, рассматривается вопрос применения дополнительного реле направления мощности обратной последовательности (рис. 5-2, в). В этом случае нет необходимости отстройки реле 1ПР2 от внешних повреждений в питающей системе в режиме одностороннего питания.

Следует отметить, что в некоторых конкретных случаях режим одностороннего питания может не учитываться, как маловероятный. Возможны случаи, когда питание со стороны ответвления достаточно для обеспечения необходимой чувствительности полукомплекта на ответвлении при повреждениях на защищаемой линии только в основных режимах. Во всех других случаях питание со стороны ответвления отключено. Если режим отключения питания может быть зафиксирован обслуживающим персоналом подстанции на ответвлении, то целесообразно использовать схему полукомплекта защиты, который при наличии питания со стороны ответвления по схеме соответствует типовому полукомплекту защиты типа ДФЗ-2, а при отсутствии питания путем переключений в его цепях превращается в один из вариантов неполного полукомплекта. Необходимые переключения могут выполняться с помощью ключа управления.

В этом случае, когда режим отключения питания не может быть зафиксирован обслуживающим персоналом, то рекомендуется схема с реле полного сопротивления. Реле полного сопротивления может выполняться путем переделки реле 1РС защиты типа ДФЗ-2.



На рис. 5-7 приведены те цепи постоянного тока защиты типа ДФЗ-2, которые подвергаются изменению в связи с использованием реле полного сопротивления. Схема разработана с участием работников Украинского отделения института Энергосетьпроект. Реле сопротивления действует, как и в типовой схеме, на отключение, а также дополнительно на пуск в. ч. передатчика при трехфазных к. з. Промежуточное реле *ЗРП* предусмотрено для размыкания контактов реле сопротивления.

В схеме исключена фиксация пуска в. ч. передатчика для предотвращения отказа защиты при трехфазных к. з. на защищаемой линии в случаях, когда ток со стороны ответвления недостаточен для надежной манипуляции. При данном выполнении схемы после перехода повреждения в трехфазное к. з. передатчик будет остановлен, если не действует реле сопротивления, или будет продолжать работать, если оно сработало. В последнем случае будет обеспечена надежная манипуляция, так как ток прямой последовательности, при котором обеспечивается надежная манипуляция (см. табл. 5-1) при коэффициенте фильтра манипуляции $k=8$, не превосходит минимальный ток срабатывания реле сопротивления. По тем же причинам при пуске в. ч. передатчика в результате срабатывания реле *ИПР1*, или *ЗРТ*, во всех случаях будет обеспечиваться надежная манипуляция. Этим исключается отказ защиты при повреждениях на защищаемой линии при любом виде повреждения.

Пуск от реле сопротивления происходит значительно медленнее, чем от реле *ИПР1* и реле *ЗРТ*. Для повышения надежности защиты при внешних к. з. выходные промежуточные реле типа РП-233 всех полуккомплектов заменяются на реле, имеющие некоторое замедление на срабатывание, например типа РП-253.

Рассматриваемая схема выполнена для случая, когда в пусковом органе данного полуккомплекта допустимо не использовать ток нулевой последовательности. При использовании тока нулевой последовательности, по аналогии со схемами рис. 5-5, возможен отказ защиты при замыканиях на землю на защищаемой линии. В случае заземления нейтрали трансформатора на данной подстанции и использования тока нулевой последовательности в пусковых органах полуккомплектов на основных питающих подстанциях в указанных полуккомплектах, как и при использовании на ответвлении схем рис. 5-5,

предусматривается реле направления мощности обратной последовательности (рис. 5-2, в) для исключения неправильного действия защиты при к. з. на землю в питающей системе в режиме, когда линия отключена со стороны противоположной подстанции.

Следует отметить, что схема с реле полного сопротивления нуждается в эксплуатационной проверке.

В том случае, когда со стороны ответвления в ряде режимов питание недостаточно для надежной манипуляции, может быть использован вариант защиты с установкой на подстанции ответвления панели типа ДФЗ-2 и приемопередатчик типа ПВЗК,

манипуляция в котором осуществляется по второму способу [Л. 15]. При указанном способе манипуляции, в отличие от типового (первого) способа, в случае пуска в. ч. передатчика при напряжении на выходе фильтра манипуляции, меньшем напряжения надежной манипуляции, передатчик посылает в. ч. сигналы, но их длительность тем меньше, чем меньше напряжение на выходе фильтра манипуляции; при малых значениях указанного напряжения в. ч. сигналы передатчиком не посылаются (рис. 5-8).

Со стороны основных питающих подстанций устанавливаются полуккомплекты релейной части защиты типа ДФЗ-2 в сочетании с приемопередатчиками типа ПВЗК.

Для обеспечения правильности действия защиты в режиме отключения линии с одного из питающих концов рекомендуется принимать первичный ток обратной (прямой) последовательности, при котором обеспечивается надежная манипуляция в. ч. сигналом передатчика на ответвлении, соответственно равным первичному току обратной (прямой) последовательности, при котором полуккомплект на питающей подстанции надежно посылает блокирующий сигнал (т. е. сигналы, длительность которых достаточна для блокировки). При отсутствии согласования органов манипуляции возможно неправильное

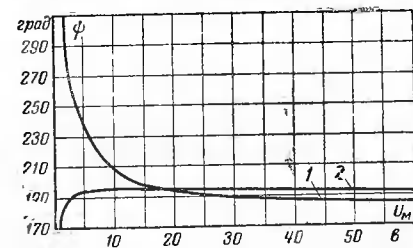


Рис. 5-8. Зависимость длительности высокочастотных импульсов от величины напряжения манипуляции.

1 — первый способ манипуляции (типичная схема); 2 — второй способ манипуляции.

действие защиты при коротких замыканиях в питающей системе в режиме одностороннего питания, когда передатчик на ответвлении не посылает в. ч. сигналы в связи с тем, что ток недостаточен для надежной манипуляции. Согласование органов манипуляции должно проверяться при наладке защиты.

Рассматриваемый вариант защиты может быть выполнен только при условии, что первичный ток надежной манипуляции со стороны ответвления значительно меньше такового со стороны основных питающих концов.

В режиме наличия питания с основных питающих сторон линии селективность защиты согласованием характеристик органа манипуляции в ряде случаев не может быть обеспечена (например, при отключении питания со стороны ответвления).

В указанных случаях правильность действия защиты должна обеспечиваться согласованием по чувствительности при внешних к. з. в питающих системах полукомплектов на основных питающих подстанциях (пускового органа, действующего на отключение, одного полукомплекта с пусковым органом, действующим на пуск в. ч. передатчика, другого полукомплекта) или установкой в этих полукомплектах дополнительных реле мощности обратной последовательности, т. е. выполнением этих полукомплектов в соответствии со схемой на рис. 5-2, в.

При использовании первого способа при к. з. в питающих системах имеет место заглубление защиты. В связи с этим он может использоваться, когда это допустимо по условиям чувствительности.

Значительное снижение напряжения надежной манипуляции при данном выполнении защиты приводит к необходимости учета искажения фазных соотношений при внешних к. з. из-за влияния емкостной проводимости линии при меньших длинах линий, чем при применении типового полукомплекта. В связи с этим рассматриваемый вариант защиты может быть использован на линиях меньшей длины, чем защита с типовыми полукомплектами.

Вариант защиты с использованием приемопередатчика, в котором манипуляция выполнена по второму способу может быть применен также в случае, когда со стороны подстанции ответвления отсутствует питание.

При отсутствии со стороны ответвления питания, достаточного во всех режимах для надежной манипуляции

в. ч. сигналом, может также использоваться схема с дополнительными пусковыми органами. Подробно этот вопрос рассмотрен в § 5-10.

5-5. РАБОТА ОРГАНОВ МАНИПУЛЯЦИИ И СРАВНЕНИЯ ФАЗ ЗАЩИТЫ С ТОКОВЫМИ ПУСКОВЫМИ ОРГАНАМИ

На линиях с одним ответвлением в случае внешнего повреждения в зависимости от значений токов, проходящих в местах установки полукомплектов, возможен запуск в. ч. передатчиков как всех трех полукомплектов, так и только двух полукомплектов.

При внешних повреждениях суммы токов по концам защищаемой линии прямой последовательности (с учетом токов нагрузки), а также токов обратной последовательности равны нулю:

$$I_{II} + I_{III} + I_{III} = 0, \quad (5-7)$$

$$I_{2I} + I_{2II} + I_{2III} = 0, \quad (5-8)$$

где I_{II} , I_{III} и I_{III} — токи прямой последовательности в местах установки полукомплектов защиты на подстанциях I, II и III (рис. 5-9);

I_{2I} , I_{2II} и I_{2III} — токи обратной последовательности в местах установки полукомплектов защиты на подстанциях I, II и III (рис. 5-9).

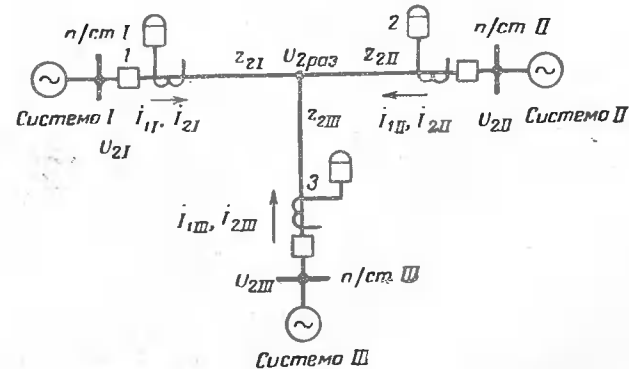


Рис. 5-9. Схема, поясняющая распределение токов на линии с ответвлением при внешних повреждениях.

Выражения (5-7) и (5-8) справедливы как для первичных, так и для вторичных токов (последнее — при одинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов тока).

Токи на выходах фильтров манипуляции определяются выражениями:

для полукомплекта на подстанции I

$$\dot{I}_{MI} = \dot{I}_{II} + k\dot{I}_{2I}; \quad (5-9)$$

для полукомплекта на подстанции II

$$\dot{I}_{MII} = \dot{I}_{III} + k\dot{I}_{2II}; \quad (5-10)$$

для полукомплекта на подстанции III

$$\dot{I}_{MIII} = \dot{I}_{III} + k\dot{I}_{2III}, \quad (5-11)$$

где k — коэффициент фильтра манипуляции.

Сумма токов на выходах фильтров манипуляции, учитывая соотношения (5-8)–(5-11), равна нулю:

$$\dot{I}_{MI} + \dot{I}_{MII} + \dot{I}_{MIII} = 0. \quad (5-12)$$

На рис. 5-10,а приведена примерная векторная диаграмма токов \dot{I}_{MI} , \dot{I}_{MII} и \dot{I}_{MIII} , а на рис. 5-10,б — диаграмма в. ч. импульсов, посылаемых передатчиками в случае запуска их на трех концах.

Из рассмотрения диаграмм по рис. 5-10,б следует, что в. ч. сигналы на входах каждого из трех приемников будут сплошными. В связи с этим в рассматриваемом случае защита надежно блокируется.

В случае пуска в. ч. передатчиков только

Рис. 5-10. Примерная векторная диаграмма токов на выходах фильтров манипуляции (а) и диаграммы в. ч. сигналов при запуске всех трех полукомплектов (б) или только полукомплектов I и II (в).

двух полукомплектов производится сравнение по фазе соответственно двух токов. В качестве примера на рис. 5-10,в приведена диаграмма в. ч. сигналов для случая, когда в схеме по рис. 5-9 запускаются полукомплекты защиты на подстанциях I и II. Из рассмотрения указанной векторной диаграммы следует, что при абсолютном значении угла между токами \dot{I}_{MI} и \dot{I}_{MII} , меньшем чем 180° , суммарный в. ч. сигнал не сплошной. В связи с этим при определенном угле между сравниваемыми токами \dot{I}_{MI} и \dot{I}_{MII} может оказаться возможным неправильное действие защиты.

Рассмотрим работу органа сравнения фаз при неучете тока нагрузки. В целях упрощения анализа принимается равенство суммарных сопротивлений прямой и обратной последовательностей для места повреждения,

а также равенство сопротивлений прямой и обратной последовательностей отдельных элементов. Коэффициенты распределения токов по ветвям для прямой и обратной последовательностей при этом будут одинаковыми. При повреждении в системе I как аварийные составляющие в полукомплекте I \dot{I}_{II} и \dot{I}_{2I} , так и их сумма \dot{I}_{MIaB} соответственно противоположны по фазе токам в месте установки полукомплекта 2 — \dot{I}_{II} , \dot{I}_{2II} и \dot{I}_{MIIaB} (рис. 5-11,а). Аналогичные соотношения существуют между токами в местах установки полукомплектов I и 3.

Таким образом, при отсутствии токов нагрузки органы манипуляции защиты действуют правильно при внешних коротких замыканиях не только в случае запуска трех в. ч. передатчиков, но и в случае запуска двух в. ч. передатчиков.

Рассмотрим влияние тока нагрузки на изменение фазы тока на выходе фильтра манипуляции. В том слу-

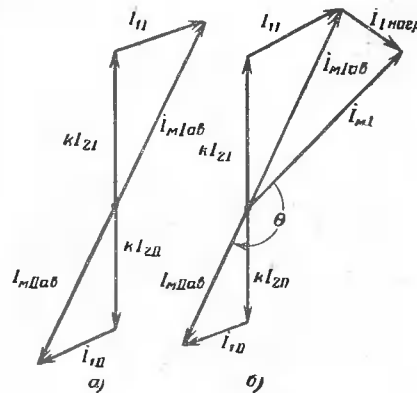


Рис. 5-11. Примерная векторная диаграмма токов на выходах фильтров манипуляции полукомплектов I и II (рис. 5-10). а — без учета токов нагрузки; б — с учетом токов нагрузки.

чае, если ток нагрузки протекает на одном из двух концов линии, на которых запустились в. ч. передатчики, то значение тока на выходе фильтра манипуляции с учетом тока нагрузки определяется, например, для полуконспекта I (рис. 5-9 и 5-11,б) по выражению:

$$I_{\text{м}} = I_{\text{м.ав}} + I_{\text{нагр}}, \quad (5-13)$$

где $I_{\text{м.ав}} = I_{\text{п}} + kI_{\text{з}}$ — аварийная составляющая тока манипуляции;

$I_{\text{нагр}}$ — ток нагрузки в месте установки полуконспекта.

При условии, что

$$I_{\text{нагр}} < I_{\text{м.ав}}$$

(индекс I , указывающий номер комплекта для общности выводов, опущен), максимальное изменение угла $I_{\text{м.ав}}$ под действием тока нагрузки $I_{\text{нагр}}$ заданного значения имеет место при условии, что вектор $I_{\text{нагр}}$ перпендикулярен вектору $I_{\text{м}}$ (рис. 5-12). Для этого случая значение тока нагрузки определяется выражением

$$I_{\text{нагр}} = I_{\text{м.ав}} \sin \varphi. \quad (5-14)$$

Значение аварийной составляющей тока манипуляции может быть выражено через значение тока обратной последовательности I_2 :

$$I_{\text{м.ав}} = I_1 + kI_2 = (\alpha_{12} + k)I_2, \quad (5-15)$$

где I_1 и I_2 — составляющие тока прямой (аварийная составляющая) и обратной последовательностей в месте установки полуконспекта;

α_{12} — отношение токов прямой и обратной последовательностей.

Выражение (5-14) с учетом выражения (5-15) может быть записано:

$$I_{\text{нагр}} = (\alpha_{12} + k)I_2 \sin \varphi. \quad (5-16)$$

В том случае, если токи нагрузки протекают на обоих концах линии, на которых запустились в. ч. передатчики, то угол между токами на выходах фильтров манипуляции также может отличаться от 180° .

Расчетным режимом, при котором влияние нагрузки на угол между токами по концам линии наибольшее, является режим передачи мощности между двумя системами, со стороны одной из которых в. ч. передатчик не запускается, например режим передачи мощности из системы I в систему III (рис. 5-9).

В случае неиспользования тока нулевой последовательности в пусковом органе защиты наименьшее значение тока $I_{\text{м.ав}}$ имеет место при замыкании фаз B и C на землю. Для этого вида повреждения коэффициент α_{12} определяется по выражению

$$\alpha_{12} = -\left(\frac{z_{1\text{г}}}{z_{0\text{г}}} + 1\right), \quad (5-17)$$

где $z_{1\text{г}}$ и $z_{0\text{г}}$ — значения суммарных сопротивлений прямой (обратной) и нулевой последовательностей для места повреждения.

При использовании тока нулевой последовательности в пусковом органе защиты реле пускового органа ($1\text{ПР}1$ и $1\text{ПР}2$) срабатывают в случае наличия тока нулевой последовательности при токе обратной последовательности меньше, чем при отсутствии тока нулевой последовательности. Значение тока обратной последовательности $I_{2\text{с.р.}}$, при котором срабатывает реле $1\text{ПР}2$ при данном значении тока нулевой последовательности, может быть определено по кривым чувствительности пускового органа (рис. 5-14).

Как показал анализ вышеприведенных выражений, изменение фаз токов на выходах органов манипуляции при внешних повреждениях под влиянием токов нагрузки не приводит к неправильному действию защиты (т. е. обеспечивается «селективность манипуляции»), если при данном токе нагрузки на одном конце линии (при передаче мощности из одной системы в другую) ток обратной последовательности на этом конце не превосходит определенного расчетного значения тока обратной последовательности $I_{2\text{расч.}}$.

Для случая неиспользования тока нулевой последовательности в пусковом органе значение $I_{2\text{расч.}}$ определяется исходя из выражения (5-16). Например, при токе нагрузки на данном конце, равном

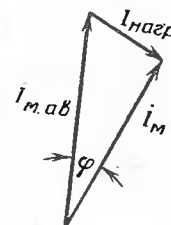


Рис. 5-12. Влияние тока нагрузки на фазу тока на выходе органа манипуляции.

номинальному току трансформаторов тока, коэффициенте фильтра манипуляции $k=8$, отношении сопротивлений $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}=2$ и допустимом угле $\varphi=45^\circ$ (принят ориентировочно):

$$I_{2расч}=1,5 \text{ а.}$$

При токах нагрузки, меньших номинального тока трансформаторов тока, $I_{2расч}$ может быть пропорционально уменьшено. Так, например, для рассматриваемого случая при вторичном токе нагрузки $I_{нар}=3,5 \text{ а}$ значение расчетного тока $I_{2расч}=1 \text{ а}$.

В случаях использования тока нулевой последовательности в пусковых органах защиты значение расчетного тока обратной последовательности меньше его значения для случая неиспользования тока нулевой последовательности, т. е. увеличивается вероятность неправильного действия защиты.

В целях снижения вероятности рассмотренных неселективных действий защиты на линиях с ответвлениями целесообразно иметь максимальный угол блокировки органа сравнения фаз.

Данный метод оценки влияния тока нагрузки на фазные соотношения сравниваемых в защите токов в ряде случаев приводит к значительным запасам в расчетах, так как в них приняты условия, совпадение которых может и не иметь места.

5-6. СОГЛАСОВАНИЕ ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПУСКОВЫХ ОРГАНОВ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ ЗАЩИТЫ

Согласование по чувствительности пусковых органов, действующих на отключение и на пуск высокочастотного передатчика, разных полукомплектов защиты производится в целях:

а) обеспечения «селективности пусковых органов» защиты при внешних повреждениях: при срабатывании в одном из полукомплектов реле $1ПР2$ (4РТ), действующего на отключение, должно сработать реле $1ПР1$ (3РТ) хотя бы еще одного из полукомплектов, установленных на защищаемой линии;

б) обеспечения «селективности манипуляции» при внешних повреждениях: при запуске в ч. передатчиков не на всех концах линии должны обеспечиваться фазные соотношения между токами на выходах органов манипуляции, при которых защита блокируется (§ 5-5).

Для обеспечения «селективности пусковых органов» дифференциально-фазной защиты при внешних к. з. необходимо, чтобы чувствительность реле пусковых орга-

нов, действующих на пуск передатчика, была выше чувствительности реле пусковых органов, действующих на отключение.

Для линий без ответвлений, для которых токи в обоих полукомплектах защиты при внешних к. з. практически одинаковы, указанное согласование по чувствительности обеспечивается выполнением для каждого полукомплекта токов срабатывания реле пуска передатчика меньшими токов срабатывания реле отключения (§ 5-1).

На линиях с ответвлениями полные токи в фазах, а также токи обратной и нулевой последовательностей, проходящие через места установки двух полукомплектов защиты при внешних к. з., различаются за счет токов, проходящих через другие концы линии (§ 1-2).

Различие по величине токов на разных концах линии с ответвлением при внешнем к. з. учитывается для полукомплекта, обтекаемого наибольшим током, значением коэффициента $k_{отв}$, равного отношению тока в месте установки рассматриваемого полукомплекта к току на одном из противоположных концов линии.

На линиях с ответвлениями для обеспечения правильного действия защиты при внешнем к. з. необходимо согласовывать по чувствительности реле пускового органа $1ПР2$ в цепи отключения полукомплекта, в месте установки которого проходит наибольший ток при рассматриваемом к. з., с реле пускового органа $1ПР1$ в цепи пуска передатчиков других полукомплектов. В случае неиспользования тока нулевой последовательности в пусковых органах полукомплектов согласование производится по выражению

$$I_{2с.п} = k_{отв.расч} k_n I_{2с.р}^{(1ПР1)}, \quad (5-18)$$

где $I_{2с.п}$ и $I_{2с.р}^{(1ПР1)}$ — токи срабатывания устройства фильтр—реле $1ПР2$ и $1ПР1$;

$k_{отв.расч}$ — коэффициент, учитывающий неравенство токов обратной последовательности в местах установки рассматриваемых полукомплектов;

k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5—2.

При использовании тока нулевой последовательности согласование производится по выражению

$$I_{с.п} = k_{отв.расч} k_n^{(1ПР1)} I_{*с.р}, \quad (5-19)$$

где $I_{с.п}^*$ и $I_{с.р}^{(1ПР1)}$ — кратности токов срабатывания реле $1ПР2$ и $1ПР1$ по отношению к току срабатывания реле $1ПР2$ при заводской регулировке;

$k_{отв.расч}$ — коэффициент, учитывающий неравенство токов обратной или нулевой последовательностей в местах установки рассматриваемых полуккомплектов; в качестве расчетного принимается наибольшее из значений $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$.

Согласование реле $4РТ$ и $3РТ$ производится по аналогичному выражению

$$I_{с.р}^{(4РТ)} = k_{отв} k_n I_{с.р}^{(3РТ)} \quad (5-20)$$

Например, при согласовании пусковых органов полуккомплектов, установленных на подстанциях I и II (рис. 5-9), коэффициенты, учитывающие неравенство токов в местах установки полуккомплектов, определяются по выражениям

$$\left. \begin{aligned} k_{2отв} &= \frac{I_{2I}}{I_{2II}}; \quad k_{0отв} = \frac{I_{0I}}{I_{0II}}; \\ k_{1отв} &= \frac{I_{II}}{I_{III}}. \end{aligned} \right\} \quad (5-21)$$

Значения I_{II} и I_{III} принимаются с учетом токов нагрузки. Предполагается, что $I_{II} > I_{III}$.

Как следует из выражений (5-18) — (5-21), учет неравенства токов по концам линии с ответвлениями при внешних повреждениях приводит к дополнительному заглублению защиты по сравнению со случаем ее установки на линии без ответвлений.

Практически для обеспечения правильного действия защиты достаточно произвести согласование по чувствительности реле пускового органа в цепи отключения рассматриваемого полуккомплекта с реле пускового органа в цепи пуска в ч. передатчика того из двух других полуккомплектов, ток в месте установки которого больше, поскольку для обеспечения рассматриваемого условия достаточно чтобы был запущен, помимо рассматриваемого, передатчик хотя бы еще одного полуккомплекта.

В качестве расчетного режима для определения $k_{отв}$ должен приниматься режим, при котором токи, проходящие на противоположных по отношению к рассматриваемому полуккомплекту концах линии, наиболее близки друг к другу.

Однако нахождение условий, расчетных для определения значения $k_{отв}$, затруднительно из-за необходимости рассмотрения различных сочетаний режимов работы систем, нагрузочных режимов защищаемой линии, обходных связей и трудностей выбора расчетной точки к. з.

Поэтому, как правило, при наличии на линии одного ответвления с питанием следует принимать значение $k_{отв}$, входящее в выражения (5-19) — (5-22) равным 2, что соответствует равенству токов, проходящих на противоположных, по отношению к рассматриваемому, концах линии. При наличии на линии нескольких ответвлений с питанием расчетное значение коэффициента $k_{отв}$ определяется по выражению

$$k_{отв} = n - 1, \quad (5-22)$$

где n — число концов линии (в том числе и ответвления).

Точный расчет значения $k_{отв.расч}$ целесообразно производить в случаях, когда снижение этого значения необходимо по условию чувствительности реле $1ПР2$.

На линиях с ответвлениями при отсутствии питания со стороны последних и установке полуккомплектов защиты только на питающих концах линии значения коэффициентов $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$ должны определяться из расчета токораспределения при внешних несимметричных к. з. в питающих системах. При этом расчетным может оказаться случай, когда $k_{0отв}$ больше двух, поскольку со стороны ответвлений может проходить ток нулевой последовательности (при заземленных нейтралях трансформаторов на ответвлениях), больший чем со стороны питающего конца, противоположного месту установки рассматриваемого полуккомплекта. Следует отметить, что значения $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$ получаются тем большие, чем больше суммарная мощность подстанций на ответвлениях.

При установке защиты на линиях, не имеющих обходных связей, при наличии в полуккомплектах направленных реле (например, рис. 5-2, б и в) при согласовании реле $1ПР2$ этих полуккомплектов с реле $1ПР1$ дру-

гих полуккомплектов значения k_{20TB} и k_{00TB} принимаются равными 1.

Согласование по чувствительности пусковых органов по условию «селективности манипуляции» производится также по выражению (5-19). Расчетными условиями для выбора значения коэффициента k_{20TB} , при которых обеспечивается «селективность манипуляции», являются:

а) в одном из полуккомплектов сработало реле $1ПР2$ на отключение и в другом — реле $1ПР1$ на пуск в ч. передатчика;

б) ток нагрузки отсутствует в месте установки полуккомплекта, в котором сработало реле $1ПР2$, и проходит в месте установки полуккомплекта, в котором сработало реле $1ПР1$.

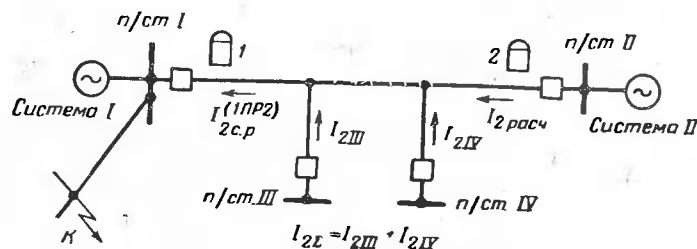


Рис. 5-13. Поясняющая схема.

Для обеспечения «селективности манипуляции» необходимо, чтобы значение тока обратной последовательности в месте установки полуккомплекта, в котором сработало реле $1ПР1$, не превышало расчетного значения $I_{2расч}$, соответствующего расчетному току нагрузки. В общем случае указанный ток нагрузки может быть определен как максимально возможное значение модуля тока, равного геометрической сумме токов нагрузки, проходящих в местах установки полуккомплектов, согласование которых производится.

Для рассматриваемых условий при неиспользовании тока нулевой последовательности в пусковых органах справедливо следующее соотношение (рис. 5-13):

$$I_{2c.p}^{(1ПР2)} = I_{2расч} + I_{2Σ}, \quad (5-23)$$

где $I_{2c.p}^{(1ПР2)}$ — ток срабатывания обратной последовательности реле $1ПР2$;

$I_{2расч}$ — расчетное значение тока обратной последовательности в месте установки полуккомплекта 2 определяется в соответствии с § 5-5;

$I_{2Σ}$ — сумма токов обратной последовательности концов линии III и IV.

Из выражения (5-23) с учетом (5-21) следует:

$$k_{20TB} = \frac{I_{2расч} + I_{2Σ}}{k_n I_{2c.p}^{(1ПР1)}}, \quad (5-24)$$

где $I_{2c.p}^{(1ПР1)}$ — ток срабатывания обратной последовательности реле $1ПР1$.

Для случая, когда полуккомплекты защиты установлены только на питающих концах, целесообразно выражение (5-24) использовать в виде

$$k_{20TB} = \frac{1}{k_n k_T} \frac{I_{2расч}}{I_{2c.p}^{(1ПР1)}}, \quad (5-25)$$

где k_T — коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки полуккомплекта 2 к току в месте установки полуккомплекта 1 при внешнем несимметричном к. з.; в качестве расчетного должно приниматься минимальное значение (рис. 5-13).

В табл. 5-2 приведены значения k_{20TB} , вычисленные по выражению (5-25) для значений $I_{2расч} = 1,5$ а, $k_n = 1,5$, $k = 8$ и $z_{1Σ}/z_{0Σ} = 2$.

Следует отметить, что в случае установки полуккомплектов только на питающих концах линии и выполнении этих полуккомплектов по типовой схеме, значение тока срабатывания $I_{2c.p}^{(1ПР2)} = 1,5$ а, что соответствует значениям $k_{20TB} = 2$ (при $I_{2c.p} = 0,5$ а). В связи с этим в данном случае условие «селективности манипуляции» не является расчетным для выбора k_{20TB} (для случаев неиспользования тока нулевой последовательности в пусковом органе).

В случае наличия полуккомплектов на всех концах линии значение $I_{2Σ}$ целесообразно определять для случая, когда в местах установки полуккомплектов, в которых не запустились в ч. передатчики проходит ток, равный току срабатывания реле $1ПР1$. Предполагается, что реле $1ПР1$ рассматриваемых полуккомплектов находятся на грани срабатывания. Значение $I_{2Σ}$ определяется по выражению

$$I_{2Σ} = (n - 2) I_{2c.p}^{(1ПР1)}, \quad (5-26)$$

где n — число концов линии.

Из выражения (5-24) с учетом выражения (5-26) следует:

$$k_{20TB} = \frac{I_{2расч} + (n - 2) I_{2c.p}^{(1ПР1)}}{k_n I_{2c.p}^{(1ПР1)}}. \quad (5-27)$$

Ниже в табл. 5-3 приведены значения коэффициента $k_{20\text{тв}}$, подсчитанные по (5-27), для многоконцевых линий. В этой же таблице даны предельные значения этого коэффициента, определяемые по

Таблица 5-2

k_t	$I_{(1ПР1)}^{2с.р}$		
	0,5 а	0,75 а	1,0 а
0,9	2,2	1,47	1,1
0,8	2,5	1,67	1,25
0,7	2,86	1,9	1,43

условию обеспечения «селективности пусковых органов» [см. выражение (5-22)].

Как следует из табл. 5-3, учет условия «селективности манипуляции» может оказаться расчетным при определении значения $k_{20\text{тв}}$. При этом защита дополнительно загружается по сравнению со случаем неучета рассматриваемого условия.

В тех случаях, когда учет значения $k_{20\text{тв}}$, определяемого по выражению (5-27), приводит к значительному загрузению защиты, то следует произвести расчеты токов при внешних повреждениях с учетом нагрузки. По конкретным векторным диаграммам токов на выходах фильтров манипуляции может быть оценена возможность неселективного действия защиты.

В случае использования тока нулевой последовательности в пусковых органах значение $k_{0\text{тв.расч}}$ определяется по выражениям, аналогичным (5-25) и (5-27). При этом в расчетные выражения подставляется значение $I_{2\text{расч}}$, определяемое с учетом тока нулевой последовательности.

В общем случае значения $k_{20\text{тв}}$ определяются по общим условиям — обеспечения «селективности пусковых органов» и «селективности манипуляции» — с учетом рассмотренного выше. В качестве расчетного принимается большее из полученных значений.

При согласовании реле 4РТ и 3РТ условие «селективности манипуляции» не учитывается, так как указанные реле срабатывают при значениях токов, при которых влияние нагрузки на фазу тока на выходе органа манипуляции не сказывается.

Следует отметить, что рассмотренный метод оценки «селективности манипуляции» нуждается в дальнейшей разработке и эксплуатационной проверке.

Таблица 5-3

n	$k_{20\text{тв}}$ по выражению (5-27)		$k_{20\text{тв}}$ по выражению (5-22)
	$I_{2\text{расч}} = 1,5 а$	$I_{2\text{расч}} = 1 а$	
3	2,67	2	2
4	3,33	2,67	3
5	4,0	3,33	4

5-7. СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА ФИЛЬТР—РЕЛЕ 1ПР2 ЗАЩИТЫ ТИПА ДФЗ-2

Увеличение тока срабатывания устройства фильтр — реле 1ПР2 защиты типа ДФЗ-2 может быть достигнуто следующим образом.

1-й способ. Увеличение тока в цепи тормозной обмотки 1ПР2_т реле 1ПР2 по сравнению с заводской регулировкой путем уменьшения величины сопротивления 1СД2 в цепи этой обмотки.

2-й способ. Включение добавочного сопротивления параллельно рабочей обмотке 1ПР2_р реле 1ПР2.

3-й способ. Включение на выходе фильтра тока обратной последовательности параллельно конденсатору 1С3 дополнительных конденсаторов.

Возможно также одновременное использование нескольких из указанных способов.

Исследование способов загрузки проводилось в Украинском отделении института «Энергосетьпроект».

Проведенные испытания показали, что, используя 1 и 2-й способы, можно осуществить загрузку реле 1ПР2 по току обратной последовательности до $I_{2с.р} = 4,5 а$. При больших токах срабатывания наступает насыщение магнитной системы трансформатора 1ТН₂, что приводит к снижению кратности тока в реле 1ПР2 и его вибрации при токах, соответствующих коэффициенту чувствительности защиты $k_{\text{ч}} = 2$. Это снижает надежность защиты. При использовании 1-го способа имеется возможность при загрузке до разных величин токов срабатывания реле 1ПР2 применять при расчетах одно семейство кривых, соответствующих определенным уставкам по току обратной $I_{2\text{уст}}$ и нулевой $3I_{0\text{уст}}$ последовательностей. При применении 2-го способа такой возможности не имеется. Первый способ рекомендуется в качестве основного при загрузке до $I_{2с.р} = 4,5 а$. При этом отношение токов срабатывания реле 1ПР2 и реле 1ПР1 увеличивается до трех. На рис. 5-14 приведены характеристики чувствительности пускового органа защиты при использовании 1-го способа загрузки. Эти характеристики несколько отличаются от типовых [Л. 12] в связи с тем, что испытания проводились на нескольких полуккомплектах защиты с характеристиками, не совпадающими с типовыми. Однако они могут быть использованы для расчетов пара-

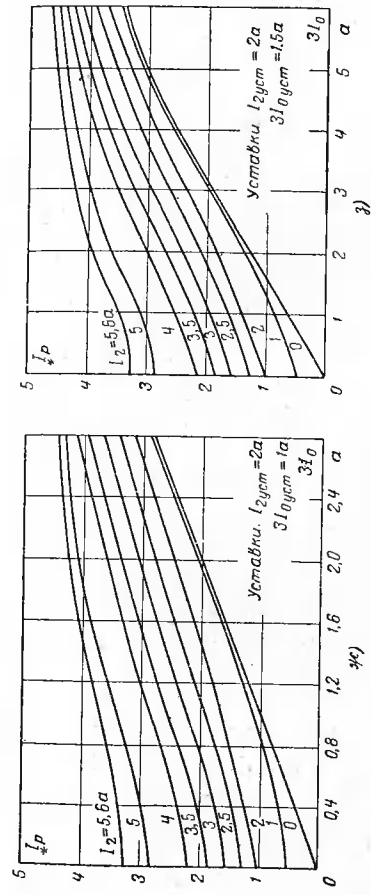
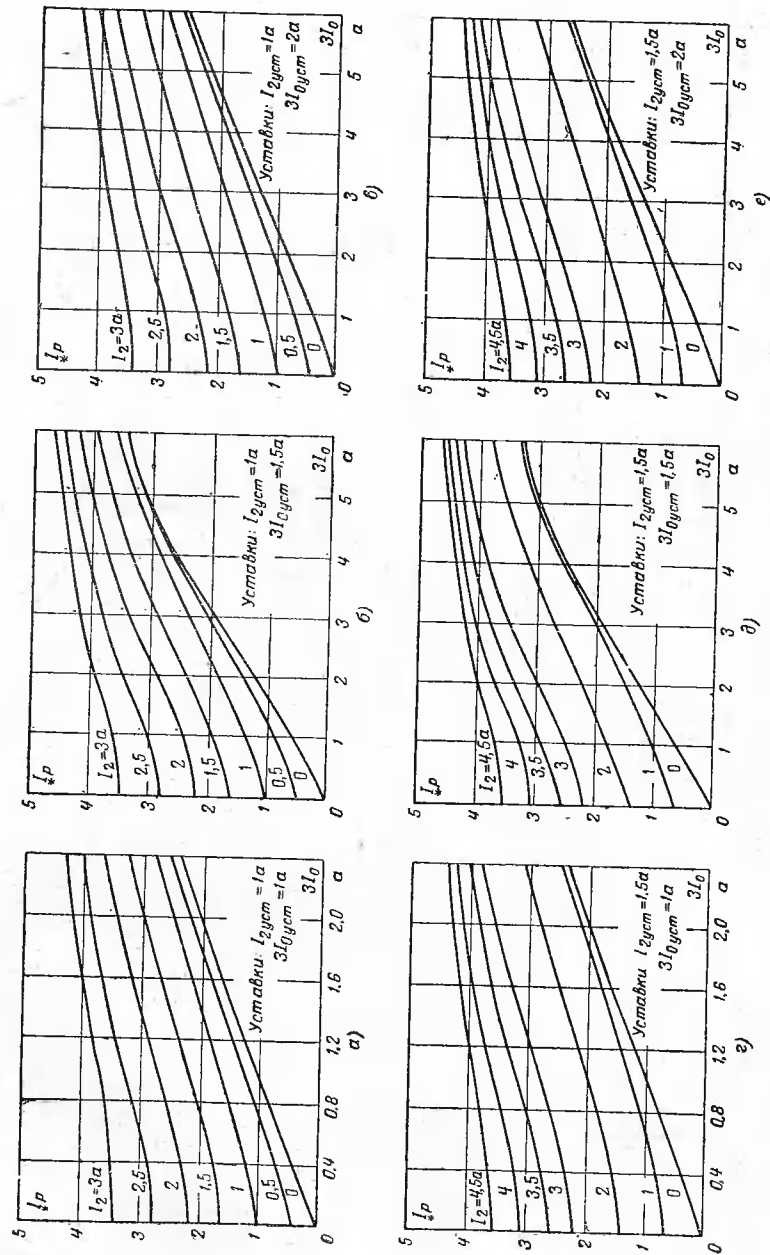


Рис. 5-14. Характеристики чувствительности пускового органа защиты типа ДФЗ-2.

$I_{2уст}$ — уставка устройства фильтр — реле ИР2 по току обратной последовательности; $3I_{0уст}$ — уставка устройства фильтр — реле ИР2 по току нулевой последовательности; I_p — кратность тока в реле ИР2 по отношению к его току срабатывания при заводской регулировке; I_2 — ток обратной последовательности на входе фильтра, в амперах; $3I_0$ — утроенный ток нулевой последовательности.

метров защиты в связи с незначительным их отличием от типовых.

Значение тормозного тока, необходимого для загробления реле $1ПР2$ до кратности срабатывания $I_{с.р}^*$ по отношению к току срабатывания этого реле при заводской регулировке, ориентировочно определяется по выражению

$$I_T = 9,75 I_{с.р}^* - 7, \text{ ма.} \quad (5-28)$$

При известной величине тормозного тока значение добавочного сопротивления $1СД2$ в цепи тормозной обмотки ориентировочно определяется по выражению

$$R_{доб} = \frac{U_{ном}}{I_T} - R_T, \quad (5-29)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение источника постоянного тока;
 R_T — сопротивление тормозной обмотки, равное примерно 600 ом.

Следует отметить, что по оси ординат на рис. 5-14 указана кратность тока в реле $1ПР2$ по отношению к его току срабатывания при заводской регулировке. Это должно учитываться при расчетах по данным характеристикам. Например, при установках $I_{уст} = 2 \text{ а}$, $3I_{уст} = 2 \text{ а}$ и кратности тока срабатывания реле $1ПР2$ $I_{с.р}^* = 2$ коэффициент чувствительности при вторичных токах повреждения $I_2 = 5 \text{ а}$ и $3I_0 = 4,5 \text{ а}$ равен:

$$k_{ч} = \frac{I_p^*}{I_{с.р}^*} = \frac{4}{2} = 2,$$

где $I_p = 4$ — кратность тока в реле $1ПР2$ при токах $I_2 = 5 \text{ а}$ и $3I_0 = 4,5 \text{ а}$, определяемая по кривым рис. 5-14,а.

При использовании 3-го способа одновременно увеличиваются токи срабатывания реле $1ПР2$ и $1ПР1$ по току обратной последовательности, а токи срабатывания по нулевой последовательности реле $1ПР2$ и $1ПР1$ не изменяются.

5-8. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНАЯ ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЗАЩИТА С ПУСКОВЫМИ ОРГАНАМИ НАПРЯЖЕНИЯ ТИПА ДФЗ-501 НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Одной из отличительных особенностей защиты типа ДФЗ-501 является наличие пускового органа, который реагирует не на комбинацию токов (как например в защите типа ДФЗ-2), а на комбинацию напряжения обратной последовательности \dot{U}_2 и тока нулевой последовательности $3\dot{I}_2$. Ниже рассматриваются особенности использования данной защиты на линии с ответвлением, определяемые типом пускового органа. Ток в реле пус-

кового органа $3PH2$ [Л. 17] определяется в общем случае выражением

$$I_p = f(\dot{U}_2, 3\dot{I}_0). \quad (5-30)$$

Напряжение \dot{U}_2 , подводимое к защите, соответствует не напряжению в месте установки защиты, а напряжению в некоторой, заранее выбранной точке линии:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_2 - z_k \dot{I}_2, \quad (5-31)$$

где \dot{U}_2 и \dot{I}_2 — напряжение и ток обратной последовательности в месте установки полуконтакта;

z_k — сопротивление компенсации.

На линии без ответвления, как правило, принимается z_k равным половине полного сопротивления линии; при этом напряжения, подводимые к разным полуконтактам при внешних к. з., равны.

Манипуляция высокочастотным передатчиком в защите типа ДФЗ-501 осуществляется от комбинации токов $\dot{I}_1 + k\dot{I}_2$, как и в защите типа ДФЗ-2.

Как уже указывалось, при применении на линиях с ответвлениями дифференциально-фазных защит с токовыми пусковыми органами имеет место увеличение отношения между токами срабатывания реле, действующих на отключение и на пуск в. ч. передатчика.

Дифференциально-фазную в. ч. защиту с пусковыми органами напряжения при неиспользовании для пуска тока нулевой последовательности на линии с одним ответвлением с питанием можно выполнить таким образом, что не потребуется дополнительного загробления пусковых органов защиты. Для этого при внешних повреждениях к пусковым органам всех полуконтактов защиты должны подводиться одинаковые напряжения.

Анализ показывает, что для этого ко всем пусковым органам целесообразно подводить напряжение, соответствующее точке разветвления $U_{2раз}$ (рис. 5-9). Величина сопротивления компенсирующего устройства выбирается равной сопротивлению участка линии от шин подстанции, на которой установлен данный полуконтакт, до точки разветвления.

Таким образом, напряжения, подводимые к пусковым органам соответственно полуконтактов на подстанциях I, II и III, равны:

$$\dot{U}_{2п1} = \dot{U}_{21} - z_{21} \dot{I}_{21}, \quad (5-32)$$

$$\dot{U}_{2pII} = U_{2II} - z_{2II} I_{2II}, \quad (5-33)$$

$$\dot{U}_{2pIII} = U_{2III} - z_{2III} I_{2III}, \quad (5-34)$$

где \dot{U}_{2I} , \dot{U}_{2II} и \dot{U}_{2III} — напряжения обратной последовательности на шинах подстанций *I*, *II* и *III*;

I_{2I} , I_{2II} и I_{2III} — токи обратной последовательности в местах установки полукомплектов защиты на подстанциях *I*, *II* и *III*;

z_{2I} , z_{2II} и z_{2III} — сопротивления обратной последовательности участков линий от шин подстанций *I*, *II* и *III* до точки разветвления.

Сопротивления компенсации выбираются равными соответственно для полукомплектов на подстанциях *I*, *II* и *III*:

$$z_{KI} = z_{2I}; \quad z_{KII} = z_{2II} \quad \text{и} \quad z_{KIII} = z_{2III}.$$

При наличии на линии нескольких ответвлений с питанием, присоединенных к разным точкам линии, используя метод компенсации, принципиально не представляется возможным осуществить подвод одинаковых напряжений ко всем пусковым органам полукомплектов защиты при внешних коротких замыканиях. В связи с этим необходимо осуществить дополнительное загрубление пусковых органов, действующих на отключение, по сравнению со случаем использования защиты на линии без ответвлений.

5-9. ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ С ОТВЕТВЛЕНИЕМ С УСТАНОВКОЙ НА НЕМ ДВУХ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ

В ряде случаев может оказаться целесообразным выполнить защиту линии с ответвлением с установкой на нем двух полукомплектов защиты. На рис. 5-15 в качестве примера приведены схемы линии с ответвлением при наличии питания со стороны последнего. Для таких линий возможно применение рассматриваемого варианта выполнения защиты. Линия разбивается на два участка: *I* участок и *II* участок. На участке *I* устанавливается защита, состоящая из полукомплектов 1 и 2. Полукомплект 1 устанавливается на основной питающей под-

станции *I* и полукомплект 2 — на подстанции ответвления. Аналогичным образом на участке *II* защита также состоит из двух полукомплектов, из которых полукомплект 3 устанавливается на основной питающей подстанции, а полукомплект 4 — на подстанции ответвления. Полукомплекты, устанавливаемые на основных питающих подстанциях, имеют типовое исполнение (рис. 5-1), а полукомплекты на подстанции ответвления имеют незначительные изменения по сравнению с типовым полукомплектom.

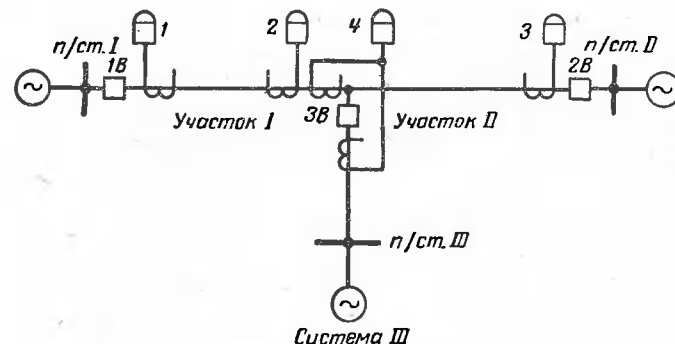


Рис. 5-15. Выполнение защиты линии с ответвлением с установкой на нем двух полукомплектов.

При повреждении на участке *I* срабатывает его защита. При этом защита действует на отключение выключателя 1В, на остановку в. ч. передатчика полукомплекта 4 на ответвлении и на отключение выключателя 3В со стороны подстанции на ответвлении. После остановки передатчика полукомплекта 4 срабатывает на отключение выключателя 2В полукомплект 3. При повреждении на участке *II* защита действует аналогично.

Для остановки в. ч. передатчика другого полукомплекта может использоваться один из контактов выходного промежуточного реле 5РП (ДФЗ-2), при срабатывании которого подается плюс к обмотке реле 2КР1, чем осуществляется возврат этого реле и остановка в. ч. передатчика. В некоторых случаях может оказаться целесообразной установка специального промежуточного реле.

Полукомплект на данном участке должен иметь необходимую чувствительность не только к повреждениям на защищаемом участке, но и на другом участке линии.

Применение рассматриваемого варианта выполнения защиты по сравнению с вариантом, когда на ответвлении устанавливается один полукompлект, имеет следующие преимущества:

а) защита может быть выполнена более чувствительной к повреждениям на защищаемой линии;

б) облегчаются условия выполнения в. ч. канала защиты.

Повышение чувствительности защиты объясняется тем, что полукompлекты на ответвлении реагируют на полный ток линии, а не на ток, посылаемый ответвлением. Кроме этого, в полукompлектах не требуется производить дополнительного загробления реле пускового органа, действующих на отключение.

Высокочастотные каналы для каждого участка выполняются отдельно и таким образом, что из зоны каналов исключается ответвление. Эти обстоятельства, особенно последнее, приводят к снижению затухания высокочастотного сигнала, что повышает надежность защиты.

Следует учитывать, что при применении варианта с установкой двух полукompлектов на ответвлении по сравнению с вариантом, когда на ответвлении устанавливается только один полукompлект, требуется дополнительное оборудование (панель релейной части защиты, высокочастотное оборудование, трансформаторы тока и др.). В ряде случаев может оказаться затруднительным установка дополнительных трансформаторов тока.

Защита с установкой двух полукompлектов на подстанции ответвления может быть выполнена также и в случае отсутствия питания со стороны ответвления или при наличии со стороны ответвления маломощного питания. Однако это возможно в случаях, когда допустимо не учитывать режим отключения линии с одного из основных питающих концов. При отключении линии с одного из основных питающих концов возможен отказ защиты при повреждении на защищаемой линии, если ток со стороны ответвления недостаточен для надежной манипуляции.

5-10. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПУСКОВЫЕ ОРГАНЫ

В ряде случаев может оказаться целесообразным использование дополнительных пусковых органов. На выходе фильтра типа $I_1 + kI_2$, аналогично фильтру манипуляции, включаются реле $1PT$ и $2PT$. Контакт реле $1PT$ предусмотрен в цепи пуска в. ч. передатчика (рис. 5-1). Пуск в. ч. передатчика возможен при условии, если на

выходе фильтра манипуляции напряжение достаточно для надежной манипуляции. Контакт реле $2PT$ включается в цепь отключения. Ток срабатывания $I_{с.р(2)}$ реле $2PT$ выбирается в два и более раз большим тока срабатывания реле $1PT$ $I_{с.р(1)}$

$$I_{с.р(2)} > 2I_{с.р(1)}. \quad (5-35)$$

При принятом выборе параметров срабатывания дополнительного пускового реле $1PT$ исключается отказ защиты при повреждениях на защищаемой линии в случае, если с одного из концов защищаемой линии ток недостаточен для надежной манипуляции, так как принимается, что ток срабатывания реле $1PT$ больше тока, при котором обеспечивается надежная манипуляция I_m . Пуск в. ч. передатчика производится только при условии, что ток в месте установки полукompлекта достаточен для надежной манипуляции.

При внешних повреждениях, как указывалось в § 5-6, может иметь место в случае запуска в. ч. передатчиков только двух полукompлектов неправильное действие защиты на отключение в результате сдвига фаз токов на выходе фильтра манипуляции под действием токов нагрузки. В целях исключения указанного рекомендуется использование пусковых органов напряжения, реагирующих на напряжение в точке присоединения ответвления, по аналогии с защитой типа ДФЗ-501:

$$U_p = \dot{U}_2 - z_k \dot{I}_2. \quad (5-36)$$

Этим обеспечивается надежный пуск в. ч. передатчиков, если в одном из полукompлектов основной пусковой орган сработает на отключение.

При принятых установках дополнительных пусковых органов $1PT$ и $2PT$ обеспечивается правильная работа органов сравнения фаз защиты при внешних повреждениях.

При внешних повреждениях возможны следующие случаи работы дополнительных пусковых органов (рис. 5-9):

а) запускаются все три в. ч. передатчика, если напряжения манипуляции на выходах всех фильтров манипуляции достаточны для надежной манипуляции;

б) запускаются только два в. ч. передатчика, если напряжение на выходе одного из фильтров манипуляции недостаточно для надежной манипуляции.

На рис. 5-16,а приведена векторная диаграмма для случая, когда

$$I_{mI} = I_{с.р(2)}, I_{mII} > I_m \text{ и } I_{mIII} > I_m.$$

Заштрихованные области соответствуют значениям $I_{mII} < I_m$ и $I_{mIII} < I_m$, т. е. условиям ненадежной манипуляции. В рассматриваемом случае будет иметь место надежная манипуляция всех трех в. ч. передатчиков.

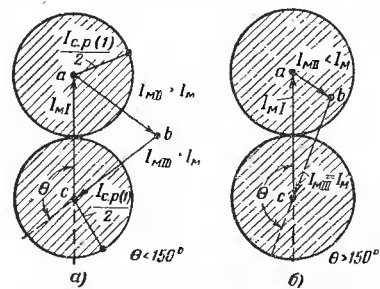


Рис. 5-16. Диаграммы токов, поясняющие работу дополнительного пускового органа.
а — $\theta < 150^\circ$; б — $\theta > 150^\circ$.

В случае, когда

$$I_{MI} = I_{с.р(1)}, I_{MII} < I_M \text{ и } I_{MIPI} > I_M$$

запускаются только в. ч. передатчики на подстанциях I и III. Как следует из векторной диаграммы рис. 5-16, б, угол между сравниваемыми токами I_{MI} и I_{MIPI} больше $\theta > 150^\circ$. В этом случае защита блокируется. Предельный случай, когда реле IPT полукомплекта 3 находится на грани срабатывания $I_{MII} = I_M$. При этом предполагается, что реле IPT полукомплекта 3 сработало, так как $I_{MIPI} > I_M$, и запущено значение угла в этом случае составляет $\theta = 150^\circ$, и в этом случае орган сравнения фаз находится на грани чувствительности.

Если $I_{MIPI} < I_M$ и $I_{MII} < I_M$, то в полукомплектах не сработают реле 2PT, так как токи на выходах фильтров манипуляции будут недостаточны для срабатывания этих реле.

В целях повышения надежности работы дополнительных реле принимается:

$$I_{с.р(2)} = 3I_{с.р(1)} \quad (5-37)$$

Как следует из вышеприведенного анализа действия дополнительных пусковых органов, при внешних повреждениях или происходит пуск всех трех в. ч. передатчиков, или запускаются только два из них. В последнем случае угол сдвига между сравниваемыми по фазе токами не превышает угла блокировки. Таким образом, дополнительные пусковые органы обеспечивают также правильную работу органа сравнения фаз при внешних к. з.

Для обеспечения селективности действия защиты при отключении внешних к. з. необходимо дополнительно выполнить следующие условия:

- а) реле IPT должно срабатывать без дополнительного замедления и возвращаться в исходное положение с некоторым замедлением;
- б) реле 2PT должно срабатывать с некоторым замедлением и возвращаться в исходное положение без дополнительного замедления.

При отсутствии питания со стороны ответвления может быть использован неполный полукомплект с дополнительным реле IPT для установки на подстанции ответвления.

В случае, когда при повреждении на защищаемой линии отсутствует ток, достаточный для надежной манипуляции в месте установки полукомплекта на ответвлении, реле IPT не срабатывает, чем предотвращается отказ защиты вследствие посылки сплошного блокирующего сигнала со стороны ответвления.

Согласование по чувствительности пусковых органов, а также органов манипуляции производится так же, как и в случае использования на ответвлении полукомплекта защиты, манипуляции в. ч. передатчиком которого осуществляется по второму способу (см. § 5-4).

5-11. ДИСТАНЦИОННЫЙ ПУСК ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕДАТЧИКА

Для дифференциально-фазной в. ч. защиты может быть использован принцип дистанционного пуска в. ч. передатчиков [Л. 15] полукомплектов на других концах линии при запуске защиты на данном

конце линии (по аналогии с направленной высокочастотной защитой типа ПЗ-164).

Наличие дистанционного пуска в. ч. передатчиков позволяет иметь один пусковой орган (а не два, как, например, в защите типа ДФЗ-2), действующий как на пуск в. ч. передатчика, так и на отключение. Это дает возможность значительно повысить чувствительность защиты.

Высокая чувствительность пусковых органов позволяет выполнить пусковой орган реагирующим только на ток обратной последовательности, не используя тока нулевой последовательности.

Манипуляция в. ч. передатчиком осуществляется, как и в схеме защиты ДФЗ-2, от комбинированного фильтра токов прямой и обратной последовательностей $I_1 + jI_2$. В связи с неиспользованием в пусковом органе токов нулевой последовательности при действии пускового органа данного полукомплекта обеспечивается надежная работа его органа манипуляции. Однако в полукомплектах защит, установленных на концах линии, со стороны которых ток при повреждениях на защищаемой линии может оказаться недостаточным для надежной манипуляции, необходимо предусматривать манипуляцию по второму способу (см. § 5-4). Это необходимо в связи с использованием дистанционного пуска в. ч. передатчика для исключения отказа защиты при к. з. на защищаемой линии в случаях, когда ток в месте установки рассматриваемого полукомплекта недостаточен для надежной манипуляции.

Для дистанционного пуска в. ч. передатчиков используется второй упрощенный в. ч. канал с другой частотой. В. ч. приемопередатчик дополняется вторым генератором и вторым приемником. Второй приемник выполняется так же, как и для направленных в. ч. защит, и на его выходе включается реле, которое осуществляет дистанционный пуск в. ч. передатчика.

Следует отметить, что достоинством рассмотренного выполнения защиты, помимо отмеченных выше, является также то, что она значительно меньше подвержена неправильному действию при внешних к. з. из-за сдвига фаз сравниваемых токов под влиянием токов нагрузки, чем защита в типовом исполнении. Указанное объясняется тем, что благодаря дистанционному пуску в. ч. передатчика при внешних к. з. в случае срабатывания пускового органа в одной из защит, производится пуск в. ч. передатчиков всех полукомплектов.

5-12. ЗАЩИТА С ПОСТОЯННО РАБОТАЮЩИМИ ПЕРЕДАТЧИКАМИ

В целях расширения области применения высокочастотной дифференциально-фазной защиты, может оказаться целесообразным выполнить защиту так, что ее в. ч. передатчики постоянно работают [Л. 16], а не запускаются только при возникновении повреждения, как это имеет место, например, в защите типа ДФЗ-2. В этом случае пусковые органы могут быть выполнены так же, как и для защиты с дистанционным пуском в. ч. передатчиков.

При таком выполнении защита, как и защита с дистанционным пуском в. ч. передатчика, может оказаться более чувствительной, чем распространенная в настоящее время защита с двумя пусковыми органами.

Сравнивая между собой мероприятия по расширению области применения дифференциально-фазной в. ч. защиты на линиях с ответвлениями (см. § 5-10—5-12), необходимо отметить следующее.

а) Применение защиты с дополнительными пусковыми органами в ряде случаев может ограничиваться условиями чувствительности.

б) Использование дистанционного пуска в. ч. передатчика, по сравнению с другими способами имеет тот недостаток, что для его осуществления требуется использование двух в. ч. каналов (один из которых — упрощенный). Однако данный способ в ряде случаев позволяет выполнить защиту значительно более чувствительной, чем, например, при использовании дополнительных пусковых органов, включенных на вход фильтра, аналогичного фильтру манипуляции.

в) Применение защиты с постоянно работающими в. ч. передатчиками может ограничиваться трудностями, связанными с выполнением в. ч. канала. В части типа основных пусковых органов и их чувствительности рассматриваемый способ аналогичен способу применения дистанционного пуска в. ч. передатчиков.



Глава шестая

НАПРАВЛЕННЫЕ ЗАЩИТЫ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ

6-1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ

Как известно [Л. 2], данные защиты основаны на косвенном сравнении направлений мощности к. з. по концам защищаемой линии. Защита срабатывает в случае, если мощности к. з. с обеих сторон линии направлены от шин в сторону защищаемой линии, когда передатчики обоих концов не посылают блокирующих высокочастотных (в. ч.) сигналов. При к. з. вне защищаемого участка мощность на одном из концов линии направлена к шинам; передатчик этого конца посылает блокирующий сигнал, препятствующий срабатыванию защиты на обоих концах линии. Для удобства рассмотрения особенностей применения данных защит на линиях с ответвлениями целесообразно разделить их на следующие основные виды:

а) Направленные защиты с высокочастотной блокировкой с органами пуска в. ч. передатчика, действующими независимо от направления мощности к. з.

б) Направленные защиты с высокочастотной блокировкой с органами пуска в. ч. передатчика, действующими только при направлении мощности к. з. от линии к шинам.

Характерной особенностью первых защит является то, что в случае к. з. на защищаемом участке и пуске в. ч. передатчиков защита действует на отключение только при условии, если запущенные передатчики будут остановлены органами их остановки, действующими при направлении мощности к. з. в сторону линии; при отказе органа остановки хотя бы одного в. ч. передатчика отказывает в действии защита со всех сторон линии

из-за посылки блокирующего сигнала. Так, например, если при к. з. в точке K на линии между подстанциями I и II (рис. 6-1) происходит пуск в. ч. передатчика полуккомплекта 2 и органы останова в. ч. передатчика этого полуккомплекта отказывают в действии (например, в случае, когда их чувствительность недостаточна), то откажет в действии защита с обеих сторон вследствие посылки в. ч. блокирующего сигнала передатчиком полуккомплекта 2.

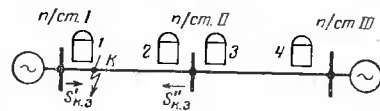


Рис. 6-1. Пример схемы линии без ответвлений.

Из известных и нашедших распространение в Советском Союзе защит к данному виду можно отнести следующие защиты: фильтровую направленную защиту с высокочастотной блокировкой и дистанционным пуском в. ч. передатчика (например, типа ПЗ-164), у которой пуск в. ч. передатчика и защиты производится при появлении напряжения обратной последовательности; дистанционную защиту и токовую направленную защиту нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой с пуском в. ч. передатчика от устройства блокировки при качаниях (при появлении составляющих токов или напряжений обратной и нулевой последовательностей) или с пуском от ненаправленных реле сопротивления и реле тока нулевой последовательности (защита типа H_z) и др. Для определения направления мощности к. з. в данных защитах используются: реле направления мощности, включаемые на полные токи и напряжения или на составляющие обратной или нулевой последовательности, и направленные реле сопротивления (для действия при междуфазных к. з.).

Характерной особенностью защиты с органами пуска, действующими при направлении мощности к. з. к шинам, является то, что эта защита при к. з. на защищаемой линии действует на каждом конце независимо от того, сработала или нет защита на противоположном конце.

При использовании этой защиты в рассмотренном выше случае (рис. 6-1) защита со стороны подстанции I будет срабатывать также и при недействии защиты противоположного конца, поскольку при к. з. на защищаемой линии передатчики с обеих сторон линии не запу-

скаются. К защитам данного вида относятся: фильтровые направленные высокочастотные защиты обратной последовательности с индукционными реле направления мощности (типов НЗИ-200 и НЗИ-400), фильтровая направленная высокочастотная защита с фазочувствительной схемой (типа НФЗ-400) [Л. 18], фильтровая направленная защита с высокочастотной блокировкой на полупроводниковых приборах (типа НВЗП-1) [Л. 19].

В указанных защитах в качестве основного пускового органа используется орган направления мощности обратной последовательности двустороннего действия, который при направлении мощности к. з. к шинам подстанции действует на пуск передатчика, а при направлении мощности к. з. от шин в линию — на отключение. К данному виду защит можно отнести также дистанционные защиты с высокочастотной блокировкой, имеющие характеристики срабатывания по рис. 6-2. Реле сопротивления третьей ступени такой защиты при внешних многофазных к. з. действует на пуск в. ч. передатчика. Характеристика срабатывания этих реле для исключения мертвой зоны охватывает начало координат. При многофазном к. з. на защищаемой линии реле сопротивления второй ступени защиты (Z_{II}) действуют на отключение, а также и на остановку в. ч. передатчика. Благодаря последнему, при к. з. на защищаемой линии вблизи места установки защиты (в зоне срабатывания третьей ступени) обеспечивается срабатывание защиты с в. ч. блокировкой, поскольку в. ч. передатчик останавливается при действии второй ступени. Для действия при замыканиях на землю указанные защиты дополняются двумя реле направления мощности нулевой последовательности (или одним реле двустороннего действия), одно из которых, срабатывая при направлении мощности к. з. к шинам, действует на пуск в. ч. передатчика, а дру-

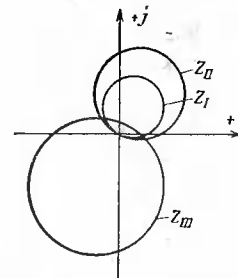


Рис. 6-2. Характеристики срабатывания дистанционной защиты с высокочастотной блокировкой.

Z_I — характеристика срабатывания I ступени защиты; Z_{II} — характеристика срабатывания II ступени защиты (действующей на остановку в. ч. передатчика и отключение); Z_{III} — характеристика срабатывания III ступени защиты (действующей на пуск в. ч. передатчика).

скаются. К защитам данного вида относятся: фильтровые направленные высокочастотные защиты обратной последовательности с индукционными реле направления мощности (типов НЗИ-200 и НЗИ-400), фильтровая направленная высокочастотная защита с фазочувствительной схемой (типа НФЗ-400) [Л. 18], фильтровая направленная защита с высокочастотной блокировкой на полупроводниковых приборах (типа НВЗП-1) [Л. 19].

В указанных защитах в качестве основного пускового органа используется орган направления мощности обратной последовательности двустороннего действия, который при направлении мощности к. з. к шинам подстанции действует на пуск передатчика, а при направлении мощности к. з. от шин в линию — на отключение. К данному виду защит можно отнести также дистанционные защиты с высокочастотной блокировкой, имеющие характеристики срабатывания по рис. 6-2. Реле сопротивления третьей ступени такой защиты при внешних многофазных к. з. действует на пуск в. ч. передатчика. Характеристика срабатывания этих реле для исключения мертвой зоны охватывает начало координат. При многофазном к. з. на защищаемой линии реле сопротивления второй ступени защиты (Z_{II}) действуют на отключение, а также и на остановку в. ч. передатчика. Благодаря последнему, при к. з. на защищаемой линии вблизи места установки защиты (в зоне срабатывания третьей ступени) обеспечивается срабатывание защиты с в. ч. блокировкой, поскольку в. ч. передатчик останавливается при действии второй ступени. Для действия при замыканиях на землю указанные защиты дополняются двумя реле направления мощности нулевой последовательности (или одним реле двустороннего действия), одно из которых, срабатывая при направлении мощности к. з. к шинам, действует на пуск в. ч. передатчика, а дру-

гое, срабатывая при направлении мощности к. з. от шин в линию, действует на отключение. Такие характеристики имеет, например, дистанционная защита с высокочастотной блокировкой типа GCU.

Следует отметить, что фильтровые защиты обратной последовательности, относящиеся к данной разновидности защиты, могут дополняться двумя реле сопротивления для действия при трехфазных к. з. с характеристиками, подобными приведенным на рис. 6-2 характеристикам Z_{II} и Z_{III} .

Правильное действие рассмотренных защит с высокочастотной блокировкой (кроме защиты с дистанционным пуском в. ч. передатчика) при внешних к. з. обеспечивается применением двух органов разной чувствительности — органа пуска и органа остановки в. ч. передатчика (или органа отключения). При этом чувствительность органа пуска в. ч. передатчика полуконтакта, установленного на том конце линии, где мощность короткого замыкания направлена от линии к шинам, больше, чем чувствительность органа, действующего на остановку в. ч. передатчика (на отключение), полуконтакта противоположного конца линии. Указанное достигается специальным выбором (согласованием по чувствительности) параметров срабатывания органов пуска и остановки в. ч. передатчика (отключения), при котором первые имеют большую чувствительность, чем вторые.

Правильное действие защиты с дистанционным пуском в. ч. передатчика и общим пусковым органом при срабатывании пускового органа только на одном из концов линии обеспечивается дистанционным пуском в. ч. передатчика противоположного конца линии.

Ниже в качестве примеров рассматриваются схемы релейной части дистанционной защиты и защиты нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой и направленной фильтровой защиты на полупроводниковых приборах типа НВЗП-1.

Принцип действия и схемы других кратко рассмотренных выше защит даны в [Л. 2, 20].

а) Дистанционная защита и направленная защита нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой

В качестве примера выполнения высокочастотной защиты с органами пуска передатчика, действующими независимо от направления мощности к. з., на рис. 6-3 приведена схема цепей постоянного тока релейной части полуконтакта в. ч. блокировки дистанционной защиты и защиты нулевой последовательности, широко распространенной в Советском Союзе и предназначенной для использования в сочетании с трехступенчатой, а в некоторых случаях и с двухступенчатой дистанционной защитой от многофазных замыканий и ступенчатой токовой направленной защитой нулевой последовательности от замыканий на землю.

Схема содержит органы пуска и остановки в. ч. передатчика, поляризованное реле, предназначенное для блокировки защиты при внешних к. з., а также выходные цепи и цепи сигнализации.

Для пуска в. ч. передатчика при возникновении к. з. в схеме используются параллельно соединенные замыкающие контакты реле $РПБ$ и $РПв$ устройства блокировки при качаниях дистанционной защиты, а также дополнительно предусматриваемое в целях повышения надежности пуска передатчика при замыканиях на землю реле тока $2PT$, включенное на ток нулевой последовательности. Применение пуска передатчика от реле $2PT$ в дополнение к пуску от устройства блокировки при качаниях облегчает согласование по чувствительности органа, останавливающего передатчик при замыканиях на землю (реле тока $1PTH$), с органом пуска передатчика (реле $2PT$).

Для предотвращения возможного неправильного действия защиты после отключения внешних к. з. импульс на пуск передатчика снимается с выдержкой времени после устранения причины, вызвавшей срабатывание пусковых органов. Указанное при замыканиях на землю достигается применением реле $9РПВ$ с замедлением при возврате, а при многофазных замыканиях может быть достигнуто применением возврата в исходное положение блокировки при качаниях дистанционной защиты с заранее заданной выдержкой времени (определяющей время повторного срабатывания реле $РПв$ этого устройства).

Остановка передатчика происходит при действии:

а) направленных реле сопротивления (второй или третьей ступеней) дистанционной защиты — при многофазных к. з.; в данной схеме $РП$ — реле — повторитель реле сопротивления второй или третьей ступеней дистанционной защиты;

б) реле тока $1PTH$, реле напряжения $3PH$ и реле направления мощности ($5РП$ — контакт его реле повторителя), включенных на составляющие тока и напряжения нулевой последовательности, — при замыканиях на землю.

При действии указанных реле срабатывает промежуточное реле $6РП$, которое останавливает в. ч. передатчик, подготавливает цепь отключения защиты и замыкает цепь рабочей обмотки поляризованного реле $ПР1р$ (входящего в комплект приставки высокочастотной блокировки $4ПВБ$); последнее срабатывает при остановке передатчиков на обоих концах линии, поскольку при этом его тормозная обмотка $ПР1т$ обесточена.

В цепи остановки в. ч. передатчика при многофазных к. з. предусмотрен размыкающий контакт промежуточного реле 7РП, срабатывающего при действии реле тока 1РТН и реле напряжения 3РН нулевой последовательности и размыкающего эту цепь при замыка-

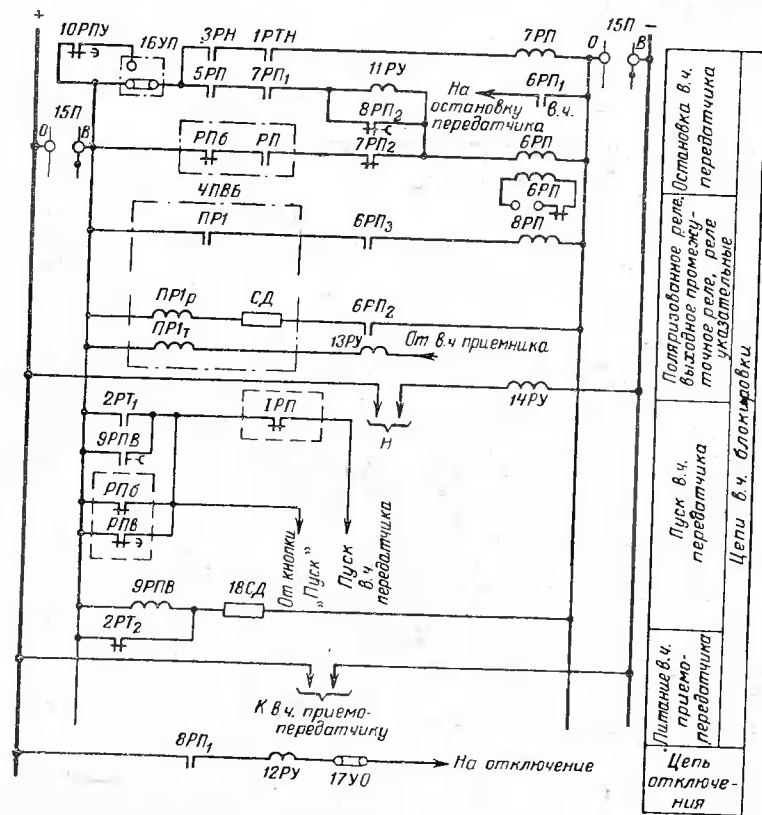


Рис. 6-3. Схема цепей постоянного тока релейной части полукомплекта высокочастотной блокировки дистанционной защиты и защиты нулевой последовательности.

1РТН — реле тока с насыщающимся трансформатором (типа РНТ) и 2РТ — реле тока, включенные на ток нулевой последовательности; 3РН — реле напряжения, включенное на напряжение нулевой последовательности; 4ПБВ — приставка высокочастотной блокировки типа ПБВ-158 (ПР1 — поляризованное реле); 5РП — промежуточное реле, срабатывающее при действии реле направления мощности токовой направленной защиты нулевой последовательности; 6РП, 7РП — промежуточные реле; 8РП — выходное промежуточное реле; 9РПВ — промежуточное реле с замедлением при возврате; 10РПУ — реле ускорения защиты после включения выключателя; 11РУ — реле ускорения; 12РУ — переключающее устройство; 13РУ — реле ускорения; 14РУ — переключающее устройство; 15П — переключающее устройство; 16УП — переключающее устройство; 17УО — отключающее устройство; РПБ, РПВ — контакты реле устройства блокировки при качаниях дистанционной защиты (замкнутые, соответственно, в течение 0,4 сек и в течение времени возврата устройства); РП — контакт реле повторителя реле сопротивления второй или третьей ступеней дистанционной защиты; 1РП — реле положения «отключено» выключателя; Н — к контактам реле контроля цепей накала ламп приемопередатчика.

ниях на землю. Это необходимо для предотвращения возможного отключения неповрежденной линии в случаях, когда при внешних замыканиях на землю направление токов нулевой последовательности и полных токов в фазах в данной линии противоположно, вследствие чего возможно срабатывание защиты нулевой последовательности на одном конце линии и дистанционной защиты на другом.

Предусмотренное в схеме реле напряжения нулевой последовательности 3РН позволяет исключить необходимость отстройки реле тока 1РТН от тока небаланса при трехфазном к. з. в месте установки защиты, которая необходима для предотвращения отказа в действии защиты с высокочастотной блокировкой при междуфазных к. з. (без земли) на защищаемой линии вследствие срабатывания реле 1РТН от тока небаланса и размыкания при этом цепи остановки передатчика дистанционной защитой. Применение реле напряжения нулевой последовательности позволяет также исключить отстройку реле тока 1РТН от тока небаланса при внешнем к. з. между фазами вблизи места установки одного из полуккомплектов защиты, которая была бы необходима для предотвращения останова передатчика этого полуккомплекта (вследствие срабатывания реле мощности нулевой последовательности от тока и напряжения небаланса) и неправильного действия защиты на отключение при рассматриваемом повреждении.

Реле 1РТН принято с насыщающимся трансформатором для отстройки от бросков тока намагничивания трансформаторов на ответвлениях при включении их под напряжение или при отключении внешних коротких замыканий.

б) Фильтровая направленная высокочастотная защита на полупроводниках типа НВЗП-1

На рис. 6-4 приведена структурная схема релейной части полукомплекта защиты. Полукомплект состоит из основной части и приставки к ней. Основная часть полукомплекта предназначена для установки на линиях без разрядников. Приставка используется в случае применения защиты на линиях с разрядниками.

Основным органом защиты является орган направления мощности обратной последовательности двустороннего действия 1, который срабатывает как при несимметричных к. з., так и при кратковременной несимметрии, предшествующей симметричному к. з. При направлении мощности обратной последовательности к шинам данной подстанции орган направления мощности действует на луск в. ч. передатчика; при противоположном направлении мощности обратной последовательности и отсутствии блокирующего в. ч. сигнала защита действует на отключение.

Дистанционный орган 13 служит для действия защиты при трехфазных к. з. на защищаемой линии и необходим в случаях применения защиты на линиях с разрядниками, от действия которых она должна отстраиваться по времени.

Дистанционный орган вводится в действие на время 0,15—0,2 сек, определяемое временем действия органа временной памяти ВП-5 в случаях, если орган направления мощности обратной последовательности фиксирует, что повреждение произошло на защищаемой линии. Указанное предотвращает неправильное действие защиты при качаниях.

В связи с тем, что пуск высокочастотного передатчика осуществляется только при направлении мощности обратной последовательности в сторону шин, защита может действовать каскадно, а также в случаях работы линии в режиме одностороннего питания.

Правильное действие защиты при внешних коротких замыканиях обеспечивается большей чувствительностью органа направления мощности обратной последовательности при действии на пуск высокочастотного передатчика, чем при действии на отключение, и задержкой импульса на отключение на время 20 мсек.

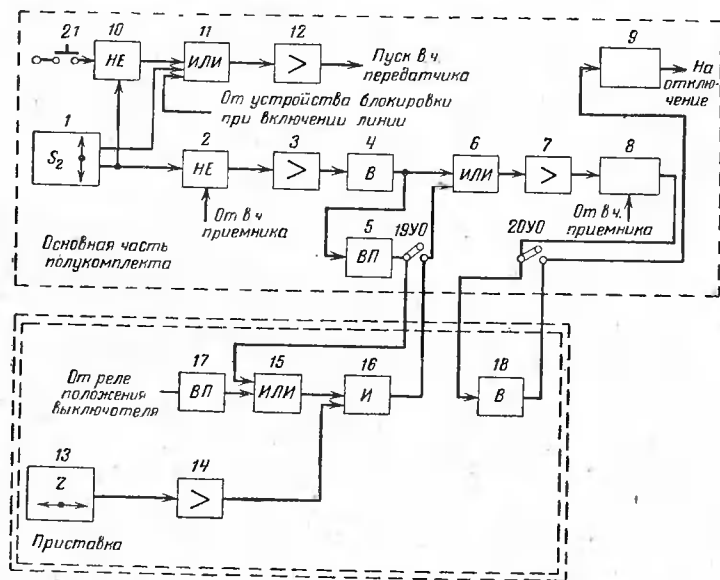


Рис. 6-4. Структурная схема релейной части полукомплекта фильтровой направленной высокочастотной защиты на полупроводниках.

1 — реле направления мощности обратной последовательности двустороннего действия; 2, 10 — логические схемы НЕ; 3, 7, 12, 14 — усилители; 4, 18 — органы временной задержки; 5, 17 — органы временной памяти; 6, 11, 15 — раздельные схемы ИЛИ; 8 — поляризованное реле; 9 — выходное реле; 13 — дистанционный орган; 16 — схема совпадения И; 19, 20 — устройства отключающие; 21 — кнопка.

При коротких замыканиях защита действует следующим образом.

При возникновении несимметричного к. з. на защищаемой линии срабатывают на каждом конце линии органы направления мощности обратной последовательности и подают импульс на отключение. Высокочастотные передатчики не запускаются. Положительный сигнал с выхода органа направления мощности проходит схему запрета НЕ-2 беспрепятственно, так как сигнал от в. ч. приемника не поступает. Сигнал задерживается на 20 мсек в схеме задержки В-4, после чего проходит схему ИЛИ-6 и приводит в действие поляризованное реле 8, которое в свою очередь действует на выходное промежуточное реле 9.

При несимметричном коротком замыкании вне зоны действия защиты на конце линии, ближайшем к месту короткого замыкания, мощность обратной последовательности направлена к шинам, в связи с чем орган направления мощности полукомплекта, установленный на данном конце линии, действует на пуск в. ч. передатчика. Оба полукомплекта блокируются в двух местах: в схеме запрета НЕ-2 и на поляризованном реле с помощью тормозной обмотки. Орган направления мощности полукомплекта, удаленного от места повреждения, действует на отключение, однако импульс на отключение не появляется на выходе схемы запрета НЕ-2.

При трехфазном к. з. в зоне действия защиты (на линии с разрядниками) вследствие временной несимметрии срабатывает реле направления мощности обратной последовательности и подает импульс на схему временной памяти ВП-5, которая будет подавать импульс в течение 0,15—0,2 сек на один из входов схемы И-16, независимо от того, вернется или не вернется в исходное положение орган направления мощности обратной последовательности. На обоих концах срабатывают дистанционные органы 13 и на выходе схемы И-16 появляется сигнал, который через схему ИЛИ-6 и усилитель 7 воздействует на поляризованное реле 8, действующее на отключение.

При симметричном повреждении вне защищаемой зоны в результате первоначальной несимметрии срабатывают реле направления мощности обратной последовательности. При этом реле мощности полукомплекта, ближайшего к месту повреждения, действует на пуск в. ч. передатчика. На схему НЕ-2 поступает запрещающий сигнал и защита блокируется. Блокировка осуществляется все время, пока имеет место несимметрия. После перехода короткого замыкания в симметричное реле мощности возвращается и блокировка также прекращается. Если даже внешнее трехфазное короткое замыкание произошло в зоне одного из дистанционных органов, то защита не подействует на отключение, так как орган временной памяти ВП-5 не запущен.

6-2. СЕЛЕКТИВНОСТЬ НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

При выполнении рассматриваемых защит по двухполукомплектному варианту (§ 1-3) правильное действие защиты при внешних к. з. на ответвлениях обеспечивается отстройкой пусковых органов, действующих на отключение, от к. з. за трансформатором ответвления. На линии с ответвлениями при отсутствии обходной связи для обеспечения правильного действия направленных защит с высокочастотной блокировкой с двумя пусковыми органами (т. е. без дистанционного пуска в. ч. передатчика), реагирующими на токи, напряжения или мощности обратной (нулевой) последовательности, не требуется, в отличие от дифференциально-фазных защит с токовыми пусковыми органами, дополнительного (по сравнению с применением этих защит на линии без от-

ветвлений) загробления защиты по условию согласования по чувствительности обоих пусковых органов при внешних к. з. Более того, в рассматриваемом случае селективность действия защит при внешних к. з. в питающих системах несколько повышается по сравнению со случаем применения защит на линии без ответвления, поскольку в первом случае ток обратной (нулевой) последовательности, проходящий в месте установки полукompлекта, ближайшего к месту повреждения, несколько больше соответствующих токов в местах установки дру-

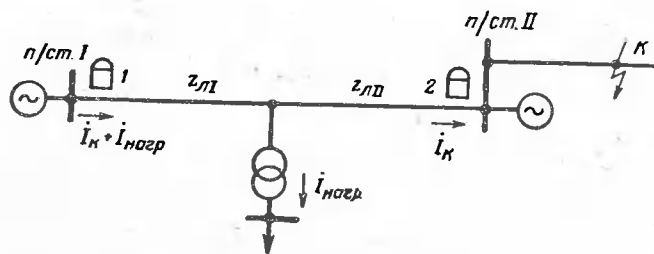


Рис. 6-5. Пример схемы линии с ответвлением, когда для обеспечения правильного действия может потребоваться учет влияния нагрузки на ответвлении.

гих полукompлектов (рис. 1-8). Указанное, очевидно, справедливо как для наличия питания со стороны ответвления (как показано на рис. 1-8,б), так и для отсутствия питания в связи с протеканием в последнем случае токов обратной последовательности через ветвь нагрузки и токов нулевой последовательности через нейтраль трансформатора на ответвлении. Эти общие соображения справедливы не только для защит с пусковыми органами тока, напряжения или мощности обратной (нулевой) последовательности, но (при наличии питания со стороны ответвления) и для защит с пусковыми органами, реагирующими на полные электрические величины (например, пусковые органы сопротивления), при условии неучета нагрузки. Использование пусковых органов, реагирующих на полные электрические величины, может потребовать учета тока нагрузки на ответвлении при согласовании по чувствительности пусковых органов, действующих на пуск и на отключение, что в ряде случаев может привести к дополнительному загроблению защиты. Так, например, при отсутствии питания со стороны ответвления и использовании пусковых органов

рассматриваемого типа следует учитывать установившийся режим удаленного внешнего к. з., когда ток на конце линии, ближайшем к месту к. з., оказывается меньше тока на удаленном конце за счет тока, ответвляющегося в ветвь нагрузки на ответвлении (рис. 6-5). В этом случае может произойти отключение линии со стороны подстанции 1, если передатчик полукompлекта 2 окажется незапущенным вследствие недостаточной чувствительности пусковых органов, действующих на его пуск, а органы отключения защиты 1 окажутся чувствительными за счет указанной разницы в токах. Для исключения неправильного действия защиты в данном случае при согласовании по чувствительности органа останова в. ч. передатчика полукompлекта 1 с органами пуска в. ч. передатчика полукompлекта 2 (и наоборот) принципиально должна учитываться указанная разница в токах, что и может привести к дополнительному загроблению защиты.

Для линии с трехсторонним питанием при наличии обходных связей между подстанциями, противоположными месту установки одного из полукompлектов, в случае внешнего к. з. на обходной связи (рис. 6-6,а) мо-

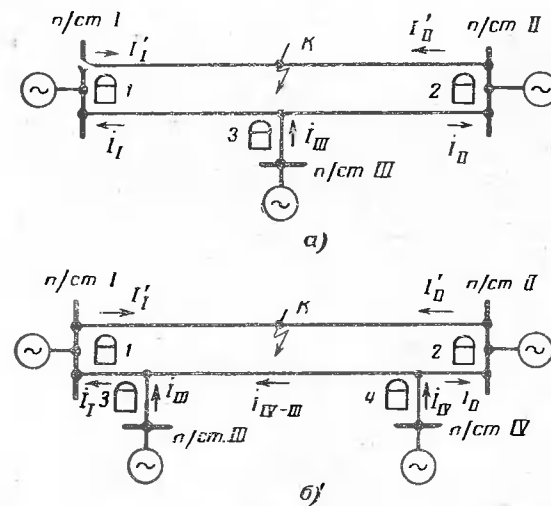


Рис. 6-6. Распределение токов при внешнем к. з. на обходной связи.
а — при одном ответвлении на линии; б — при двух ответвлениях на линии.

жет иметь место такое распределение токов обратной (нулевой) последовательности, а также и полных фазных токов, при котором токи в двух полукompлектах (I и 2) будут меньше тока, проходящего через третий полукompлект (3). В рассматриваемом случае при применении на линии направленной высокочастотной защиты с двумя пусковыми органами разной чувствительности любого типа, кроме пусковых органов напряжения обратной (нулевой) последовательности, может произойти отключение линии с одного из концов (со стороны подстанции III), если в. ч. передатчики полукompлектов I и 2 не запустятся вследствие недостаточной чувствительности пусковых органов, действующих на их пуск. Для исключения неправильного действия защиты в указанном случае органы отключения полукompлекта, установленного на ответвлении, должны дополнительно загроубляться (для пусковых органов тока — в предельном случае в 2 раза).

При наличии на линии двух ответвлений с полукompлектами защиты с высокочастотной блокировкой, действующими на отключение, также может оказаться необходимым дополнительное их загроубление с целью согласования по чувствительности пусковых органов защиты при внешнем к. з. на обходной связи. Так, например, если в случае токораспределения, показанного на рис. 6-б,б, имеет место соотношение

$$I_{IV} > I_{II} \text{ и } I_{IV} > I_I;$$

то при этом без дополнительного загроубления органов отключения полукompлекта 4 он может неправильно подействовать на отключение при внешнем к. з. на обходной связи. Очевидно, что вероятность показанного на рис. 6-б,б токораспределения и необходимое дополнительное загроубление значительно меньше, чем при наличии одного ответвления (рис. 6-б,а). Очевидно также, что при наличии трех ответвлений величина и вероятность необходимого загроубления по данному условию еще более снижаются.

6-3. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Для защит рассматриваемого типа, так же как и для защит других типов (§ 1-3), имеют место затруднения в обеспечении требований чувствительности в связи

с тем, что ток на одном из концов линии в случае к. з. на каком-либо из противоположных концов снижается за счет токов, проходящих по остальным концам линии (в том числе и по ответвлениям). Поскольку вероятны случаи, когда чувствительность органа отключения одного из полукompлектов защиты может оказаться достаточной лишь после отключения линии с одного или нескольких остальных концов, очень важной является способность защиты к каскадному действию. По условию возможности каскадного действия, как указано выше, наиболее приемлемыми являются защиты с органами пуска в. ч. передатчиков при направлении мощности к. з. от линии к шинам. Направленные в. ч. защиты с пусковыми органами, действующими независимо от направления мощности, принципиально не могут действовать каскадно, поскольку они отказывают в действии в случае, если хотя бы один из полукompлектов оказывается нечувствительным.

Следует отметить, что в кольцевых сетях возможны случаи, когда при повреждении на защищаемой линии из-за влияния ответвления на токораспределение ток на одном из ее концов «вытекает» из линии. При этом отказывают в действии направленные защиты с высокочастотной блокировкой всех типов. Так, при токораспределении, показанном на рис. 1-10,а, отказывают в действии направленные защиты, реагирующие на направление мощности к. з. прямой, обратной или нулевой последовательностей. При токораспределении, показанном на рис. 1-10,б, отказывает в действии токовая направленная защита нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой.

6-4. ЗАЩИТА ЛИНИИ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ БЕЗ ПИТАНИЯ СО СТОРОНЫ ОТВЕТВЛЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ

Данный способ выполнения защиты (§ 1-3) применяется в случаях, когда представляется возможным отстроить ее от к. з. за трансформаторами ответвлений при сохранении требований чувствительности. При применении этого способа на питающих подстанциях устанавливаются полукompлекты высокочастотной защиты обычного исполнения или с некоторыми дополнениями для улучшения отстройки от к. з. за трансформаторами ответвлений.

а) Данные типы защит не предназначены для линий с ответвлениями, поэтому выполнение необходимых для отстройки от к. з. за трансформатором уставок, больших чем предусмотрено в типовом исполнении, затруднительно и в ряде случаев требует специальных изменений в схеме защиты; кроме того, необходимо учитывать, что для ряда защит, которые при симметричном к. з. вводятся в действие за счет кратковременной первоначальной несимметрии (например, фильтровые защиты типа ПЗ-164, НВЗП-1 и др.), загроуление по напряжению или току обратной последовательности по условию отстройки от к. з. за трансформатором может привести к увеличению вероятности их отказа при трехфазном к. з. на линии.

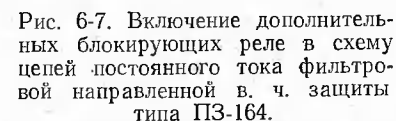
В случаях, когда требуемая по условию отстройки от к. з. за трансформатором ответвления уставка не может быть выполнена непосредственно в пусковом органе фильтровой направленной в. ч. защиты, могут применяться схемы с дополнительными реле, блокирующими действие защиты при к. з. за трансформатором и позволяющими как бы расширить диапазон уставок защиты.

160

Ток срабатывания реле тока PT_A и PT_C рассчитывается по условию отстройки от к. з. за трансформатором ответвления.

Дополнительные реле тока, включаемые по схеме на рис. 6-7,а, могут быть также применены и в случаях, когда при отстройке от к. з. за трансформатором по напряжению обратной последовательности защита не удовлетворяет требованиям чувствительности от к. з. Току имеет большую область

11-412



а — схема с реле тока; б — схема с реле сопротивления.

PT_A , PT_C , PT_0 — реле тока, включенные на токи фаз A , C и в нулевой провод; $2PP$ — промежуточное реле, срабатывающее при действии реле сопротивления резервной дистанционной защиты; $1PP$ — промежуточное реле; $У$ — к контакту реле ускорения защиты после включения выключателя.

Цепи дополнительно устанавливаемых реле обведены штриховой линией.

ительности. В ряде случаев за-
за трансформатором по фазному
применения по условию чувстви-

тельности при двухфазных к. з., чем при отстройке ее по напряжению обратной последовательности. В случаях, когда при отстройке от к. з. за трансформатором защита, выполненная по рис. 6-7,а, не удовлетворяет требованиям чувствительности, целесообразно рассмотреть возможность применения более сложных дополнительных блокирующих органов (например, комбинированный орган тока и напряжения или реле сопротивления). В качестве примера такого выполнения защиты на рис. 6-7,б дана часть схемы цепей постоянного тока защиты типа ПЗ-164, в которой в качестве блокирующих используются реле сопротивления резервной дистанционной защиты. В схеме дополнительно устанавливается промежуточное реле 2РП, срабатывающее при действии реле сопротивления резервной дистанционной защиты. Контакт указанного реле 2РП₁ включается в цепь останковки в. ч. передатчика, а контакт 2РП₂ — параллельно контакту реле 29РТ в цепи обмотки переключающего реле 5КР1 (взамен контакта реле 28РН в типовой схеме панели ПЗ-164).

Реле тока 29РТ, предусмотренное в панели ПЗ-164, сохраняется в рассматриваемой схеме для обеспечения правильного действия защиты при внешних трехфазных к. з. за шинами данной подстанции, а также при к. з. в мертвой зоне направленного реле сопротивления. Ток срабатывания реле 29РТ должен отстраиваться от к. з. за трансформатором ответвления. Для действия на реле 2РП используются реле сопротивления той ступени дистанционной защиты, которая отстроена от повреждений за трансформатором ответвления и удовлетворяет требованиям чувствительности при к. з. на защищаемой линии. При этом схема должна выполняться таким образом, чтобы реле сопротивления действовало на реле 2РП без выдержки времени.

Следует отметить, что рассмотренное выполнение защиты имеет эксплуатационный недостаток, заключающийся в необходимости связывать цепи основной и резервной защит.

Для расширения области применения фильтровой направленной защиты с высокочастотной блокировкой типа НВЗП-1 в рассматриваемом случае (без установки полукompлекта защиты на ответвлении) может оказаться целесообразным дополнительно предусмотреть для отстройки от несимметричных к. з. за трансформатором ответвления трехфазное реле сопротивления, действующее при всех видах несимметричных многофазных к. з. Контакт этого реле должен контролировать цепь отключения при несимметричных повреждениях. Дополнительно также должно быть предусмотрено реле тока нулевой последовательности, предназначенное для обеспечения действия защиты при замыканиях на землю на защищаемой линии. Отстройка от трехфазных к. з. за трансформатором ответвления должна производиться с помощью дистанционного органа, предусмотренного в защите.

Таким образом, защита типа НВЗП-1 при использовании ее в рассматриваемом варианте практически не

имеет преимуществ по сравнению с фильтровыми направленными защитами других типов.

Как указывалось выше, отстройка от к. з. за трансформаторами ответвлений с помощью реле сопротивления более целесообразна по условию чувствительности, чем с помощью других органов. Поэтому для данного варианта защиты из всех направленных защит с в. ч. блокировкой наиболее приемлема дистанционная защита с высокочастотной блокировкой. При этом не требуется установка в схемах защит дополнительных элементов.

Общие вопросы расчета параметров срабатывания защиты для данного варианта ее выполнения рассмотрены в § 6-7.

6-5. ЗАЩИТА ЛИНИИ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ БЕЗ ПИТАНИЯ СО СТОРОНЫ ОТВЕТВЛЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕСКОЛЬКИХ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ

При применении данного способа выполнения защиты на основных питающих концах устанавливаются полукompлекты в типовом исполнении, а на ответвлении — блокирующий полукompлект, в котором могут не использоваться цепи, связанные с отключением выключателя, поскольку для ликвидации повреждений на линии не требуется ее отключения со стороны ответвления без питания.

Блокирующие полукompлекты устанавливаются на ответвлениях, при отстройке от повреждений за трансформаторами которых защита на питающих концах не удовлетворяет требованиям чувствительности.

При использовании направленных защит с в. ч. блокировкой к блокирующему полукompлекту предъявляются следующие основные требования:

а) при внешнем к. з. на ответвлении блокирующий полукompлект должен осуществлять пуск в. ч. передатчика;

б) при к. з. на защищаемой линии не должно происходить пуска в. ч. передатчика на ответвлении, поскольку при отсутствии питания со стороны ответвления ток, проходящий через ответвление, может оказаться недостаточным для останковки передатчика; в связи с указанным может произойти отказ защиты с питающих концов.

При выборе типа пускового органа блокирующего полукомплекта необходимо также иметь в виду, что в целях согласования по чувствительности органа отключения полукомплекта на питающем конце с органом пуска в. ч. передатчика полукомплекта на ответвлении желательно на последнем использовать органы, реагирующие на те же электрические величины, что и органы отключения полукомплектов на питающих концах. В связи с этим может оказаться целесообразным применение на ответвлении полукомплектов защиты в типовом исполнении, в которых исключаются цепи, связанные с отключением, и выполняются необходимые мероприятия для предотвращения отказа защиты из-за возможного пуска в. ч. передатчика на ответвлении при к. з. на защищаемой линии.

Всем указанным требованиям в первую очередь отвечают направленные защиты с пуском в. ч. передатчика при внешних к. з. (например, типа НВЗП-1). Эти защиты наиболее целесообразно применять в рассматриваемых случаях, при этом в полукомплекте типового исполнения, устанавливаемом на ответвлении, достаточно только вывести из действия цепь отключения защиты.

При применении на питающих концах направленной защиты с в. ч. блокировкой с органами, действующими на пуск в. ч. передатчика независимо от направления мощности к. з., в качестве пусковых органов блокирующего полукомплекта на ответвлении могут быть использованы реле направления мощности обратной или нулевой последовательности и направленные реле сопротивления. Характеристики срабатывания указанных направленных реле должны быть направлены в сторону внешних повреждений на ответвлении. В некоторых случаях могут быть использованы только реле тока (без реле направления мощности), отстроенные от повреждений на защищаемой линии.

На рис. 6-8 в качестве примера приведена схема релейной части блокирующего полукомплекта на ответвлении для случая применения на линии фильтровой направленной защиты типа ПЗ-164.

В данной схеме, в отличие от типовой схемы панели ПЗ-164:

а) исключены цепи отключения и сохранены только те цепи, которые необходимы для обеспечения блокировки защиты при внешних к. з. на ответвлении;

б) в цепи остановки в. ч. передатчика замыкающий контакт реле направления мощности $2PM$ заменен на размыкающий, а также пре-

дусмотрен размыкающий контакт вновь устанавливаемого реле тока PT , включаемого на фазный ток;

в) замыкающий контакт реле тока PT включен в цепь пуска в. ч. передатчика.

Замена замыкающего контакта реле $2PM$ на размыкающий необходима в связи с тем, что при повреждениях на защищаемой линии реле мощности $2PM$ с замыкающим контактом со стороны подстанции на ответвлении отказывает в действии при симметричном к. з. (ввиду быстрого протекания переходного процесса) и может действовать недостаточно надежно при несимметричных повреждениях (ввиду малого значения тока обратной последовательности, проходящего через место установки данного полукомплекта).

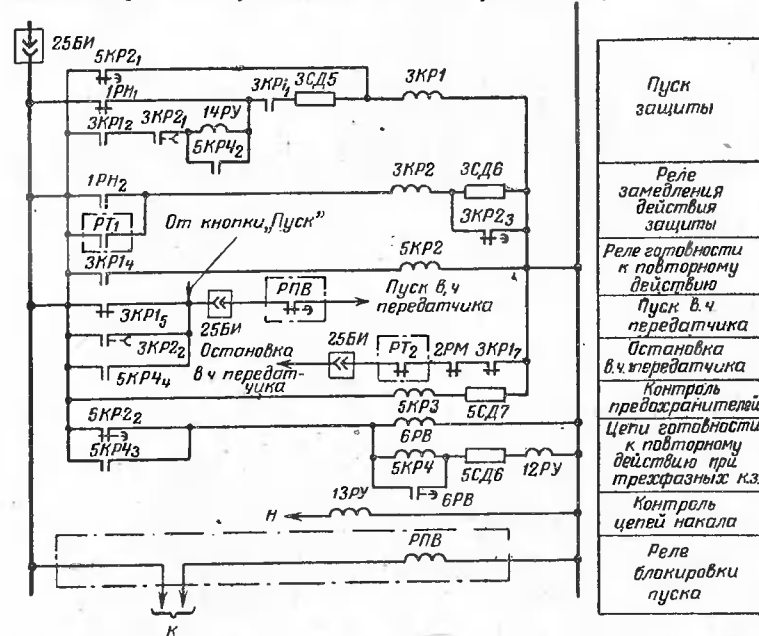


Рис. 6-8. Схема цепей постоянного тока релейной части неполного полукомплекта фильтровой направленной защиты типа ПЗ-164 для ответвления, питание со стороны которого отсутствует.

H — к контактам реле контроля цепей накала лам приемопередатчика; K — к параллельно соединенным замыкающим контактам выходного промежуточного реле защиты трансформатора и реле тока блокировочного отделения.

Цепи дополнительно устанавливаемых реле обведены штриховой линией.

В этом случае реле $2PM$ с размыкающим контактом регулируется так, чтобы оно срабатывало при направлении мощности к шинам подстанции на ответвлении. Для этого регулировкой противодействующей пружины реле $2PM$ необходимо изменить момент, создаваемый пружиной, на обратный по знаку так, чтобы контакт этого реле замкнулся. При такой регулировке реле мощности будет держать свой контакт замкнутым при к. з. на защищаемой линии и разомкнутым — при внешнем к. з. на ответвлении.

Размыкающий контакт реле тока *РТ*, ток срабатывания которого должен быть больше максимального тока нагрузки ответвления и тока, посылаемого подстанцией на ответвлении в первый момент к. з. на защищаемой линии, включается в цепь остановки для обеспечения блокировки защиты при внешних трехфазных к. з. на ответвлении. При этом в случае симметричного к. з. в защищаемой зоне реле *2РМ* не срабатывает, так как к нему будет подведена мощность, определяемая небалансами фильтров, которая недостаточна для срабатывания. Реле тока *РТ* также не срабатывает, так как оно отстроено от токов при к. з. на защищаемой линии.

При срабатывании пускового органа напряжения обратной последовательности (реле *IPH*) цепь остановки в. ч. передатчика будет замкнута, передатчик на ответвлении будет остановлен и защита на питающих концах подействует на отключение.

В случае несимметричного к. з. в защищаемой зоне реле *2РМ* и *РТ* не сработают, в связи с чем к. з. будет отключено защитами на питающих концах линии. При внешнем к. з. на ответвлении в. ч. передатчик полукompлекта на ответвлении пускается (срабатывают реле *IPH* при несимметричном и *РТ* при симметричном к. з.), но не останавливается, так как цепь остановки в. ч. передатчика разомкнута контактом реле *2РМ* при его срабатывании (при несимметричном к. з.) и размыкающим контактом *РТ* (при симметричном к. з.); тем самым защита на питающих концах будет заблокирована.

Следует отметить, что при заземлении нейтрали трансформатора на ответвлении реле тока *РТ* желательно включать на разность токов двух фаз. Указанное дает возможность не учитывать тока нулевой последовательности при отстройке реле от тока в фазе при замыкании на землю на защищаемой линии, и избежать таким образом излишнего загробления реле.

В схеме, в отличие от типовой, исключена цепь дистанционного пуска передатчика. Это необходимо, так как при наличии дистанционного пуска в. ч. передатчика при к. з. на защищаемой линии передатчик, пущенный дистанционно, не будучи остановленным, посылал бы длительно блокирующий сигнал, что привело бы к отказу защиты с питающих концов.

Для случая установки схемы на подстанции ответвления без выключателя со стороны высшего напряжения трансформатора в ней предусмотрено, так же как и при использовании дифференциально-фазных защит (рис. 5-5), промежуточное реле *РПВ*, блокирующее пуск в. ч. передатчика при повреждении трансформатора на ответвлении.

При применении данной схемы на ответвлении должно быть несколько увеличено время действия выходного реле защиты на питающих концах, поскольку время пуска (снятия цепи остановки) в. ч. передатчика в данной схеме, определяемое временем срабатывания реле *2РМ* или *РТ*, несколько выше, чем в типовой схеме. Для правильного действия защиты при внешних к. з. на ответвлении органы остановки в. ч. передатчиков полукompлектов защиты, установленных на питающих концах, должны быть грубее, чем реле *IPH* и *РТ* на ответвлении. В связи с тем, что реле *РТ* может быть достаточно грубым, область применения схемы ограничена. При использовании на питающих концах полукompлектов фильтровой направленной защиты типа ПЗ-164 полукompлект на ответвлении может быть выполнен без применения типовой панели ПЗ-164 с использованием для пуска в. ч. передатчика реле мощности обратной последовательности

(при несимметричных к. з.) и направленного реле сопротивления (при симметричных к. з.), аналогичного приведенному на рис. 5-6. Последнее позволяет повысить чувствительность защиты при трехфазных к. з.

При установке на питающих концах дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой блокирующий полукompлект на ответвлении может быть выполнен с использованием для пуска в. ч. передатчика направленных реле сопротивления (для действия при многофазных замыканиях) и реле направления мощности нулевой последовательности (для действия при замыканиях на землю). Характеристики указанных направленных реле должны быть направлены в сторону внешних к. з. на ответвлении.

На рис. 6-9 приведена схема¹ одного из возможных вариантов выполнения указанного блокирующего полукompлекта, предназначенного для установки на ответвлении при наличии на последнем автотрансформатора. В данной схеме пуск передатчика производится при срабатывании одного из реле сопротивления *4РС—6РС* (при многофазных замыканиях) или реле мощности нулевой последовательности *8РМ* (при замыканиях на землю) за счет размыкания размыкающего контакта одного из этих реле в цепи обмотки промежуточного реле *9РП*. В качестве реле сопротивления *4РС—6РС* могут использоваться направленные реле сопротивления с характеристикой, либо охватывающей начало координат, либо проходящей через начало координат (на схеме показаны реле сопротивления, характеристика которых охватывает начало координат). Включенный параллельно контакту реле *8РМ* размыкающий контакт реле направления нулевой последовательности *7РН* предназначен для предотвращения пуска в. ч. передатчика при междофазных к. з. на защищаемой линии. Указанное могло бы оказаться возможным (при отсутствии реле *7РН*) при срабатывании реле направления мощности *8РМ* от токов небаланса.

В схеме предусмотрена фиксация пуска в. ч. передатчика на время (порядка *0,7 сек*), определяемое замедлением при возврате реле *11РПВ*. Фиксация пуска в. ч. передатчика необходима для предотвращения воз-

¹ Составлена при участии Украинского отделения института Энергосетьпроект.

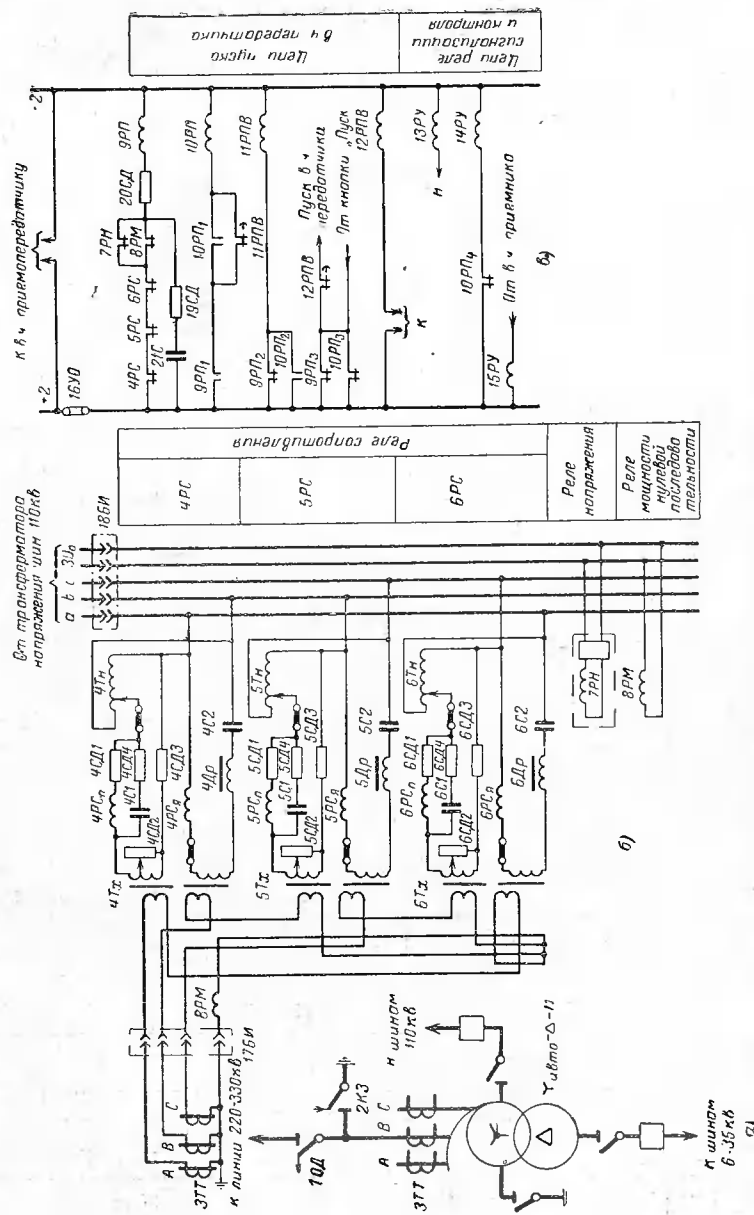


Рис. 6-9. Схема релейной части неполного полукompлекта защиты с в. ч. блокировкой для отключения от линии 220—330 кВ при установке на нем автотрансформатора и отсутствии питания со стороны ответвления.
 а — поясняющая схема; б — схема цепей переменного тока и напряжения; в — схема цепей оперативного постоянного тока.
 10Д — отсекатель; 2КЗ — короткозамыкатель; 3ТТ — трансформаторы тока; 4РС—6РС — реле сопротивления; 7РН — реле на-
 пряжения; 8РМ — реле мощности; 9РП, 10РП — промежуточные реле; 11РПВ, 12РПВ — промежуточные реле с замедлением;
 13РПВ — указательные реле; 16УО — устройство отключающее; 17БН, 18БН — испытательные блоки; 19СД, 20СД — со-
 противления добавочные; 21С — конденсатор; Н — к контактам реле контроля цепей накала ламп приемопередатчика; К —
 к параллельно соединенным замыкающим контактам выходного промежуточного реле защиты трансформатора и реле тока бло-
 кировки отделителя.

можного неселективного действия за-
 щиты после отключения внешних к. з.
 на ответвлении. При применении реле
 сопротивления с характеристикой, про-
 ходящей через начало координат, фик-
 сация пуска в. ч. передатчика исполь-
 зуется также для предотвращения не-
 правильного действия защиты при
 внешних междуфазных к. з. в мертвой
 зоне реле сопротивления. В последнем
 случае неправильное действие при от-
 сутствии фиксации могло бы иметь ме-
 сто в связи с тем, что время разомкну-
 того состояния контактов реле сопро-
 тивления, кратковременно срабатыва-
 ющих «по памяти», может оказаться
 меньше времени существования к. з.
 Правильное действие защиты при
 внешних междуфазных к. з. в мертвой
 зоне реле сопротивления длительно-
 стью более времени возврата реле
 11РПВ обеспечивается введением цепи
 остановки в. ч. передатчиков при мно-
 гофазных к. з. в полукompлектах пи-
 тающих концов устройством блокиров-
 ки при качаниях только на время
 0,35—0,4 сек.

Назначение предусмотренного в
 данной схеме реле 12РПВ аналогично
 назначению реле РПВ в схеме по
 рис. 6-8.

Следует отметить, что в данной
 схеме в качестве реле 4РС—6РС ис-
 пользованы реле сопротивления, по-
 ставляемые с панелью ДФЗ-402. В ка-
 честве реле 8РМ может быть исполь-
 зовано реле направления мощности
 двустороннего действия (типа РБМ-277
 или РБМ-278), у которого для получе-
 ния размыкающего контакта затяги-
 вается одна из противодействующих
 пружин. Аналогичная схема может
 быть выполнена с использованием се-
 рийных реле мощности и реле сопро-

тивления с замыкающими контактами. Однако при этом схема будет иметь несколько большее время действия.

Следует отметить также, что при установке на ответвлении трансформатора, включенного по схеме блока трансформатор — линия, реле направления мощности нулевой последовательности $8PM$ в схеме не должно предусматриваться. Для обеспечения правильного действия защиты при внешних к. з. реле, действующие на отключение, в полукомплектах питающих концов должны быть согласованы по чувствительности с реле, действующими на пуск передатчика на ответвлении.

Схема дана для случая, когда отключающие органы в полукомплектах, установленных на питающих концах, отстроены от междупазных к. з. на стороне низшего на-

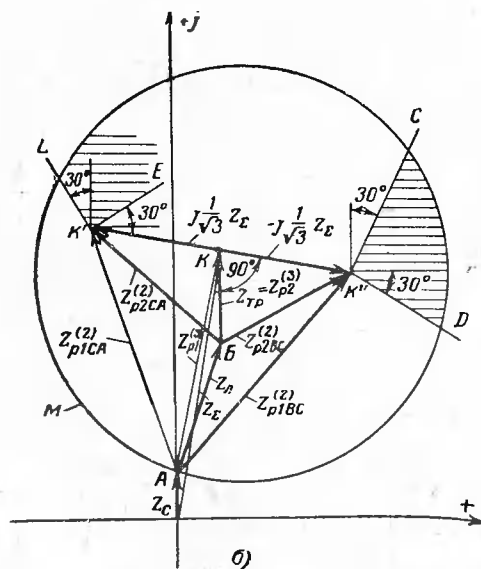
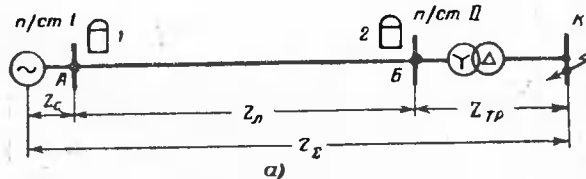
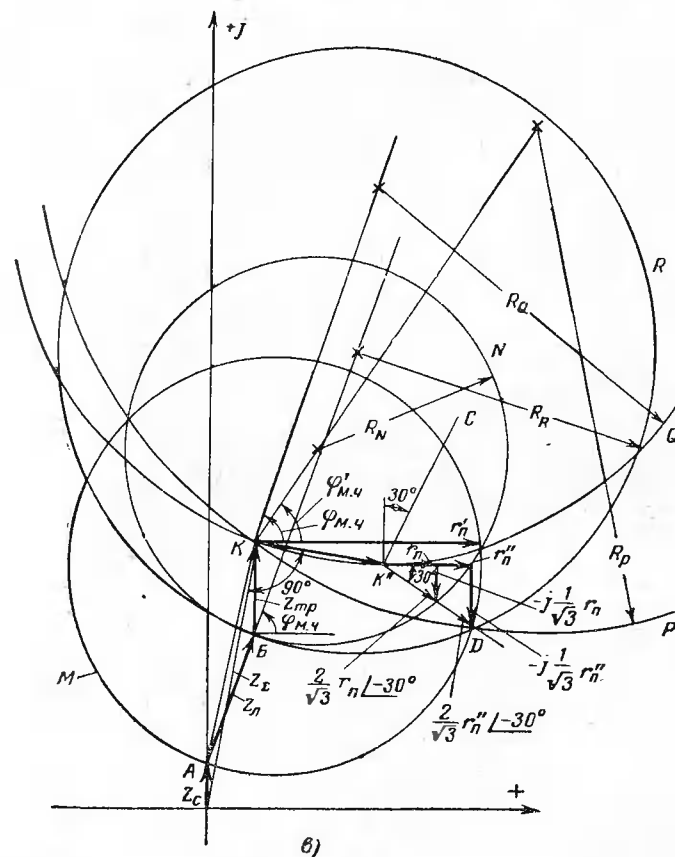


Рис. 6-10. Согласование пусковых органов дистанционной за-
щиты двумя фазами за
а — исходная схема; б — диаграмма сопротивлений при

пряжения подстанции, на которой установлен рассматриваемый блокирующий полукомплект. В связи с этим в данной схеме предусмотрены органы пуска в. ч. передатчика, срабатывающие при к. з. в сети 110 кВ за автотрансформатором данной подстанции и не предназначенные для пуска в. ч. передатчика при повреждениях в сети низшего напряжения (реле $4PC-6PC$ включены на трансформаторы напряжения шин 110 кВ).

В случаях, когда отключающие органы защиты на питающих концах линии не отстроены от к. з. на стороне низшего напряжения данной подстанции, в полуком-



щиты с высокочастотной блокировкой при замыканиях между
трансформатором Y/Δ — 11.
замыкании в точке К; в — характеристики срабатывания реле.

плекте на этой подстанции должны предусматриваться органы пуска в. ч. передатчика, действующие при многофазных к. з. на указанной стороне. При этом необходимо учитывать, что использование для этой цели направленных реле сопротивления, включаемых на трансформаторы тока стороны высшего напряжения автотрансформатора (трансформатора), в ряде случаев затруднительно. Указанное определяется особенностями поведения реле сопротивления при замыканиях между двумя фазами за трансформатором $Y/\Delta-11$ [Л. 2, 10], а также отсутствием в ряде случаев со стороны высшего напряжения трансформаторов напряжения.

Рассмотрим данный вопрос применительно к схеме по рис. 6-10,а. В целях упрощения примем, что линия работает в режиме одностороннего питания. Полукомплект 1 содержит отключающие органы, полукомплект 2 — органы пуска в. ч. передатчика, действующие при внешних к. з. за трансформатором подстанции II; указанные органы в обоих полукомплектах выполнены с помощью направленных реле сопротивления, включенных на разности фазных токов и на междуфазные напряжения стороны высшего напряжения.

На рис. 6-10,б приведены диаграммы сопротивлений, построенные для случая короткого замыкания между фазами А и С в точке К по выражениям для сопротивлений (первичных) на зажимах реле [Л. 2].

Для защиты 1:

$$\begin{aligned} Z_{p1 BC} &= Z_{\pi} + Z_{тр} - j \frac{1}{\sqrt{3}} (Z_c + Z_{\pi} + Z_{тр}) = \\ &= Z_{\pi} + Z_{тр} - j \frac{1}{\sqrt{3}} Z_{\Sigma}; \end{aligned} \quad (6-1)$$

$$\begin{aligned} Z_{p1 CA} &= Z_{\pi} + Z_{тр} + j \frac{1}{\sqrt{3}} (Z_c + Z_{\pi} + Z_{тр}) = \\ &= Z_{\pi} + Z_{тр} + j \frac{1}{\sqrt{3}} Z_{\Sigma}. \end{aligned} \quad (6-2)$$

Для защиты 2:

$$Z_{p2 BC} = Z_{тр} - j \frac{1}{\sqrt{3}} (Z_c + Z_{\pi} + Z_{тр}) = Z_{тр} - j \frac{1}{\sqrt{3}} Z_{\Sigma}; \quad (6-3)$$

$$Z_{p2 CA} = Z_{тр} + j \frac{1}{\sqrt{3}} (Z_c + Z_{\pi} + Z_{тр}) = Z_{тр} + j \frac{1}{\sqrt{3}} Z_{\Sigma}. \quad (6-4)$$

В (6-1) — (6-4) Z_{π} , $Z_{тр}$, Z_c — сопротивления прямой (обратной) последовательности, соответственно, линии, трансформатора и системы, Z_{Σ} — сумма этих сопротивлений.

Из примера, рассмотренного на диаграмме рис. 6-10,б, видно, что сопротивления на зажимах реле защиты при металлическом замыкании между двумя фазами $Z_{p1 CA}^{(2)}$ и $Z_{p1 BC}^{(2)}$, $Z_{p2 CA}^{(2)}$ и $Z_{p2 BC}^{(2)}$ значительно отличаются от аналогичных сопротивлений при замыканиях между тремя фазами $Z_{p1}^{(3)}$, $Z_{p2}^{(3)}$. Указанное искажение замера сказывается тем сильнее, чем ближе место установки защиты к месту короткого замыкания.

На рис. 6-10,б окружность М — характеристика срабатывания направленного реле сопротивления, используемого в полукомплекте 1 в качестве отключающего органа. Заштрихованные области, ограниченные дугами этой окружности и прямыми $K'LE$ и $K''CD$, характеризуют совокупность точек комплексной плоскости сопротивлений, в которых оканчиваются векторы сопротивлений на реле защит при удалении места замыкания между двумя фазами от точки К (или соответствующего увеличения сопротивления в месте повреждения и изменения его угла от 0 до 90°). Для обеспечения правильного действия защиты необходимо, чтобы характеристика срабатывания реле, действующего на пуск в. ч. передатчика в полукомплекте 2, охватывала одну из указанных областей. Окружность R на рис. 6-10,б — характеристика срабатывания реле полукомплекта 2, построенная по указанному условию для случая питания цепей напряжения со стороны высшего напряжения (точка Б). Как видно из рис. 6-10,б, указанная характеристика соответствует значительно большему сопротивлению срабатывания, чем характеристика N, построенная по условию обеспечения правильного действия защиты при замыкании между тремя фазами в точке К через переходное сопротивление r'_{π} ($z_{c.pR} = 2R_R > z_{c.pN} = 2R_N$). Влияние переходного сопротивления на работу направленного реле сопротивления значительно больше при замыканиях между двумя фазами, чем при замыкании между тремя фазами ($r_{\pi} < r'_{\pi}$).

Из рассматриваемого примера следует, что выбор необходимого для обеспечения правильного действия защиты при замыкании между двумя фазами за трансформатором Y/Δ сопротивления срабатывания направленного реле сопротивления, действующего на запуск в. ч. передатчика, в ряде случаев может оказаться затруднительным даже при питании цепей напряжения от трансформатора напряжения стороны высшего напряжения, учитывая, что указанное сопротивление срабатывания должно быть отстроено от минимального сопротивления на реле в нагрузочном режиме.

На рис. 6-10,в нанесены также линии Q и P, представляющие собой дуги окружностей характеристик срабатывания направленных реле сопротивления полукомплекта 2, действующих на пуск в. ч. передатчика, при питании их цепей напряжения от трансформаторов напряжения стороны низшего напряжения. Указанные характеристики Q и P построены, соответственно, по условию обеспечения действия реле сопротивления при замыкании в точке К между тремя фазами через переходное сопротивление r'_{π} и между двумя фазами —

через переходное сопротивление $r''_п$ (последнее — для реле сопротивления, включенного на разность токов фаз B и C со стороны высшего напряжения и соответствующее ей напряжение). Как следует из рис. 6-10, б, требуемое по рассматриваемому условию сопротивление срабатывания реле еще более увеличивается по сравнению со случаем питания цепей напряжения со стороны высшего напряжения ($z_{с.пр} = 2R_P > z_{с.пр} = 2R_{PI}$); кроме того, для охвата области возможного неправильного действия защиты угол максимальной чувствительности характеристики P должен быть значительно уменьшен ($\varphi'_{м.ч} < \varphi_{м.ч}$).

Таким образом, выбор требуемой характеристики срабатывания направленного реле сопротивления при питании его цепей напряжения от трансформаторов напряжения стороны низшего напряжения может оказаться значительно более затруднительным, чем при питании цепей напряжения со стороны высшего напряжения.

Учитывая сказанное, в случаях, когда отключающие органы защиты со стороны питания не отстроены от междупазных повреждений на стороне низшего напряжения автотрансформатора (трансформатора), и не представляется возможным выбрать требуемую характеристику направленных реле сопротивления, включенных на трансформаторы тока стороны высшего напряжения, для пуска в ч. передатчика при замыканиях на стороне низшего напряжения могут использоваться:

а) направленные реле сопротивления, включаемые на трансформаторы тока и напряжения со стороны низшего напряжения (в основном для двухобмоточных трансформаторов);

б) реле направления мощности обратной последовательности или трехфазное направленное реле сопротивления — для действия при замыканиях между двумя фазами — и одно направленное реле сопротивления — для действия при трехфазных замыканиях; указанные реле используются для действия при многофазных к. з. как на стороне среднего, так и на стороне низшего напряжений и включаются на трансформаторы тока стороны высшего напряжения и трансформаторы напряжения, установленные либо со стороны высшего напряжения, либо (при их отсутствии) — на трансформаторы напряжения, приключенные со стороны выводов низшего напряжения автотрансформатора (трансформатора).

Общие вопросы расчета параметров срабатывания защиты для данного варианта ее выполнения рассмотрены в § 6-7.

6-6. ЗАЩИТА ЛИНИИ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ ПРИ НАЛИЧИИ ПИТАНИЯ СО СТОРОНЫ ОТВЕТВЛЕНИЙ

Все возможные случаи схем линий с ответвлениями при наличии питания со стороны ответвлений, с точки зрения релейной защиты, можно разделить на следующие (в соответствии с указанным в § 1-1):

1-й случай — питание со стороны ответвления мало-мощное, трансформатор подстанции на ответвлении приключается непосредственно к линии (например, по схеме блока трансформатор — линия);

2-й случай — питание со всех сторон линии во всех возможных режимах обеспечено и достаточно для надежного действия защиты;

3-й случай — питание хотя бы с одного конца линии в ряде режимов может быть отключено или недостаточно для действия защиты.

В первом случае может оказаться возможным выполнение защиты с установкой только двух полуккомплектов со стороны основных питающих концов; отключающие органы этих полуккомплектов должны отстраиваться от к. з. за трансформаторами ответвлений. Наиболее целесообразным, по аналогии с указанным выше, в данном случае является применение дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой.

При таком выполнении отключение повреждения со стороны ответвления выполняется с помощью защит с выдержкой времени или специальных устройств (§ 1-3).

Во втором случае со всех питающих концов линии (в том числе и со стороны ответвления) устанавливаются полуккомплекты в. ч. защиты обычного исполнения.

Третий случай при наличии питания со сторон ответвлений является для линий с ответвлениями наиболее характерным, поскольку чувствительность может быть пониженной как из-за влияния подпиток со стороны других концов, так и из-за возможности мало-мощного питания со стороны ответвления. Для ответвления также весьма вероятен режим полного отключения питания со стороны подстанции, приключенной к ответвлению (§ 1-1). К третьему случаю можно отнести также под-

станцию с двумя трансформаторами, приключенными на ответвлениях от двух параллельных линий при параллельной работе этих трансформаторов на стороне среднего или низшего напряжений и отсутствии источников питания с этих сторон.

В указанном случае направленные защиты с в. ч. блокировкой с пусковыми органами, действующими независимо от направления мощности к. з., не могут быть использованы без специальных изменений, поскольку, как указано выше, при недействии органов останова в. ч. передатчика хотя бы на одном из концов линии не действует защита с высокочастотной блокировкой на остальных концах линии.

При применении направленных защит с в. ч. блокировкой с органами пуска в. ч. передатчика, действующими только при направлении мощности к. з. к шинам, может быть обеспечено действие защиты на отключение на каждом конце линии независимо от ее действия на других концах. В связи с этим в рассматриваемом случае наиболее целесообразно использование защит данного типа; при этом не требуется каких-либо изменений в их схемах.

Рассмотрим отдельно более подробно особенности применения и поведения в рассматриваемом случае защит разных типов.

а) Фильтровая направленная защита типа ПЗ-164 (с дистанционным пуском в. ч. передатчика)

При применении защиты на линиях с ответвлениями необходимо учитывать следующие особенности защиты, ограничивающие возможности ее использования.

1. Защита, как имеющая орган пуска в. ч. передатчика, срабатывающий независимо от направления мощности к. з.: а) неспособна к каскадному действию в случаях, когда пусковой орган одного конца не удовлетворяет условию чувствительности; объясняется это тем, что в. ч. передатчик данного полукompлекта, пущенный дистанционно, не будучи остановленным, будет посылать блокирующие в. ч. сигналы на противоположные концы линии; б) отказывает в действии в режиме, когда питание со стороны одного из концов отключено, что объясняется недействием на остановку передатчика

органа направления мощности полукompлекта указанного конца, в результате чего блокируются полукompлекты остальных концов.

2. Пусковые органы защиты (органы переключения), предназначенные для действия при трехфазных к. з. (реле тока и реле напряжения, включенные на полные токи и напряжения), имеют ограниченную чувствительность.

Вместе с тем данная защита имеет ряд преимуществ по сравнению с некоторыми другими типами направленных защит.

1. В отличие от токовой направленной защиты нулевой последовательности, на работу защиты практически не влияет режим заземления нейтралей трансформаторов на ответвлениях при любом числе ответвлений.

2. Благодаря наличию дистанционного пуска в. ч. передатчика не требуется согласования по чувствительности полукompлектов защиты, расположенных на разных концах линии. Это позволяет осуществить в некоторых случаях более чувствительную защиту, чем защита с двумя пусковыми органами разной чувствительности; в частности, не требуется при любой конфигурации сети дополнительного (по сравнению со случаем установки защиты на линии без ответвлений) заглубления защиты по условию согласования чувствительности двух полукompлектов (см., например, § 6-3).

В связи с этим, в ряде случаев может оказаться целесообразным, в целях повышения чувствительности, выполнение направленных в. ч. защит и других типов с дистанционным пуском передатчика.

Следует отметить, что в целях повышения чувствительности защиты типа ПЗ-164 при трехфазных к. з. применяются ее модернизированная схема, в которой предназначенные для действия при трехфазных к. з.

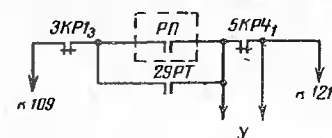


Рис. 6-11. Изменения в схеме цепей оперативного постоянного тока защиты типа ПЗ-164 для повышения ее чувствительности при трехфазных к. з.

Примечания: 1. РП — контакт промежуточного реле, срабатывающего при действии реле сопротивления резервной дистанционной защиты, предназначенного для защиты от трехфазных к. з.

2. Цифрами на схеме обозначены номера зажимов в схеме панели типа ПЗ-164; у — то же, что на рис. 6-7.

реле тока и напряжения заменяются на реле сопротивления.

На рис. 6-11 показан один из возможных вариантов изменений в схеме цепей оперативного постоянного тока защиты ПЗ-164, которые могут использоваться для повышения чувствительности защиты при трехфазных к. з.

В данной схеме взамен реле напряжения, включаемого на междуфазное напряжение (*28РН*), используется дополнительно предусматриваемое промежуточное реле *РП*, срабатывающее от предназначенного для действия при трехфазных к. з. реле сопротивления резервной дистанционной защиты, наличие которой предполагается на защищаемой линии; указанное реле сопротивления должно срабатывать при повреждениях на защищаемой линии и действовать на промежуточное реле *РП* без выдержки времени. Назначение реле *29РТ* в данной схеме аналогично таковому в схеме на рис. 6-7,б.

Данная схема, как и схема по рис. 6-7,б, имеет недостаток, заключающийся в необходимости связывать цепи основной и резервной защит. В связи с этим в ряде случаев может оказаться более целесообразным дополнение схемы панели типа ПЗ-164 одним реле сопротивления, либо использование упомянутой выше модернизированной схемы панели защиты типа ПЗ-164.

б) Дистанционная защита и токовая направленная защита нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой

Наиболее распространенная схема данной защиты приведена на рис. 6-3. При применении рассматриваемой защиты приходится считаться со случаями, когда при к. з. на защищаемой линии на данном конце в. ч. передатчик может быть пущен, а органы остановки в. ч. передатчика не сработают (например, при недостаточной чувствительности), что приведет к отказу защиты с в. ч. блокировкой (или замедлению в отключении к. з. на остальных концах линии). Это ограничивает возможности применения схемы по рис. 6-3 на линиях с ответвлениями с питанием. Для возможности применения защиты данного типа в рассматриваемых случаях на концах линии (в том числе и на ответвлениях), где питание может быть недостаточным для действия защиты, должны применяться полуккомплекты защиты, выполненные по другим схемам.

В качестве примера такой схемы на рис. 6-12 показана схема релейной части полуккомплекта защиты с в. ч. блокировкой с органами пуска в. ч. передатчика, действующими только при направлении мощности к. з. к шинам. Данная схема может быть установлена на кон-

це линии, где питание либо недостаточно для обеспечения требований чувствительности, либо может быть отключено. На остальных питающих концах линии устанавливаются полуккомплекты защиты с в. ч. блокировкой в типовом исполнении (рис. 6-3), либо выполненные в соответствии с данной схемой.

Схема используется в сочетании с дистанционной защитой и токовой направленной защитой нулевой последовательности. В схеме в качестве органов пуска в. ч. передатчика использованы:

а) для действия при многофазных замыканиях — направленные реле сопротивления *6РС—8РС* с размыкающими контактами;

б) для действия при замыканиях на землю — реле направления мощности нулевой последовательности *11РМ* и реле напряжения нулевой последовательности *10РН*. Включенный параллельно контакту реле мощности нулевой последовательности размыкающий контакт реле *10РН* необходим для предотвращения неправильного действия в. ч. блокировки при междуфазном к. з. на защищаемой линии, которое могло бы иметь место в результате срабатывания реле направления мощности *11РМ* от тока небаланса.

Реле сопротивления *6РС—8РС* и реле направления мощности *11РМ* срабатывают при направлении мощности к. з. к шинам данной подстанции, т. е. при внешних к. з. Это позволяет предотвратить отказ в действии полуккомплектов защиты с в. ч. блокировкой, установленных на других концах линии, который при применении ненаправленных пусковых органов мог бы иметь место при пуске передатчика полуккомплекта данного конца и недействии органов остановки передатчика этого полуккомплекта.

Предусмотренная в схеме фиксация пуска в. ч. передатчика на время, определяемое замедлением при возврате реле *16РПВ*, выполнена по тем же причинам, что и в схеме по рис. 6-9. В качестве органов отключения в схеме использованы:

а) для действия при многофазных замыканиях — реле сопротивления дистанционной защиты (*1РП* — промежуточное реле, размножающее контакты этих реле);

б) для действия при замыканиях на землю — реле тока *9РТН*, реле напряжения *10РН* и реле направления

Следует отметить, что в данной схеме, в отличие от схемы на рис. 6-3, отсутствуют цепи остановки в. ч. передатчика. Это объясняется тем, что при к. з. на за-

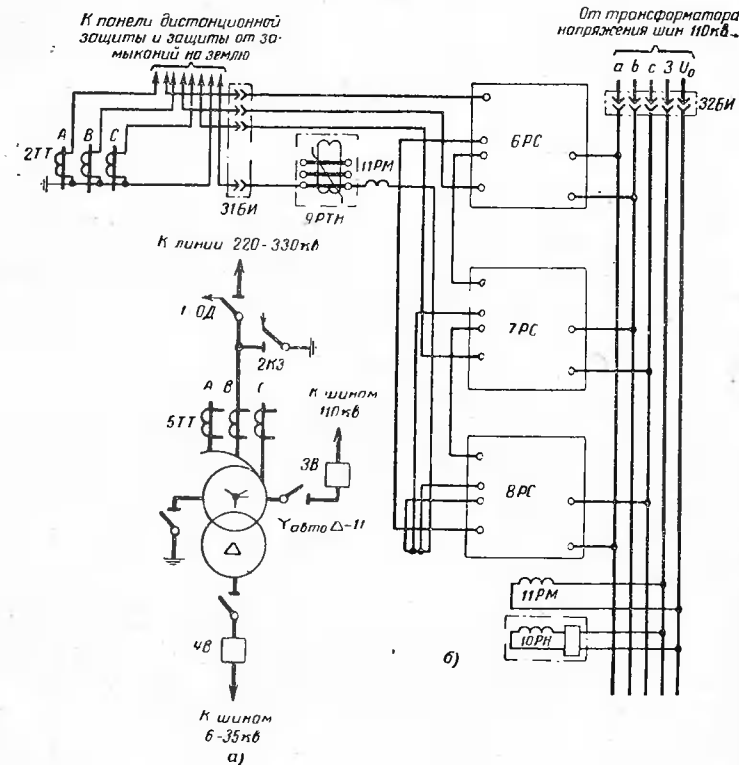
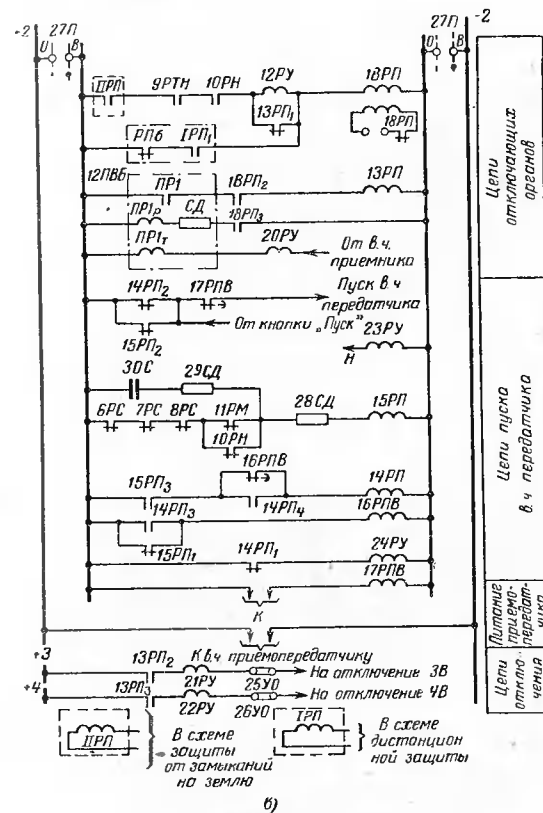


Рис. 6-12. Схема релейной части полуккомплекта защиты с в. ч. ми при направлении мощности к з. к. шинам, для отключения от

а — поясняющая хема; б — схема цепей переменного тока и напряжения; 10Д — отделитель; 2КЗ — короткозамыкатель; 8В, 4В — выключатели; ления; 9Р7Н — реле тока с насыщающимся трансформатором; 10РН — реле ка в. ч. блокировки типа ПБВ-158; 13РП—15РП, 16РПВ, 17РПВ, 18РП—25УО, 26УО — устройства отключающие; 27П — переклюкатели; 28СД, 31Б1, 32Б1 — блоки испытательные; 1РП, 11РП — промежуточные реле, сопротивление второй ступени и реле мощности нулевой последователь на рис. 6-9. Схема цепей переменного тока и напряжения реле сопротив

Схема на рис. 6-12, как и схема на рис. 6-9, дана для случая, когда отключающие органы в полуконфлекс-



блокировкой с пусковыми органами, действующими
линии 220—330 кв, со стороны которого имеет-
ние.

в — схема цепей оперативного постоянного тока;
 ГТТ — трансформаторы тока; 6РС—6РС — реле сопротивления;
 1ПМ — реле мощности; 12ПВБ — пристав-
 промежуточные реле; 19У—24У — указательные реле;
 29СД — сопротивления добавочные; 30С — конденсатор;
 повторяющие положение контактов, соответственно, реле
 ности; РПБ — то же, что на рис. 6-3; Н, К — то же, что
 ления аналогична таковой в схеме рис. 6-9.

тах противоположных сторон линии отстроены от к. з. на стороне низшего напряжения автотрансформатора данной подстанции. В связи с этим предусмотренные в схеме органы пуска в. ч. передатчика не предназначены для действия при повреждениях в сети низшего напряжения. В случае, когда указанное условие не соблюдается, должны быть предусмотрены органы пуска в. ч. передатчика, действующие при повреждениях на стороне низшего напряжения (см. § 6-5).

в) Фильтровая направленная высокочастотная защита на полупроводниковых приборах типа НВЗП-1

В соответствии с указанным выше, применение данной защиты, как имеющей органы пуска в. ч. передатчика, действующие только при направлении мощности к шинам подстанции, наиболее целесообразно на линиях с ответвлениями с питанием. При применении данной защиты ее полуккомплекты устанавливаются на всех подстанциях, в том числе и на подстанциях ответвлений с питанием.

В соответствии с указанным в § 6-2 на линии с тремя концами при наличии обходных связей между концами линии, противоположными месту установки данного полуккомплекта, может оказаться необходимым, в целях обеспечения правильного действия защиты при к. з. на обходной связи, увеличить в данном полуккомплекте ток срабатывания органа направления мощности по сравнению с токами срабатывания аналогичных реле на остальных концах, в предельном случае, в 2 раза.

6-7. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ НА ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Ниже рассматриваются основные особенности расчета направленных защит с в. ч. блокировкой на линиях с ответвлениями.

Параметры срабатывания пусковых органов защиты, предназначенные для действия на отключение, должны выбираться по следующим условиям.

а) Для полуккомплектов защиты, устанавливаемых на питающих концах линии с ответвлениями (в том числе и со стороны ответвления с питанием), при отсутствии

дистанционного пуска передатчика — по условию согласования по чувствительности с аналогичными (т. е. предназначенными для действия при тех же видах повреждений) органами пуска в. ч. передатчика полуккомплектов, установленных на противоположных концах линии.

б) Для полуккомплектов защиты, устанавливаемых на питающих концах линии с одним или несколькими ответвлениями, со стороны которых не устанавливаются полуккомплекты защиты, — по условию отстройки от к. з. за трансформаторами ответвлений.

в) Для полуккомплектов защиты, устанавливаемых на питающих концах линии с несколькими ответвлениями, со стороны которых не устанавливаются полуккомплекты защиты, — по условию отстройки от токов, напряжений или сопротивлений в месте установки защиты при броске тока намагничивания трансформаторов на ответвлениях и по условию отстройки от самозапуска нагрузки на ответвлениях при включении линии под напряжение.

По условиям «а» и «б» выбираются параметры срабатывания основных органов отключения защиты в случаях, когда не применяются дополнительные органы, предназначенные специально для отстройки защиты от к. з. за трансформатором; в случаях, когда такие органы применяются, выбор параметров их срабатывания должен производиться по указанным условиям, при этом параметры срабатывания основных органов защиты по этим условиям могут не проверяться.

При расчете защиты по условиям «а», «б» и «в» в качестве расчетных должны рассматриваться такие режимы и виды повреждений, при которых значения выбираемых по этим условиям параметров срабатывания получаются максимальными.

При выборе параметров срабатывания защиты по условию «а» должны учитываться соображения по расчету защиты, изложенные в § 6-2.

При выборе параметров срабатывания по условию «б» должны рассматриваться к. з. следующих видов: для реле, реагирующих на ток, напряжение или мощность обратной последовательности (т. е. реле тока, напряжения или мощности обратной последовательности) — к. з. между двумя фазами; для реле тока нулевой последовательности — к. з. на землю (при наличии на ответвлении автотрансформатора) и трехфазное к. з. — при наличии на ответвлении трансформатора; в последнем случае

отстройка должна производиться от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока защиты при указанном повреждении; для реле тока, включенных на полные фазные токи, и реле сопротивления — междуфазные к. з.

При выборе параметров срабатывания по условиям «в» следует учитывать необходимость отстройки от указанных режимов не только реле, реагирующих на полные электрические величины, но и реле, реагирующих на составляющие обратной и нулевой последовательностей, причем отстройка от составляющих токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей при самозапуске нагрузки на ответвлениях в кратковременном несимметричном режиме, возникающем при включении выключателя, необходима только при выключателях с пофазными приводами и установке трансформаторов напряжения, используемых для защиты, на шинах подстанции [Л. 7].

Следует отметить, что отстройка от тока нулевой последовательности по условию «в» должна рассматриваться как при одном, так и при нескольких трансформаторах на ответвлениях от линии, но только в случаях, если нейтрали этих трансформаторов заземлены [Л. 5].

Следует отметить также, что отстройка полуккомплектов питающих концов от бросков тока намагничивания трансформаторов (автотрансформаторов) и тока самозапуска на ответвлениях по току обратной и нулевой последовательностей должна производиться также и при наличии на ответвлениях полуккомплектов защит — в случае, если пуск или остановка в. ч. передатчика в этих полуккомплектах предусматривается при действии реле направления мощности обратной (нулевой) последовательности. Указанное необходимо, поскольку реле направления мощности на ответвлении в рассматриваемом режиме могут действовать, как при к. з. на защищаемой линии.

Для обеспечения отстройки защиты от бросков тока намагничивания в ряде случаев может оказаться целесообразным применять в качестве органов, реагирующих на полные фазные токи или токи нулевой последовательности, реле с насыщающимися трансформаторами (например, реле типа РНТ-565, УБ-1 и т. д.)

Параметры срабатывания реле, действующих на пуск в. ч. передатчика, устанавливаемого на ответвлении бло-

кирующего полуккомплекта защиты, должны выбираться: по условию отстройки от к. з. на защищаемой линии — для органов, имеющих ненаправленную характеристику;

по условию недействия в нормальном режиме или надежного возврата после отключения внешнего к. з. на ответвлениях;

по условию отстройки от режима самозапуска нагрузки на ответвлении (для реле, реагирующих на полные токи или сопротивления).

Учет последнего условия является желательным для предотвращения отказа или замедления действия защиты при включении линии от АПВ на к. з. в случае, когда напряжение на подстанции ответвления оказывается достаточным для самозапуска. Указанное неправильное действие могло бы иметь место вследствие пуска передатчика на ответвлении.



Глава седьмая

ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТ С ПЕРЕДАЧЕЙ ОТКЛЮЧАЮЩИХ И РАЗРЕШАЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

7-1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В данной главе рассматриваются вопросы использования для осуществления быстродействующих защит линий с ответвлениями способа отключения повреждений с помощью передачи сигналов. Под отключением передачей сигнала понимается способ, при котором отключение выключателя на одном конце линии осуществляется в случае получения сигнала, переданного от сработавшей защиты на других концах линии. При применении указанного способа отключения повреждений используются передаваемые сигналы, которые могут быть непосредственно отключающими или только разрешающими отключение [Л. 2].

Ниже будет показано, что применение защит, выполненных с использованием отключающих и разрешающих сигналов, в ряде случаев позволяет более эффективно решить задачу осуществления быстродействующей релейной защиты линий с ответвлениями, чем при применении в. ч. защит с передачей блокирующего сигнала (т. е. направленных и дифференциально-фазных).

Следует отметить, что защиты, выполненные с использованием рассматриваемых принципов, получили заметное распространение за рубежом [Л. 22—33]. В Советском Союзе эти защиты только начинают применяться.

7-2. ПРИНЦИПЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ С ОТКЛЮЧАЮЩИМИ И РАЗРЕШАЮЩИМИ СИГНАЛАМИ

Быстродействующая защита линии с передачей сигнала, обеспечивающая отключение линии со всех ее

сторон без замедления, может быть выполнена по следующим основным вариантам [Л. 23, 28, 30, 31].

Вариант 1 — защита с передачей отключающего сигнала при действии первых ступеней ступенчатых защит линии (защита с укороченной зоной и отключающим сигналом);

Вариант 2 — защита с передачей разрешающего сигнала при действии первых ступеней ступенчатых защит линии (защита с укороченной зоной и разрешающим сигналом);

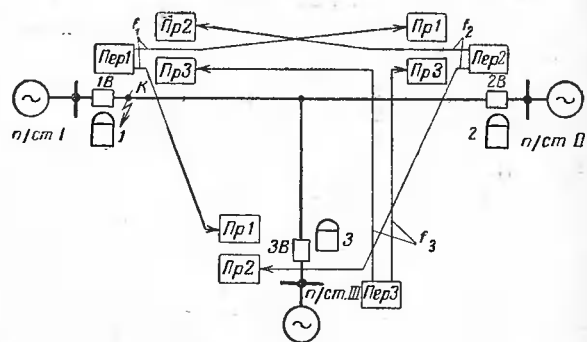
Вариант 3 — защита с передачей разрешающего сигнала при действии ступеней направленной ступенчатой защиты, охватывающих всю длину защищаемой линии (защита с удлиненной зоной и разрешающим сигналом).

Принципы осуществления приведенных вариантов защиты даны на рис. 7-1 применительно к линии с одним ответвлением с питанием со стороны ответвления (линии с трехсторонним питанием).

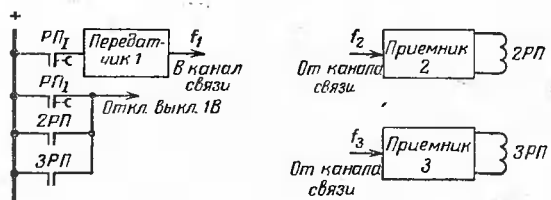
Следует отметить, что схемы устройств, приведенных на рис. 7-1, а также на других рисунках настоящей главы, даны упрощенно; на них показаны только цепи, необходимые для понимания принципов действия устройств. Схемы условно даны применительно к использованию только электромеханических реле; устройства передачи сигнала также показаны условно; принцип действия рассматриваемых защит практически не зависит от типа устройства, используемого для передачи сигнала.

При выполнении защиты по варианту 1 (рис. 7-1,б) для передачи отключающих сигналов от защит каждого конца линии могут использоваться, например, первая ступень дистанционной защиты и первая ступень токовой направленной защиты нулевой последовательности, которые с помощью выходного промежуточного реле РП₁ действуют на отключение выключателя и на передачу отключающего сигнала на противоположные концы линии. Защиту целесообразно выполнять таким образом, чтобы на указанное промежуточное реле РП₁ действовали не только первые ступени, но и работающие с выдержкой времени остальные ступени ступенчатых защит линии; последнее обеспечивает отключение выключателя противоположного конца линии в случае отказа защиты, установленной с его стороны (при к. з. в любой точке линии).

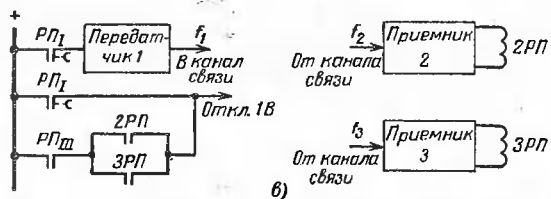
Отключающий сигнал на каждом конце линии принимается с помощью приемника, выходное реле которого действует на отключение выключателя (на рис. 7-1, б 2РП и 3РП — выходные реле, действующие на отключение выключателя при наличии отключающих сигналов от передатчиков, установленных, соответственно, на подстанциях II и III).



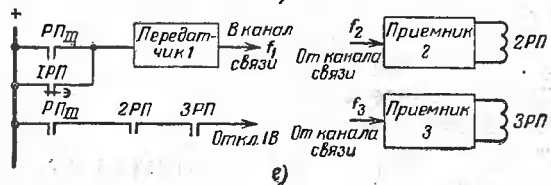
а)



б)



в)



г)

При рассматриваемом выполнении защиты быстрое отключение линии со всех трех сторон обеспечивается в случае срабатывания первой ступени защиты хотя бы с одного конца.

Защита по варианту 1 имеет следующие отличительные особенности:

а) Защита обеспечивает быстрое отключение повреждения в случае, когда при к. з. на защищаемой линии ток на одном из ее концов направлен от линии к шинам («вытекание» тока — рис. 1-10, а); как известно, в. ч. защиты в этом случае отказывают в действии.

б) Схема защиты по сравнению со схемами остальных вариантов (см. ниже) более простая и поэтому более надежная.

в) Защита не обеспечивает быстрого отключения линии со всех сторон, если зоны срабатывания первых ступеней защит разных концов линии не перекрываются и место повреждения расположено на линии вне этих зон срабатывания.

г) Такое выполнение защиты обладает меньшей помехоустойчивостью, чем защиты по вариантам 2 и 3 (поскольку цепи отключения от приходящего сигнала не контролируются защитой на данной подстанции); в связи с указанным, данная защита должна применяться в сочетании с аппаратурой передачи сигнала, обладающей наибольшей помехоустойчивостью.

д) Защита не обеспечивает быстрого отключения линии со всех сторон в случае, когда отключен выключатель с одного ее конца или отключено питание с этого конца, а повреждение произошло вне зоны первых сту-

Рис. 7-1. Принципы выполнения защиты для линии с тремя концами при применении передачи отключающих и разрешающих сигналов. а — поясняющая схема; б — принципиальная схема цепей отключения защиты с укороченной зоной и отключающим сигналом (защита по варианту 1); в — принципиальная схема цепей отключения защиты с укороченной зоной и разрешающим сигналом (защита по варианту 2); г — принципиальная схема цепей отключения защиты с удлинённой зоной и разрешающим сигналом (защита по варианту 3).

Примечание. Схемы рис. б—г даны для защиты 1. Цепи защит 2 и 3 выполняются аналогично. РП1 — передатчик, установленный на подстанции I; Пр2 и Пр3 — приемники, принимающие сигналы, соответственно, с подстанций II и III; f_1, f_2, f_3 — частоты передатчиков, установленных, соответственно, на подстанциях I, II, III; РП1 — выходное промежуточное реле первых ступеней защит, при применении схемы по рис. 7-1, б реле РП1 должно срабатывать также от действующих с выдержкой времени остальных ступеней защит линии; РПIII — выходное промежуточное реле органов защиты, охватывающих защищаемую линию (например, третьих ступеней); ИРП — реле положения «включено» выключателя; 2РП, 3РП — выходные реле, соответственно, приемников 2 и 3.

пеней защит противоположных концов; в связи с этим, в частности, защита с передачей отключающего сигнала может не действовать в случае возникновения к. з. при включении линии под напряжение, а также при неуспешном АПВ (в обоих случаях — если к. з. находится вне зоны первой ступени защиты).

е) Защита обладает способностью резервировать защиты противоположных концов.

ж) При неправильном действии защиты на одном из концов отключаются выключатели на других концах линии.

При выполнении защиты по варианту 2 (рис. 7-1,б) от действия первых ступеней защит передаются на противоположные концы линии не отключающие, а разрешающие сигналы. Цепь отключения от выходных реле приемников устройства передачи сигнала контролируется органами защиты, охватывающими с достаточным запасом защищаемую линию (на рис. 7-1,б РП_{III} — промежуточное реле, срабатывающее при действии указанных органов, например дистанционного органа третьей ступени дистанционной защиты и реле тока третьей ступени токовой защиты нулевой последовательности). Следует отметить, что указанные контролирующие органы для обеспечения правильного действия защиты по рассматриваемому варианту не обязательно должны быть направленными.

По сравнению с защитой по варианту 1 защита по варианту 2 имеет следующие отличительные особенности:

а) большую помехоустойчивость, поскольку цепь отключения от принимаемого сигнала контролируется реле защиты данного конца линии; по этой же причине исключается возможность отключения выключателей других концов линии при неправильном действии защиты на одном конце;

б) большую сложность;

в) защита может отказать в действии на одном из концов линии, если при повреждении на линии чувствительность органа защиты, контролирующего цепь отключения, является недостаточной; в связи с этим рассматриваемая защита по сравнению с защитой по варианту 1 имеет дополнительные ограничения по чувствительности; в связи с наличием в цепи отключения от принимаемых сигналов контакта контролирующего реле в за-

щите не предусматривается передача сигнала от работающих с выдержкой времени ступеней защиты;

г) в случае, когда при повреждении на защищаемой линии ток на одном из концов линии направлен от линии к шинам (рис. 1-10,а) и контролирующие реле на этом конце не срабатывают, выключатель данного конца линии при применении рассматриваемой защиты может быть отключен только в каскаде.

В остальном защита по варианту 2 не отличается по своим свойствам от защиты по варианту 1.

При выполнении защиты по варианту 3 (рис. 7-1,г) передатчик на каждом конце линии передает разрешающие сигналы при действии контролирующих органов — реле направленной ступенчатой защиты, охватывающих противоположные концы линии с достаточным коэффициентом чувствительности (реле РП_{III} — промежуточное реле, срабатывающее при действии, например, реле третьих ступеней защит). Действие защиты на отключающие выключатели производится только при условии, если на данном конце линии сработало реле, действующее на передачу разрешающего сигнала, и если сработали выходные реле 2РП и 3РП приемников, принимающих сигналы (разрешающие) от передатчиков противоположных концов. Таким образом, рассматриваемое выполнение защиты практически представляет собой продольную защиту линии с косвенным сравнением электрических величин (защита со сравнением направлений).

В схеме предусматривается посылка разрешающего сигнала при отключении выключателя (контакт реле положения «включено» выключателя ИРП замкнут), благодаря чему обеспечивается действие защиты при повреждении на линии в режиме, когда выключатель данного конца линии отключен (т. е. когда не действует реле РП_{III} на данном конце линии).

Реле ИРП имеет замедление при возврате, что целесообразно для предотвращения неправильного действия защиты в случае к. з. на шинах и действия защиты шин; указанное замедление должно быть достаточным для возврата защиты на противоположных концах линии.

Защита по варианту 3 имеет следующие особенности.

а) По сравнению с защитами по вариантам 1 и 2, которые не действуют при к. з. вблизи отключенного выключателя, данная защита имеет преимущество, заключающееся в том, что ее действие при к. з. на линии

в режиме отключения выключателя одного из концов обеспечивается за счет посылки разрешающего сигнала при отключенном положении выключателя.

б) Так же, как и в. ч. защиты с передачей блокирующего сигнала, данная защита не действует при «вытекании» тока из линии (рис. 1-10,а).

в) Так же, как и направленные защиты с в. ч. блокировкой (за исключением защит с органами пуска в. ч. передатчика при направлении мощности от линии к шинам), данная защита отказывает в действии со всех сторон линии в случаях, когда контролирующий орган хотя бы одного из концов не работает либо по причине недостаточной чувствительности, либо из-за отсутствия питания (последнее — в режиме, когда питание с данной стороны линии отключено).

г) По сравнению с в. ч. защитами с передачей блокирующего сигнала без дистанционного пуска в. ч. передатчика, для которых обязательным является заглубление органов, действующих на отключение, относительно органов пуска в. ч. передатчика, данная защита имеет то преимущество, что для обеспечения правильного действия защиты при внешних повреждениях не требуется дополнительного заглубления защиты; в связи с указанным, при данном выполнении защита может оказаться более чувствительной, чем защита с передачей блокирующего сигнала.

д) В отличие от защит с передачей блокирующего сигнала данная защита не подвержена неправильному действию при внешнем к. з. и неисправности в. ч. канала.

Применение рассмотренных защит на линиях с ответвлениями может оказаться более целесообразным, чем применение в. ч. защит с блокирующим сигналом, если:

защиты с отключающим или разрешающим сигналами (по вариантам 1, 2 и 3) удовлетворяют требованиям чувствительности, а защиты с блокирующим сигналом не удовлетворяют этим требованиям или при «вытекании» тока из линии защиты с блокирующим сигналом могут отказать в действии (рис. 1-10,а), и при этом может быть обеспечено действие защит по вариантам 1 и 2.

При решении вопроса о возможности применения рассмотренных трех вариантов защит необходимо учи-

тывать, что все они, помимо недостатков, присущих каждому из вариантов в отдельности, имеют еще и общий недостаток, заключающийся в том, что в ряде случаев не обеспечивается быстрое отключение линии со всех сторон при повреждении на ней в режиме отключения питания с одной из сторон линии, т. е. обладают недостатком, который не присущ направленным защитами с в. ч. блокировкой с органами пуска в. ч. передатчика при направлении мощности к. з. к шинам подстанции (гл. 6). Поэтому вопрос о возможности применения их может рассматриваться только при условии, если указанный режим является маловероятным или если в этом режиме допустимо отключение с выдержкой времени либо к. з. на участках линии, примыкающих к концам, питание со стороны которых может быть отключено (для случаев применения защит по вариантам 1 и 2), либо к. з. в любой точке защищаемой линии (при применении защит по варианту 3). Кроме того, при решении вопроса о применении данной защиты, должны учитываться возможности осуществления простых и надежных каналов связи, необходимых для ее выполнения (см., например, § 7-4).

В пределах указанной общей области применения можно наметить области применения каждого из рассмотренных вариантов защиты.

Защиту по варианту 1 целесообразно применять в случаях, когда одновременно соблюдаются следующие условия:

аппаратура передачи сигнала достаточно помехоустойчива (благодаря чему допустимо не контролировать цепь отключения от принимаемого сигнала защитой данного конца);

зоны действия первых ступеней защит со всех сторон линии надежно перекрываются;

режимы работы линии с отключенным выключателем одного из концов являются маловероятными или в этих режимах допустимо отключать с выдержкой времени к. з. на участках, примыкающих к отключенному выключателю.

Защита по варианту 2, в отличие от защиты по варианту 1, может применяться, если аппаратура передачи сигнала менее помехоустойчива, а ступени защиты, используемые в качестве контролирующих органов, удовлетворяют требованиям чувствительности.

Защиту по варианту 3 может оказаться целесообразным применять в случаях, когда зоны действия первых ступеней защит линии не перекрываются, либо вероятны режимы работы линии с отключенным выключателем одного из концов линии и в этих режимах требуется быстрое отключение повреждения; в обоих случаях контролирующие органы во всех возможных режимах должны удовлетворять требованиям чувствительности.

Приведенное рассмотрение трех вариантов выполнения быстродействующей защиты линии с использованием отключающих или разрешающих сигналов показывает, что применение каждого варианта защиты на линиях с ответвлениями, с одной стороны, имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными в. ч. защитами; но с другой стороны, оно имеет ряд ограничений как раз благодаря специфическим особенностям линий с ответвлениями при наличии питания со стороны ответвления (необходимость учета режима отключения питания с одной из сторон линии, затруднения в обеспечении требований чувствительности и т. д.). Поэтому применение каждого из рассмотренных вариантов в отдельности может дать возможность осуществить защиту с более удовлетворительными характеристиками, чем при применении в. ч. защит с блокирующими сигналами, только в ряде отдельных случаев. В общем же случае применение указанных защит не дает решения всех вопросов релейной защиты, определяемых спецификой линий с ответвлениями. Ниже будут рассмотрены дополнительные возможности, которые дают комбинированное использование рассмотренных принципов защиты.

7-3. ПРИМЕРЫ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ

а) Защита с отключающим и блокирующим сигналами

Рассматривается принцип осуществления быстродействующей защиты линии, представляющей собой сочетание защиты с блокировкой с устройством передачи отключающего сигнала [Л. 30]. В качестве защиты с блокировкой должна использоваться направленная защита, имеющая органы пуска в. ч. передатчика направленного типа, недействующие при к. з. на защищаемой линии (например, направленная в. ч. защита типа НФЗ или НВЗП-1).

При таком комбинированном выполнении защита работает следующим образом.

При внешних повреждениях передатчик полукомплекта, ближайшего к месту повреждения, посылает блокирующий сигнал, что приводит к блокированию защиты на других концах защищаемой линии. При повреждении на защищаемой линии блокирующих сигналов не передается (поскольку пуска передатчика не происходит); полукомплект, чувствительность пускового органа кото-

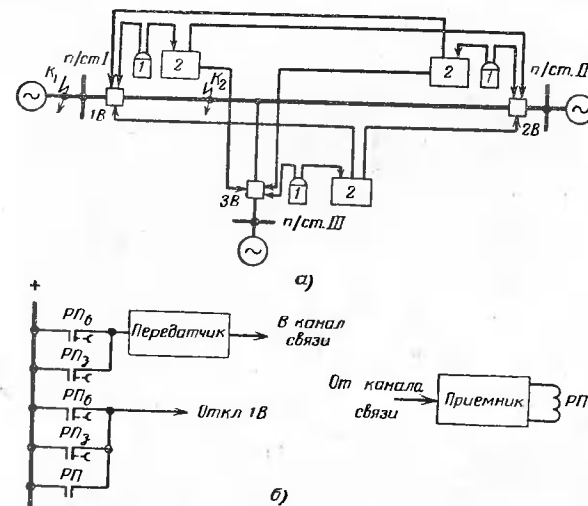


Рис. 7-2. Выполнение защиты с блокирующим и отключающим сигналами.

а — направления передачи отключающих сигналов; б — принципиальная схема цепей отключения защиты на подстанции 1.

Примечания: 1. 1 — полукомплект защиты с блокировкой; 2 — передатчик устройства передачи сигнала (приемники устройства передачи сигнала на рис. 7-2, а не показаны); РП6 и РПз — выходные промежуточные реле, соответственно, защиты с блокировкой и резервных ступенчатых защит на данном конце линии; РП — выходное реле приемника устройства передачи сигнала.

2. Цепи защиты на остальных концах линии выполняются аналогично рис. 7-2, б.

рого достаточно для действия защиты на отключение, производит отключение выключателя на своем конце линии и посылает сигнал с помощью аппаратуры передачи отключающего сигнала на отключение выключателей других концов линии. Поясняющая схема направления передач отключающих сигналов и принципиальная схема одного полукомплекта даны на рис. 7-2.

Таким образом, при рассматриваемом выполнении защиты в случае действия на отключение полукомплекта одного из концов обеспечивается практически одновременное отключение выключателей остальных концов (за счет передачи отключающего сигнала) независимо от того, работали ли остальные полукомплекты защиты.

Наличие передачи отключающего сигнала от защиты с блокировкой может быть также одновременно использовано и для передачи отключающего сигнала от резервных защит линии, причем для этого используется та же аппаратура канала связи, что и для передачи отключающего сигнала от защиты с блокировкой. Указанное может оказаться целесообразным для резервирования защит одного конца линии защитами других концов, а также для осуществления быстрого отключения в случаях, когда защита с блокирующим сигналом не действует; например, в случае, показанном на рис. 1-10, а, быстрое отключение повреждения при применении рассматриваемой защиты обеспечивается, несмотря на недействие защиты с блокирующим сигналом, передачей отключающего сигнала от быстродействующих ступеней резервной защиты, установленной со стороны подстанции I, на остальные концы линии.

Таким образом, описанное выполнение защиты наиболее полно отвечает специфическим условиям, которые имеют место на линиях с ответвлениями при наличии питания с их сторон, и дает возможность преодолеть большинство затруднений, возникающих при осуществлении быстродействующей релейной защиты этих линий. Данная защита может быть выполнена, например, с использованием направленной защиты с высокочастотной блокировкой типа НВЗП-1 (гл. 6) в сочетании с аппаратурой телестключения типа ВЧТО. При этом должны осуществляться мероприятия для возможности передачи отключающих и блокирующих сигналов со всех концов линии в одной полосе частот (см. § 7-4).

б) Использование передачи отключающего сигнала для улучшения характеристик защиты линии

Передача отключающего сигнала может применяться для улучшения характеристик (т. е. повышения чувствительности и снижения времени действия) защиты

линии на одном или двух концах линии с ответвлениями; при этом устройство для передачи отключающего сигнала используется в комбинации с применяющимися защитами линий обычного типа.

Один из возможных примеров подобного выполнения защиты приведен на рис. 7-3, а. В рассматриваемом случае в связи с заземлением нейтралей нескольких трансформаторов, присоединенным к ответвлениям от линий

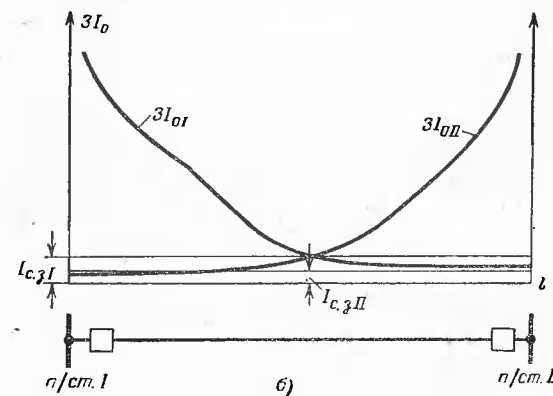
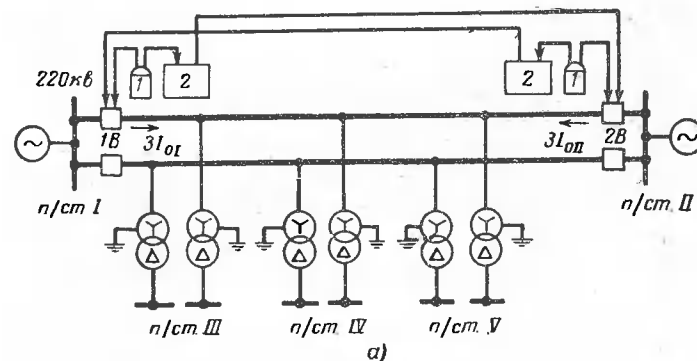


Рис. 7-3. Защита от замыканий на землю с передачей отключающего сигнала.

а — пример схемы линии с ответвлениями; б — токи нулевой последовательности в местах установки полукомплектов защит. I — защита от замыканий на землю и от многофазных замыканий; 2 — передатчик устройства передачи отключающего сигнала; $I_{с.зI}$, $I_{с.зII}$ — токи срабатывания токовых отсечек нулевой последовательности, установленных, соответственно, со сторон подстанций I и II; $3I_{0I}$, $3I_{0II}$ — утроенные токи нулевой последовательности, проходящие в местах установки защит при замыканиях на землю на защищаемой линии.

220 кв, токовая защита нулевой последовательности имеет недостаточную чувствительность, и отключение замыканий на землю на всем протяжении линии либо не обеспечивается, либо обеспечивается с недопустимо большим временем. При применении передачи отключающего сигнала от выходных промежуточных реле защит каждого конца линии на противоположный конец, как показано на рис. 7-3,а, может быть обеспечено значительное ускорение отключения повреждений; в случаях, если защищаемые зоны первых ступеней токовых защит нулевой последовательности перекрываются (рис. 7-3,б), обеспечивается практически мгновенное отключение линии с обеих сторон.

Следует отметить, что при применении для передачи сигнала в. ч. канала по линии электропередачи для увеличения надежности может быть использована передача сигнала от каждой из защит одновременно по двум каналам, выполненным по каждой из двух параллельных линий.

В качестве второго примера использования передачи отключающего сигнала для улучшения характеристик защиты на рис. 7-4 показан принцип осуществления защиты в случае, если основная защита линии с одного из концов не удовлетворяет требованиям чувствитель-

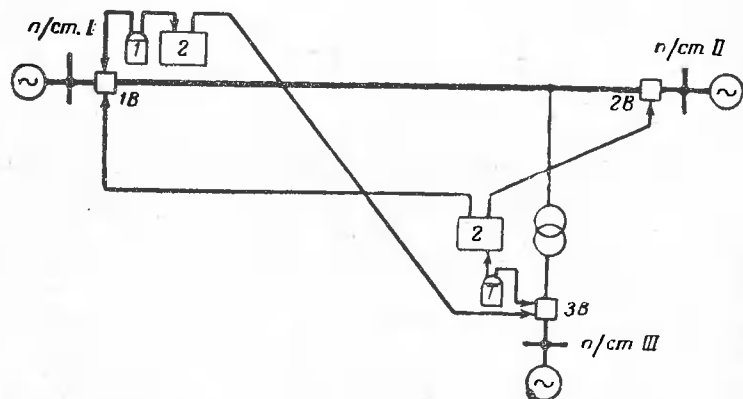


Рис. 7-4. Использование передачи отключающего сигнала для защиты линии с тремя концами, с одного из которых имеется маломощный источник питания.

1 — полукомплект в. ч. защиты, а также резервных защит от всех видов повреждений; T — защита от внутренних повреждений трансформатора; 2 — передатчик устройства передачи отключающего сигнала.

ности (например, если со стороны этого конца имеется маломощный источник питания). В случае, если на линии используется в. ч. защита с направленным пуском в. ч. передатчика, полукомплект которой не удовлетворяет требованиям чувствительности при к. з. на защищаемой линии (например, у шин подстанции I), отключение этих повреждений со стороны ответвления с маломощным питанием (подстанции III) обеспечивается передачей отключающего сигнала от подстанции I на подстанцию III аналогично рассмотренному в § 7-3,а. В качестве быстродействующих защит, помимо высокочастотной, для действия на передачу отключающего сигнала используются действующие без выдержки времени ступени ступенчатых защит линии.

Следует отметить, что передача отключающего сигнала может производиться и при действии ступенчатых дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности со стороны подстанции I, если аналогичные защиты со стороны подстанции III не удовлетворяют требованиям чувствительности при к. з. на защищаемой линии.

В рассматриваемом случае, если со стороны высшего напряжения трансформатора подстанции III отсутствует выключатель, целесообразно предусматривать передачу отключающего сигнала от защиты указанного трансформатора на отключение выключателей 1В и 2В питающей линии. Указанная целесообразность определяется, в частности, тем, что имеется возможность использования канала связи между подстанциями I и III, предусмотренного для передачи отключающего сигнала на отключение выключателя 3В.

По аналогии с приведенным на рис. 7-4, может быть обеспечено отключение трансформатора на ответвлении передачей отключающих сигналов от защит линии, установленных на ее питающих концах, также и в случае отсутствия генерирующих источников со стороны ответвления. Указанное может оказаться целесообразным для быстрого отключения подстанции на ответвлении в следующих случаях:

при наличии на ответвлении синхронных двигателей или синхронных компенсаторов, которые при повреждении на питающей линии должны быть отключены для обеспечения АПВ линии, или предотвращения повреждения изоляции трансформатора с разземленной ней-

трально (последнее — при однофазных замыканиях на землю);

при наличии на ответвлении асинхронных или синхронных двигателей и применении на питающей линии БАПВ — для быстрого отключения подстанции на ответвлении в целях обеспечения успешного БАПВ.

При этом, аналогично схеме на рис. 7-4, каналы связи, используемые для передачи сигнала отключения от защиты линии на подстанцию ответвления, могут быть использованы также и для передачи сигнала отключения на питающие подстанции при действии защиты трансформатора.

в) Защита с отключающим и разрешающим сигналами

Данная защита (рис. 7-5) является комбинированной защитой с передачей отключающего сигнала при действии первых ступеней ступенчатых защит линии и с передачей разрешающего сигнала при действии ступеней

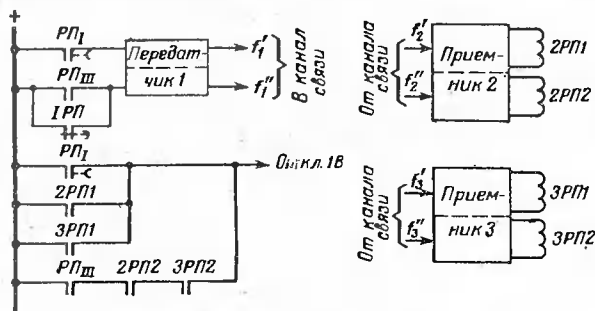


Рис. 7-5. Принципиальная схема цепей отключения защиты I (рис. 7-1, а) при выполнении комбинации защиты с укороченной зоной и отключающим сигналом с защитой с удлиненной зоной и разрешающим сигналом.

Примечания. 1. Поясняющую схему и обозначения см. на рис. 7-1. 2. Схема дана для защиты I (рис. 7-1, а), цепи защит 2 и 3 выполняются аналогично. 3. Частоты f'_1, f'_2, f'_3 используются для передачи разрешающего сигнала, f''_1, f''_2, f''_3 — для передачи отключающего сигнала.

пеней направленной ступенчатой защиты, охватывающих всю длину защищаемой линии (комбинация защиты с укороченной зоной и отключающим сигналом с защитой с удлиненной зоной и разрешающим сигналом).

Данная защита является комбинацией вариантов 1 и 3 защиты, рассмотренных в § 7-2, и может быть при-

менена при использовании аппаратуры, предусматривающей возможность передачи (неодновременной) двух сигналов. Удобным является применение аппаратуры, которая осуществляет передачу команды путем «сдвига» частоты. Так, в схеме по рис. 7-5 принято, что при передаче отключающего сигнала частота передатчика 1 (и аналогично, передатчиков 2 и 3) сдвигается до значений f'_1 (f'_2 и f'_3), при передаче разрешающих сигналов — до значений f''_1 (f''_2 и f''_3).

Схема выполнена таким образом, что при подаче на вход передатчиков обеих команд — от быстродействующих ступеней защит (замкнут контакт РП1) и от контролирующих органов, например реле третьей ступени дистанционной защиты (замкнут контакт РПш), — обеспечивается передача команды, соответствующей отключающему сигналу (преобладание отключающего сигнала). Преобладание отключающего сигнала позволяет в случае недостаточной чувствительности третьей ступени защиты с одной стороны линии при к. з. на одном из противоположных концов обеспечить отключение повреждения со всех трех сторон за счет отключающего сигнала, посылаемого передатчиком, ближайшим к месту к. з. При рассматриваемом выполнении защиты также обеспечивается ее действие при к. з. на одном из концов линии в режиме, когда выключатель этого конца линии отключен. Последнее достигается передачей разрешающего сигнала при отключении выключателя линии (контакт реле ИРП замкнут). Данная защита по сравнению с защитами по вариантам 1 и 3, рассмотренными в § 7-2, имеет преимущество, заключающееся в том, что ее действие может быть обеспечено в случаях, когда защиты и по варианту 1, и по варианту 3 не удовлетворяют требованиям чувствительности. Последнее может иметь место, когда зоны действия первых ступеней защит всех трех концов линии не перекрываются, а третья ступень ступенчатой защиты хотя бы одного конца линии не чувствительна при повреждении на одном из противоположных концов. Действие рассматриваемой защиты при повреждении на участке защищаемой линии, где ни одна из первых ступеней защит всех трех концов линии не работает, обеспечивается посылкой разрешающих сигналов от контролирующих органов защит всех концов линии. Условия чувствительности этих органов при повреждении на рассматриваемом участке могут быть лег-

ко обеспечены. Отключение повреждения в конце линии, когда третьи ступени защиты не удовлетворяют требованиям чувствительности, обеспечивается передачей отключающего сигнала от первой ступени защиты. Данное преимущество имеет существенное значение, особенно для защиты от замыканий на землю, учитывая, что зоны срабатывания первых ступеней токовых защит нулевой последовательности от замыканий на землю в ряде режимов могут не перекрываться.

В остальном данная защита обладает свойствами каждой из защит по вариантам 1 и 3 (§ 7-2).

Необходимо отметить, что выполнение данной защиты, так же как и защиты по варианту 3, с использованием в. ч. каналов является достаточно сложным (см. § 7-4); защиту более целесообразно применять при использовании многоканальной аппаратуры (УКВ и радиорелейной).

г) Комбинированная защита с отключающим и разрешающим сигналами и передачей информации на одну из подстанций

Данная защита, так же как и предыдущая, использует отключающие и разрешающие сигналы, но отличается от нее тем, что она построена на принципе анализа информации, получаемой с других концов линии [Л. 27, 34].

Принцип выполнения логической схемы рассматриваемой защиты поясняет рис. 7-6. На одной из подстанций (III) защита действует в зависимости от состава информации, принимаемой с остальных подстанций (I и II).

На подстанциях I и II передатчики передают в канал связи отключающие или разрешающие сигналы (аналогично схеме по рис. 7-5), которые принимаются на подстанции III. Полукомплект защиты на подстанции III (рис. 7-6, в) при приеме разрешающих сигналов с противоположных концов линии и срабатывании реле третьих ступеней защиты на этой подстанции действует на передачу разрешающих сигналов на противоположные подстанции и отключение своего выключателя; при приеме отключающих сигналов (действии первой ступени защиты хотя бы с одного конца линии и срабатывании

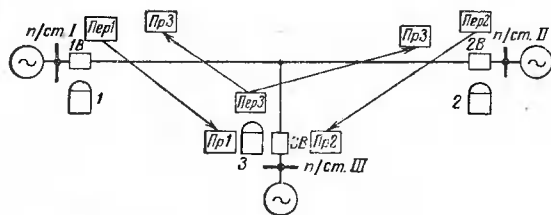
промежуточного реле ЗРП на подстанции III) — на передачу отключающего сигнала на противоположные концы линии и также на отключение своего выключателя.

Аналогично схеме по рис. 7-5, при подаче на вход передатчика одновременно отключающего и разрешающего сигналов должна обеспечиваться передача отключающего сигнала.

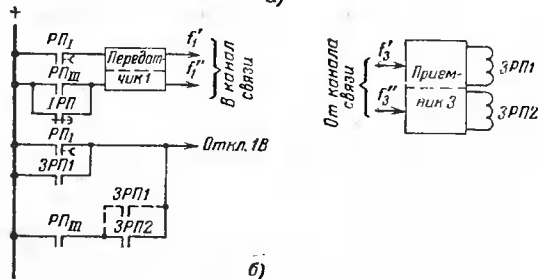
При необходимости повышения помехоустойчивости сигналы, передаваемые при срабатывании первых ступеней защиты, могут использоваться для осуществления защиты с укороченной зоной и разрешающим сигналом. Соответствующие цепи показаны на рис. 7-6, б и в штриховой линией.

Следует отметить, что при отсутствии питания или при маломощном питании со стороны ответвления, на котором установлена защита по схеме рис. 7-6, в, а также если со стороны этого ответвления в ряде режимов может отсутствовать питание, целесообразно вместо разрешения действия защиты при повреждении на защищаемой линии осуществлять ее блокировку при внешних к. з. на ответвлении. С этой целью в схеме рис. 7-6, в взамен контактов реле РП_{III} и ИРП в цепи пуска передатчика, и РП_{III} в цепи отключения включаются размыкающие контакты промежуточного реле РПб, срабатывающего при действии защиты, направленной в сторону внешних к. з. на ответвлении. Указанные контакты, замыкаясь при внешних к. з. на ответвлении, предотвращают возможность ложного действия защиты (рис. 7-6, г).

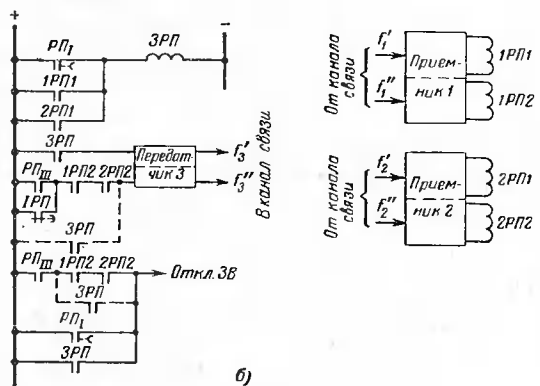
Данная защита обладает теми же основными свойствами, что и предыдущая (§ 7-3, в). В отличие от последней, для ее выполнения требуются менее сложные каналы связи. Так, в рассмотренном случае, по сравнению с предыдущим, не требуется каналов связи между подстанциями I и II, в связи с чем упрощается выполнение каналов и уменьшается количество необходимой для этого аппаратуры (например, при применении высокочастотного канала для случая передачи в. ч. сигналов с каждого конца линии на разных частотах требуется на два приемника меньше, чем при использовании защиты по § 7-3, в). Необходимо учитывать, что данная схема предъявляет особо высокие требования к надежности аппаратуры защиты и канала связи, устанавливаемых на подстанции III.



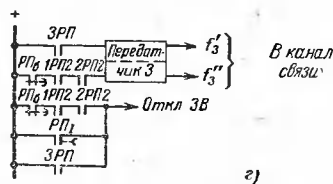
а)



б)



в)



г)

Рис. 7-6. Защита с отключающим и разрешающим сигналами и передачей информации на одну из подстанций.

а — поясняющая схема; б — принципиальная схема цепей отключения защиты на подстанции I; в — принципиальная схема цепей отключения защиты на подстанции III; г — принципиальная схема цепей отключения защиты на под-

д) Комбинированная защита с разрешающим и блокирующим сигналами (рис. 7-7)

При наличии на ответвлении маломощного источника питания или отсутствии питания со стороны ответвления не может быть обеспечено, как указывалось выше (§ 7-2), правильное действие защиты с отключающим или с разрешающим сигналами. В указанном случае может оказаться целесообразным применение комбинированной схемы защиты с разрешающим и блокирующим сигналами [Л. 23].

На рис. 7-7 в качестве примера показано одно из возможных выполнений защиты при наличии питания со стороны подстанции III, недостаточного для надежного действия защиты. При этом со стороны ответвления защита выполняется по схеме с передачей блокирующего сигнала, а со стороны основных питающих концов — по схеме с передачей разрешающего сигнала. Сигналы со стороны основных питающих концов (подстанций I и II) передаются при действии органов защиты, охватывающих всю линию (например, третьих ступеней ступенчатых защит линии). Сигнал со стороны ответвления передается при действии специальных органов защиты, направленных в сторону внешних повреждений на ответвлении.

При внешнем к. з. на ответвлении могут подействовать защиты на подстанциях I и II, однако отключение со стороны этих подстанций будет предотвращено блокирующим сигналом, посылаемым со стороны ответвления. При внешних к. з. в питающих системах за шинами подстанций I или II отключение предотвращается недействием направленной защиты на подстанции, ближайшей к месту к. з. При к. з. на защищаемой линии защита со стороны ответвления не посылает блокирующего сигнала и поэтому питающие концы будут отключены в результате получения разрешающих сигналов друг от друга.

станции III при отсутствии питания или при маломощном питании со стороны ответвления, а также в случаях, когда питание со стороны ответвления в ряде режимов может отсутствовать.

Примечания: 1. Схема защиты на подстанции II выполняется аналогично схеме защиты на подстанции I. 2. РПб — промежуточное реле, срабатывающее при действии защиты, направленной в сторону внешних к. з. на ответвлении; остальные обозначения аналогичны рис. 7-1 и 7-5. 3. Штриховой линией показаны цепи при выполнении защиты с укороченной зоной и разрешающим сигналом.

Выключатель со стороны ответвления будет отключен в результате одновременной передачи сигналов со стороны подстанций I и II.

Данная схема имеет преимущество перед другими схемами (например, перед защитой с удлиненной зоной и разрешающим сигналом), заключающееся в том, что

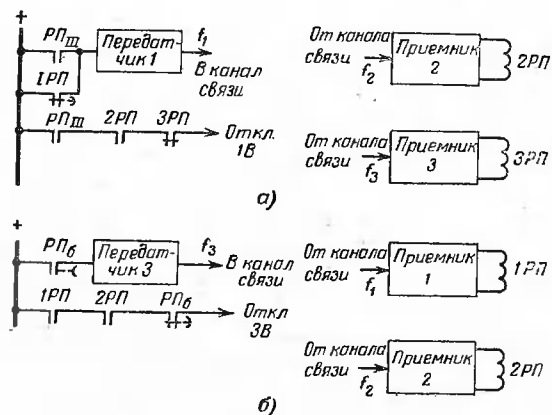


Рис. 7-7. Принципиальная схема защиты с разрешающим и блокирующим сигналами.

а — принципиальная схема цепей отключения защиты 1; б — принципиальная схема цепей отключения защиты 3.

Примечания: 1. Поясняющую схему см. на рис. 7-1, а. 2. Защита 2 аналогична защите 1 (рис. 7-7, а). 3. РПБ — промежуточное реле, срабатывающее при действии защиты, направленной в сторону внешних повреждений на ответвлении; РП_{III} — промежуточное реле, срабатывающее при действии реле третьих ступеней защит линии. 4. Остальные обозначения аналогичны рис. 7-1.

быстродействующее отключение обеспечивается при всех возможных эксплуатационных режимах со стороны подстанции III. Защита может быть более чувствительной, чем при использовании схемы только с блокирующим сигналом.

е) Использование передачи отключающего сигнала для отключения трансформатора на ответвлении

Передача отключающего сигнала может быть использована для отключения выключателей питающей линии при повреждении трансформатора тупиковой под-

станции или подстанции на ответвлении в случае, когда со стороны высшего напряжения указанных трансформаторов отсутствуют выключатели. В рассматриваемом случае защита трансформатора действует на передачу отключающего сигнала на питающие концы линии с целью отключения выключателей линии, установленных на этих концах.

Схема защиты должна быть построена с учетом следующих требований:

а) импульс от защиты трансформатора на отключение отделителя в цепи трансформатора должен иметь самоудерживание, поскольку отделитель отключается после отключения линии, когда защита трансформатора возвращается в исходное положение; самоудерживание требуется также и для обеспечения необходимой длительности импульса на отключение выключателей со стороны питания, достаточной для отключения выключателей линии, если даже срабатывание защиты было кратковременным (например, при срабатывании газовой защиты);

б) отключение отделителя должно быть предусмотрено в бестоковую паузу после отключения линии с питающих сторон; поскольку отделитель не в состоянии отключать сколько-нибудь значительные токи, должна быть предусмотрена надежная блокировка, предотвращающая отключение отделителя до отключения линии с питающих сторон.

В качестве органов, выявляющих бестоковую паузу, могут быть использованы два минимальных реле напряжения, включаемые на различные междуфазные напряжения, и трехфазное реле тока, включаемое в цепь трансформатора со стороны высшего напряжения.

Необходимость применения как реле тока, так и реле напряжения обусловлена следующим. При отсутствии реле тока возможно неправильное действие схемы (до отключения питающей линии) на отключение отделителя при трехфазном к. з. в трансформаторе. При отсутствии реле напряжения возможно неправильное действие схемы на отключение отделителя до отключения питающей линии в случае, если повреждение трансформатора сопровождается протеканием токов, меньших токов срабатывания реле тока, но больших тока, допустимого для отключения отделителя.

ж) Защита с удлиненной зоной и разрешающим сигналом при использовании ретрансляции сигнала

Данная защита [Л. 28] обеспечивает быстрое отключение повреждения даже в тех режимах работы линии, когда питание на одном из ее концов недостаточно для срабатывания защиты. Принципиальная схема такой защиты приведена на рис. 7-8. При наличии со всех сторон линии питания, достаточного для действия реагирующих

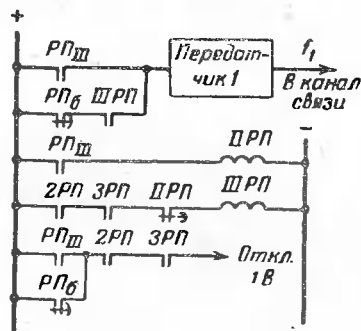


Рис. 7-8. Принципиальная схема защиты с удлиненной зоной и разрешающим сигналом при применении ретрансляции.

Примечания. 1. Поясняющую схему см. на рис. 7-1, а. 2. Схема дана для защиты 1 (рис. 7-1, а); цепи защит 2 и 3 выполняются аналогично. 3. РПД — реле, срабатывающее при действии реагирующих органов, охватывающих всю линию; РПБ — реле, срабатывающее при действии защиты, направленной в сторону внешних к. з. в питающей системе; 2РП, 3РП — выходные реле приемников, срабатывающие при приеме разрешающих сигналов со сторон соответственно подстанции II и III.

ме по рис. 7-8 замкнут). Таким образом обеспечивается отключение выключателей на всех концах линии. Предусмотренное в схеме реле ПРП необходимо для исключения взаимной блокировки передатчиков после отключения к. з. Реле ПРП осуществляет размыкание цепи ретрансляции сигнала с небольшим замедлением после возврата в исходное состояние реагирующих органов защит.

7-4. КАНАЛЫ СВЯЗИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЗАЩИТ С ОТКЛЮЧАЮЩИМИ И РАЗРЕШАЮЩИМИ СИГНАЛАМИ

Вопросы выполнения каналов связи для осуществления защит линий с отключающими и разрешающими сигналами являются решающими для внедрения таких защит. Это объясняется тем, что, как следует из вышеприведенного рассмотрения, релейная часть защиты может быть выполнена сравнительно просто с использованием в основном известных и широко применяющихся ступенчатых защит (дистанционной от многофазных замыканий и токовой направленной нулевой последовательности от замыканий на землю).

Передача отключающих и разрешающих сигналов, а также комбинированных сигналов может осуществляться по различным каналам связи: проводным, УКВ радиоканалам и др. Применение проводных каналов по специально прокладываемым кабелям связи экономически целесообразно лишь при небольших расстояниях (до 10—20 км). Более предпочтительным является использование для передачи сигнала защиты телефонных кабелей, предназначенных, кроме того, для телефонной связи и телемеханики. Для передачи отключающих сигналов защиты в таких случаях используются надтоновые частоты (свыше 2500—2800 гц). Для передачи сигналов телеотключения ВНИИЭ разработана специальная аппаратура тонального телеотключения [Л. 35, 36] ТТО-1, ТТО-2, ТТО-3. Аппаратура ТТО-3 может работать на тональных частотах 2000—3000 гц с полосой пропускания 200 гц. Устройство может работать не только по двухпроводной линии связи, но и по высокочастотному каналу связи при его уплотнении в спектре надтоновых частот.

Следует отметить, что использование тональных каналов связи для передачи отключающих сигналов в Советском Союзе не получило большого распространения.

а) УКВ радиоканалы

Довольно широкое распространение получили за рубежом УКВ радиоканалы для передачи отключающих и разрешающих сигналов [Л. 22, 23, 26, 29, 37, 38]. УКВ радиоканалы имеют ряд преимуществ перед высокочастотными каналами по линиям электропередачи. Эти преимущества в основном сводятся к следующим:

а) Применение УКВ радиоканалов дает возможность получения многоканальных передач, что позволяет применять защиту с разрешающими сигналами, использовать защиты с комбинацией отключа-

ющих и разрешающих сигналов при применении сложных взаимных блокировок между этими сигналами; УКВ радиоканалы целесообразно использовать при большом числе каналов — на линиях с ответвлениями, на магистральных участках (где сочетаются каналы разного назначения), при нескольких параллельных линиях и т. д.

б) При учете условий п. «а» применение УКВ радиоканалов может оказаться более экономически выгодным, чем использование в. ч. каналов.

в) Исключаются затруднения, связанные с выбором частоты в. ч. канала в энергосистеме.

г) Устойчивая передача сигнала обеспечивается независимо от атмосферных условий, наличия повреждения на линии и т. д.

д) Не требуется отключать линию электропередачи при ремонте или проверке аппаратуры канала.

е) Широкое применение УКВ радиоканалов может привести к упрощению схем подстанций и экономии числа выключателей (например, за счет использования блочных схем).

При применении УКВ радиоканалов сигналы (отключающие или разрешающие) передаются на тональной частоте при использовании выделенных подканалов радиоаппаратуры.

Как следует из [Л. 29], опыт эксплуатации УКВ радиоканалов при использовании их для релейной защиты линий и трансформаторов является положительным. Однако помехоустойчивость применяемой в США аппаратуры невысокая. В связи с этим применяются схемы, в которых для предотвращения неправильного действия защиты под влиянием помех используются по два тональных канала для передачи каждого отключающего сигнала, применяются специальные блокировки при действии помех и т. д. Такие схемы получаются достаточно сложными, что может привести к повышению вероятности отказа.

Применение УКВ радиоканалов ограничивается некоторыми трудностями, присущими их использованию. Среди этих трудностей в первую очередь следует учитывать: надежность питания аппаратуры УКВ каналов и наличие замираний передачи сигналов.

Применение УКВ радиоканалов требует нескольких независимых взаимно резервирующих источников питания. Для питания аппаратуры УКВ радиоканала не всегда может быть использована аккумуляторная батарея подстанции, в частности, потому, что потребление УКВ аппаратуры велико [Л. 38]. При достаточно обеспеченном питании от сети в качестве источников питания могут использоваться стабилизаторы напряжения. В ряде случаев могут использоваться двигатель-генераторы, причем двигатель переменного тока может резервироваться двигателем внутреннего сгорания или двигателем постоянного тока [Л. 37].

Замирание зависит от частоты, характера трассы и метеорологических условий (время суток и года, влажность воздуха, прохождение трассы над водой и т. д.) [Л. 38]. Для исключения пропадания сигнала вследствие замираний необходимо дублировать каналы связи.

УКВ радиоканалы пока не нашли распространения в Советском Союзе как вследствие недостаточного опыта, так и отсутствия специальной разработанной аппаратуры.

б) Высокочастотные каналы

В настоящее время вопросы осуществления защит с отключающими и разрешающими сигналами практически имеет смысл рассматривать применительно к в. ч. каналам по линии электропередачи, которые являются основными каналами связи в энергосистемах. За рубежом в. ч. каналы достаточно широко используются для осуществления защит с отключающими сигналами [Л. 31, 32]. Сигналы могут передаваться как на отдельной несущей частоте, так и по комбинированным каналам с надтональным уплотнением телефонного канала.

При использовании в. ч. канала для передачи отключающего или разрешающего сигнала необходимо учитывать, что в случае повреждения на линии затухание в канале значительно возрастает. По этой причине, в частности, большее распространение получили в. ч. защиты с передачей блокирующего сигнала, чем защиты с передачей отключающего сигнала.

Исследованию вопроса о влиянии повреждения на прохождение сигнала по в. ч. каналу были посвящены опыты польского исследователя Г. Кюна по измерению затухания и помех при металлических коротких замыканиях. В соответствии с этими опытами затухание при коротком замыкании на землю одной (рабочей) фазы на приемном конце линии составляет около 3 *nep*. При перемещении места к. з. от приемного конца к передающему затухание канала изменяется волнообразно. Подобные же результаты получены в опытах Джонса (США) [Л. 27]. По данным Г. Кюна, при замыкании на землю рабочей фазы на расстоянии более 20 км прирост затухания практически отсутствует. Этот результат не подтверждается ВНИИЭ (Г. В. Микуцкий), по данным которого прирост затухания в средней части длинной одноцепной линии составляет около 0,8 *nep* [Л. 36]. При металлическом трехфазном к. з., по данным Кюна, затухание возрастает более резко; при любом местоположении к. з. прирост затухания составляет не менее 2,8 *nep*.

Следует отметить, что прирост затухания при замыканиях через дугу практически не отличается от прироста при металлическом к. з.

Из данных Кюна следует, что прохождение в. ч. сигнала через место к. з. обеспечивается при всех видах

повреждений (кроме обрыва и замыкания на землю трех фаз) при применении аппаратуры, имеющей запас по перекрываемому затуханию 4—5 *неп* [Л. 36].

Последние испытания по определению затухания в. ч. канала при повреждениях на двухцепной линии были проведены ВНИИЭ [Л. 39]. Эти испытания показали, что затухание в. ч. канала на двухцепных линиях при некоторых повреждениях (однофазных и трехфазных) значительно меньше, чем на одноцепной линии.

При передаче отключающего сигнала по линии электропередачи следует учитывать не только увеличение затухания, но и опасное влияние помех. Исследование влияния помех на передачу в. ч. сигнала и разработка помехоустойчивой аппаратуры для передачи отключающего сигнала выполнены ВНИИЭ [Л. 36].

Разработанная во ВНИИЭ аппаратура телеотключения типа ВЧТО предназначена для передачи (неодновременной) двух сигналов — команд в одном направлении по в. ч. каналу.

В нормальных условиях по каналу непрерывно передается сигнал высокой частоты (контрольный сигнал), что, с одной стороны, обеспечивает непрерывный контроль исправности в. ч. канала, с другой стороны, повышает помехоустойчивость аппаратуры. При перебое передачи высокой частоты на определенное время выходная цепь приемника разрывается и подается сигнал о неисправности канала. При передаче команды производится сдвиг частоты от частоты контрольного сигнала до частоты сигнала — команды, т. е. одновременное исчезновение контрольного сигнала и появление сигнала — команды. Полное время передачи сигнала составляет 0,04—0,05 *сек*.

Аппаратура рассчитана на возможность передачи команды при повреждении на линии электропередачи, когда затухание канала резко возрастает. Она позволяет передавать в канал сигнал мощностью +4,8 *неп* (при питании от батареи 220 в), при этом перекрываемое затухание при нормальном уровне помех (для линий 110—330 *кв*) составляет 6,9 *неп*, для линий 500 *кв* — 6,6 *неп*.

Аппаратура обладает хорошей помехозащищенностью.

Как видно из приведенных данных, устройство типа ВЧТО по своим параметрам может быть применено для осуществления релейной защиты линии с использованием отключающих или разрешающих сигналов, а также комбинированных защит с отключающими и разрешающими или отключающими и блокирующими сигналами. Однако необходимо учитывать, что и при применении этой аппаратуры, в некоторых случаях повреждений на защищаемой линии (например, трехфазных к. з. на линии) не может быть обеспечено надежное действие защиты в связи со значительным затуханием в. ч. сигнала. На параллельных линиях для увеличения на-

дежности передача в. ч. сигнала защиты каждой линии может производиться по в. ч. каналам, выполненным по обоим линиям. Необходимо отметить, что опыт эксплуатации защит линий с передачей отключающих сигналов [Л. 32] свидетельствует о допустимости использования в. ч. канала для передачи сигнала от релейной защиты линии, с точки зрения его прохождения через повреждение на этой линии, и о возможности выполнения в. ч. аппаратуры, обеспечивающей надежную работу такой защиты.

При применении аппаратуры типа ВЧТО для осуществления рассматриваемых защит выполнение в. ч. каналов по линиям электропередачи более сложно, чем для в. ч. защиты, поскольку при этом необходим отдельный канал для передачи сигнала с каждого из концов линии, что приводит к увеличению количества потребной для осуществления в. ч. канала аппаратуры и числа используемых частот.

Использование аппаратуры ВЧТО для передачи сигналов со всех концов линии на одной частоте не представляется возможным, ввиду постоянной циркуляции в канале контрольной частоты. При пропадании сигнала от одного из передатчиков в случае неисправности канала контроль исправности канала действовать не будет из-за поступления контрольного сигнала от других передатчиков. Кроме того, защита с разрешающими сигналами, в том числе и комбинированная с разрешающими и отключающими сигналами, не может быть выполнена на одной частоте, поскольку при этом возможен отказ защиты из-за подавления более мощным сигналом на входе приемника менее мощного, а также из-за затруднений в различении на входе приемника сигналов, передаваемых одновременно с нескольких концов линии.

При применении аппаратуры ВЧТО в ее типовом исполнении для осуществления комбинированной защиты с отключающими и блокирующими сигналами (§ 7-3,а), например для линии с одним ответвлением, требуется выполнение четырех в. ч. каналов (трех — для передачи отключающих сигналов и одного — для передачи блокирующего).

При применении предложения ВНИИЭ по замене постоянного контроля исправности канала периодическим и использовании одной в. ч. аппаратуры для передачи отключающих и блокирующего сигналов создается возможность выполнения данной защиты с использованием одного в. ч. канала.

При этом передача блокирующего сигнала производится при пуске задающего генератора передатчика на частоте f , передача отключающего сигнала — при сдвиге частоты и передаче частоты $f + \Delta f$. При внешнем к. з. правильное действие защиты обеспечивается передачей блокирующего сигнала. Блокирующий сигнал не может быть принят как отключающий, так как приемное реле приемника включено на выход узкополосного фильтра, через который сигнал частотой f не может пройти. При к. з. на линии возможна одновременная передача отключающих сигналов сразу с нескольких концов линии, т. е. подача на вход каждого из приемников нескольких сигналов одной частоты. Это не должно привести к срыву в приеме отключающего сигнала по следующим причинам:

а) При подаче на вход приемника двух сигналов с близкими амплитудами пропадание сигнала вследствие биений маловероятно из-за большой чувствительности приемника, а также в связи с малой вероятностью приема двух сигналов с практически равными амплитудами; даже если эти амплитуды и близки, пропадание сигнала может привести лишь к некоторому замедлению защиты, поскольку действие приемного реле будет обеспечено на подъеме огибающей кривой биений.

б) При подаче на вход приемника нескольких сигналов разных амплитуд обеспечивается прохождение наиболее мощного сигнала и подавление более слабых сигналов.

Передаваемые при к. з. на линии отключающие сигналы могут быть приняты приемными устройствами не только как отключающие, но и как блокирующие (поскольку фильтр для приема блокирующего сигнала широкополосный). Для предотвращения срыва отключающего импульса из-за возврата в. ч. защиты, возможного при приеме отключающего сигнала в качестве блокирующего, в схеме защиты должна быть предусмотрена выдержка времени на возврат в цепи передачи отключающего сигнала или выходного реле защиты.



Глава восьмая

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ, ПИТАЮЩИХ ТЯГОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

8-1. СХЕМЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ЛИНИЙ 110—220 кВ

Для питания тяговых подстанций электрифицированных железных дорог применяется присоединение этих подстанций к питающим линиям на ответвлениях. Релейная защита этих линий, имея много общего с защитой других линий с ответвлениями, имеет также и ряд специфических особенностей. Следует отметить, что вопросы релейной защиты данных линий наиболее полно рассмотрены в работах [Л. 40] Ленинградского отделения института Теплоэлектропроект (Северо-Западного отделения института Энергосетьпроект).

Наиболее часто для питания тяговых подстанций используются двухцепные линии 110 кВ; получает распространение также использование двухцепных линий 220 кВ, а также одноцепных линий 110—220 кВ.

На рис. 8-1 приведены примеры схем присоединения тяговых подстанций к двухцепным (рис. 8-1, а и б) и одноцепным (рис. 8-1, в) линиям 110—220 кВ. Питающиеся от этих линий тяговые подстанции могут быть двух типов: опорные, на которые заводятся обе цепи линий через выключатели (подстанции I, IV на рис. 8-1, а, б и VI на рис. 8-1, б) и промежуточные, приключаемые к линиям, либо при помощи ответвлений (подстанции II, III на рис. 8-1, а и V на рис. 8-1, б), либо с заходом одной линии на подстанцию (без выключателей в цепях линий) — подстанции II и III на рис. 8-1, б и I на рис. 8-1, в. Используется также секционирование двухцепных и одноцепных линий с помощью выключателей (выключатель 110—220 кВ на подстанции II рис. 8-1, в); однако

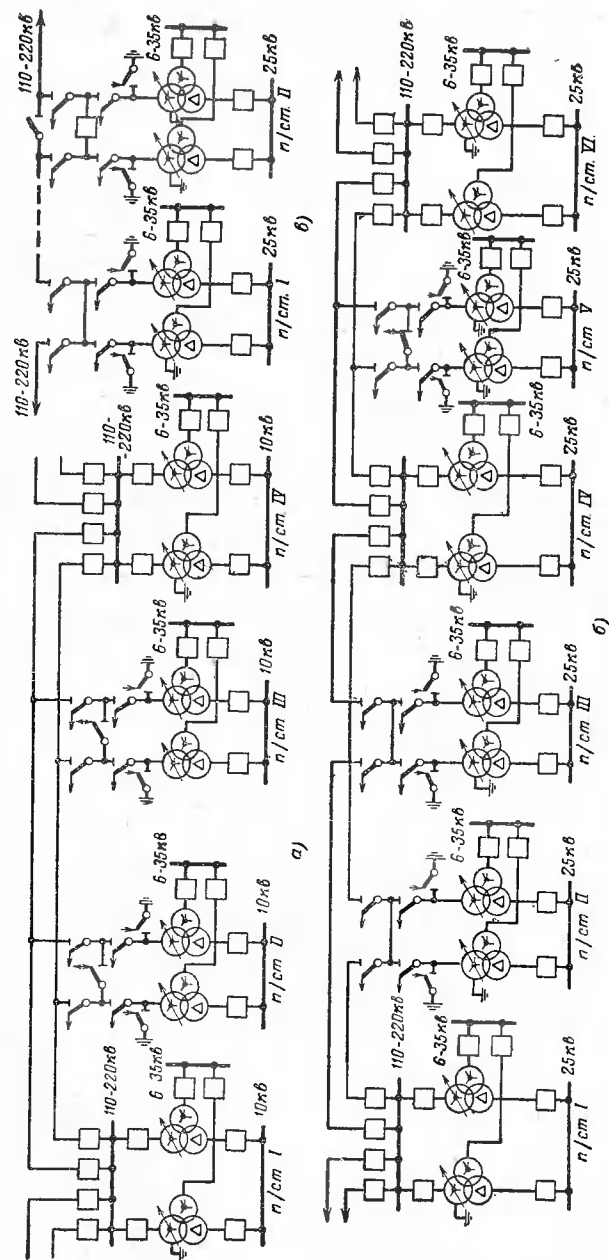


Рис. 8-1. Схемы присоединения тяговых подстанций к линиям 110—220 кВ.

а — двухцепные линии 110—220 кВ (электрификация на постоянном токе); б — двухцепные линии 110—220 кВ (электрификация на переменном токе); в — одноцепные линии 110—220 кВ.

ниже защита линий, секционированных выключателями и не имеющих ответвлений, специально не рассматривается, поскольку она не имеет особенностей, присущих защите линий с ответвлениями.

При использовании двухцепных линий 110 кВ для железных дорог с тягой на постоянном токе расстояние между опорными подстанциями колеблется в пределах 40—100 км и при тяге на переменном токе — от 100 до 250 км. Число промежуточных подстанций между каждой парой опорных подстанций не превосходит трех для дорог переменного тока и четырех для дорог постоянного тока, а расстояние между соседними тяговыми подстанциями составляет примерно, соответственно 40—60 км и 15—25 км.

На каждой опорной и промежуточной подстанции устанавливается 1—2 трехобмоточных трансформатора напряжением 110/38, 5/11 кВ или двухобмоточных трансформаторов напряжением 110/10 кВ мощностью 10—31,5 Мва (для дорог постоянного тока) или трансформаторов 110/6,6—38,5/27,5 кВ мощностью 15—40,5 Мва (для дорог переменного тока). Все трансформаторы со стороны высшего напряжения 110 кВ имеют встроенное регулирование напряжения под нагрузкой.

Со стороны высшего напряжения трансформаторов промежуточных подстанций установлены отделители и короткозамыкатели; такие схемы получили преимущественное распространение в последние годы.

Работа двух трансформаторов тяговой подстанции на стороне 10 кВ (при тяге на постоянном токе) и на стороне 25 кВ (при тяге на переменном токе) принимается параллельной. Работа трансформаторов на сторонах других напряжений, от которых питается нагрузка района (35 кВ — при тяге на постоянном токе и 6—10 или 35 кВ — при тяге на переменном токе) может приниматься как раздельной, так и параллельной.

При тяге на постоянном токе, как правило, промежуточные подстанции не имеют питания со стороны среднего или низшего напряжений. В связи с этим оба трансформатора промежуточной подстанции, подключаемой на ответвлениях от обеих цепей (подстанция II на рис. 8-1, а) наиболее целесообразно питать от одной цепи; это допустимо по условию надежности электроснабжения и позволяет отказаться от установки защиты линии со стороны промежуточной подстанции.

При тяге на переменном токе промежуточные подстанции, приключенные на ответвлениях от обеих цепей, целесообразно питать одновременно от обеих цепей с разомкнутой перемычкой со стороны высшего напряжения. Это объясняется тем обстоятельством, что тяговые подстанции на стороне 25 кВ связаны между собой через контактную сеть. Питание подстанции нормально от одной цепи линии не приведет к упрощению релейной защиты, поскольку установка защиты для отключения поврежденной линии со стороны этой подстанции требуется независимо от того, питается ли она только от одной цепи либо от обеих цепей одновременно. С другой стороны, питание данной подстанции от обеих цепей линии более целесообразно по условию надежности, а также для выравнивания нагрузок по линии и улучшения режима по напряжению в нагрузочном режиме.

Трансформаторы 110 кВ тяговых подстанций имеют ослабленную изоляцию и не рассчитаны на работу в сети 110 кВ с незаземленной нейтралью. В связи с этим необходимо специально рассмотреть режимы заземления нейтралей 110 кВ этих трансформаторов.

При тяге на постоянном токе в целях создания более благоприятных условий для работы защит от замыканий на землю, нейтрали обмоток 110 кВ трансформаторов промежуточных подстанций при отсутствии источников питания со стороны среднего или низшего напряжений наглухо не заземляются.

При тяге на переменном токе наличие подпитки со стороны контактной сети требует обязательно глухого заземления нейтралей обмоток 110 кВ трансформаторов промежуточных подстанций, хотя бы по одному на каждую цепь (§ 1-1). В противном случае после отключения однофазного к. з. на линии со стороны опорных подстанций трансформаторы промежуточных подстанций оказались бы в недопустимом для их изоляции режиме однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью. На опорных подстанциях должна быть заземлена наглухо нейтраль хотя бы одного из двух трансформаторов.

Нейтрали трансформаторов 110 кВ как промежуточных, так и опорных подстанций, не имеющие глухого заземления, должны быть защищены с помощью вентиляных разрядников. Нейтрали всех трансформаторов

220 кВ, как имеющие ослабленную изоляцию, должны быть заземлены наглухо.

Специфической особенностью сетей, питающих электротягу, является наличие несимметрии по току и напряжению и высших гармонических в кривых тока и напряжения [Л. 41, 42]. На участках с тягой на однофазном переменном токе несимметрия возникает вследствие неравномерности загрузки отдельных фаз линий, питающих однофазную тяговую нагрузку. Для уменьшения этой несимметрии применяются специальные схемы фазировки присоединения трансформаторов подстанций к линиям, учитывающие также необходимость связи подстанций по контактной сети [Л. 44]. Одна из применяющихся схем чередования фаз показана на рис. 8-2,а (для удобства монтажа заземляется и присоединяется к рельсу всегда один и тот же вывод с обмотки 25 кВ трансформатора). На рис. 8-2,б показаны векторные диаграммы напряжений трансформаторов, имеющих одно и то же исполнение обмоток (группа соединений $Y/\Delta-11$), при изменении фазировки их подключения к линии передачи. На рис. 8-2 буквами А, В, С на питающей линии обозначены фазы питающей линии, а буквами А, В, С и а, б, с, на трансформаторе — выводы обмоток трансформатора, соответственно, сторон 110(220) кВ и 25 кВ в соответствии с заводской маркировкой. Направление векторов напряжения первичных обмоток не изменяется, поскольку оно определяется направлением векторов напряжения фаз линии передачи. Направление векторов напряжения тяговых обмоток изменяется в соответствии с изменением фазировки присоединения трансформатора к питающей линии.

Как видно из рис. 8-2,б, полный цикл чередования присоединения трансформаторов к линии передачи состоит из шести подстанций, а нагрузка фаз линии симметрируется каждым тремя подстанциями. Группировка трех или кратного трем числа подстанций одинаковой мощности может позволить получить более симметричный режим на головном участке линии, питающей всю группу подстанций. Однако такая группировка не приводит к снижению несимметрии на шинах второй и последующих подстанций. Кроме того, необходимо учитывать, что в реальных нагрузочных режимах в каждый момент времени нагрузки тяговых подстанций, в общем случае, неодинаковы и что весьма вероятны режимы,

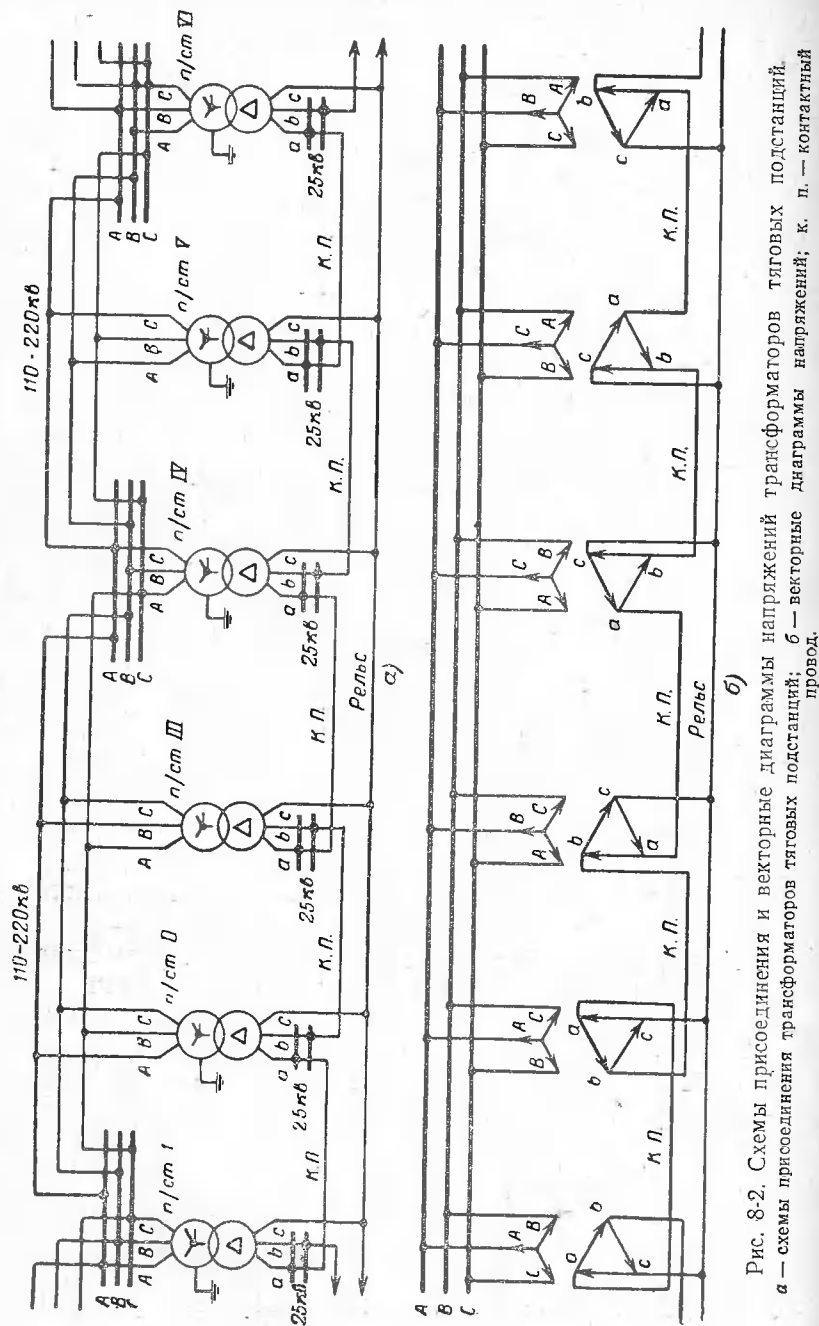


Рис. 8-2. Схемы присоединения и векторные диаграммы напряжений трансформаторов тяговых подстанций.
а — схемы присоединения трансформаторов тяговых подстанций; б — векторные диаграммы напряжений; к. п. — контактный провод.

когда от данного участка линии питается число тяговых подстанций, не кратное трем. Указанные обстоятельства и приводят к возникновению в питающей линии при нагрузочном режиме значительной несимметрии.

8-2. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ МНОГОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ СО СТОРОНЫ ОПОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

При осуществлении защиты от многофазных к. з. должно быть учтено следующее.

1) Отстройка защит от к. з. за трансформаторами промежуточных подстанций приводит к сокращению доли длины линии, защищаемой защитами без выдержки времени (например, первой ступенью дистанционной защиты), и к заглублению вторых ступеней защит (§ 4-1,б); последние при недопустимом заглублении должны согласовываться с защитами линий среднего и низшего напряжений, отходящих от промежуточных подстанций, или с максимальными защитами трансформаторов, что требует значительного увеличения времени действия вторых ступеней.

Затруднения в отстройке вторых ступеней защит особенно сказываются на длинных линиях с мощными трансформаторами на промежуточных подстанциях, т. е. при тяге на переменном токе.

2) Необходимо учитывать возможность работы линии в режиме одностороннего питания промежуточной подстанции («консольном» режиме); такие режимы на линиях, питающих электротягу, могут иметь место по различным причинам в течение довольно значительного времени. Указанный режим особенно вероятен на участках линии, где промежуточная подстанция приключается к линии с заходом одной из цепей на подстанцию; при этом «консольное» питание может иметь место при отключении одного из участков линии на ремонт.

3) При тяге на переменном токе подпитка короткого замыкания на одной из цепей линии после ее отключения со стороны одной из опорных подстанций ухудшает чувствительность защиты со стороны другой опорной подстанции (§ 4-1,б).

4) Как указано выше, следует учитывать несимметрию токов и напряжений, а также наличие токов и напряжений высших гармоник, влияющих на работу органов защиты, включенных на фильтры тока и напряже-

ния обратной последовательности (токовая защита обратной последовательности, устройства блокировки при качаниях и др.).

Следует отметить, что вопросы применения высокочастотных защит в настоящей главе не рассматриваются, поскольку отключение без выдержки времени коротких замыканий на всем протяжении линии во многих случаях, как будет показано ниже, не требуется (благодаря значительной длине линий); кроме того, основные особенности указанных защит рассмотрены в гл. 5 и 6.

С учетом перечисленных особенностей тяговых линий рассмотрим возможность применения для параллельных линий одного из следующих двух основных вариантов защит от многофазных к. з.

1 вариант — поперечная дифференциальная токовая направленная защита в сочетании с трехступенчатой дистанционной защитой (типа ПЗ-157, ПЗ-158 или ПЗ-159), включенной на сумму токов обеих линий;

2 вариант — дистанционная (трехступенчатая или двухступенчатая) защита, включаемая на ток каждой линии.

В обоих случаях в качестве дополнительной защиты может устанавливаться токовая отсечка.

Вариант 1 имеет ограниченную область применения по следующим основным причинам:

а) Не может быть применен, когда необходимо учитывать возможность «консольного» режима работы.

б) Поперечная дифференциальная токовая направленная защита по условиям чувствительности может быть использована на линиях длиной не более 60—100 км при мощности каждой промежуточной подстанции 15—30 Мва.

В связи с указанным, на линиях, питающих электроотягу на переменном токе, поперечная дифференциальная защита от междупазных к. з. с пусковыми органами тока, как правило, не может быть использована.

В целях повышения чувствительности поперечная дифференциальная защита может выполняться со специальными пусковыми органами — сопротивления или комбинированным пусковым органом по току и напряжению (гл. 3). В последнем случае, если орган напряжения не удовлетворяет требованиям чувствительности в режиме отключения линии с противоположной стороны, защита может дополняться пусковым органом тока,

предназначенным для обеспечения действия защиты в указанном режиме. Ток срабатывания реле тока этого пускового органа должен быть выбран по условию отстройки от к. з. за трансформаторами промежуточных подстанций.

Применение пусковых органов сопротивления позволяет использовать поперечную дифференциальную защиту на линиях большей длины или с трансформаторами промежуточных подстанций большей мощности, чем при использовании пусковых органов другого типа. Однако такое выполнение защиты является достаточно сложным.

Следует отметить, что включение дистанционной защиты на сумму токов обеих линий не дает радикального повышения чувствительности дистанционной защиты по сравнению с вариантом установки отдельной дистанционной защиты на каждой линии и имеет ряд недостатков (необходимость вывода защиты из действия при работе одной из линий в «консольном» режиме, отсутствие первой ступени в основном режиме работы двумя цепями). Указанное также сужает возможную область применения первого варианта выполнения защиты.

Второй вариант выполнения защиты может рассматриваться как наиболее рекомендуемый для данного случая. Использование двухступенчатой дистанционной защиты может оказаться целесообразным на длинных и сильно нагруженных линиях, когда сопротивления срабатывания второй и третьей ступеней близки по величине, и третья ступень защиты не обеспечивает резервирования повреждений на предыдущих участках.

Следует отметить, что 2-й вариант защиты может быть также применен для одиночных линий. При этом на подстанциях со схемой электрических соединений, аналогичной подстанции II на рис. 8-1, в, устанавливается отдельная дистанционная защита на каждую линию.

8-3. ПАРАМЕТРЫ СРАБАТЫВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Вопросы расчета дистанционной защиты для общего случая рассмотрены в гл. 4. Поэтому ниже рассматриваются лишь некоторые особенности расчета этих защит и дополнительные выводы из него для линий, питающих тяговые подстанции (при применении второго варианта выполнения защиты).

Сопротивления срабатывания первой ступени защиты выбираются по выражениям, аналогичным (4-1) — (4-3).

Условие отстройки от к. з. за трансформатором отключения будет расчетным в соответствии с (4-4) при

$$\alpha + \frac{z_{тр}}{z_{л}} \leq 1, \quad (8-1)$$

где $z_{тр}$ — минимальное сопротивление трансформатора на ответвлении;

$z_{л}$ — сопротивление защищаемой линии;

α — отношение сопротивления участка линии от места установки защиты до места приключения ответвления к сопротивлению линии.

Определим условия, при которых длина зоны, защищаемой первой ступенью защиты, на линии 110 кВ достаточна для сохранения устойчивости системы без применения специальной быстродействующей защиты.

Остаточное напряжение на шинах опорной подстанции при трехфазном к. з. в конце зоны срабатывания первой ступени защиты в режиме отключения линии с противоположного конца не будет снижаться ниже допустимого (с точки зрения возможности отключения короткого замыкания с выдержкой времени) значения $0,6U_{ном}$ [Л. 11] в случаях, если

$$\frac{z_{с.з}^I}{z_c + z_{с.з}^I} \geq 0,6, \quad (8-2)$$

где z_c — сопротивление системы, примыкающей к рассматриваемой опорной подстанции;

$z_{с.з}^I$ — сопротивление срабатывания первой ступени защиты.

Из (8-2) следует:

$$z_c \leq 0,66z_{с.з}^I. \quad (8-3)$$

Для случаев, когда удовлетворяется (8-1), с учетом (4-1):

$$z_c \leq 0,56(\alpha z_{л} + z_{тр}). \quad (8-4)$$

При напряжении 110 кВ для среднего расстояния между опорной и ближайшей к ней промежуточной подстанцией (при тяге на переменном токе) $l=50$ км и максимальной мощности трансформаторов промежуточной подстанции $S_{макс}=2 \cdot 40,5$ Мва из (8-4) получим

(при напряжении короткого замыкания трансформатора, соответствующем среднему коэффициенту трансформации):

$$z_c \leq 0,56 \left(0,4 \cdot 50 + 0,8 \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 2 \cdot 40,5} \right) = 18,5 \text{ ом},$$

где коэффициент 0,8 приближенно учитывает снижение сопротивления трансформатора при регулировании напряжения под нагрузкой.

Полученное сопротивление соответствует длине питающей линии порядка 50 км (или 2-х параллельных длиной по 100 км), либо мощности короткого замыкания на шинах данной опорной подстанции (в режиме отсутствия питания с противоположной стороны линии):

$$S_{к.з} = \frac{115^2}{18,5} \approx 700 \text{ Мва}.$$

Рассмотренный пример свидетельствует о том, что в большинстве возможных случаев наличие ответвлений на данных линиях 110 кВ не требует для сохранения устойчивости обязательного применения высокочастотной защиты. Необходимо учитывать, что значение z_c в (8-4) при параллельных линиях представляет собой эквивалентное сопротивление системы, примыкающей к данной опорной подстанции, и сопротивления луча, состоящего из сопротивления неповрежденной параллельной линии и сопротивления системы с противоположной стороны.

В случаях, когда зоны срабатывания первых ступеней дистанционных защит с обеих сторон линии не перекрываются, значения остаточного напряжения при к. з. в конце зоны действия первой ступени дистанционной защиты должны проверяться до отключения линии с противоположного конца.

При рассмотрении необходимости применения специальной быстродействующей основной защиты на линиях 110 кВ следует также учитывать, что в ряде случаев линии 110 кВ шунтируются более мощными связями 220, 330 или 500 кВ и, быстрое отключение линий 110 кВ вообще не требуется, если к. з. на этих линиях не приводят к недопустимому снижению напряжения в узлах 220, 330 или 500 кВ.

В тех относительно редких случаях, когда при выборе сопротивления срабатывания первой ступени дистанционной защиты по условию отстройки от к. з. за транс-

форматором промежуточной подстанции в «консольном» режиме необходимые требования быстродействия не обеспечиваются, следует рассмотреть вопрос о возможности отстройки защиты от к. з. за трансформатором в режиме двустороннего питания. В режиме одностороннего питания правильность действия защит при этом может быть обеспечена, например, согласованием первых ступеней данных защит линии с быстродействующими защитами линий, отходящих от шин среднего или низшего напряжений подстанций на ответвлениях, и применением в этом режиме поочередного АПВ.

Условия выбора сопротивления срабатывания второй ступени защиты даны в § 4-1,б. С учетом этих условий можно показать, что при выборе сопротивления срабатывания второй ступени защиты линии 110 кВ по условию отстройки от к. з. за трансформаторами промежуточных подстанций, защита может удовлетворять требованиям чувствительности при к. з. в конце линии при сравнительно небольшой мощности подстанций. Указанное имеет место при длинах линии 110 кВ, например, 40, 100 и 250 км в случаях, когда суммарная мощность трансформаторов промежуточной подстанции не выше, чем, соответственно (при $u_k=10,5\%$), 73 МВА, 29 МВА и 9,2 МВА. Это означает, что практически в большинстве возможных случаев для обеспечения требуемой чувствительности второй ступени защиты при к. з. в конце защищаемой линии необходимо согласование по времени вторых ступеней дистанционных защит с защитами линий 35, 25 или 10 кВ, отходящих от промежуточных подстанций, что требует увеличения выдержек времени вторых ступеней защиты примерно до 1,5 сек.

Помимо указанного, следует учитывать, что увеличение выдержки времени второй ступени дистанционной защиты может оказаться необходимым в случаях, когда она не удовлетворяет требованиям чувствительности:

а) при выборе сопротивления срабатывания этой ступени по условию согласования с первой ступенью защиты, установленной на противоположном конце параллельной линии в режиме ее каскадного отключения, либо

б) при выборе сопротивления срабатывания этой ступени по условию согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка.

Указанные случаи могут иметь место в связи с укорочением длины зоны первой ступени защиты, а также отсутствием подпитки со стороны опорных подстанций (поскольку источники питания присоединяются не ко всем опорным подстанциям).

Сопротивление срабатывания третьих ступеней защиты (пусковых органов) отстраивается от минимального сопротивления на зажимах реле в максимальном нагрузочном режиме. Максимальная нагрузка на 1 км двухпутной железной дороги может быть принята [Л. 44]:

нагрузка тяги — до 700 кВт/км,
прочие нагрузки — до 100 кВт/км,
всего — до 800 кВт/км.

Можно показать, что при выборе сопротивления срабатывания пускового органа дистанционной защиты в соответствии с (4-11) и (4-12) исходя из указанных значений нагрузок, пусковой орган может не удовлетворять требованиям чувствительности. В связи с этим, для дорог с тягой на переменном токе на линиях 110 кВ длиной $100 \text{ км} \leq l \leq 250 \text{ км}$ может потребоваться применение фазоограничивающих реле.

8-4. УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ

Как известно, пусковыми органами устройств блокировки при качаниях, применяющихся в Советском Союзе, являются чувствительные реле, включенные на фильтры напряжения или тока обратной последовательности.

Указанные органы могут реагировать на несимметрию по току или напряжению и составляющие высших гармоник, которые имеют место на линиях, питающих электротягу [Л. 42], в нагрузочном режиме.

При срабатывании устройств блокировки при качаниях вводятся в работу быстродействующие (блокируемые при качаниях) ступени дистанционных защит, а затем, как правило, они выводятся из работы на несколько секунд. Таким образом, частые срабатывания устройства блокировки при отсутствии коротких замыканий являются нежелательными прежде всего из-за возможности вывода из действия защиты на значительное (в общей сложности) время. Кроме того, если под действием несимметрии или высших гармоник устройство блокировки сработает при качаниях или асинхронном ходе, то это может привести к неправильному действию дистанционной защиты на отключение.

В связи с этим устройства блокировки при качаниях, выполненные с использованием указанных принципов, нежелательно применять для защиты рассматриваемых линий. В ряде случаев оказывается целесообразным применение устройств с пусковым органом, реагирующим на скорость изменения электрических величин, например на скорость увеличения напряжения обратной последовательности dU_2/dt [Л. 43] либо на скорость изменения вектора напряжения обратной последовательности [Л. 49]. В общем случае было бы наиболее целесообразным применение таких устройств блокировки при качаниях, действие которых не зависит от составляющих высших гармоник или несимметрии в нагрузочном режиме. Такие устройства, отвечающие также и другим необходимым требованиям, должны быть разработаны. Однако до их разработки и внедрения должны быть приняты меры для предотвращения неправильных срабатываний устройств, применяемых в настоящее время.

Содержание высших гармоник в токе и напряжении на линиях, питающих электротягу, достигает значительных величин [Л. 42]. Для повышения надежности отстройки устройства блокировки от составляющих высших гармоник на выходе фильтра напряжения и фильтра тока обратной последовательности включаются фильтры высших гармоник. Эти фильтры, как правило, выполняются настроенными на частоту пятой гармоники; кроме того, в качестве простейшего фильтра высших гармоник может быть также использован дополнительный конденсатор, включаемый на выходе фильтра обратной последовательности параллельно обмотке реагирующего органа устройства.

В качестве примера на рис. 8-3 показана схема цепей фильтра напряжения обратной последовательности устройства блокировки при качаниях (типа КРБ-121). Для отстройки от составляющих высших гармоник напряжения в данной схеме дополнительно устанавливается запирающий фильтр пятой гармоники Φ или увеличивается емкость конденсатора $C2$. Следует отметить, что для снижения напряжения небаланса, вызванного составляющими высших гармоник, наиболее целесообразно устанавливать наименьшую уставку устройства (переключатель Π в положении 2 а), так как при этом значительно увеличивается сопротивление нагрузки фильтра. Увеличение емкости $C2$ в ряде случаев может

оказаться целесообразным [Л. 45], поскольку позволяет улучшить отстройку устройства от гармоник ряда высших частот и, как указано ниже, заглубить устройство по отношению к составляющей основной частоты.

Для обеспечения отстройки от несимметрии в нагрузочном режиме (при тяге на переменном токе), а также для увеличения надежности отстройки от высших гармоник (при тяге на постоянном и переменном токе) требуется производить дополнительное заглубление устройства по току или напряжению обратной последовательности основной частоты (которое может быть осуществлено, например в схеме по рис. 8-3, увеличением емкости $C2$). С учетом этого дополнительного заглубления ток или напряжение срабатывания устройства могут в несколько раз превосходить ток или напряжение срабатывания устройства, выбранные при неучете несимметрии нагрузочного режима; при этом устройство блокировки при качаниях во многих случаях может не удовлетворять требованиям чувствительности. Указанные трудности в обеспечении чувствительности устройств блокировки при качаниях должны приниматься во внимание при проектировании релейной защиты. При выборе типа пускового органа (тока или напряжения обратной последовательности) устройства блокировки при качаниях следует учитывать, что по условиям обеспечения чувствительности устройство с пуском по току обратной последовательности более целесообразно устанавливать на головных участках линии со стороны источников питания. Устройство с пуском по напряжению обратной последовательности оказывается более целесообразным устанавливать со стороны более слабого питания, например, со стороны длинной питающей линии или маломощной питающей системы.

С целью повышения чувствительности устройств блокировки при качаниях с пуском по току обратной последовательности (типа КРБ-122 или КРБ-124) на парал-

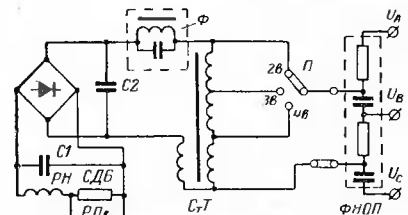


Рис. 8-3. Схема цепей фильтра напряжения обратной последовательности устройства блокировки при качаниях (типа КРБ-121).

лельных линиях в ряде случаев оказывается целесообразным включать устройство блокировки при качаниях защиты одной линии на сумму токов обеих линий, а устройство блокировки при качаниях другой линии — на разность токов обеих линий, с параллельным включением контактов обоих устройств в цепях дистанционных защит обеих линий (рис. 8-4). Такое включение устройств блокировки при качаниях позволяет улучшить их чувствительность за счет того, что при к. з. на противоположном конце (точка K_1 на рис. 8-4,а) более чувствительным оказывается устройство, включенное на

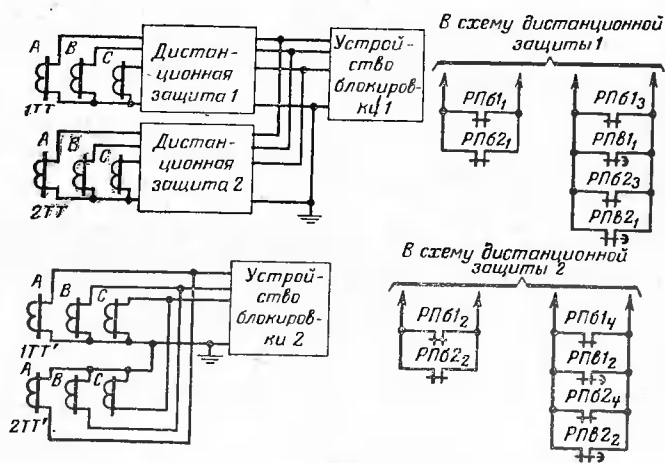
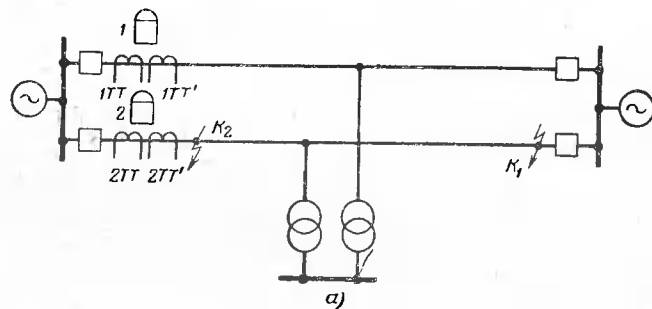


Рис. 8-4. Включение устройств блокировки при качаниях на сумму и на разность токов параллельных линий.

а — поясняющая схема; б — принципиальная схема включения цепей защиты.

РПБ1 и РПБ1, РПБ2 и РПБ2 — промежуточные реле устройств блокировки при качаниях, соответственно, 1 и 2.

сумму токов, а при к. з. вблизи места установки данной защиты (точка K_2) более чувствительным оказывается устройство, включенное на разность токов. В режиме одностороннего питания включение на разность токов обеспечивает повышение в 2 раза чувствительности устройства, устанавливаемого на приемном конце.

Необходимо отметить, что рассмотренное включение устройства блокировки при качаниях, требующее перевязки цепей защит двух линий, обладает рядом эксплуатационных неудобств.

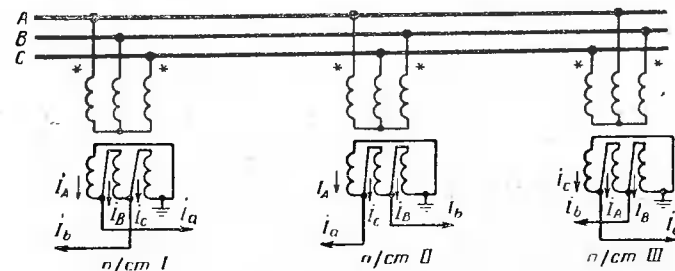


Рис. 8-5. К выводу расчетных выражений для определения токов обратной последовательности в питающей сети при заданной нагрузке тяговых плеч.

I_a, I_b — токи тяговых плеч, связанные, соответственно, с выводами а и б стороны 25 кв силового трансформатора тяговой подстанции; I_A, I_B, I_C — токи, проходящие по обмоткам 25 кв трансформатора (соответствующие фазировке линии).

Значком * обозначены наиболее нагруженные фазы трансформаторов.

Следует учитывать, что влияние несимметрии и высших гармоник особенно сильно сказывается в первый период эксплуатации линий, питающих электротягу, при наличии слабых связей и маломощных или удаленных источников питания. С возрастанием мощности питающих источников и увеличением числа связей между ними влияние указанных факторов снижается.

Определение значений составляющих токов и напряжений обратной последовательности нагрузочного режима для выбора уставок устройств блокировок при качаниях в общем случае представляет собой сложную задачу. При расчетном определении токов и напряжений обратной последовательности в местах установки защит необходимо определить сначала токи обратной последовательности каждой тяговой подстанции. Эти токи мо-

гут быть подсчитаны с помощью расчетных выражений, которые могут быть выведены для каждой тяговой подстанции.

На рис. 8-5 приведены схемы фазировки и схемы соединения обмоток трансформаторов подстанций трех типов — I, II и III (рис. 8-2). Выведем в качестве примера выражения, определяющие для указанных подстанций связь между током обратной последовательности, протекающим через трансформатор, и токами нагрузки тяговых плеч, которые считаются заданными.

Для подстанции II.

Ток в одном из тяговых плеч

$$I_a = I_A - I_C. \quad (8-5)$$

Ток в другом тяговом плече

$$I_b = I_C - I_B. \quad (8-6)$$

Поскольку $I_A + I_B + I_C = 0$, то

$$I_A = -I_B - I_C. \quad (8-7)$$

Из (8-5) и (8-7)

$$I_a = -I_B - 2I_C. \quad (8-8)$$

Из (8-6) и (8-8)

$$I_a + 2I_b = -3I_B;$$

$$I_a - I_b = -3I_C,$$

откуда

$$I_C = -\frac{1}{3}(I_a - I_b); \quad (8-9)$$

$$I_B = -\frac{1}{3}(I_a + 2I_b); \quad (8-10)$$

$$I_A = -(I_B + I_C) = \frac{1}{3}(I_a + 2I_b + I_a - I_b) = \frac{1}{3}(2I_a + I_b). \quad (8-11)$$

Как видно из рис. 8-2, б, ток I_b опережает ток I_a на 60° . Если принять за ось отсчета направление тока I_a подстанции II, то,

$$I_a = I_a, I_b = -a^2 I_a. \quad (8-12)$$

С учетом (8-9)—(8-12) ток обратной последовательности фазы A на стороне Y силового трансформатора

$$\begin{aligned} I_{2AY} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(I_A + a^2 I_B + a I_C) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 3} [2I_a + I_b - a^2(I_a + 2I_b) - a(I_a - I_b)] = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_a + aI_b). \end{aligned} \quad (8-13)$$

Аналогично для подстанции I можно получить (при той же системе отсчета углов векторов):

$$I_{2AY} = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_a + a^2 I_b). \quad (8-14)$$

Для подстанции III

$$I_{2AY} = \frac{1}{\sqrt{3}}(a^2 I_a + a I_b). \quad (8-15)$$

В соответствии с (8-13), (8-14) и (8-15) могут быть получены значения токов обратной последовательности, посылаемых в сеть со стороны подстанций, соответственно, II, I и III. Аналогично могут быть получены выражения для токов обратной последовательности и других подстанций.

Следует отметить, что по (8-9)—(8-11) для подстанции II и по аналогичным выражениям для других подстанций могут быть определены наиболее и наименее нагруженные фазы трансформаторов (наиболее нагруженные фазы на рис. 8-5 отмечены звездочкой).

Для получения токов и напряжений обратной последовательности нагрузочного режима в месте установки рассматриваемой защиты:

а) намечается расчетный нагрузочный режим;

б) в этом режиме определяются токи обратной последовательности каждой тяговой подстанции в соответствии с (8-13)—(8-15);

в) в расчетной схеме замещения для токов обратной последовательности распределяются указанные токи;

г) определяются по методу наложения искомые результирующие токи и напряжения обратной последовательности в местах установки рассматриваемых защит.

Расчетный нагрузочный режим и расчетный момент времени в общем случае должны характеризоваться наиболее неблагоприятным реальным сочетанием нагрузок тяговых подстанций, соответствующим наибольшим значениям токов и напряжений обратной последовательности. Однако определение указанных условий является затруднительным. Они могут возникать при разных случайных сочетаниях однофазных нагрузок, причем такие режимы могут быть достаточно длительными. Изменение нагрузок отдельных фаз во времени связано со многими факторами — графиком и скоростью движения поездов, направлением потока грузов и весом подвижных составов, профилем железнодорожного пути на отдельных участках и т. д. Поэтому при проектировании релейной защиты значения несимметрии приходится определять приближенно, исходя из максимальных значений нагрузок тяговых плеч. Как следует из (8-13)—(8-15), максимальное значение тока обратной последовательности одной тяговой подстанции с запасом может приниматься равным $1/\sqrt{3}$ от максимального тока плеча контактной

сети. Наибольшие значения результирующих токов обратной последовательности будут в самых неблагоприятных режимах, в которых углы между токами обратной последовательности разных подстанций наиболее близки друг к другу (например, режим одностороннего питания двух тяговых подстанций с одинаковой фазировкой).

В конкретных условиях результаты приближенных расчетов должны корректироваться с учетом данных опыта эксплуатации, а также специальных экспериментальных исследований.

8-5. ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ СО СТОРОНЫ ОПОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

При рассмотрении возможных вариантов осуществления защиты от замыканий на землю следует исходить из приведенных выше (§ 8-1) режимов заземления нейтралей тяговых подстанций.

На линиях 110 кВ, питающих тягу на постоянном токе, когда нейтраль трансформаторов промежуточных подстанций не заземляются, можно, как правило, применить трехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности, при этом обеспечиваются требования чувствительности и селективности защиты при замыканиях на землю.

На линиях 110 кВ, питающих электротягу на переменном токе, когда заземляется нейтраль хотя бы одного трансформатора промежуточной подстанции данной линии, или на линиях 220 кВ, когда заземляются нейтраль всех трансформаторов промежуточных подстанций, обеспечение требований чувствительности защиты нулевой последовательности в ряде случаев может оказаться затруднительным (§ 2-3,б). Так, в случае параллельных линий вторая ступень токовой защиты нулевой последовательности линии со стороны опорной подстанции при согласовании ее с первой ступенью такой же защиты параллельной линии со стороны противоположной подстанции в режиме каскадного отключения замыкания на землю значительно загроубляется и не удовлетворяет требованиям чувствительности. Это объясняется значительной подпиткой места короткого замыкания токами нулевой последовательности от наглухо заземленных нейтралей трансформаторов промежуточной подстанции и большим размагничивающим влиянием поврежденной линии на неповрежденную, что приводит

к увеличению тока нулевой последовательности по неповрежденной линии через место установки рассматриваемой защиты 1; (пример токораспределения для данного случая показан на рис. 8-6). С другой стороны, при замыкании на землю в конце защищаемой линии уменьшается ток через место установки защиты со стороны опорной подстанции благодаря влиянию заземленной нейтрали трансформатора промежуточной подстанции,

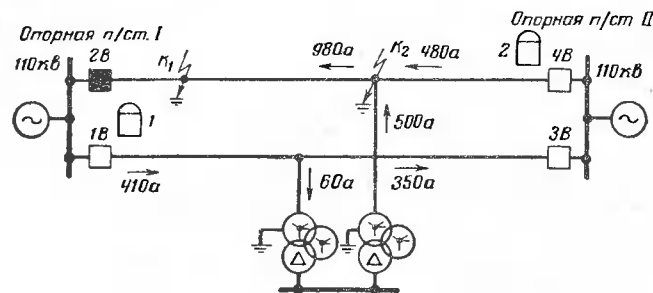


Рис. 8-6. Пример распределения токов нулевой последовательности на двух параллельных линиях при каскадном отключении замыкания на землю в точке K_1 .

что приводит к снижению чувствительности всех ступеней защиты (гл. 2). На рассматриваемых линиях также используются трех- или четырехступенчатые защиты нулевой последовательности, однако для повышения их чувствительности дополнительно могут применяться специальные решения.

Повышение чувствительности второй ступени защиты от замыканий на землю на параллельных линиях может быть достигнуто при установке на их противоположной стороне поперечной дифференциальной токовой направленной защиты нулевой последовательности. Согласование второй ступени защиты с указанной поперечной дифференциальной защитой в режиме каскадного отключения замыкания на землю позволяет весьма значительно повысить ее чувствительность. Особенности поперечной дифференциальной защиты нулевой последовательности и один из способов ее выполнения для данного случая рассмотрен в § 3-6 и на рис. 3-11. Эта защита не может быть использована на линиях, где режим «консольного» питания является вероятным, в особенности, при отключении промежуточной подстанции заходом одной из

линий (рис. 8-1,б, линия между подстанциями I и IV). В указанном режиме поперечная дифференциальная защита нулевой последовательности и вторая ступень трехступенчатой защиты должны быть выведены во избежание их неправильного действия.

В тех случаях, когда не может быть применена поперечная дифференциальная защита нулевой последовательности, для предотвращения неправильного действия защиты в режиме каскадного отключения с одного из концов линии используется вывод из действия второй ступени защиты при отключении выключателя параллельной линии (например, на рис. 8-6, защиты I при отключении выключателя 2B).

Правильное действие защиты в рассматриваемом случае может быть также обеспечено при выполнении второй ступени защиты как токовой обратной последовательности с блокировкой по току нулевой последовательности (аналогично приведенному для первой ступени защиты в § 2-3,в). При этом согласование защит противоположных сторон разных линий должно производиться по току обратной и по току нулевой последовательности в режиме каскадного отключения к. з. в точке, где распределение токов нулевой последовательности более благоприятно, чем в конце линии (например, в точке K_2 на рис. 8-6). При этом в случае к. з. на землю в начале каскадно отключенной параллельной линии селективность будет обеспечиваться согласованием с первой ступенью защиты по току нулевой последовательности, а при к. з. в конце линии — по току обратной последовательности.

Следует отметить, что в случаях, когда требованиям чувствительности не удовлетворяет реле направления мощности нулевой последовательности, в качестве органа направления мощности ступенчатой защиты от замыканий на землю может оказаться возможным использовать реле направления мощности обратной последовательности.

8-6. УСТРОЙСТВА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПРИ ОТКАЗЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

На линиях 110—220 кВ, питающих электрическую тягу, со стороны опорных подстанций считается обязательным предусматривать устройства резервирования

при отказе выключателей. Это объясняется следующими причинами:

1) При отсутствии указанных устройств в случае повреждения на линии и отказе ее выключателя повреждение должно ликвидироваться отключением выключателей смежных линий, в результате чего будут обесточены несколько тяговых подстанций и остановлено движение поездов на большом участке дороги. На рис. 8-7,а

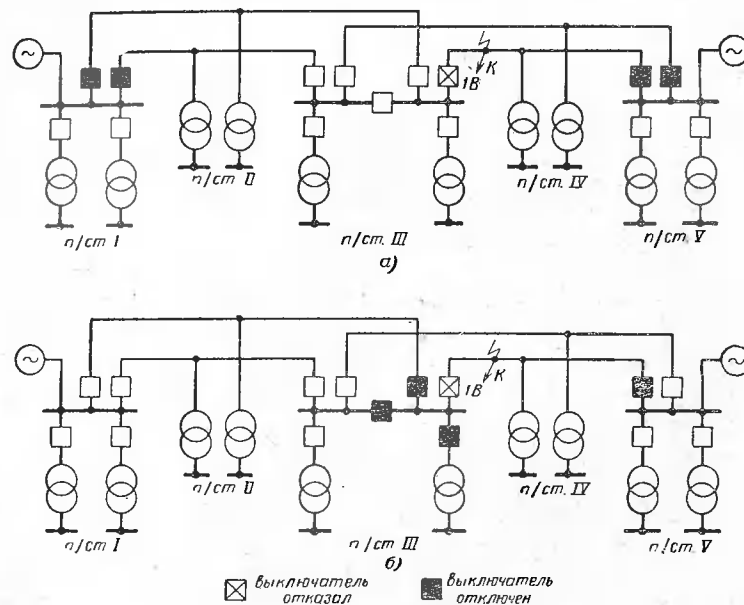


Рис. 8-7. Отключение повреждения при отсутствии и наличии устройства резервирования при отказе выключателей.

а — отключение повреждения при отказе выключателя линии в случае отсутствия устройства резервирования при отказе выключателей; б — отключение повреждения при отказе выключателя в случае наличия устройства резервирования при отказе выключателей.

показан пример, когда отказ одного из выключателей (1B) при к. з. на линии при отсутствии устройства резервирования приводит к потере питания трех тяговых подстанций и разрыву связи между питающими системами.

При наличии устройства резервирования отказ выключателя не приводит к дополнительному отключению потребителей (рис. 8-7,б).

2) Как было указано выше, резервные защиты линии не обладают высокой чувствительностью и поэтому, как правило, не удовлетворяют требованиям чувствительности при к. з. в конце смежной линии.

8-7. ЗАЩИТА ЛИНИИ СО СТОРОНЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Защита линии 110—220 кВ со стороны промежуточной подстанции необходима в случаях, когда:

а) имеется питание со стороны этой подстанции от местных источников, связанных с промежуточной тяговой подстанцией на напряжении 35 или 10 кВ;

б) при наличии на подстанции двух трансформаторов, питающихся от разных линий (подстанция V на рис. 8-1,б);

в) имеется питание от контактной сети;

г) имеется питание от электровозов в режиме их электрического торможения при рекуперации.

Питание токами к. з. от местных источников может иметь место на дорогах с тягой на постоянном и на переменном токе, а от контактной сети — только на дорогах с тягой на переменном токе. Подпитка от второго трансформатора подстанции или токами рекуперации также практически может иметь место только на дорогах с тягой на переменном токе.

При тяге на постоянном токе при наличии со стороны промежуточных подстанций питания от местных станций небольшой мощности, как правило, не требуется установки со стороны указанных подстанций защит линии, предназначенных для действия при к. з. на линии. В рассматриваемых случаях должны предусматриваться специальные делительные устройства, которые при отключении питающей линии производят (как указано в гл. 1) отделение станции с нагрузкой, соответствующей ее мощности.

При тяге на переменном токе на промежуточных подстанциях должна во всех случаях устанавливаться защита линии. На подстанциях, подключаемых на ответвлениях от двух параллельных линий (подстанция V на рис. 8-1,б), наиболее целесообразно предусматривать [Л. 40] следующие защиты:

а) максимальную токовую направленную защиту;

б) токовую направленную защиту нулевой последовательности или защиту напряжения нулевой последовательности;

в) минимальную защиту напряжения.

Максимальная токовая направленная защита предназначена в основном для подстанций, подключаемых к обеим параллельным линиям для действия при многофазных к. з. в режиме работы обеих линий и обоих трансформаторов. В режиме работы линии одной цепью указанная защита может не удовлетворять требованиям чувствительности ввиду малых значений токов к. з. при подпитке точки к. з. только от контактной сети (хотя эта защита, отстраиваемая только от токов рекуперации, имеет относительно малые токи срабатывания). Защита включается на трансформаторы тока, соединенные в треугольник (для снижения вероятности неправильного ее действия при замыканиях на землю вне защищаемых линий). Она может выполняться без выдержки времени, если схема защищаемых линий такова, что при к. з. вне этих линий ток через место установки защиты недостаточен для ее действия.

Токковая направленная защита нулевой последовательности предназначена для действия при однофазных к. з. на землю для подключаемых к обеим параллельным линиям подстанций с заземленными нейтралью обмоток высшего напряжения трансформаторов и выполняется с выдержкой времени для предотвращения неправильного отключения трансформаторов при к. з. на землю в сети 110—220 кВ вне защищаемых линий.

Обе токовые защиты устанавливаются на каждом из двух трансформаторов подстанции.

При работе трансформаторов с разземленными нейтралью для действия при однофазных к. з. предусматривается защита напряжения нулевой последовательности (одна на оба трансформатора).

Минимальная защита напряжения устанавливается на подстанции (одна на оба трансформатора) для действия во всех случаях питания только от контактной сети, когда токовые защиты не работают ввиду малых значений токов к. з. На промежуточных подстанциях, подключаемых к одной питающей линии (подстанции II, III на рис. 8-1,б, I на рис. 8-1,в), указанная защита используется как единственная для действия при повреждении на питающей линии.

Схема дана для случая отсутствия ПИН со стороны высшего напряжения и выполнена в соответствии с изложенными выше принципами. Реле направления мощности 6РМ—8РМ максимальной токовой направленной

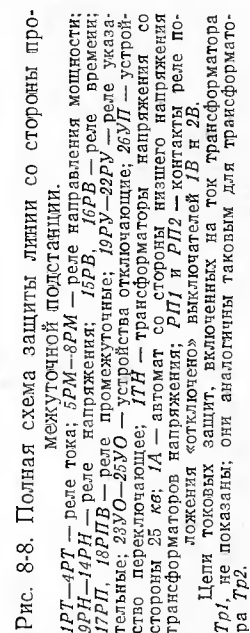


Рис. 8-8. Полная схема защиты линии со стороны промежуточной подстанции.

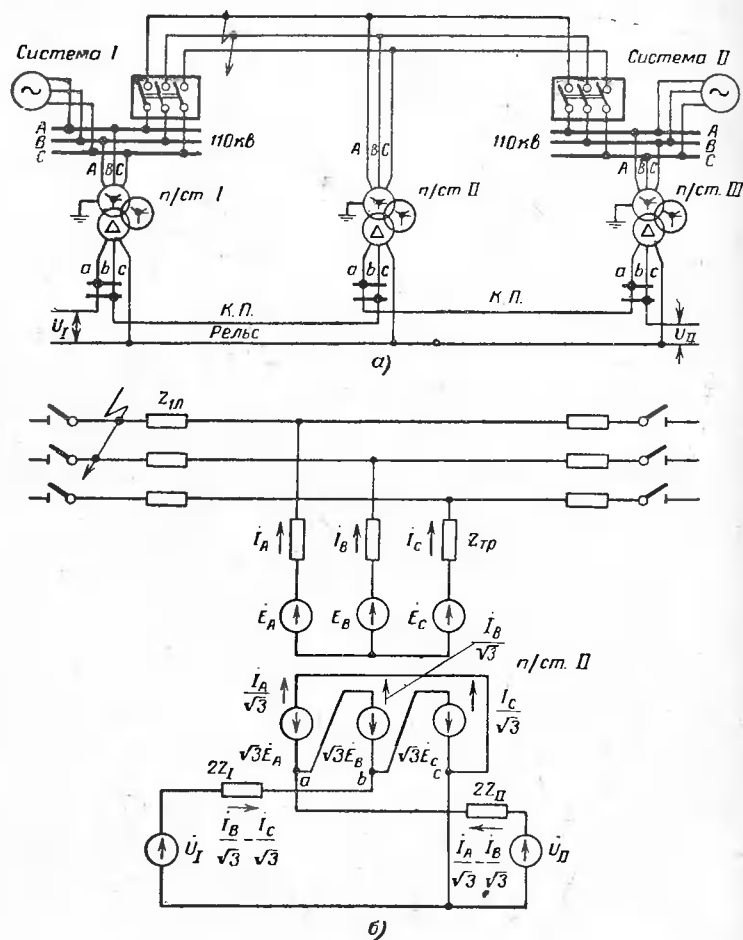


Рис. 8-9. К выводу расчетных выражений для токов и напряжений со стороны промежуточных подстанций.

а — поясняющая схема; б — расчетная схема.

$\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ — э. д. с. соответствующих фаз обмоток высшего напряжения трансформатора промежуточной подстанции II.

\dot{U}_I, \dot{U}_{II} — напряжения, соответственно I и II питающих систем; $2Z_I$ и $2Z_{II}$ — сопротивления I и II питающих систем с включением сопротивления петли «контактный провод — рельс» от питающей опорной подстанции I до промежуточной подстанции II; $Z_{тp}$ — сопротивление обмоток трансформаторов 110/25 кВ, $Z_{1п}$ — сопротивление прямой (обратной) последовательности участка линии 110 кВ между подстанциями I и II.

защиты включены по 90-градусной схеме. Переключающее устройство 26УП предусмотрено в схеме для возможности выполнения максимальной токовой направленной защиты, в зависимости от режима работы линии, как с выдержкой, так и без выдержки времени.

Для проверки действия защиты в режиме подпитки места повреждения только от контактной сети напряжения и токи определяются по расчетным выражениям, выведенным из уравнений, составленных для контуров и узлов для полных токов и напряжений, а также уравнений, характеризующих условия перехода через трансформатор с соединением обмоток Y/Δ^* .

При выводе указанных расчетных выражений сделаны некоторые допущения, основными из которых являются следующие:

а) токи намагничивания силовых трансформаторов промежуточных подстанций не учитываются;

б) полные сопротивления всех элементов складываются арифметически;

в) сопротивление рассеяния обмоток трансформаторов переносится полностью на сторону 110 кВ, что не изменяет значений искомым токов, а также напряжений на стороне 25 кВ.

Ниже в качестве примера рассматривается вывод расчетных выражений для случая двухфазного к. з. фаз А и В на линии 110 кВ у шин подстанции I с одной промежуточной подстанцией (рис. 8-9, а). Система фазировки на схеме рис. 8-9, а принята такой же, как на рис. 8-2.

Для рассматриваемого к. з.

$$I_C = 0 \text{ и } I_A = -I_B. \quad (8-16)$$

Для контура, составленного из обмоток 110 кВ трансформаторов и из поврежденных фаз линии (рис. 8-9, б):

$$\dot{E}_A - \dot{E}_B = I_A (z_{тp} + z_{1п}) - I_B (z_{тp} + z_{1п}),$$

или с учетом (8-16)

$$\dot{E}_A - \dot{E}_B = 2I_A (z_{тp} + z_{1п}). \quad (8-17)$$

Для контура, составленного из обмотки 25 кВ трансформатора, контактного провода и рельсов со стороны системы II:

$$\sqrt{3} \dot{E}_A = \dot{U}_{II} - 2z_{II} \left(\frac{I_A}{\sqrt{3}} - \frac{I_B}{\sqrt{3}} \right),$$

откуда

$$\sqrt{3} \dot{E}_A = \dot{U}_{II} - 4z_{II} \cdot \frac{I_A}{\sqrt{3}}. \quad (8-18)$$

* Способ предложили использовать А. Б. Чернин и С. Б. Лосев. Расчетные формулы даны в [Л. 40].

Аналогично, для контура, составленного из обмотки 25 кВ трансформатора, контактных проводов и рельсов со стороны обеих питающих систем

$$-\sqrt{3}\dot{E}_B = \dot{U}_{II} - \dot{U}_I - (4z_{II} + 2z_I) \frac{I_A}{\sqrt{3}}. \quad (8-19)$$

Решая совместно уравнения (8-17) — (8-19), получим:

$$I_A = -I_B = \frac{\sqrt{3}(2\dot{U}_{II} - \dot{U}_I)}{2(4z_{II} + z_I + 3z_{TP} + 3z_{1л})}. \quad (8-20)$$

Линейные напряжения на стороне 25 кВ с учетом выражений (8-17) — (8-20):

$$\dot{U}_{ac} = \sqrt{3}\dot{E}_A = \frac{\dot{U}_{II}(z_I + 3z_{TP} + 3z_{1л}) + \dot{U}_I \cdot 2z_{II}}{4z_{II} + z_I + 3z_{TP} + 3z_{1л}}; \quad (8-21)$$

$$\dot{U}_{ba} = \sqrt{3}\dot{E}_B = \frac{\dot{U}_{II}(z_I - 3z_{TP} - 3z_{1л}) + \dot{U}_I(2z_{II} + 3z_{TP} + 3z_{1л})}{4z_{II} + z_I + 3z_{TP} + 3z_{1л}}. \quad (8-22)$$

Поскольку треугольник линейных напряжений должен быть замкнут, получим:

$$\dot{U}_{cb} = -\dot{U}_{ac} - \dot{U}_{ba} = -\frac{\dot{U}_{II} \cdot 2z_I + \dot{U}_I(4z_{II} + 3z_{TP} + 3z_{1л})}{4z_{II} + z_I + 3z_{TP} + 3z_{1л}}. \quad (8-23)$$

Фазные напряжения на стороне 25 кВ:

$$\dot{U}_a = \frac{\dot{U}_{ac} - \dot{U}_{ba}}{3} = \frac{(2\dot{U}_{II} - \dot{U}_I)(z_{TP} + z_{1л})}{4z_{II} + z_I + 3z_{TP} + 3z_{1л}}; \quad (8-24)$$

$$\dot{U}_b = \frac{\dot{U}_{ba} - \dot{U}_{cb}}{3} = \frac{\dot{U}_{II}(z_I - z_{TP} - z_{1л}) + \dot{U}_I \cdot 2(z_{II} + z_{TP} + z_{1л})}{4z_{II} + z_I + 3z_{TP} + 3z_{1л}}; \quad (8-25)$$

$$\dot{U}_c = \frac{\dot{U}_{cb} - \dot{U}_{ac}}{3} = -\frac{\dot{U}_{II}(z_I + z_{TP} + z_{1л}) + \dot{U}_I(2z_{II} + z_{TP} + z_{1л})}{4z_{II} + z_I + 3z_{TP} + 3z_{1л}}. \quad (8-26)$$

Векторная диаграмма для рассматриваемого случая приведена на рис. 8-10. Указанная векторная диаграмма построена на основании выражений (8-20) — (8-26). На этой векторной диаграмме напряжение \dot{U}_{II} опережает напряжение \dot{U}_I на 60° , что следует из векторной диаграммы для подстанции I на рис. 8-2,б.

Как видно из векторной диаграммы рис. 8-10, напряжение \dot{U}_a имеет небольшое значение, что и обеспечивает в данном случае надежное действие минимальной защиты напряжения. При одностороннем питании только со стороны системы II ($z_I = \infty$) и пренебрежении

токами намагничивания, токи в фазах B и C обмотки 25 кВ трансформатора должны быть равны между собой, т. е. $I_B = I_C$, тогда из (8-16) — (8-19) получим:

$$I_A = I_B = I_C = 0;$$

$$\dot{E}_A - \dot{E}_B = 0;$$

$$\dot{E}_A = \dot{E}_B = \frac{\dot{U}_{II}}{\sqrt{3}}.$$

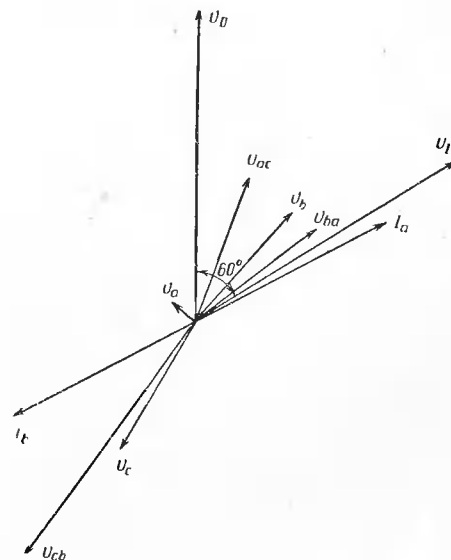


Рис. 8-10. Векторная диаграмма токов и напряжений при коротком замыкании между фазами A и B линии 110 кВ с одной промежуточной подстанцией.

Учитывая (8-21) — (8-23):

$$\dot{U}_{ac} = \dot{U}_{ba} = \dot{U}_{II}; \quad \dot{U}_{cb} = -2\dot{U}_{II}.$$

Из (8-24) — (8-26):

$$\dot{U}_a = 0; \quad \dot{U}_b = \dot{U}_{II}; \quad \dot{U}_c = -\dot{U}_{II}.$$

Таким образом, в случае неучета токов намагничивания силового трансформатора все токи равны нулю, а одно из линейных напряжений на стороне 25 кВ (и следовательно, одно из фазных напряжений стороны 110 кВ) должно удваиваться. В реальных силовых трансформаторах при повышении напряжения на обмотке происхо-

дит насыщение и увеличиваются токи намагничивания; практически за счет насыщения напряжение \dot{U}_{cb} возрастает примерно до 1,4 от \dot{U}_{II} , а \dot{U}_{ac} и \dot{U}_{ba} до 0,7 \dot{U}_{II} . При этом значение тока намагничивания установится таким, чтобы на сопротивлении $2z_{II}$ падение напряжения составляло бы примерно 30% от \dot{U}_{II} .

Формулы для определения токов и напряжений при всех остальных видах к. з. на линии 110 кВ с одной промежуточной подстанцией выводятся так же, как выражения (8-20) — (8-26). Аналогично могут быть выведены формулы для случаев двух и трех промежуточных подстанций.



ПРИЛОЖЕНИЕ

Особенности высокочастотных каналов связи для релейной защиты по высоковольтным линиям с ответвлениями¹

Ниже приводятся основные положения, которые необходимо учитывать при проектировании высокочастотных (в. ч.) каналов связи для релейной защиты линий с ответвлениями.

Высокочастотные каналы связи для релейной защиты по линиям с ответвлениями по сравнению с каналами по линиям без ответвлений имеют следующие особенности:

а) возможно появление биений в. ч. сигналов от всех передатчиков на входе каждого из приемников (при установке приемопередающей аппаратуры более чем на двух концах);

б) увеличивается затухание канала за счет потерь в. ч. энергии, вносимых в канал шунтирующим действием ответвлений.

При осуществлении защиты с передачей блокирующего сигнала на таких линиях биения в. ч. сигналов могут привести к пропаданию или недопустимому снижению уровня результирующего сигнала и, следовательно, к ложному действию защиты при внешних коротких замыканиях.

Для устранения указанного опасного влияния биений при установке на защищаемой линии трех или большего числа передатчиков последние настраиваются на разные частоты. Разнос частот передатчиков должен предусматриваться на 0,3—0,5 кГц таким образом, чтобы частоты передатчиков «укладывались» в полосу пропускания входных фильтров приемников постов защиты (2 кГц).

Сближение менее чем на 0,3 кГц недопустимо, в связи с возможностью ухода частоты задающего генератора передатчика, что может привести к появлению глубоких биений.

Расчет в. ч. каналов по линиям с ответвлениями рассматривался рядом авторов [Л. 46—48]. Имеющиеся материалы теоретических рассуждений и экспериментальных исследований были обработаны инж. Цитвером И. И. и затем выпущены институтом Энергосетьпроект.

Высокочастотные каналы по линиям с ответвлениями могут быть двух типов:

связь по ответвлению не осуществляется (на конце ответвления приемопередатчик защиты не устанавливается);

связь по ответвлению осуществляется.

¹ Написано совместно В. А. Рубинчиком и В. Г. Каганом.

Затухание, вносимое в основной канал, нпд	При расположении разветвления от конца линии на расстоянии $l \geq 2900/f$, км	При расположении разветвления от конца линии на расстоянии $l \leq \frac{2900}{f}$, км	Длина ответвления, км		Длина ответвления $l_{\text{отв}} < \frac{2900}{f}$, км	Длина ответвления $l_{\text{отв}} > \frac{2900}{f}$, км	Рабочая частота $f = \frac{145}{l_{\text{отв}}}$, кГц	Рабочая частота выбрана произвольно	Длина ответвления $l_{\text{отв}} < \frac{2900}{f}$, км	
			$l_{\text{отв}} \leq \frac{73}{f}$	$\frac{73}{f} \leq l_{\text{отв}} \leq \frac{2900}{f}$						
Затухание, вносимое в канал связи с подстанцией на ответвлении, нпд	При расположении разветвления от конца линии на расстоянии $l \geq 2900/f$, км	При расположении разветвления от конца линии на расстоянии $l \leq \frac{2900}{f}$, км	0,7	0,6	Определяется по графику рис. П-5	0,4	0,4	0,5	0,15	0,25

Значение затухания $a_{\text{отв.кор}}$, вносимого в канал электрически коротким ответвлением, может быть определено по графику рис. П-5. Этот график составлен при условии, что фильтр присоединения согласован с входным сопротивлением линии.

Значение $a_{\text{отв.кор}}$ может быть уменьшено включением в месте разветвления в рабочую фазу дополнительного заградителя с запирающим сопротивлением 400 Ом (рис. П-6,а). В этом случае затухание $a_{\text{отв.кор}}$ может быть снижено до 0,6 нпд , а затухание, вносимое в канал с подстанцией короткого ответвления, в таких случаях принимается 1,1 нпд .



Рис. П-4. Зависимость частоты канала, при которой не требуется установка заградителя, от длины ответвления с подстанцией по рис. П-3, когда с ней не осуществляется связь.

Полосы частот, при которых не требуется установка заградителя, заштрихованы.

Если в месте разветвления в нерабочие фазы включены заградители (рис. П-6,б), запирающее сопротивление которых на рабочей частоте превышает 3000 Ом, затухание, вносимое в канал ответвлением, принимается равным 0,4 нпд , а затухание, вносимое в канал связи с подстанцией — 0,9 нпд .

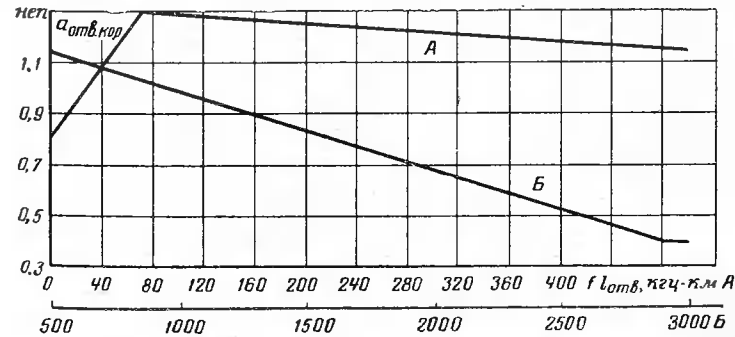


Рис. П-5. Зависимость затухания, вносимого ответвлением, от частоты канала и длины ответвления.

Если рабочая частота канала удовлетворяет условию

$$f = \frac{145n}{l_{отв}}, \text{ кГц,}$$

где $n \leq 6$ (целое число), то значение $a_{отв.кор}$ принимается равным 0,5 неп, причем входное сопротивление фильтра присоединения со стороны линии должно быть равным 800—1 200 ом. Затухание, вносимое таким ответвлением в канал связи с подстанцией на ответвлении, принимается 0,7 неп. Затухание, вносимое в основной канал, может быть понижено до 0,15 неп включением в нерабочие фазы заградителей с запирающим сопротивлением не менее 3 000 ом (рис. П-6, в).

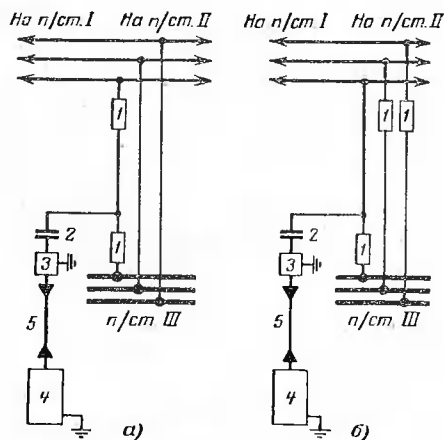


Рис. П-6. Схемы включения дополнительных заградителей.

а — в рабочую фазу ответвления; б — в нерабочие фазы в начале ответвления; в — в нерабочие фазы на подстанции ответвления.
1 — заградитель; 2 — конденсатор связи; 3 — фильтр присоединения; 4 — высокочастотный пост защиты; 5 — в. ч. кабель.

Если затухание, вносимое в канал коротким ответвлением, превышает 1 неп, оно может быть снижено вынесением устройства присоединения и заградителя в место разветвления (рис. П-7, а).

В таком случае затухание, вносимое в основной канал, принимается равным 0,7 неп. Если же в нерабочие фазы включить заградители, то $a_{отв.кор}$ снизится до 0,25 неп (рис. П-7, б).

Однако при вынесении элементов обработки в место разветвления возникают серьезные затруднения с защитой персонала и аппаратуры от перенапряжений, которые могут иметь место при к. з. у ответвительной опоры или на подстанции за счет «выноса» потен-

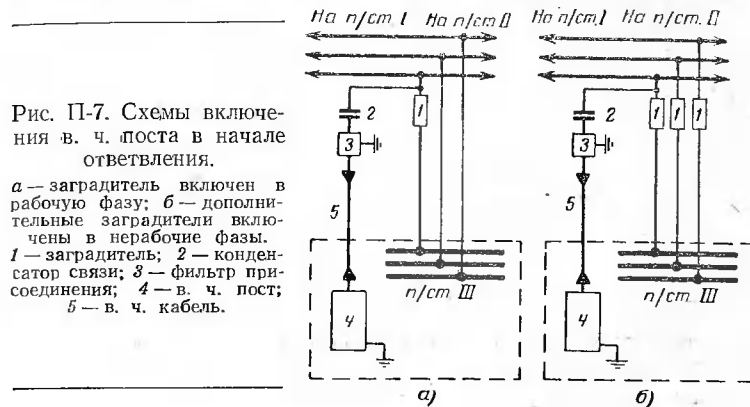


Рис. П-7. Схемы включения в. ч. поста в начале ответвления.

а — заградитель включен в рабочую фазу; б — дополнительные заградители включены в нерабочие фазы.
1 — заградитель; 2 — конденсатор связи; 3 — фильтр присоединения; 4 — в. ч. пост; 5 — в. ч. кабель.

циала. Следует учитывать, что эффективных мер защиты от указанного напряжения до сих пор не разработано, в связи с чем вынесение оборудования к ответвительной опоре в случаях, если ответвление используется для связи, не может быть рекомендовано.

Если к ответвительной опоре приключены три линии, каждая из которых используется для связи, причем две из них удовлетворяют условию $l < \frac{2900}{f}$ км, а выбранная частота не удовлетворяет уравнению

$$f = \frac{73(2n-1)}{l_2-l_1}, \text{ кГц,} \quad (\text{П-2})$$

где n — целое число не более 6, а l_1 и l_2 — соответственно длины этих коротких линий ($l_2 > l_1$), то такие ответвления вносят в канал в сторону 3-й линии затухание не более 0,8 неп; на частотах, при которых уравнение (П-2) удовлетворяется, затухание, вносимое ответвлением, может превышать 0,8 неп.

Дополнительное затухание $a_{отв.доп}$, входящее в (П-1), определяется:

а) при расстояниях между точками разветвлений и между разветвлением и каждым из концов линии $l \geq \frac{2900}{f}$, км — по выражению

$$a_{отв.доп} = 0,1(k-1), \quad (\text{П-3})$$

где k — число ответвлений.

Выражение (П-3) дано для ответвлений, вносимое затухание которых не менее 0,25 неп;

б) при расположении разветвления от одного из концов линии на расстоянии $l < \frac{2900}{f}$ км значение $a_{отв.доп}$, определенное по (П-3), должно быть увеличено на величину, определяемую по графику рис. П-8. Если по обоим ответвлениям осуществляется связь, значение $a_{отв.доп}$ учитывается для каждого из каналов;

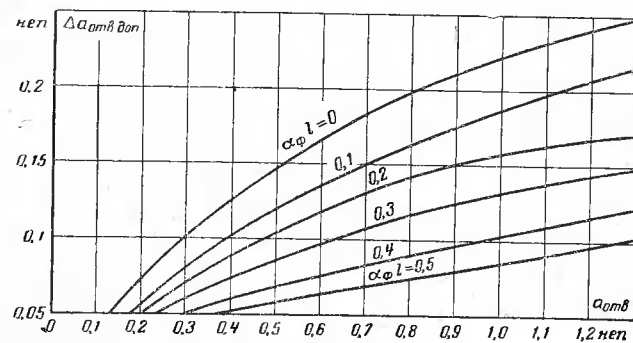


Рис. П-8. Дополнительное затухание, вносимое в канал ответвлением, при расстоянии между разветвлением и концом линии менее $\frac{2900}{f}$ км.

$a_{отв}$ — затухание, вносимое ответвлением в основной канал;
 α_{ϕ} — километрическое затухание междифазной волны на участке между разветвлением и концом линии, $нп/км$; l — расстояние между разветвлением и концом линии, км.

в) при наличии двух ответвлений, расположенных одно от другого на расстоянии $l' < \frac{2900}{f}$ км, значение $a_{отв.доп}$ определяется по графику рис. П-9.

Если ответвление расположено вблизи конца линии ($l < \frac{2900}{f}$), значение $a_{отв.доп}$ увеличивается на величину, определяемую по графику рис. П-8.

При наличии связи по ответвлениям, значение $a_{отв.доп}$ учитывается для каждого из каналов;

г) при наличии трех и большего числа ответвлений значение $a_{отв.доп}$ определяется по выражению

$$a_{отв.доп} = \sum_{i=1}^{k-1} \Delta a'_{доп} + \sum_{i=1}^2 \Delta a''_{доп}, \quad (\text{П-4})$$

где $\Delta a'_{доп}$ — затухание, обусловленное взаимодействием отражений междифазной волны от каждых двух смежных ответвлений;

$\Delta a''_{доп}$ — затухание, обусловленное взаимодействием отражений междифазной волны от концов линии;
 k — число ответвлений.

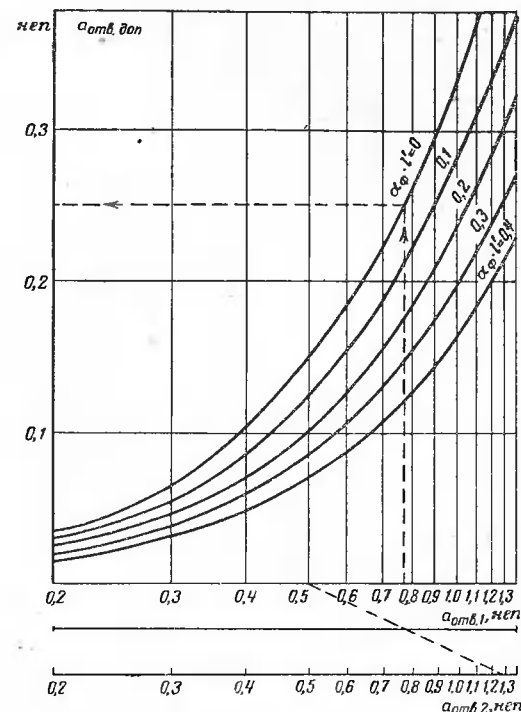


Рис. П-9. Дополнительное затухание, вносимое в канал двумя ответвлениями при расстоянии между точками разветвлений менее $\frac{2900}{f}$ км.

$a_{отв1}$, $a_{отв2}$ — затухание, вносимое в основной канал, соответственно, первым и вторым ответвлениями, α_{ϕ} — километрическое затухание междифазной волны на участке между точками разветвлений, $нп/км$; l' — расстояние между точками разветвлений, км.

Штриховой линией показан пример пользования графиком.

Значение $\Delta a'_{доп}$ определяется по графику рис. П-9 при расстояниях между двумя разветвлениями менее $l' < \frac{2900}{f}$ км и принимается равным 0,1 $нп$ при $l' \geq \frac{2900}{f}$ км.

Значение $\Delta a''_{доп}$ определяется в соответствии с п. „б“ при расстоянии между разветвлением и концом линии $l < \frac{2900}{f}$ км и принимается равным нулю при $l \geq \frac{2900}{f}$ км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящие указания по релейной защите, Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов, вып. 4, Госэнергоиздат, 1962.
2. Федосеев А. М., Основы релейной защиты, Госэнергоиздат, 1961.
3. Голубев М. Л., Релейная защита и автоматика подстанции с короткозамыкателями и отделителями, изд-во «Энергия», 1965.
4. Ульянов С. А., Электромагнитные переходные процессы в электрических системах, изд-во «Энергия», 1964.
5. Руководящие указания по релейной защите, Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110—220 кВ, вып. 2, Госэнергоиздат, 1961.
6. Чернин А. Б., Составление схем замещения нулевой последовательности параллельных линий для некоторых особых случаев их включения, «Электричество», 1965, № 9.
7. Чернин А. Б., Вычисление электрических величин и поведение релейной защиты при неопнлофазных режимах в электрических системах, Госэнергоиздат, 1963.
8. Малаховский Е. И., Петрушевский И. Н., Славинский А. К., Полупроводниковая поперечная дифференциальная защита параллельных линий 110—220 кВ, «Энергетика и электротехническая промышленность», Киев, 1964, № 4.
9. Мурашко Н. В., Поперечная дифференциальная направленная защита нулевой последовательности для линий с ответвлениями, «Электрические станции», 1962, № 4.
10. Руководящие указания по релейной защите, Дистанционная защита линий 35—330 кВ, вып. 7, изд-во «Энергия», 1966.
11. Правила устройства электроустановок, изд-во «Энергия», 1966.
12. Руководящие указания по наладке, проверке и эксплуатации релейной части дифференциально-фазной высокочастотной защиты типа ДФЗ-2, Госэнергоиздат, 1957.

13. Дорофеев В. И., Дифференциально-фазная высокочастотная и дифференциальная продольная защиты на линиях с ответвлениями, «Электрические станции», 1960, № 7.
14. Сапир Е. Д., Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110—220 кВ, «Электричество», 1955, № 6.
15. Ракович А. М., Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий электропередач с отпайками, «Электрические станции», 1966, № 7.
16. Атабеков Г. И., Релейная защита высоковольтных сетей, Госэнергоиздат, 1949.
17. Кочетов В. В. Сапир Е. Д., Якубсон Г. Г., Наладка и эксплуатация релейной части дифференциально-фазных высокочастотных защит линий 400—500 кВ (ДФЗ-401 и ДФЗ-402), Госэнергоиздат, 1962.
18. Фабрикант В. Л., Смородинский Я. М., Попов И. Н., Новые направленные высокочастотные защиты линий электропередачи, «Электричество», 1954, № 11.
19. Лысенко Е. В., Полупроводниковая направленная фильтровая защита с высокочастотной блокировкой, БТИ ОРГРЭС, 1966.
20. Атабеков Г. И., Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей, Госэнергоиздат, 1957.
21. Федосеев А. М., Релейная защита электрических систем, Госэнергоиздат, 1952.
22. Линдерс и Носко, Релейная защита с использованием УКВ радиоканалов, сб. «Релейная защита», вып. 1, серия «Энергетика за рубежом», Госэнергоиздат, 1959.
23. Берди и др. Оценка принципов действия релейной защиты с использованием ультракоротковолновых радиоканалов, сб. «Релейная защита», вып. 2, серия «Энергетика за рубежом», Госэнергоиздат, 1959.
24. Вирц, Схемы управления на подстанциях, оборудованных релейной защитой, использующей ультракоротковолновые радиоканалы связи, сб. «Релейная защита», вып. 2, серия «Энергетика за рубежом», Госэнергоиздат, 1959.
25. Адамс, Полевые испытания и опытная эксплуатация релейной защиты линии с передачей отключающего импульса по высокочастотному каналу, сб. «Релейная защита», вып. 2, серия «Энергетика за рубежом», Госэнергоиздат, 1959.
26. Кокки, Быстродействующая защита трансформатора с передачей отключающего сигнала по ультракоротковолновому каналу, сб. «Релейная защита», вып. 3, серия «Энергетика за рубежом», Госэнергоиздат, 1960.
27. Джонс, Испытания релейной защиты, выполненной по принципу передачи отключающего сигнала по высокочастотному каналу, при дуговых коротких замыканиях на линии, сб. «Релейная

защита», вып. 4, серия «Энергетика за рубежом», Госэнергоиздат, 1961.

28. Ленснер, Устройства релейной защиты, использующие каналы связи по вспомогательным проводам, «Энергетические системы и электротехническое оборудование», 1961, № 52.

29. Дитрих, Лорентсон, Стрингфилд, Опыт эксплуатации устройств телеотключения по УКВ радиоканалам в Bonneville Power Administration, «Энергетические системы и электротехническое оборудование», 1961, № 55.

30. Доклад комитета AIEE, Релейная защита разветвленных линий, «Энергетические системы и электротехническое оборудование», 1961, № 53.

31. Доклад комитета AIEE, Оценка релейных защит с телеотключением, использующих высокочастотные каналы по линиям электропередачи, «Энергетические системы и электротехническое оборудование», 1962, № 61.

32. Вольгемут, Жиллиез, Дитрих, Телеотключение от релейной защиты по высокочастотным каналам высоковольтных линий электропередачи, опыт эксплуатации и результаты полевых испытаний, «Энергетические системы и электротехническое оборудование», 1962, № 61.

33. Ларнер, Практика релейной защиты в сетях сверхвысокого напряжения Западной Европы, «Энергетические системы и электротехническое оборудование», 1963, № 64.

34. Поляков В. Е., Телезащита линий электропередачи с ответвлениями, «Известия высших учебных заведений, Энергетика», 1965, № 1.

35. Микучкий Г. В., Построение аппаратуры каналов для передачи сигналов автоматики, сб. «Доклады к предстоящей научнотехнической конференции по обобщению опыта проектирования, строительства и эксплуатации подстанций без выключателей 35—500 кВ», ВНИИЭМ, 1965.

36. Скитальцев В. С., Телеотключение в энергосистемах, изд-во «Энергия», 1964.

37. Эган, Стен, Харли, Использование УКВ радиоканала связи для релейной защиты, сб. «Релейная защита», вып. 2, серия «Энергетика за рубежом», Госэнергоиздат, 1959.

38. Даунер, Полевые испытания УКВ радиоканалов, используемых для релейной защиты, сб. «Релейная защита», вып. 1, серия «Энергетика за рубежом», Госэнергоиздат, 1959.

39. Микучкий Г. В., Измерения затухания двухцепной линии 110 кВ при различных видах коротких замыканий, «Электрические станции», 1964, № 7.

40. Веприк Д. И., Израилев М. С., Рисс Л. О., Сальков Б. Л., Особенности релейной защиты линий, питающих тяговые подстанции, «Электричество», 1961, № 1.

41. Валеев А. М., Кочинашвили В. А., Особенности работы дистанционной защиты на линиях передачи 110 кВ тяговых подстанций, «Электрические станции», 1957, № 9.

42. Тимофеев Д. В., Несимметричные и несинусоидальные режимы электрических систем с однофазными тяговыми нагрузками, Информационные материалы ВНИИЭ № 67, Госэнергоиздат, 1962.

43. Клецкий В. П., Пусковой орган dU_2/dt для сложных защит, «Электрические станции», 1965, № 12.

44. Гохштейн Б. Я., Лапин В. Б., Тихменев Б. И., Особенности работы устройств энергоснабжения электрических железных дорог переменного тока, труды Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, вып. 170.

45. Бакалинский К. Г., Реконструкция схемы фильтра напряжения отрицательной последовательности защиты ПЗ-157, «Электрические станции», 1958, № 9.

46. Микучкий Г. В., Передача высокочастотных сигналов релейной защиты по высоковольтным линиям с ответвлениями, «Электричество», 1965, № 10.

47. Шкарин Ю. П., Влияние отпайки ЛЭП на затухание высокочастотного тракта, Вопросы эксплуатации устройств связи в энергосистемах, вып. 2, Госэнергоиздат, 1963.

48. Микучкий Г. В., Высокочастотные каналы релейной защиты, Госэнергоиздат, 1959.

49. Левиуш А. И., Пусковой орган для дистанционных защит линий 110—220 кВ, питающих тяговую нагрузку на однофазном переменном токе, Труды ВНИИЭ, вып. XXVI, изд-во «Энергия», 1966.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Схемы линий с ответвлениями и особен- ности выполнения релейной защиты	5
1-1. Схемы и режимы работы линий с ответвлениями	5
1-2. Особенности распределения токов на линиях с от- ветвлениями при коротких замыканиях	11
1-3. Особенности выполнения релейной защиты на ли- ниях с ответвлениями	17
Глава вторая. Токовые защиты	21
2-1. Токовые защиты линий с ответвлениями	21
2-2. Токовая отсечка. Комбинированная отсечка по току и напряжению. Максимальная токовая защита	22
2-3. Токовая защита нулевой последовательности	29
2-4. Ток нулевой последовательности при неодновремен- ном включении фаз выключателя	37
2-5. Схемы замещения нулевой последовательности па- раллельных линий с ответвлениями при наличии взаимоиндукции между линиями	41
Глава третья. Поперечная дифференциальная токовая направленная защита	47
3-1. Принципы выполнения поперечных дифференциаль- ных токовых направленных защит	47
3-2. Определение токов в защите при повреждениях на линиях с ответвлениями	48
3-3. Определение зоны каскадного действия защиты	51
3-4. Определение точки равной чувствительности защит при повреждениях на линиях с ответвлениями	53
3-5. Особенности выполнения комплекта защиты от за- мыканий между фазами на линиях с ответвлениями	57
3-6. Особенности выполнения комплекта защиты от за- мыканий на землю на линиях с ответвлениями	62
Глава четвертая. Дистанционная защита линий с от- ветвлениями	65
4-1. Дистанционная защита, устанавливаемая на основ- ных питающих концах	65
4-2. Дистанционная защита, устанавливаемая со сторо- ны ответвления	74

4-3. Особенности расчета параметров срабатывания ди- станционной защиты, установленной со стороны от- ветвления	85
---	----

Глава пятая. Дифференциально-фазная высокочастотная защита	98
---	----

5-1. Принципы выполнения дифференциально-фазной высокочастотной защиты с токовыми пусковыми органами	98
5-2. Защита линии с ответвлениями без питания со сто- роны ответвлений с использованием двух полуком- плектов	101
5-3. Защита линии с ответвлениями без питания со стороны ответвлений при использовании нескольких полуккомплектов	109
5-4. Защита линии с ответвлениями при наличии пита- ния со стороны ответвлений	118
5-5. Работа органов манипуляции и сравнения фаз за- щиты с токовыми пусковыми органами	123
5-6. Согласование по чувствительности пусковых орга- нов полуккомплектов защиты	128
5-7. Способы увеличения тока срабатывания устройства фильтр — реле <i>ИПР2</i> защиты типа ДФЗ-2	135
5-8. Дифференциально-фазная высокочастотная защита с пусковыми органами напряжения типа ДФЗ-501 на линиях с ответвлениями	138
5-9. Выполнение защиты линии с ответвлением с уста- новкой на нем двух полуккомплектов	140
5-10. Дополнительные пусковые органы	142
5-11. Дистанционный пуск высокочастотного передатчика	144
5-12. Защита с постоянно работающими передатчиками	145

Глава шестая. Направленные защиты с высокочастот- ной блокировкой	147
--	-----

6-1. Принцип действия и основные разновидности на- правленных защит с высокочастотной блокировкой	147
6-2. Селективность направленных защит с высокочастот- ной блокировкой на линиях с ответвлениями	155
6-3. Чувствительность направленных защит с высокоча- стотной блокировкой на линиях с ответвлениями	158
6-4. Защита линии с ответвлениями без питания со сто- роны ответвлений при использовании двух полу- комплектов	159
6-5. Защита линии с ответвлениями без питания со сто- роны ответвлений при использовании нескольких полуккомплектов	163
6-6. Защита линии с ответвлениями при наличии пита- ния со стороны ответвлений	175
6-7. Особенности расчета направленных защит с высо- кочастотной блокировкой на линиях с ответвле- ниями	182