РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Дистанционная защита линий 35–330 кв

7

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

gost.e-ecolog.ru

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

ВЫПУСК 7

ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ 35—330 *кв*

(СОСТАВЛЕНО ВСЕСОЮЗНЫМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИМ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ИНСТИТУТОМ ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ МЭиЭ СССР)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД

УДК 621

В данном выпуске Руководящих указаний по релейной защите приведены схемы дистанционной защиты от многофазных к. з., используемой в качестве основной и резервной на линиях 110—330 *кв* в сетях с большим током замыкания на землю и на линиях 35 *кв* в сетях с малым током замыкания на землю, а также рассмотрены особенности схем этих защит для параллельных линий и линий, работающих по схеме блока трансформатор (автотрансформатор)—линия.

В выпуске приведены методы расчета дистанционных защит для одиночных и параллельных линий, линий с ответвлениями и линий, работающих по схеме блока трансформатор (автотрансформатор) — линия, а также приведено исследование поведения дистанционной защиты в ряде практически важных режимов (качания, короткие замыкания за трансформатором с соединением обмоток YΔ-11 и т. д.).

В выпуске учтены директивные материалы Технического управления по эксплуатации энергосистем Министерства энергетики и электрификации СССР (бывший главный электрик П. И. Устинов), а также отзывы энергетических систем и проектных организаций.

В схемах использована как выпускаемая промышленностью аппаратура, так и намечаемая к выпуску в ближайшее время.

Данный выпуск Руководящих указаний разработан институтом Энергосетьпроект (заместитель главного инженера Б. С. Успенский) — сектором типовых работ отдела релейной защиты, автоматики, телемеханики и устойчивости (ОРЗАТУ): начальник сектора А. Б. Чернин, руководители групп Т. Н. Дороднова, А. А. Рудман, Э. П. Смирнов и А. К. Мержанов (принимал участие в составлении первоначальной редакции), главные инженеры проекта В. А. Рубинчик и С. Б. Лосев, под общим руководством А. М. Федосеева.

В процессе разработки данного выпуска Руководящих указаний в обсуждении и принятии решений по отдельным вопросам в ОРЗАТУ Энергосетьпроекта принимали участие работники сектора релейной защиты и автоматики (нач. сектора В. М. Ермоленко, главные инженеры проекта М. М. Богина, В. Н. Красева и Н. Е. Рибель) и релейной лаборатории (руководитель лаборатории С. Я. Петров, главный инженер проекта Т. В. Смирнова, руководитель группы Н. В. Мурашко).

Много ценных соображений и рекомендаций по данному выпуску дали работники ряда организаций: В. А. Семенов (ОДУ ЕЭС), Н. В. Виноградов (Мосэнерго), О. П. Махарадзе (Тулаэнерго), М. И. Гурарий (Украинское отделение Энергосетьпроекта), Н. Н. Воронцова и Г. В. Бердов (Южное отделение Энергосетьпроекта), А. А. Кудрявцев (ОРГРЭС), В. А. Сатаров и Н. С. Кобякова (Мосэнергопроект), Е. И. Петряев (ОДУ Северо-Запада), Б. А. Хомутов (Иркутскэнерго), Е. Д. Зейлидзон (Техническое управление по эксплуатации энергосистем Министерства энергетики и электрификации СССР) и др.

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ,
вып. 7
Дистанционная защита линий 35—330 *кв*,
издательство „Энергия", 1966, 172 с. с черт.
Тематический план 1965 г., № 129

Редакторы *Т. Н. Дороднова* и *А. А. Рудман* Техн. редактор *Н. Т. Кривогин*

Сдано в набор 3/III 1966 г. Подписано к печати 30/V 1966 г.
Т-08229 Бумага типографская мелованная 84×108$^1/_{16}$ Печ. л. 18,06 Уч.-изд. л. 22,53
Тираж 13 000 экз. Цена 1 р. 19 коп. Зак. 2284

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

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный выпуск Руководящих указаний по релейной защите подготовлен институтом Энергосетьпроект и утвержден Главтехстройпроектом и Техническим управлением по эксплуатации энергосистем Министерства энергетики и электрификации СССР.

Настоящие Руководящие указания соответствуют разделу III «Защита и автоматика» ПУЭ издания 1964 г. и директивным материалам. Однако не исключена возможность временных расхождений между Руководящими указаниями и этими документами, которые будут изданы в дальнейшем. В таких случаях обязательными являются ПУЭ и директивные материалы.

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

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СХЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОДИНОЧНЫХ ЛИНИЙ 110—330 *кв* В СЕТЯХ С БОЛЬШИМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В настоящей главе рассмотрены принципы выполнения и особенности типовых схем дистанционной защиты одиночных линий от многофазных коротких замыканий.

Вопросы применения дистанционной защиты от всех видов повреждений (включая и замыкания на землю) в данной работе не рассматриваются.

На рис. 1 и 2 даны схемы трехступенчатой дистанционной защиты линий 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовых панелей защиты: на рис. 1 — панели типа ПЗ-158, на рис. 2— панели типа ПЗ-157.

На рис. 3 дана схема трехступенчатой дистанционной защиты линий 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-159А.

На рис. 4 и 5 даны схемы двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий с пуском от устройства блокировки при качаниях типа КРБ-124, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линий 110—330 *кв*, выполненных с использованием типовых комплектных панелей: на рис. 4 — панели типа ЭПЗ-624-64 (с тремя однофазными направленными реле сопротивления типа КРС-131), на рис. 5— панели типа ЭПЗ-634-64 (с трехфазным направленным реле сопротивления типа КРС-121 и одним реле типа КРС-131).

На рис. 6 дана схема двухступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий с тремя реле сопротивления типа КРС-131 и с пуском от устройства блокировки при качаниях типа КРБ-123.

На рис. 7 и 8 даны схемы двухступенчатой дистанционной защиты с пуском от устройства фильтр-реле тока обратной последовательности, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линий 110—220 *кв*, выполненных с использованием типовых комплектных панелей защиты: на рис. 7 — панели типа ЭПЗ-632-64 (с использованием для дистанционной защиты трех реле сопротивления типа КРС-131) и на рис. 8— панели типа ЭПЗ-633-64 (с использованием для дистанционной защиты одного реле сопротивления типа КРС-121).

На рис. 9 дана схема двухступенчатой дистанционной защиты линии 330 *кв* (в некоторых случаях для линий 220 *кв*) от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ДЗ-501.

На рис. 10 и 11 дана в двух вариантах схема одноступенчатой дистанционной защиты (с использованием трех реле сопротивления типа КРС-132 или КРС-131) линий 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий.

На рис. 12 дана схема одноступенчатой дистанционной защиты (с использованием реле сопротивления типа КРС-121) линии 110—220 *кв* от несимметричных многофазных коротких замыканий.

На рис. 13 и 14 даны схемы трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями для питающего конца линий 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152: на рис. 13 — с пуском по току, на рис. 14— с пуском по току и напряжению, используемыми также для осуществления третьей ступени.

На рис. 15 дана схема двухступенчатой защиты с первой дистанционной (с использованием реле сопротивления типа КРС-111) и второй токовой ступенями для питающего конца линий 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий.

А. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ

1. Дистанционная защита одиночных линий по рис. 1-15 может использоваться в качестве:

а) основной защиты (в ряде случаев может выполнять также функции резервирования предыдущего участка);

б) резервной защиты к основной, обеспечивающей отключение без выдержки времени повреждений на всем протяжении защищаемого участка (высокочастотная, продольная дифференциальная защиты и т. д.).

На рис. 16 рассмотрены (применительно к защите *3* рис. 16,*а*) возможные характеристики выдержек времени дистанционной защиты, используемой в качестве основной и резервной.

2. Трехступенчатая дистанционная защита по рис. 1—3 с характеристиками по рис. 16,*б* и *в* приме-

няется, как правило, в качестве основной и обеспечивает резервное действие при отказах защиты и выключателя предыдущих элементов (дальнее резервирование).

Защита может применяться в случаях, когда имеет место сочетание следующих условий:

а) обеспечивается сохранение устойчивости системы при использовании рассматриваемой защиты в качестве основной (приближенно в соответствии с ПУЭ, п. III-2-85 можно принять, что устойчивость сохраняется, если при трехфазных коротких замыканиях на защищаемой линии, отключаемых с выдержкой времени, значение остаточного напряжения в узловых точках системы больше 0,6 $U_{ном}$; определение значения остаточного напряжения должно производиться в режиме каскадного отключения повреждения в конце зоны, охватываемой первой ступенью защиты — ПУЭ, п. III-2-86);

б) требуется иметь резервное действие рассматриваемой защиты при отказах защиты и выключателя предыдущих участков (дальнее резервирование).

Следует отметить, что защита может применяться также в случаях, когда не требуется дальнее резервирование, но когда при применении на линии двухступенчатой дистанционной защиты вторая ступень последней имеет коэффициент чувствительности в конце защищаемого участка $k_ч<1{,}5$ (гл. 5, разд. А, п. 9).

Трехступенчатая дистанционная защита с характеристиками по рис. 16,*б* и *в* может использоваться в качестве резервной в соответствии с п. 1,б в случаях, когда по особым требованиям работы системы должно быть обеспечено по возможности быстрое отключение короткого замыкания при выводе основной защиты и при этом требуется дальнее резервирование.

3. Двухступенчатая защита по рис. 4—9 с характеристикой по рис. 16,*г* может применяться как в качестве основной, так и в качестве резервной, в обоих случаях, когда представляется допустимым не предусматривать защиты от многофазных коротких замыканий, обеспечивающей дальнее резервирование, или когда на подстанции, примыкающей к противоположному концу линии, предусматривается устройство резервирования при отказе выключателей (УРОВ); при этом учитывается, что защита от замыканий на землю, как правило, выполняется с дальним резервированием.

Защита может использоваться в качестве основной только в случаях, когда при этом обеспечивается сохранение устойчивости (п. 2,а).

4. Дистанционная защита с характеристиками по рис. 16,*д — л* используется, как правило, в качестве резервной в соответствии с п. 1,б, при этом:

а) двухступенчатая дистанционная защита по рис. 4—9 с характеристиками по рис. 16,*д — з* может применяться в случаях, когда требуется иметь дальнее резервирование (п. 2,б);

б) одноступенчатая дистанционная защита по рис. 10—12 с характеристиками по рис. 16,*и — л* может применяться в случаях, когда не требуется иметь дальнее резервирование.

Дистанционная защита по рис. 16,*д — л* в сочетании с токовой отсечкой или комбинированной отсечкой по току и напряжению, выполненными без выдержки времени, может использоваться в качестве основной; при этом защита должна удовлетворять условию п. 2,а.

5. Трехступенчатая защита по рис. 13 и 14 (с первой и второй дистанционными ступенями) и характеристикой по рис. 16,*г* используется в качестве основной, как правило, для линий с односторонним питанием.

Двухступенчатая защита по рис. 15 (с первой дистанционной ступенью) часто в сочетании с токовой отсечкой или комбинированной отсечкой по току и напряжению, выполненными без выдержки времени, используется в качестве основной (с характеристиками по рис. 16,*к* и *л*) для линий с односторонним питанием, а без дополнительных защит — для тупиковых линий (неселективная защита без выдержки времени).

6. Схемы по рис. 1—15 могут использоваться для одиночных линий как без ответвлений, так и с ответвлениями.

Схемы даны в предположении, что для линий с ответвлениями считается допустимым отключение повреждений в трансформаторах подстанции ответвления защитой рассматриваемых линий с включением последних от устройств АПВ.

Необходимо учитывать, что при возможности подпитки места повреждения на защищаемой линии со стороны подстанции на ответвлении на последней должна быть предусмотрена защита, действующая на отделение указанной подстанции от защищаемой линии.

7. В схемах двухступенчатой и трехступенчатой дистанционной защиты за исключением схемы по рис. 9 (по рис. 1—8 и 13, 14), для осуществления первой и второй ступеней предусмотрен общий дистанционный орган (реле сопротивления типов КРС-131, КРС-121 или реле сопротивления дистанционного органа панели типа ПЗ-152), имеющий переключение в цепях напряжения для перехода с уставки первой на уставку второй ступени, а также переключения в цепях переменного тока и напряжения (в схемах по рис. 13 и 14) для подведения к дистанционному органу панели типа ПЗ-152 тока и напряжения, соответствующих петле короткого замыкания. При этом переключение в цепях напряжения для перехода с уставки первой на уставку второй ступени и в цепях тока должно производиться без их размыкания. Невыполнение этого требования в отношении цепей напряжения может привести к кратковременному замыканию контактов реле сопротивления, что в свою очередь привело бы:

а) при переключении защиты с уставки первой на уставку второй ступени к необходимости учета коэффициента возврата реле сопротивления при выборе уставки сопротивления срабатывания второй ступени защиты;

б) при переключении защиты с уставки второй на уставку первой ступени (при возврате)—к возможности неправильного срабатывания первой ступени защиты, если она выполнена без выдержки времени, а длительность замыкания контактов реле сопротивления при таком переключении достаточна для срабатывания выходного реле защиты.

Для переключения цепей напряжения реле сопротивления без их размыкания в качестве переключающих целесообразно использовать кодовое реле (как, например, в схемах по рис. 1—3, 6, 13 и 14) либо два промежуточных реле (с последовательным действием) типов РП-251 и РП-23 (как это сделано, например, в схемах по рис. 4, 5, 7 и 8).

8. В схемах по рис. 1—3, 13—15 предусмотрена возможность фиксации срабатывания реле дистанционного органа в первый момент короткого замыкания («мгновенный замер»). Фиксация предусматривается для предотвращения отказа второй ступени защиты из-за увеличения сопротивления на зажимах дистанционного органа за счет возрастания со временем сопротивления дуги в месте повреждения и осуществляется с помощью пускового органа защиты.

Следует, однако, учитывать, что фиксация недопустима в случаях, когда она может привести к неправильному срабатыванию защиты (на линиях, входящих или примыкающих к кольцевой сети или параллельным линиям) [1].

9. Пуск защиты осуществляется:

---

[1] А. М. Федосеев, Основы релейной защиты, § 4-27, Госэнергоиздат, 1961.

а) в схемах по рис. 1—3—от реле сопротивления;

б) в схемах по рис. 4—6— от устройства блокировки при качаниях;

в) в схемах по рис. 7, 8 и 11— от устройства фильтр-реле тока обратной последовательности;

г) в схемах по рис. 13 и 15— от реле тока, а в схеме по рис. 14— от реле тока и напряжения.

В схемах по рис. 1—5 и 13—15 пусковой орган используется также для осуществления последней (третьей или второй) ступени защиты.

10. Схемы защиты по рис. 1—6 и 9 выполнены с устройствами блокировки при качаниях.

В схемах по рис. 1 и 4 предусмотрены устройства блокировки при качаниях соответственно типов КРБ-122 и КРБ-124, реагирующие на токи обратной и нулевой последовательностей; в схемах по рис. 2 и 6 предусмотрены устройства блокировки при качаниях соответственно типов КРБ-121 и КРБ-123, реагирующие на напряжение обратной и ток нулевой последовательностей.

Схемы защиты по рис. 3 и 5 могут быть выполнены с устройствами блокировки при качаниях как типа КРБ-124 (показано на чертежах), так и типа КРБ-123 (разд. Б, описание схем по рис. 3 и 5).

В схеме по рис. 9 предусмотрено устройство блокировки при качаниях, реагирующее на напряжение обратной последовательности, компенсированное током той же последовательности, и ток нулевой последовательности.

Следует отметить, что устройства блокировки при качаниях типов КРБ-123 и КРБ-124 выпускаются взамен устройств соответственно типов КРБ-121 и КРБ-122.

В устройстве типа КРБ-123 в отличие от типа КРБ-121 на выходе фильтра напряжения обратной последовательности предусмотрен фильтр пятой гармоники, а в устройстве типа КРБ-124 в отличие от типа КРБ-122 параллельно рабочей и тормозной обмоткам пускового органа блокировки установлены фильтры второй гармоники; предусмотрено также шунтирование тормозной обмотки пускового органа блокировки в момент шунтирования его рабочей обмотки (описание схемы по рис. 3, п. 3,д и е).

Следует отметить, что фильтр пятой гармоники при схеме его включения, принятой в устройстве блокировки типа КРБ-123 (рис. 6), недостаточно эффективен; указанную схему целесообразно выполнять по аналогии с принятой в устройстве блокировки при качаниях типа КРБ-125, выпуск которого намечается заводом.

Схемы по рис. 7, 8 и 10—15 выполнены без блокировки при качаниях.

Устройства блокировки при качаниях типов КРБ-121 и КРБ-123, а также устройство блокировки, предусмотренное в панели защиты типа ДЗ-500, имеют тот недостаток по сравнению с устройствами типов КРБ-122 и КРБ-124, что могут неправильно подействовать и разрешить срабатывание защиты в нормальном нагрузочном режиме при:

а) неисправностях в цепях напряжения;

б) снятии напряжения с трансформатора напряжения (например, при ошибочном отключении трансформатора напряжения).

Для предотвращения неправильного срабатывания защиты в случае «а» в схемах с устройствами блокировки при качаниях типов КРБ-121 и КРБ-123, а также в панели защиты типа ДЗ-500 дополнительно предусмотрены специальные устройства, блокирующие защиту при неисправностях цепей напряжения (например, в схеме по рис. 2— устройство типа КРБ-11, а в схеме по рис. 6— устройство типа КРБ-12). Однако установка указанных устройств, реагирующих на нарушение симметрии вторичных напряжений (появление напряжения нулевой последовательности), не предотвращает неправильного срабатывания защиты в случае «б». Для предотвращения неправильного срабатывания защиты в указанном случае должна быть обеспечена надежная эксплуатация, исключающая возможность ошибочного отключения трансформатора напряжения, или в некоторых случаях могут быть предусмотрены специальные блокировки (приложение 1).

Устройство типа КРБ-11 выполнено с емкостным фильтром напряжения нулевой последовательности и реле тока, включенным на ток нулевой последовательности и предотвращающим блокирование защиты при двухфазных замыканиях на землю: устройство типа КРБ-12— с трансформаторным фильтром в виде пятиобмоточного промежуточного трансформатора напряжения (со сравнением суммы фазных напряжений и напряжений нулевой последовательности), а аналогичное устройство в схеме по рис. 9 выполнено дифференциальным с использованием семиобмоточного промежуточного трансформатора напряжения (со сравнением одноименных фазных напряжений на обмотках, соединенных в звезду и треугольник трансформатора напряжения, питающего защиту).

Необходимо отметить, что при параллельном включении устройства типа КРБ-11 с трансформаторным фильтром нулевой последовательности указанное устройство может работать неправильно из-за трансформации фильтром напряжения неповрежденных фаз на поврежденную фазу [1]. Однако указанное не относится к случаю параллельного включения устройств типов КРБ-11 и КРБ-12, поскольку последнее в цепях подведения напряжений к фазным обмоткам фильтра содержит добавочные сопротивления.

Следует отметить, что в схемах защиты с устройствами блокировки при качаниях типов КРБ-122 и КРБ-124 также предусмотрены устройства блокировки при неисправностях цепей напряжения (типа КРБ-12), но с действием на сигнал. Указанное целесообразно для сигнализации неисправностей цепей напряжения или отсутствия напряжения на панели защиты, поскольку это может привести к неправильному срабатыванию защиты при внешнем коротком замыкании.

В работе приведены схемы с устройствами блокировки при качаниях разных типов, поскольку в конкретных условиях может оказаться целесообразным применение того или иного устройства блокировки при качаниях.

11. В рассматриваемых схемах по рис. 1—6 и 9 предусматривается возможность возврата устройства блокировки при качаниях в исходное положение:

непосредственно после отключения короткого замыкания;

с заданной выдержкой времени.

Возврат по первому способу имеет то преимущество, что обеспечивает быструю готовность схемы защиты к новому срабатыванию при последующем повреждении, что особенно важно для схем по рис 4—6, в которых устройство блокировки используется в качестве пускового органа, а также для схемы по рис. 1 (иногда и для схемы по рис. 3), в которой через контакты устройства блокировки к защите подводится оперативный постоянный ток. Однако использование возврата по первому способу ограничено:

а) возможностью неправильного срабатывания защиты при АПВ за счет качаний, развившихся к моменту повторного включения; при этом опасным является случай, когда электрический центр качаний находится в зоне, охватываемой ступенями рассматриваемой защиты,

---

[1] Э. И. Басс, М. Л. Голубев, В. З. Никитский, О параллельной работе блокировок защит при нарушениях цепей напряжения, «Электрические станции», 1956, № 8.

которые блокируются устройствами типов КРБ-122, КРБ-124 или КРБ-121, КРБ-123;

б) чувствительностью к трехфазным коротким замыканиям включенного на междуфазное напряжение реле напряжения устройства блокировки при качаниях, осуществляющего возврат непосредственно после отключения короткого замыкания. Однако указанное может не приниматься во внимание, если в цепи возврата устройства блокировки при качаниях будут выполнены соответствующие изменения (разд. Б, описание схемы по рис. 1).

При возврате устройства блокировки по второму способу время возврата целесообразно отстраивать от времени срабатывания защиты и АПВ участка, на котором установлена рассматриваемая защита, а также близлежащих участков, при повреждении которых чувствительно рассматриваемое устройство.

Существенным недостатком возврата устройства блокировки по второму способу является отказ защиты при коротком замыкании в защищаемой зоне, возникающем вслед за запуском устройства блокировки, например из-за действия трубчатых разрядников.

12. Применяемые в настоящее время устройства блокировки при качаниях типов КРБ-122, КРБ-124 и КРБ-121, КРБ-123 имеют следующие основные недостатки:

а) Возможен отказ устройства блокировки при трехфазных коротких замыканиях, если не обеспечивается достаточная длительность предшествующей несимметрии и достаточная кратность тока в обмотке реагирующего реле пускового органа во время этой несимметрии к току его срабатывания.

Случаи отказа аналогичных устройств, реагирующих на возникновение трехфазных коротких замыканий во время кратковременной несимметрии, предшествующей симметричному режиму, имели место в эксплуатации.

б) В связи с необходимостью отстройки устройства от симметричных составляющих обратной и нулевой последовательностей токов или напряжений (гл. 5, разд. Ж и З), затруднительно выполнение устройств блокировки, удовлетворяющих требованиям чувствительности, в случае, когда указанные составляющие имеют достаточно большое значение в нормальном нагрузочном режиме.

в) Осуществление блокирования таким образом, что блокируемые ступени защиты действуют через контакты устройства блокировки, может привести к отказу защиты в случае неисправности рассматриваемого устройства.

г) При применении возврата устройства блокировки с заданной выдержкой времени ступени защиты, блокируемые при качаниях, выводятся из действия на длительное время (порядка 5—10 *сек*); указанное может привести к отказу блокируемых ступеней защиты при возникновении короткого замыкания вслед за предшествующей несимметрией, возникшей по любой причине (короткое замыкание, срабатывание трубчатого разрядника, операции выключателями или разъединителями и т. д.).

При применении возврата устройства блокировки непосредственно после отключения короткого замыкания возможно неправильное срабатывание защиты за счет качаний или асинхронного хода, развившихся в результате короткого замыкания на близлежащих участках. Однако следует учитывать, что использование возврата с заданной выдержкой времени может также не предотвратить неправильного срабатывания защиты в указанных случаях, если устройство блокировки окажется нечувствительным в момент короткого замыкания (гл. 5, разд. Ж, § 4, п. 9).

е) Устройство блокировки может не предотвратить неправильного срабатывания защиты в случае несинхронного включения линии от ключа управления (или устройства телеотключения) при значительном угле между э. д. с. несинхронно работающих частей системы, поскольку устройство при этом может быть запущено из-за кратковременного появления несимметрии, вызванной неодновременностью включения фаз выключателя.

ж) При наличии в токе или напряжении составляющих высших гармоник должны быть приняты меры для отстройки устройства блокировки от этих составляющих, что приводит к его усложнению, а в ряде случаев и к дополнительному загрублению.

В связи с отмеченными недостатками рассматриваемых устройств в ряде случаев может оказаться целесообразным использование устройств блокировки при качаниях, построенных на других принципах (гл. 2, разд. А, п. 3).

13. Использование в схемах по рис. 4—6 устройства блокировки при качаниях в качестве пускового органа защиты может привести к неправильным срабатываниям последней (особенно при возврате устройства блокировки с выдержкой времени) в случаях срабатывания этого устройства (например, из-за работы разрядников) и последующем многофазном коротком замыкании в зоне, защищаемой первой или второй ступенями. Указанное неправильное срабатывание возможно:

а) в случае замыкания в зоне, защищаемой первой ступенью защиты, из-за потери первой ступени, если короткое замыкание произошло после переключения защиты на уставку второй ступени;

б) в случае замыкания в зоне, защищаемой второй ступенью защиты, из-за уменьшения выдержки времени второй ступени на время переключения защиты с уставки первой на уставку второй ступени.

В обоих случаях может иметь место отключение последующего участка.

Аналогичные случаи неправильного срабатывания защиты могут иметь место также и при переходе однофазного короткого замыкания в защищаемой зоне в многофазное.

Неправильное срабатывание защиты, рассмотренное в п. «б», может быть исключено увеличением ступени селективности Δt на время, несколько большее времени переключения защиты с уставки первой ступени на уставку второй ступени.

14. В схемах по рис. 7, 8 и 11 в качестве пускового органа используется устройство фильтр-реле тока обратной последовательности, которое обеспечивает срабатывание защиты как при несимметричных, так и при симметричных трехфазных коротких замыканиях (гл. 5, разд. А, п. 16 и описание схем); указанные схемы защиты применяются в случаях, когда блокировки при качаниях не требуется. При этом, так же как и при пуске от устройства блокировки при качаниях типов КРБ-122 и КРБ-124, предотвращается возможность неправильного срабатывания защиты при нарушении цепей напряжения (в том числе и трех фаз) в нормальном нагрузочном режиме и одновременно значительно упрощается схема за счет отказа от установки сложного устройства блокировки при качаниях.

В схемах по рис. 13 и 15 (для защиты линий с односторонним питанием) в качестве пускового органа используются реле тока, ток срабатывания которых принимается бо́льшим максимального рабочего тока в защищаемой линии с учетом самозапуска двигателей потребителей (гл. 5, разд. А, п. 15), а в схеме по рис. 14 в состав пускового органа входят реле напряжения и тока, ток срабатывания которых принимается бо́льшим максимального рабочего тока без учета самозапуска двигателей. В этих схемах также предотвращается возможность неправильного срабатывания защиты при нарушении цепей напряжения в нормальном нагрузочном режиме.

Следует отметить, что в схемах защиты по рис. 7, 8 и 11 предусмотрено устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12 с действием на сигнал. Указанное целесообразно для сигнализации неисправностей цепей напряжения или отсутствия напряжения на панели защиты, поскольку это может привести к неправильному срабатыванию защиты при внешнем коротком замыкании. В схемах по рис. 13—15 устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения не предусматривается, поскольку в этих схемах имеются грубые реле тока пускового органа. Однако в схеме по рис. 14, в которой имеются реле тока пускового органа, ток срабатывания которых принимается большим максимального рабочего тока без учета самозапуска двигателей, установка указанного устройства все же желательна.

15. Схемы по рис. 1—6 могут использоваться также для защиты сильно загруженных линий большой протяженности. При этом в случае необходимости дополнительно должны предусматриваться три блокирующих реле сопротивления с прямолинейной характеристикой, контакты которых включаются последовательно с контактами реле сопротивления пускового органа для схемы трехступенчатой дистанционной защиты по рис. 1—3, реле сопротивления дистанционного органа для схемы двухступенчатой дистанционной защиты по рис. 4—6 или реле сопротивления второй ступени защиты для схемы двухступенчатой дистанционной защиты по рис. 9.

Использование блокирующих реле повышает чувствительность дистанционной защиты, ограничивая область срабатывания направленных реле сопротивления в зоне нагрузочных сопротивлений, и уменьшает вероятность их неправильного действия при качаниях. Одно из возможных выполнений блокирующего реле и его характеристика рассмотрены в приложении II.

Следует отметить, что в ряде случаев для блокирования защиты в нагрузочных режимах достаточно установить одно блокирующее реле сопротивления, заменив два других одним реле тока или напряжения обратной последовательности с включением контактов этого реле параллельно контактам блокирующего реле сопротивления. Указанные реле тока или напряжения обратной последовательности предусматриваются для действия при таких замыканиях между фазами, на которые не реагирует блокирующее реле сопротивления. При этом отстраиваемая от нагрузки блокируемая ступень дистанционной защиты должна быть согласована по времени, а блокирующее реле тока или напряжения — по чувствительности с защитами нулевой и обратной последовательностей, установленными на предыдущих участках.

Кроме использования специальных блокирующих реле, ограничение области срабатывания направленных реле сопротивления в зоне нагрузочных сопротивлений может производиться и другими способами [1].

Необходимо отметить, что в настоящее время разрабатываются защиты с реле сопротивления, имеющими эллиптические характеристики, что также ограничивает область срабатывания защиты в зоне нагрузочных сопротивлений.

16. В схемах предусмотрена возможность осуществления ускорения действия ступеней дистанционной защиты с выдержкой времени (второй, третьей и первой ступеней при выполнении последней с выдержкой времени) после включения выключателя. Варианты схемы включения реле ускорения рассмотрены в приложении III.

Для обеспечения надежного срабатывания защиты по цепи ускорения в схемах по рис. 1—3, 13, 14, в которых в качестве реле ускорения использовано предусмотренное на соответствующих панелях кодовое реле типа КДР-3М, имеющее малое (порядка 0,23÷0,28 *сек*) время при возврате, необходимо в цепи катушки указанного реле предусматривать не контакт реле положения выключателя, а замыкающий контакт реле ускорения, используемого для ускорения защиты от замыканий на землю.

В целях уменьшения времени отключения повреждения после включения выключателя целесообразно переключение реле сопротивления на уставку ускоряемой ступени производить до включения выключателя защищаемой линии.

17. При применении схем защиты на линиях, на которых установлено устройство несинхронного АПВ, правильное срабатывание дистанционной защиты обеспечивается соблюдением определенной последовательности действия АПВ и защиты. В схеме защиты, установленной с конца линии, включаемого при АПВ первым (без контроля наличия напряжения на линии), для отключения неустранившегося повреждения должно предусматриваться ускорение действия защиты после включения выключателя, а в схеме защиты, установленной с другого конца защищаемой линии, включаемого вторым (с контролем наличия напряжения на линии), цепь ускорения должна быть выведена, если после несинхронного включения могут возникать качания с электрическим центром в зоне, охватываемой ускоряемой ступенью рассматриваемой защиты.

Недействие при несинхронном включении быстродействующих ступеней дистанционной защиты с обоих концов защищаемого участка обеспечивается за счет возврата устройства блокировки при качаниях с заданной выдержкой времени, которая должна превышать время включения линии с обоих концов, однако может иметь место неправильное срабатывание защит смежных участков, если при рассматриваемом коротком замыкании эти защиты не были выведены устройствами блокировки при качаниях из-за недостаточной чувствительности этих устройств.

18. Схемы даны для случая установки масляных выключателей и использования встроенных в них трансформаторов тока.

Для повышения надежности цепей отключения при действии защиты целесообразно предусматривать удерживание отключающего импульса до момента размыкания блок-контакта выключателя в цепи отключения.

В типовых панелях защиты типов ПЗ-158, ПЗ-157, ПЗ-159 и ПЗ-152 (схемы по рис. 1—3, 13 и 14) для этой цепи предусмотрены удерживающие обмотки в выходном реле. Остальные схемы выполнены в предположении, что указанное удерживание отключающего импульса предусматривается в схеме управления на контакте реле блокировки от многократных включений выключателя.

При установке воздушных выключателей и выносных трансформаторов тока последние в отличие от приведенных схем должны быть предусмотрены со стороны линии. Кроме того, учитывая наличие в схеме управления воздушным выключателем самоудерживания с помощью блок-контакта отключающей катушки в типовых панелях защиты типов ПЗ-158, ПЗ-157, ПЗ-159 и ПЗ-152, удерживающие обмотки выходного реле этих защит должны быть исключены из схемы для предотвращения возможного повреждения отключающей катушки при отказе в отключении одной из фаз выключателя.

19. Схемы выполнены в предположении, что включение автоматов на вторичной стороне трансформатора напряжения в зависимости от наличия или отсутствия в защите специального устройства блокировки при неисправностях цепей напряжения производится по одному из

[1] Например, В. В. Михайлов, В. В. Платонов и Ю. И. Иванков, Повышение чувствительности пусковых органов дистанционной защиты, «Электрические станции», 1963, № 6.

вариантов, рекомендованных в РУ, вып. 3, приложение III.

20. Подведение плюса оперативного постоянного тока к защите осуществляется по типовой схеме (приложение IV и схема по рис. П-7). В соответствии с указанной схемой постоянный ток к дистанционной защите подводится через контакты промежуточных реле, срабатывающих при действии реле повторителей положения разъединителей защищаемой линии, что и показано в панелях защиты по рис. 4—8; в других схемах контакты этих реле не показаны.

Напряжение к защите подводится через контакты реле повторителей положения разъединителей (на схемах не показано).

21. В схемах предусмотрено выходное промежуточное реле типа РП-251 или РП-253, имеющее замедление при срабатывании в целях предотвращения действия защиты при работе трубчатых разрядников.

На линиях, на которых не применяются трубчатые разрядники, в качестве выходного целесообразно использовать реле типа РП-212 взамен реле, указанных выше.

22. Для сигнализации действия защиты в схемах предусмотрены указательные реле в цепях каждой ступени защиты и в цепи ускорения действия защиты после включения выключателя.

В случаях, если при действии установленных на линии трубчатых разрядников указательное реле в цепи первой ступени защиты успевает срабатывать, целесообразно шунтировать обмотку этого реле размыкающим контактом выходного промежуточного реле защиты, как это выполнено, например, в схеме по рис. 4.

23. В цепях тока и напряжения защиты предусмотрены испытательные блоки.

24. В схемах предусмотрены отключающие устройства:

в цепях отключения выключателя — для оперативного выведения защиты (например, при неисправностях цепей напряжения);

в цепи ускорения действия защиты после включения выключателя — для выведения действия защиты.

25. Типы предусмотренных в схемах указательных реле и значения добавочных сопротивлений даны для напряжения оперативного постоянного тока 220 *в*.

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ (рис. 1—15)

Схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-158 * (рис. 1)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двусторонним питанием в случаях, когда требуется резервирование действия защиты и выключателя предыдущей линии (дальнее резервирование) и устройство блокировки при качаниях типа КРБ-122 удовлетворяет требованиям чувствительности, а также в случаях, когда не требуется дальнего резервирования, но при применении двухступенчатой дистанционной защиты вторая ступень последней имеет коэффициент чувствительности к повреждениям в конце защищаемого участка $k_ч < 1{,}5$ (гл. 5, разд. А, п. 9).

Защита может использоваться в качестве основной, а также в некоторых случаях в качестве резервной.

2. Защита осуществлена с помощью реле сопротивления *1РС—3РС* типа КРС-132 (пусковой орган), *4РС* типа КРС-121 и *5РС* типа КРС-131 (дистанционный орган) и блокировки при качаниях типа КРБ-122.

3. Пусковой орган защиты (реле *1РС—3РС*) предназначен:

а) для управления переключением в цепях напряжения дистанционного органа (реле *4РС* и *5РС*); указанное переключение осуществляется для перехода с уставки первой на уставку второй ступени;

б) для осуществления третьей ступени защиты;

в) для фиксации значения сопротивления на зажимах реле дистанционного органа в первый момент короткого замыкания в зоне, охватываемой второй ступенью защиты («мгновенный замер»), в случаях, когда такая фиксация допустима.

4. Переключение в цепях напряжения дистанционного органа и защиты осуществляется реле *17РПп* с замедлением при возврате.

Кроме того, это реле используется для размыкания контактом $17РПп_1$ цепи первой ступени защиты и для исключения контактом $17РПп_2$ блокирования при качаниях второй ступени защиты (при установке перемычки между зажимами *151* и *131*).

Для предупреждения преждевременного возврата реле *17РПп* в обесточенное положение и разрыва цепи первой ступени до срабатывания выходного реле *10РПВ* в реле *17РПп* предусмотрена последовательная обмотка, удерживающая его при наличии тока в цепи отключения от первой ступени.

В схеме предусмотрена возможность увеличения времени возврата реле *17РПп*, что может быть осуществлено шунтированием рабочей обмотки реле *17РПп* сопротивлением *17СД*.

5. Для размножения контакта пускового органа предусмотрено реле *17РПт*, которое контактом $17РПт_1$ размыкает цепь обмотки переключающего реле *17РПп*. а контактом $17РПт_2$ пускает реле времени третьей ступени *7РВ*.

6. Реле *9РПф* с замедлением при возврате запускается при срабатывании реле сопротивления *4РС* дистанционного органа или при одновременном срабатывании реле сопротивления *5РС* дистанционного органа и блокировки при качаниях, при этом контактом $9РПф_1$ шунтируется контакт блокировки $8РПб_1$ и тем самым обеспечивается возможность действия второй ступени защиты на выходное реле после размыкания контакта $8РПб_1$. Кроме того, контактом $9РПф_3$ реле замыкает цепь обмотки реле времени второй ступени *6РВ*, а контактом $9РПф_2$ осуществляет фиксацию срабатывания дистанционного органа (с помощью пусковых органов) в первый момент короткого замыкания в зоне, охватываемой второй ступенью защиты («мгновенный замер»), при установке перемычки между зажимами *113* и *129*.

Замедление при возврате реле *9РПф* необходимо для случая отсутствия «мгновенного замера» (снята перемычка между зажимами *113* и *129*) при переходе двухфазного короткого замыкания в трехфазное в зоне, охватываемой второй ступенью защиты, если контакт реле *4РС* разомкнется раньше, чем замкнется контакт реле *5РС*. В этом случае при выполнении *9РПф* без замедления возможен возврат реле *9РПф*, а следовательно, и реле времени второй ступени.

Следует отметить, что увеличение времени возврата реле *9РПф* свыше 0,1 *сек* нежелательно, так как это может привести к неправильному срабатыванию второй ступени защиты при асинхронном ходе и качаниях с малым периодом, развившихся в процессе отключения внешнего короткого замыкания, если центр качаний находится в зоне действия второй ступени защиты. При этом из-за большого времени возврата реле *9РПф* реле времени *6РВ* может остаться в сработавшем состоянии, и при срабатывании реле дистанционного органа (*4РС*, *5РС*) произойдет неправильное срабатывание защиты.

---

* В настоящее время снята с производства.

Однако следует иметь в виду, что на предусмотренном в панели в качестве *9ПРф* реле типа РП-252 время возврата может быть выполнено меньше 0,3 *сек* только при специальной регулировке.

7. Устройство блокировки при качаниях типа КРБ-122 имеет пуск от токов обратной и нулевой последовательностей. Пусковой орган устройства состоит из фильтра тока обратной последовательности, промежуточных трансформаторов $8ТН_0$, *8ТНт*, $8ТН_2$, выпрямителей $8В_1$, $8В_2$ и $8В_3$ и поляризованного реле *8ПР*. Исполнительный орган устройства блокировки представляет собой группу промежуточных реле в цепи постоянного тока (реле *8РПб*, *8РПв* и *8РВ*) и реле напряжения переменного тока *8РН1*. Устройство блокировки при качаниях блокирует первую и вторую ступени при симметричных коротких замыканиях контактом $8РПб_1$ и первую ступень при несимметричных коротких замыканиях контактом $8РПб_2$, т. е. вводит соответствующие цепи на время, достаточное для срабатывания дистанционного органа (порядка 0,3 *сек*), и, если срабатывания не произошло, блокирует их. При этом блокирование первой ступени при несимметричных коротких замыканиях может быть выведено при установке перемычки между зажимами *131-143*, а блокирование второй ступени при симметричных коротких замыканиях может быть выведено при установке перемычки между зажимами *151-131*.

Блокирование защиты контактами $8РПб_1$ и $8РПб_2$ может привести к отказу блокируемой ступени в случае перехода однофазного замыкания в многофазное (разд. А, п. 13). Указанное будет иметь место, если при однофазном замыкании не сработают реле сопротивления *4РС* и *5РС*, а указанный переход произойдет после размыкания контактов $8РПб_1$ и $8РПб_2$.

В схеме предусматривается возможность выполнения возврата устройства блокировки при качаниях в исходное положение:

а) с заданной выдержкой времени с помощью реле времени *8РВ*;

б) непосредственно после отключения короткого замыкания на участке, где установлена рассматриваемая защита, с помощью замыкающего контакта $17РПу_3$ реле ускорения защиты, на упомянутом участке, а также на близлежащих участках с помощью замыкающего контакта *8РН1* реле напряжения. При этом должны быть установлены соответственно перемычки между зажимами *124* и *104* или *126* и *104*.

Для повышения чувствительности реле *8РН1* при удаленных трехфазных коротких замыканиях в цепь его обмотки введен замыкающий контакт $8РПб_3$. Последний заставляет реле *8РН1* работать при каждом запуске устройства блокировки при качаниях независимо от значения остаточного напряжения.

Контакты $8РПб_6$ и $8РПв_2$ используются для подведения постоянного оперативного тока к защите при срабатывании устройства блокировки при качаниях, а контактом $8РПв_4$ присоединяется параллельно обмотке поляризованного реле *8ПР* добавочное сопротивление $8СД_6$. Последнее выполнено для увеличения коэффициента возврата реле *8ПР*.

Ввиду того что устройство блокировки при качаниях типа КРБ-122 по принципу своего действия вводит защиту в работу только при наличии в линии тока обратной последовательности (и не может подействовать в нормальном нагрузочном режиме как при повреждении цепей напряжения, так и при отключении трансформатора напряжения — разд. А, п. 10), в панели типа ПЗ-158 заводом не предусмотрено устройство блокировки для выведения защиты при повреждении цепей напряжения.

Однако для сигнализации указанной неисправности (поскольку она может привести к неправильному срабатыванию защиты при внешнем коротком замыкании) целесообразно дополнительно установить на панели защиты блокирующее устройство типа КРБ-12, как это и показано в схеме.

Следует отметить, что для предотвращения отказа третьей ступени защиты (при использовании возврата блокировки при качаниях с заданной выдержкой времени, разд. А, п. 11), возможного при запуске блокировки при качаниях до возникновения повреждения (например, из-за работы разрядников) и последующем трехфазном коротком замыкании, возникшем через время, близкое (но меньшее) времени возврата блокировки при качаниях, целесообразно включить замыкающий контакт реле *17РПт* параллельно контактам $8РПб_6$ и $8РПв_2$ реле блокировки при качаниях (как это выполнено в схеме защиты по рис. 3). Включение контакта реле *17РПт* предотвращает при наличии повреждения снятие плюса оперативного постоянного тока с защиты после возврата устройства блокировки при качаниях.

В тех случаях, когда при выполнении возврата устройства блокировки при качаниях непосредственно после отключения короткого замыкания не удается обеспечить чувствительность к трехфазным коротким замыканиям реле напряжения *8РН1* (разд. А, п. 11,б), целесообразно вместо замыкающего контакта *8РН1* параллельно обмотке реле времени *8РВ* включить размыкающий без выдержки времени контакт реле времени *7РВ*, что предотвращает возврат устройства блокировки до отключения короткого замыкания вне зависимости от значения остаточного напряжения на шинах подстанции.

8. В схеме предусмотрена возможность ускорения второй или третьей ступени защиты после включения выключателя. Указанное осуществляется контактами реле ускорения *17РПу*, имеющего замедление при возврате.

Следует учитывать, что целесообразно ускорять вторую ступень защиты, если она надежно (обеспечивает при коротком замыкании в конце защищаемой линии значение коэффициента чувствительности $k_ч \geqslant 1{,}25$) защищает рассматриваемую линию.

При ускорении второй ступени защиты целесообразно в соответствии с разд. А, п. 16 дистанционные органы защиты переключать на уставку второй ступени до включения выключателя. Для этого в цепь обмотки реле переключения дистанционных органов *17РПп* должен вводиться размыкающий контакт реле ускорения *17РПу* (как это выполнено в схеме защиты по рис. 3).

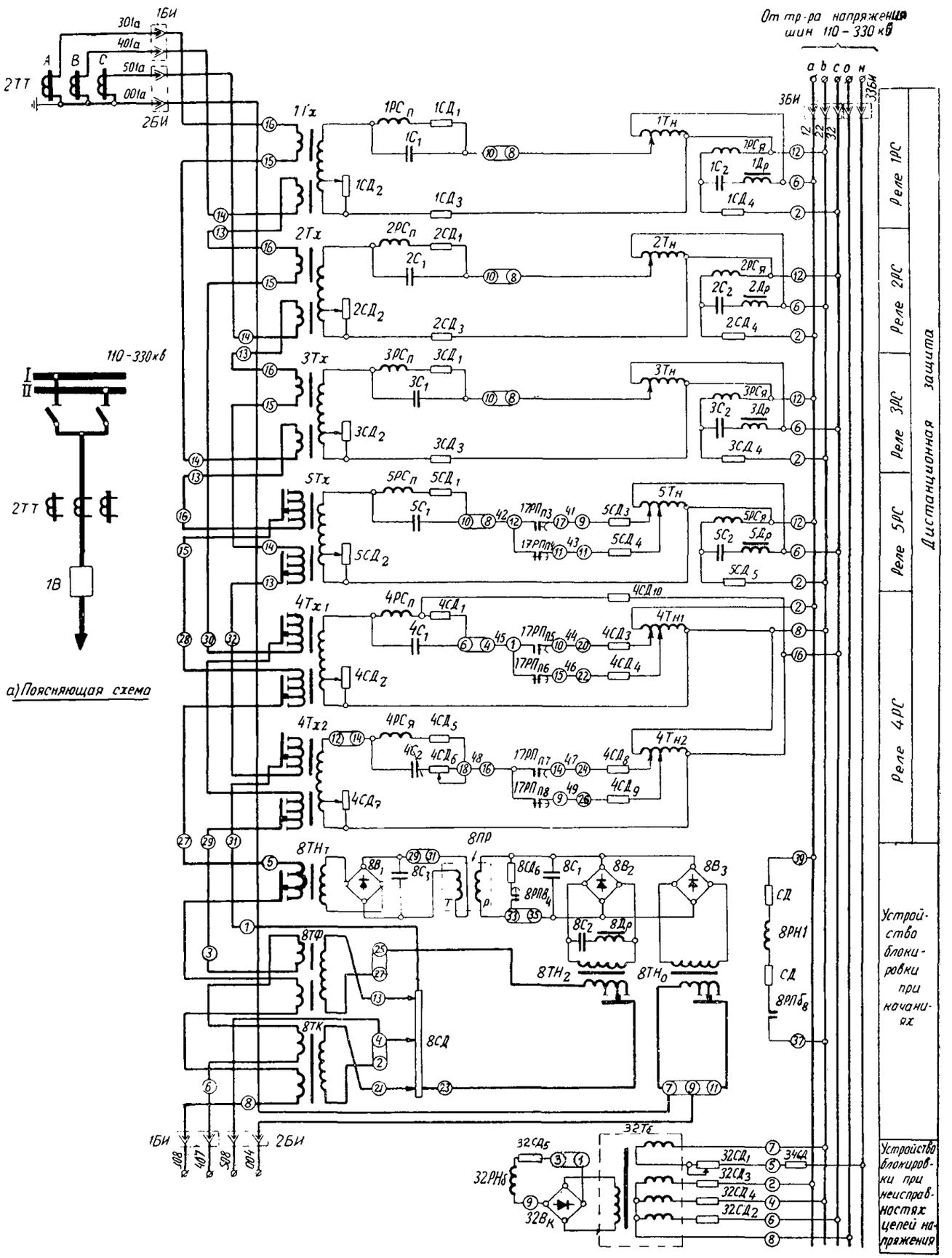
При ускорении второй ступени защиты в случаях, когда возврат устройства блокировки при качаниях осуществляется с заданной выдержкой времени, контакт $17РПу_2$ должен присоединяться до контактов блокировки, т. е. к зажиму *151*.

9. В случаях, если выдержка времени второй ступени защиты порядка 0,6 *сек* и меньше, целесообразно заменить реле *6РВ* типа ЭВ-124 на реле типа ЭВ-114, поскольку на реле типа ЭВ-124 затруднительно выполнять столь малую выдержку времени.

10. Выходное промежуточное реле *10РПВ* имеет удерживающие обмотки в цепях отключения. Замедление при срабатывании этого реле осуществляется с помощью демпфирующей обмотки, в цепи которой находится размыкающий контакт $10РПВ_1$. Такое включение демпфирующей обмотки не вызывает замедления реле при его возврате.

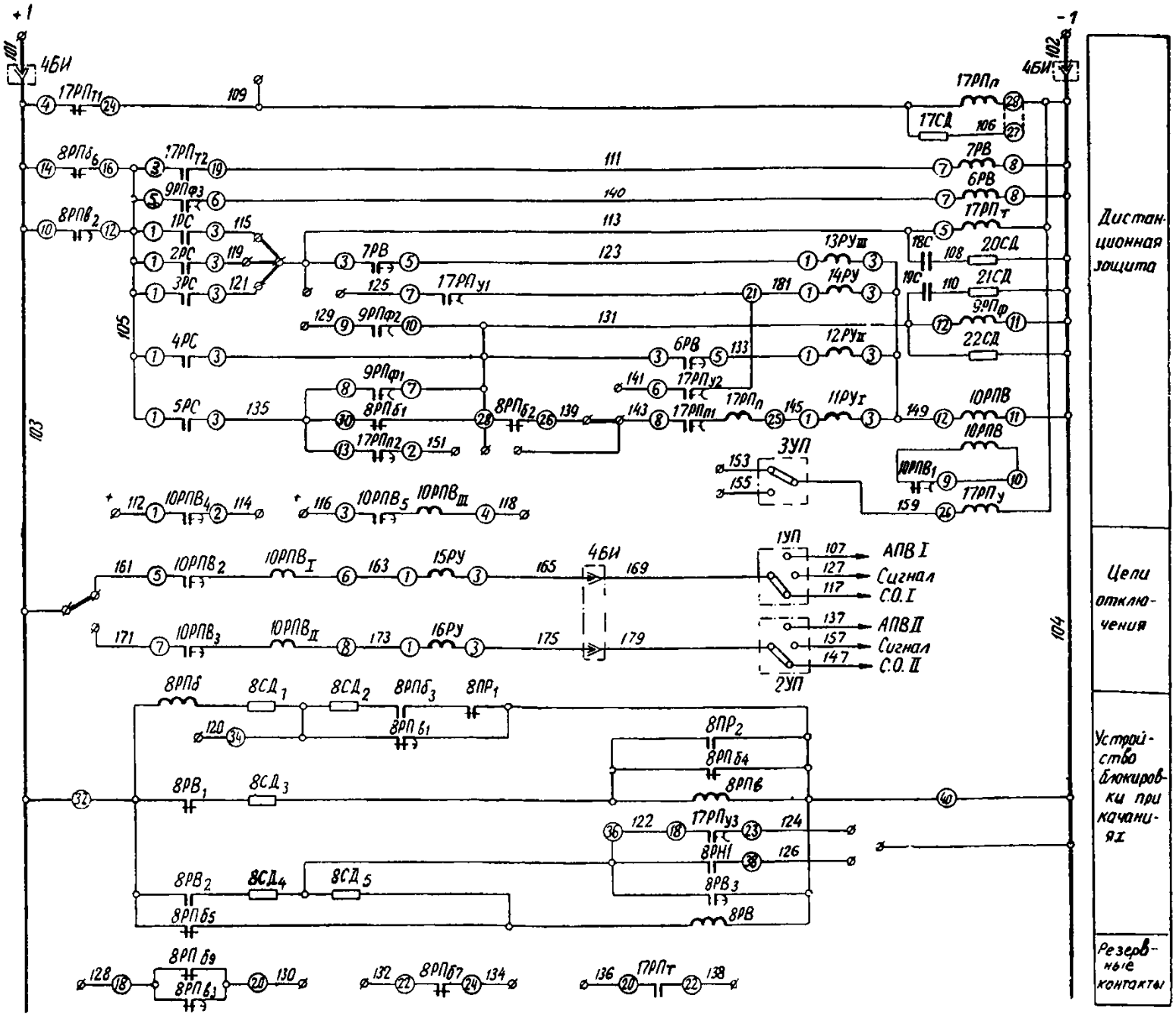
11. Указательные реле (*11РУ—16РУ*) установлены во всех трех ступенях защиты, в цепи ускорения защиты после включения выключателя, а также в ее выходных цепях.

Для предотвращения неправильного срабатывания указательного реле первой ступени при действии защиты по цепи ускорения третьей ступени после включения выключателя следует увеличить сопротивление цепи

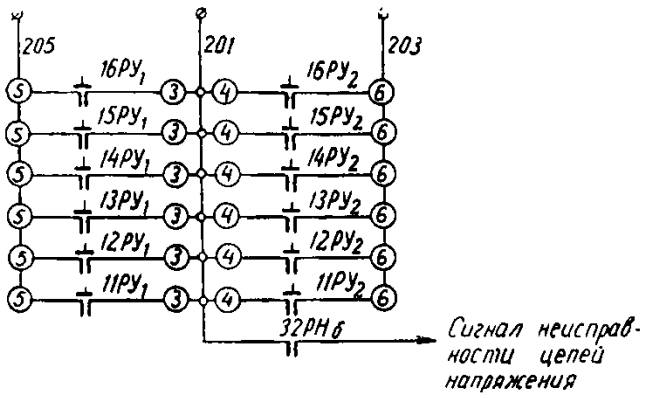


а) Поясняющая схема

б) Схема цепей переменного тока и напряжения



в) Схема цепей оперативного постоянного тока



г) Схема цепей сигнализации

Рис. 1. Схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-158.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-132; *4РС* — реле сопротивления типа КРС-121; *5РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *6РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *7РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *8* — устройство блокировки при качаниях типа КРБ-122; *32* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *9РПф* — реле промежуточное типа РП-252; *10РПВ* — реле промежуточное типа РП-253; *11РУ—14РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *15РУ, 16РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *17* — комплект реле; *1УП—3УП* — устройства переключающие; *1БИ—4БИ, 33БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *18С, 19С* — конденсаторы 0,5 *мкф*; *20СД, 21СД* — сопротивления добавочные 500 *ом* типа ПЭ; *22СД* — сопротивление добавочное 8 000 *ом* типа ПЭ; *34СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-20.

Примечания:

1. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК.469.252.01 с сохранением основных обозначений, использованных заводом.
2. Устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12 устанавливается на панели типа ПЗ-158 дополнительно.

реле *9РПф* и уменьшить сопротивление цепи реле *10РПВ*, для чего сопротивление *22СД* должно быть включено параллельно основной обмотке реле *10РПВ*; при этом должны быть также изменены параметры указательных реле *11РУ—14РУ* (на такие, как в схеме защиты по рис. 3).

12. При установке на подстанции устройства резервирования при отказе выключателей (УРОВ) необходимо шунтировать контакт устройства блокировки при качаниях $8РПб_2$ в цепи отключения от первой ступени защиты для обеспечения надежного замыкания цепи от рассматриваемой ступени защиты на УРОВ в случае неисправности цепи отключения и возможного в этом случае возврата выходного промежуточного реле *10РПВ*. Для шунтирования контакта $8РПб_2$ может быть использован замыкающий контакт $10РПВ_4$, выведенный на сборку зажимов (зажимы *112* и *114*).

Схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-157 * (рис. 2)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двусторонним питанием вместо защиты по рис. 1, когда устройство блокировки при качаниях типа КРБ-122 не удовлетворяет требованию чувствительности.

2. Схема отличается от схемы защиты по рис. 1 принципиально только тем, что вместо устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 в ней использовано устройство типа КРБ-121, имеющее пуск от напряжения обратной последовательности и тока нулевой последовательности, и в дополнение к нему устройство типа КРБ-11, блокирующее защиту при неисправностях цепей напряжения.

Установка устройства блокировки при неисправностях цепей напряжения необходима в связи с применением в защите устройства блокировки при качаниях типа КРБ-121, которое может сработать при повреждении цепей напряжения (разд. А, п. 10).

3. Пусковой орган устройства блокировки при качаниях типа КРБ-121 состоит из фильтра напряжения обратной последовательности, промежуточных трансформаторов *8СтТ* и $8Тн_0$, выпрямителей $8В_1$, $8В_2$ и поляризованного реле *8РН*. Исполнительный орган устройства блокировки представляет собой группу промежуточных реле в цепи постоянного тока (*8РПб*, *8РПв* и *8РВ*) и реле напряжения переменного тока *8РН1*, назначение которых принципиально соответствует таким же реле устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 схемы по рис. 1.

4. В схеме предусматривается удерживание реле времени *6РВ* второй ступени от контакта $16РПт_2$ через добавочное сопротивление $16СД_1$. Указанное предотвращает возможность «сброса» времени реле *6РВ* при переходах двухфазных коротких замыканий в трехфазные, если при этом контакт реле *4РС* разомкнется раньше, чем замкнется контакт реле *5РС*, и не используется фиксация срабатывания дистанционного органа в первый момент короткого замыкания («мгновенный замер»). Однако в рассматриваемом случае возможен отказ защиты, если переход двухфазного короткого замыкания в трехфазное произойдет после размыкания контакта $8РПб_1$.

Для предотвращения указанного должно предусматриваться одно из следующих мероприятий:

а) использование в качестве реле *9РПф* реле с замедлением при возврате, как это сделано в панели защиты типа ПЗ-158; при этом для снижения вероятности неправильного срабатывания защиты с временем второй ступени при асинхронном ходе и качаниях с малым периодом (описание схемы по рис. 1, п. 6) время возврата реле следует принять порядка 0,1 *сек*;

б) установка перемычки *123-131* и введение в схему размыкающего без замедления контакта $6РВ_2$ реле времени второй ступени, как это показано на схеме; установка перемычки необходима для обеспечения самоудерживания реле *9РПф* контактом $9РПф_2$ при переходах двухфазных коротких замыканий в трехфазные, а введение в схему размыкающего контакта $6РВ_2$ требуется для исключения «мгновенного замера».

Следует отметить, что при изменении схемы по п. «б» исключается возможность неправильного срабатывания второй и третьей ступеней защиты при качаниях с малым периодом, которые могут возникнуть после отключения внешнего короткого замыкания (что возможно при изменении схемы по п. «а», если реле *9РПф* не будет успевать возвращаться в исходное положение в конце каждого периода качаний), однако, как и при изменениях схемы по п. «а», не исключается возможность неправильного срабатывания второй ступени защиты при качаниях с большим периодом (в первом периоде после отключения внешнего короткого замыкания).

5. В схеме предусматривается увеличение времени срабатывания выходного реле *10РПВ* при действии трубчатых разрядников замыканием цепи его демпферной обмотки с помощью замыкающего контакта реле тока $17РТ_0$, включенного на ток нулевой последовательности.

Однако указанное увеличение времени срабатывания реле *10РПВ* будет иметь место, как правило, и при междуфазных коротких замыканиях, поскольку при выборе тока срабатывания реле $17РТ_0$ по условию отстройки от токов небаланса при этих повреждениях реле было бы недостаточно чувствительным при действии разрядников.

Схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-159А (рис. 3)

1. Панель защиты типа ПЗ-159 выпускается Чебоксарским электроаппаратным заводом в двух модификациях взамен панели дистанционной защиты типа ПЗ-158:

а) с устройством блокировки при качаниях типа КРБ-124 (панель ПЗ-159А);

б) с устройством блокировки при качаниях типа КРБ-123 (панель ПЗ-159Б).

Ниже дано описание, а на рис. 3 — чертеж модификации по п. «а».

2. Защита имеет ту же область применения, что и защита по рис. 1 или 2, в зависимости от принятой модификации.

3. Схема защиты по сравнению с приведенной на рис. 1 имеет следующие особенности:

а) В качестве реле *9РПф* используется реле с временем возврата 0,15—0,17 *сек* и предусматривается введение в цепь пуска реле времени второй ступени *6РВ* замыкающего контакта $17РПт_3$. Указанное предотвращает возможность неправильного срабатывания второй ступени защиты при асинхронном ходе и качаниях (с центром в зоне, охватываемой второй ступенью защиты), которые могут развиться в процессе отключения внешнего короткого замыкания. Неправильное срабатывание защиты в рассматриваемом случае предотвращается возвратом реле времени *6РВ*, который осуществляется: размыканием контакта $17РПт_3$ — при качаниях с малым периодом и асинхронном ходе, когда реле *9РПф* может не успевать возвращаться в исходное по-

* В настоящее время снята с производства.

ложение в конце каждого периода, и размыканием контакта $9РПф_3$ через время 0,15—0,17 *сек* после возврата реле (*4РС—5РС*) дистанционного органа — при качаниях с большим периодом, когда реле *17РПт* может еще удерживаться контактами реле более чувствительного пускового органа. Вместе с тем наличие контакта $17РПт_3$ позволяет устанавливать на реле *9РПф* времена на возврат большие, чем те времена, которые обеспечивают правильное срабатывание защиты при асинхронном ходе и качаниях с малым периодом в схеме по рис. 1 (описание схемы по рис. 1, п. 6). Указанное увеличивает надежность действия защиты при переходе двухфазного короткого замыкания в трехфазное в зоне, охватываемой второй ступенью защиты.

б) Предусмотрено устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12, замыкающий контакт ($23РНб_2$) которого используется для сигнализации исчезновения переменного напряжения на панели защиты, а размыкающий контакт ($23РНб_1$), включаемый при замыкании перемычки *183-105* параллельно контактам $8РПб_6$, $8РПв_2$ и $17РПт_2$, используется для подведения постоянного оперативного тока к защите, когда чувствительность пускового органа блокировки при качаниях типа КРБ-124 недостаточна при коротком замыкании в конце зоны, охватываемой третьей ступенью защиты (т. е. в конце защищаемого участка или зоны резервирования).

В применяемом устройстве типа КРБ-12 сопротивление $23СД_1$ в цепи обмотки нулевой последовательности промежуточного трансформатора увеличено в 3 раза за счет сопротивления *24СД*. Указанное обусловлено тем, что в заводском исполнении устройство типа КРБ-12 предназначено для использования в сетях с малым током замыкания на землю, а отношение вторичных фазных напряжений обмоток, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник, для трансформаторов напряжения, используемых в указанных сетях, в 3 раза больше, чем для трансформаторов напряжения, используемых в сетях с большим током замыкания на землю.

Следует отметить, что в модификации защиты по п. 1,б используется размыкающий контакт $23РНб_1$ для предотвращения неправильного срабатывания защиты при неисправностях цепей напряжения, при этом контакты $8РПб_6$, $8РПв_2$ и $17РПт_2$ из схемы исключаются.

в) В цепь обмотки реле *17РПп*, осуществляющего переключение в цепях напряжения дистанционного органа защиты для перехода с уставки первой на уставку второй ступени, введен размыкающий контакт $17РПу_4$ реле ускорения для переключения указанного органа на уставку второй ступени до включения выключателя при ускорении второй ступени рассматриваемой защиты. При ускорении третьей ступени защиты после включения выключателя указанный контакт шунтируется перемычкой.

г) В цепи подведения постоянного оперативного тока к защите параллельно контактам $8РПб_6$ и $8РПв_2$ включен замыкающий контакт $17РПт_2$ для предотвращения отказа третьей ступени защиты (при использовании возврата блокировки при качаниях с заданной выдержкой времени, разд. А, п. 11), возможного при запуске блокировки при качаниях до возникновения повреждения (например, из-за работы разрядников) и последующем трехфазном коротком замыкании, возникшем через время, близкое (но меньшее) времени возврата блокировки.

д) Тормозная обмотка пускового органа (реле *8ПР*) блокировки при качаниях типа КРБ-124 шунтирована размыкающим контактом реле $8РПв$ для предотвращения возврата реле *8ПР* в момент шунтирования его рабочей обмотки контактом $8РПв_4$ через сопротивление $8СД_6$ при несимметричном коротком замыкании и наличии тормозного тока.

Указанное необходимо в связи с тем, что при выполнении устройства блокировки при качаниях с возвратом непосредственно после отключения короткого замыкания (установлена перемычка между зажимами *126-104*) и возникновении несимметричного короткого замыкания при возврате реле *8ПР* будет иметь место многократный запуск и возврат схемы (через время возврата реле $8РПв$), если к реле *8РН* будет подведено напряжение между поврежденной и неповрежденной фазами.

Сопротивление $8СД_6$ выбрано таким образом, чтобы в рассматриваемом случае (несимметричное короткое замыкание при наличии торможения) реле не возвращалось бы при любых значениях тормозных и рабочих токов, соответствующих срабатыванию.

е) Предусмотрена возможность шунтирования выпрямительного моста $8В_1$ устройства блокировки при качаниях типа КРБ-124 перемычкой на зажимах реле *8ПР* устройства блокировки. Указанное необходимо для ликвидации возможных перенапряжений на промежуточном трансформаторе *8ТНт* при размыкании тормозной обмотки реле *8ПР*.

ж) Сопротивление *22СД* включено параллельно основной обмотке выходного промежуточного реле *10РПВ*, и изменены параметры указательных реле *11РУ—14РУ*. Это исключает неправильное срабатывание указательного реле первой ступени (*11РУ*) при действии защиты по цепи ускорения третьей ступени после включения выключателя, как это имело место в схеме по рис. 1 (описание схемы по рис. 1, п. 11).

з) Предусмотрена возможность использования второй и третьей ступеней защиты для действия с высокочастотной блокировкой. Для возможности использования второй ступени защиты выведен на сборку зажимов замыкающий контакт $9РПф_4$, и предусмотрена возможность разрыва цепи обмотки реле *17РПп* (для исключения времени переключения защиты с уставки первой на уставку второй ступени) переключателем ввода высокочастотной блокировки, который включается в разрыв между зажимами *167-177*. Для возможности использования третьей ступени выведен на сборку зажимов замыкающий контакт реле *17РПт* (зажимы *136* и *138*).

и) Предусмотрена возможность использования замыкающего контакта $8ПР_2$ реле устройства блокировки при качаниях в схемах резервных защит. Для этого разорвана цепь указанного контакта, а концы выведены на сборку зажимов.

к) Предусмотрена возможность выполнения времени повторной готовности к действию устройства блокировки при качаниях свыше 9 *сек*, для чего в качестве реле времени *8РВ* устройства блокировки использовано реле типа ЭВ-144, а не реле типа ЭВ-134, как в схеме по рис. 1.

4. Указанные в п. 3 особенности выполнения схемы защиты повышают надежность ее действия по сравнению со схемами защиты по рис. 1 и 2.

Схема двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий, токовой защиты обратной последовательности, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линии 110—330 *кв*, выполненных с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-624-64 * (рис. 4)

1. Дистанционная защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двусторонним питанием и может использоваться как в ка-

* Схема дана по предварительному чертежу, выданному Минскому электротехническому заводу.

честве основной, так и в качестве резервной для ближнего и дальнего действия (с характеристиками по рис. 16,*г—з*).

2. Двухступенчатая дистанционная защита осуществлена с помощью трех реле сопротивления *1РС—3РС* типа КРС-131, переключаемых с уставки первой

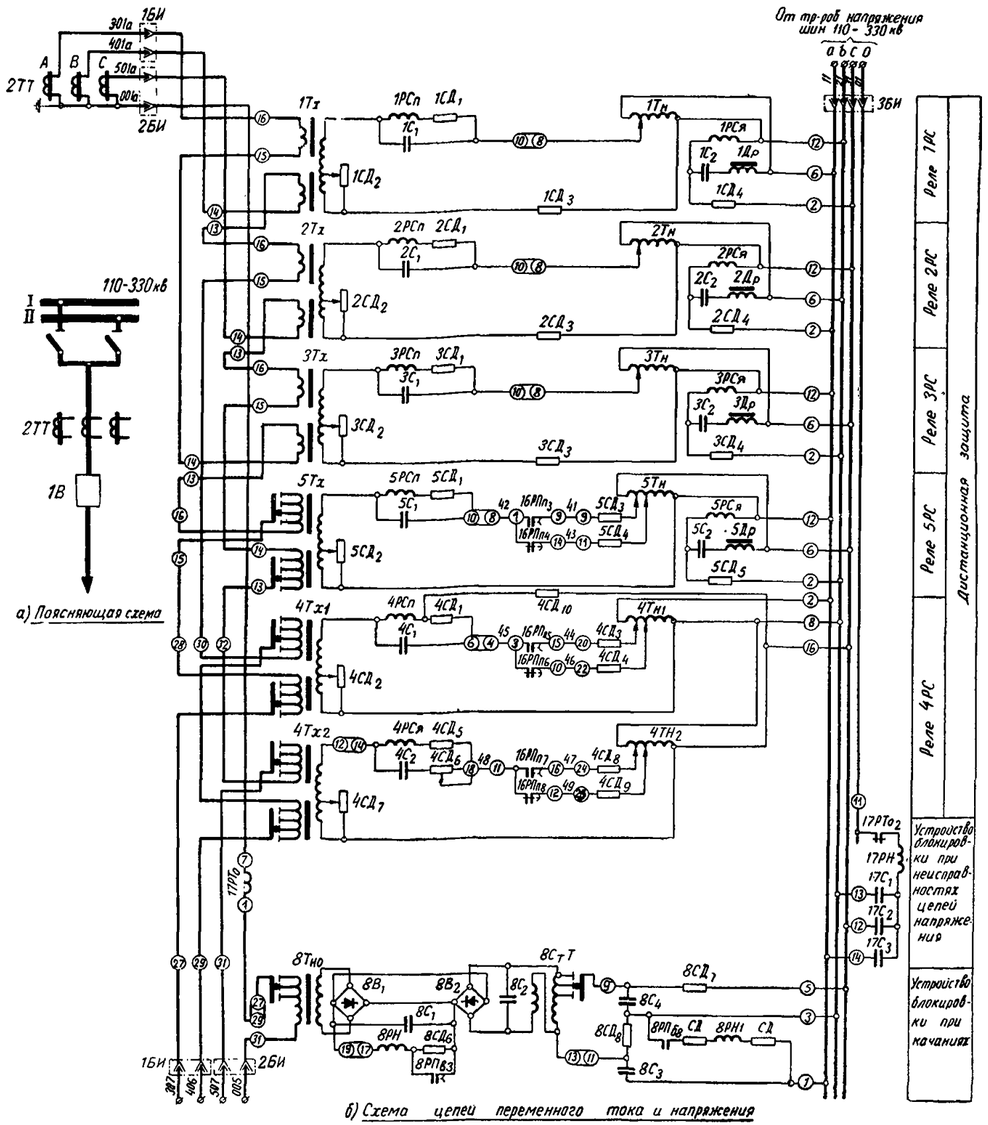


Рис. 2. Схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-157.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-132; *4РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *5РС* — реле сопротивления типа КРС-132; *6РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *7РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *8* — устройство блокировки при качаниях типа КРБ-121; *9РПф* — реле промежуточное типа РП-23; *10РПВ* — реле промежуточное типа РП-253; *11РУ—13РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *14РУ, 15РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *16* — комплект промежуточных реле; *17* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-11; *1УП—3УП* — устройства переключающие; *18ЛС* — лампа сигнальная типа ЛС-53; *18СД* — сопротивление добавочное 2 000 *ом* типа ПЭ; *19С, 20С* — конденсаторы 0,5 *мкф*; *21СД, 22СД* — сопротивления добавочные 500 *ом* типа ПЭ; *23СД* — сопротивление добавочное 8 000 *ом* типа ПЭ; *1БИ—4БИ* — блоки испытательные типа БИ-4.

Примечания:

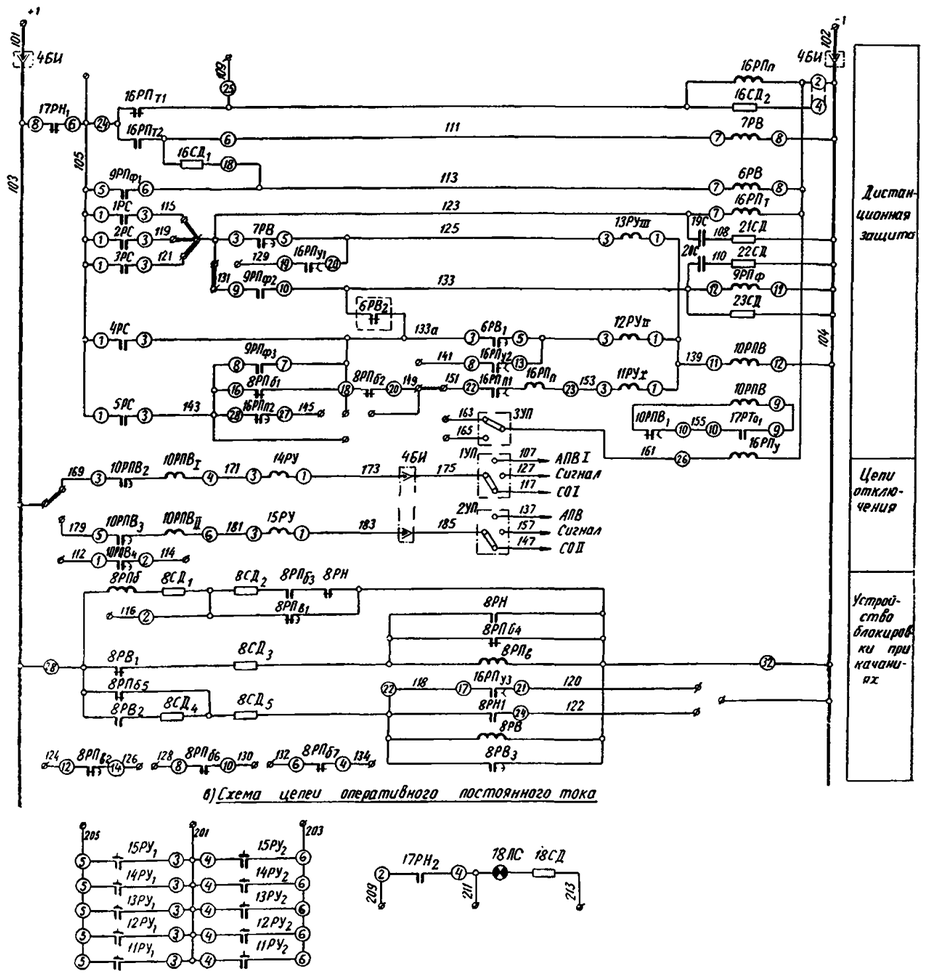
1. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК. 469.033.04 с сохранением основных обозначений, использованных заводом.

2. Размыкающий контакт $6PB_2$ реле времени, очерченный штриховой линией, и перемычка между зажимами *123-131* панели устанавливаются для предотвращения отказа защиты при переходах двухфазных коротких замыканий в трехфазные, если при этом контакт реле *4РС* разомкнется раньше, чем замкнется контакт реле *5РС*, и не используется «мгновенный замер» (см. описание схемы).

на уставку второй ступени и блокировки при качаниях типа КРБ-124.

В схеме предусмотрена возможность выполнения первой ступени защиты как без выдержки, так и с выдержкой времени.

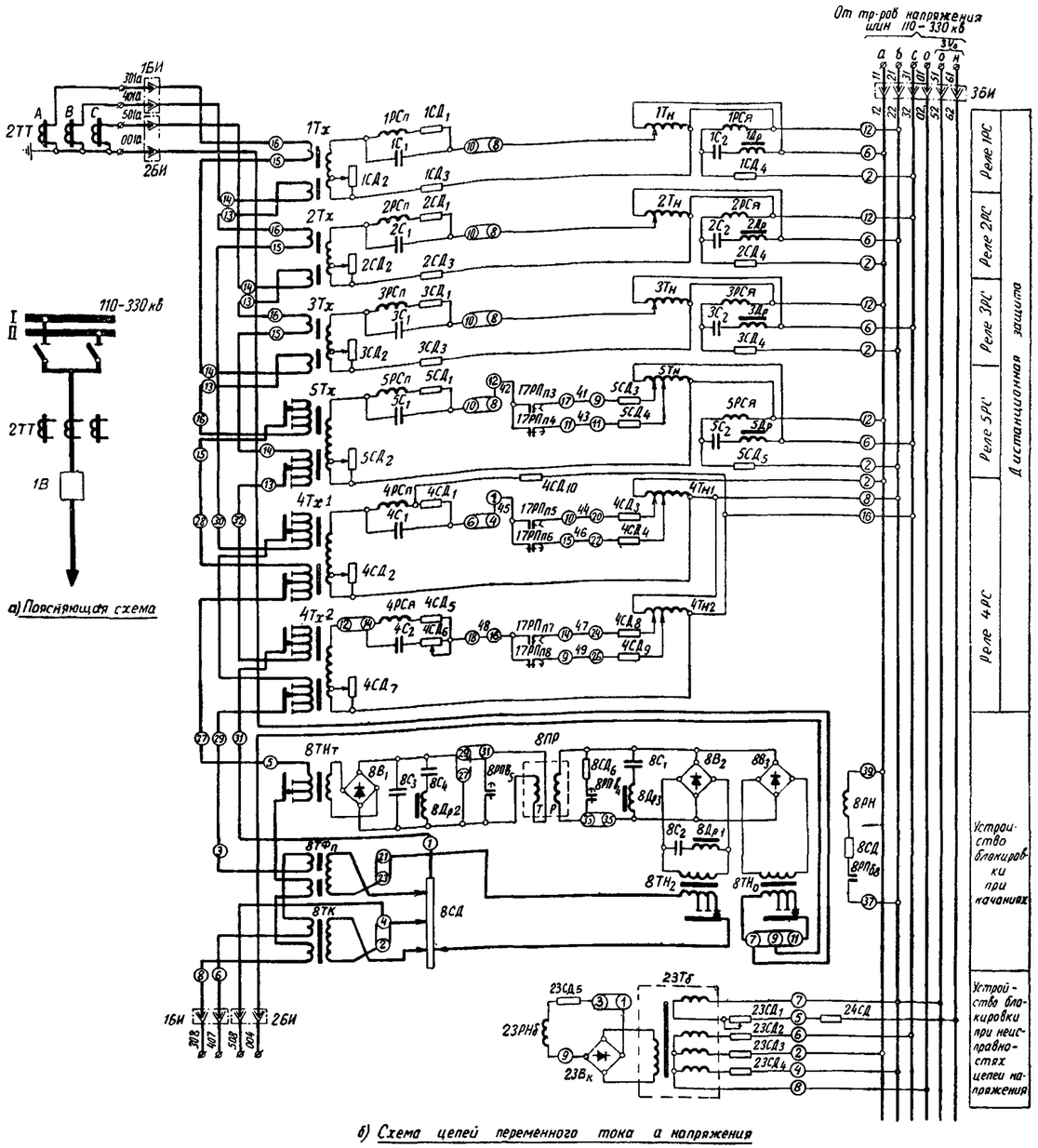
При выполнении первой ступени защиты без выдержки времени предусмотрена возможность выполнения второй ступени защиты с двумя выдержками времени, при этом вторая ступень защиты с меньшей выдержкой времени (выполняется с помощью контакта $1PVB_2$) блокируется при качаниях, а с большей (отстроенной по времени от цикла качаний и выполняемой с помощью контакта $1PVB_1$) не блокируется при качаниях. Такое выполнение второй ступени защиты предотвращает возможность отказа в действии второй ступени защиты, блокируемой при качаниях, в случае перехода однофазного замыкания в многофазное. Указанный отказ имел бы место, если бы при однофазном замыкании не сработали реле сопротивления *1РС—3РС*, а переход в многофазное произошел после размыкания кон-



ких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-157.

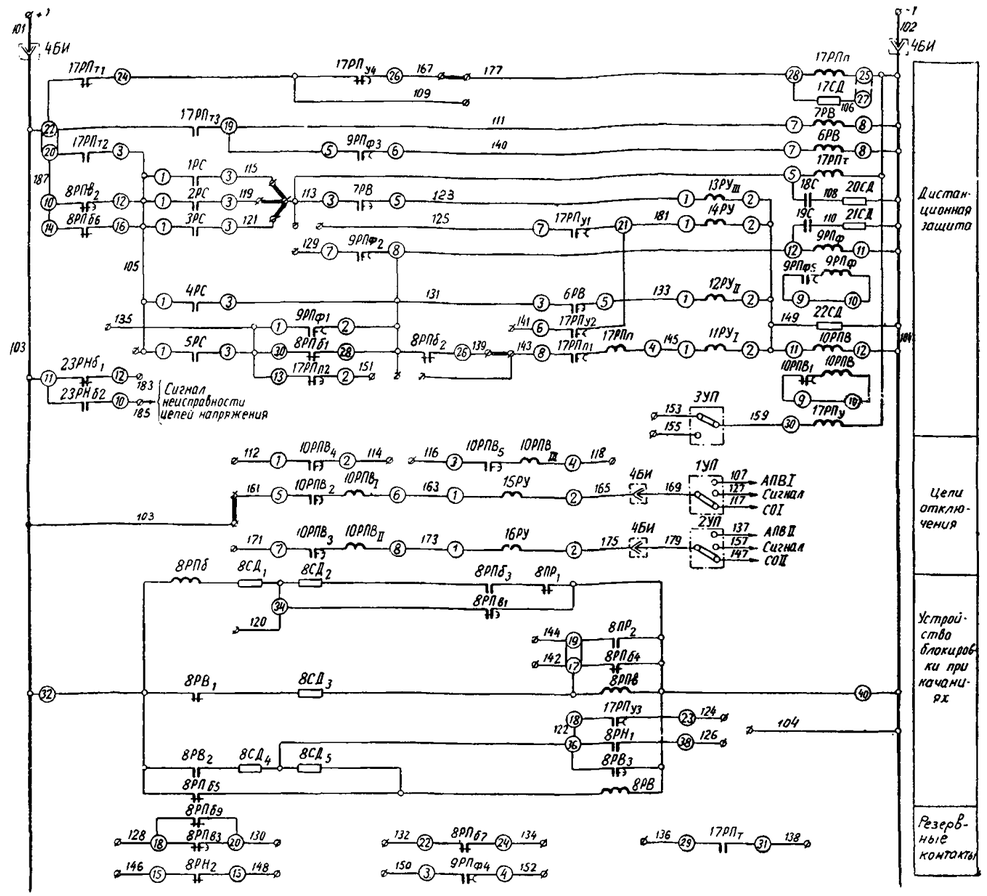
ния типа КРС-121; *5РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *6РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *7РВ* — реле вре- *10РПВ* — реле промежуточное типа РП-253; *11РУ—13РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *14РУ, 15РУ* — реле напряжения типа КРБ-11; *1УП—3УП* — устройства переключающие; *18ЛС* — лампа сигнальная типа ЛС-53; *18СД* — 500 *ом* типа ПЭ; *23СД* — сопротивление добавочное 8 000 *ом* типа ПЭ; *1БИ—4БИ* — блоки испытательные типа БИ-4.

панели устанавливаются для предотвращения отказа защиты при переходах двухфазных коротких замыканий в

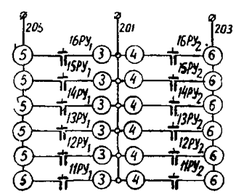


а) Поясняющая схема

б) Схема цепей переменного тока и напряжения



в) Схема цепей оперативного постоянного тока



г) Схема цепей сигнализации

Рис. 3. Схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-159А.

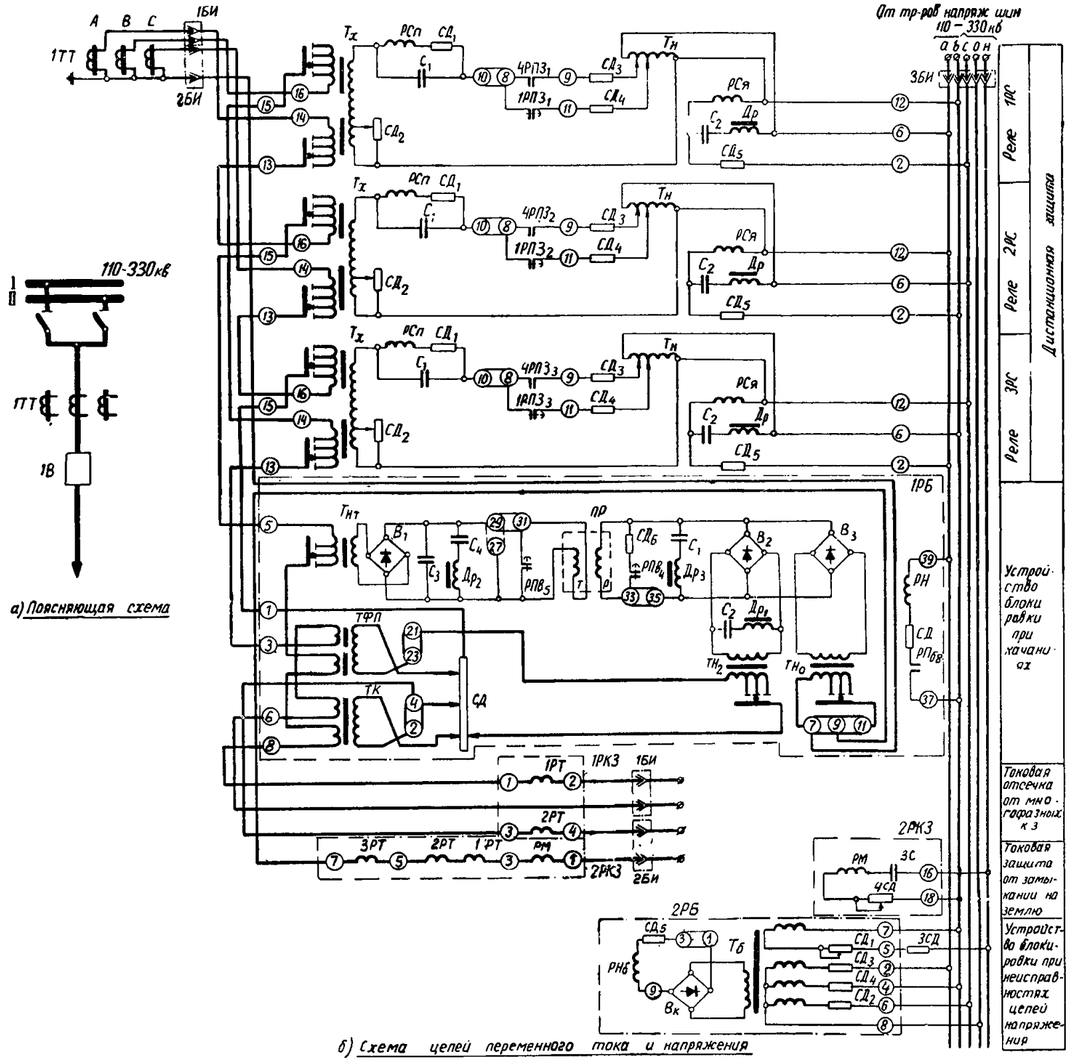
1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-132; *4РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *5РС* — реле сопротивления типа КРС-121; *6РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *7РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *8* — устройство блокировки при качаниях типа КРБ-124; *23* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *9РПф* — реле промежуточное типа РП-257; *10РПВ* — реле промежуточное типа РП-253; *11РУ—16РУ* — реле указательные типа РУ-21; *17* — комплект кодовых реле; *1УП—3УП* — устройства переключающие; *1БИ, 2БИ, 4БИ*—блоки испытательные типа БИ-4; *3БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *18С, 19С* — конденсаторы 0,5 *мкф*; *20СД, 21СД* — сопротивления добавочные 560 *ом* типа ПЭ-50; *22СД* — сопротивление добавочное 8 000 *ом* типа ПЭ-50; *24СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-20.

Примечание. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 2 инструкции по монтажу и эксплуатации ОБК. 469.353.01 с сохранением основных обозначений, использованных заводом.

такта $РПб_6$ устройства блокировки при качаниях (п. 3).

Перемычки на схеме показаны: сплошными линиями для случая выполнения первой ступени защиты без выдержки времени, а второй — с двумя выдержками времени; штриховыми линиями для случая выполнения первой и второй ступеней с выдержкой времени, при этом отключающее устройство *1УО* должно быть снято. В последнем случае вторая ступень защиты может не блокироваться при качаниях (должна быть отстроена по времени от цикла качаний), для этого в цепи контакта $1РВЗ_1$ должна быть снята перемычка, показанная штриховой линией, и установлена перемычка, показанная сплошной линией.

3. Устройство блокировки при качаниях типа КРБ-124 (разд. А, п. 10, см. также описание блокировки типа КРБ-122 и разд. Б, описание схемы по рис. 1, п. 7) контактом $РПб_6$ блокирует первую и вторую ступени



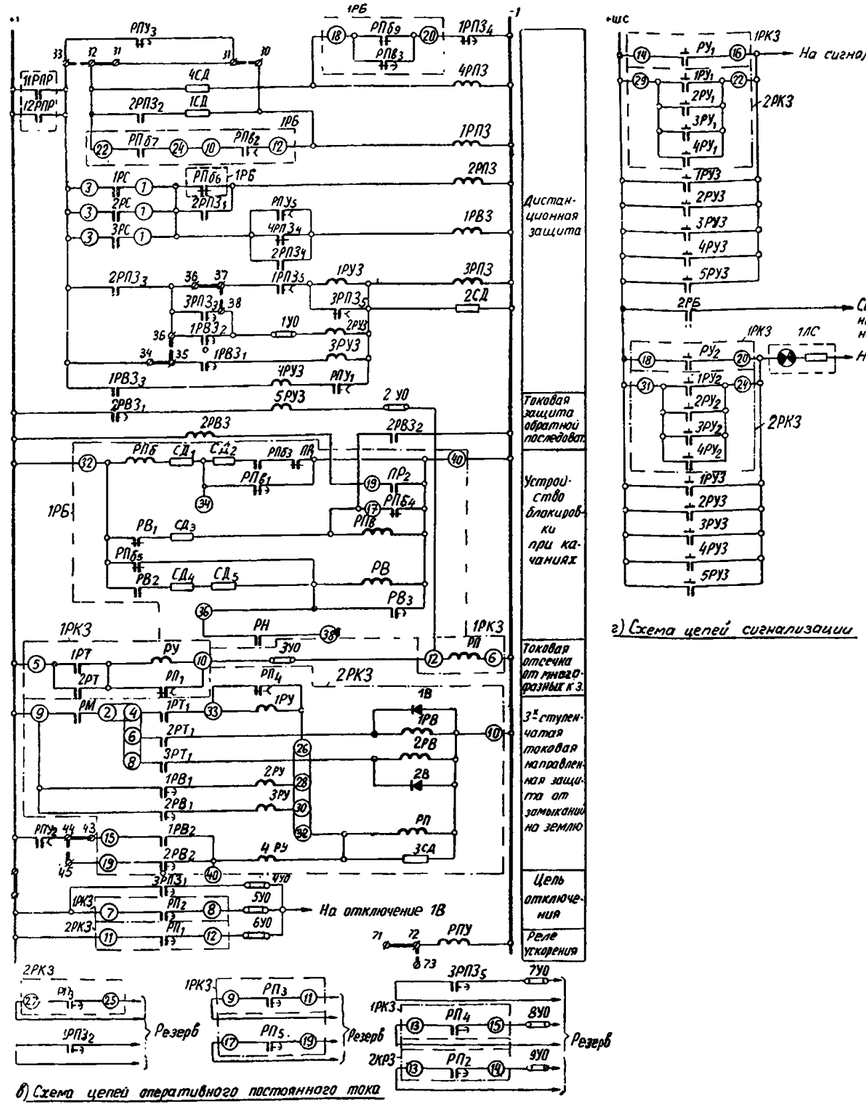


Рис. 4. Схема двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий, токовой ступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линии 110—330 *кв*,

1В — выключатель; *1ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *1РБ* — устройство блокировки при качаниях типа КРБ-124; *2РБ* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжений типа КРБ-12; *1РКЗ* — комплект защиты типа КЗ-1; *2РКЗ* — комплект защиты типа КЗ-5; *1РВЗ* — реле времени типа ЭВ-122; *2РПЗ* — реле промежуточное типа РП-212; *3РПЗ* — реле промежуточное типа РП-212 или РП-251; *4РПЗ* — реле промежуточное типа РП-23; реле указательные типа РУ-21/0,025; *5РУЗ* — реле указательное типа РУ-21/0,015; *1УО—9УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *1РУЗ—4РУЗ* — противление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-50; *4СД* — сопротивление добавочное 2 700 *ом* типа ПЭ-50; *1СД* — сопротивление добавочное 47 000 *ом* типа ПЭВ-50; *2СД* — сопротивление добавочное 3 900 *ом* типа ПЭ-50; *3СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-50; *1БИ, 2БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *3БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *1ЛС* — лампа сигнальная типа ЛС-220.

Примечания:

1. Схема выполнена с сохранением основных обозначений чертежа № 1646 ТМ-12а, выпущенного институтом Энергосетьпроект.
2. В устройстве блокировки при качаниях *1РБ* размыкающие контакты $РПб_7$ и $РПв_2$ должны быть заменены на замыкающие
3. *11РПР* и *12РПР* — контакты реле, срабатывающих при действии реле повторителей положения разъединителей линии.

защиты, т. е. вводит их на время, достаточное для срабатывания дистанционного органа (порядка 0,3 *сек*), и, если срабатывания не произошло, блокирует их.

Кроме того, устройство блокировки при качаниях также используется:

а) для управления промежуточным реле *1РПЗ*, осуществляющим вместе с реле *4РПЗ* переключение в цепях напряжения дистанционного органа для перехода с уставки первой на уставку второй ступени (п. 7);

б) для осуществления резервной токовой защиты обратной последовательности (п. 4).

Ввиду того что устройство блокировки при качаниях типа КРБ-124 вводит защиту в действие только при наличии в линии тока обратной последовательности, повреждения в цепях напряжения защиты, а также отключение трансформатора напряжения в нормальном нагрузочном режиме не вызывают неправильного срабатывания защиты.

4. В схеме предусмотрена возможность использования пускового органа устройства блокировки при качаниях в качестве резервной токовой защиты обратной последовательности, включенной на ток I_2 или $(|\dot{I}_2|+k|\dot{I}_0|)$.

Для этого в заводскую схему устройства блокировки при качаниях должны быть внесены следующие изменения (см. схему):

а) контакт $ПР_2$ поляризованного реле *ПР* использован для замыкания цепи обмотки реле времени *2РВЗ* токовой защиты обратной последовательности;

б) для шунтирования обмотки реле *РПВ* взамен контакта $ПР_2$ использован контакт $2РВЗ_2$ реле времени указанной защиты.

В токовой защите обратной последовательности предусмотрено отключающее устройство *2УО* для выведения этой защиты из действия (например, в случаях отсутствия необходимости в ней или трудности согласования ее с защитами смежных линий в связи с выполнением ее ненаправленной).

5. В части защиты от многофазных коротких замыканий схема может быть использована в трех вариантах:

а) для осуществления первой и второй дистанционных ступеней с характеристикой защиты *3* по рис. 16,*г* и токовой защиты обратной последовательности в качестве третьей ступени;

б) для осуществления второй и третьей дистанционных ступеней с характеристиками защиты *3* по рис. 16,*д*, *е* и *ж* с токовой отсечкой или комбинированной отсечкой по току и напряжению в качестве первой ступени;

в) для осуществления первой и второй дистанционных ступеней с характеристиками защиты *3* по рис. 16,*д—з*.

Использование защиты по варианту «а» допустимо в качестве основной и резервной, когда не требуется резервирования действия защиты и выключателя предыдущего участка (разд. А, п. 3).

В этом варианте первая ступень дистанционной защиты выполняется без выдержки времени (п. 2); токовая отсечка используется в качестве дополнительной защиты.

Использование защиты по варианту «б» целесообразно в качестве основной, когда требуется полноценное резервирование защиты и выключателя предыдущей линии; при этом первая ступень защиты может быть выполнена токовой отсечкой или комбинированной отсечкой по току и напряжению (в последнем случае дополнительно должны быть предусмотрены реле напряжения).

Использование защиты в качестве резервной по варианту «в» целесообразно в случае, когда тоже требуется полноценное резервирование защиты и выключателя предыдущей линии; при этом токовая отсечка используется в качестве дополнительной защиты.

6. Реле *2РПЗ* запускается при одновременном срабатывании дистанционного органа и устройства блокировки при качаниях, при этом контактом $2РПЗ_1$ шунтируется контакт устройства блокировки $РПб_6$ и тем самым обеспечивается возможность действия второй ступени защиты на выходное промежуточное реле *3РПЗ* после размыкания контакта $РПб_6$. Кроме того, контакт $2РПЗ_2$ удерживает реле *1РПЗ* в сработавшем положении (п. 8); контакт $2РПЗ_3$ повторяет действие реле дистанционного органа (*1РС—3РС*) и блокировки при качаниях ($РПб_6$), а контакт $2РПЗ_4$ замыкает цепь обмотки реле времени *1РВЗ*.

7. Переключение в цепях напряжения реле сопротивления *1РС—3РС* для перехода с уставки первой на уставку второй ступени осуществляется промежуточным реле *1РПЗ* (типа РП-251), имеющим замедление при возврате порядка 0,15—0,2 *сек* и реле *4РПЗ* (типа РП-23), отпадающим при шунтировании его обмотки размыкающим контактом реле *1РПЗ* примерно через 0,05 *сек*.

Реле *1РПЗ* управляется контактами $РПб_7$ и $РПв_2$ реле устройства блокировки при качаниях. Последовательное включение двух указанных выше контактов $РПб_7$ и $РПв_2$ в цепи обмотки реле *1РПЗ* обусловлено необходимостью обеспечить размыкание этой цепи с момента срабатывания устройства блокировки при качаниях и до момента его возврата в исходное положение.

Контакты $РПб_7$ и $РПв_2$ должны быть переделаны на замыкающие из имеющихся в устройстве блокировки размыкающих контактов соответствующих реле.

Добавочное сопротивление *1СД*, включенное последовательно с обмоткой реле *1РПЗ*, предназначено для предотвращения возврата реле в обесточенное положение (после срабатывания реле *РПб* устройства блокировки при качаниях) и переключения защиты на уставку второй ступени, если короткое замыкание произошло в зоне первой ступени защиты и реле сопротивления сработали.

В соответствии с указанным сопротивление *1СД* должно обеспечивать ток в реле *1РПЗ*, достаточный для удерживания реле, но недостаточный для его срабатывания.

Переключение в цепях напряжения реле сопротивления осуществляется без размыкания цепи (разд. А, п. 17), что обеспечивается принятой схемой включения реле *1РПЗ* и *4РПЗ*. При переключении в цепях напряжения реле сопротивления для перехода с уставки первой на уставку второй ступени замыкание цепи второй ступени на размыкающих контактах реле *1РПЗ* происходит раньше размыкания цепи первой ступени на замыкающих контактах реле *4РПЗ*, поскольку последнее возвращается только после шунтирования его обмотки контактом *1РПЗ*. При обратном переключении в цепях напряжения реле сопротивления для перехода с уставки второй на уставку первой ступени (в момент возврата устройства блокировки при качаниях или возврата реле ускорения после успешного АПВ) замыкание цепи первой ступени на замыкающих контактах реле *4РПЗ* происходит раньше размыкания цепи второй ступени на размыкающих контактах реле *1РПЗ*, поскольку в этом случае реле *1РПЗ* и *4РПЗ* запускаются одновременно. Одновременный запуск реле *1РПЗ* и *4РПЗ* в момент возврата устройства блокировки при качаниях обеспечивается разрывом цепи шунтирования обмотки реле *4РПЗ* на контакте реле устройства блокировки $РПв_3$ и замыканием цепи обмотки реле *1РПЗ* на контакте $РПв_2$.

8. В схеме дистанционной защиты предусмотрено ускорение ее действия после включения выключателя как во второй, так и в первой ступенях; последнее для случая, когда первая ступень защиты выполнена с выдержкой времени.

При ускорении второй ступени защиты целесообразно реле сопротивления переключать на уставку этой ступени до включения выключателя. Для этого в цепи обмоток реле *1РПЗ* и *4РПЗ* вводится размыкающий контакт $РПУ_3$ реле ускорения и устанавливается перемычка, показанная на схеме рис. 4 сплошной линией.

При ускорении первой ступени защиты необходимо взамен показанного на схеме рис. 4 размыкающего контакта $РПУ_3$ предусмотреть замыкающий контакт указанного реле и установить перемычки, показанные штриховыми линиями.

В обоих случаях для исключения выдержки времени защиты используется цепь из последовательно соединенных контактов $РПУ_1$ и $1РВЗ_3$.

9. В рассматриваемой схеме, как и в схемах рис. 1 и 3, предусмотрено устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12, замыкающий контакт (*2РБ*) которого используется для сигнализации исчезновения переменного напряжения на панели защиты.

10. В случае использования рассматриваемой защиты в качестве резервной по п. 5,в может оказаться целесообразным дополнительно предусмотреть ускорение первой ступени дистанционной защиты от устройства фильтр-реле напряжения прямой последовательности (см. приложение *V*), назначение и выполнение которого аналогично таковому в схеме по рис. 10 (см. описание схемы по рис. 10, п. 5).

11. В дополнение к дистанционной защите в схеме содержится:

а) токовая отсечка от многофазных коротких замыканий (комплект защиты *1РКЗ*);

б) трехступенчатая токовая направленная защита от замыканий на землю (комплект защиты *2РКЗ*);

в) токовая защита обратной последовательности, выполненная с помощью реле *2РВЗ*, запускаемого от контакта $ПР_2$ реле блокировки при качаниях.

12. Указательные реле *1РУЗ—5РУЗ*, *РУ* (комплекта защиты *1РКЗ*), *1РУ—5РУ* (комплекта защиты *2РКЗ*) установлены в выходных цепях каждой из ступеней рассмотренных выше защит и в цепях ускорения.

Для исключения возможности ложного выпадания указательного реле первой ступени дистанционной защиты, токовой отсечки и первой ступени защиты от замыканий на землю при действии установленных на линии трубчатых разрядников обмотки этих реле шунтированы замыкающими контактами выходных промежуточных реле соответствующих защит.

Схема двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий, токовой защиты обратной последовательности, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линии 110—330 *кв*, выполненных с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-634-64 * (рис. 5)

1. Дистанционная защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двусторонним питанием вместо защиты по рис. 4 в случаях, когда дистанционную защиту последней трудно отстроить от кратковременных тяжелых нагрузочных режимов (после отключения внешнего короткого замыкания, в условиях самозапуска двигателей).

2. Схема отличается от схемы дистанционной защиты по рис. 2 принципиально только тем, что вместо трех реле сопротивления типа КРС-131 в ней использованы два реле сопротивления типов КРС-131 и КРС-121.

Наличие отдельных реле, реагирующих на симметричные и несимметричные короткие замыкания, облегчает отстройку защиты от нагрузочных режимов.

Реле типа КРС-121 по принципу своего действия не работает в симметричных режимах. Реле типа КРС-131 должно быть отстроено от нагрузки, однако для него могут быть допущены сниженные коэффициенты чувствительности в редких расчетных режимах (считая маловероятным возникновение трехфазного короткого замыкания через переходное сопротивление в этих режимах).

Следует вместе с тем отметить, что в режимах, когда проходит большой ток нагрузки, реле сопротивления типа КРС-121 при больших сопротивлениях срабатывания второй ступени действует недостаточно надежно (гл. 5, разд. К).

Схема двухступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий с пуском от устройства блокировки при качаниях типа КРБ-123 (рис. 6)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двусторонним питанием вместо дистанционной защиты по рис. 4, когда устройство блокировки при качаниях типа КРБ-124 не удовлетворяет требованиям чувствительности.

Схема защиты по сравнению с приведенной на рис. 4 имеет следующие особенности:

а) вместо устройства блокировки при качаниях типа КРБ-124 в ней использовано устройство типа КРБ-123, имеющее пуск от напряжения обратной последовательности и тока нулевой последовательности;

б) предусмотренное устройство типа КРБ-12 осуществляет не только сигнализацию, но и блокирует защиту при неисправностях цепей напряжения (разд. А, п. 10);

в) переключение в цепях напряжения реле сопротивления (для перехода с уставки первой ступени на уставку второй ступени) без их размыкания (разд. А, п. 7) осуществляется с помощью кодового реле *9РПВ*. Последнее упрощает схему по сравнению со схемой по рис. 4 (описание схемы по рис. 4, п. 7).

Схема двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линии 110—220 *кв*, выполненных с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-632-64 * (рис. 7)

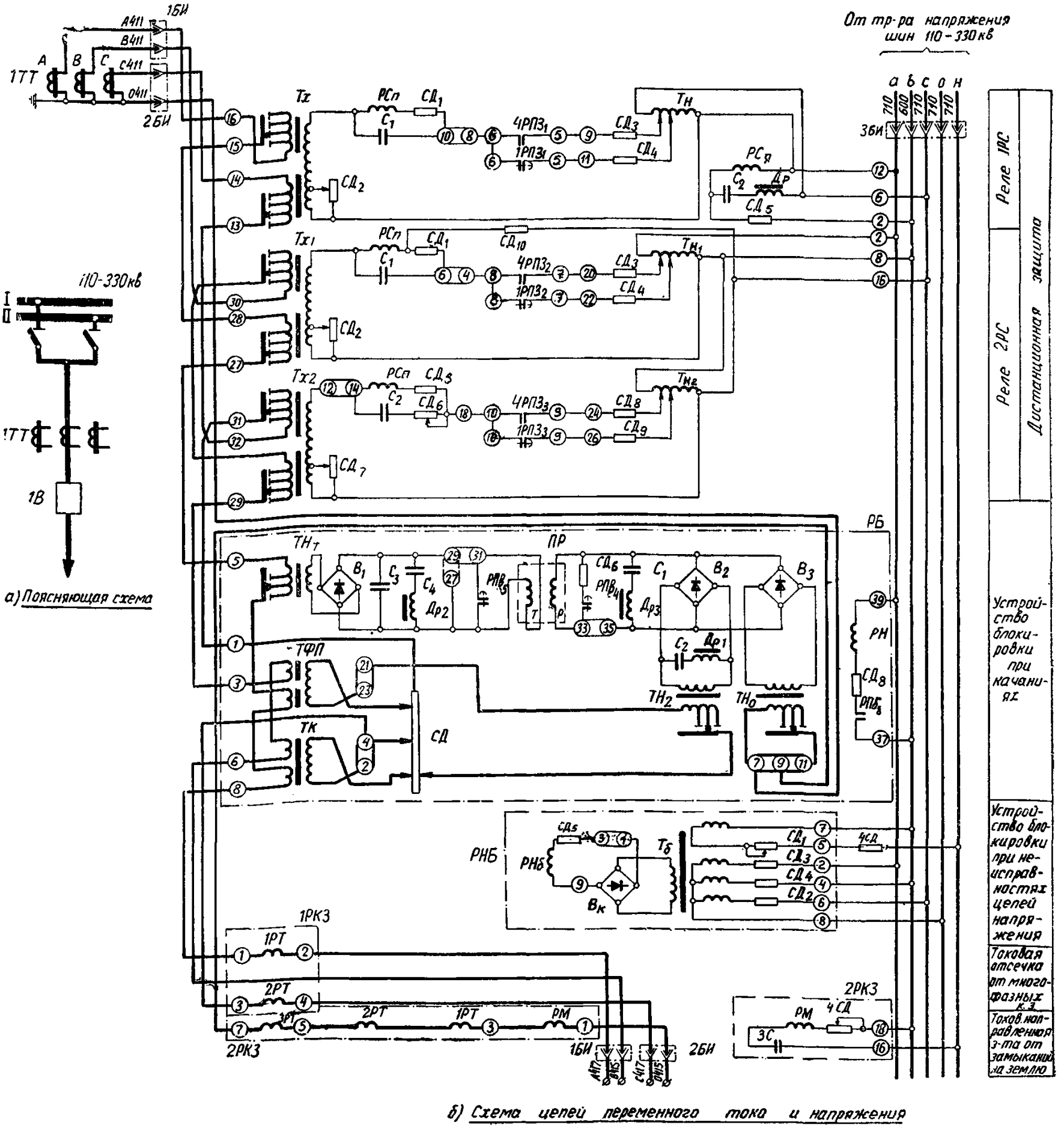
1. Дистанционная защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двусторонним питанием в сетях, где не требуется блокировки при качаниях, в случаях, когда обеспечивается достаточная чувствительность устройства фильтр-реле типа РТФ-1 (например, для защиты коротких линий со стороны мощных систем).

Защита может использоваться как в качестве основной, так и в качестве резервной, когда не требуется резервирования действия защиты и выключателя предыдущего участка.

2. Двухступенчатая дистанционная защита осуществлена с помощью трех реле сопротивления *1РС—3РС* типа КРС-131, переключаемых с уставки первой на уставку второй ступени.

* См. сноску на стр. 15.

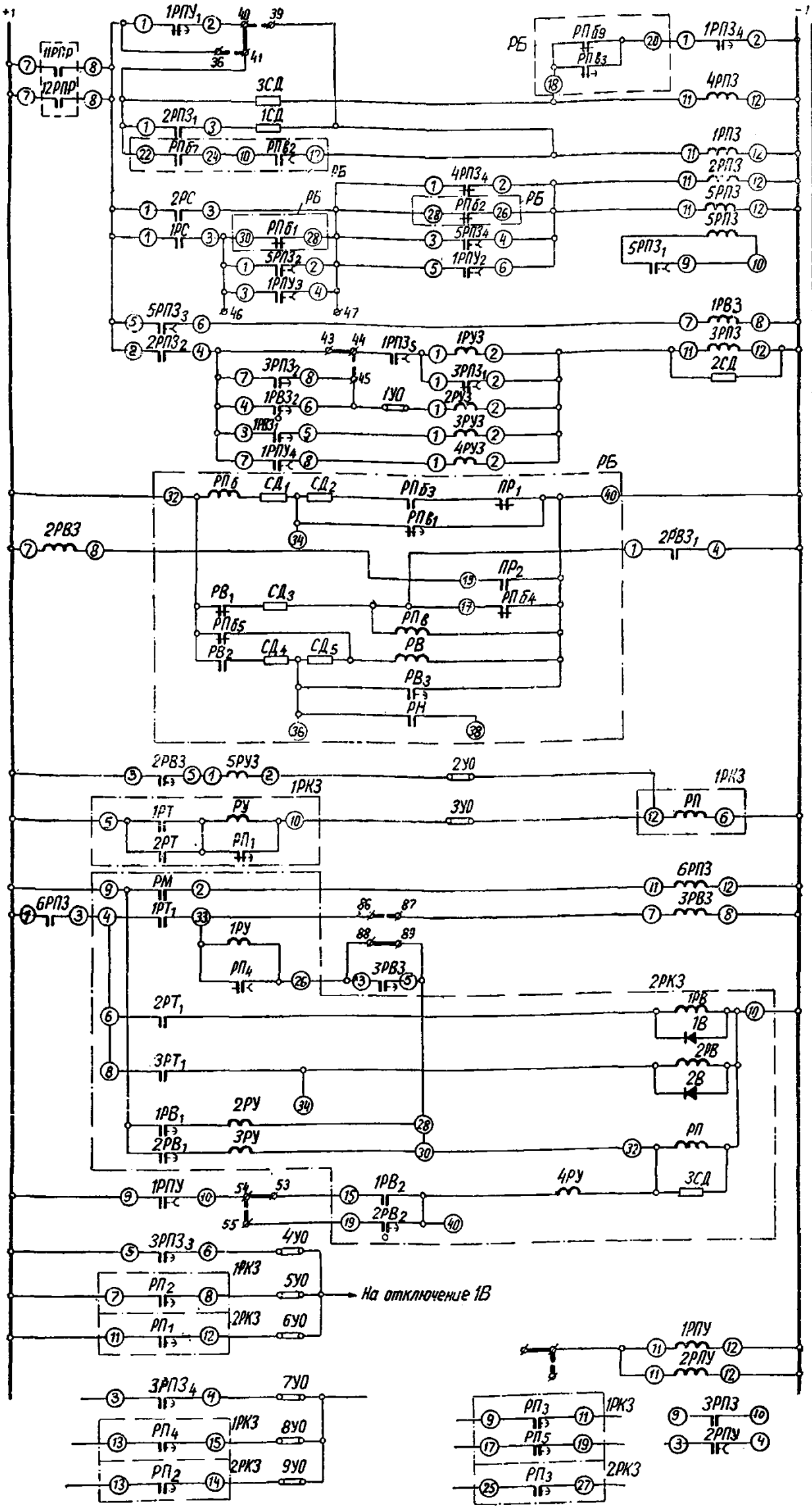
* См. сноску на стр. 15.



б) Схема цепей переменного тока и напряжения

Рис. 5. Схема двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий, токовой защиты обратной последовательности, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линии 110—330 *кв*, выполненных с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-634-64.

1В — выключатель; *1ТТ* — трансформаторы тока; *1РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *2РС* — реле сопротивления типа КРС-121; *РБ* — устройство блокировки при качаниях типа КРБ-124; *РНБ* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *1РКЗ*—комплект защиты типа КЗ-1; *2РКЗ* — комплект защиты типа КЗ-5; *1РВЗ* — реле времени типа ЭВ-122; *2РВЗ* — реле времени типа ЭВ-122; *2РВЗ* — реле времени типа ЭВ-134; *3РВЗ* — реле времени типа ЭВ-114; *3РПЗ* — реле промежуточные типа РП-251; *2РПЗ*, *6РПЗ* — реле промежуточные типа РП-212; *4РПЗ* — реле промежуточное типа РП-23; *5РПЗ* — реле промежуточное типа РП-253; *1РПУ*, *2РПУ* — реле промежуточные типа РП-252; *1РУЗ—4РУЗ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *5РУЗ* — реле указательное типа РУ-21/0,015; *1УО—9УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *1СД* — сопротивление добавочное 20 000 *ом* типа СТФА-IV; *2СД* — сопротивление добавочное 3 900 *ом* типа СТФА-IV; *3СД* —сопротивление добавочное 2 700 *ом* типа СТФА-IV; *4СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа СТФА-IV; *1БИ, 2БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *3БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *1ЛС* — лампа сигнальная типа ЛС-220.



в) Схема цепей оперативного постоянного тока.

г) Схема цепей сигнализации.

Примечания:

1. Схема выполнена на основании и с сохранением основных обозначений чертежа № 1646ТМ-203, составленного Украинским отделением института Энергосетьпроект.

2. В устройстве блокировки при качаниях *РБ* размыкающие контакты $РПб_1$ и $РПв_2$ должны быть заменены на замыкающие контакты реле.

3. В реле *5РПЗ* типа РП-253 размыкающий контакт, шунтирующий демпферную обмотку, должен быть заменен на замыкающий.

4. *11РПР* и *12РПР*—контакты реле, срабатывающих при действии реле повторителей положения разъединителей линии.

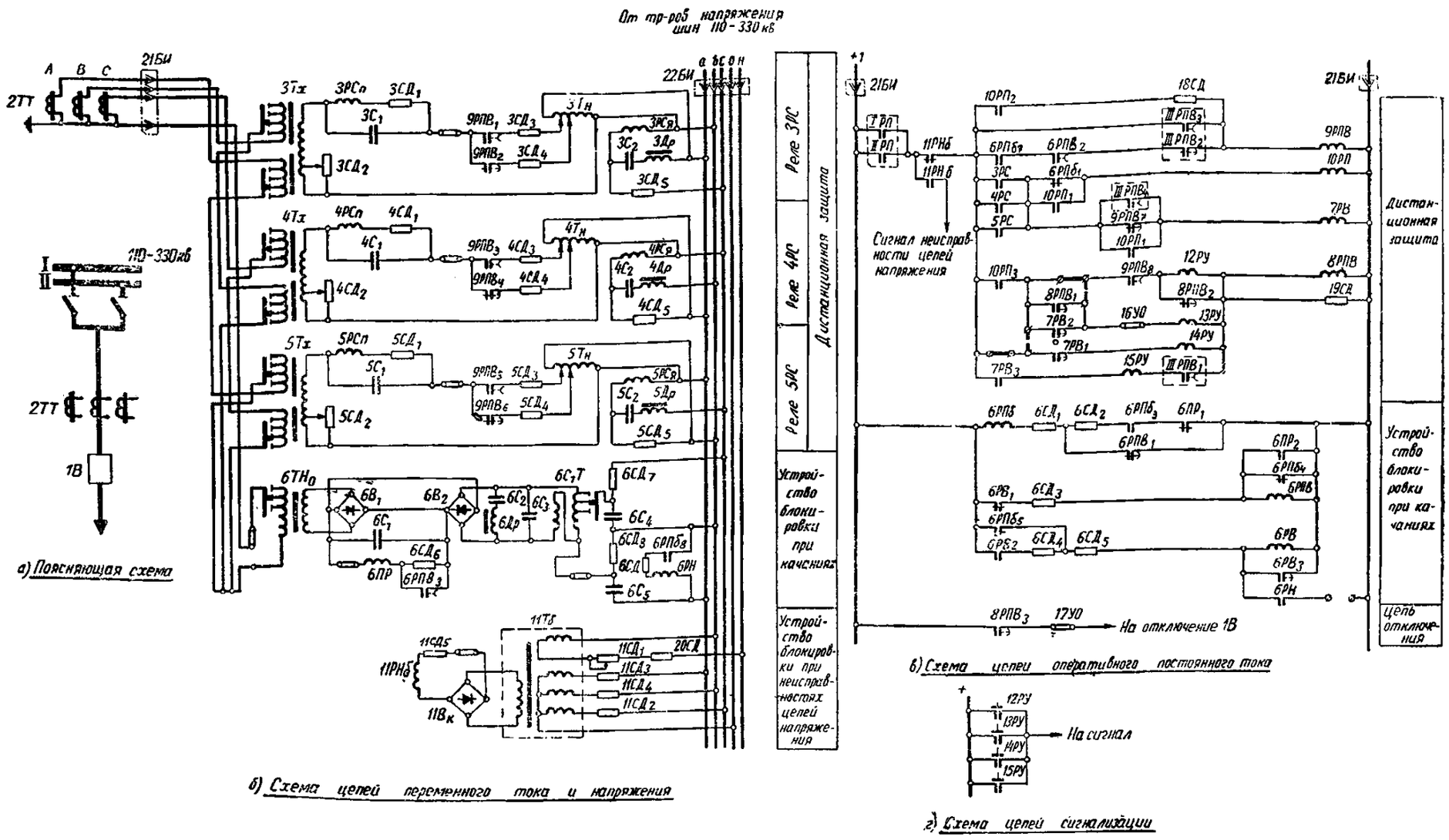


Рис. 6. Схема двухступенчатой дистанционной защиты линии 110—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий с пуском от устройства блокировки при качаниях типа КРБ-123.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3РС—5РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *6* — устройство блокировки при качаниях типа КРБ-123; *7РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *8РПВ* — реле промежуточное типа РП-251; *9РПВ* — реле промежуточное типа КДР-3М; *10РП* — реле промежуточное типа РП-212; *11* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *12РУ—15РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *16УО, 17УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *18СД* — сопротивление добавочное 5 100 *ом* типа ПЭ-50; *19СД* — сопротивление добавочное 3 900 *ом* типа ПЭ-50; *20СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-20; *21БИ, 22БИ* — блоки испытательные типа БИ-6.

Примечания:

1. Размыкающие контакты $6РПб_7$ и $6РПв_2$ в устройстве блокировки при качаниях типа КРБ-123 должны быть заменены на замыкающие контакты.
2. *IРП* и *IIРП* — контакты реле, срабатывающих при действии реле повторителей положения разъединителей линии.
3. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.

Первая ступень защиты предусмотрена без выдержки времени, вторая ступень — с двумя выдержками времени. Цепь отключения от второй ступени с меньшей (неселективной) выдержкой времени вводится в действие в случаях, когда необходимо уменьшение времени отключения повреждения, например, из-за выведения основной защиты.

3. Пуск дистанционной защиты при всех видах многофазных коротких замыканий осуществляется от устройства фильтр-реле тока обратной последовательности *РТФ* типа РТФ-1, у которого замыкающий контакт переделан на размыкающий. Устройство фильтр-реле *РТФ* при срабатывании размыкает цепь обмотки промежуточного реле *5РПЗ*, которое находится под током.

Реле *5РПЗ* при возврате вводит в действие защиту и размыкает цепь переключающего промежуточного реле *1РПЗ*, а также реле *6РПЗ*, осуществляющего возврат схемы пуска через время порядка 1 *сек*.

Ввиду того, что устройство фильтр-реле *РТФ* вводит защиту в работу только при наличии в линии тока обратной последовательности, повреждения цепей напряжения защиты, а также отключение трансформатора напряжения в нормальном нагрузочном режиме не вызывают неправильного срабатывания защиты.

4. В схеме типовой панели переключение в цепях напряжения реле сопротивления *1РС—3РС* для перехода с уставки первой на уставку второй ступени осуществляется промежуточными реле *1РПЗ* и *4РПЗ* (типов РП-251 и РП-23) аналогично тому, как это выполнено в схемах рис. 4 и 5.

Добавочное сопротивление *1СД*, включенное последовательно с обмотками реле *1РПЗ* и *6РПЗ*, предусмотрено:

а) для предотвращения возврата переключающего реле *1РПЗ* в обесточенное положение и переключения защиты на уставку второй ступени, если короткое замыкание произошло в зоне, охватываемой первой ступенью, и реле сопротивления сработали;

б) для предотвращения обесточения реле *6РПЗ* до отключения короткого замыкания, что могло бы привести к преждевременному возврату схемы пуска (срабатыванию реле *5РПЗ*); удерживание реле *6РПЗ* через сопротивление *1СД* обеспечивает возврат схемы пуска через определенное время после отключения короткого замыкания (независимо от времени отключения).

В соответствии с указанным сопротивление *1СД* должно обеспечивать ток в реле *1РПЗ* и *6РПЗ*, достаточный для удерживания этих реле, но недостаточный для их срабатывания.

5. В рассматриваемой схеме не исключена возможность отказа первой ступени дистанционной защиты при работе разрядника и последующем коротком замыкании в зоне, защищаемой первой ступенью, поскольку короткое замыкание, возникшее после переключения защиты с уставки первой на уставку второй ступени, отключается с выдержкой времени второй ступени.

6. В схеме предусмотрено ускорение второй ступени защиты после включения выключателя. При этом в соответствии с разд. А, п. 16 реле сопротивления оказываются переключенными на уставку второй ступени до включения выключателя.

Для этого в цепи обмоток реле *1РПЗ* и *6РПЗ* предусмотрен размыкающий контакт $РПУ_1$ реле ускорения защиты после включения выключателя.

7. В схеме предусмотрен контроль исправности цепей напряжения, осуществляемый с помощью устройства типа КРБ-12, действующего на сигнал.

8. В дополнение к дистанционной защите в схеме содержится:

а) токовая отсечка от многофазных коротких замыканий (комплект защиты *1РКЗ*);

б) трехступенчатая токовая направленная защита от замыканий на землю (комплект защиты *2РКЗ*).

9. Указательные реле *1РУЗ—4РУЗ*, *РУ* (комплект защиты *1РКЗ*), *1РУ—4РУ* (комплект защиты *2РКЗ*) установлены в выходных цепях каждой из ступеней рассмотренных выше защит и в цепях ускорения.

Для исключения возможности ложного выпадания указательного реле первой ступени дистанционной защиты, токовой отсечки и первой ступени защиты от замыканий на землю при действии установленных на линии трубчатых разрядников обмотки этих реле шунтированы размыкающими контактами выходных промежуточных реле соответствующих защит.

Схема двухступенчатой дистанционной защиты от несимметричных многофазных коротких замыканий, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линии 110—220 *кв*, выполненных с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-633-64 * (рис. 8)

1. Дистанционная защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться в качестве резервной для линий с двусторонним питанием вместо защиты по рис. 7 в сетях, где на основании опыта эксплуатации можно не считаться с симметричными короткими замыканиями.

2. Схема защиты отличается от схемы по рис. 7 только в части выполнения дистанционной защиты. В рассматриваемой схеме использовано одно реле сопротивления типа КРС-121 в отличие от трех реле сопротивления типа КРС-131 схемы по рис. 7.

В части пуска схема несколько проще за счет того, что не требуется запуск при симметричных коротких замыканиях.

Во всем остальном (переключение реле сопротивления с уставки первой на уставку второй ступени, ускорение защит после включения выключателя, осуществление токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю и т. д.) схема подобна приведенной на рис. 7.

Схема двухступенчатой дистанционной защиты линии 330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ДЗ-501 (рис. 9)

1. Рассматриваемая панель защиты выпускается Чебоксарским электроаппаратным заводом взамен панели дистанционной защиты типа ДЗ-401 и отличается от панели защиты типа ДЗ-502 (выпускаемой взамен панели типа ДЗ-402) выполнением реле сопротивления второй ступени. В панели защиты типа ДЗ-501 предусмотрена возможность изменения угла максимальной чувствительности реле сопротивления второй ступени, а в панели защиты типа ДЗ-502 такая возможность не предусмотрена.

2. Защита может применяться для длинных и сильно загруженных линий 330 *кв* (а в некоторых случаях для линий 220 *кв*) с двусторонним питанием, на которых могут развиваться качания с большим периодом или асинхронный ход в тяжелом нагрузочном режиме.

На линиях 330 *кв* защита может использоваться как в качестве основной, так и в качестве резервной; на линиях 220 *кв* защиту целесообразно использовать только в качестве основной.

3. Защита выполнена с помощью направленных реле сопротивления *1РС—6РС*, устройства блокировки при качаниях, имеющего пуск от напряжения обратной по-

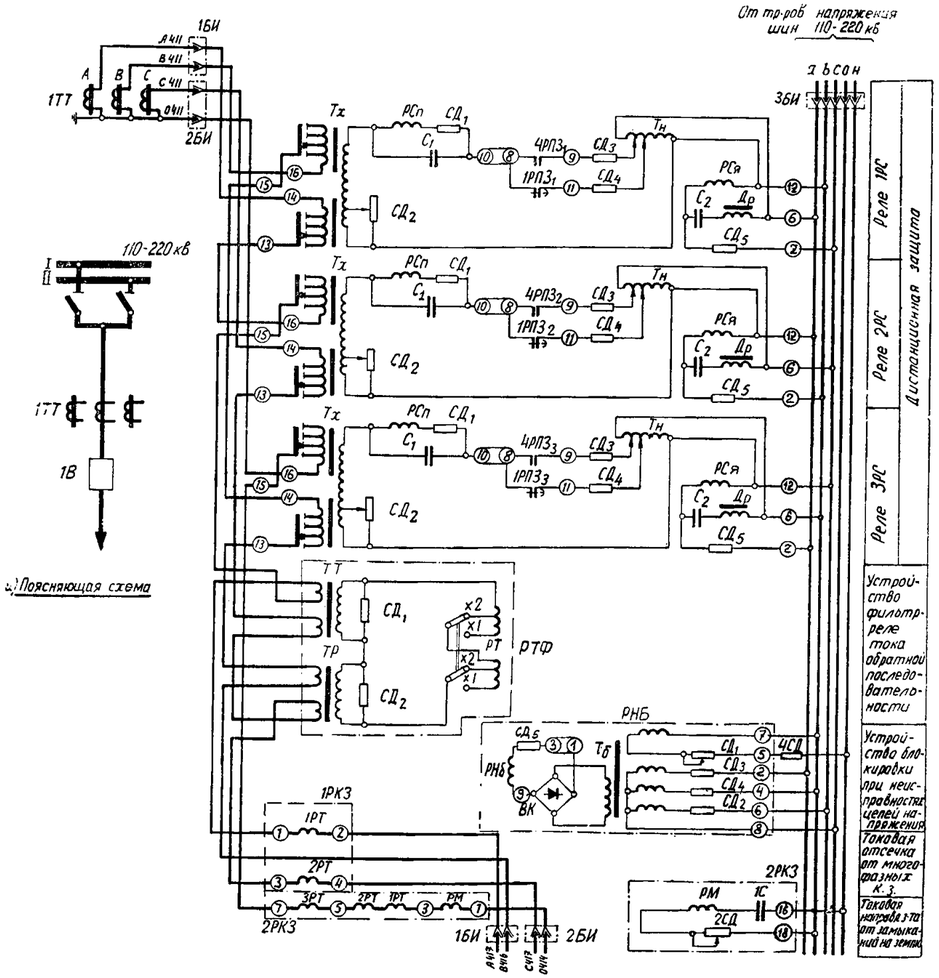
---

* См. сноску на стр. 15.

следовательности, компенсированного током этой же последовательности, и тока нулевой последовательности и устройства блокировки при неисправностях цепей напряжения.

Последнее необходимо в связи с применением в защите устройства блокировки при качаниях с пуском по напряжению, которое может сработать и привести к неправильному срабатыванию защиты при повреждении цепей напряжения (разд. А, п. 10) в нормальном нагрузочном режиме.

В целях большей надежности защита выполнена без переключения в цепях напряжения реле сопротивления с отдельными реле сопротивления в первой (реле *1РС—3РС*) и во второй (реле *4РС—6РС*) ступенях.



Отсутствие переключения в цепях напряжения реле сопротивления также снижает ток точной работы первой ступени защиты за счет того, что реле не ограничивается по времени действия.

Для обеспечения надежного срабатывания второй ступени защиты при коротком замыкании вблизи места ее установки (в «мертвой зоне») в случае отказа в срабатывании первой ступени предусмотрено смещение характеристики реле сопротивления второй ступени в сторону надежного охвата характеристикой начала защищаемого участка.

4. Устройство блокировки при качаниях имеет пуск от напряжения обратной последовательности, компенсированного током этой же последовательности, и тока

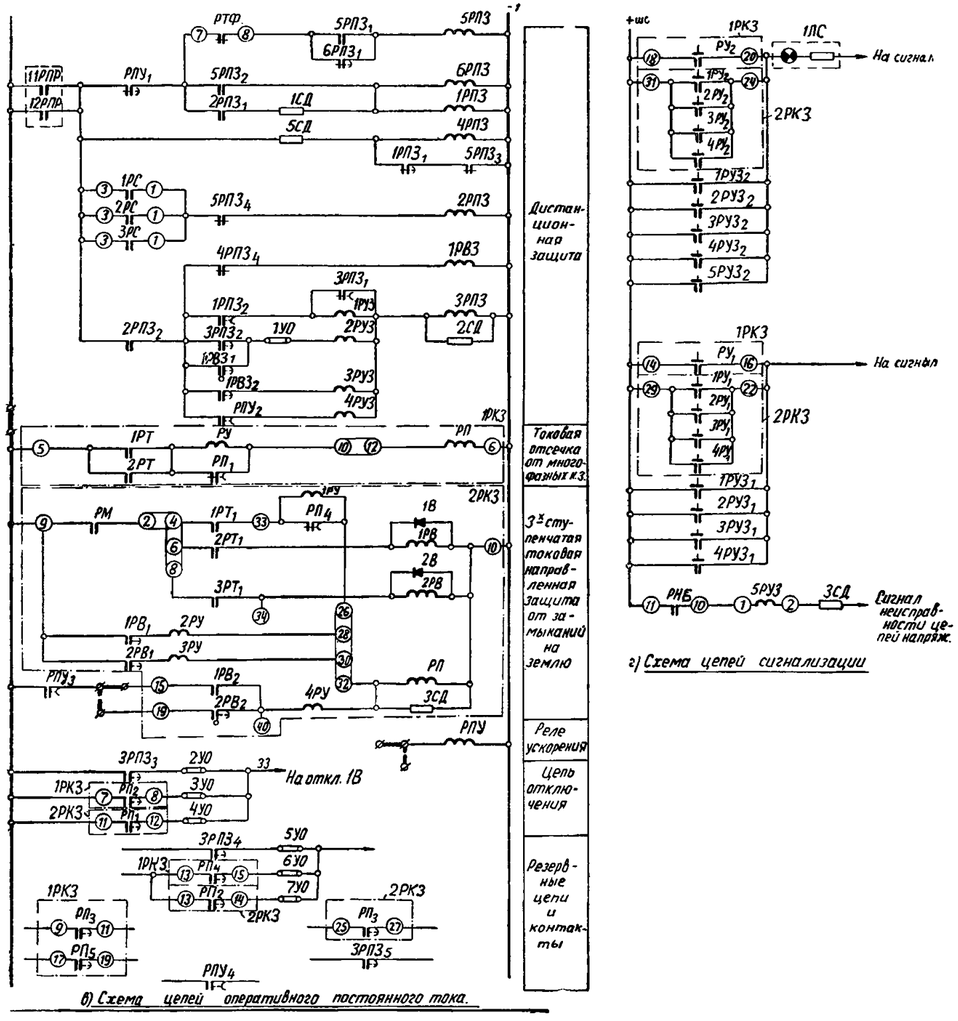


Рис. 7. Схема двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыка щиты от замыканий на землю линии 110—220 *кв*, выпол

1В — выключатель; *1ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *РТФ* — устройство напряжения типа КРБ-12; *1РКЗ* — комплект защиты типа КЗ-1; *2РКЗ* — комплект защиты типа КЗ-5; *1РВЗ* — реле *4РПЗ* — реле промежуточное типа РП-23; *5РПЗ* —реле промежуточное типа РП-215; *РПУ*, *6РПЗ* — реле промежуточные устройства отключающие типа НКР-3; *1СД* — сопротивление добавочное 10 000 *ом* типа СТФА-IV; *2СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа СТФА-IV; *5СД* — сопротивление добавочное 2 700 *ом* типа СТФА-IV; *1БИ*, *2БИ* — блоки испыта-

Примечания:

1. Схема выполнена на основании и с сохранением основных обозначений чертежа № 1646ТМ-201, составленного
2. В устройстве фильтр-реле тока обратной последовательности *РТФ* замыкающий контакт должен быть пере
3. Время возврата реле *4РПЗ* порядка 0,05 *сек*, *1РПЗ* — порядка 0,15 *сек*, а реле *6РПЗ* — порядка 1 *сек*.
4. *11РПР* и *12РПР* — контакты реле, срабатывающих при действии реле повторителей положения разъединителей

фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1; *РНБ* — устройство блокировки при неисправностях цепей времени типа ЭВ-122; *1РПЗ*, *3РПЗ* — реле промежуточные типа РП-251; *2РПЗ* — реле промежуточное типа РП-212; типа РП-252; *1РУЗ—4РУЗ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *5РУЗ* — реле указательное типа РУ-21/0,15; *1УО—7УО* — добавочное 3 900 *ом* типа СТФА-IV; *3СД* — сопротивление добавочное 1 000 *ом* типа СТФА-IV; *4СД* — сопротивление тельные типа БИ-4; *3БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *1ЛС* — лампа сигнальная.

Украинским отделением института Энергосетьпроект.
делан на размыкающий.

линии.

нулевой последовательности. Пусковой орган устройства состоит из фильтра напряжения обратной последовательности, промежуточных трансформаторов $8СТт$ и $8ТН_0$, компенсирующих трансформаторов $8ТК$, выпрямителей $8В_1$, $8В_2$ и поляризованного реле $8РН$.

Поляризованное реле $8РН$ включено на компенсированное напряжение обратной последовательности $|\dot{U}_2|-|Z_к\dot{I}_2|$ для повышения его чувствительности, что особенно важно для длинных линий, связывающих части системы большой мощности.

Исполнительный орган устройства блокировки представляет собой группу промежуточных реле ($8РП1$, $8РП2$, $14РП$) и реле времени $11РВ$ в цепи постоянного тока защиты.

Возврат устройства блокировки осуществляется с заданной выдержкой времени (реле $11РВ$), однако если в результате отключения внешнего короткого замыкания развились качания или асинхронный ход, то возврат задерживается до их прекращения (реле $13РПВ$).

При возникновении качаний или асинхронного хода в тяжелом нагрузочном режиме в схеме предусмотрен запуск исполнительного органа устройства блокировки (кроме реле $8РП1$) от контактов промежуточного реле $12РП$, размножающего контакты реле сопротивления

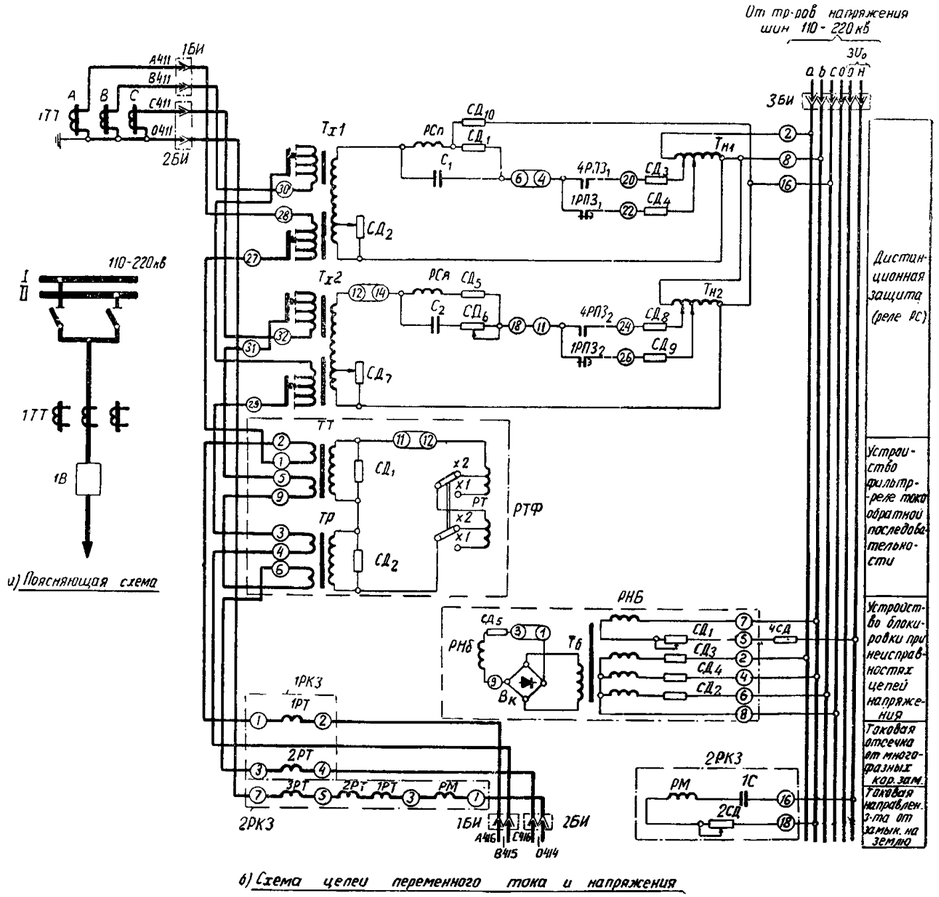


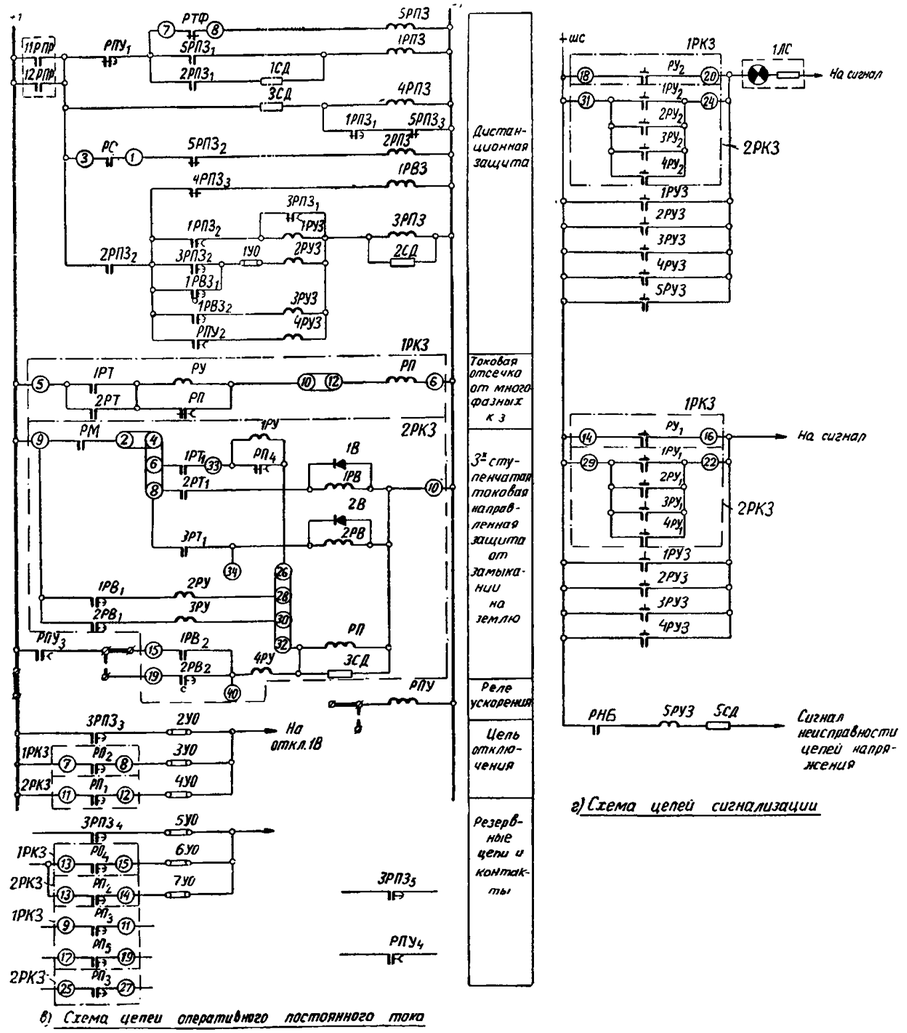
Рис. 8. Схема двухступенчатой дистанционной защиты от несимметричных многофазных коротких заленной защиты от замыканий на землю линии 110—220 *кв*, вы

1В — выключатель; *1ТТ* — трансформаторы тока; *РС* — реле сопротивления типа КРС-121; *РТФ* — устройство фильтр-напряжения типа КРБ-12; *1РКЗ* — комплект защиты типа КЗ-1; *2РКЗ* — комплект защиты типа КЗ-5; *1РВЗ* — реле *4РПЗ* — реле промежуточное типа РП-23; *5РПЗ* — реле промежуточное типа РП-215; *РПУ* — реле промежуточное типа *7УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *1СД* — сопротивление добавочное 20 000 *ом* типа СТФА-IV; *2СД* — со сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа СТФА-IV; *5СД* — сопротивление добавочное 1 000 *ом* типа СТФА-IV; *1Би*,

Примечания:
1. Схема выполнена на основании и с сохранением основных обозначений чертежа № 1646ТМ-202, составлен-
2. В устройстве фильтр-реле тока обратной последовательности *РТФ* замыканий контакт должен быть переделан
3. Время возврата реле *4РПЗ* порядка 0,05 *сек*, *1РПЗ* — порядка 0,15 *сек*.
4. *11РПР* и *12РПР* — контакты реле, срабатывающих при действии реле повторителей положения разъединителей

второй ступени. Таким образом, блокируемые ступени защиты оказываются выведенными из действия на все время качания или асинхронного хода, возникающих как после отключения внешнего короткого замыкания, так и в тяжелом нагрузочном режиме.

5. В схеме предусмотрено выполнение второй ступени защиты с двумя выдержками времени. Цепь отключения с меньшей выдержкой времени, осуществляемой реле *9РВ*, блокируется при качаниях на время до момента возврата устройства блокировки при качаниях; цепь отключения с большей выдержкой времени, осуществляемой реле *10РВ*, вводится в работу после воз-



мыканий, токовой отсечки от многофазных коротких замыканий и трехступенчатой токовой направленных с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-633-64.

реле тока обратной последовательности типа РТФ-1; *БРН* — устройство блокировки при неисправностях цепей времени типа ЭВ-122; *1РПЗ*, *3РПЗ* — реле промежуточные типа РП-251; *2РПЗ* — реле промежуточное типа РП-212; РП-252; *1РУЗ* — *4РУЗ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *5РУЗ* — реле указательное типа РУ-21/0,15; *1УО*— противление добавочное 3 900 *ом* типа СТФА-IV; *3СД* — сопротивление добавочное 2 700 *ом* типа СТФА-IV; *4СД* — *2Би* — блоки испытательные типа БИ-4; *3Би* — блок испытательный типа БИ-6; *1ЛС* — лампа сигнальная.

ного Украинским отделением института Энергосетьпроект.
на размыкающий.

линии.

никновения повреждения и до момента возврата устройства блокировки при качаниях (контактом реле *8РП1*), т. е. не блокируется при качаниях.

Наличие неблокируемой цепи отключения от второй ступени дает возможность отключать междуфазные короткие замыкания, которым предшествует несимметричный режим (например, однофазное короткое замыкание) такой длительности, что первая и вторая (с меньшей выдержкой времени) ступени к моменту возникновения междуфазного короткого замыкания оказываются выведенными из действия устройством блокировки при качаниях.

Для предотвращения неправильного срабатывания при качаниях второй ступени защиты по цепи с большей выдержкой времени уставка реле *10РВ* отстраивается от качаний и асинхронного хода, возникающих после отключения внешнего короткого замыкания; при качаниях и асинхронном ходе, возникающих в тяжелом нагрузочном режиме, рассматриваемая цепь остается выведенной из действия (на контакте реле *8РП1*).

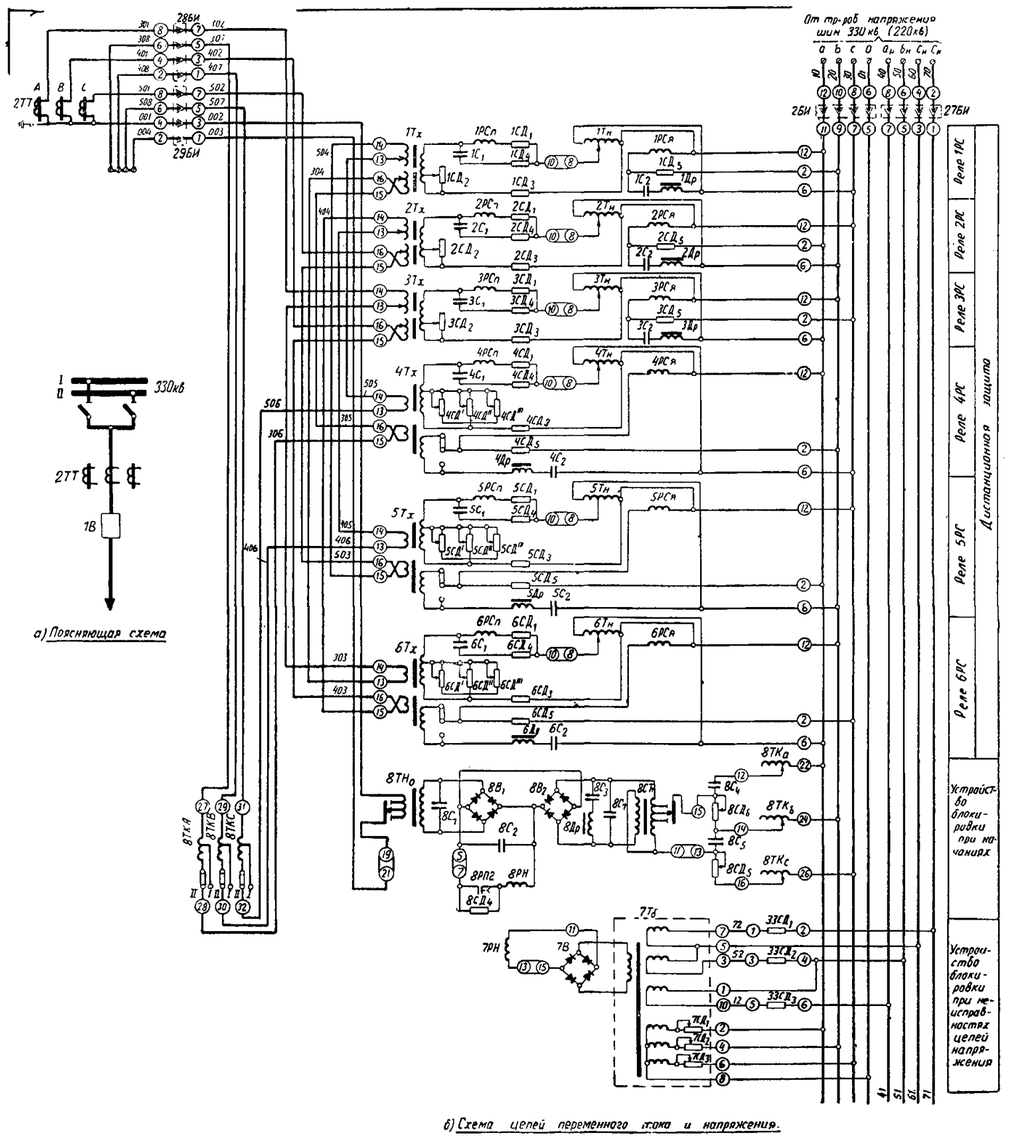
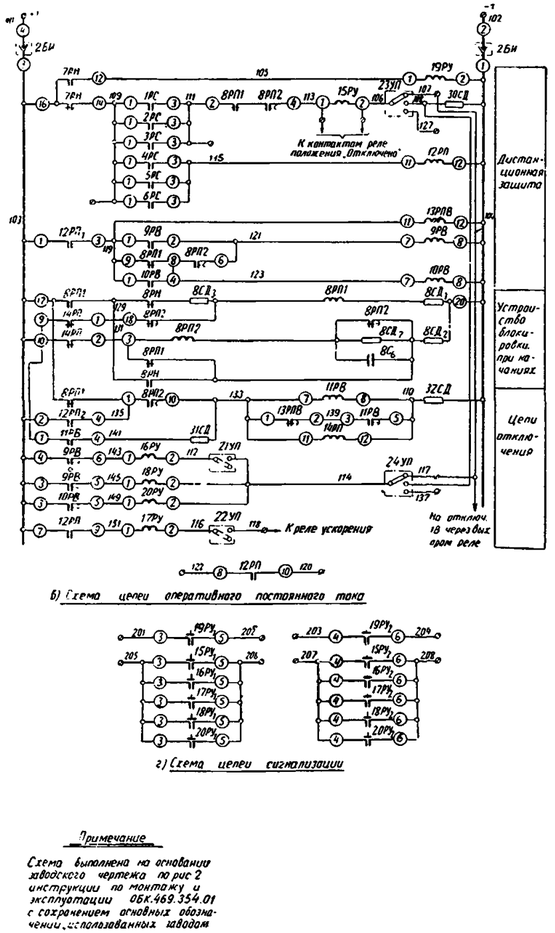


Рис. 9. Схема двухступенчатой дистанционной защиты линии 330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты ти

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления; *4РС—6РС* — реле сопротивления; *7* — устройство блокировки при качаниях; *9РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *10РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *11РВ* — реле времени *13РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *14РП* — реле промежуточное типа РП-211; *15РУ—18РУ, 20РУ* — реле указательные *24УП* — устройства переключающие; *2БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *27БИ—29БИ* — блоки испытательные типа БИ-4;



Примечание

Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис 2 инструкции по монтажу и эксплуатации ОБК.469.354.01 с сохранением основных обозначений, использованных заводом

6. В схеме предусмотрена возможность уменьшения времени отключения от второй ступени защиты по цепи с меньшей выдержкой времени (через реле *9РВ*). Указанное выполняется на временно замыкающем контакте реле *9РВ* и используется в особых случаях, когда из-за необходимости уменьшения времени действия защиты допускается неселективное отключение (например, при выведении из действия основной защиты).

7. В схеме предусмотрена возможность ускорения второй ступени защиты после включения выключателя. Для этого к зажиму *11В* панели подключается замыкающий контакт реле ускорения.

8. Устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения, применяемое в рассматриваемой схеме, является более совершенным, чем устройства типов КРБ-11 и КРБ-12, и в отличие от последних срабатывает при одновременном разрыве трех фаз вторичных цепей напряжения, а также в отличие от устройства типа КРБ-11 срабатывает при коротком замыкании или обрыве в нулевом проводе звезды и в обмотке разомкнутого треугольника трансформатора напряжения и не реагирует на любые несимметрии в защищаемой схеме, что в устройстве типа КРБ-11 требовало установки дополнительного реле тока.

К недостаткам устройства следует отнести его несрабатывание при нарушениях, обусловленных первичными цепями (исчезновением первичного напряжения трансформатора напряжения и разрывом фаз последнего)[1].

Кроме того, следует отметить, что в эксплуатации имели место случаи отказа в действии рассмотренного устройства блокировки при коротких замыканиях во вторичных цепях трансформатора напряжения. Указанное обусловлено большим различием в реактансах вторичных обмоток трансформатора напряжения, а также паразитными наводками напряжений через семиобмоточный трансформатор устройства блокировки. В настоящее время во ВНИИЭ ведется работа по усовершенствованию устройства блокировки.

9. Для исключения возможности выпадания указательного реле *15РУ* первой ступени защиты при отключении выключателя в схеме предусмотрена возможность его шунтирования замыкающим контактом реле положения выключателя «отключено». Указанное выпадание реле *15РУ* может иметь место в момент отключения линии с обеих сторон (например, от защиты от замыканий на землю) в случае, когда трансформаторы напряжения, питающие защиту, установлены на линии.

Схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, вариант 1 — с устройством блокировки при неисправностях цепей напряжения (рис. 10)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двусторонним питанием в случаях, когда не требуется блокировки при качаниях.

Защита может использоваться в качестве резервной, а в сочетании с токовой отсечкой или комбинированной отсечкой по току и напряжению, выполненными без выдержки времени, — в качестве основной (разд. А, п. 4).

2. В схеме защиты использованы три реле сопротивления *3РС—5РС* типа КРС-132 (ввиду их несколько большей простоты по сравнению с реле типа КРС-131); в тех случаях, когда вторичное сопротивление срабатывания защиты менее 2 *ом* (нижний предел уставки на реле типа КРС-132 при $I_{ном}=5$ *а*), эти реле должны быть заменены на реле типа КРС-131.

[1] А. М. Федосеев, **Основы релейной защиты, § 4-45,** Госэнергоиздат, 1961.

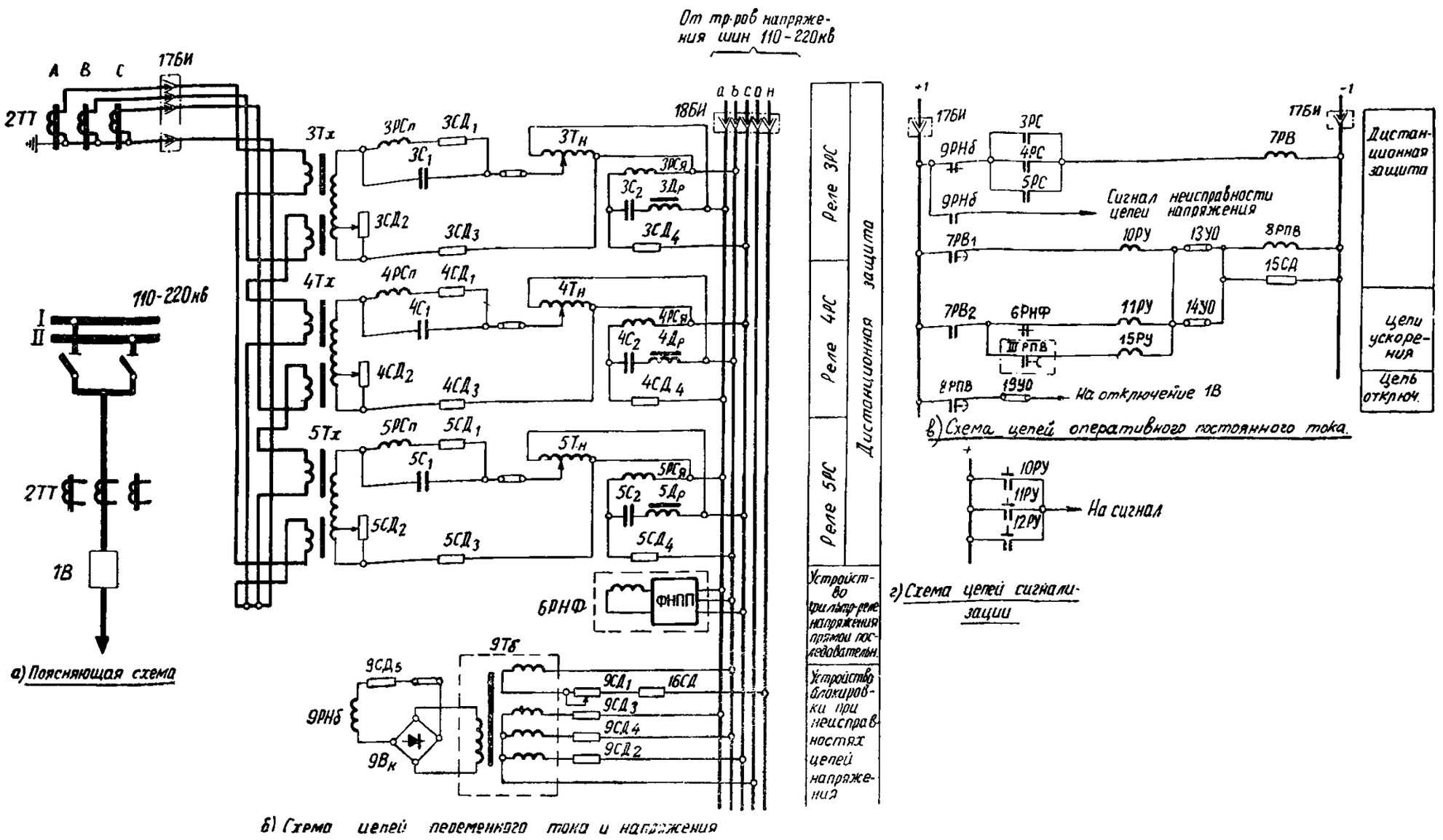


Рис. 10. Схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, вариант 1 — с устройством блокировки при неисправностях цепей напряжения.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3РС—5РС* — реле сопротивления типа КРС-132; *6РНФ* — устройство фильтр-реле напряжения прямой последовательности; *7РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *8РПВ* — реле промежуточное типа РП-251; *9* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *10РУ—12РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *13УО, 14УО, 19УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *15СД* — сопротивление добавочное 3 900 *ом* типа ПЭ-50; *16СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-20; *17БИ, 18БИ* — блоки испытательные типа БИ-6.

Примечание. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.

Выдержка времени защиты осуществляется с помощью реле *7РВ*.

3. В целях исключения неправильного срабатывания защиты при неисправностях цепей напряжения в схеме используется устройство блокировки типа КРБ-12.

4. Рассматриваемая защита в связи с выполнением ее с выдержкой времени имеет мертвую зону при трехфазных коротких замыканиях вблизи места установки защиты. Для перекрытия мертвой зоны при использовании защиты в качестве резервной дополнительно к защите должно предусматриваться одно реле тока (включается в одну из фаз); при использовании защиты в качестве основной в сочетании с токовой отсечкой (или комбинированной отсечкой по току и напряжению) рассматриваемая мертвая зона перекрывается названными отсечками.

5. В схеме предусматривается ускорение действия защиты от устройства фильтр-реле напряжения прямой последовательности *6РНФ* (приложение V) при использовании защиты в качестве резервной, поскольку при таком ускорении не обеспечивается селективное действие защиты. Указанная цепь вводится только на время выведения из действия основной защиты для обеспечения отключения без замедления опасных по условиям устойчивости трехфазных коротких замыканий.

При использовании защиты в качестве основной рассматриваемая цепь (реле *6РНФ, 11РУ* и отключающее устройство *14УО*) из схемы исключаются.

Схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, вариант 2—с пуском от устройства фильтр-реле тока обратной последовательности (рис. 11)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двусторонним питанием в случаях, когда не требуется блокировки при качаниях.

Защита может использоваться в качестве резервной, а в сочетании с токовой отсечкой или комбинированной отсечкой по току и напряжению, выполненными без выдержки времени, — в качестве основной, в случаях, когда обеспечивается достаточная чувствительность устройства фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1 (например, для защиты коротких линий со стороны мощных систем).

2. Схема отличается от схемы по рис. 10 наличием пуска от устройства фильтр-реле тока обратной последовательности (*3РТФ*) типа РТФ-1, у которого замыкающий контакт переделан на размыкающий. В связи с наличием такого пуска в схеме не требуется блокирования от устройства блокировки при неисправностях цепей напряжения для предотвращения неправильной работы защиты при повреждениях цепей напряжения, что является преимуществом схемы в сравнении со схемой по рис. 10. Однако в схеме предусмотрен контроль исправности цепей напряжения, осуществляемый с помощью устройства типа КРБ-12, действующего на сигнал.

В схеме предусматривается реле сопротивления типа КРС-131, а не типа КРС-132 (как в схеме по рис. 10), поскольку на реле типа КРС-131 имеется возможность выполнения меньших значений сопротивления срабатывания, что может потребоваться при использовании защиты на коротких линиях.

3. Пуск защиты осуществляется при всех видах многофазных коротких замыканий. Устройство фильтр-реле *3РТФ* при срабатывании размыкает цепь обмотки промежуточного реле *9РП*, которое нормально находится под током.

Реле *9РП* при возврате вводит в действие защиту и размыкает цепь реле *10РПВ*, осуществляющего возврат схемы пуска через время порядка 1 *сек*.

4. В схеме предусмотрено ускорение действия защиты от устройства фильтр-реле напряжения прямой последовательности *8РНФ*, назначение и выполнение которого аналогично таковому в схеме по рис. 10 (описание схемы по рис. 10, п. 5).

Схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* от несимметричных многофазных коротких замыканий (рис. 12)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться в качестве резервной для линий с двусторонним питанием в сетях, где на основании опыта эксплуатации можно не считаться с симметричными короткими замыканиями.

Защита может использоваться как в сетях, где не требуется иметь блокировки при качаниях, так и в сетях, где для защит, выполненных с реле сопротивления других типов (а не КРС-121, как рассматриваемая ниже защита — см. п. 2), такая блокировка требуется.

2. В схеме защиты использовано одно реле сопротивления *3РС* типа КРС-121, действующее только при несимметричных коротких замыканиях.

Выдержка времени защиты осуществляется с помощью реле *4РВ*.

3. В целях исключения неправильного срабатывания защиты при неисправностях цепей напряжения в схеме используется устройство блокировки типа КРБ-12.

Схема трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току, используемым для осуществления третьей ступени, для питающего конца линии 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152 (рис. 13)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться в качестве основной для линий с односторонним питанием при установке ее на головном участке цепочки из одиночных линий; защита может также применяться в некоторых случаях для линий с двусторонним питанием, когда пусковой орган, выполненный с реле тока, удовлетворяет требованиям чувствительности.

2. Дистанционная защита осуществлена с помощью одного реле полного сопротивления *5РС* (односистемное исполнение), действующего при всех видах многофазных коротких замыканий и имеющего соответствующие переключения в цепях переменного тока и напряжения (дистанционный орган), двух реле тока *7РТ* и *8РТ* (пусковой орган) и двух реле направления мощности *2РМ* и *3РМ*, которые в рассматриваемой схеме не используются (п. 8,б).

Для обеспечения подведения к дистанционному органу напряжений и токов, соответствующих петле короткого замыкания, пусковой орган должен осуществлять четкий выбор поврежденных фаз. Действие реле пускового органа и сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах междуфазных замыканий, даны в табл. 1.

3. Пусковой орган защиты предназначен:

а) для управления переключениями в цепях тока и напряжения дистанционного органа (реле *5РС*) при различных видах междуфазных коротких замыканий; переключение осуществляется промежуточными реле *4РП1* и *4РП2*;

б) для управления переключением в цепях напряжения дистанционного органа для перехода с уставки первой на уставку второй ступени;

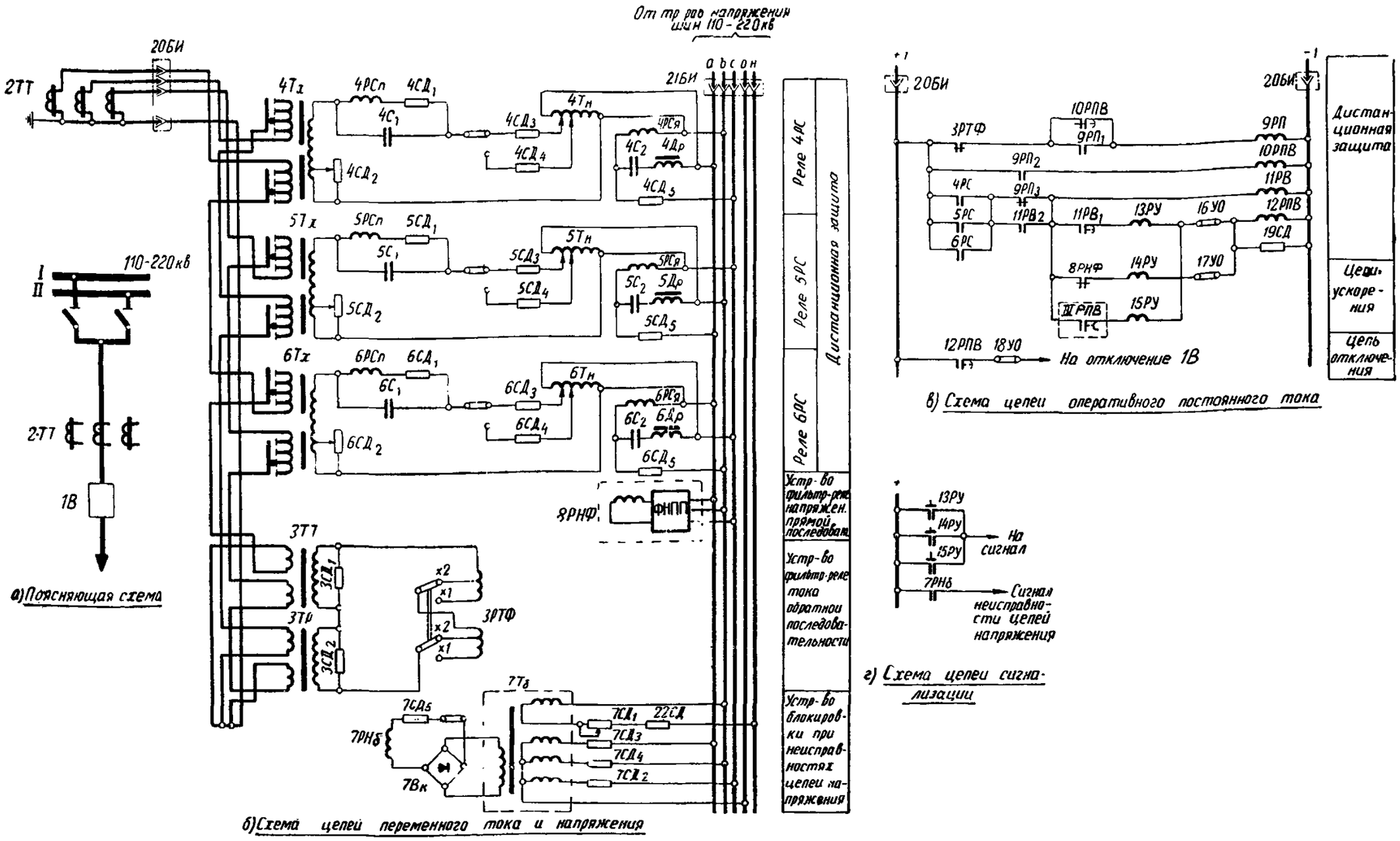


Рис. 11. Схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, вариант 2 — с пуском от устройства фильтр-реле тока обратной последовательности.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3РТФ* — устройство фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1; *4РС—6РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *7* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *8РНФ* — устройство фильтр-реле напряжения прямой последовательности; *9РП* — реле промежуточное типа РП-215; *10РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *11РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *12РПВ* — реле промежуточное типа РП-251; *13РУ—15РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *16УО—18УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *19СД* — сопротивление добавочное 3 900 *ом* типа ПЭ-50; *20БИ—21БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *22СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-20.

Примечания:

1. В устройстве фильтр-реле *3РТФ* замыкающий контакт должен быть переделан на размыкающий.
2. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.

в) для осуществления третьей ступени защиты совместно с реле *6РТ*;

г) для фиксации срабатывания дистанционного органа в первый момент короткого замыкания в зоне, охватываемой второй ступенью защиты («мгновенный замер»), в случаях, когда такая фиксация допустима.

4. Для предотвращения подведения тока к реле сопротивления до окончания переключений в цепях его напряжения, что могло бы привести к неправильному срабатыванию этого реле, предусмотрено реле *4РП5*.

Это реле служит также для фиксации первоначального положения переключающих реле *4РП1* и *4РП2* после их срабатывания при коротком замыкании и предотвращении переключений этих реле при переходах двухфазных коротких замыканий в трехфазные. Реле *4РП5* также запускает реле времени второй и третьей ступеней защиты и реле *4РП4*.

5. Переключение дистанционного органа защиты в цепях напряжения для перехода с уставки первой на уставку второй ступени осуществляется переключающими контактами ($4РП4_2$) реле *4РП4* с замедлением при возврате. В схеме предусмотрена возможность увеличения замедления при возврате реле *4РП4* включением сопротивления *4СД1* параллельно его обмотке.

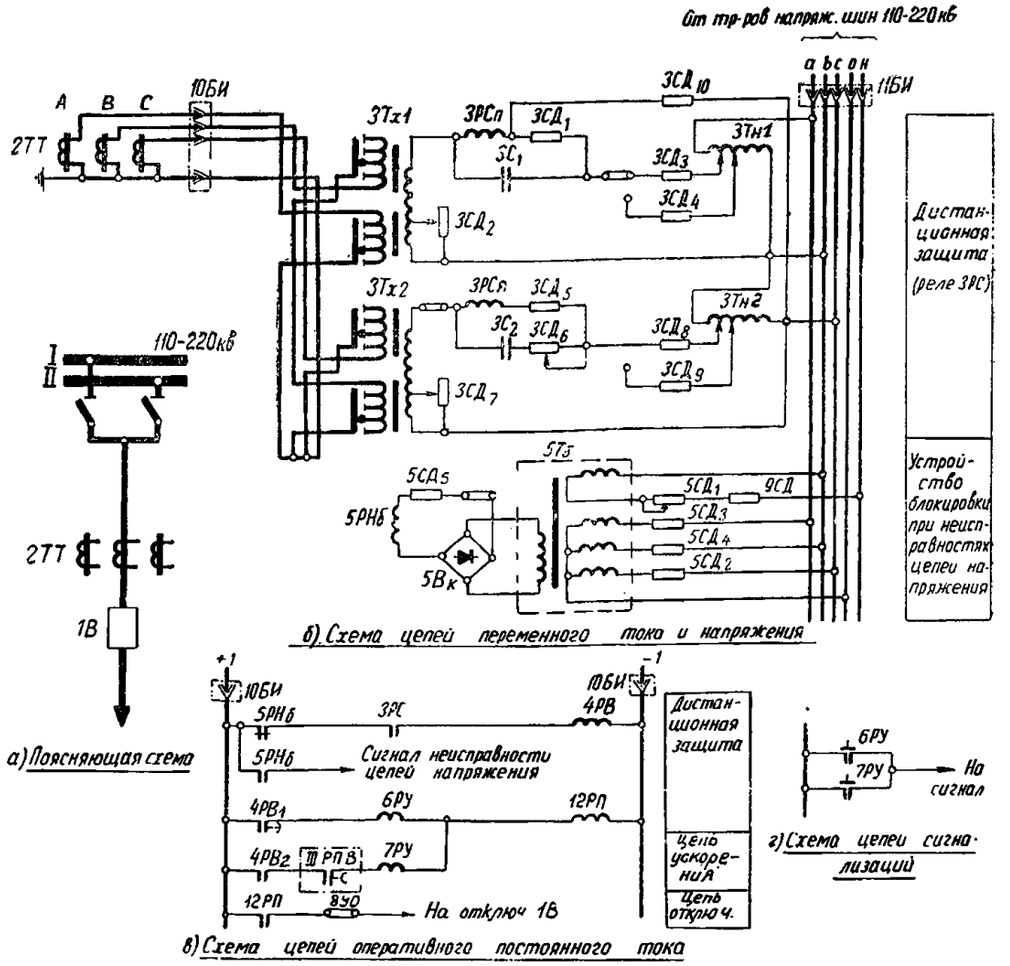


Рис. 12. Схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* от несимметричных многофазных коротких замыканий.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3РС* — реле сопротивления типа КРС-121; *4РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *5* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *6РУ, 7РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *8УО* — устройство отключающее типа НКР-3; *9СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-20; *10БИ, 11БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *12РП* — реле промежуточное типа РП-23.

Примечание. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.

Для предотвращения возможности замыкания контакта реле сопротивления при переключении в его цепях напряжения для перехода с уставки первой на уставку второй ступени и разрегулировке переключающих контактов, замыкающий контакт $4РП4_2$ шунтирован емкостью *4С*, а в цепи тока реле сопортивления введен переходный контакт $4РП4_3$.

6. Реле *10РП* фиксирует срабатывание дистанционного органа контактом $10РП_1$ при установке перемычки *135-143* («мгновенный замер»), если такая фиксация допустима.

7. Для создания на реле сопротивления тормозного момента, обеспечивающего надежное удерживание контакта реле в разомкнутом положении при отсутствии короткого замыкания в нагрузочном режиме, на автотрансформатор подается напряжение, пониженное с помощью добавочного сопротивления *4СД2*.

8. При использовании защиты для линий с односторонним питанием в сети с большим током замыкания на землю в схеме панели должно быть выполнено следующее:

а) сняты перемычки *181-133* и *183-185* и установлена перемычка *181-185*. Указанное предотвращает сраба-

Таблица 1

Сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах повреждения

Вид повреждения	Поврежденные фазы	Работают реле		К реле сопротивления подводится	
		тока	промежуточные	ток	напряжение
Трехфазное короткое замыкание	*ABC*	*6РТ, 7РТ, 8РТ*	*4РП1, 4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
Замыкание между двумя фазами и двухфазное замыкание на землю	*AB*	*6РТ, 7РТ*	*4РП1*	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{ab}$
	BC	*7РТ, 8РТ*	*4РП1, 4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
	CA	*8РТ, 6РТ*	*4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_a$	$\dot{U}_{ca}$

тывание реле *4РП5* и подачу плюса оперативного тока на контакт реле сопротивления при однофазном замыкании на землю, что при последующем переходе повреждения в двухфазное могло бы привести к неправильному действию защиты;

б) зашунтированы контакты органов направления мощности *1РМ—3РМ* (установлены перемычки *103-105*, *103-113*, *103-183*).

в) выведено из действия реле *4РПЗ* (сняты перемычки *106-104* и *108-104*), которое служит для подведения к реле сопротивления фазных токов и напряжений при установке панели защиты типа ПЗ-152 на линии в сети с малым током замыкания на землю.

9. В схеме предусмотрена возможность дополнения защиты ускорением второй или третьей ступени после включения выключателя. При ускорении второй ступени защиты в соответствии с разд. А, п. 16 реле сопротивления следует переключать на уставку второй ступени до включения выключателя. Для этого в цепи обмотки реле *4РП4*, переключающего цепи напряжения реле сопротивления, предусмотрен размыкающий контакт *11РПВ* реле ускорения защиты после включения выключателя.

10. Выходное реле *11РП* имеет удерживающие обмотки в цепях отключения. Замедление при срабатывании этого реле осуществляется с помощью демпфирующей обмотки, в цепи которой находится размыкающий контакт $11РП_1$, при этом наличие демпфирующей обмотки не вызывает замедления реле при его возврате. Замедление на реле вводится при установке перемычки между его зажимами *9* и *10*, как показано на рис 13

11. Указательные реле *15РУ—19РУ* установлены в выходных цепях каждой из трех ступеней, а также в выходных цепях защиты.

12. При применении рассмотренной защиты на линиях с двусторонним питанием может потребоваться блокирование ее при качаниях. В этом случае контакт дополнительно предусматриваемого устройства блокировки включается между зажимами *139* и *143*. При необходимости блокирования только первой ступени устанавливается также перемычка *139-141*.

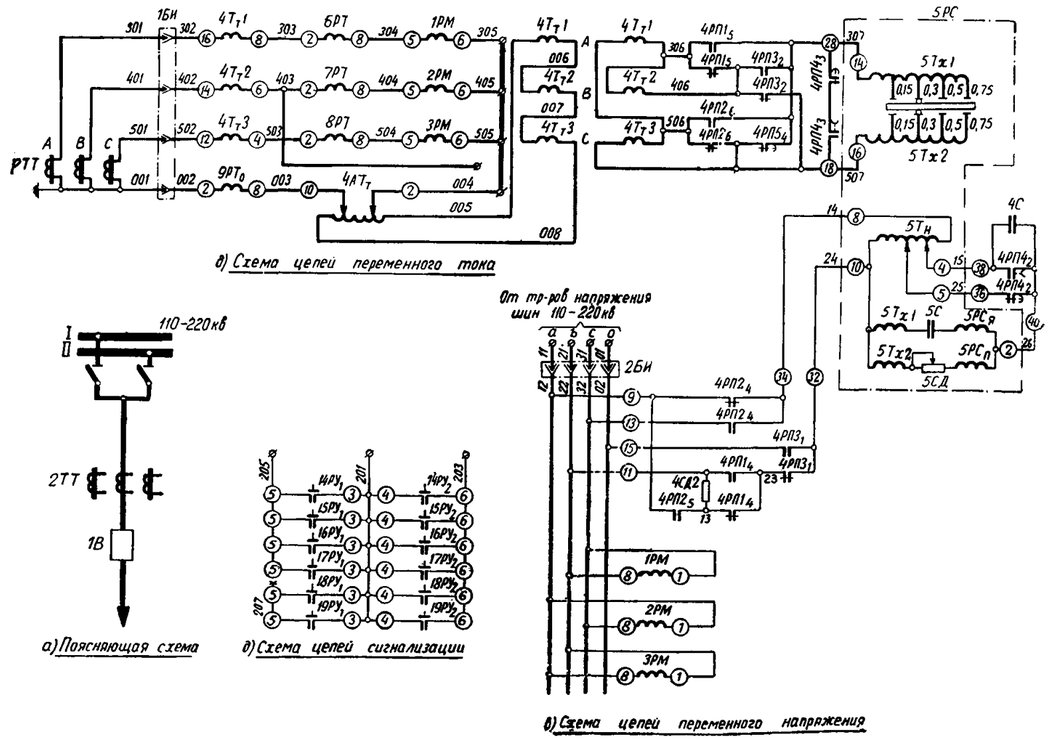


Рис. 13. Схема трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току, исполь сторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий, выполнен

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РМ—3РМ* — реле мощности типа ИМБ-171А/1; *4* — комплект трансформаторов межуточное типа РП-23; *11РП* — реле промежуточное типа РП-253; *12РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *13РВ* — реле времени типа *19РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,5; *20С*, *21С* — конденсаторы 0,5 *мкф*; *22СД*, *23СД* — сопротивления добавочные 500 *ом*;

Примечания:

1. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК.469.029.04 с сохранением основных обо-
2. *11РПВ* — контакт реле ускорения защит.
3. В схеме введено замедление на срабатывание реле *11РП* установкой перемычки между его зажимами *9* и *10*.
4. Толстыми линиями показан контакт реле и соединения, не относящиеся к данной панели.

Схема трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току и напряжению, используемым для осуществления третьей ступени, для питающего конца линии 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152 (рис. 14)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с односторонним питанием (а также в некоторых случаях с двусторонним питанием, см. описание схемы по рис. 13, п. 1) вместо защиты по рис. 13, когда токовый пусковой орган последней не удовлетворяет требованию чувствительности.

2. Схема отличается от схемы по рис. 13 тем, что в ней предусмотрено два пусковых органа:

а) пусковой орган по току и напряжению;

б) токовый пусковой орган.

Второй пусковой орган предназначен для действия в максимальных режимах, когда реле напряжения первого пускового органа могут быть недостаточно чувствительными.

Для осуществления указанных пусковых органов на панели защиты типа ПЗ-152 дополнительно устанавливаются:

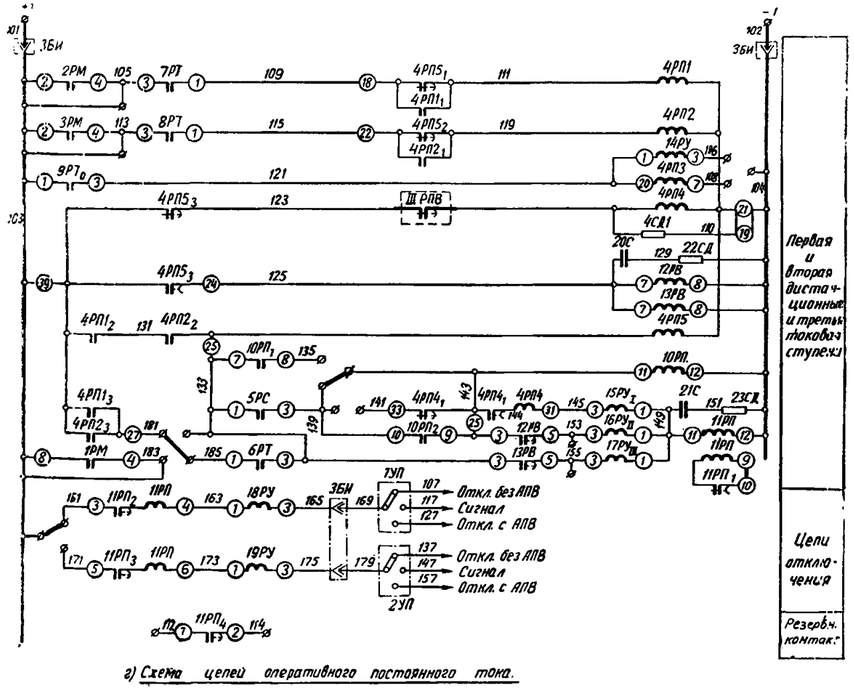
минимальные реле напряжения *31РН—33РН*, включенные на междуфазные напряжения, — для пускового органа по п. 2,а и реле тока *34РТ* и *35РТ*, включенные на ток фаз соответственно *В* и *С*, — для пускового органа по п. 2,б.

В тех случаях, когда пусковой орган по п. 2,а (содержащий реле напряжения *31РН—33РН* и реле тока *7РТ* и *8РТ*) удовлетворяет требованию чувствительности во всех расчетных режимах, пусковой орган по п. 2,б не предусматривается, т. е. реле *34РТ* и *35РТ* исключаются из схемы. При этом реле *6РТ* также может быть исключено из схемы (снятием перемычки *183-185*).

3. Параметры срабатывания реле пусковых органов защиты определяются следующими условиями:

а) реле *7РТ*, *8РТ* (и *6РТ*) — условием отстройки от тока нагрузки нормального режима;

б) реле *31РН—33РН* — условием отстройки от минимального напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска двигателей после отключения внешнего короткого замыкания, а также от напряжения между неповрежденной и поврежденной фазами при металлических двухфазных коротких замыканиях (как правило, при двухфазных замыканиях на землю);



зуемым для осуществления третьей ступени, для питающего конца линии 110—220 *кв* с односторонней с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152.

и промежуточные реле; *5РС* — реле сопротивления; *6РТ—8РТ*, *9РТ₀* — реле тока типа РТ-40; *10РП* — реле ЭВ-134; *14РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; *15РУ—17РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *18РУ*, *1УП*, *2УП* — устройства переключающие типа НКР-3; *1БИ—3БИ* — блоки испытательные типа БИ-4.

значений, использованных заводом.

в) **реле** *34РТ*, *35РТ* — условием отстройки от максимального тока нагрузки с учетом самозапуска двигателей.

Правильное действие пускового органа по п. 2,а при замыканиях между двумя фазами через переходное сопротивление, когда возможно значительное снижение напряжения между отстающей поврежденной и неповрежденной фазами (имеется в виду поврежденная фаза, отстающая по отношению к другой поврежденной фазе), достигается применением специальной схемы включения контактов реле напряжения, обеспечивающей блокирование реле напряжения, включенного на напряжение между неповрежденной и отстающей поврежденной фазами (подробнее см. гл. 5, разд. А, п. 15,б).

4. Действие реле пускового органа по п. 2,а и сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах междуфазных замыканий, даны в табл. 2, причем реле напряжения пускового органа, которые могут сработать при замыкании между рассматриваемыми фазами через переходное сопротивление, указаны в скобках.

В схеме предусматривается включение замыкающего контакта $4РП1_6$ последовательно с замыкающим контактом реле *31РН* для обеспечения действия реле *4РП2* при замыканиях между фазами *В* и *С*. В заводском исполнении реле *4РП1* указанный контакт отсутствует.

5. Следует отметить, что принятая схема включения реле напряжения *31РН—33РН* не обеспечивает надежной работы в зоне, охватываемой второй ступенью защиты, при переходе замыкания между фазами *А* и *В* в трехфазное короткое замыкание.

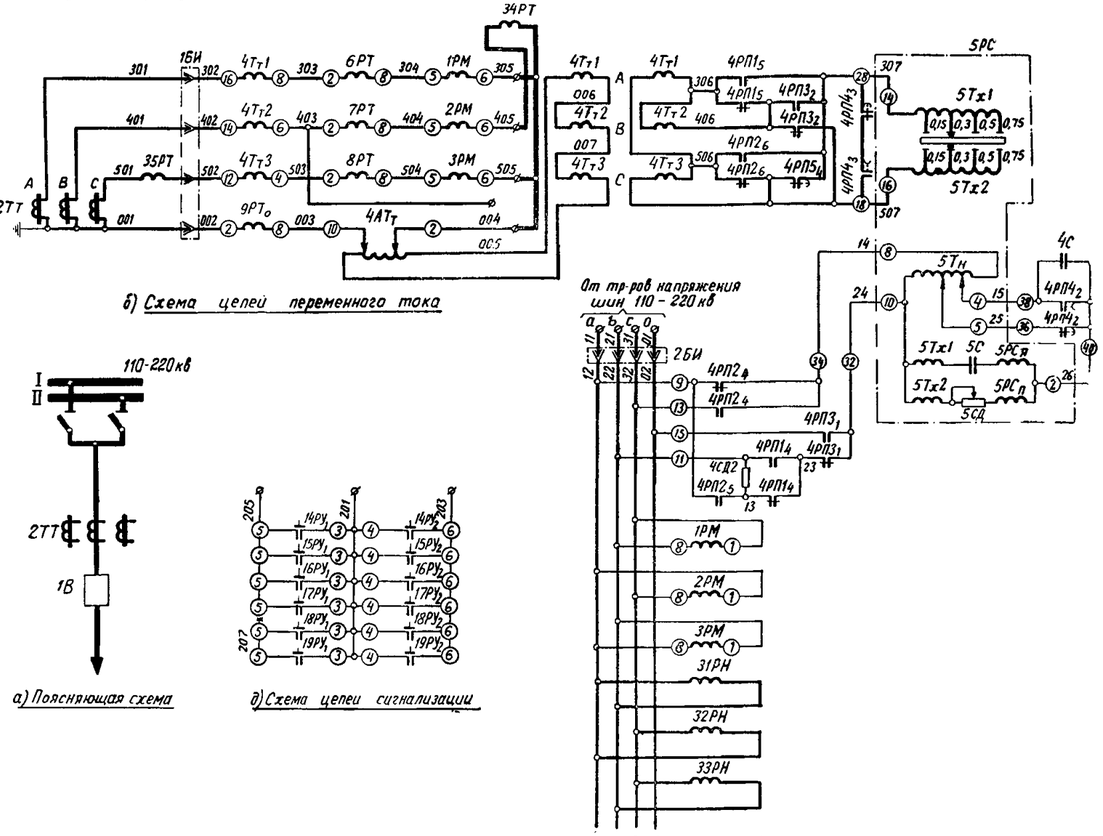
В момент перехода происходит срабатывание реле *32РН*, контакт которого может (если не сработало реле *33РН* при возникновении замыкания между фазами *А* и *В*) кратковременно разомкнуть цепь обмотки реле *4РП1*, а последнее в свою очередь снимает ток и напряжение с реле сопротивления *5РС* и разрывает цепь обмотки реле *4РП5*. При этом время действия защиты увеличивается (происходит «сброс» времени второй ступени защиты на реле *12РВ*). Возможно также кратковременное срабатывание реле сопротивления из-за неодновременного размыкания контактов реле *4РП1* в цепях тока и напряжения этого реле, поэтому если рассматриваемый переход произойдет до момента переключения реле сопротивления на уставку второй ступени или после замыкания контакта реле времени *12РВ* второй ступени, то это может вызвать неправильное действие защиты.

6. В тех редких случаях, когда примененный в рассмотренной схеме пусковой орган не удовлетворяет требованию чувствительности, могут использоваться более сложные схемы защиты по рис. 4—8.

Схема двухступенчатой защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца линии 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий (рис. 15)

1. Защита по рассматриваемой схеме может применяться в сочетании с токовой отсечкой или комбинированной отсечкой по току и напряжению, выполненными без выдержки времени, а также без них, в качестве основной для питающего конца линий с односторонним питанием.

2. Первая (дистанционная) ступень защиты осуществлена с помощью одного реле сопротивления *6РС* типа КРС-111 (односистемное исполнение), включенного на разность токов фаз *А* и *С* и на междуфазное напря-



а) Пояснящая схема

б) Схема цепей переменного тока

в) Схема цепей переменного напряжения

г) Схема цепей оперативного постоянного тока

Рис. 14. Схема трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току и напряже
нию, используемым для осуществления третьей ступени, для питающего конца линии 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных корот
ких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РМ—3РМ* — реле мощности типа ИМБ-171А/1; *4* — комплект трансформаторов и *31РН—33РН* — реле напряжения типа РН-54/160; *10РП* — реле промежуточное типа РП-23; *11РП* — реле промежуточное типа РП-253; РУ-21/220; *15РУ—17РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *18РУ*, *19РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,5; *20С*, *21С* — конденсаторы промежуточных реле; *5РС* — реле сопротивления; *6РТ—8РТ*, $9РТ_0$, *34РТ*, *35РТ* — реле тока типа РТ-40; НКР-3; *1БИ—3БИ* — блоки испы *12РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *13РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *14РУ* — реле указательное типа тательные типа БИ-4. 0,5 *мкф*; *22СД*, *23СД* — сопротивления добавочные 500 *ом*; *1УП*, *2УП* — устройства переключающие типа

Примечания:

1. **Схема выполнена на основании** заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК.469.029.04 **с сохранением** основных обозначе ний, использованных заводом.
2. **Реле** *31РН—33РН* **и** *34РТ*, *35РТ* **устанавливаются вне панели защиты типа ПЗ-152.**
3. **Реле** *4РП1* **должно быть дополнено одним замыкающим контактом.**
4. *IIIРПВ* — **контакт реле ускорения защит.**
5. **В схеме введено замедление на срабатывание реле** *11РП* **установкой перемычки между его зажимами** *9* **и** *10*.
6. **Толстыми линиями показаны дополнительно устанавливаемые реле и соединения, а также контакты реле, не относящиеся** к данной панели.

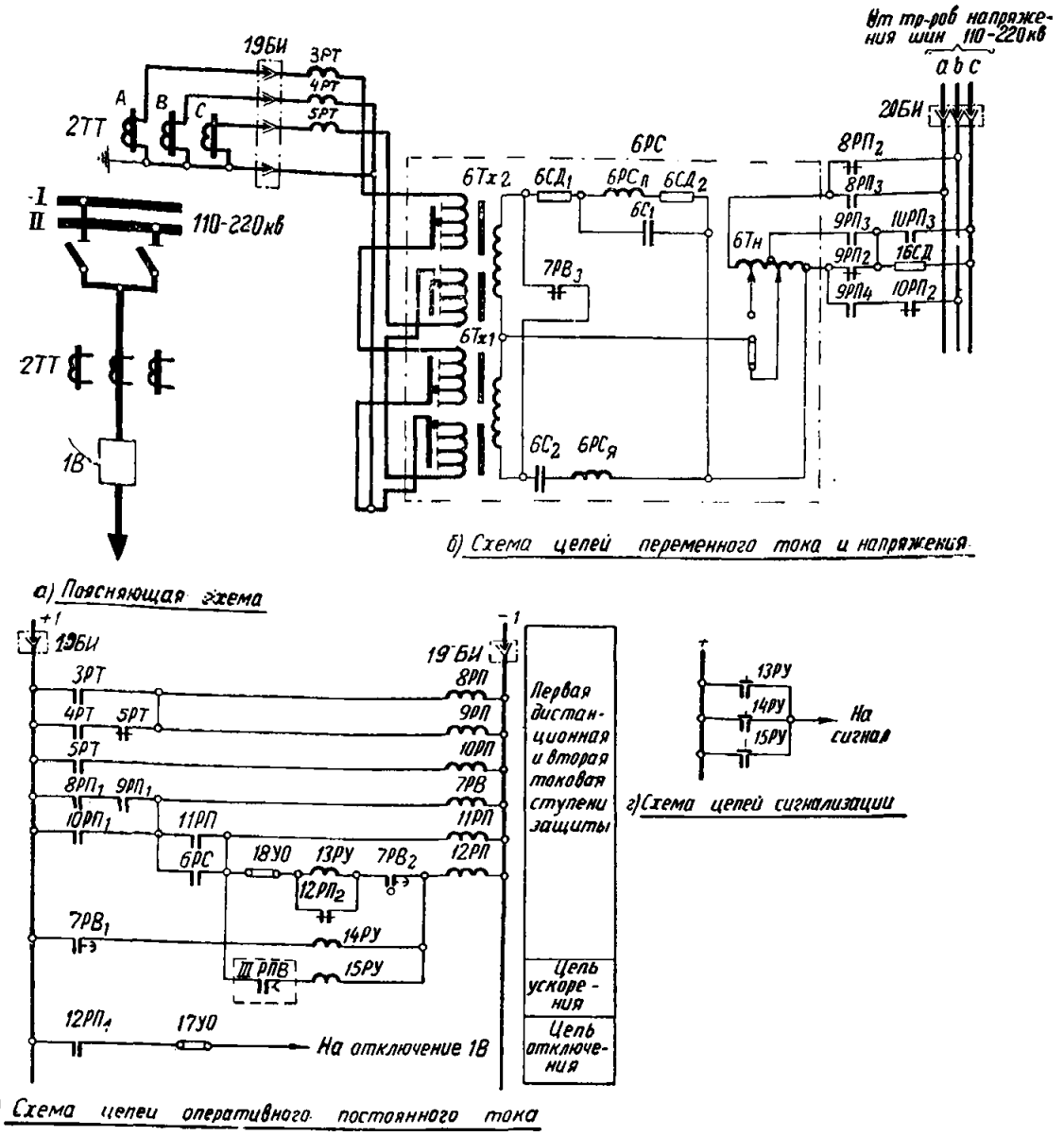


Рис. 15. Схема двухступенчатой защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца линии 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3РТ—5РТ* — реле тока типа РТ-40; *6РС* — реле сопротивления типа КРС-111; *7РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *8РП—12РП* — реле промежуточные типа РП-23; *13РУ—15РУ*—реле указательные типа РУ-21/0,025; *16СД* — сопротивление добавочное 1 000 *ом*; *17УО, 18УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *19БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *20БИ*—блок испытательный типа БИ-4.

Примечания:

1. В реле *12РПВ* один замыкающий контакт должен быть переделан на размыкающий.
2. Замыкающий без выдержки времени контакт реле *7РВ* должен быть переделан на размыкающий.
3. Для осуществления шунтирования контактом $7РВ_2$ обмоток трансреакторов *6Тх1* и *6Тх2* должны быть предусмотрены выводы концов этих обмоток согласно рис. 15,*б*.
4. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.

жение петли короткого замыкания (табл. 3), подводимое пусковым органом (реле *3РТ*, *5РТ* и *8РП—10РП*).

При коротких замыканиях между тремя фазами и между фазами *С* и *А* в соответствии с табл. 3 и рис. 15 напряжение подводится к 50% витков первичной обмотки автотрансформатора напряжения *6Тн* реле сопротивления, а не к 100% витков, как при коротких замыканиях между фазами *А* и *В* или *В* и *С*. Указанное предусмотрено для обеспечения одинаковых значений сопротивлений на зажимах реле при различных видах повреждения.

При этом следует учитывать, что при коротком замыкании за трансформатором $Y\Delta$ в случае отказа в действии одного из реле тока пускового органа замер реле сопротивления, включенного по рассматриваемой схеме, может оказаться преуменьшенным в пределе в $\sqrt{3}$ раз (приложение VI). Указанное должно учитываться при выборе сопротивления срабатывания реле.

В тех случаях, когда при таком выборе сопротивления срабатывания защита не обеспечивает требуемую чувствительность к повреждениям в конце защищаемого участка, целесообразно применять схему, не обладающую указанным недостатком и приведенную в приложении VII (рис. П-11).

3. Токовые цепи реле сопротивления в нормальном режиме работы шунтируются размыкающим контактом реле времени *7РВ*; этот контакт $7РВ_3$ размыкается без замедления после срабатывания промежуточных реле *8РП* и *9РП* или *10РП*, производящих переключения в цепях напряжения реле сопротивления. Указанное предотвращает неправильное срабатывание реле сопротивления, которое могло бы иметь место из-за подведения к нему тока повреждения раньше, чем напряжения.

Таблица 2

Сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах повреждения

Вид повреждения	Поврежденные фазы	Работают реле			К реле сопротивления подводится	
		тока	напряжения	промежуточные	ток	напряжение
Трехфазное короткое замыкание	*ABC*	*6PT*, *7PT*, *8PT*	*31PH*, *32PH*, *33PH*	*4PП1*, *4PП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
Замыкание между двумя фазами и двухфазное замыкание на землю	*AB*	*6PT*, *7PT*	*31PH*, (*33PH*)	*4PП1*	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{ab}$
	BC	*7PT*, *8PT*	*33PH*, (*32PH*)	*4PП1*, *4PП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
	CA	*8PT*, *6PT*	*32PH*, (*31PH*)	*4PП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_a$	$\dot{U}_{ca}$

Таблица 3

Сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах повреждения

Вид повреждения	Поврежденные фазы	Работают реле		К реле сопротивления подводится	
		тока	промежуточные	ток	напряжение
Трехфазное короткое замыкание	*ABC*	*3PT*, *4PT*, *5PT*	*8PП*, *9PП*, *10PП*	$\dot{I}_a - \dot{I}_c$	$\dot{U}^*_{ac}$
Замыкание между двумя фазами и двухфазное замыкание на землю	*AB*	*3PT*, *4PT*	*8PП*, *9PП*	$\dot{I}_a$	$\dot{U}_{ab}$
	BC	*4PT*, *5PT*	*10PП*	$-\dot{I}_c$	$\dot{U}_{bc}$
	CA	*3PT*, *5PT*	*8PП*, *9PП*, *10PП*	$\dot{I}_a - \dot{I}_c$	$\dot{U}^*_{ac}$

* Напряжение подводится к 50% витков первичной обмотки автотрансформатора напряжения реле сопротивления.

4. Для создания на реле сопротивления тормозного момента, обеспечивающего надежное удерживание контакта реле в разомкнутом положении при отсутствии короткого замыкания в нагрузочном режиме, на автотрансформатор подается напряжение, пониженное с помощью добавочного сопротивления *17СД*. Указанное добавочное сопротивление выбрано таким образом, чтобы обеспечивалась термическая устойчивость реле.

5. Выдержка времени первой и второй ступеней защиты осуществляется с помощью реле времени *7РВ*, запускаемого от реле тока *3РТ* и *5РТ* пускового органа.

6. Защита выполнена с фиксацией срабатывания дистанционного органа («мгновенный замер»), осуществляемой с помощью промежуточного реле *11РП* в случаях, когда такая фиксация допустима.

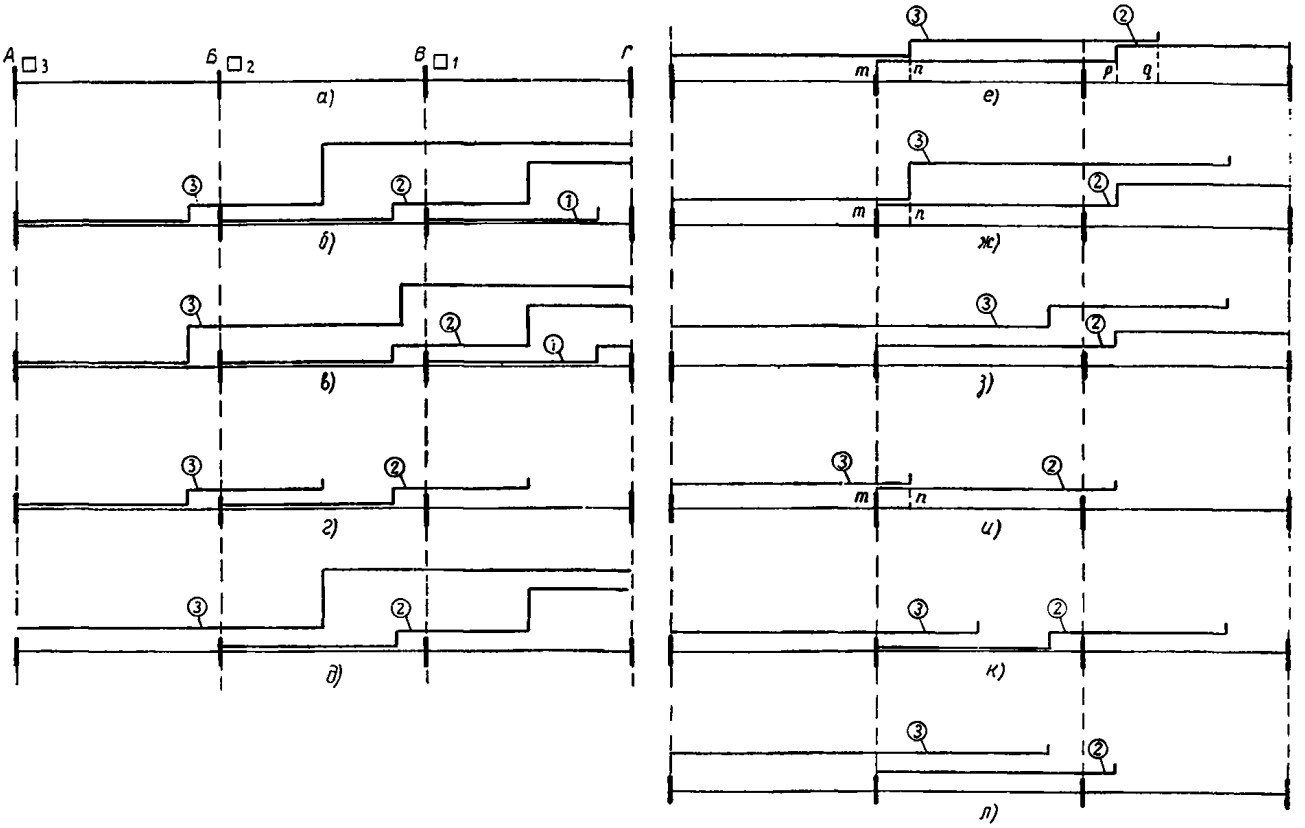


Рис. 16. Характеристики выдержек времени трех-, двух- и одноступенчатых дистанционных защит.

Примечание. Характеристики выдержек времени *1, 2, 3* на рис. 16,*б—л* относятся соответственно к защитам *1, 2, 3* рис. 16,*а*.

7. В качестве второй ступени в рассматриваемой схеме предусмотрена максимальная токовая защита, для выполнения которой использованы реле тока *3РТ* и *5РТ* пускового органа первой ступени защиты и реле тока *4РТ*, включенное на ток фазы *В*, предусмотренное для повышения чувствительности защиты к повреждениям за трансформаторами приемной подстанции.

Схема выполнена таким образом, что в случае срабатывания только реле тока *4РТ* запускаются промежуточные реле *8РП* и *9РП*, которые подводят напряжение к реле сопротивления также при срабатывании реле тока *3РТ* пускового органа (включено на ток фазы *А*).

Указанное необходимо для предотвращения неправильного срабатывания реле *6РС*, которое могло бы иметь место после размыкания размыкающего без выдержки времени контакта реле времени *7РВ* (вызванного срабатыванием реле *4РТ*), если бы при этом к реле не подводилось напряжение.

При срабатывании реле тока *4РТ* и *5РТ* (замыкание между фазами *В* и *С*) запускается только промежуточное реле *10РП* фазы *С*. Указанное обеспечивается с помощью размыкающего контакта реле *5РТ*, блокирующего цепь запуска промежуточных реле *8РП* и *9РП* от реле *4РТ* и предотвращающего неправильное подведение напряжения к реле сопротивления в рассматриваемом случае.

8. В схеме предусмотрено ускорение первой ступени защиты после включения выключателя.

9. В схеме предусмотрено отключающее устройство *19УО* в цепи первой (дистанционной) ступени защиты, позволяющее выводить из действия эту ступень при неисправностях цепей напряжения. Указанное необходимо в связи с тем, что рассматриваемая дистанционная защита может неправильно сработать при таких неисправностях и возникновении повреждения вне зоны действия этой защиты.

10. В случаях, если использованный в схеме токовый пусковой орган не удовлетворяет требованию чувствительности, рассмотренная защита должна выполняться с пуском по току и напряжению, как это показано в схеме по рис. 14.

11. При использовании рассмотренной защиты на тупиковых линиях первая (дистанционная) ее ступень выполняется без выдержки времени.

При этом из схемы исключаются фиксация начального значения сопротивления (реле *11РП*) и цепи ускорения после включения выключателя (реле *15РУ* и контакт *IIIРПВ*), а в качестве реле *7РВ* и *12РП* используются соответственно реле типов ЭВ-134 и РП-251.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СХЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 110—330 *кв* В СЕТЯХ С БОЛЬШИМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В настоящей главе рассмотрены принципы выполнения и особенности схем дистанционной защиты двух параллельных линий от многофазных коротких замыканий для случая, когда она выполнена общим комплектом с включением на сумму токов обеих линий (суммарная защита).

На рис. 17 дана схема трехступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-159.

На рис. 18 и 19 даны схемы двухступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий с тремя однофазными направленными реле сопротивления типа КРС-131, выполненной с использованием типовых комплектных панелей защиты: на рис. 18 — панели типа ЭПЗ-624-64 (с пуском от устройства блокировки при качаниях типа КРБ-124), на рис. 19 — панели типа ЭПЗ-632-64 (с пуском от устройства фильтр-реле тока обратной последовательности).

На рис. 20 дана схема трехступенчатой суммарной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току, используемым для осуществления третьей ступени, для питающего конца двух параллельных линий 110—220 *кв* с односторонним питанием, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152.

На рис. 21 дана схема двухступенчатой суммарной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий с первой дистанционной и второй токовой ступенями для питающего конца двух тупиковых параллельных линий 110—220.

А. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ

1. На параллельных линиях дистанционная защита может использоваться в качестве:

а) основной защиты (в ряде случаев может выполнять также функции резервирования предыдущего участка);

б) резервной защиты при использовании в качестве основной поперечной дифференциальной направленной защиты (в рассматриваемом случае дистанционная защита является основной при работе одной линии);

в) резервной защиты при использовании в качестве основной защиты, обеспечивающей отключение без замедления повреждений на всем протяжении защищаемого участка (высокочастотные, продольная дифференциальная защиты и т. д.).

Защита по пп. 1,а и 1,в выполняется отдельными комплектами на каждую линию по схемам, приведенным в гл. 1: защита по п. 1,а — по схемам рис. 1—9 и 13—15; защита по п. 1,в — по схемам рис. 4—8 и 10—12, использование для защиты по п. 1,в схем по рис. 1—3 и 9 нецелесообразно ввиду большой сложности этого варианта и большей предпочтительности применения в тех же условиях дистанционной защиты, выполненной с использованием панелей защиты типов ПЗ-158, ПЗ-157, ПЗ-159 и ДЗ-500 с добавлением высокочастотной блокировки.

Защита по п. 1,б выполняется общим комплектом с включением на сумму токов обеих линий (суммарная двух- или трехступенчатая защита) по схемам, приведенным в настоящей главе, или отдельными комплектами на каждую линию при применении одноступенчатой дистанционной защиты по схемам, приведенным в гл. 1 (по рис. 10—12).

2. Дистанционная защита по п. 1,а может применяться в случаях, когда при ее использовании обеспечивается сохранение устойчивости системы и когда по условиям работы сети недопустимо использование защиты по п .1,б, например, если возможна раздельная работа защищаемых линий (при отключении шиносоединительного выключателя на одной из подстанций, где защищаемые линии разведены на разные системы шин) или длительное отключение одной из линий с одного или двух концов.

При этом приближенно в соответствии с ПУЭ, п. III-2-85 можно принимать, что устойчивость сохраняется, если при трехфазных коротких замыканиях на защищаемых линиях, отключаемых с выдержкой времени, значение остаточного напряжения в узловых точках системы (например, для параллельных линий с двусторонним питанием — на шинах подстанции, со стороны которой установлена рассматриваемая защита) больше 0,6 $U_{ном}$. Определение значения остаточного напряжения должно производиться в режиме каскадного отключения повреждения в конце зоны, охватываемой первой ступенью защиты.

Дистанционная защита по п. 1,б может применяться в случаях, когда в качестве основной используется по-

перечная дифференциальная направленная защита, а именно когда защита по п. 1,а не обеспечивает сохранения устойчивости системы и когда раздельная работа защищаемых линий маловероятна.

Дистанционная защита по п. 1,в может применяться, когда требуется использование в качестве основной высокочастотной защиты, а именно когда защита по п. 1,а не обеспечивает сохранения устойчивости системы, а защита по п. 1,б не удовлетворяет требованиям чувствительности, быстроты действия или не может быть использована по условиям работы сети (см. выше).

3. Для защиты двух параллельных линий с ответвлениями могут использоваться те же схемы защиты, что и для двух параллельных линий без ответвлений.

При применении рассматриваемой защиты для линий с ответвлениями, питающих тяговую нагрузку, следует учитывать наличие в нормальных режимах работы высших гармонических в токе и напряжении, а при питании тяговой нагрузки на переменном токе также наличие составляющих обратной последовательности основной гармоники в токе и напряжении, что приводит к появлению небалансов, которые могут вызвать излишний запуск устройств блокировки при качаниях. Для устранения влияния высших гармонических (в случае необходимости) устройство блокировки при качаниях дополняется специальным фильтром высших гармонических.

Для отстройки от небалансов, вызванных несимметрией нагрузки, в ряде случаев необходимо загрубление пускового органа блокировки при качаниях, что может быть выполнено введением дополнительно устанавливаемого сопротивления в цепь его рабочей обмотки.

В связи с указанным имеются предложения о выполнении устройства блокировки при качаниях с пусковым органом нечувствительным к несимметричной нагрузке и высшим гармоническим. Такой пусковой орган может, например, быть выполнен реагирующим на скорость возрастания напряжения обратной последовательности [1] или на аварийную составляющую последнего, возникающую при коротких замыканиях и переходных режимах, и др.

Схемы даны в предположении, что для рассматриваемых линий, так же как и для одиночных линий с ответвлениями (гл. 1, разд. А, п. 6), считается допустимым отключение повреждений в трансформаторах подстанции ответвления защитой линий с включением последних от устройства АПВ.

Необходимо учитывать, что при возможности подпитки места повреждения на защищаемой линии со стороны подстанции на ответвлении на последней также должна быть предусмотрена защита, действующая на отделение указанной подстанции от защищаемой линии.

4. Пуск суммарной защиты осуществляется:

а) в схеме по рис. 17 — от реле сопротивления;

б) в схеме по рис. 18 — от устройства блокировки при качаниях;

в) в схеме по рис. 19 — от устройства фильтр-реле тока обратной последовательности;

г) в схемах по рис. 20 и 21 — от реле тока.

5. При переходе на работу одной линией предусмотрено:

а) в схемах по рис. 17—20 — введение в действие первой (без выдержки времени) ступени защиты;

б) в схеме по рис. 21 — перевод первой ступени защиты на действие без выдержки времени.

Указанное необходимо в связи с тем, что при работе обеих параллельных линий суммарная защита, действующая на отключение этих линий, не может содержать ступени без выдержки времени, а при работе одной линии такая ступень необходима, поскольку в этом случае поперечная дифференциальная направленная защита выводится из действия.

6. Переключение по п. 5 в цепях суммарной защиты (по рис. 17—21) производится автоматически с учетом следующего:

а) При работе одной линии и включении другой первая ступень защиты по рис. 17—20 должна быть выведена из действия, а выдержка времени первой ступени защиты по рис. 21 введена раньше замыкания главных контактов выключателя включаемой линии. Указанное необходимо для предотвращения неправильного отключения работающей линии при повреждении на включаемой линии в пределах зоны действия первой ступени суммарной защиты.

б) При отключении одной из линий введение в действие первой ступени защиты по рис. 17—20 должно производиться только после отключения выключателя этой линии и возврата защиты.

Указанное необходимо для предотвращения неправильного отключения неповрежденной линии до момента отключения поврежденной линии.

в) При отключении одной из тупиковых параллельных линий перевод первой ступени защиты по рис. 21 на действие без выдержки времени должен производиться с временем, выбираемым таким образом, чтобы поврежденная линия успела бы отключиться с приемного конца (с учетом возможного каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты), включиться от АПВ и вновь отключиться (в случае неустранившегося повреждения) раньше, чем будет осуществлен рассматриваемый перевод.

7. Схемы по рис. 17—21 выполнены для случая, когда вторая ступень защиты удовлетворяет требованию чувствительности при работе как двух, так и одной из защищаемых параллельных линий без изменения ее сопротивления срабатывания.

В тех случаях, когда указанное условие не соблюдается и требуется автоматическое изменение сопротивления срабатывания второй ступени при отключении одной из линий, в схему должны быть внесены соответствующие изменения (приложение VIII).

8. В схемах предусмотрено ускорение действия защиты после включения выключателя. При этом в целях уменьшения времени отключения повреждения после включения выключателя целесообразно переключение реле сопротивления на уставку ускоряемой ступени производить до включения выключателей защищаемых линий.

9. В схемах предусмотрены раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением после включения выключателя от суммарной защиты через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты. Предусматривая различные времена действия АПВ защищаемых линий с одной из сторон (со стороны включаемой от АПВ первой — на линиях с двусторонним питанием и со стороны питания — на линиях с односторонним питанием), можно обеспечить отключение после АПВ только поврежденной линии (по цепи ускорения действия защиты). Для этого разница во временах действия АПВ линий с рассматриваемой стороны должна быть такой, чтобы:

а) при повреждении на линии, включаемой первой, она успевала бы включиться и отключиться (в случае неустранившегося повреждения) раньше, чем включится вторая (неповрежденная) линия;

б) при повреждении на линии, включаемой второй, включаемая первой неповрежденная линия должна успевать включиться и контакт реле ускорения защиты после включения выключателя этой линии разомкнуться раньше, чем включится поврежденная линия и повторно

[1] В. П. Клецкий, Пусковой орган dU_2/dt для сложных защит, «Электрические станции», 1965, № 12.

сработает защита (в случае неустранившегося повреждения).

Рассмотренное выполнение цепей ускорения защиты в совокупности с правильным выбором времен действия АПВ позволяет восстановить работу неповрежденной линии после отключения ее одновременно с поврежденной от суммарной защиты, например, при отказе поперечной дифференциальной направленной защиты, а также при возникновении повреждения в случаях, когда поперечная дифференциальная направленная защита выведена из действия (для проверок или в режимах, когда нарушена параллельная работа линий).

Однако для линий с двусторонним питанием увеличение времени действия АПВ может оказаться нежелательным (например, по условию сохранения устойчивости системы).

Кроме того, следует отметить, что в тех случаях, когда в работе остается только одна линия (с бо́льшим временем действия АПВ), целесообразно на все время такой ее работы снизить время действия АПВ.

10. Питание цепей напряжения и оперативного постоянного тока суммарной дистанционной защиты по рис. 17—21 осуществляется по схеме, приведенной на рис. 22.

11. Схемы даны для случая установки масляных выключателей и использования встроенных в них трансформаторов тока.

Для повышения надежности цепей отключения при действии защиты целесообразно предусматривать удерживание отключающего импульса до момента размыкания блок-контакта выключателя в цепи отключения.

В типовых панелях защиты типов ПЗ-159 и ПЗ-152 (рис. 17 и 20) для этой цели предусмотрены удерживающие обмотки в выходном реле. Остальные схемы выполнены в предположении, что указанное удерживание отключающего импульса предусматривается в схеме управления на контакте реле блокировки от многократных включений выключателя.

При установке воздушных выключателей и выносных трансформаторов тока последние в отличие от приведенных схем должны быть предусмотрены со стороны линии. Кроме того, учитывая наличие в схеме управления воздушным выключателем самоудерживания с помощью блок-контакта отключающей катушки в типовых панелях защиты типов ПЗ-159 и ПЗ-152, удерживающие обмотки выходного реле этих защит должны быть исключены из схемы для предотвращения возможного повреждения отключающей катушки при отказе в отключении одной из фаз выключателя.

12. В схемах предусмотрено выходное промежуточное реле типа РП-251 или РП-253, имеющее замедление при срабатывании в целях предотвращения действия защиты при работе трубчатых разрядников.

На линиях, на которых не применяются трубчатые разрядники, в качестве выходного целесообразно использовать реле типа РП-212 взамен реле указанных выше типов.

13. Для сигнализации действия защиты в схемах предусмотрены указательные реле в выходных цепях каждой ступени защиты и в цепи ускорения действия защиты после включения выключателя каждой линии.

В случаях, если при действии установленных на линии трубчатых разрядников указательное реле в цепи первой ступени защиты успевает срабатывать, целесообразно шунтировать обмотку этого реле размыкающим контактом выходного промежуточного реле защиты, как это выполнено в схеме по рис. 18.

14. В схемах предусмотрены отключающие устройства:

в цепях отключения выключателя каждой линии — для оперативного выведения защиты (например, при неисправностях цепей напряжения);

в цепях ускорения действия защиты после включения выключателя — для выведения ускорения действия защиты.

15. В части выполнения пускового органа защиты, устройства блокировки при качаниях, а также в части включения автоматов на вторичной стороне трансформатора напряжения и т. д. рассматриваемые схемы аналогичны схемам защиты одиночных линий (гл. 1, разд. А, пп. 9—14, 19, 23 и 25).

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ РЕЗЕРВНОЙ СУММАРНОЙ ЗАЩИТЫ (рис. 17—22)

Схема трехступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-159А (рис. 17)

1. Панель защиты типа ПЗ-159, как было отмечено выше (гл. 1, разд. Б, описание схемы по рис. 3), имеет две модификации: с устройством блокировки при качаниях типа КРБ-124 (панель типа ПЗ-159А) и с устройством блокировки при качаниях типа КРБ-123 (панель типа ПЗ-159Б).

На рис. 17 дана схема применительно к панели типа ПЗ-159А.

2. Защита может применяться для двух параллельных линий с двусторонним питанием в случаях, когда требуется резервирование действия защиты и выключателя предыдущей линии (дальнее резервирование), а также в случаях, когда такого резервирования не требуется, но при применении двухступенчатой дистанционной защиты вторая ступень последней имеет коэффициент чувствительности к повреждениям в конце защищаемого участка $k_ч < 1{,}5$ (гл. 5, разд. А, п. 9).

3. Рассматриваемая схема по сравнению со схемой типовой панели (гл. 1, разд. Б, рис. 3) имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для выполнения суммарной защиты:

а) Предусматривается выведение из действия первой ступени защиты при работе обеих параллельных линий с помощью размыкающего контакта дополнительно устанавливаемого промежуточного реле *36РПВ* с замедлением при возврате.

Это реле, запускаемое при работе обеих линий от последовательно соединенных размыкающих контактов *IРП* и *IIРП* реле положения «отключено» выключателей защищаемых линий, разрывает своим размыкающим контактом цепь запуска выходного реле *10РПВ* от первой ступени защиты.

б) Предусматриваются раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением рассматриваемой защиты после включения выключателя через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты, что дает возможность восстановить работу неповрежденной линии после отключения ее (одновременно с поврежденной) от суммарной защиты как при устраняющемся, так и при неустраняющемся повреждении (разд. А, п. 9).

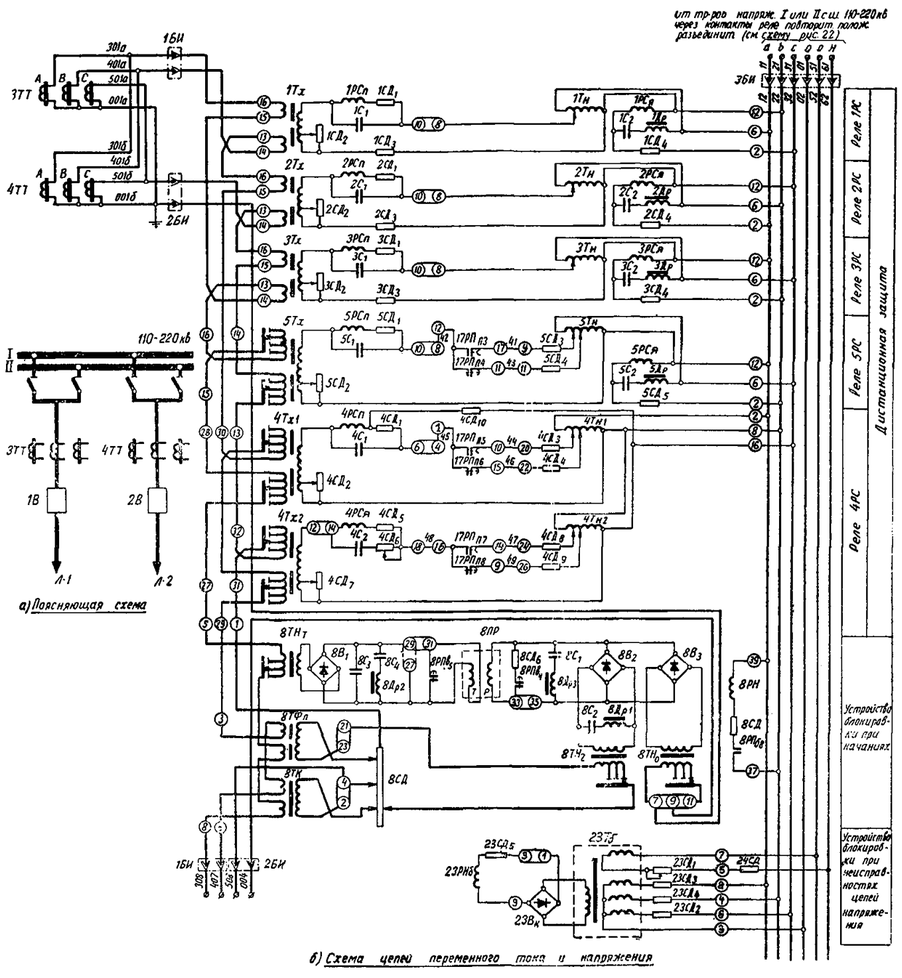
При ускорении второй ступени защиты контакты $IIIРПВ_1$ и $IVРПВ_1$ реле ускорения защиты должны присоединяться: к зажиму *131* панели, если возврат устройства блокировки при качаниях осуществляется непосредственно после отключения короткого замыкания; к зажиму *151*, если возврат устройства блокировки при качаниях осуществляется с заданной выдержкой времени.

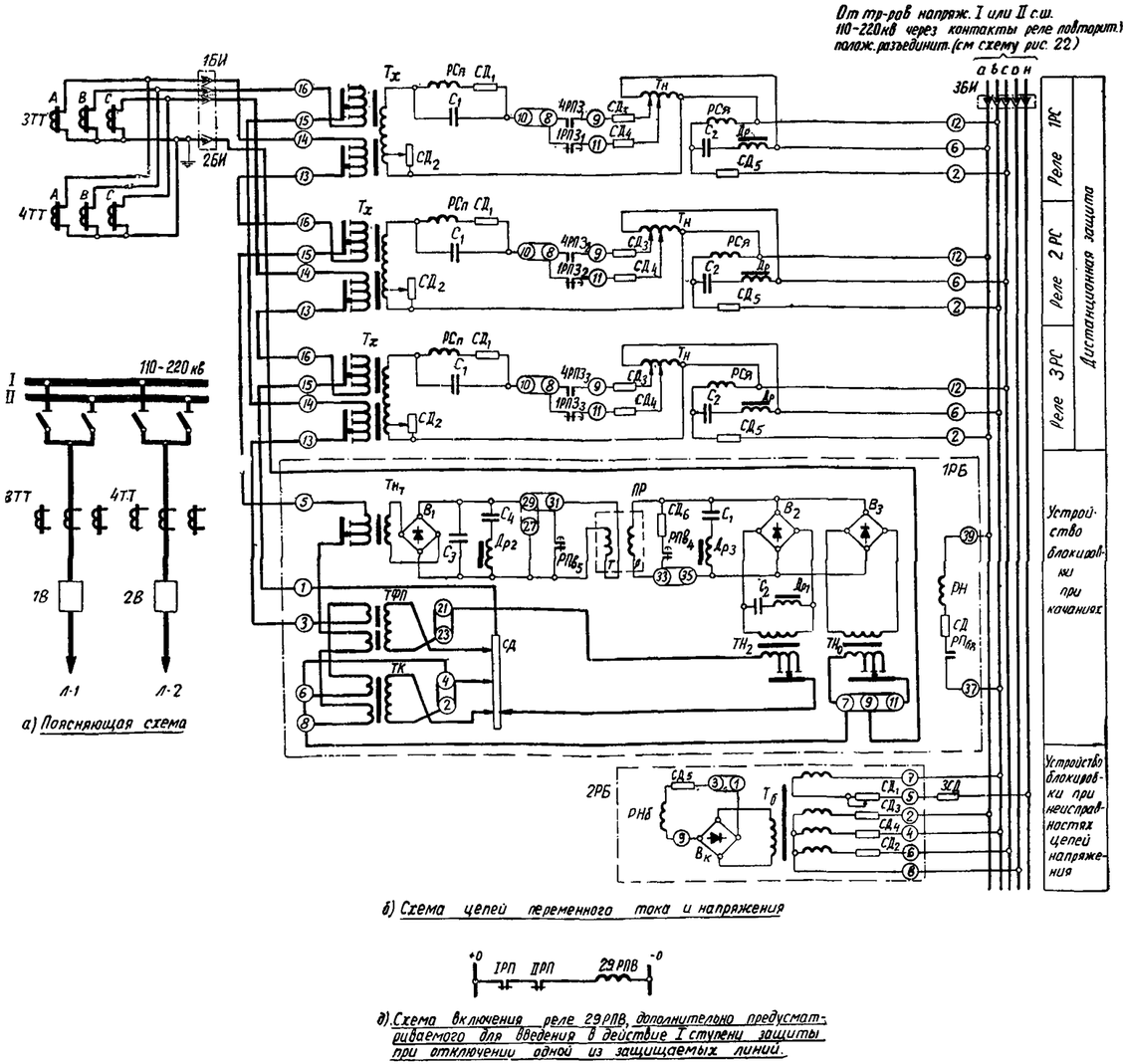
При ускорении третьей ступени защиты контакты $IIIРПВ_2$ и $IVРПВ_2$ должны присоединяться к зажиму *113* панели.

Реле ускорения, предусмотренное на панели ПЗ-159, не используется.

В цепях ускорения действия защиты дополнительно устанавливаются указательные реле *37РУ* и *38РУ*.

в) В цепи обмотки реле *17РПп*, переключающего цепи напряжения реле сопортивления, при ускорении второй ступени защиты должны быть предусмотрены последовательно соединенные размыкающие контакты $IIIРПВ_3$ и $IVРПВ_3$ реле ускорения, как показано на схеме. Указанное обеспечивает переключение реле сопротивления на уставку второй ступени в соответствии с разд. А, п. 8 до включения выключателей защищаемых линий. При ускорении третьей ступени защиты указанные выше контакты должны быть исключены.


1ТТ
2ТТ
3ТТ
4ТТ
1ТН
2ТН
3ТН
4ТН
1ТК
2ТК
3ТК
4ТК
1ТХ
2ТХ
3ТХ
4ТХ
1РСП
2РСП
3РСП
4РСП
5РСП
1РСА
2РСА
3РСА
4РСА
5РСА
1СД
2СД
3СД
4СД
5СД
1ВИ
2ВИ
3ВИ
4ВИ
5ВИ
6ВИ
7ВИ
8ВИ
1ВН
2ВН
3ВН
4ВН
5ВН
6ВН
7ВН
8ВН
1ВК
2ВК
3ВК
4ВК
5ВК
6ВК
7ВК
8ВК
1ВД
2ВД
3ВД
4ВД
5ВД
6ВД
7ВД
8ВД
1ВР
2ВР
3ВР
4ВР
5ВР
6ВР
7ВР
8ВР
1ВС
2ВС
3ВС
4ВС
5ВС
6ВС
7ВС
8ВС
1ВП
2ВП
3ВП
4ВП
5ВП
6ВП
7ВП
8ВП
1ВПф
2ВПф
3ВПф
4ВПф
5ВПф
6ВПф
7ВПф
8ВПф
1ВПр
2ВПр
3ВПр
4ВПр
5ВПр
6ВПр
7ВПр
8ВПр
1ВПн
2ВПн
3ВПн
4ВПн
5ВПн
6ВПн
7ВПн
8ВПн
1ВПк
2ВПк
3ВПк
4ВПк
5ВПк
6ВПк
7ВПк
8ВПк
1ВПд
2ВПд
3ВПд
4ВПд
5ВПд
6ВПд
7ВПд
8ВПд
1ВПс
2ВПс
3ВПс
4ВПс
5ВПс
6ВПс
7ВПс
8ВПс
1ВПт
2ВПт
3ВПт
4ВПт
5ВПт
6ВПт
7ВПт
8ВПт
1ВПу
2ВПу
3ВПу
4ВПу
5ВПу
6ВПу
7ВПу
8ВПу
1ВПв
2ВПв
3ВПв
4ВПв
5ВПв
6ВПв
7ВПв
8ВПв
1ВПз
2ВПз
3ВПз
4ВПз
5ВПз
6ВПз
7ВПз
8ВПз
1ВПи
2ВПи
3ВПи
4ВПи
5ВПи
6ВПи
7ВПи
8ВПи
1ВПк
2ВПк
3ВПк
4ВПк
5ВПк
6ВПк
7ВПк
8ВПк
1ВПл
2ВПл
3ВПл
4ВПл
5ВПл
6ВПл
7ВПл
8ВПл
1ВПм
2ВПм
3ВПм
4ВПм
5ВПм
6ВПм
7ВПм
8ВПм
1ВПн
2ВПн
3ВПн
4ВПн
5ВПн
6ВПн
7ВПн
8ВПн
1ВПо
2ВПо
3ВПо
4ВПо
5ВПо
6ВПо
7ВПо
8ВПо
1ВПп
2ВПп
3ВПп
4ВПп
5ВПп
6ВПп
7ВПп
8ВПп
1ВПр
2ВПр
3ВПр
4ВПр
5ВПр
6ВПр
7ВПр
8ВПр



а) Поясняющая схема

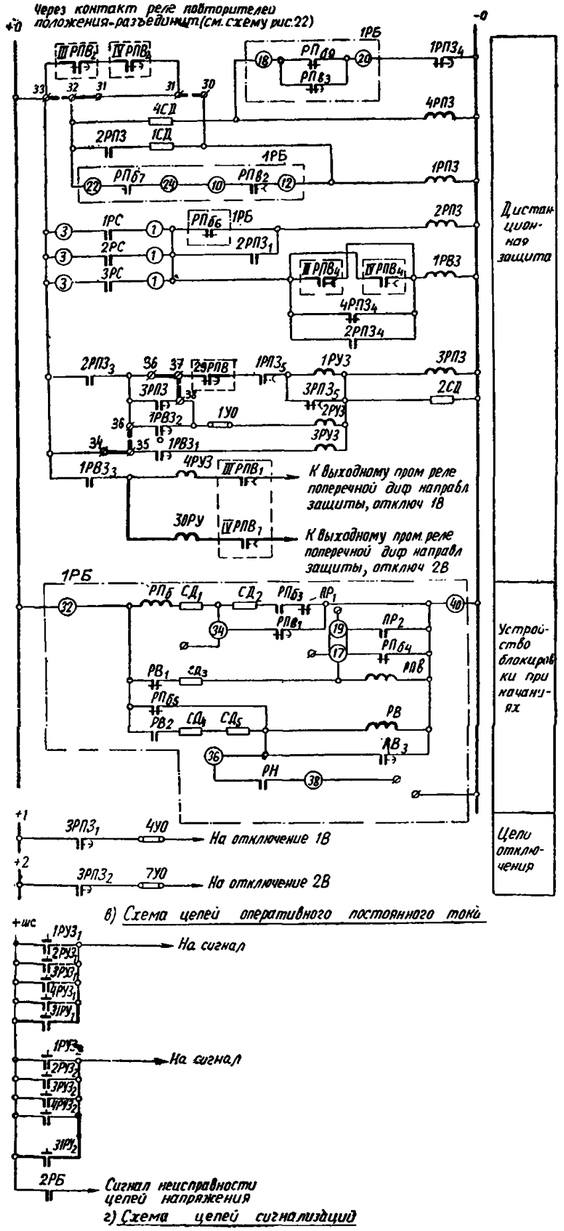
б) Схема цепей переменного тока и напряжения

д) Схема включения реле 29РПВ, дополнительно предусматриваемого для введения в действие I ступени защиты при отключении одной из защищаемых линий.

Рис. 18. Схема двухступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой комплектной панели

1В, 2В — выключатели; *3ТТ, 4ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *1РБ* — устройство блокировки при качаниях типа КРБ-123; *2РБ* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *1РВЗ* — реле времени типа ЭВ-122; *1РПЗ, 2РПЗ, 3РПЗ* — реле промежуточные типа РП-251; *4РПЗ* — реле промежуточное типа РП-23; *29РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *1РУЗ—4РУЗ, 30РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *1СД* — сопротивление добавочное 3 900 *ом* типа ПЭ-50; *2СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа ПЭ-50; *4СД* — сопротивление добавочное 2 700 *ом* типа ПЭ-50; *1УО, 4УО, 7УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *1БИ, 2БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *3БИ* — блок испытательный типа БИ-6.

Примечания: 1. Схема выполнена с сохранением основных обозначений чертежа № 1646ТМ-12а, выпущенного институтом Энергосетьпроект. 2. Размыкающие контакты *РПо*$_7$ и *РПв*$_2$ в устройстве типа КРБ-124 должны быть заменены на замыкающие контакты реле. 3. *1РП* и *1ПРП* — контакты положения «отключено» выключателей защищаемых линий. 4. *IIIРПВ, IVРПВ* — контакты реле ускорения защит. 5. Толстыми линиями показаны дополнительно устанавливаемые реле и соединения, а также контакты реле, не относящиеся к панели.



в) Схема цепей оперативного постоянного тока

г) Схема цепей сигнализации

блокировки при качаниях типа КРБ-123) с дополнениями, обусловленными применением ее в качестве суммарной (см. ниже п. 3).

2. Схема предусматривает использование в качестве суммарной защиты двухступенчатой дистанционной защиты с устройством блокировки при качаниях из типовой комплектной панели типа ЭПЗ-624-64 (рис. 4, при этом все остальные защиты панели целесообразно также использовать для защиты рассматриваемых линий).

3. Схема по сравнению со схемой типовой комплектной панели (гл. 1, разд. Б, рис. 4) имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для выполнения суммарной защиты:

а) Предусматривается выведение из действия первой ступени защиты при работе обеих параллельных линий с помощью размыкающего контакта дополнительно устанавливаемого промежуточного реле *29РПВ* с замедлением при возврате. Цепь запуска реле *29РПВ* выполнена аналогично цепи запуска реле *36РПВ*, предусматриваемого для той же цели в схеме по рис. 17.

б) Предусматриваются раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением рассматриваемой защиты после включения выключателя через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты аналогично тому, как в схеме по рис. 17.

В цепях ускорения действия защиты дополнительно устанавливается указательное реле *30РУ* для обеспечения раздельной сигнализации действия защиты по цепям ускорения.

в) В целях переключения реле сопротивления на уставку ускоряемой ступени до включения выключателя одной из защищаемых линий в цепи обмотки переключающего реле *1РПЗ* предусматриваются:

при выполнении ускорения второй ступени последовательно соединенные размыкающие контакты *IIIРПВ*$_2$ и *IVРПВ*$_2$ реле ускорения защиты, выключаемые последовательно с контактами *РПб*$_7$ и *РПв*$_2$ устройства блокировки при качаниях;

при выполнении ускорения первой ступени (когда эта ступень имеет выдержку времени) параллельно соединенные замыкающие контакты реле ускорения, включаемые параллельно контактам *РПб*$_7$ и *РПв*$_2$ устройства блокировки при качаниях.

Схема двухступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 110—220 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-632-64 (рис. 19)

1. Дистанционная защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для двух параллельных линий с двусторонним питанием в сетях, где не требуется блокировки при качаниях, в случаях, когда не требуется резервирования действия защиты и выключателя предыдущего участка и когда обеспечивается достаточная чувствительность устройства фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1.

2. Схема предусматривает использование в качестве суммарной защиты двухступенчатой дистанционной защиты из типовой комплектной панели типа ЭПЗ-632-64 (рис. 7, при этом все остальные защиты панели целесообразно также использовать для защиты рассматриваемых линий).

3. Схема по сравнению со схемой типовой комплектной панели (гл. 1, разд. Б, рис. 7) имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для суммарной защиты:

а) Предусматривается выведение из действия первой ступени защиты при работе обеих параллельных линий с помощью размыкающего контакта дополнитель-

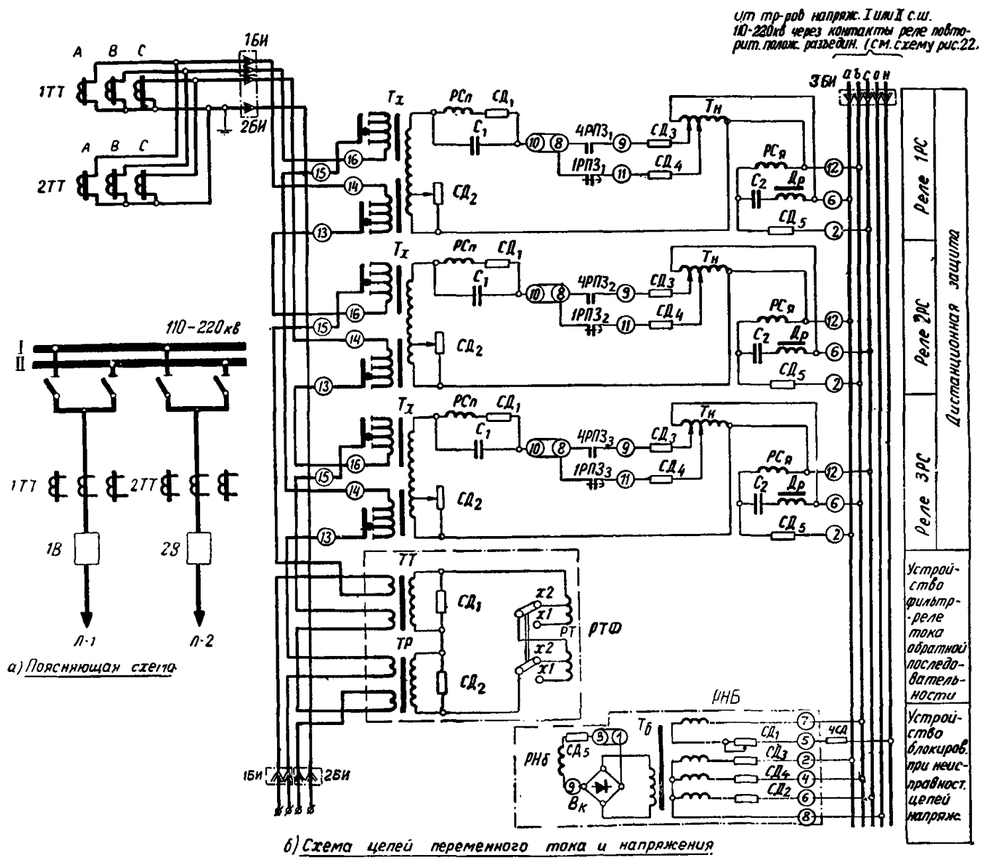
но устанавливаемого промежуточного реле *33РПВ* с замедлением при возврате. Цепь запуска реле *33РПВ* выполнена аналогично цепи запуска реле *36РПВ*, предусматриваемого для той же цели в схеме по рис. 17.

б) Предусматриваются раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением рассматриваемой защиты после включения выключателя через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты аналогично тому, как в схеме по рис. 17.

В цепях ускорения действия защиты дополнительно устанавливается указательное реле *34РУ* для обеспечения раздельной сигнализации действия защиты по цепям ускорения.

в) В цепи обмотки реле *1РПЗ*, переключающего цепи напряжения реле сопротивления, предусматриваются последовательно соединенные размыкающие контакты *IIIРПВ*$_1$ и *IVРПВ*$_1$ реле ускорения.

Указанное обеспечивает переключение реле сопротивления на уставку второй ступени в соответствии с разд. А, п. 8 до включения выключателей защищаемых линий.



а) Поясняющая схема

б) Схема цепей переменного тока и напряжения

Рис. 19. Схема двухступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 110—220 *кв* панели защиты

1В, *2В* — выключатели; *3ТТ—4ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-131; *РТФ* — устройцепей напряжения типа КРБ-12; *1РВЗ* — реле времени типа ЭВ-122; *1РПЗ*, *3РПЗ* — реле промежуточные типа РП-251; РП-215; *6РПЗ*, *33РПВ* — реле промежуточные типа РП-252; *1РУЗ—4РУЗ*, *34РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; добавочное 10 000 *ом* типа СТФА-IV; *2СД* — сопротивление добавочное 3 900 *ом* типа СТФА-IV; *3СД* — сопротивление добавочное 2 500 *ом* типа СТФА-IV; *1БИ*, *2БИ* — блоки испытательные

Примечания:
1. Схема выполнена на основании и с сохранением основных обозначений чертежа № 1646ТМ-201, составленного Укр
2. В устройстве фильтр-реле тока обратной последовательности РТФ замыкающий контакт должен быть переде-
3. Время возврата реле *4РПЗ* порядка 0,05 *сек*, *1РПЗ* — порядка 0,15 *сек*, а реле *6РПЗ* — порядка 1 *сек*.
4. *1РП*, *1ПРП* — контакты реле положения «отключено» выключателей защищаемых линий.
5. *IIIРПВ*, *IVРПВ* — контакты реле ускорения защит.
6. Толстыми линиями показаны дополнительно устанавливаемые реле и соединения, а также контакты реле, не

Схема трехступенчатой суммарной защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току, используемым для осуществления третьей ступени, для питающего конца двух параллельных линий 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152 (рис. 20)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для питающего конца двух параллельных линий с односторонним питанием преимущественно для установки на головном участке цепочки параллельных линий.

2. Схема защиты по сравнению со схемой рис. 13 имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для суммарной защиты:

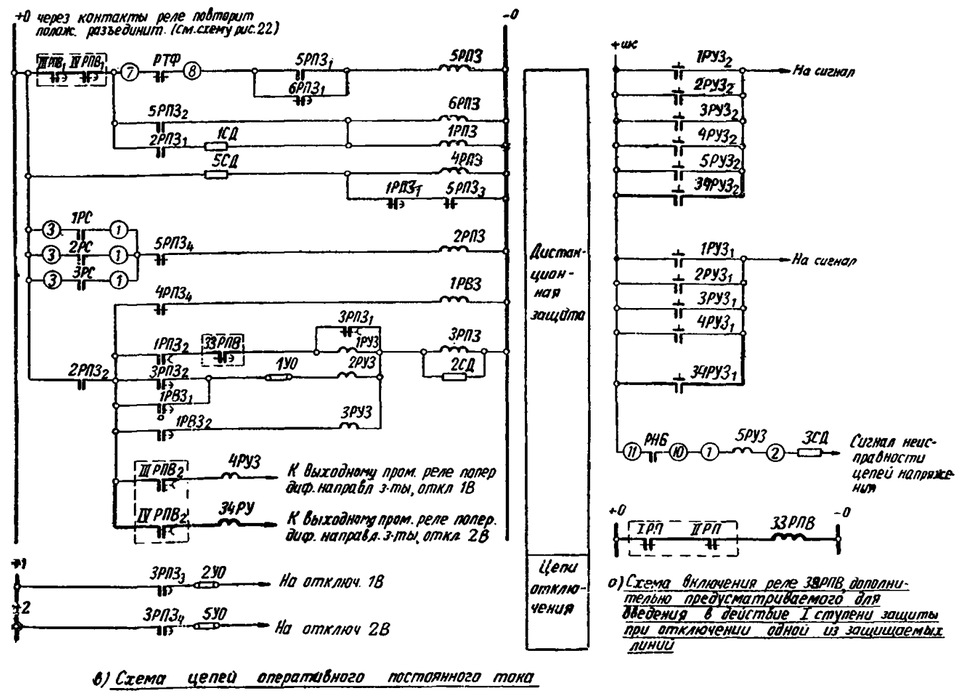
а) Предусматривается выведение из действия первой ступени защиты при работе обеих параллельных линий с помощью размыкающего контакта дополнительно устанавливаемого промежуточного реле *33РПВ* с замедлением при возврате. Цепь запуска реле *33РПВ* выполнена аналогично цепи запуска реле *36РПВ*, предусматриваемого для той же цели в схеме по рис. 17.

б) Предусматриваются раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением рассматриваемой защиты после включения выключателя через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты аналогично тому, как в схеме по рис. 17.

При ускорении второй ступени защиты контакты *IIIРПВ*$_1$ и *IVРПВ*$_1$ реле ускорения защиты должны присоединяться к зажиму *143* панели ПЗ-152; при ускорении третьей ступени защиты контакты *IIIРПВ*$_2$ и *IVРПВ*$_2$ должны присоединяться к зажиму *133* панели.

В цепях ускорения действия защиты дополнительно устанавливаются указательные реле *34РУ* и *35РУ* для обеспечения раздельной сигнализации действия защиты по цепям ускорения.

в) В цепи обмотки реле *4РП4*, переключающего цепи напряжения реле сопротивления, предусматриваются последовательно соединенные размыкающие контакты *IIIРПВ*$_3$ и *IVРПВ*$_3$ реле ускорения. Указанное обеспечивает переключение реле сопротивления на уставку вто-



а) Схема включения реле 33РПВ дополнительно предусматриваемого для введения в действие I ступени защиты при отключении одной из защищаемых линий

б) Схема цепей оперативного постоянного тока

от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой комплектной типа ЭПЗ-632-64.

ство фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1; *РНБ* — устройство блокировки при неисправностях *2РПЗ* — реле промежуточное типа РП-212; *4РПЗ* — реле промежуточное типа РП-23; *5РПЗ* — реле промежуточное типа *5РУЗ* — реле указательное типа РУ-21/0,15; *1УО*, *2УО*, *5УО*—устройства отключающие типа НКР-3; *1СД*—сопротивление добавочное 1 000 *ом* типа СТФА-IV; *4СД* — сопротивление добавочное 1 200 *ом* типа СТФА-IV; *5СД* — сопротивление типа БИ-4; *3БИ* — блок испытательный типа БИ-6.

анпским отделением института Энергосетьпроект.
лан на размыкающий.

относящиеся к панели.

рой ступени в соответствии с разд. А, п. 8 до включения выключателей защищаемых линий.

3. В случаях, если примененный в схеме токовый пусковой орган не удовлетворяет требованию чувствительности, рассмотренная защита может выполняться с пуском по току и напряжению, как это показано в схеме по рис. 14, или могут использоваться более сложные схемы защиты по рис. 18 и 19.

Схема двухступенчатой суммарной защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца двух параллельных линий 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий (рис. 21)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для питающего конца двух тупиковых параллельных линий.

2. Первая (дистанционная) ступень при установке защиты на питающем конце двух тупиковых параллельных линий отстраивается по сопротивлению срабатывания от повреждения за трансформаторами приемной подстанции при работе обеих параллельных линий. Выдержка времени ее выбирается с учетом возможности каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты (осуществляется временно замыкающим контактом реле времени *14РВ*, запускаемым от реле тока пускового органа защиты).

3. Схема защиты по сравнению со схемой по рис. 15 имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для выполнения суммарной защиты тупиковых линий:

а) Предусматривается перевод первой ступени защиты на действие без выдержки времени при отключении одной из параллельных линий с помощью реле времени *13РВ*, запускаемого от замыкающих контактов

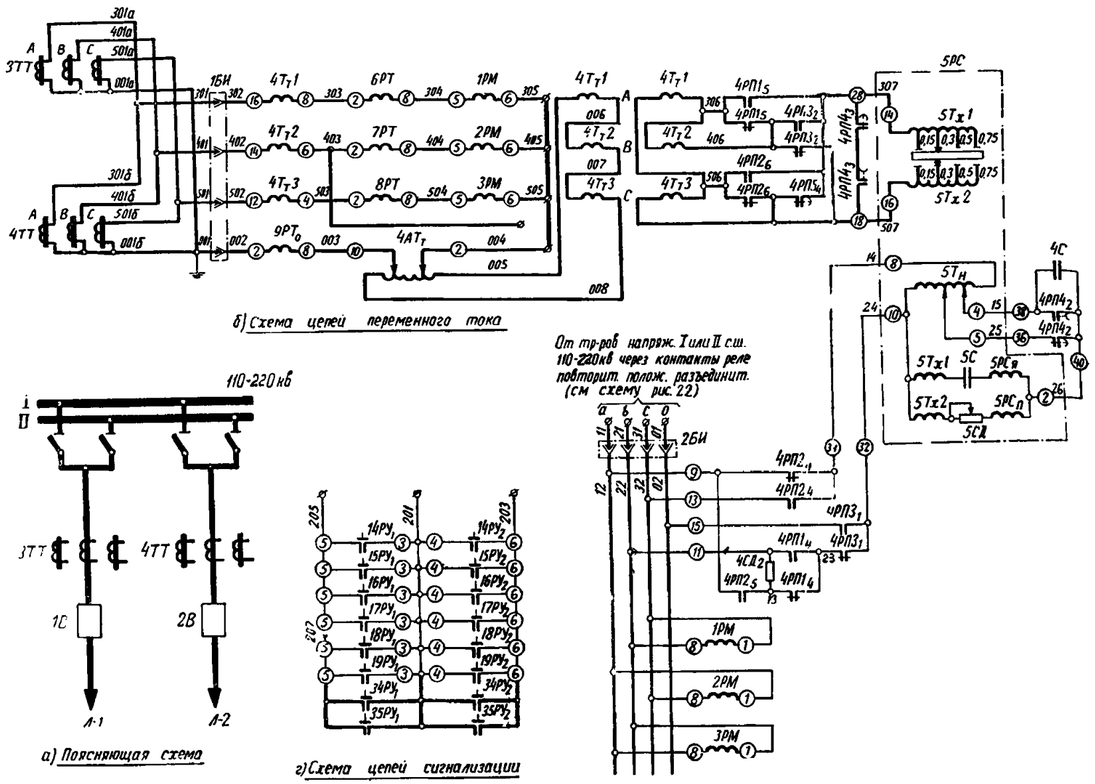


Рис. 20. Схема трехступенчатой суммарной защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току, линий 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких

1В, 2В — выключатели; *3ТТ, 4ТТ* — трансформаторы тока; *1РМ—3РМ* — реле мощности типа ИМБ-171А/1; *4* — комплект трансформато промежуточное типа РП-23; *11РП* — реле промежуточное типа РП-253; *33РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *12РВ* — реле времени *35РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *18РУ, 19РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,5; *20С, 21С* — конденсаторы 0,5 *мкф*; *22СД*, блоки испытательные ти

Примечания:
1. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК.469.029.04 с сохранением основных обозна
2. *1РП, 11РП* — контакты реле положения «отключено» выключателей защищаемый линий.
3. *111РПВ, 1VРПВ* — контакты реле ускорения защит.
4. В схеме введено замедление на срабатывание реле *11РП* установкой перемычки между его зажимами *9* и *10*.
5. Толстыми линиями показаны дополнительно устанавливаемые реле и соединения, а также контакты реле, не относящиеся

реле положения «отключено» защищаемых линий. Выдержка времени указанного реле выбирается в соответствии с разд. А, п. 6.

б) Предусматриваются раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением рассматриваемой защиты после включения выключателя через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты аналогично тому, как в схеме по рис. 17.

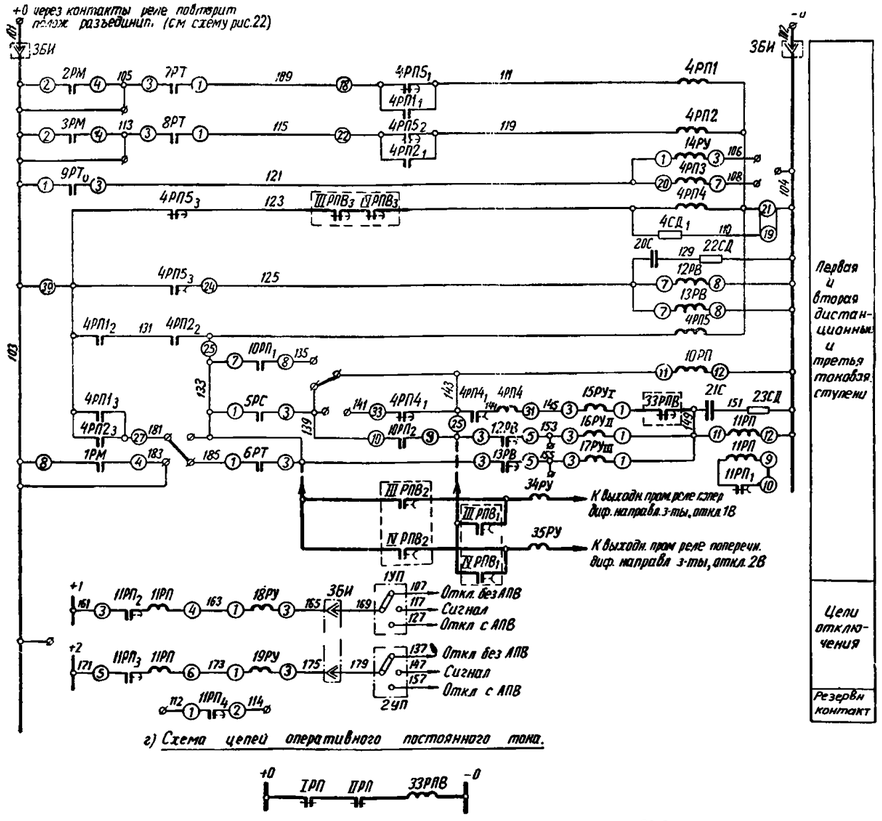
В цепях ускорения действия защиты устанавливаются указательные реле *18РУ, 19РУ* для обеспечения раздельной сигнализации действия защиты по цепям ускорения.

Принципиальная схема питания цепей напряжения суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 35—220 *кв* (рис. 22)

1. Схема разработана для питания цепей напряжения дистанционной защиты, включенной на сумму токов двух параллельных линий, присоединенных к двойной системе шин.

2. Питание цепей напряжения защиты осуществляется от трансформаторов напряжения той системы шин, к которой приключена:

а) линия *Л-1* — при работе обеих линий или одной линии *Л-1*;



используемым для осуществления третьей ступени, для питающего конца двух параллельных замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152.

ров и промежуточных реле; *5РС* — реле сопротивления; *6РТ—8РТ, 9РТ₀* — реле тока типа РТ-40; *10РП* — реле типа ЭВ-122; *13РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *14РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; *15РУ—17РУ, 34РУ, 23СД* — сопротивления добавочные 500 *ом*; *1УП, 2УП* — устройства переключающие типа НКР-3; *1БИ—3БИ* — па БИ-4.

чений, использованных заводом.

к данной панели.

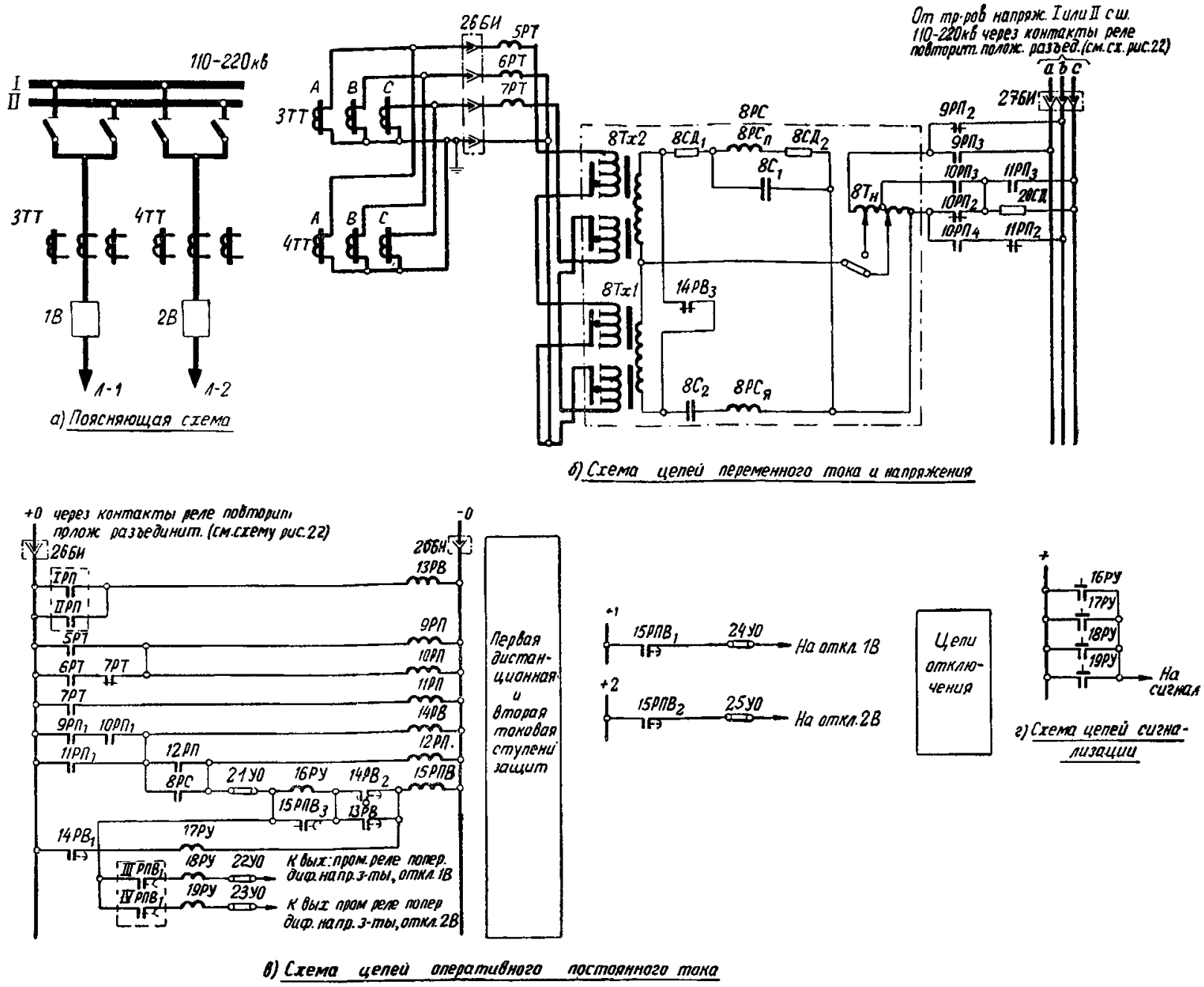


Рис. 21. Схема двухступенчатой суммарной защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца двух параллельных линий 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий.

1В, *2В* — выключатели; *3ТТ*, *4ТТ* — трансформаторы тока; *5РТ—7РТ* — реле тока типа РТ-40; *8РС* — реле сопротивления типа КРС-111; *9РП—12РП* — реле промежуточные типа РП-23; *15РПВ* — реле промежуточное типа РП-251; *13РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *14РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *16РУ—19РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *20СД* — сопротивление добавочное 1 000 *ом*; *21УО—25УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *26БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *27БИ* — блок испытательный типа БИ-4.

Примечания:

1. В реле *15РПВ* один замыкающий контакт должен быть переделан на размыкающий.
2. Замыкающий без выдержки времени контакт реле *14РВ* должен быть переделан на размыкающий.
3. Для осуществления шунтирования контактом $14РВ_3$ обмоток трансреакторов *8Тх1* и *8Тх2* должны быть предусмотрены выводы концов этих обмоток согласно рис. 21,*б*.
4. *1РП* и *IIРП* — контакты реле положения «отключено» выключателей защищаемых линий.
5. *IIIРПВ*, *IVРПВ* — контакты реле ускорения защит.

б) линия *Л-2* — при работе одной линии *Л-2*.

Указанное обеспечивается с помощью переключений в цепях напряжения защиты, осуществляемых реле *16РП*, *17РП* и *20РП*, которые запускаются при срабатывании реле *11РП*, запускаемого в свою очередь от реле повторителей *9РП* и *10РП* положения разъединителей линии *Л-1*.

3. Реле *19РПВ* предназначено для переключения цепей напряжения защиты на трансформаторы напряжения системы шин, к которой приключена линия *Л-2*, в случае работы обеих линий на разные системы шин и повреждении той системы шин, к которой приключена линия *Л-1*. В указанных случаях действие реле *19РПВ* обеспечивается от дифференциальной защиты шин (контакт II) через контакт реле *15РП*, замкнутый при включенном положении шиносоединительного выключателя.

Реле *19РПВ* имеет замедление при возврате, которое необходимо:

а) для подхвата реле *19РПВ* через собственный замыкающий контакт и размыкающий контакт реле *15РП* при коротком замыкании на шинах и отключении шиносоединительного выключателя;

б) для предупреждения кратковременного обратного переключения цепей напряжения защиты на поврежденные шины, на которые включена линия *Л-1*, при

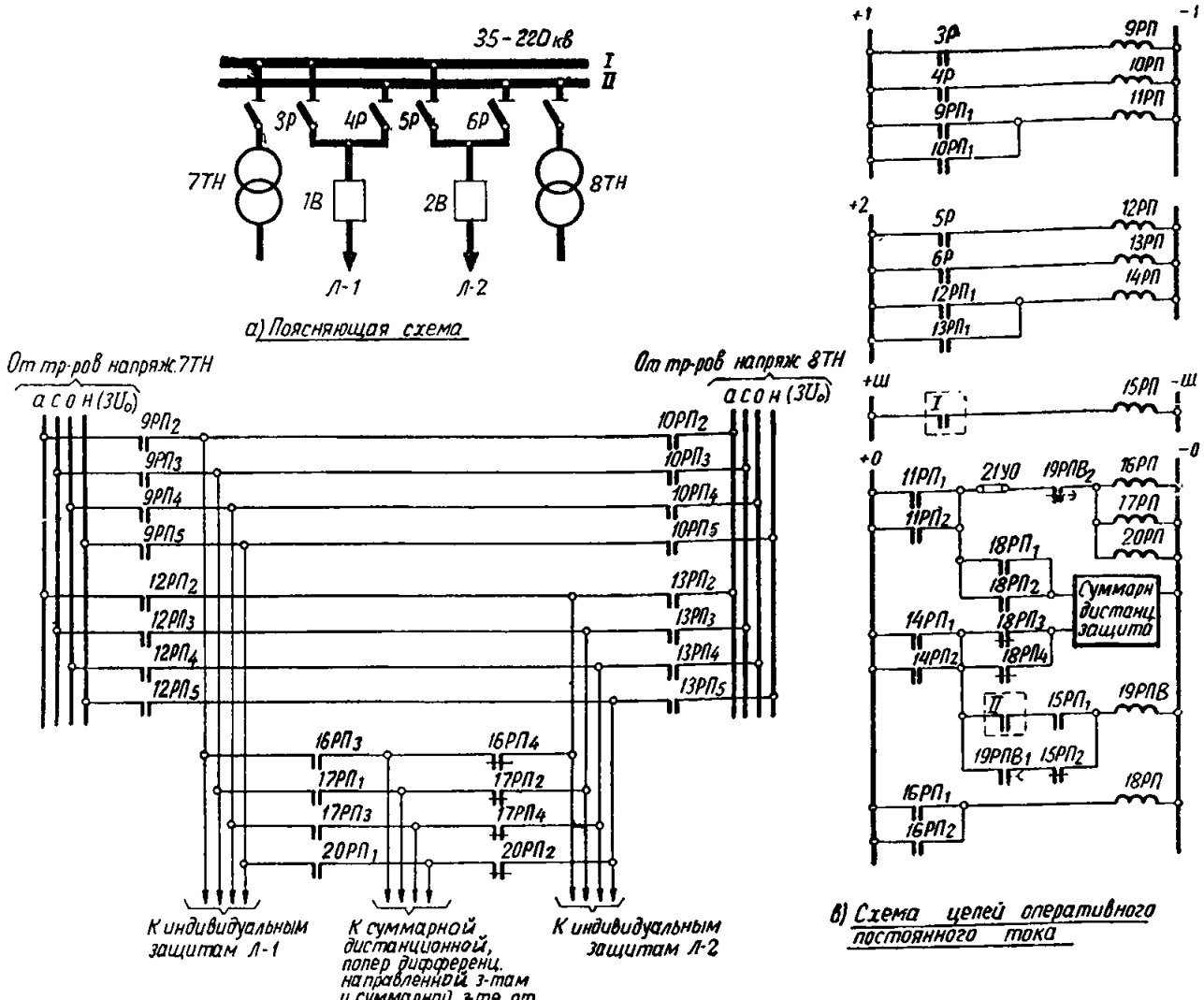


Рис. 22. Принципиальная схема питания цепей напряжения суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 35—220 *кв*.

1В, *2В* — выключатели; *3Р—6Р* — разъединители; *7ТН*, *8ТН* — трансформаторы напряжения; *9РП*, *10РП*, *12РП*, *13РП* — реле промежуточные типа РП-255; *11РП*, *14РП*, *15РП*, *18РП* — реле промежуточные типа РП-23; *16РП*, *17РП*, *20РП* — реле промежуточные типа РП-211; *19РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *21УО* — устройство отключающее типа НКР-3.

Примечания:

1. *I* — контакт реле положения «включено» шиносоединительного выключателя. При отсутствии на подстанции АПВ на шиносоединительном выключателе вместо замыкающего контакта реле положения «включено» используется размыкающий контакт реле положения «отключено» шиносоединительного выключателя.
2. *II* — контакт выходного реле дифференциальной защиты той системы шин, на которую включена линия *Л-1*.
3. Фаза *b* трансформатора напряжения принята заземленной.

неуспешном АПВ этих шин шиносоединительным выключателем.

В тех случаях, когда не допускается АПВ на шиносоединительном выключателе (например, при наличии на подстанции параллельных линий с двусторонним питанием, на которых установлена поперечная дифференциальная направленная защита), целесообразно запуск реле *15РП* осуществлять размыкающим контактом реле положения «отключено» шиносоединительного выключателя (а не замыкающим контактом реле положения «включено» шиносоединительного выключателя, как показано в схеме рис. 22), поскольку при этом увеличивается время подачи импульса на запуск реле *19РПВ*, что повышает надежность перевода цепей напряжения на питание от системы шин, к которой приключена линия *Л-2*.

В тех случаях, когда допускается АПВ на шиносоединительном выключателе (например, при отсутствии на подстанции параллельных линий с двусторонним питанием, на которых установлена поперечная дифференциальная направленная защита), запуск реле *15РП* от размыкающего контакта реле положения «отключено» шиносоединительного выключателя нецелесообразен, поскольку при этом одновременно с увеличением времени подачи импульса на запуск реле *19РПВ* увеличивается необходимое время замедления при возврате реле *19РПВ*, которое в рассматриваемом случае определяется условием п. 3,б.

4. Питание суммарной дистанционной защиты постоянным оперативным током осуществляется через контакты реле *11РП* и *14РП*, запускаемых после срабатывания реле повторителей *9РП*, *10РП*, *12РП* и *13РП* положения разъединителей, подающих на защиту напряжение от трансформаторов напряжения.

В схеме предусмотрено промежуточное реле *18РП*, запускаемое при срабатывании одного из реле, переключающих цепи напряжения суммарных защит (*16РП*). Реле *18РП* обеспечивает подведение постоянного оперативного тока к дистанционной защите через контакты реле той линии, реле повторители положения разъединителя которой осуществляют подведение напряжения на защиту. Выполнение этих функций спе-

циальным реле, а не одним из переключающих реле (*16РП*, *17РП* или *20РП*) повышает надежность предотвращения неправильного срабатывания суммарной дистанционной защиты при обесточении реле повторителей положения разъединителей, в соответствии с противоаварийным циркуляром Технического управления по эксплуатации энергосистем б. ГПКЭиЭ *. Например, при исчезновении питания реле повторителя линии *Л-1* (*9РП* или *10РП*) после возврата указанного реле нарушение питания цепей напряжения может привести к срабатыванию реле сопротивления защиты; после возврата реле *11РП* произойдет снятие оперативного тока с защиты, и поэтому срабатывание реле сопротивления не приведет к неправильному срабатыванию защиты. Реле *16РП*, *17РП* и *20РП* при возврате переключают цепи напряжения защиты на питание от трансформатора напряжения той системы шин, к которой присоединена линия *Л-2*, и реле сопротивления возвращаются в исходное положение. Подача в этот же момент (т. е. от переключающих реле) на схему оперативного тока могла бы привести к срабатыванию защиты при условии, что $t_{воз.с} > t_{им.в}$, где $t_{воз.с}$ — время возврата реле сопротивления (до размыкания замыкающих контактов) и $t_{им.в}$ — продолжительность импульса на обмотке выходного реле защиты, нобходимая для его срабатывания. Реле же *18РП* подает оперативный ток на защиту через время, достаточное для возврата реле сопротивления, чем и предотвращается неправильное срабатывание защиты. Рассматриваемое реле повышает также надежность поведения схемы и при подаче на реле повторители оперативного тока, исчезнувшего ранее на некоторое время.

5. В схеме предусмотрено отключающее устройство *21УО*, предназначенное для выведения из действия реле *16РП*, *17РП* и *20РП*, что может понадобиться, например, при работе линии *Л-2* и проведении ремонта на разъединителях линии *Л-1*.

В цепи обмотки реле *19РПВ* может оказаться целесообразным предусмотреть разъемный зажим или отключающее устройство для возможности выведения этого реле из действия, например, при замене выключателя линии *Л-2* шиносоединительным выключателем. Поскольку при отсутствии такого зажима в рассматриваемом случае при повреждении шин, на которые включена линия *Л-1*, и успешном повторном включении этих шин, цепи напряжения дистанционной защиты (которая в рассматриваемом случае является защитой линии *Л-1*) до включения шиносоединительного выключателя будут включены на «чужое» напряжение.

6. Рассмотренная схема питания цепей напряжения суммарной дистанционной защиты также применима для питания цепей напряжения поперечной дифференциальной направленной защиты параллельных линий.

---

* Противоаварийный циркуляр «О предотвращении неправильных действий дистанционных защит, защиты ДФЗ-2 и устройства ОАПВ при питании цепей напряжения этих устройств через реле-повторители разъединителей», Э-4/64 от 18/V 1964 г.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СХЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 110—330 *кв*, РАБОТАЮЩИХ ПО СХЕМЕ БЛОКА ТРАНСФОРМАТОР (АВТОТРАНСФОРМАТОР) — ЛИНИЯ В СЕТЯХ С БОЛЬШИМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

А. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ

1. В настоящей главе рассмотрены принципы выполнения и особенности схем дистанционной защиты линий 110—330 *кв* блоков трансформатор (автотрансформатор) — линия, устанавливаемой со стороны трансформатора (автотрансформатора) от многофазных коротких замыканий.

На рис. 23 дана схема двухступенчатой дистанционной защиты, токовой защиты обратной последовательности и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линии 110—330 *кв* блока автотрансформатор (трансформатор) — линия, выполненных с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-624-64.

На рис. 24 дана схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* блока трансформатор—линия.

2. Рассматриваемые схемы дистанционной защиты линий блоков трансформатор (автотрансформатор) — линия (рис. 23 и 24) даны для случая использования трансформаторов тока на стороне защищаемой линии.

Для блока с двухобмоточным трансформатором такое использование трансформаторов тока выполнено в целях однотипности; дистанционную защиту линии в этом случае можно также включать и на трансформаторы тока, установленные на стороне низшего напряжения трансформатора (рис. 25). При таком включении рассматриваемая защита одновременно резервирует защиту трансформатора блока.

Следует отметить, что при использовании для защиты трансформаторов тока, установленных на стороне низшего напряжения трансформатора блока, целесообразно соединять их в треугольник (рис. 25,*б*). При этом сохраняется такая же схема включения реле (на разность токов), как и при использовании для защиты трансформаторов тока, установленных на стороне защищаемой линии.

3. Для блока с двухобмоточным трансформатором (например, рис. 24) цепи напряжения защиты линии включаются на трансформаторы напряжения стороны низшего напряжения трансформатора блока (используются трансформаторы напряжения шин 6—10 *кв* или трансформаторы напряжения, присоединенные непосредственно к трансформатору блока). При этом защита должна быть включена на фазные напряжения относительно нулевой точки системы, которые соответствуют междуфазным вторичным напряжениям стороны высшего напряжения.

4. Для блока с трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) защита линии включается на трансформаторы напряжения, установленные на сторонах его низшего (например, рис. 23) или среднего напряжения. При этом сопротивление на зажимах реле в общем случае зависит от тока подпитки с той стороны, трансформаторы напряжения которой не использованы для защиты линии (например, от подпитки со стороны среднего напряжения трансформатора при включении защиты на трансформаторы напряжения, установленные на стороне его низшего напряжения — рис. 26). Только при отсутствии такой подпитки, а также в случае, когда сопротивление обмотки трансформатора блока на стороне, где установлены трансформаторы напряжения, питающие защиту, близко к нулю (на рис. 26 при $I_{III}=0$ или $Z_I \cong 0$), сопротивление на зажимах реле пропорционально суммарному сопротивлению от места установки трансформаторов напряжения до места повреждения.

При несоблюдении этих условий влияние подпитки с третьей стороны трансформатора на замер защиты линии может быть исключено путем компенсации падения напряжения в сопротивлении обмотки трансформатора, на стороне которой установлены трансформаторы напряжения, используемые для защиты (на рис. 26 падение напряжения в сопротивлении Z_I).

5. Использование для дистанционной защиты линии трансформаторов напряжения, установленных на стороне низшего или среднего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока, и включение в связи с этим трансформатора (автотрансформатора) блока в зону защиты приводит к сокращению доли линии, охватываемой первой (без выдержки времени) ступенью защиты, и снижению чувствительности второй и третьей ступеней.

Указанное объясняется тем, что незащищенная первой ступенью часть блока трансформатор (автотрансформатор) — линия, расположенная в конце линии и равная $m(Z_{тр}+Z_л)$, больше, чем незащищенная часть линии $mZ_л$ при применении для последней отдельной

защиты. С другой стороны, включение трансформатора в зону защиты линии эквивалентно удлинению линии, что приводит к снижению чувствительности второй и третьей ступеней защиты и в ряде случаев может вызвать трудности при согласовании второй ступени защиты рассматриваемой линии блока с первой ступенью защиты смежного участка, а также при обеспечении резервирования смежного участка третьей ступенью.

Следует отметить, что исключение из зоны, охватываемой защитой, трансформатора (автотрансформатора) блока путем компенсации падения напряжения в его сопротивлении не приводит к увеличению доли длины линии, защищаемой первой ступенью.

Указанное обусловлено тем, что компенсирующее устройство в целях облегчения селективности должно настраиваться на недокомпенсацию, поскольку в противном случае сопротивление на защите может оказаться преуменьшенным из-за ошибок компенсирующего устройства, обусловливающих перекомпенсацию, что может привести к неправильному срабатыванию первой ступени защиты при повреждении в начале предыдущего участка.

Если принять ошибки компенсирующего устройства (в долях компенсируемого сопротивления) и ошибки реле (в долях уставки) одинаковыми, что близко к действительности, то незащищенная первой ступенью часть

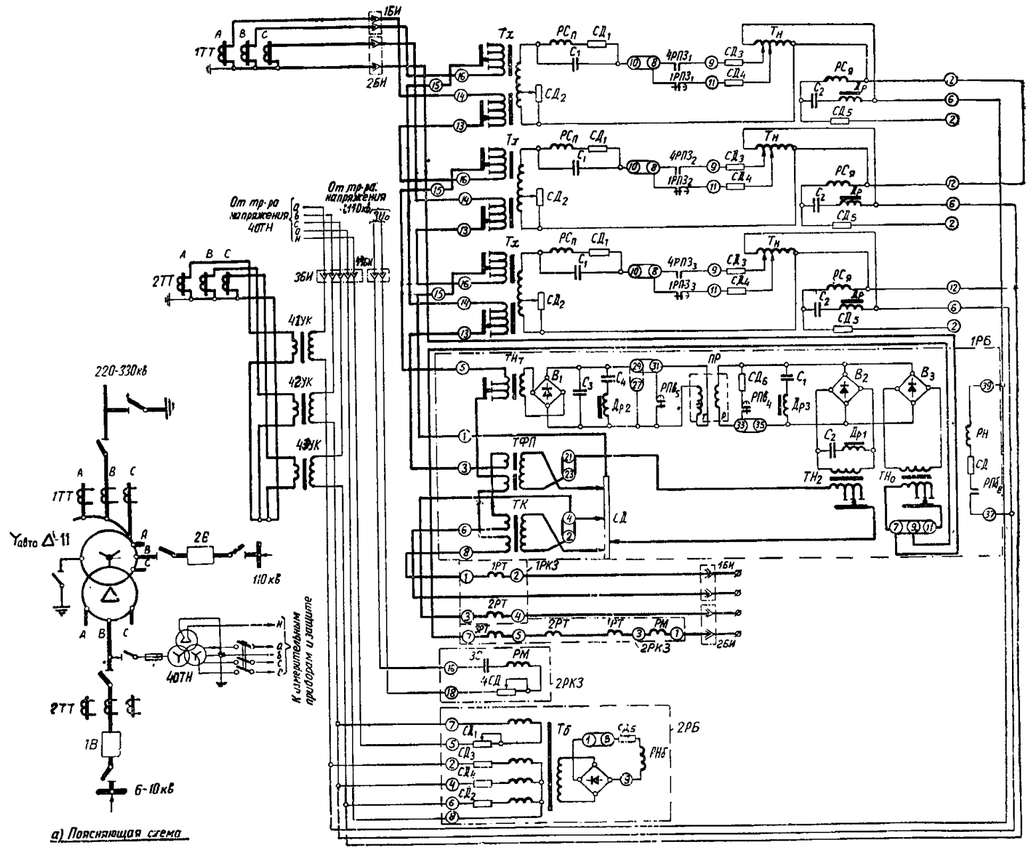


Рис. 23. Схема двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий, токовой от замыканий на землю линии 110—330 *кв* блока автотрансформатор (трансформатор) — линия, выполненной с ис

1В, 2В — выключатели; *1ТТ, 2ТТ* — трансформаторы тока; *40ТН* — трансформатор напряжения; *1РС—3РС* — реле сопротивления при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *1РКЗ* — комплект защиты типа КЗ-1; *2РКЗ*— комплект защиты типа КЗ-5; типа РП-252; *1РПЗ* — реле промежуточное типа РП-251; *2РПЗ* — реле промежуточное типа РП-212; *3РПЗ* — реле промежуточное типа РУ-21/0,025; *5РУЗ* — реле указательное типа РУ-21/0,015; *1УО—9УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *1СД* — сопротивление противление добавочное 2 700 *ом* типа ПЭ-50; *1БИ, 2БИ, 44БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *3БИ* — блок испытательный типа

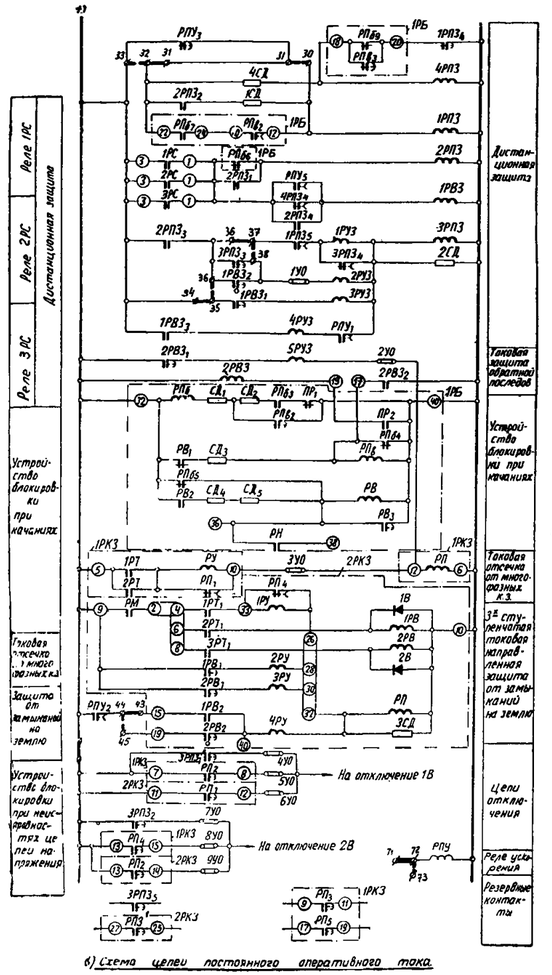
Примечания:

1. Схема выполнена с сохранением основных обозначений чертежа № 1646ТМ-12а, выпущенного институтом Энергосетьпроект.
2. В устройстве блокировки при качаниях *1РБ* размыкающие контакты $РПб_7$ и $РПв_2$ должны быть заменены на замыкающие

линии, равная сумме нескомпенсированного сопротивления трансформатора блока ($mZ_{тр}$) и не охваченная защитой по условию селективного выбора уставки реле части линии ($mZ_л$), составит примерно то же значение, что и при отсутствии компенсации $[m(Z_{тр}+Z_л)]$.

Однако чувствительность второй и третьей ступеней при выполнении схемы с компенсацией падения напряжения в сопротивлении трансформатора (автотрансформатора) блока несколько увеличивается.

6. Для питания защиты линии блока с трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) используются:



защиты обратной последовательности и трехступенчатой токовой направленной защиты пользованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-624-64.

типа КРС-131; *1РБ*—устройство блокировки при качаниях типа КРБ-124; *2РБ*—устройство блокировки *1РВЗ* — реле времени типа ЭВ-122; *2РВЗ*—реле времени типа ЭВ-134; *РПУ* — реле промежуточное па РП-212 или РП-251; *4РПЗ* — реле промежуточное типа РП-23; *1РУЗ—4РУЗ*—реле указательные тидобавочное 47 000 *ом* типа ПЭВ-50; *2СД* — сопротивление добавочное 3 900 *ом* типа ПЭ-50; *4СД* — сопБИ-6; *1ЛС* — лампа сигнальная типа ЛС-220; *41УК—43УК* — устройства компенсации.

контакты реле.

а) при наличии питания как со стороны среднего, так и со стороны низшего напряжения — трансформаторы напряжения, присоединенные непосредственно к трансформатору (автотрансформатору) блока со стороны выводов низшего напряжения;

б) при отсутствии питания со стороны среднего или низшего напряжения, если не имеется трансформаторов напряжения, присоединенных непосредственно к трансформатору (автотрансформатору) блока, — на трансформаторы напряжения шин той из этих сторон, где имеется питание.

При питании защиты от трансформаторов напряжения шин (случай «б») необходимо выведение защиты из действия при отключении выключателя трансформатора (автотрансформатора) блока от шин, к которым присоединены трансформаторы напряжения, питающие защиту. Указанное необходимо для предотвращения неправильного действия защиты линии (например, при внешних коротких замыканиях на среднем или низшем напряжении трансформатора или автотрансформатора блока, поскольку до включения выключателя трансформатора к защите будут подводиться несоответствующие токам напряжения). С другой стороны, выведение защиты из действия при отключении трансформатора (автотрансформатора) блока от шин стороны, где имеется питание, допустимо в связи с тем, что в этом режиме отпадает необходимость в защите линии блока с рассматриваемого конца.

Использование для защиты трансформаторов напряжения шин при наличии питания как со стороны среднего, так и со стороны низшего напряжения (случай «а») недопустимо, поскольку при отключении трансформатора (автотрансформатора) блока от шин, к которым присоединены трансформаторы напряжения, питающие защиту, к защите будут подводиться не соответствующие токам напряжения, что может привести к неправильному срабатыванию защиты (например, при внешних коротких замыканиях на среднем или низшем напряжении трансформатора или автотрансформатора блока). Выведение защиты из действия в этом случае также недопустимо.

7. Для блока с трехобмоточным трансформато-

ром с соединением обмоток YY△-12-11 защита включается:

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

б) на междуфазные напряжения при использовании для защиты трансформаторов напряжения, установленных на стороне среднего напряжения трансформатора.

8. Приведенные в настоящей главе схемы дистанционной защиты выполнены с реле сопротивления типов КРС-131 и КРС-132. Эти реле в защите линии блока целесообразно использовать с наибольшим возможным углом максимальной чувствительности в заводской регулировке ($\varphi_{макс.ч}=75°$), поскольку в связи с большим индуктивным сопротивлением трансформатора (автотрансформатора) блока угол суммарного сопротивления трансформатора и линии обычно превышает это значение.

Применение реле сопротивления типа КРС-121 для защиты линий блоков трансформатор (автотрансформатор) — линия нежелательно в связи со следующими недостатками этого реле, особенно проявляющимся в защите блока:

а) при неравенстве угла суммарного сопротивления трансформатора (автотрансформатора) блока и защищаемой части линии углу максимальной чувствительности реле, что обусловливается большим индуктивным сопротивлением трансформатора (автотрансформатора) блока, возможно увеличение защищаемой зоны;

б) при коротком замыкании между теми фазами, напряжение между которыми не подводится к обмоткам реле, также возможно увеличение защищаемой зоны из-за угловых погрешностей, которые для блоков трансформатор (автотрансформатор) — линия в общем случае выше, чем для линии, за счет угловой погрешности трансформатора (автотрансформатора) блока.

9. В части выполнения цепей ускорения защиты после включения выключателя, схем включения автоматов на вторичной стороне трансформатора напряжения, подведения плюса оперативного тока к защите, а также установки указательных реле, испытательных блоков и отключающих устройств и т. д. рассматриваемые схемы аналогичны схемам защиты одиночных линий, приведенным в гл. 1 (разд. А, пп. 16, 19—25).

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ
(рис. 23, 24)

Схема двухступенчатой дистанционной защиты от всех видов многофазных коротких замыканий, токовой защиты обратной последовательности и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю линии 110—330 *кв* блока автотрансформатор (трансформатор) — линия, выполненных с использованием типовой комплектной панели защиты типа ЭПЗ-624-64 (рис. 23)

1. Дистанционная защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий блоков автотрансформатор (трехобмоточный трансформатор)—линия в качестве основной, а также в качестве резервной в случаях, когда не требуется резервирования действия защиты и выключателя предыдущего участка (дальнее резервирование) и когда такое резервирование требуется (если при этом допустимо выполнять первую ступень с выдержкой времени).

Защита может использоваться как в случаях, когда требуется блокировка при качаниях, так и в случаях, когда такой блокировки не требуется.

Схема разработана для условий, когда имеется питание как со стороны низшего, так и со стороны среднего напряжения автотрансформатора (трансформатора) блока и сопротивление обмотки автотрансформатора (трансформатора) блока, со стороны которой подводится напряжение к защите, не равно нулю; трансформатор напряжения, питающий защиту, присоединен непосредственно к стороне низшего напряжения автотрансформатора.

2. Схема предусматривает использование для защиты блока автотрансформатор (трансформатор) — линия двухступенчатой дистанционной защиты с устройством блокировки при качаниях, токовой защиты обратной последовательности и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю из типовой комплектной панели защиты линий 110—330 *кв* типа ЭПЗ-624-64.

Особенности выполнения типовой комплектной панели, а также отдельных ее элементов рассмотрены в гл. 1 (разд. Б, описание схемы по рис. 4, а также разд. А, пп. 7, 10—13).

3. Дистанционная защита включена на трансформаторы тока, установленные на стороне высшего напряжения автотрансформатора (трансформатора) блока, и на фазные напряжения трансформатора напряжения, присоединенного непосредственно к автотрансформатору (трансформатору) блока на стороне его низшего напряжения в предположении наличия трехстороннего питания блока (разд. А, пп. 6 и 7).

4. Ввиду наличия трехстороннего питания и сопротивления обмотки низшего напряжения, не равного нулю, в схеме предусмотрены устройства (*41УК—43УК*) компенсации падения напряжения в сопротивлении обмотки низшего напряжения автотрансформатора (разд. А, п. 4).

Устройства компенсации приняты выполненными в виде трансреакторов, первичные обмотки которых включены на трансформаторы тока, установленные на стороне низшего напряжения автотрансформатора блока, а вторичные — в цепи напряжения защиты линии.

Для случаев, когда сопротивление обмотки низшего напряжения равно нулю или отсутствует питание со стороны среднего напряжения, а также при использовании рассматриваемой схемы для линий блоков двухобмоточный трансформатор — линия, устройство компенсации из схемы исключается.

5. Орган направления мощности трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю (реле *8-1РМ*) питается от трансформатора напряжения на стороне среднего напряжения. При отключении выключателя со стороны среднего напряжения автотрансформатора (трансформатора) орган направления мощности должен из схемы исключаться.

Схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* блока трансформатор — линия от всех видов многофазных коротких замыканий (рис. 24)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий блоков трансформатор (автотрансформатор)—линия как в качестве основной, так и в качестве резервной, когда не требуется резервирования действия защиты и выключателя предыдущего участка и не требуется блокировки при качаниях.

Схема разработана для использования на блоке двухобмоточный трансформатор — линия; она также может быть использована на блоке трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия при отсутствии питания со стороны среднего или низшего напряжения.

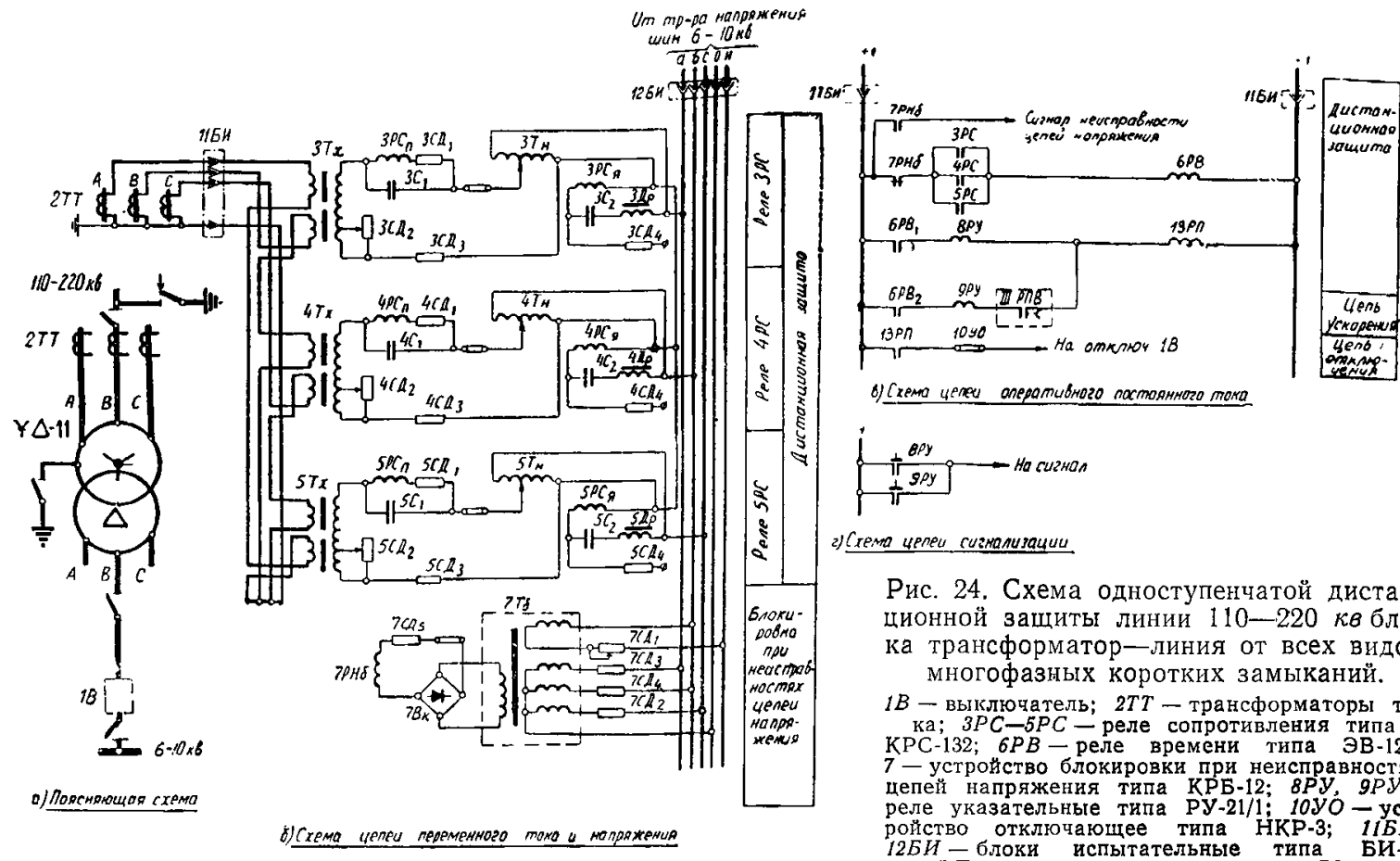


Рис. 24. Схема одноступенчатой дистанционной защиты линии 110—220 *кв* блока трансформатор—линия от всех видов многофазных коротких замыканий.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3РС—5РС* — реле сопротивления типа КРС-132; *6РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *7* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *8РУ, 9РУ*— реле указательные типа РУ-21/1; *10УО* — устройство отключающее типа НКР-3; *11БИ, 12БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *13РП* — реле промежуточное типа РП-23.

Примечание. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.

2. В схеме защиты использованы три реле сопротивления *3РС—5РС* типа КРС-132 ввиду их несколько большей простоты в сравнении с реле типа КРС-131 и в предположении, что вторичное сопротивление срабатывания защиты не может быть меньше 2 *ом*—нижнего предела уставки реле типа КРС-132.

3. Защита включена на трансформаторы тока, установленные на стороне высшего напряжения трансфор-

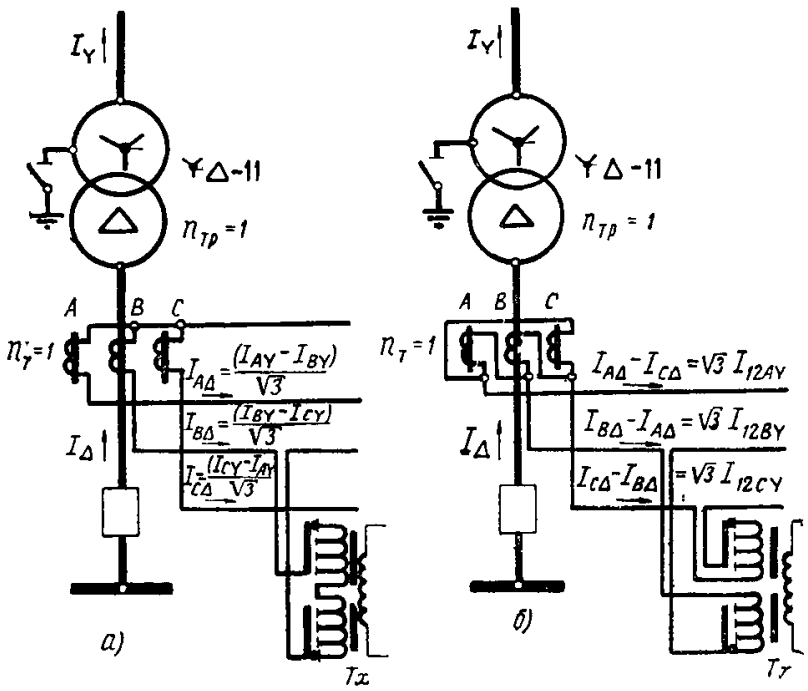
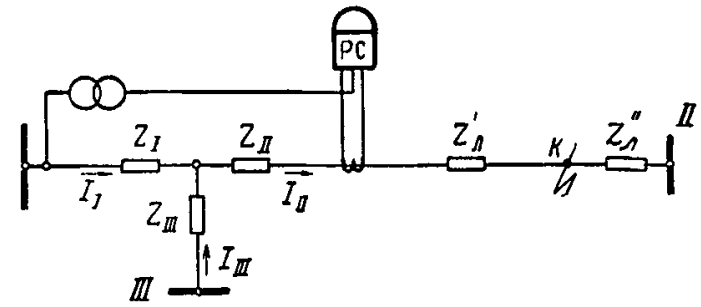


Рис. 25. Схема включения трансформаторов тока, установленных со стороны низшего напряжения и используемых для питания дистанционной защиты линии блока трансформатор — линия.

Примечания:

1. На схемах условно показано включение трансреактора *(Тх)* реле сопротивления для фазы *В*; включение трансреакторов для двух других фаз производится аналогично с учетом циклической замены фаз.

2. I_{12} — сумма токов прямой и обратной последовательностей.



I_I, I_{II} и I_{III} — токи в обмотках соответственно низшего, высшего и среднего напряжений трансформатора при повреждении на защищаемой линии

Z_I, Z_{II} и Z_{III} — сопротивления обмоток соответственно низшего, высшего и среднего напряжений трансформатора блока

$Z'_л$ — сопротивление участка линии до места повреждения.

Напряжение в месте включения защиты

$$U_j = (Z_{II} + Z'_л) I_{II} + Z_I (I_{II} - I_{III})$$

Сопротивление в месте включения защиты

$$Z_j = \frac{U_j}{I_{II}} = Z_{II} + Z'_л + Z_I \left(1 - \frac{I_{III}}{I_{II}}\right)$$

Рис. 26. Включение реле сопротивления на трансформаторы тока стороны высшего и трансформаторы напряжения стороны низшего напряжений трехобмоточного трансформатора.

матора блока, и на фазные напряжения относительно нулевой точки системы трансформаторов напряжения шин 6—10 *кв*, соединенных по схеме «звезда с нулем—звезда».

4. В целях исключения неправильного срабатывания защиты при неисправностях цепей напряжения в схеме используется устройство блокировки типа КРБ-12.

5. Защита выполнена с выдержкой времени, в связи с этим она может использоваться в качестве основной только в случаях, когда при трехфазном коротком замыкании в начале защищаемого участка остаточное напряжение на шинах низшего (и среднего) напряжения подстанции, где установлена рассматриваемая защита, больше $0{,}6U_{ном}$ (ПУЭ, пп. III-2-85 и III-2-86).

6. При использовании схемы для защиты линии блока трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия питание защиты от трансформатора напряжения должно быть предусмотрено в соответствии с разд. А, п. 6.

При трехстороннем питании в случае необходимости в схеме дополнительно должно быть предусмотрено устройство компенсации падения напряжения в сопротивлении обмотки низшего напряжения, как это показано в схеме по рис. 23 (описание схемы по рис. 23, п. 4).

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СХЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 35 *кв* В СЕТЯХ С МАЛЫМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В настоящей главе рассмотрены принципы выполнения и особенности типовых схем дистанционной защиты одиночных и параллельных линий от многофазных коротких замыканий.

На рис. 27 и 28 даны схемы трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями для линий 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152: на рис. 27—с пуском по току, а на рис. 28 — с пуском по току и напряжению, используемыми также для осуществления третьей ступени.

На рис. 29 дана схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-153.

На рис. 30 дана схема двухступенчатой защиты с первой дистанционной и второй токовой ступенями для питающего конца линии 35 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий.

На рис. 31 дана схема трехступенчатой суммарной защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току и напряжению, используемым также для осуществления третьей ступени, для двух параллельных линий 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152.

На рис. 32 дана схема трехступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-153.

На рис. 33 дана схема с первой дистанционной и второй токовой ступенями для питающего конца двух тупиковых параллельных линий 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий.

А. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ

1. Дистанционная защита одиночных и параллельных линий 35 *кв* по рис. 27—33 используется в качестве основной в случаях, когда другие типы защит (отсечки по току, отсечки по напряжению и комбинированные отсечки по току и напряжению) не удовлетворяют требованиям чувствительности или быстроты действия в соответствии с требованиями ПУЭ.

2. Приведенные схемы дистанционной защиты выполнены в соответствии с основными принципами дистанционной защиты одиночных и параллельных линий 110—330 *кв*, изложенными в гл. 1 и 2, разд. А, однако имеются некоторые особенности, связанные с использованием рассматриваемой защиты для линий 35 *кв:*

а) В приведенных схемах защиты предусматривается дистанционный орган, выполненный одним реле полного сопротивления (односистемное исполнение), действующий при всех видах многофазных коротких замыканий (включая и двойные замыкания на землю) и имеющий соответствующие переключения в цепях переменного тока и напряжения.

Для обеспечения подведения к дистанционному органу напряжений и токов, соответствующих петле короткого замыкания, пусковые органы защиты должны осуществлять четкий выбор поврежденных фаз (или фазы).

б) Для обеспечения сопротивления срабатывания на зажимах реле, примерно пропорционального расстоянию от места установки защиты до места повреждения при всех видах многофазных коротких замыканий, в схемах по рис. 27—33 предусматривается включение дистанционного органа на разность токов и междуфазное напряжение при междуфазных коротких замыканиях и двойных замыканиях на землю при отсутствии тока нулевой последовательности и на одноименные фазные напряжение и ток при двойных замыканиях на землю и наличии тока нулевой последовательности. При этом для линий с двусторонним питанием при двойных замыканиях на землю и наличии тока нулевой последовательности дистанционный орган включается на фазное напряжение и фазный ток, скорректированный слагающими нулевой последовательности (схема с токовой компенсацией). Указанное включение позволяет обеспечить значение сопротивления на зажимах реле, примерно пропорциональное расстоянию от места установки защиты до места повреждения, независимо от соотношения значений тока нулевой последовательности и фазного тока, которое на линиях с двусторонним питанием может в зависимости от места повреждения и режима работы системы колебаться в широких пределах.

Для линий с односторонним питанием токовая компенсация не предусматривается, поскольку для них указанное соотношение не зависит от места повреждения и режима работы системы и может быть учтено при выборе сопротивления срабатывания защиты.

в) Для обеспечения выбора поврежденных фаз (или фазы) пусковым органом, выполненным реле полного сопротивления, предусматривается включение по-

следних на фазный ток и на междуфазное напряжение при междуфазных коротких замыканиях и двойных замыканиях на землю при отсутствии тока нулевой последовательности и на одноименные фазные напряжение и ток при двойных замыканиях на землю и наличии тока нулевой последовательности. При этом одновременно переключаются первичные ответвления регулировочных автотрансформаторов напряжения для максимального выравнивания длин защищаемых зон при различных видах короткого замыкания.

Для пускового органа, выполненного реле напряжения, предусматривается такое же включение, как и для цепей напряжения пускового органа, выполненного реле полного сопротивления.

Необходимо учитывать, что пусковые органы, выполненные реле напряжения или полного сопротивления (последние в меньшей степени), могут не обеспечивать четкий выбор поврежденных фаз при двухфазных коротких замыканиях и двойных замыканиях на землю в отличие от пускового органа, выполненного реле тока.

Для обеспечения указанного при выполнении пускового органа с помощью реле напряжения или полного сопротивления используется блокировка, осуществляющая вывод из действия реле пускового органа, включенного на напряжение между неповрежденной и отстающей (по отношению к другой поврежденной) поврежденной фазами (подробнее описание схем — по рис. 28—32).

г) Для обеспечения отключения при двойных замыканиях на землю по возможности одного из мест повреждений не менее чем в 67% случаев (при двойных замыканиях на землю фаз *АВ* и *ВС*) переключением дистанционного органа по фазам управляют только два реле пускового органа.

Следует отметить, что из-за высокого уровня изоляции большинства линий 35 *кв* отключение одного из мест замыкания на землю не приводит к повторному возникновению двойных замыканий на землю.

д) Для предотвращения неправильного срабатывания защиты при неисправностях цепей напряжения в схемах по рис. 29 и 32 с пусковыми органами, выполненными реле сопротивления, дополнительно предусмотрено специальное устройство блокировки типа КРБ-12 (гл. 1, разд. А, п. 10).

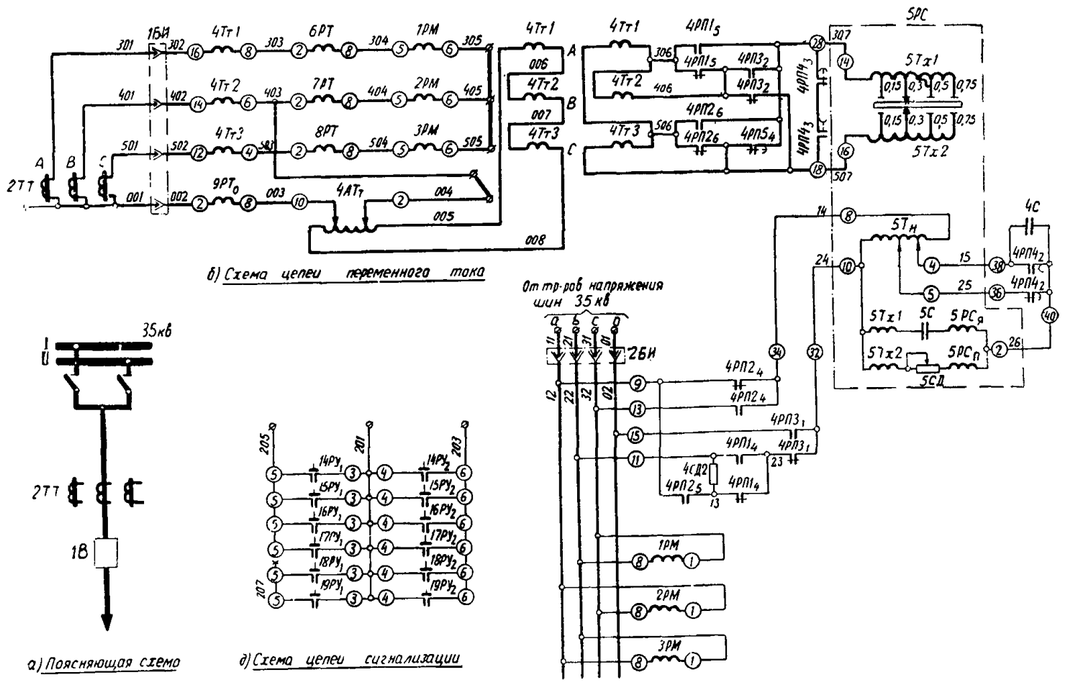


Рис. 27. Схема трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току, используемой для осуществления третьей ступени, для линии 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели ПЗ-152.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РМ—3РМ* — реле мощности типа ИМБ-171А/1; *4* — комплект трансформаторов и промежуточное типа РП-23; *11РП* — реле промежуточное типа РП-253; *12РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *13РВ* — реле времени типа *18РУ*, *19РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,5; *20С, 21С* — конденсаторы 0,5 *мкф*; *22СД, 23СД* — сопротивления добавочные 500 *ом*; *4РП1—4РП5* — реле промежуточных реле; *5РС* — реле сопротивления; *6РТ—8РТ*, *9РТ0* — реле тока типа РТ-40; *10РП* — реле ЭВ-134; *14РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; *15РУ—17РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *1УП*, *2УП* — устройства переключающие типа НКР-3; *1БИ—3БИ* — блоки испытательные типа БИ-4.

Примечания:
1. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК.469.029.04 с сохранением основных обозначений, использованных заводом.
2. *11РПВ* — контакт реле ускорения защит.
3. В схеме введено замедление на срабатывание реле *11РП* установкой перемычки между его зажимами *9* и *10*.
4. Толстыми линиями показан контакт реле и соединения, не относящиеся к данной панели.

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ
(рис. 27—33)

Схема трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току, используемым для осуществления третьей ступени, для линии 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152 (рис. 27)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться в качестве основной для линий с двух- и односторонним питанием, в последнем случае при установке ее на головном участке цепочки из одиночных линий.

2. Схема защиты по сравнению со схемой по рис. 13 (гл. 1, разд. Б) имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для защиты линий 35 *кв*:

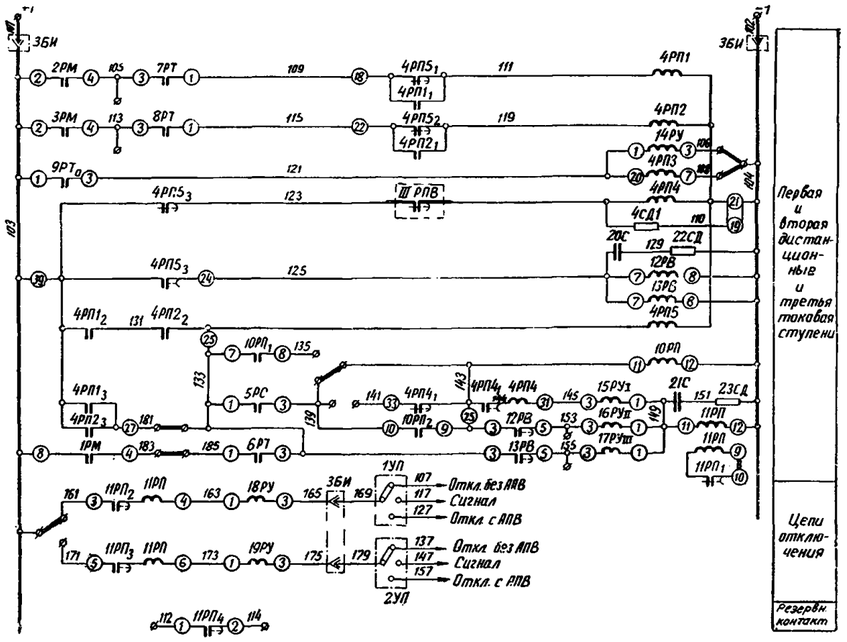
а) Для обеспечения одинаковой длины защищаемой зоны при различных видах короткого замыкания использована схема включения дистанционного органа на разность токов и междуфазное напряжение при междуфазных коротких замыканиях и двойных замыканиях на землю при отсутствии тока нулевой последовательности в месте установки защиты и на одноименные фазные напряжение и ток, компенсированный током нулевой последовательности, при двойных замыканиях на землю и наличии тока нулевой последовательности в месте установки защиты. В последнем случае переключение производится с помощью реле $9РТ_0$.

Действие реле пускового органа и сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах многофазных коротких замыканий, даны в табл. 4, при этом реле направления мощности, срабатывание которых возможно (находятся на грани срабатывания), указаны в скобках.

б) Для обеспечения правильного срабатывания защиты при двойных замыканиях на землю устанавливаются перемычки *106-104* и *108-104*, вводящие в действие реле $9РТ_0$, а также перемычки *181-133* и *183-185*, подводящие оперативный ток к контакту дистанционного органа при таких двухфазных коротких замыканиях, при которых не срабатывает одно или оба промежуточных реле пускового органа (*4РП1*, *4РП2*).

в) Шунтирование контактов органов направления мощности *1РМ—3РМ* производится только при использовании защиты для линий с односторонним питанием (устанавливаются перемычки *103-105*, *103-113* и *103—183*).

Для обеспечения отключения только одного места повреждения не менее чем в 67% случаев двойных за-



г) Схема цепей оперативного постоянного тока.

Таблица 4

Сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах повреждения

Вид повреждения	Поврежденные фазы	Работают реле			К реле сопротивления подводится	
		тока	направления мощности	промежуточные	ток	напряжение
Трехфазное короткое замыкание	*ABC*	*6PT, 7PT, 8PT*	*1PM, 2PM, 3PM*	*4РП1, 4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
Замыкание между двумя фазами и двойное замыкание на землю при $I_0 = 0$	*AB*	*6PT, 7PT*	*1PM, 2PM, (3PM)*	*4РП1*	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{ab}$
	BC	*7PT 8PT*	*(1PM) 2PM, 3PM*	*4РП1, 4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
	CA	*6PT, 8PT*	*1PM, (2PM), 3PM*	*4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_a$	$\dot{U}_{ca}$
Двойное замыкание на землю на разных линиях при односторонне м питании[1] при $I_0 \neq 0$	*AB*	*6PT, 7PT, 9PT₀*	*1PM, 2PM, (3PM)*	*4РП1, 4РП3*	$\dot{I}_a + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_a$
	BA	*9PT₀*	*(1PM), (2PM), (3PM)*	*4РП3*	—	$\dot{U}_a$
	BC	*9PT₀*	*(1PM), (2PM), (3PM)*	*4РП3*	—	$\dot{U}_a$
	CB	*7PT, 8PT, 9PT₀*	*(1PM), 2PM, 3PM*	*4РП1, 4РП2, 4РП3*	$\dot{I}_c + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_c$
	CA	*7PT, 8PT, 9PT₀*	*(1PM), 2PM, 3PM*	*4РП1, 4РП2, 4РП3*	$\dot{I}_c + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_c$
	AC	*6PT, 7PT, 9PT₀*	*1PM, 2PM, (3PM)*	*4РП1, 4РП3*	$\dot{I}_a + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_a$

[1] Первыми буквами указаны фазы, поврежденные на защищаемой линии.

мыканий на землю переключениями дистанционного органа по фазам управляют только два реле пускового органа *7PT* и *8PT*, первое из которых включается на сумму токов фаз *A* и *C*, а второе — на ток фазы *C*.

3. В схеме предусмотрена возможность дополнения защиты устройством блокировки при качаниях любого типа. При этом размыкающий контакт промежуточного реле устройства блокировки включается вместо перемычки *139-143*, что обеспечивает блокирование первой и второй ступеней защиты. При необходимости иметь блокирование только первой ступени дополнительно устанавливается перемычка *139-141*.

Схема трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току и напряжению, используемым для осуществления третьей ступени, для линии 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152 (рис. 28)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двух- и односторонним питанием вместо защиты по рис. 27, когда токовый пусковой орган последней не удовлетворяет требованию чувствительности.

2. Схема отличается от схемы по рис. 27 тем, что в ней предусмотрены два пусковых органа (как в схеме по рис. 14):

а) пусковой орган по току и напряжению;

б) токовый пусковой орган.

Второй пусковой орган предназначен для действия в максимальных режимах, когда реле напряжения первого пускового органа могут быть недостаточно чувствительными.

Для осуществления указанных пусковых органов на панели защиты типа ПЗ-152 дополнительно устанавливаются: минимальные реле напряжения *31РН—33РН*—для пускового органа по п. 2,а и реле тока *34РТ* и *35РТ* (включенные на те же токи, что и реле *7PT* и *8PT*)—для пускового органа по п. 2,б.

В тех случаях, когда пусковой орган по п. 2,а (содержащий реле напряжения *31РН—33РН* и реле тока *7PT* и *8PT*) удовлетворяет требованию чувствительности во всех расчетных режимах, пусковой орган по п. 2,б не предусматривается, т. е. реле *34РТ* и *35РТ* исключаются из схемы. При этом также могут быть выведены из действия реле *1РМ* и *6РТ* (снятием перемычки *183-185*).

3. В схеме предусмотрено включение реле напряжения *31РН—33РН* на междуфазные напряжения. При двойных замыканиях на землю, если в месте установки защиты ток нулевой последовательности $I_0 \neq 0$, реле *31РН* и *32РН* переключаются на фазные напряжения (соответственно фаз *A* и *C*) с помощью промежуточного реле *36РП*. В связи с указанным переключением в цепях обмоток реле *31РН* и *32РН* предусмотрены сопротивления *37СД* и *38СД*.

4. Параметры срабатывания реле пусковых органов защиты определяются теми же условиями, а правильное действие пускового органа по п. 2,а при замыканиях между двумя фазами через переходное сопротивление обеспечивается таким же включением контактов реле напряжения, что и в схеме по рис. 14 (гл. 1, разд. Б, описание схемы по рис. 14, п. 3).

В схеме, как и в схеме по рис. 14, предусматривается включение замыкающего контакта $4РП1_6$ последовательно с замыкающим контактом реле *31РН* для обеспечения действия реле *4РП2* при замыканиях между фазами *B* и *C*. В заводском исполнении реле *4РП1* указанный контакт отсутствует.

Для исключения влияния на пуск защиты реле *33РН* в тех случаях, когда реле *31РН* и *32РН* переключается на фазные напряжения, в цепи обмотки реле *4РП1* последовательно с размыкающим контактом реле *33РН* дополнительно предусматривается размыкающий контакт реле *36РП*.

5. Действие реле пускового органа по п. 2,а и сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах многофазных коротких замыканий, даны в табл. 5, причем реле напряжения пускового органа, которое может сработать при замыкании между рассматриваемыми фазами через переходное сопротивление, а также реле направления

Таблица 5

Сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах повреждения

Вид повреждения	Поврежденные фазы	Работают реле				К реле сопротивления подводится	
		тока	направления мощности	напряжения	промежуточные	ток	напряжение
Трехфазное короткое замыкание	*ABC*	*6РТ, 7РТ, 8РТ*	*1РМ, 2РМ, 3РМ*	*31РН, 32РН, 33РН*	*4РП1, 4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
Замыкание между двумя фазами и двойное замыкание на землю при $I_0 = 0$	*AB*	*6РТ, 7РТ*	*1РМ, 2РМ, (3РМ)*	*31РН, (33РН)*	*4РП1*	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{ab}$
	BC	*7РТ, 8РТ*	*(1РМ), 2РМ, 3РМ*	*33РН, (32РН)*	*4РП1, 4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
	CA	*6РТ, 8РТ*	*1РМ, (2РМ), 3РМ*	*32РН, (31РН)*	*4РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_a$	$\dot{U}_{ca}$
Двойное замыкание на землю на разных линиях при одностороннем питании[1] при $I_0 \neq 0$	*AB*	*6РТ, 7РТ, 9РТ$_0$*	*1РМ, 2РМ, (3РМ)*	*31РН*	*4РП1, 4РП3*	$\dot{I}_a + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_a$
	BA	*9РТ$_0$*	*(1РМ), (2РМ), (3РМ)*	*31РН*	*4РП3*	—	$\dot{U}_a$
	BC	*9РТ$_0$*	*(1РМ), (2РМ), (3РМ)*	*32РН, (33РН)*	*4РП3*	—	$\dot{U}_a$
	CB	*7РТ, 8РТ, 9РТ$_0$*	*(1РМ), 2РМ, 3РМ*	*32РН, (33РН)*	*4РП1, 4РП2, 4РП3*	$\dot{I}_c + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_c$
	CA	*7РТ, 8РТ, 9РТ$_0$*	*(1РМ), 2РМ, 3РМ*	*31РН, 32РН*	*4РП1, 4РП2, 4РП3*	$\dot{I}_c + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_c$
	AC	*6РТ, 7РТ, 9РТ$_0$*	*1РМ, 2РМ (3РМ),*	*31РН, 32РН*	*4РП1, 4РП3*	$\dot{I}_a + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_a$

[1] Первыми буквами указаны фазы, поврежденные на защищаемой линии.

мощности, срабатывание которых возможно (находятся на грани срабатывания), указаны в скобках.

6. Следует отметить, что при двойных замыканиях на землю между фазами *B* и *C* (или *A* и *B*) в кольцевой сети (рис. 34) защита может срабатывать неправильно, отключая оба места повреждения (не только участок с замыканием на землю фазы *C*, но и участок с замыканием на землю фазы *B*). В рассматриваемом случае ввиду малых значений фазных напряжений и достаточно больших значений токов может сработать пусковой орган по току и напряжению в защите на другом участке кольцевой сети, также отходящем от шин питающей подстанции (защита *2* на рис. 34). При этом из-за соответствующего распределения тока нулевой последовательности значение сопротивления на зажимах дистанционного органа защиты *2* будет преуменьшенным.

Следует также отметить, что рассмотренная схема, как и схема рис. 14, не обеспечивает четкой работы защиты при переходе замыкания между фазами *A* и *B* в трехфазное короткое замыкание (подробнее см. описание схемы по рис. 14, п. 5).

7. В тех случаях, когда примененный в рассмотренной схеме пусковой орган не удовлетворяет требованию чувствительности, может использоваться более сложная схема защиты по рис. 29.

Схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-153 (рис. 29)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться для линий с двух- и односторонним питанием вместо защиты по рис. 28, когда пусковой орган последней не удовлетворяет требованию чувствительности.

2. Схема отличается от схемы защиты, приведенной на рис. 27, принципиально только тем, что вместо токового пускового органа в ней использован пусковой орган, выполненный тремя реле полного сопротивле-

ния *1PC—3PC* типа КРС-112, и дополнительно предусмотрено устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12.

3. Реле сопротивления *1PC—3PC* пускового органа защиты включены на фазные токи для обеспечения правильного действия пускового органа без переключения в цепях тока как при междуфазных коротких замыканиях, так и при двойных замыканиях на землю; по цепям напряжения реле *1PC—3PC* включены на междуфазные напряжения с переключением реле *1PC* и *3PC* на фазные напряжения при появлении в защите тока нулевой последовательности.

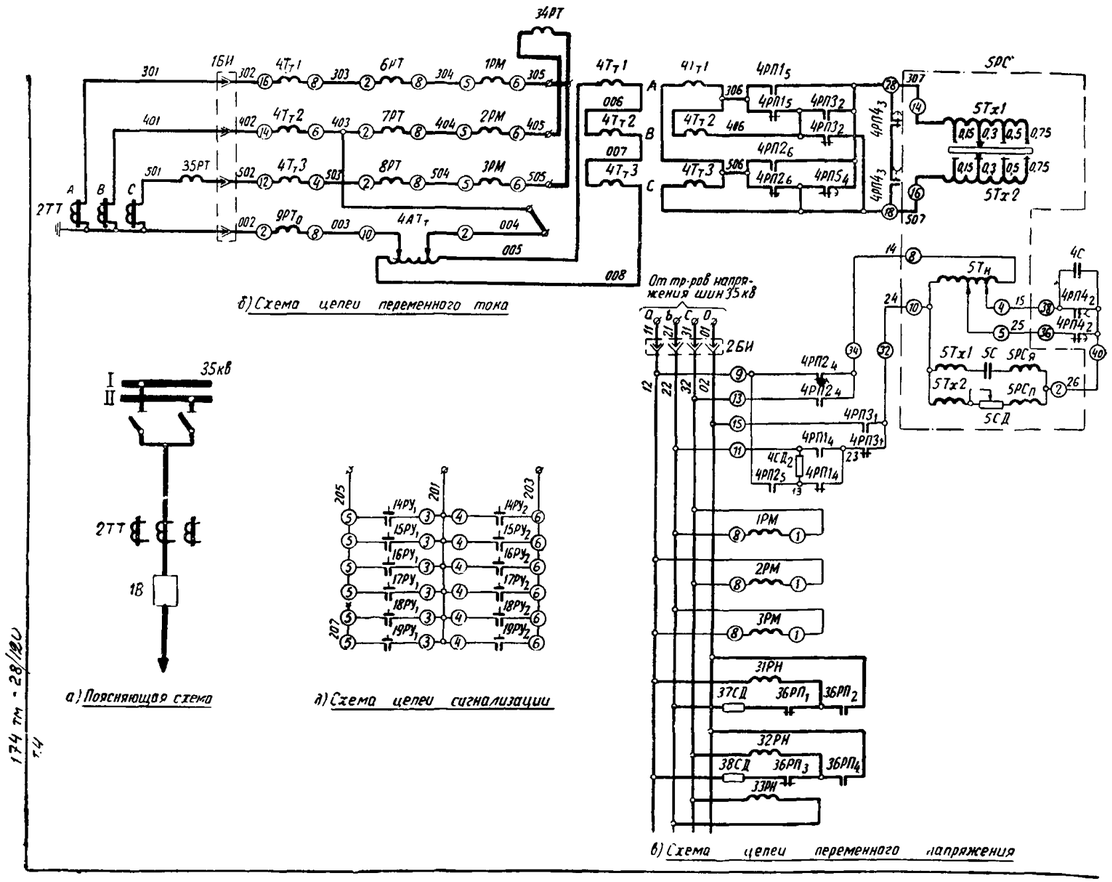
В защите предусмотрены три реле сопротивления пускового органа *1PC—3PC*, что необходимо для обеспечения правильного действия защиты при междуфазных коротких замыканиях. При наличии в месте установки защиты тока нулевой последовательности одно из этих реле (*2PC*, включенное на ток фазы *B*) выводится из действия размыкающим контактом реле $9PT_0$, чем обеспечивается отключение только одного из мест повреждения не менее чем в 67% случаев двойных замыканий на землю.

Правильное действие пускового органа при замыканиях между двумя фазами через переходное сопротивление, когда возможно значительное снижение напряжения между отстающей поврежденной и неповрежденной фазами (рис. 41,*а*), обеспечивается выведением из действия реле, включенного на ток отстающей поврежденной (по отношению к другой поврежденной) фазы. Так, размыкающий контакт реле *3PC* разрывает цепь замыкающего контакта реле *1PC*, а размыкающий контакт реле *1PC* рвет цепь замыкающего контакта *2PC*. Полная циклическая блокировка не может быть осуществлена, так как при этом защита отказывала бы в случае трехфазного короткого замыкания.

Для предотвращения возможности неправильного включения дистанционного органа при замыкании между фазами *B* и *C* (когда, кроме реле *2PC*, может сработать и реле *3PC*, включенное на ток отстающей поврежденной фазы) предусмотрено срабатывание переключающих реле *6РП1* и *6РП2* от их вторых обмоток по цепи размыкающего контакта $9PT_0$, замыкающего контакта *2PC* и размыкающего контакта *1PC*. При срабатывании этих реле к дистанционному органу подводятся ток и напряжение петли короткого замыкания ($\dot{I}_c - \dot{I}_b$ и $\dot{U}_{cb}$) независимо от срабатывания реле *3PC*.

4. При переключении реле сопротивления пускового органа *1PC* и *3PC* на фазные напряжения уставка этих реле автоматически уменьшается в 1,73 раза, что осуществляется уменьшением числа витков используемых в первичной обмотке автотрансформаторов *1Тн* и *3Тн*. Указанное учитывает уменьшение расчетного сопротивления на зажимах реле неповрежденной фазы при двойных замыканиях на землю. В связи с уменьшением уставки чувствительность пусковых органов защиты при двойных замыканиях на землю ниже, чем при междуфазных повреждениях.

5. Действие реле пускового органа и сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления дистанционного органа при различных видах многофазных коротких замыканий, даны в табл. 6, при этом реле сопротивления пускового органа и реле направления мощности, срабатывание которых возможно



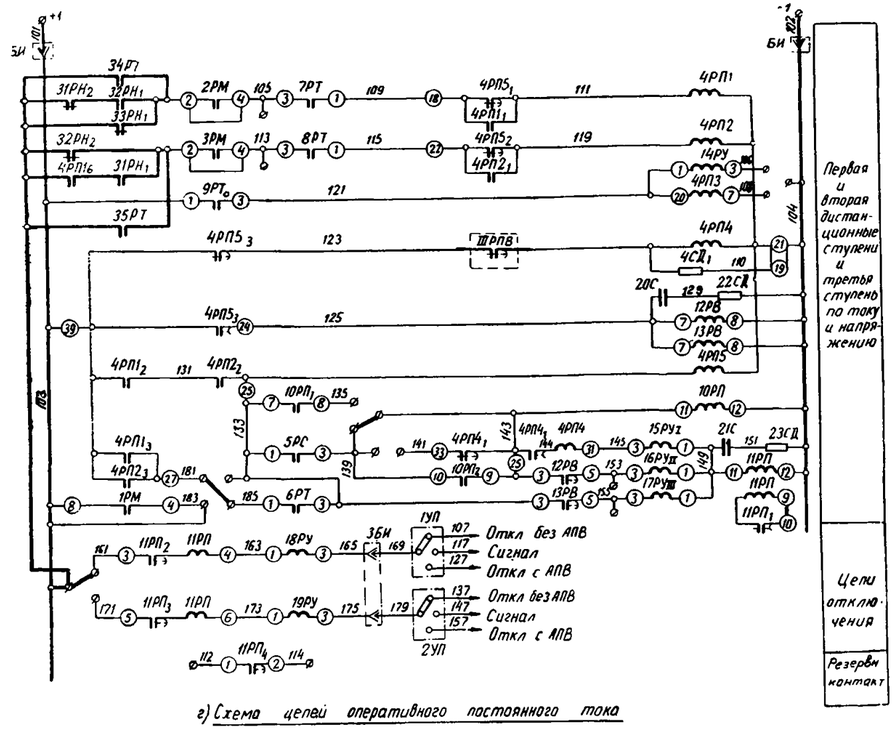


Рис. 28. Схема трехступенчатой защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току и напряже фазных коротких замыканий, выполненной с использо

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РМ—3РМ* — реле мощности типа ИМБ-171А/1; *4* — комплект трансформаторов и *31РН—33РН* — реле напряжения типа РН-54/160; *10РП*, *36РП* — реле промежуточные типа РП-23; *11РП* — реле промежуточное типа тельное типа РУ-21/220; ***15РУ—17РУ*** — реле указательные типа РУ-21/0,025; *18РУ*, *19РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,5; *20С*, *21С* — добавочные; *1УП*, *2УП* — устройства переключающие типа НКР-3;

Примечания:

1. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК.469.029.04 с сохранением основных обозна
2. Реле *31РН—33РН*, *34РТ*, *35РТ* и *36РП* устанавливаются вне панели защиты типа ПЗ-152.
3. Реле *4РП1* должно быть дополнено одним замыкающим контактом.
4. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.
5. В схеме введено замедление на срабатывание реле *11РП* установкой перемычки между его зажимами *9* и *10*.
6. Толстыми линиями показаны дополнительно устанавливаемые реле и соединения, а также контакты реле, не относящиеся

промежуточных реле; *5РС* — реле сопротивления; *6РТ—8РТ*, *9РТ0*, *34РТ*, *35РТ* — реле тока типа РТ-40; РП-253; *12РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *13РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *14РУ* — реле указа конденсаторы 0,5 *мкф*; *22СД*, *23СД* — сопротивления добавочные 500 *ом*; *37СД*, *38СД* — сопротивления *1БИ—3БИ* — блоки испытательные типа БИ-4.

чений, использованных заводом.

к данной панели.

(находятся на грани срабатывания), указаны в скобках.

6. Рассматриваемая защита, как и защита по схеме рис. 28, может срабатывать неправильно (отключая оба места повреждения, одно из которых находится на фазе *B*) при двойных замыканиях на землю в кольцевой сети (подробнее—см. описание схемы по рис. 28, п. 6).

Однако вероятность указанного неправильного срабатывания в некоторых случаях может быть уменьшена введением в рассматриваемую схему двух реле тока *32РТ* и *33РТ* и двух размыкающих контактов реле *6РП3* (обведены на схеме штриховой линией). Контакты этих реле тока будут контролировать цепи обмоток промежуточных реле *6РП1* и *6РП2* пускового органа защиты при двойных замыканиях на землю. Ток срабатывания реле *32РТ* и *33РТ* должен быть выбран по условию обеспечения необходимой чувствительности при двойном замыкании на землю в конце защищаемой зоны.

7. В схеме, как и в схемах по рис. 27 и 28, предусмотрена возможность дополнения защиты устройством блокировки при качаниях любого типа. При этом размыкающий контакт промежуточного реле устройства блокировки включается вместо перемычки *151-149*, что обеспечивает блокирование первой и второй ступеней защиты. При необходимости иметь блокирование только первой ступени дополнительно устанавливается перемычка *151-153*.

Схема двухступенчатой защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца линии 35 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий (рис. 30)

1. Защита по рассматриваемой схеме может применяться в сочетании с токовой отсечкой или комбинированной отсечкой по току и напряжению, выполненными без выдержки времени, а также без них в качестве основной для питающего конца линий с односторонним питанием.

2. Схема отличается от схемы по рис. 15 (гл. 1, разд. Б) только в части подведения напряжения к дистанционному органу.

Для обеспечения одинаковой длины защищаемой зоны при различных видах короткого замыкания к цепям напряжения дистанционного органа защиты подводится:

при междуфазных повреждениях, а также двойных замыканиях на землю, когда в месте установки защиты ток нулевой последовательности $I_0=0$ — соответствующее междуфазное напряжение;

при двойных замыканиях на землю, когда в месте установки защиты ток нулевой последовательности $I_0 \neq 0$ — соответствующее фазное напряжение.

Токовые цепи дистанционного органа, как и в схеме по рис. 15, всегда включены на разность токов фаз *A* и *C*.

Действие реле пускового органа и сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления (дистанционный орган) при различных видах многофазных коротких замыканий, даны в табл. 7.

Для обеспечения одинаковых значений сопротивлений на зажимах реле при таких видах повреждения, когда дистанционный орган включается на соответствующее междуфазное напряжение, при коротких замыканиях между тремя фазами или при замыканиях между фазами *A* и *C* и двойных замыканиях на землю этих фаз при $I_0=0$ в соответствии с табл. 7 и рис. 30 напряжение подводится к 50% витков первичной обмотки автотрансформатора напряжения *7Тн* реле сопротивления, а не к 100% витков, как при замыканиях между фазами *A* и *B* или *B* и *C*, двойных замыканиях на землю этих фаз при $I_0=0$ и двойных замыканиях на землю фаз при $I_0 \neq 0$.

Для обеспечения значений сопротивлений на зажимах реле, пропорциональных сопротивлению прямой последовательности (Z_1) от места установки рассматриваемой защиты до места повреждения, при двойных замыканиях на землю и наличии тока нулевой последовательности, когда дистанционный орган переключается на фазное напряжение, к обмоткам реле подается уменьшенное значение этого напряжения в целях компенсации увеличенного падения напряжения в линии за счет тока нулевой последовательности. Указанное выполнимо в связи с тем, что на линиях с односторонним питанием ток нулевой последовательности всегда составляет $^1/_3$ полного тока в поврежденной фазе и, следовательно, необходимое уменьшение фазного напряжения будет зависеть только от соотношения сопротивлений линии в прямой (обратной) и нулевой последовательностях. В схеме предусмотрено уменьшение подводимого фазного напряжения вдвое (как показано в табл. 7), что обеспечивает сопротивление на зажимах реле, пропорциональное Z_1 при $Z_0 \approx 4Z_1$.

3. Для обеспечения отключения только одного места повреждения не менее чем в 67% случаев двойных замыканий на землю переключениями дистанционного органа по фазам управляют только два реле тока пускового органа *3РТ* и *5РТ*, включенные на ток соответственно фаз *A* и *C*. Для переключения дистанционного органа на фазные напряжения дополнительно предусмотрено реле тока *4РТ*, включенное на ток нулевой последовательности.

4. Рассмотренная защита, как и защита по рис. 15, при использовании ее для тупиковых линий выполняется без выдержки времени в первой ступени. При этом из схемы исключаются фиксация начального значения сопротивления (реле *11РП*) и цепи ускорения после включения выключателя (реле *15РУ* и контакт *IIIРПВ*), а в качестве реле *8РВ* и *12РП* используются соответственно реле типов ЭВ-134 и РП-251.

Схема трехступенчатой суммарной защиты с первой и второй дистанционными ступенями с пуском по току и напряжению, используемым для осуществления третьей ступени, для двух параллельных линий 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152 (рис. 31)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться в качестве резервной для двух параллельных линий с двусторонним питанием, на которых в качестве основной применена поперечная дифференциальная направленная защита.

2. Схема защиты по сравнению со схемой рис. 28 имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для суммарной защиты:

а) Предусматривается выведение из действия первой ступени защиты при работе обеих параллельных линий с помощью размыкающе-

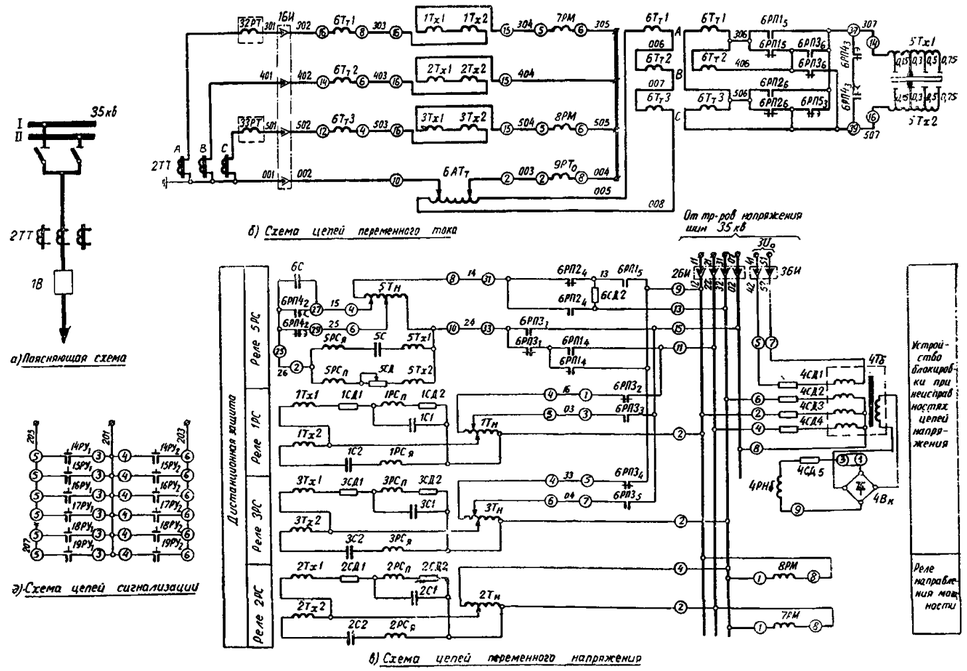
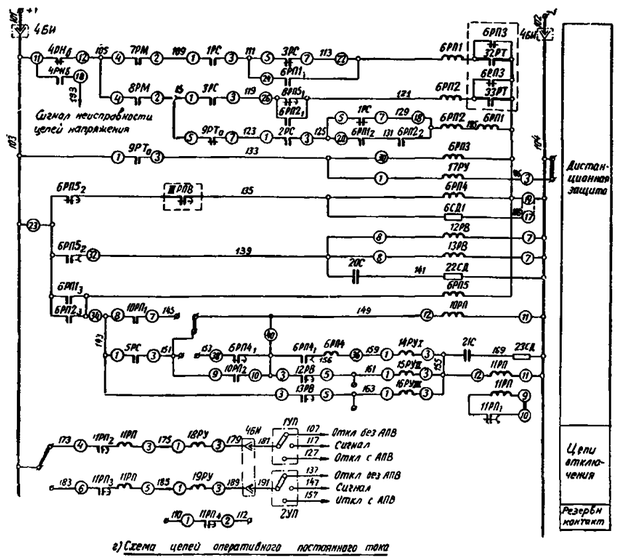


Рис. 29. Схема трехступенчатой дистанционной защиты линии 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-112; *5РС* — реле сопротивле КРБ-12; *6* — комплект трансформаторов и промежуточных реле; *7РМ, 8РМ* — реле мощности типа ИМБ-171 А/1; *9РТ₀, 32РТ,* реле промежуточное типа РП-253; *12РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *13РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *14РУ—16РУ* — ре *18РУ, 19РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *20С, 21С* — конденсаторы 0,5 *мкф*; *22СД, 23СД* — сопротивления добавоч *4БИ* — блоки испытательные

Примечания:
1. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК.469.030.03 с сохранением основных
2. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.
3. В схеме введено замедление на срабатывание реле *11РП* установкой перемычки между его зажимами *9* и *10*.
4. Толстыми линиями показаны контакты, реле и соединения, не относящиеся к данной панели.
5. Реле *32РТ* и *33РТ* и размыкающие контакты реле *6РП3*, очерченные пунктирной линией, используются при при действия защиты при двойных замыканиях на землю (см. описание схемы по рис. 29).



замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты ПЗ-153.

ния; *4* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа *33РТ* — реле тока типа РТ-40; *10РП* — реле промежуточное типа РП-23; *11РП*— ле указательные типа РУ-21/0,025; *17РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; ные 500 *ом*; *1УП, 2УП* — устройства переключающие типа НКР-3, *1БИ* — типа БИ-4.

обозначений, использованных заводом.

менении защиты в кольцевых сетях для предотвращения неправильного дей-

Таблица 6

Сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах повреждения

Вид повреждения	Поврежденные фазы	Работают реле				К реле сопротивления дистанционного органа подводится	
		сопротивления пускового органа	тока	направления мощности	промежуточные	ток	напряжение
Трехфазное короткое замыкание	*АВС*	*1РС, 2РС, 3РС*	—	*7РМ, 8РМ*	*6РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_a$	$\dot{U}_{ca}$
Замыкание между двумя фазами и двойное замыкание на землю при $I_0 = 0$	*АВ*	*1РС, (2РС)*	—	*7РМ, (8РМ)*	*6РП1*	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{ab}$
	ВС	*2РС, (3РС)*	—	*(7РМ), 8РМ*	*6РП1, 6РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_b$	$\dot{U}_{cb}$
	СА	*(1РС), 3РС*	—	*7РМ, 8РМ*	*6РП2*	$\dot{I}_c - \dot{I}_a$	$\dot{U}_{ca}$
Двойное замыкание на землю на разных линиях при одностороннем питании[1] при $I_0 \neq 0$	*АВ*	*1РС*	*9РТ*$_0$	*7РМ, (8РМ)*	*6РП1, 6РП3*	$\dot{I}_a + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_a$
	ВА	—	*9РТ*$_0$	*(7РМ), (8РМ)*	*6РП3*	—	$\dot{U}_a$
	ВС	—	*9РТ*$_0$	*(7РМ), (8РМ)*	*6РП3*	—	$\dot{U}_a$
	СВ	*3РС*	*9РТ*$_0$	*(7РМ), 8РМ*	*6РП2, 6РП3*	$\dot{I}_c + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_c$
	СА	*3РС*	*9РТ*$_0$	*(7РМ), 8РМ*	*6РП2, 6РП3*	$\dot{I}_c + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_c$
	АС	*1РС*	*9РТ*$_0$	*7РМ, (8РМ)*	*6РП1, 6РП3*	$\dot{I}_a + k\dot{I}_0$	$\dot{U}_a$

[1] Первыми буквами указаны фазы, поврежденные на защищаемой линии.

Таблица 7

Сочетания токов и напряжений, подводимых к реле сопротивления при различных видах повреждения

Вид повреждения	Поврежденные фазы	Работают реле		К реле сопротивления подводится	
		тока	промежуточные	ток	напряжение
Трехфазное короткое замыкание	*АВС*	*3РТ, 5РТ, 6РТ*	*9РП, 10РП*	$\dot{I}_a - \dot{I}_c$	$\dot{U}^{**}_{ac}$
Замыкание между двумя фазами и двойное замыкание на землю при $I_0 = 0$	*АВ*	*3РТ, 6РТ*	*9РП*	$\dot{I}_a$	$\dot{U}_{ab}$
	ВС	*5РТ, 6РТ*	*10РП*	$-\dot{I}_c$	$\dot{U}_{cb}$
	СА	*3РТ, 5РТ*	*9РП, 10РП*	$\dot{I}_a - \dot{I}_c$	$\dot{U}^{**}_{ac}$
Двойное замыкание на землю при $I_0 \neq 0$	*АВ*	*3РТ, 6РТ, 4РТ*	*9РП*	$\dot{I}_a$	$\dot{U}_{a0}$
	ВС	*5РТ, 6РТ, 4РТ*	*10РП*	$-\dot{I}_c$	$\dot{U}_{c0}$
	*СА**	*3РТ, 6РТ, 4РТ*	*9РП*	$\dot{I}_a$	$\dot{U}_{a0}$
		5РТ, 6РТ, 4РТ	*10РП*	$-\dot{I}_c$	$\dot{U}_{c0}$

* При двойном замыкании на землю фаз *С* и *А* рассмотрены два случая — наличие тока повреждения в фазе *А* или фазе *С*.

** Напряжение подводится к 50% витков первичной обмотки автотрансформатора напряжения реле сопротивления.

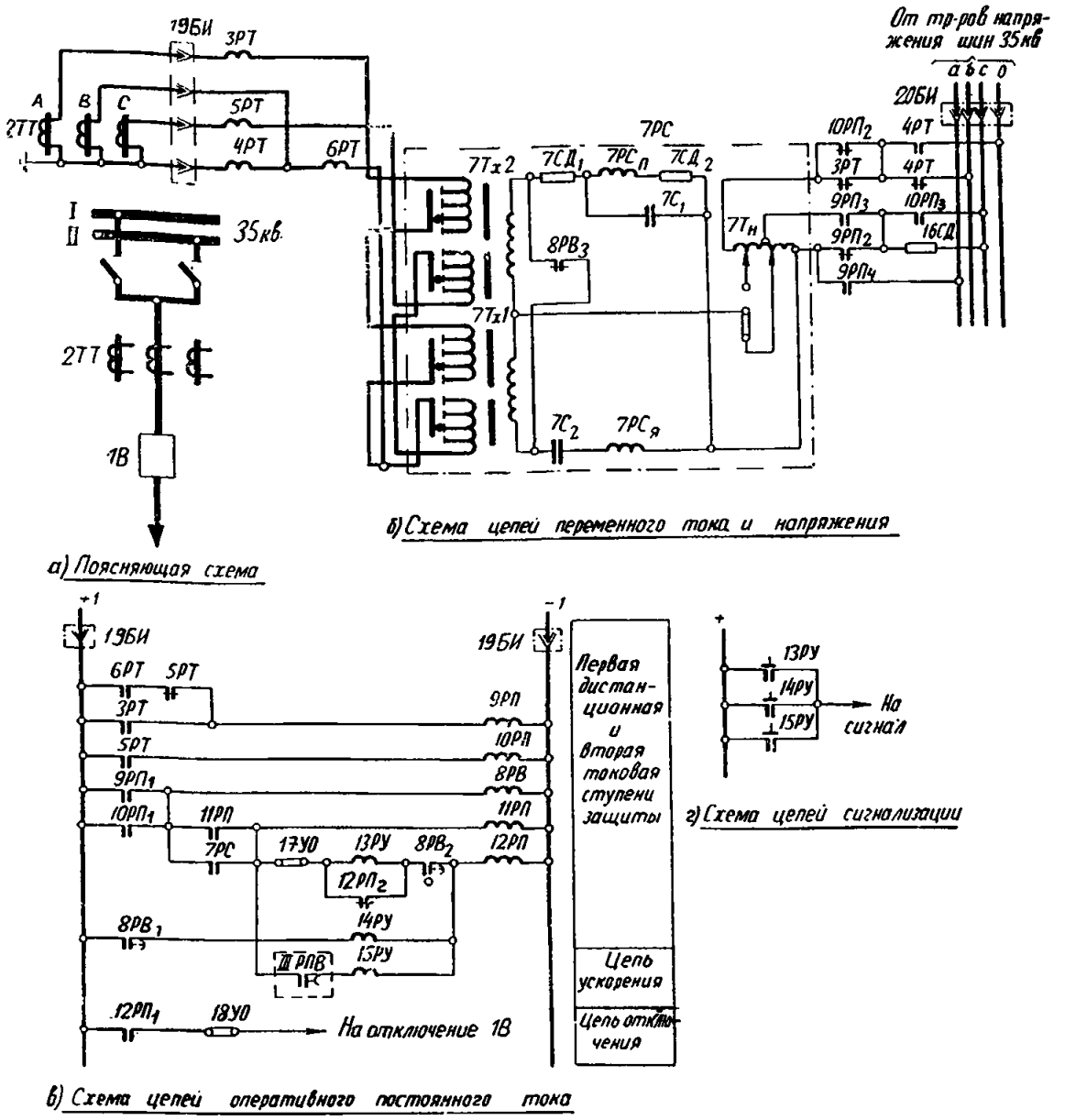


Рис. 30. Схема двухступенчатой защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца линии 35 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3РТ—6РТ* — реле тока типа РТ-40; *7РС* — реле сопротивления типа КРС-111; *8РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *9РП—11РП* — реле промежуточные типа РП-23; *12РП* — реле промежуточное типа РП-23; *13РУ—15РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *16СД*—сопротивление добавочное 1 000 *ом; 17УО, 18УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *19БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *20БИ* — блок испытательный типа БИ-4.

Примечания:

1. В реле *12РПВ* один замыкающий контакт должен быть переделан на размыкающий.

2. Замыкающий без выдержки времени контакт реле *8РВ* должен быть переделан на размыкающий.

3. Для осуществления шунтирования контактом $8РВ_3$ обмоток трансреакторов *7Тх1* и *7Тх2* должны быть предусмотрены выводы концов этих обмоток согласно рис. 30,*б*.

4. *IIIРПВ* — контакт реле ускорения защит.

го контакта дополнительно устанавливаемого промежуточного реле *33РПВ* с замедлением при возврате.

Это реле, запускаемое при работе обеих линий от последовательно соединенных размыкающих контактов *IРП* и *IIРП* реле положения «отключено» выключателей защищаемых линий, разрывает своим размыкающим контактом цепь запуска выходного реле *11РП* от первой ступени защиты.

б) Предусматриваются раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением рассматриваемой защиты после включения выключателя через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты, что дает возможность восстановить работу неповрежденной линии после отключения ее (одновременно с поврежденной) от суммарной защиты как при устраняющемся, так и при неустраняющемся повреждении (гл. 2, разд. А, п. 9).

При ускорении второй ступени защиты контакты $IIIРПВ_1$ и $IVРПВ_1$ реле ускорения защиты должны присоединяться к зажиму *143* панели; при ускорении третьей ступени защиты контакты $IIIРПВ_2$ и $IVРПВ_2$ должны присоединяться к зажиму *133* панели.

В цепях ускорения действия защиты дополнительно устанавливаются указательные реле *34РУ* и *35РУ* для обеспечения раздельной сигнализации действия защиты по цепям ускорения.

в) В цепи обмотки реле *4РП4*, переключающего цепи напряжения реле сопротивления, предусмотрены последовательно соединенные размыкающие контакты $IIIРПВ_3$ и $IVРПВ_3$ реле ускорения. Указанное обеспечивает переключение реле сопротивления на уставку второй ступени (в соответствии с гл. 2, разд. А, п. 8) до включения выключателей защищаемых линий.

3. Схема выполнена для случая, когда вторая ступень защиты удовлетворяет требованию чувствительности при работе как двух, так и одной из защищаемых параллельных линий без изменения ее сопротивления срабатывания.

В тех случаях, когда указанное условие не соблюдается и требуется автоматическое изменение сопротивления срабатывания второй ступени при отключении одной из линий, в схему должны быть внесены соответствующие изменения (приложение VIII).

4. В случаях, если токовый пусковой орган панели защиты типа ПЗ-152 удовлетворяет требованию чувствительности, из рассматриваемой схемы могут быть исключены: реле напряжения *36РН—38РН*, реле тока *39РТ—40РТ*, реле промежуточное *41РП* и сопротивления *42СД* и *43СД*.

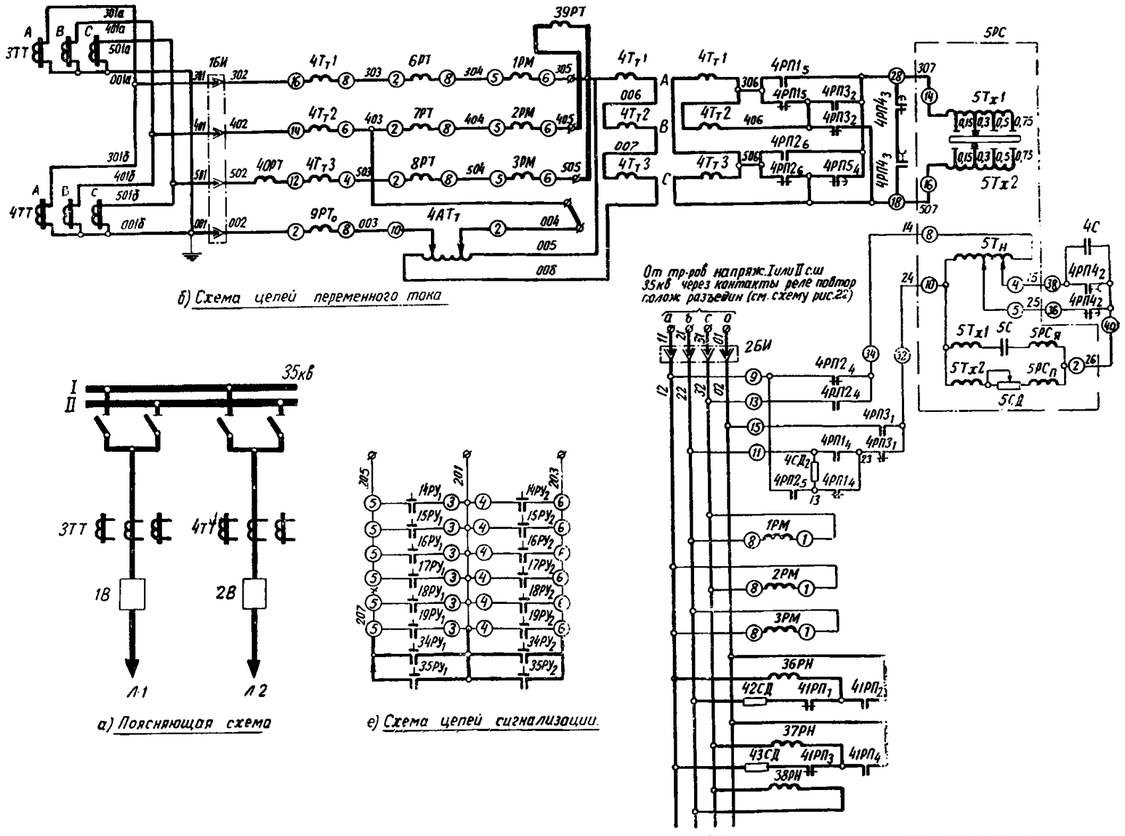
Схема трехступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-153 (рис. 32)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться в качестве резервной для двух параллельных линий с двусторонним питанием вместо защиты по рис. 31, когда пусковой орган последней не удовлетворяет требованию чувствительности.

2. Схема защиты по сравнению со схемой по рис. 29 имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для суммарной защиты:

а) Предусматривается выведение из действия первой ступени защиты при работе обеих параллельных линий с помощью размыкающего контакта дополнительно устанавливаемого промежуточного реле *34РПВ* с замедлением при возврате. Цепь запуска реле *34РПВ* выполнена аналогично цепи запуска реле *33РПВ*, предусматриваемого для той же цели в схеме по рис. 31.

б) Предусматриваются раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением рассматриваемой защиты после включения выключателя через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты аналогично тому, как в схеме по рис. 31.



б) Схема цепей переменного тока

а) Поясняющая схема

г) Схема цепей сигнализации

в) Схема цепей переменного напряжения

Рис. 31. Схема трехступенчатой суммарной защиты с первой и второй дистанционными **ступенями с пуском** по току и 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выпол

1В, 2В — выключатели; *3ТТ, 4ТТ* — трансформаторы тока; *1РМ—3РМ* — реле мощности типа ИМБ-171 А/1; *4* — комплект трансформато- *36РН—38РН* — реле напряжения типа РН-54/160; *10РП, 41РП* — реле промежуточные типа РП-23; *11РП* — реле промежуточное типа типа ЭВ-134; *14РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; *15РУ—17РУ, 35РУ* — реле указательные типа **РУ-21/0,025**; *18РУ, 19РУ* — реле ука *42СД, 43СД* — сопротивления добавочные; *1УП, 2УП* — устройства переключаю

Примечания:
1. **Схема выполнена** на основании заводского чертежа по рис. 1 **информации ОБК.469.029.04 с сохранением основных обозначе-**
2. Реле *36РН—38РН, 39РТ, 40РТ* и *41РП* устанавливаются **вне панели защиты типа ПЗ-152.**
3. Реле *4РП1* должно быть дополнено **одним замыкающим контактом.**
4. *1РП, 11РП* — контакты реле положения «отключено» **выключателей защищаемых линий.**
5. *IIIРПВ, IVРПВ* — контакты **реле ускорения защит.**
6. В схеме введено замедление на срабатывание реле *11РП* установкой перемычки между его зажимами *9* и *10*.
7. Толстыми линиями показаны дополнительно устанавливаемые реле и соединения, а также контакты реле, **не относящиеся**

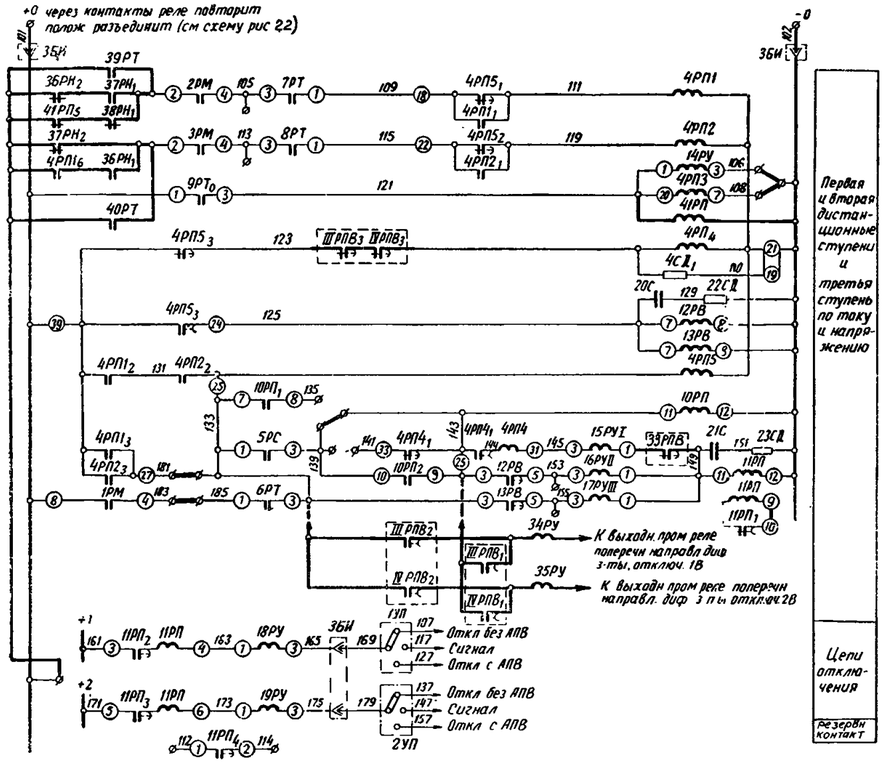
При ускорении второй ступени защиты контакты $IIIРПВ_1$ и $IVРПВ_1$ реле ускорения должны присоединяться к зажиму *149* панели; при ускорении третьей ступени защиты контакты $IIIРПВ_2$ и $IVРПВ_2$ должны присоединяться к зажиму *143* панели.

В цепях ускорения действия защиты дополнительно устанавливаются указательные реле *35РУ* и *36РУ* для обеспечения раздельной сигнализации действия защиты по цепям ускорения.

в) В цепи обмотки реле *6РП4*, переключающего цепи напряжения реле сопротивления, предусмотрены последовательно соединенные размыкающие контакты $IIIРПВ_3$ и $IVРПВ_3$ реле ускорения. Указанное обеспечивает переключение реле сопротивления на уставку второй ступени (в соответствии с гл. 2, разд. А, п. 8) до включения выключателей защищаемых линий.

3. Схема, как и схема по рис. 31, выполнена для случая, когда вторая ступень защиты удовлетворяет требованию чувствительности при работе как двух, так и одной из защищаемых параллельных линий без изменения ее сопротивления срабатывания.

В тех случаях, когда указанное условие не соблюдается и требуется автоматическое изменение сопротивления срабатывания второй ступени при отключении одной из линий, в схему должны быть внесены соответствующие изменения (приложение VIII).



г) Схема цепей оперативного постоянного тока.



д) Схема включения реле *33РПВ*, дополнительно предусматриваемого для введения в действие I ступени защиты при отключении одной из защищаемых линий

напряжению, используемым для осуществления третьей ступени, для двух параллельных линий ненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-152.

ров и промежуточных **реле;** *5РС* — реле сопротивления; *6РТ—8РТ, 9РТ0, 39РТ, 40РТ* — реле тока типа РТ-40; РП-253; *33РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *12РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *13РВ* — реле времени зательные типа РУ-21/0,5; *20С, 21С*— конденсаторы 0,5 *мкф*; *22СД, 23СД* — сопротивления добавочные 500 *ом*; щие типа НКР-3; *1БИ—3БИ* — блоки испытательные типа БИ-4.

ний, использованных заводом.

к данной панели.

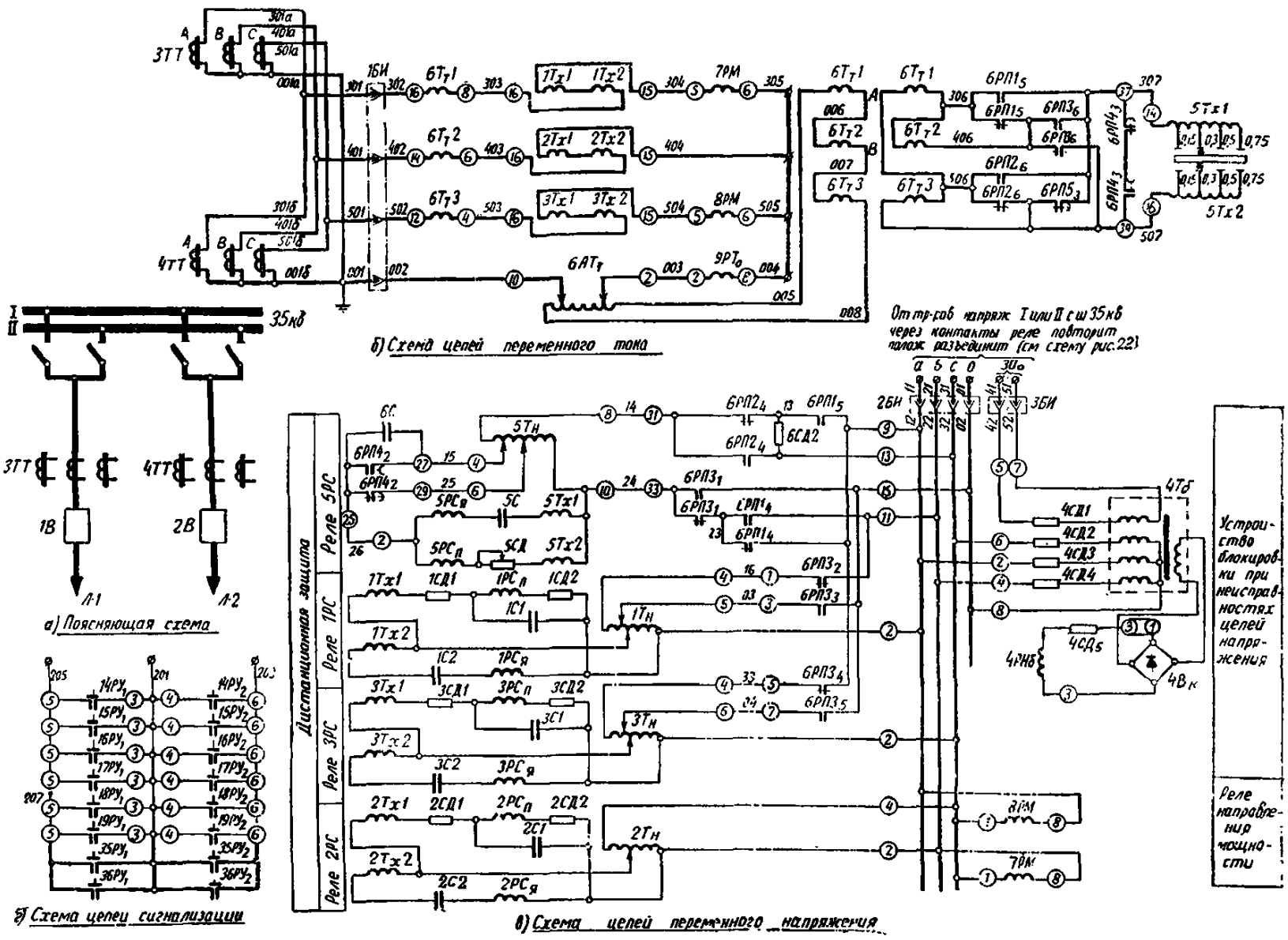


Рис. 32. Схема трехступенчатой суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий 35 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий, выполненной с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-153.

1В, 2В — выключатели; *3ТТ, 4ТТ* — трансформаторы тока; *1РС—3РС* — реле сопротивления типа КРС-112; *5РС* — реле сопротивления; *4* — устройство блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12; *6* — комплект трансформаторов и промежуточных реле; *7РМ, 8РМ* — реле мощности типа ИМБ-171 А/1; $9РТ_0$ — реле тока типа РТ-40; *10РП* — реле промежуточное типа РП-23; *11РП* — реле промежуточное типа РП-253; *34РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *12РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *13РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *14РУ—16РУ, 35РУ, 36РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *17РУ* — реле указательное типа РУ-21/220; *18РУ, 19РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *20С, 21С* — конденсаторы 0,5 *мкф*; *22СД, 23СД* — сопротивления добавочные 500 *ом*; *1УП, 2УП* — устройства переключающие типа НКР-3; *1БИ—4БИ* — блоки испытательные типа БИ-1.

Примечания:

1. Схема выполнена на основании заводского чертежа по рис. 1 информации ОБК.469.030.03 с сохранением основных обозначений, использованных заводом.

2. *1РП, 11РП* — контакты реле положения «отключено» выключателей защищаемых линий.

3. *IIIРПВ, IVРПВ* — контакты реле ускорения защит.

4. В схеме введено замедление на срабатывание реле *11РП* установкой перемычки между его зажимами *9* и *10*.

5. Толстыми линиями показаны дополнительно устанавливаемые реле и соединения, а также контакты реле, не относящиеся к данной панели.

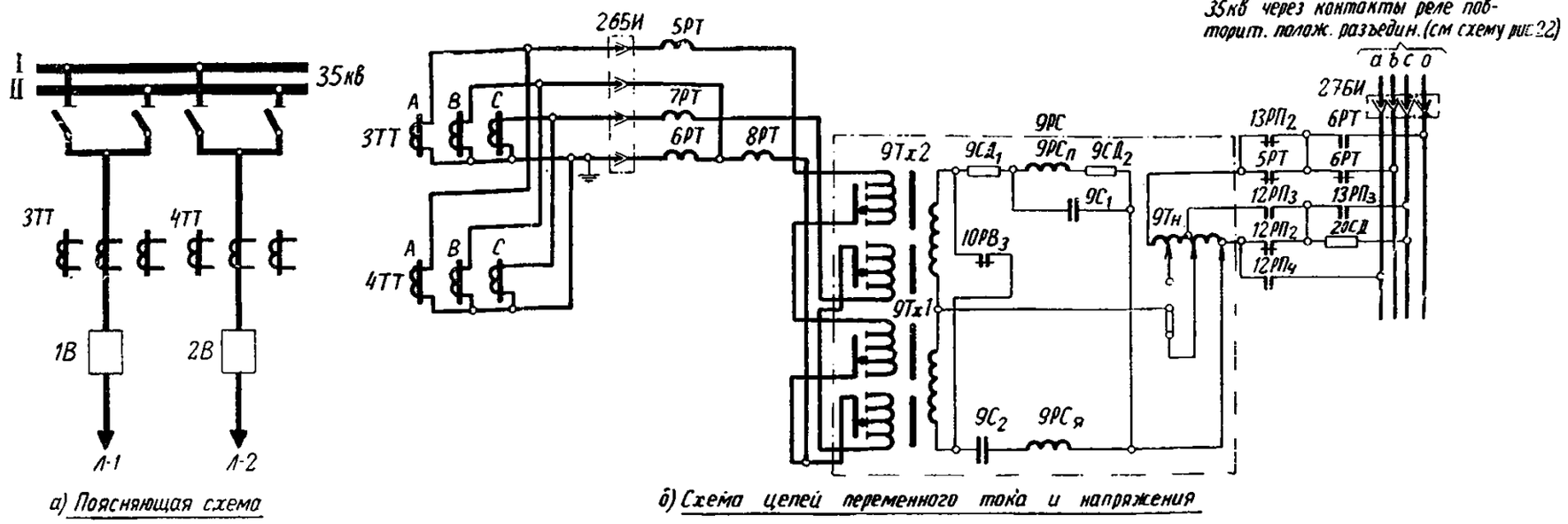


Рис. 33. Схема двухступенчатой суммарной защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца двух параллельных линий 35 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий.

1В, 2В — выключатели; *3ТТ, 4ТТ* — трансформаторы тока; *5РТ—8РТ* — реле тока типа РТ-40; *9РС* — реле сопротивления типа КРС-111; *10РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *11РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *12РП—14РП* — реле промежуточные типа РП-23; *15РПВ* — реле промежуточное типа РП-251; *16РУ—19РУ* — реле указательные типа РУ-21/0.025; *20СД*—сопротивление добавочное 1 000 *ом*; *21УО—25УО*—устройства отключающие типа НКР-3; *26БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *27БИ*—блок испытательный типа БИ-4.

Примечания:

1. **В реле *15РПВ* один замыкающий контакт должен быть переделан на размыкающий.**
2. **Замыкающий без выдержки времени контакт реле *10РВ* должен быть переделан на размыкающий.**
3. Для осуществления шунтирования контактом $10РВ_3$ обмоток трансреакторов *9Тх1* и *9Тх2* должны быть предусмотрены выводы концов этих обмоток согласно рис. 33,*б*.
4. *IРП* и *IIРП* — контакты реле положения «отключено», выключателей защищаемых линий.
5. *IIIРПВ, IVРПВ* — контакты реле ускорения защит.

Схема двухступенчатой суммарной защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца двух параллельных линий 35 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий (рис. 33)

1. Защита, выполненная по рассматриваемой схеме, может применяться в качестве резервной для питающего конца двух тупиковых параллельных линий.

2. Схема защиты по сравнению со схемой по рис. 30 имеет следующие особенности, связанные с использованием ее для суммарной защиты тупиковых параллельных линий:

а) Предусматривается перевод первой ступени защиты на действие без выдержки времени при отключении одной из параллельных линий с помощью реле времени *11РВ*, запускаемого от замыкающих контактов реле положения «отключено» защищаемых линий. Выдержка времени указанного реле выбирается в соответствии с гл. 2, разд. А, п. 6.

б) Предусматриваются раздельные цепи отключения защищаемых линий с ускорением рассматриваемой защиты после включения выключателя через выходные промежуточные реле поперечной дифференциальной направленной защиты аналогично тому, как в схемах по рис. 31 и 32.

В цепях ускорения действия защиты устанавливаются указательные реле *18РУ* и *19РУ* для обеспечения раздельной сигнализации действия защиты по цепям ускорения.

3. Схема, как и схемы по рис. 31 и 32, выполнена для случая, когда вторая ступень защиты удовлетворяет требованию чувствительности при работе как двух, так и одной из защищаемых параллельных линий без изменения ее сопротивления срабатывания.

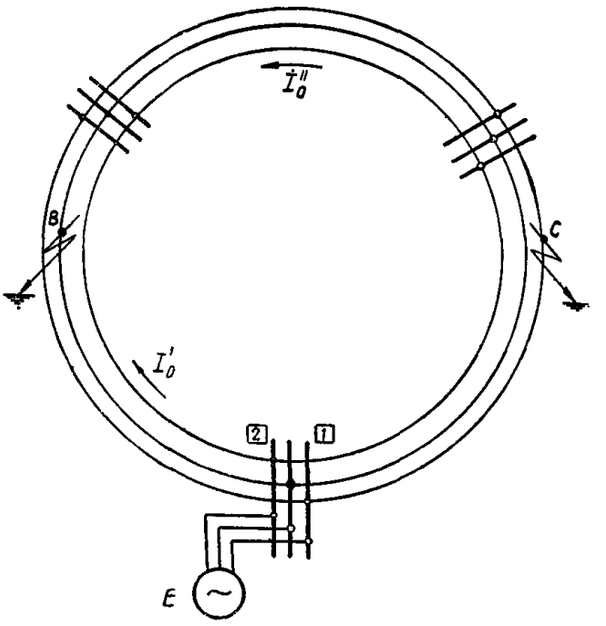


Рис. 34. Повреждение в кольцевой сети, при котором защиты по рис. 29 и 30 могут действовать неправильно.

В тех случаях, когда указанное условие не соблюдается и требуется автоматическое изменение сопротивления срабатывания второй ступени при отключении одной из линий, в схему должны быть внесены соответствующие изменения (приложение VIII).

ГЛАВА ПЯТАЯ

РАСЧЕТ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 35—330 *кв* ОТ ВСЕХ ВИДОВ МНОГОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

В настоящей главе даны указания по расчету дистанционных защит от многофазных коротких замыканий линий 35—330 *кв* с двух- и односторонним питанием применительно к различным схемам их коммутации (одиночные и параллельные линии, линии с ответвлениями, линии, работающие по схеме блока трансформатор или автотрансформатор — линия).

Расчет дистанционной защиты в общем случае сводится к определению:

а) сопротивлений срабатывания, выдержек времени и чувствительности отдельных ступеней защиты;

б) параметров срабатывания, чувствительности и типа пусковых органов;

в) параметров срабатывания, чувствительности и типа устройства блокировки защиты при качаниях.

А. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОДИНОЧНЫХ ЛИНИЙ 110—330 *кв*

1. Первичные сопротивления срабатывания первой $z^{I}_{с.з}$ и второй $z^{II}_{с.з}$ ступеней дистанционной защиты одиночной линии с двусторонним (рис. 35, *а—г*) и односторонним (рис. 35,*д*) питанием определяются для случаев металлических коротких замыканий по выражениям, приведенным в табл. 8. При составлении выражений табл. 8 под первой ступенью защиты имелась в виду ступень без выдержки времени, а под второй — ступень с выдержкой времени, равной ступени селективности Δt. Выражения табл. 8 действительны как при использовании защиты в качестве основной, так и в качестве резервной.

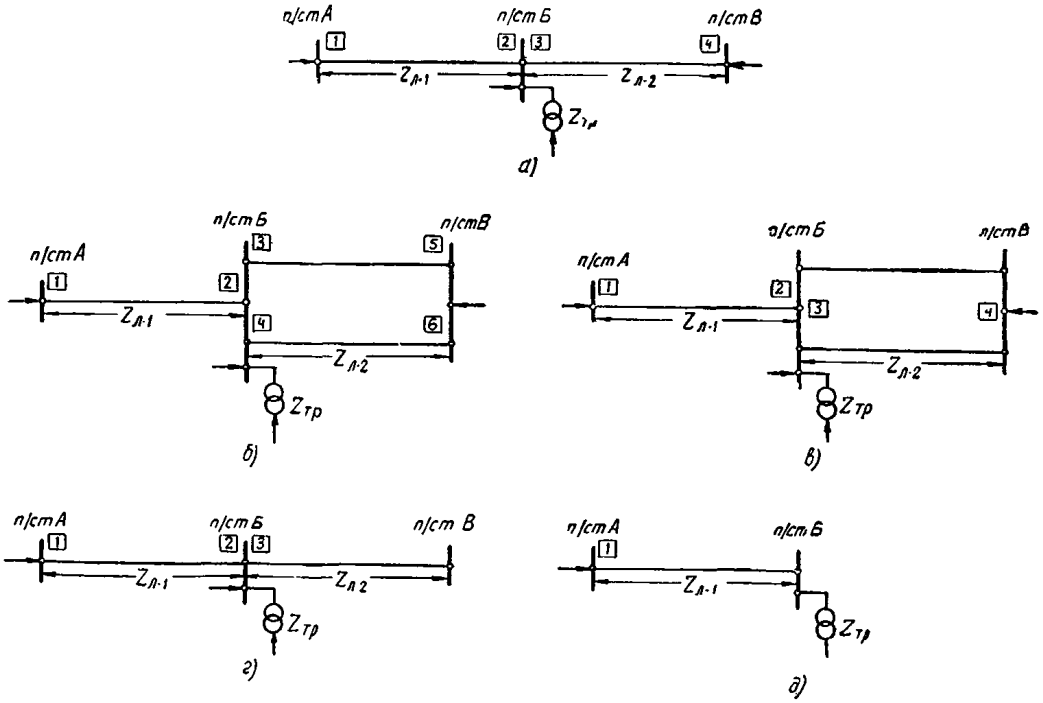


Рис. 35. Примеры схем участков сети с одиночными линиями.

$z_{л-1}$, $z_{л-2}$ — сопротивления линий; $z_{тр}$ — минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на п/ст. *Б*.

Таблица 8

Расчетные выражения для определения сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты одиночных линий

№ п/п.	Ступень защиты	Исходная схема рис. 35	Расчетное условие	Расчетное выражение: в общем виде	Расчетное выражение: при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)	Условие обеспечения требуемой чувствительности второй ступени защиты $z^{II}_{с.з1} \geqslant 1{,}25 z_{л\text{-}1}$
1	I	*а*, *б*, *в*, *г*	Отстройка от коротких замыканий на шинах подстанции, примыкающей к противоположному концу линии	$z^{I}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1}}{1+\beta+\delta}$ (1)	$z^{I}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85 z_{л\text{-}1}$ (6)	—
2		*д*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б*	$z^{I}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1}+z_{тр}}{1+\beta+\delta}$ (2)	$z^{I}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85 (z_{л\text{-}1}+z_{тр})$ (7)	$\dfrac{z_{тр}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}47$
3	II	*а*	Согласование с первой ступенью защиты *3*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1}+\dfrac{1-\alpha}{k_{тII}} z^{I}_{с.з3}}{1+\beta+\delta}$ (3)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85 z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}66}{k_{тII}} z_{л\text{-}2}$ (8)	$\dfrac{z_{л\text{-}2}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}6 k_{тII}$
4		*г*			$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85 z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}78}{k_{тII}} z^{I}_{с.з3}$ (9)	$\dfrac{z^{I}_{с.з3}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}51 k_{тII}$
5		*б*, *в*	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *В* при двух линиях на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1}+\dfrac{1}{k_{тII}} 0{,}5 z_{л\text{-}2}}{1+\beta+\delta}$ (4)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85 z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}43}{k_{тII}} z_{л\text{-}2}$ (10)	$\dfrac{z_{л\text{-}2}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}93 k_{тII}$
6		*а*, *б*, *в*, *г*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1}+\dfrac{z_{тр}}{k_{т.тр}}}{1+\beta+\delta}$ (5)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85 \left(z_{л\text{-}1}+\dfrac{z_{тр}}{k_{т.тр}}\right)$ (11)	$\dfrac{z_{тр}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}47 k_{т.тр}$

Примечания:

1. Выражения даны для определения сопротивлений срабатывания первой $z^{I}_{с.з1}$ и второй $z^{II}_{с.з1}$ ступеней применительно к защите *1* одиночных линий по схемам рис. 35.
2. Выражения (6) ÷ (11) и соотношения, обеспечивающие требуемую чувствительность второй ступени, составлены для принимаемых в расчетах значений коэффициентов $\alpha = 0{,}1$; $\beta = 0{,}05$ и $\delta = 0{,}1$.
3. Расчетные выражения п. 5 даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.

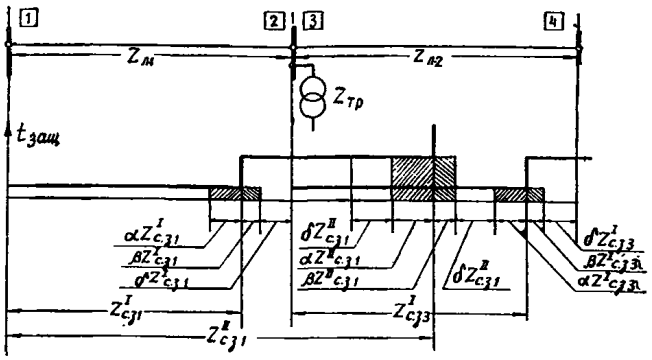


Рис. 36. Погрешности дистанционной защиты.

Примечание. Значения коэффициентов α, β и δ даны в примечаниях к табл. 8.

В качестве сопротивления срабатывания для второй ступени принимается наименьшее из сопротивлений, полученных по приведенным расчетным условиям.

2. В выражениях для выбора сопротивления срабатывания (табл. 8) коэффициенты δ, α и β учитывают (см. рис. 36):

а) коэффициент δ — погрешность, вызванную неточностью расчета первичных электрических величин (влияет как в сторону увеличения, так и уменьшения защищаемой зоны), и необходимый запас, принимается равным δ=0,1;

б) коэффициенты α и β — погрешности трансформаторов тока и трансформаторов напряжения и релейной аппаратуры (α — в сторону уменьшения, а β — в сторону увеличения защищаемой зоны).

Погрешности трансформаторов тока действуют в сторону уменьшения защищаемой зоны, а трансформаторов напряжения и реле (из-за разброса характеристики) — в сторону увеличения или уменьшения защищаемой зоны. Из приведенного следует, что коэффициент α должен быть принят больше коэффициента β.

Значения коэффициентов в табл. 8 принимаются: α=0,1 и β=0,05. Эти значения не учитывают погрешностей индукционных реле при токах, меньших тока точной работы (в сторону уменьшения защищаемой зоны), разд. Е, п. 1.

Указанные в табл. 8 ориентировочные значения коэффициентов α и β могут быть уточнены при наладке защиты.

3. Сопротивление срабатывания первой ступени дистанционной защиты тупиковых линий в целях повышения чувствительности целесообразно выбирать из условия отстройки от короткого замыкания на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу линии (табл. 8, п. 2).

4. В выражениях (3)—(5) и (8)—(11) табл. 8 для выбора сопротивления срабатывания второй ступени дистанционной защиты коэффициентом $k_т$, равным отношению первичного тока в защите к току в рассматриваемом участке (рис. 37), учитывается токораспределение.

Расчетным явится значение коэффициента $k_т$ в таком реально возможном режиме работы, которому соответствует наименьшее значение сопротивления в месте установки рассматриваемой защиты. Токи короткого замыкания для определения расчетного значения коэффициента $k_т$ могут рассчитываться для $t=0$.

5. В схемах, аналогичных приведенным на рис. 35,*б* и *в*, должно учитываться условие отстройки от коротких замыканий на шинах п/ст. *В* (табл. 8, п. 5), поскольку даже при наличии специальной защиты шин необходимо считаться с возможностью ее вывода или отказа.

6. При выборе сопротивления срабатывания второй ступени защиты по условию отстройки от коротких замыканий на сторонах низшего (среднего) напряжения трансформаторов (автотрансформаторов) подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемого участка (табл. 8, п. 6), в общем случае необходимо учитывать наименьшее сопротивление этих трансформаторов (автотрансформаторов), которое может иметь место при регулировании напряжения изменением их коэффициента трансформации.

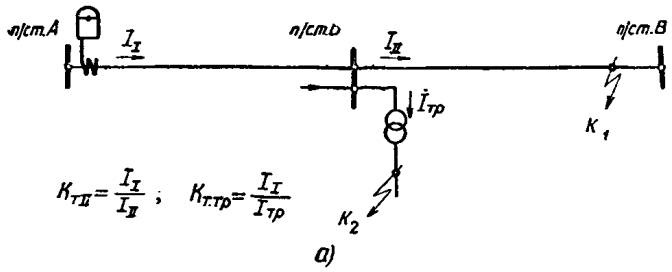
Следует отметить, что при применении для защиты трансформаторов подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемого участка, токовой отсечки (а не дифференциальной защиты) вторую ступень рассматриваемой дистанционной защиты вместо отстройки от короткого замыкания на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции по (5) и (11) табл. 8 целесообразно согласовывать с токовой отсечкой аналогично тому, как согласовывается вторая ступень дистанционной защиты с токовой отсечкой, являющейся первой ступенью защиты предыдущего участка линии (п. 7).

7. Согласование второй ступени дистанционной защиты с первой ступенью защиты предыдущего участка при выполнении последней с помощью токовой отсечки, отсечки по напряжению или комбинированной отсечки по току и напряжению производится по выражению, аналогичному (3) табл. 8:

$$z^{II}_{с.з1} \leqslant \frac{z_{л\text{-}1} + \frac{z_{расч}}{k_т}}{1+\beta+\delta} = 0{,}85\left(z_{л\text{-}1} + \frac{z_{расч}}{k_т}\right), \qquad (1)$$

где $z_{л\text{-}1}$ — сопротивление участка, на котором установлена согласуемая дистанционная защита;

$z_{расч}$ — сопротивление зоны, надежно (с коэффициентом надежности $k'_н=1{,}1$) охватываемой



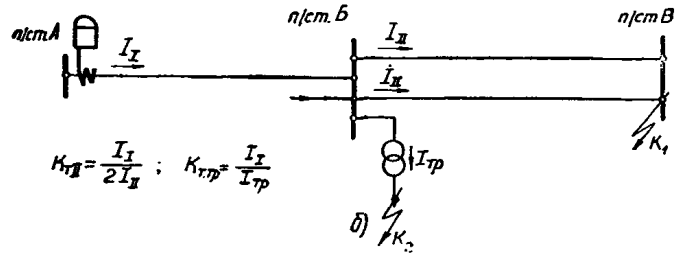


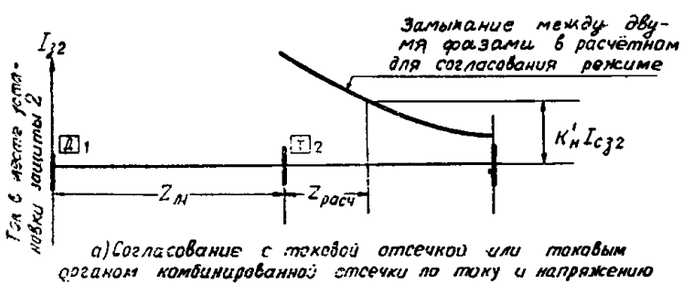
Рис. 37. Примеры определения коэффициента токораспределения $k_т$ для одиночных линий.

защитой, с которой производится согласование в расчетных для согласования условиях при металлическом коротком замыкании;

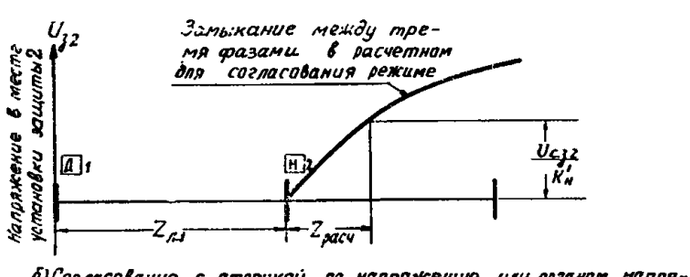
$k_т$ — коэффициент токораспределения (в рассматриваемом случае равен отношению тока, протекающего в месте установки дистанционной защиты, к току в месте установки защиты, с которой производится согласование) в расчетных для согласования условиях.

При выполнении первой ступени защиты предыдущего участка комбинированной отсечкой по току и напряжению дистанционная защита должна быть согласована отдельно с токовым органом и органом напряжения комбинированной отсечки. Удовлетворяющим условию согласования явится меньшее из полученных сопротивлений, поскольку при отказе одного из органов комбинированная отсечка отказывает в целом.

Сопротивление $z_{расч}$, входящее в (1), в общем случае может быть определено графически по кривым изменения токов в защите при коротком замыкании (для согласования с токовой отсечкой или токовым органом комбинированной отсечки по току и напряжению — рис. 38,*а*) или по кривым изменения напряжений в месте установки защиты при коротком замыкании (для согласования с отсечкой по напряжению или органом напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению — рис. 38,*б*), построенным для металлического короткого замыкания в расчетных условиях.



а) Согласование с токовой отсечкой или токовым органом комбинированной отсечки по току и напряжению



б) Согласование с отсечкой по напряжению или органом напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению

Обозначения

Д — дистанционная защита;

Т — токовая отсечка или токовый орган комбинированной отсечки по току и напряжению;

Н — отсечка по напряжению или орган напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению,

$I_{з2}$ и $U_{з2}$ - соответственно ток и напряжение в месте установки защиты 2 при металлическом коротком замыкании в расчётных для согласования условиях.

$I_{сз2}$ и $U_{сз2}$ - соответственно ток и напряжение срабатывания защиты 2,

$K'_н$ - коэффициент, учитывающий погрешность реле защиты 2 и погрешность в расчёте тока короткого замыкания

Рис. 38. Графическое определение $z_{расч}$ для согласования дистанционной защиты с защитами тока и напряжения.

Под расчетными подразумеваются условия, при которых значение отношения $z_{расч}/k_т$ наименьшее.

Для согласования дистанционной защиты с токовой отсечкой или токовым органом комбинированной отсечки по току и напряжению расчетным видом повреждения, как правило, явится замыкание между двумя фазами, поскольку при этом виде повреждения ток обычно меньше, чем при других многофазных коротких замыканиях, а следовательно, меньше и сопротивление зоны, надежно охватываемой токовым реле. Расчетным режимом работы сети явится такой режим, при котором ток в месте установки защиты, с которой производится согласование, наименьший, а в месте установки согласуемой дистанционной защиты — по возможности наибольший. В частных случаях для сетей простой конфигурации могут быть получены конкретные соотношения, характеризующие расчетный режим (приложение IX).

Для согласования дистанционной защиты с отсечкой по напряжению или органом напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению за расчетный вид повреждения может быть принято любое многофазное короткое замыкание, поскольку сопротивление зоны, надежно охватываемой реле напряжения, от этого не изменится. Расчетным режимом работы сети явится такой режим, при котором ток в месте установки согласуемой дистанционной защиты наибольший (приложение IX).

8. Выдержка времени второй ступени дистанционной защиты при выборе сопротивления срабатывания по указанным выше условиям (пп. 4—7) принимается на ступень Δt большей выдержки времени быстродействующей защиты предыдущего участка, с которой производится согласование и защит без выдержки времени, установленных на трансформаторах подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемого участка.

9. Чувствительность второй ступени дистанционной защиты должна проверяться при металлическом коротком замыкании в конце защищаемого участка.

Минимальное значение коэффициента чувствительности $k_ч$ в рассматриваемом случае допускается:

при наличии третьей ступени защиты, а также при отсутствии третьей ступени защиты, если защита используется в качестве резервной, — порядка 1,25;

при отсутствии третьей ступени и использовании защиты в качестве основной — порядка 1,5.

10. Защита, рассчитанная по выражениям табл. 8, должна дополнительно проверяться по току точной работы (разд. Е).

11. В тех случаях, когда вторая ступень дистанционной защиты, выбранная в соответствии с указаниями, приведенными в табл. 8 и в пп. 5—8, не удовлетворяет требованию чувствительности, ее сопротивление срабатывания и выдержку времени необходимо выбирать с учетом следующего:

а) Если определяющим значение сопротивления срабатывания было условие согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка (табл. 8, пп. 3 и 4), то согласование должно производиться со второй ступенью этой же защиты.

б) Если определяющим было условие отстройки от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемого участка (табл. 8, п. 6), то это условие должно быть заменено согласованием с быстродействующей защитой элементов стороны низшего (среднего) напряжения рассматриваемой подстанции.

в) Если определяющим было условие отстройки от коротких замыканий на шинах подстанции, примыкающей к дальнему (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу предыдущего участка (табл. 8, п. 5), то выбор должен производиться по условию согласования со второй ступенью защиты предыдущего участка как при включении последней на ток одной линии (рис. 35,*б*), так и на сумму токов двух параллельных линий (рис. 35,*в*). Если и в этом случае условие чувствительности не обеспечивается или если вторая ступень защиты предыдущего участка имеет большую выдержку времени и, следовательно, согласование с ней приведет к чрезмерному увеличению времени действия второй ступени защищаемого участка, то при наличии специальной защиты шин условие отстройки от короткого замыкания на шинах подстанции, примыкающей к дальнему концу предыдущего участка, допустимо не учитывать и сопротивление срабатывания рассматриваемой ступени защиты принимать, исходя из условия обеспечения минимального значения коэффициента чувствительности $k_ч$ в соответствии с п. 9. При этом вторая ступень рассматриваемой защиты в схеме по рис. 35,*б* должна быть согласована с первой ступенью защиты *3* при каскадном отключении повреждения на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В*. При согласовании должен быть учтен коэффициент возврата дистанционного органа второй ступени защиты *1*, поскольку он может сработать до начала каскадного отключения. Согласование производится по (3) и (8) табл. 8, но знаменатель правой части выражений должен быть умножен на коэффициент возврата $k_в$. В схеме по рис. 35,*в* должно быть произведено аналогичное согласование, но в режиме работы одной линии на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В*, поскольку только в этом случае вводится в действие первая ступень суммарной защиты *3*; согласование производится по (3) и (8) табл. 8. Кроме того, выдержка времени второй ступени защиты *1* (в схеме по рис. 35,*в*) должна быть выбрана с учетом возможности каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты (которая предполагается установленной на параллельных линиях участка п/ст. *Б* — п/ст. *В*). Однако указанного не требуется, если вторая ступень защиты *1* окажется отстроенной с учетом коэффициента возврата от повреждения на границе зоны каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты со стороны п/ст. *В*.

Учет коэффициента возврата может также потребоваться и в общем случае согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка (табл. 8, п. 3), когда при согласовании до начала каскадного отключения и учете влияния обходных связей коэффициентом токораспределения защита недопустимо загрубляется.

12. Выбор сопротивления срабатывания второй ступени дистанционной защиты, как указано выше (п. 1), производится по металлическим коротким замыканиям. В связи с этим необходимо рассмотреть вопрос о возможности неправильного действия второй ступени защиты при повреждении через активное переходное сопротивление на предыдущем участке.

На рис. 39 показано примерное расположение характеристик дистанционных защит, выполненных направленными реле (типа КРС-131, КРС-132, КРС-121 и реле сопротивления панели типа ДЗ-500) и реле полного сопротивления (типа КРС-111, дистанционный орган панели типа ПЗ-152), двух смежных участков для двух случаев: когда коэффициент чувствительности второй ступени рассматриваемой защиты $k_ч$ к металлическим коротким замыканиям в конце защищаемого участка равен 1,25 и 1,5. В обоих случаях принималось, что определяющим для выбора сопротивления срабатывания второй ступени рассматриваемой защиты (защита *1* на рис. 39,*а*) является условие согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка (защита *3* на рис. 39,*а*), поскольку при этом возможность неправильного действия рассматриваемой защиты больше.

Из рис. 39 видно, что:

а) при выполнении защит обоих рассматриваемых участков (защит *1* и *3* на рис. 39,*а*) направленными реле сопротивления (характеристики *I*, *III* и *III′*) возможно неправильное действие второй ступени защиты последующего участка при повреждении через переходное сопротивление в начале предыдущего участка, однако вероятность этого неправильного действия очень мала;

б) при выполнении защит обоих рассматриваемых участков реле полного сопротивления (характеристики *II* и *IV*), а также защиты предыдущего участка реле полного сопротивления, а последующего участка направленным реле сопротивления (характеристики *II*, *III* *III′*) неправильное действие защиты при повреждениях через переходное сопротивление невозможно;

в) при выполнении защиты предыдущего участка направленным реле сопротивления, а последующего участка реле полного сопротивления (характеристики *I* и *IV*) возможно неправильное действие второй ступени защиты последующего участка при повреждении через переходное сопротивление в начале предыдущего участка, причем вероятность этого неправильного действия больше, чем в случае «а». Следует, однако, отметить, что указанное сочетание характеристик маловероятно.

При наличии двухстороннего питания вероятность неправильного действия увеличивается (см. п. 14).

13. При необходимости согласования дистанционной защиты с отсечкой по напряжению, а также органом напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению, имеющими выдержку времени (например, в случаях, когда при согласовании с первыми ступенями рассматриваемых защит не обеспечивается требуемая чувствительность дистанционной защиты), во избежание неправильного действия согласуемой дистанционной защиты при повреждении через активное переходное сопротивление на предыдущем участке следует при согласовании учитывать влияние переходного сопротивления (в отличие от указанного в п. 1). Указания по такому согласованию даны в приложении IX.

Следует, однако, отметить, что согласование дистанционной защиты с токовой отсечкой, а также токовым органом комбинированной отсечки по току и напряжению должно производиться во всех случаях по металлическому короткому замыканию, поскольку при наличии переходного сопротивления в месте повреждения условия согласования облегчаются.

14. При применении защиты с реле полного сопротивления типа КРС-111 на коротких линиях, когда переходное сопротивление может значительно увеличить сопротивление на зажимах реле и привести к отказу защиты, может оказаться целесообразным использовать возможность смещения характеристики реле по оси ординат, предусмотренную в этом реле (рис. 40). (Для повышения чувствительности защиты к повреждениям через переходное сопротивление могут быть также использованы и реле с характеристиками других видов.)

Выбор смещения α производится таким образом, чтобы обеспечивалась чувствительность второй ступени защиты к повреждениям в конце защищаемого участка через максимальное возможное переходное сопротивление, значение которого может быть определено по выражению

$$r_{п.макс} = \frac{\Delta U_r}{I_{мин}}, \qquad (2)$$

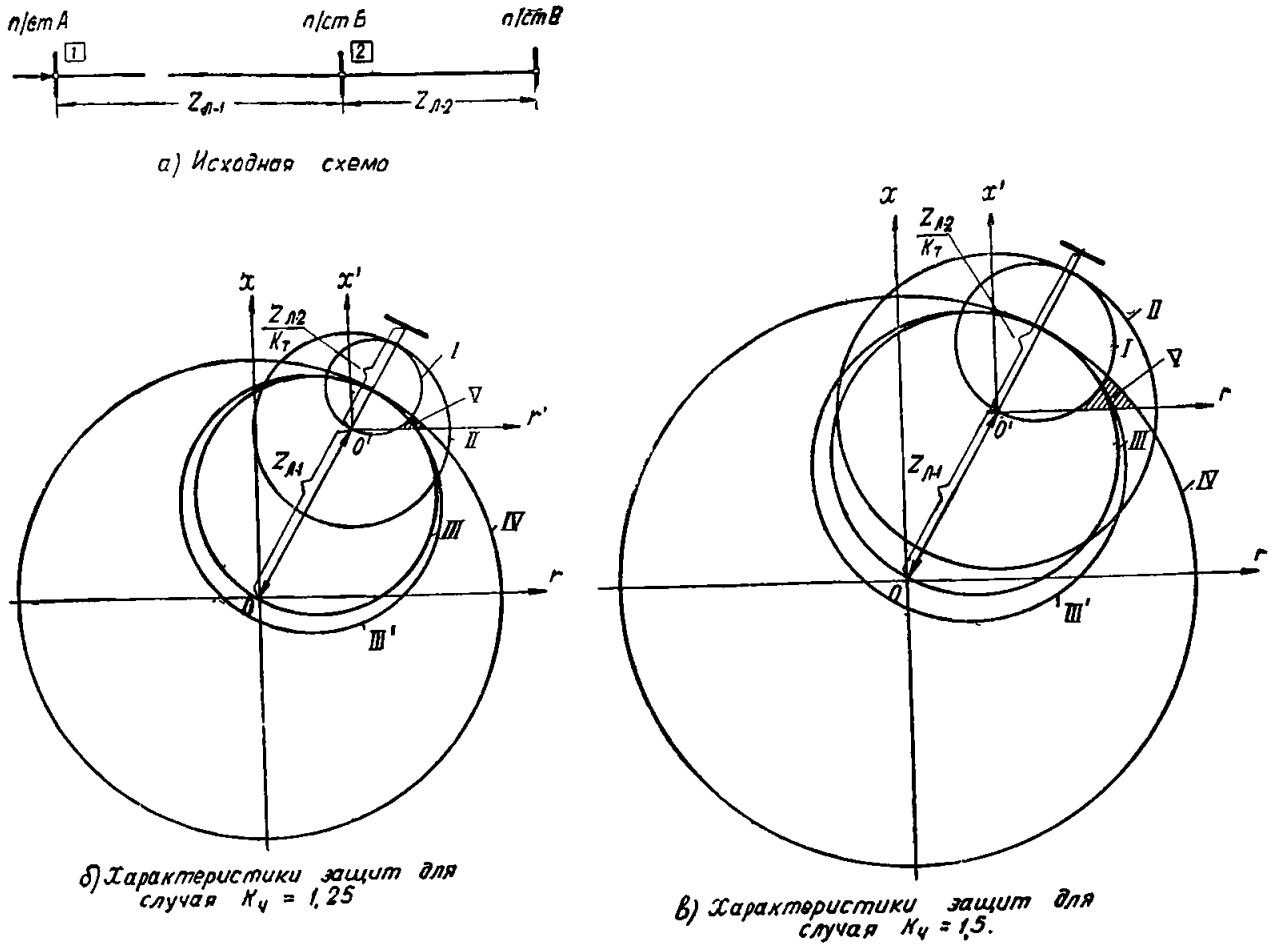


Рис. 39. Действие дистанционных защит при повреждении через активное переходное сопротивление на предыдущем участке.

I — характеристика срабатывания первой ступени защиты *2* при выполнении последней направленным реле сопротивления; *II* — то же, но при выполнении защиты реле полного сопротивления; *III* — характеристика срабатывания второй ступени защиты *I* при выполнении последней направленным реле сопротивления; *III'* — то же, но при использовании панели защиты типа ДЗ-500 с предельным смещением характеристики реле сопротивления второй ступени; *IV* — то же, но при выполнении защиты реле полного сопротивления; *V* — область возможного неправильного срабатывания второй ступени защиты *I* при повреждении через переходное сопротивление в начале участка п/ст. *Б*—п/ст. *В*; $k_т$ — коэффициент токораспределения; $k_ч$ — коэффициент чувствительности второй ступени защиты *I*.

где $\Delta U_г$ — возможное падение напряжения на дуге, *кв*;
$I_{мин}$ — первичный ток при металлическом коротком замыкании между двумя фазами в конце защищаемого участка в минимальном режиме работы, *ка*.

Падение напряжения на дуге $\Delta U_г$ может быть определено по выражению [1]

$$\Delta U_г = 1{,}05l, \qquad (3)$$

где l — длина дуги с учетом ее раздувания за время действия защиты, *м*.

При действии защиты с временем 0,5—1 *сек* длина дуги может превысить расстояние между фазными проводами в 2 раза — в тихую погоду, в 3—4 раза — при небольшом ветре, в 8—10 раз — при сильном ветре. Максимально возможное падение напряжения на дуге при замыкании между фазами по опубликованным данным [1] $\Delta U_{г\,макс} \leqslant 0{,}4U_{м.ф}$.

Раздувание дуги должно учитываться в расчетах в зависимости от климатических условий района.

На рис. 40,*б* приведены основные соотношения для реле типа КРС-111 при использовании смещения: для определения смещения α (*1*), радиуса характеристики R (*2*), активного сопротивления $r_п$, на которое реагирует защита при повреждениях в начале (*3*) и в конце (*4*) защищаемого участка, для определения уставок реле по оси ординат $x_{с.з1}$ (*5*) и $x_{с.з2}$ (*6*) при выбранном сопротивлении срабатывания защиты $z_{с.з}$ и смещении α.

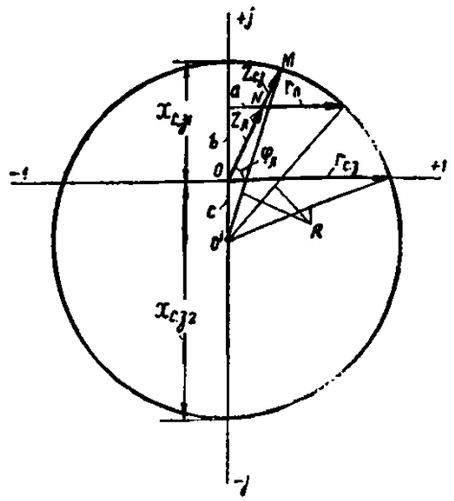
На рис. 40,*в* исходя из (4) рис. 40,*б* для ориентировки построены кривые отношения $r_п/r_л$, при которых обеспечивается действие защиты в зависимости от коэффициента чувствительности к металлическим повреждениям в конце защищаемого участка $k_ч = z_{с.з}/z_л$ при различных смещениях α и углах полного сопротивления линии $\varphi_л$.

Следует отметить, что в случае питания места короткого замыкания с двух сторон от разных источников при наличии переходного сопротивления реле со смещенной характеристикой может действовать неправильно. Указанное может иметь место из-за падения напряжения в переходном сопротивлении от тока, приходящего с противоположной стороны, если этот ток сдвинут по фазе относительно тока в месте установки защиты.

15. Параметры срабатывания пусковых органов защит, которые в ряде схем используются также в качестве третьей ступени защиты (схемы по рис. 1—8 и 13—15) выбираются следующим образом:

а) Первичный ток срабатывания пускового органа дистанционной защиты, осуществляемого с помощью реле тока, включенных на фазные токи, выбирается по условию отстройки от максимального рабочего тока

[1] В. В. Бургсдорф, Открытые электрические дуги большой мощности, «Электричество», 1948, № 10.



а) Характеристика реле полного сопротивления со смещением по оси ординат

Смещение

$$\alpha = \frac{X_{cз2}}{X_{cз1}}$$

Радиус характеристики

$$R = \frac{X_{cз1}+X_{cз2}}{2} = \frac{1+\alpha}{2} X_{cз1} \qquad (2)$$

Активное сопротивление, на которое реагирует защита при повреждении в месте установки защиты

$$r_{cз} = \sqrt{R^2 - c^2} = \sqrt{\left(\frac{X_{cз1}+X_{cз2}}{2}\right)^2 - \left(\frac{X_{cз2}-X_{cз1}}{2}\right)^2} = \sqrt{X_{cз1} X_{cз2}} = X_{cз1}\sqrt{\alpha} \qquad (3)$$

Активное сопротивление, на которое реагирует защита при повреждении в конце защищаемого участка

$$r_п = \sqrt{R^2 - (c+b)^2} - a = \sqrt{\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)^2 X_{cз1}^2 - \left(\frac{X_{cз2}-X_{cз1}}{2} + Z_л \sin\varphi_л\right)^2} - Z_л \cos\varphi_л =$$

$$= \sqrt{\alpha X_{cз1}^2 - (\alpha-1) Z_л X_{cз1} \sin\varphi_л - Z_л^2 \sin^2\varphi_л} - Z_л \cos\varphi_л$$

Учитывая, что для $\varphi_л \geq 60°$

$X_{cз1} \approx Z_{cз} = K_ч \cdot Z_л$ (*где* $K_ч = \frac{Z_{cз}}{Z_л} = \frac{ом}{ом}$, *коэффициент чувствительности защиты к повреждениям в конце защищаемого участка*)

$$r_п = Z_л \left[\sqrt{\alpha K_ч^2 - (\alpha-1) K_ч \sin\varphi_л - \sin^2\varphi_л} - \cos\varphi_л\right]. \qquad \ldots (4)$$

Уставки на реле определяются следующим образом:

Из $\Delta\, 0'0M$

$$R^2 = c^2 + Z_{cз}^2 + 2c Z_{cз} \sin\varphi_л$$

Учитывая выражения (1) и (2)

$$\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)^2 X_{cз1}^2 = \left(\frac{\alpha-1}{2}\right)^2 X_{cз1}^2 + Z_{cз}^2 + (\alpha-1) X_{cз1} Z_{cз} \sin\varphi_л$$

откуда

$$\alpha X_{cз1}^2 - (\alpha-1) X_{cз1} Z_{cз} \sin\varphi_л - Z_{cз}^2 = 0$$

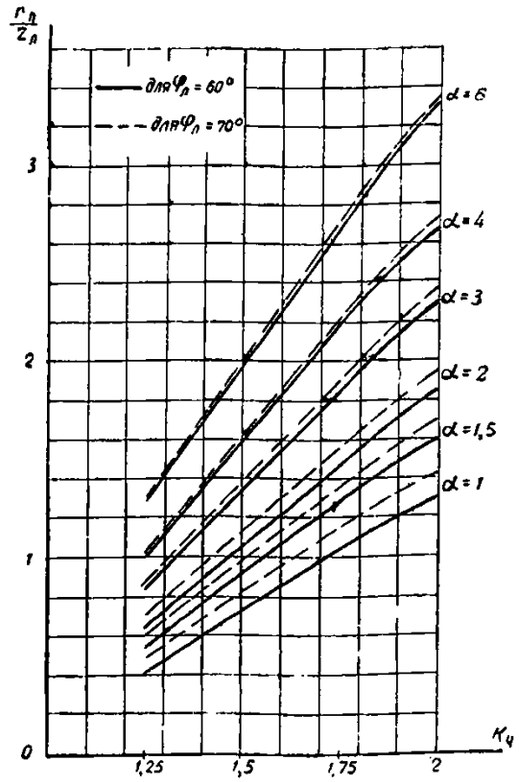
$$X_{cз1} = Z_{cз} \frac{(\alpha-1)\sin\varphi_л + \sqrt{(\alpha-1)^2 \sin^2\varphi_л + 4\alpha}}{2\alpha} \qquad (5)$$

$$X_{cз2} = \alpha X_{cз1} \qquad (6)$$

в) Параметры смещенной характеристики

Примечание

Настоящий рисунок составлен применительно к случаю одностороннего питания места повреждения



в) Кривые относительного значения активного переходного сопротивления (в долях от длины защищаемого участка), на которое реагирует защита при повреждении в конце защищаемого участка, в зависимости от коэффициента чувствительности ее к металлическим повреждениям в той же точке для различных смещений α и углов $\varphi_л$.

Рис. 40. Смещенная характеристика реле полного сопротивления.

в защищаемом участке с учетом самозапуска двигателей потребителей, в частности при успешном АПВ и АВР, а также от максимального тока в неповрежденной фазе, как правило, при двухфазных замыканиях на землю и определяется по выражениям:

$$I_{с.з} \geqslant \frac{k_н k_{самозап}}{k_в} I_{раб.макс}; \quad (4)$$

$$I_{с.з} \geqslant k_н I^{(1,1)}_{неп}, \quad (5)$$

где $I_{раб.макс}$ — максимальное значение первичного рабочего тока в защищаемой линии;

$I_{неп}$ — максимальное значение первичного тока в неповрежденной фазе при двухфазном замыкании на землю; при использовании защиты на линиях с двухсторонним питанием должен рассматриваться также ток в неповрежденных фазах при однофазном замыкании на землю;

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

$k_в$ — коэффициент возврата реле;

$k_{самозап}$ — коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске двигателей, ориентировочно может приниматься равным 1,5—2,0 в зависимости от конкретных условий и должен уточняться расчетом.

Расчет по (4) для условий успешных АПВ и АВР производится без учета коэффициента возврата $k_в$; указанное относится также и к расчетам по (6), (9) и (10).

б) Первичное напряжение срабатывания реле напряжения пускового органа по току и напряжению дистанционной защиты, осуществляемого с помощью реле напряжения, включенных на междуфазные напряжения, и реле тока, включенных на фазные токи, выбирается по условию отстройки от минимального напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска двигателей после отключения внешнего короткого замыкания, а также от напряжения между неповрежденной и поврежденной фазами при металлических двухфазных коротких замыканиях (как правило, при двухфазных замыканиях на землю) и определяется по выражениям:

$$U_{с.з} \leqslant \frac{U_{мин}}{k_н k_в}; \quad (6)$$

$$U_{с.з} \leqslant \frac{U_{неп}}{k_н}, \quad (7)$$

где $U_{мин}$ — минимальное значение первичного напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска двигателей, должно определяться расчетом; грубо ориентировочно может быть принято равным 0,8—0,9 $U_{раб.мин}$;

$U_{неп}$ — минимальное первичное значение напряжения между неповрежденной и поврежденной фазами при расчетном металлическом двухфазном коротком замыкании в месте установки защиты; при использовании защиты на линиях с двухсторонним питанием должны рассматриваться также напряжения между неповрежденными и поврежденной фазами при однофазном замыкании на землю;

$k_н$ и $k_в$ — то же, что в (4) и (5).

Первичный ток срабатывания реле тока рассматриваемого пускового органа выбирается по условию отстройки от максимального рабочего тока в защищаемом участке (без учета самозапуска двигателей потребителей):

$$I_{с.з} \geqslant \frac{k_н}{k_в} I_{раб.макс}, \quad (8)$$

где обозначения те же, что и в (4).

Следует отметить, что при выборе напряжения срабатывания реле напряжения рассматриваемого пускового органа по выражению (7) возможно действие реле, включенного на напряжение между неповрежденной и опережающей ее поврежденной фазами, из-за значительного уменьшения этого напряжения при наличии активного переходного сопротивления в месте повреждения (рис. 41). В связи с этим рекомендуется применение специальной схемы включения реле напряжения (схема на рис. 14), обеспечивающей блокирование реле, включенного на напряжение между неповрежденной и опережающей ее поврежденной фазами.

в) Первичное сопротивление срабатывания пускового органа дистанционной защиты, осуществляемого с помощью реле сопротивления, выбирается по условию отстройки от минимального сопротивления $z_{самозап}$ в условиях самозапуска двигателей и определяется по выражениям:

для реле полного сопротивления

$$z^{III}_{с.з} = \frac{z_{самозап}}{k_н k_в}, \quad (9)$$

при выполнении реле полного сопротивления со смещением параметры смещенной характеристики определяются по выражениям (5) и (6) (рис. 40);

для направленного реле сопротивления, у которого угол максимальной чувствительности совпадает с углом линии $\varphi_л$:

$$z^{III}_{с.з} = \frac{z_{самозап}}{k_н k_в \cos(\varphi_л - \varphi_{раб})}, \quad (10)$$

где $z_{самозап}$ — минимальное значение первичного сопротивления в месте установки защиты в условиях самозапуска двигателей;

$\varphi_л$ и $\varphi_{раб}$ — угол полного сопротивления соответственно линии и нагрузки в рассматриваемом режиме после отключения внешнего короткого замыкания;

$k_н$ и $k_в$ — то же, что в (4) и (5).

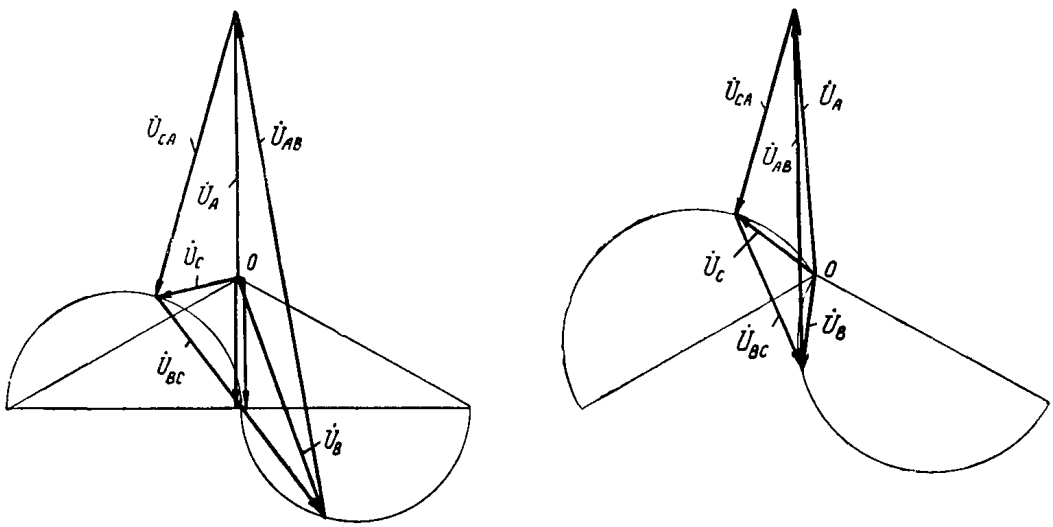
Минимальное сопротивление в условиях самозапуска $z_{самозап}$ может быть определено по выражению

$$z_{самозап} = \frac{U_{мин}}{\sqrt{3} k_{самозап} I_{раб.макс}}, \quad (11)$$

где $U_{мин}$ — то же, что в (6); $I_{раб.макс}$ и $k_{самозап}$ — то же, что в (4) и (5).

В отдельных случаях в целях снижения выдержек времени резервных защит, выбираемых по встречно-ступенчатому принципу, а также обеспечения селективности резервной защиты сетей кольцевой конфигурации сопротивление срабатывания пускового органа дистанционной защиты, осуществляемого с помощью реле сопротивления и используемого также в качестве третьей ступени защиты, может выбираться, например, по условию согласования со второй ступенью защиты предыдущего участка и определяться в соответствии с выражением, аналогичным (9) табл. 8:

$$z^{III}_{с.з1} = 0{,}85 z_{л\text{-}1} + \frac{0{,}78}{k_т} z^{II}_{с.з3}. \quad (12)$$



а) Замыкание между двумя фазами *б) Замыкание двух фаз на землю*

Рис. 41. Векторные диаграммы напряжения в месте двухфазного короткого замыкания через переходное сопротивление.

г) Первичный ток срабатывания пускового органа дистанционной защиты, осуществляемого с помощью устройства фильтр-реле тока обратной последовательности, выбирается по условию отстройки от суммарного тока обратной последовательности в месте установки защиты в расчетном нагрузочном режиме и определяется по (35) разд. Ж аналогично тому, как ток срабатывания устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 и КРБ-124.

Условие отстройки рассматриваемого пускового органа от тока в выходных цепях фильтра при разрыве соединительных проводов трансформаторов тока, питающих устройство фильтр-реле, не учитывается во избежание неоправданного загрубления защиты (при надежном выполнении монтажа вторичных цепей такие повреждения редки).

д) Параметры срабатывания пускового органа, осуществляемого с помощью устройства блокировки при качаниях, определяются расчетом, приведенным в разд. Ж и З настоящей главы.

16. Чувствительность пускового органа проверяется при коротком замыкании в расчетной точке (см. ниже) по выражениям:

а) при применении реле тока, включенных на фазные токи,

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з}}}{I_{\text{с.з}}}, \qquad (13)$$

где $I_{\text{к.з}}$ — первичный ток в месте установки защиты в фазах, в которых установлены реле пускового органа, при металлическом коротком замыкании между двумя фазами в расчетной точке в режиме, при котором этот ток имеет наименьшее значение; определяется для момента времени $t=0$.

Следует отметить, что для правильного действия защит по рис. 15 и 21 при замыканиях между двумя фазами за трансформатором с соединением обмоток Y△-11 должны срабатывать токовые реле пускового органа в двух фазах, поскольку при отказе в действии одного или двух токовых реле пускового органа сопротивление на зажимах реле сопротивления может оказаться преуменьшенным в пределе в $\sqrt{3}$ раза, что может привести к неправильному срабатыванию защиты. Указанное должно учитываться при выборе сопротивления срабатывания реле сопротивления. При этом необходимо считаться с таким снижением сопротивления на зажимах реле сопротивления, которое может иметь место при реальном значении сопротивления системы (приложение VI, п. 3);

б) при применении реле напряжения

$$k_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{с.з}}}{U_{\text{к.з}}}, \qquad (14)$$

где $U_{\text{к.з}}$ — первичное междуфазное напряжение в месте установки защиты при металлическом трехфазном коротком замыкании в расчетной точке в режиме, при котором это напряжение имеет наибольшее значение; определяется для момента времени $t=0$;

в) при применении реле сопротивления

$$k_{\text{ч}} = \frac{z_{\text{с.з}}}{z_{\text{защ}}}, \qquad (15)$$

где $z_{\text{защ}}$ — первичное сопротивление на зажимах реле сопротивления пускового органа при металлическом коротком замыкании в расчетной точке в режиме, при котором это сопротивление имеет наибольшее значение;

г) при применении устройства фильтр-реле тока обратной последовательности

$$k_{\text{ч}} = \frac{I^{(1,1)}_{\text{2к.з}}}{I_{\text{2 с.з}}}, \qquad (16)$$

где $I^{(1,1)}_{\text{2к.з}}$ — первичный ток обратной последовательности в месте установки защиты при двухфазном замыкании на землю в расчетной точке в режиме, при котором этот ток имеет наименьшее значение; определяется для момента времени $t=0$;

д) при применении устройства блокировки при качаниях — см. соответствующий расчет в разд. Ж и З.

Следует отметить, что для пусковых органов, выполненных с помощью реле тока и напряжения, включенных на полные величины, а также устройства фильтр-реле тока обратной последовательности, желательно проверять надежность невозврата реле для момента времени, соответствующего выдержке времени последней ступени защиты. Для этого требуется произвести расчет токов и напряжений $I_{к.з}$, $U_{к.з}$ и $I^{(1,1)}_{2\,к.з}$ соответственно для (13), (14) и (16) с учетом изменения во времени, однако в целях упрощения принято определять эти величины для момента времени $t = 0$.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок минимальное значение коэффициента чувствительности $k_ч$ пускового органа должно быть:

при коротком замыкании в конце зоны резервирования — не меньше 1,2;

при коротком замыкании в конце защищаемого участка — порядка 1,5.

При проверке чувствительности пускового органа, выполненного с помощью устройства фильтр-реле тока обратной последовательности, необходимо учитывать также, что надежное действие этого устройства при симметричных трехфазных коротких замыканиях обеспечивается при появлении на входе фильтра в течение 8 *мсек* тока обратной последовательности, превышающего в 2,1 раза ток уставки [1]. В связи с этим может потребоваться обеспечение большего значения коэффициента чувствительности, определяемого (16), чем это рекомендуется Правилами устройства электроустановок.

В тех случаях, когда сопротивление срабатывания направленного реле сопротивления, выбранное в соответствии с (10), не удовлетворяет требованию чувствительности, может оказаться целесообразным в целях повышения чувствительности применять блокирующее реле сопротивления с прямолинейной характеристикой, ограничивающей область срабатывания направленного реле сопротивления в зоне нагрузочных сопротивлений.

Особенности блокирующих реле и пример выполнения такого реле подробно рассмотрены в приложении II.

17. Чувствительность третьей ступени дистанционной защиты должна проверяться при металлическом коротком замыкании в конце зоны резервирования.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок минимальное значение коэффициента чувствительности $k_ч$ по (15) в рассматриваемом случае допускается порядка 1,2 *сек*.

18. Сопротивление срабатывания реле $z_{с.р}$ определяется на основании первичного сопротивления срабатывания защиты $z_{с.з}$:

$$z_{с.р} = \frac{n_т}{n_н} z_{с.з}, \qquad (17)$$

где $n_т$ и $n_н$ — коэффициенты трансформации соответственно трансформаторов тока и напряжения.

Исходя из значения $z_{с.р}$ выбирается уставка на реле.

19. Напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности, входящего в устройство блокировки защиты при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-11, выбирается по условию отстройки от напряжения небаланса емкостного фильтра напряжения нулевой последовательности в нормальном нагрузочном режиме. Практически это условие удовлетворяется при напряжении срабатывания, равном минимальной уставке из тех, которые можно установить на реле, а именно при $U_{с.р}=6$ *в*.

Ток срабатывания реле тока нулевой последовательности, также входящего в устройство типа КРБ-11, должен удовлетворять следующим двум условиям:

а) условию согласования по чувствительности с указанным выше реле напряжения таким образом, чтобы при срабатывании последнего в случае замыкания на землю было обеспечено срабатывание реле тока и снятие напряжения с обмотки реле напряжения при помощи размыкающего контакта реле тока; это необходимо для предотвращения срабатывания устройства (выведения из действия защиты) при двухфазных замыканиях на землю;

б) условию отстройки от тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности в нормальном нагрузочном режиме.

В соответствии с этим первичный ток срабатывания реле тока устройства типа КРБ-11 должен удовлетворять выражениям:

$$I_{с.у} \leqslant \frac{I_{к.расч}}{k'_н} \qquad (18)$$

и

$$I_{с.у} \geqslant k_н I_{нб.расч}, \qquad (19)$$

где $I_{к.расч}$ — наименьший первичный расчетный ток в месте установки защиты при замыканиях на землю в условиях, когда реле напряжения устройства типа КРБ-11 находится на грани срабатывания;

$I_{нб.расч}$ — первичный расчетный ток небаланса фильтра токов нулевой последовательности в нормальном нагрузочном режиме;

$k'_н$ — коэффициент надежности согласования может быть принят равным 1,1;

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

Поскольку ток $I_{нб.расч}$ для нормального нагрузочного режима не превосходит обычно десятой доли ампера, оба указанных условия (18) и (19) могут быть удовлетворены одновременно.

Б. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 110—330 *кв*

1. Первичное сопротивление срабатывания $z^{I}_{с.з}$ первой ступени, выполненной без выдержки времени, дистанционной защиты параллельных линий с двусторонним (рис. 42,*а—е*) и односторонним питанием, кроме тупиковых, определяется, как и для защиты одиночных линий по (1) и (6) табл. 8, как при включении рассматриваемой защиты на ток одной линии, так и на сумму токов двух линий, поскольку на рассматриваемых линиях первая ступень суммарной дистанционной защиты вводится в действие только при отключении одной из параллельных линий.

Первичное сопротивление срабатывания $z^{I}_{с.з}$ первой ступени защиты тупиковых параллельных линий определяется по (1) и (6) табл. 8 — при включении защиты на ток одной линии (рис. 42,*ж*) — и по (7) и (14) табл. 9 при включении защиты на сумму токов двух линий, поскольку в последнем случае первая ступень защиты выполняется с выдержкой времени, равной ступени селективности (рис. 21) и может быть отстроена от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения приемной подстанции, как обычно отстраивается вторая ступень защиты.

2. Первичное сопротивление срабатывания $z^{II}_{с.з}$ второй ступени, выполненной с выдержкой времени, равной ступени селективности, дистанционной защиты

[1] См. «Лабораторные испытания схемы пуска дистанционной защиты с применением реле РТФ-1. Схемы дистанционных защит. I этап», зак. № 2850, ХОТЭП, декабрь 1961.

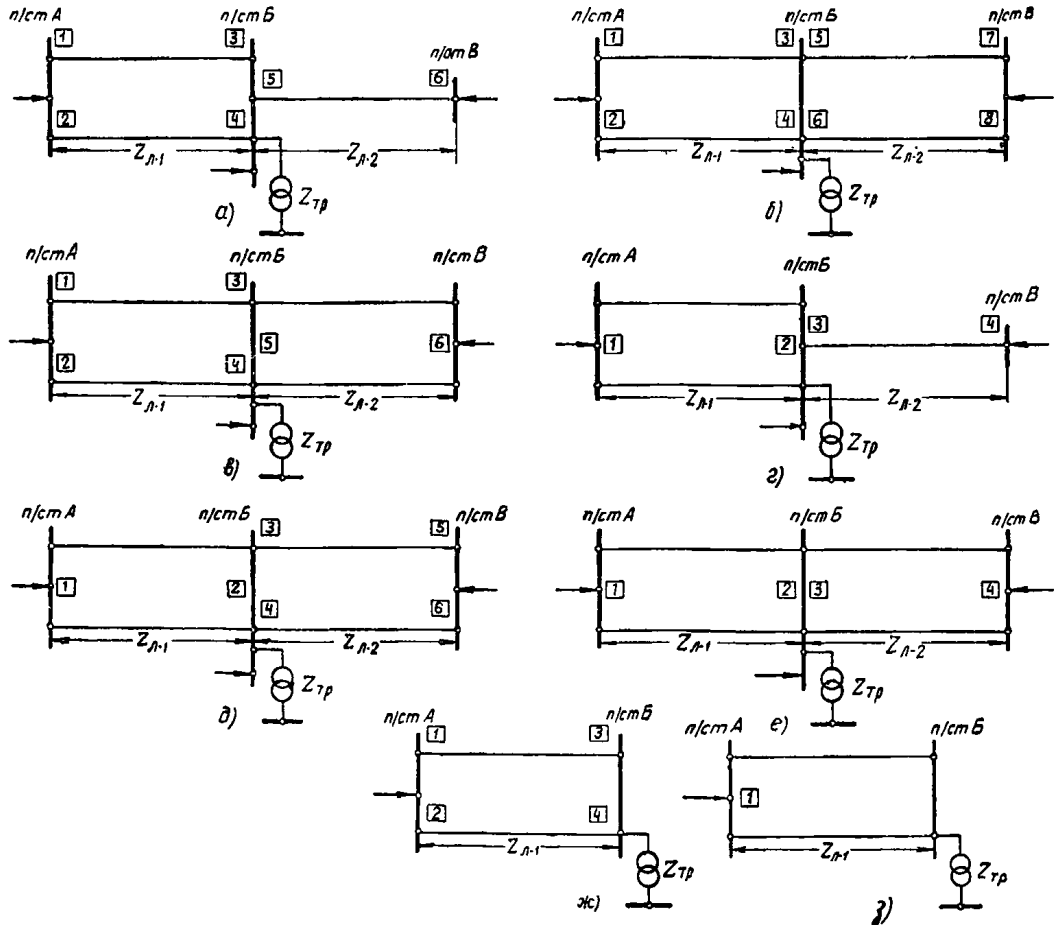


Рис. 42. Примеры схем участков сети с параллельными линиями.

Примечание. Обозначения см. на рис. 35.

параллельных линий с двусторонним (рис. 42,*а*—*е*) и односторонним (рис. 42,*ж* и *з*) питанием, определяется для случаев металлических коротких замыканий по выражениям, приведенным в табл. 9.

Для схем по рис. 42,*а* и *г* в случаях, когда участок п/ст. *Б* — п/ст. *В* является тупиковым, согласование с первой ступенью защит *5* и *3* может производиться по выражениям (1) и (5) табл. 9 с учетом того обстоятельства, что сопротивление срабатывания защит *5* или *3* в рассматриваемом случае будет выбираться по условию п. 2 табл. 8.

Выражения табл. 9 действительны как для случая использования защиты в качестве основной или резервной при работе одной или двух линий (при включении защиты на ток одной линии — пп. 1—4 табл. 9), так и для случая использования защиты в качестве резервной при работе двух линий и основной при работе одной линии (при включении защиты на сумму токов двух параллельных линий — пп. 5—7 табл. 9).

Выражения для определения значений коэффициентов токораспределения $k_т$, входящих в расчетные выражения табл. 9, приведены на рис. 43 применительно к схемам рис. 42. Расчетным значением коэффициента токораспределения явится наибольшее его значение в реально возможных режимах работы (см. ниже пп. 3 и 4).

В качестве сопротивления срабатывания для второй ступени принимается наименьшее из сопротивлений, полученных по приведенным в табл. 9 расчетным условиям.

3. При выборе сопротивления срабатывания второй ступени дистанционной защиты, включенной на ток одной линии (рис. 42,*а*—*в*), необходимо учитывать следующее:

а) Согласование с первой ступенью защиты *5* в схеме по рис. 42,*а* (табл. 9, п. 1) должно производиться при отключении второй параллельной линии на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б*.

б) Отстройка от короткого замыкания на шинах п/ст. *В* в схемах по рис. 42,*б* и *в* (учитывается случай выведения из действия предусмотренной для шин специальной защиты, ее отказ или отсутствие последней) в соответствии с п. 2 табл. 9 должна производиться в режиме, когда на рассматриваемом участке п/ст. *А* — п/ст. *Б* работает одна линия, а на предыдущем участке п/ст. *Б* — п/ст. *В* — две линии.

Если при учете этого условия вторая ступень рассматриваемой дистанционной защиты не удовлетворяет требованию чувствительности к повреждению в конце защищаемого участка (не обеспечивается коэффициент чувствительности в соответствии с разд. А, п. 9), то при наличии специальной защиты шин указанный режим допустимо не учитывать. В этом случае отстройка от короткого замыкания на шинах производится в режиме, когда на участках п/ст. *А* — п/ст. *Б* и п/ст. *Б* — п/ст. *В* работают обе линии.

При этом в схеме по рис. 42,*б* должно быть произведено также согласование рассматриваемой второй ступени защиты *1* с первой ступенью защиты *5* при каскадном отключении повреждения на линии п/ст. *Б*—

Таблица 9

Расчетные выражения для определения сопротивлений срабатывания второй ступени дистанционной защиты параллельных линий

№ пп.	Включение защиты	Исходная схема рис. 42	Расчетное условие	Расчетное число включенных линий на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б*	Расчетное выражение		Условие обеспечения требуемой чувствительности второй ступени защиты $z^{II}_{с.з1} \geqslant 1{,}25\, z_{л\text{-}1}$
					в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)	
1	На ток одной линии	*а*	Согласование с первой ступенью защиты *5* предыдущего участка	Одна	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1} + \dfrac{1-\alpha}{k_{тII}} z^{I}_{с.з5}}{1+\beta+\delta}$ (1)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\, z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}66}{k_{тII}} z_{л\text{-}2}$ (8)	$\dfrac{z_{л\text{-}2}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}6 k_{тII}$
2		*б* *в*	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *В* при двух линиях на участке п/ст. *Б*—п/ст. *В*	Одна	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1} + \dfrac{1}{k_{тII}} 0{,}5\, z_{л\text{-}2}}{1+\beta+\delta}$ (2)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\, z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}43}{k_{тII}} z_{л\text{-}2}$ (9)	$\dfrac{z_{л\text{-}2}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}93\, k_{тII}$
3		*а* *б* *в* *ж*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б*	Одна	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1} + \dfrac{z_{тр}}{k_{т.тр}}}{1+\beta+\delta}$ (3)	$z^{II}_{с.з.} \lessapprox 0{,}85 \left(z_{л\text{-}1} + \dfrac{z_{тр}}{k_{т.тр}} \right)$ (10)	$\dfrac{z_{тр}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}47\, k_{т.тр}$
4		*а* *б* *в* *ж*	Согласование с первой ступенью защиты *4* при каскадном отключении повреждения на параллельной линии	Две	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{л\text{-}1} + \dfrac{1-\alpha}{k'_{тI}} z^{I}_{с.з4}}{1+\beta+\delta}$ (4)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\, z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}66}{k'_{тI}} z_{л\text{-}1}$ (11)	$k'_{тI} \leqslant 1{,}66$
5		*г*	Согласование с первой ступенью защиты *3*	Две	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{0{,}5\, z_{л\text{-}1} + \dfrac{1-\alpha}{k_{тII}} z^{I}_{с.з3}}{1+\beta+\delta}$ (5)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}43\, z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}66}{k_{тII}} z_{л\text{-}2}$ (12)	$\dfrac{z_{л\text{-}2}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 1{,}25\, k_{тII}$
6		*д* *е*	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *В* при двух линиях на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В*	Две	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{0{,}5\, z_{л\text{-}1} + \dfrac{1}{k_{тII}} \cdot 0{,}5\, z_{л\text{-}2}}{1+\beta+\delta}$ (6)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}43 \left(z_{л\text{-}1} + \dfrac{z_{л\text{-}2}}{k_{тII}} \right)$ (13)	$\dfrac{z_{л\text{-}2}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 1{,}91\, k_{тII}$
7	На сумму токов двух линий	*г* *д* *е* *з*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б*	Две	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{0{,}5\, z_{л\text{-}1} + \dfrac{z_{тр}}{k_{т.тр}}}{1+\beta+\delta}$ (7)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}43\, z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}85}{k_{т.тр}} z_{тр}$ (14)	$\dfrac{z_{тр}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}97\, k_{т.тр}$

Примечания:

1. В таблице даны выражения для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите *1* параллельных линий по схемам рис. 42.
2. Значения коэффициентов даны в примечании 2 к табл. 8.
3. Расчетные выражения даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.
4. Соотношение, обеспечивающее требуемую чувствительность второй ступени защиты, включенной на сумму токов параллельных линий, при коротком замыкании в конце линии $z^{II}_{с.з1} \geqslant 1{,}25\, z_{л\text{-}1}$ приведено для случая отключения одной из параллельных линий защищаемого участка.

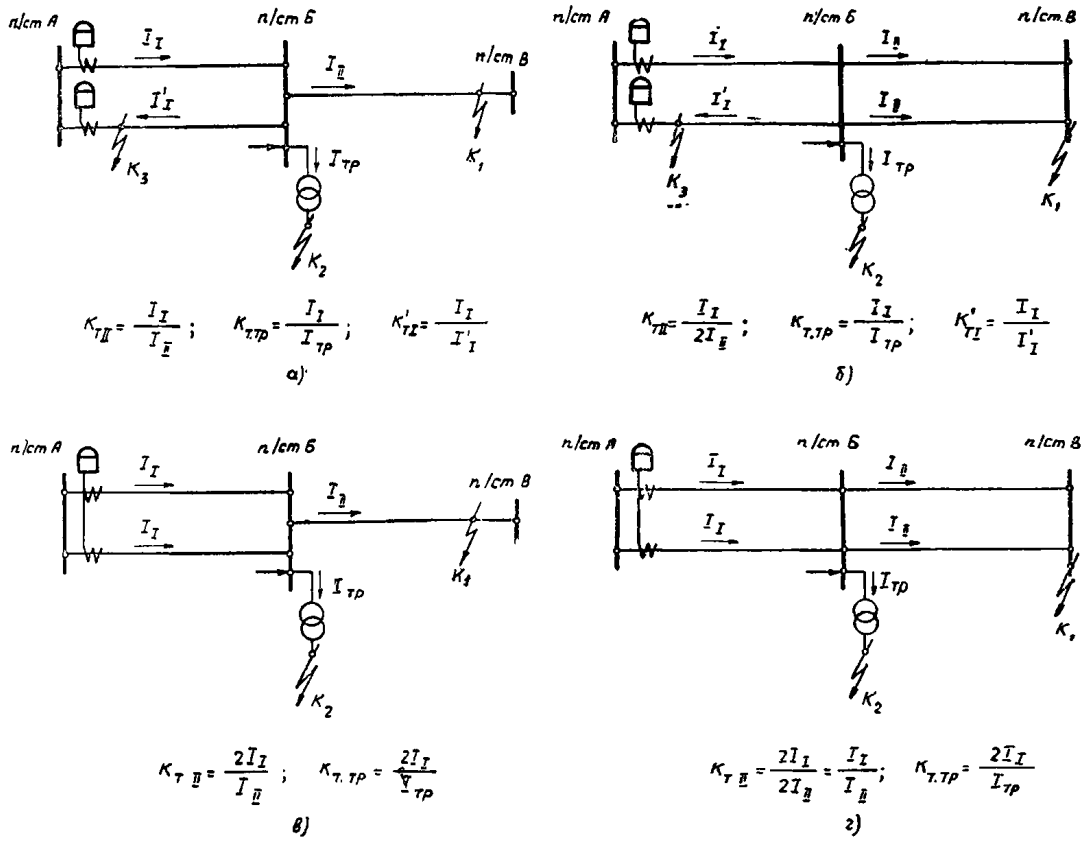


Рис. 43. Примеры определения коэффициента токораспределения $k_т$ для параллельных линий по рис. 42.

п/ст. *В* в режиме отключения параллельной линии на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б*. При согласовании должен быть учтен коэффициент возврата дистанционного органа второй ступени защиты *1*, поскольку он может сработать до начала каскадного отключения. Согласование производится по (3) и (8) табл. 8, но знаменатель правой части выражений должен быть умножен на коэффициент возврата $k_в$.

Для схемы по рис. 42,*в* аналогичного согласования в этом случае не требуется, поскольку не следует рассматривать режим работы одной линией одновременно на участках п/ст. *А* — п/ст. *Б* и п/ст. *Б* — п/ст. *В*, а первая ступень защиты *5* вводится в действие только при отключении одной из линий на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В*. Однако выдержка времени второй ступени защиты *1* должна быть выбрана с учетом возможности каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты, которая предполагается установленной на параллельных линиях участка п/ст. *Б* — п/ст. *В*.

в) Отстройка от короткого замыкания на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б* в схемах по рис. 42,*а*—*в* и *ж* в соответствии с п. 3 табл. 9 должна производиться в режиме, когда на рассматриваемом участке п/ст. *А* — п/ст. *Б* работает одна линия. В схемах по рис. 42,*б* и *в*, кроме указанного, должен рассматриваться также режим работы одной линии на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В*; расчетным явится тот режим, которому будет соответствовать больший коэффициент токораспределения $k_т$.

г) Согласование с первой ступенью защиты *4* в схемах по рис. 42,*а*—*в* и *ж* (п. 4 табл. 9) должно производиться при замыкании на параллельной линии и каскадном ее отключении.

д) В тех случаях, когда вторая ступень дистанционной защиты, выбранная в соответствии с пп. «а», «б» и «в», не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно ее сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать в соответствии с указаниями разд. А, п. 11.

4. При выборе сопротивления срабатывания второй ступени дистанционной защиты, включенной на сумму токов параллельных линий (рис. 42,*г*—*е* и *з*), необходимо учитывать следующее:

а) согласование с первой ступенью защиты *3* в схеме по рис. 42,*г* (табл. 9, п. 5) должно производиться в режиме работы обеих линий на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б*;

б) отстройка от короткого замыкания на шинах п/ст. *В* в схемах по рис. 42,*д* и *е* (учитывается случай выведения из действия предусмотренной для шин специальной защиты, ее отказ или отсутствие последней) в соответствии с п. 6 табл. 9 должна производиться в режиме работы обеих линий на участке п/ст. *А*—п/ст. *Б* и п/ст. *Б* — п/ст. *В*.

в) Отстройка от короткого замыкания на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б* в схемах по рис. 42,*г*—*е* и *з* должна производиться в режиме, когда на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б* работают обе линии, а на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В* в схемах по рис. 42,*д* и *е* — одна линия.

г) В тех случаях, когда вторая ступень дистанционной защиты, выбранная по условиям селективности в режиме работы обеих линий на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б* (табл. 9, пп. 5—7), не удовлетворяет требованию чувствительности к коротким замыканиям в конце защищаемого участка при работе одной линии на уча-

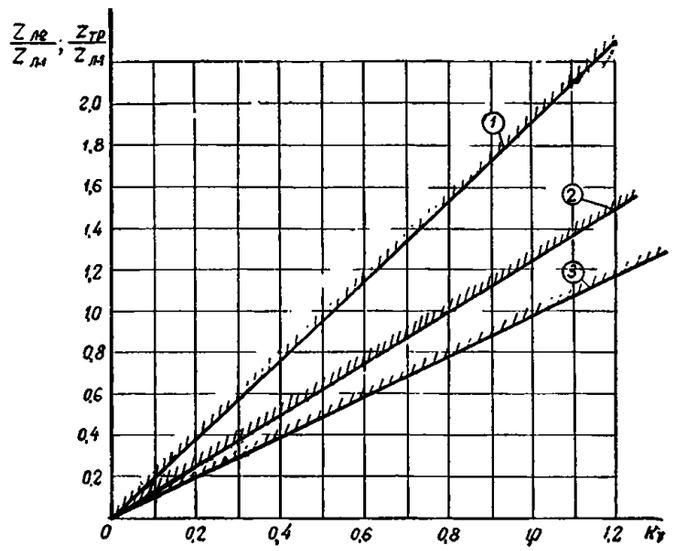


Рис. 44. Прямые, ограничивающие область, в которой обеспечивается чувствительность второй ступени суммарной защиты, выбранной по условию селективности в режиме работы двух линий, к коротким замыканиям в конце защищаемого участка в режиме работы одной линии без изменения сопротивления срабатывания.

1 — для случая, когда расчетным при выборе сопротивления срабатывания второй ступени суммарной дистанционной защиты является условие отстройки от короткого замыкания на шинах п/ст. *В* в схемах рис. 42, *д* и *е* $\left(\frac{z_{л\text{-}2}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 1{,}91\ k_т\text{, см. п. 6 табл. 9}\right)$;

2 — для случая, когда расчетным является условие согласования с защитой *3* в схеме по рис. 42, *г* $\left(\frac{z_{л\text{-}2}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant {,}25\ k_т\text{, см. п. 5 табл. 9}\right)$;

3 — для случая, когда расчетным является условие отстройки от короткого замыкания на шинах низшего (среднего) напряжения трансформаторов п/ст. *Б* в схемах по рис. 42, *г—е*

$$\left(\frac{z_{тр}}{z_{л\text{-}1}} \geqslant 0{,}97\ k_т\text{, см. п. 7 табл. 9}\right).$$

стке п/ст. *А*—п/ст. *Б*, в схемах должно быть предусмотрено изменение сопротивления срабатывания в режиме работы одной линии (приложение VIII). При этом сопротивление срабатывания второй ступени, на которое переключается защита после отключения параллельной линии, определяется по выражениям пп. 3—6 табл. 8 для расчета защит одиночных линий.

На рис. 44 приведены прямые, ограничивающие область соотношений между $z_{л\text{-}2}/z_{л\text{-}1}$ или $z_{тр}/z_{л\text{-}1}$ и $k_т$, при которых защита, выбранная по условиям селективности в режиме работы обеих линий на участке п/ст. *А*—п/ст. *Б*, удовлетворяет требованию чувствительности к коротким замыканиям в конце защищаемого участка и при работе одной линии на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б*.

5. Выдержка времени второй ступени дистанционной защиты, включенной на сумму токов параллельных линий, должна быть отстроена от времени каскадного отключения одной из параллельных линий поперечной дифференциальной направленной защитой, если последняя использована в качестве основной защиты этих линий.

6. Параметры срабатывания пусковых органов, выполненных с помощью реле тока, напряжения и сопротивления, которые в ряде схем используются также в качестве третьей ступени защиты (схемы по рис. 17, 20, 21), определяются как и для случая одиночной линии по (4)—(12), приведенным в разд. А, п. 15. При этом для защиты, включенной на ток одной линии, рассматривается режим, когда на защищаемом участке п/ст. *А* — п/ст. *Б* (рис. 42) работает только одна линия, а для защиты, включенной на сумму токов параллельных линий, — режим, когда на защищаемом участке работают обе линии.

7. Во всем остальном (проверка чувствительности второй ступени защиты, проверка чувствительности пусковых органов и третьей ступени защиты, согласование второй ступени дистанционной защиты с защитами тока и напряжения, установленными на предыдущих участках, выбор смещения характеристики реле полного сопротивления типа КРС-111, определение вторичного сопротивления срабатывания реле и т. д.) расчет производится так же, как для защиты одиночных линий (разд. А), с тем только отличием, что для суммарной защиты определение чувствительности необходимо производить по режиму работы одной из параллельных линий рассматриваемого участка.

В. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОДИНОЧНЫХ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 110—330 *кв* С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

1. Определение первичных сопротивлений срабатывания первой $z^{I}_{с.з}$ и второй $z^{II}_{с.з}$ ступеней дистанционной защиты линий с ответвлениями, а также определение чувствительности этой защиты следует производить с учетом токораспределения на отдельных участках линии.

При этом расчетными для определения сопротивлений срабатывания явятся максимальные значения коэффициентов токораспределения $k_т$ в реально возможном режиме работы сети, а для определения чувствительности — минимальные значения коэффициентов токораспределения.

2. При определении сопротивлений срабатывания первой $z^{I}_{с.з}$ и второй $z^{II}_{с.з}$ ступеней защит одиночных и параллельных линий с ответвлениями в дополнение к расчетным условиям соответственно для защит одиночных и параллельных линий без ответвлений должно также учитываться и условие отстройки от замыкания на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции на ответвлении. При этом должны рассматриваться замыкания за трансформаторами с наименьшими приведенными реактансами и расположенными ближе к месту установки рассматриваемой защиты.

3. Расчетные выражения для определения первичных сопротивлений срабатывания первой $z^{I}_{с.з}$ и второй $z^{II}_{с.з}$ ступеней дистанционной защиты линий с ответвлениями приведены в табл. 10 для одиночных линий с ответвлениями (схемы рис. 45) и в табл. 11 для параллельных линий с ответвлениями (схемы рис. 47).

Выражения для определения значений коэффициентов токораспределения $k_т$, входящих в расчетные выражения табл. 10 и 11, приведены на рис. 46 — для одиночных линий с ответвлениями по рис. 45 и на рис. 48— для параллельных линий с ответвлениями по рис. 47.

В качестве сопротивлений срабатывания для первой и второй ступеней защиты принимаются наименьшие из сопротивлений, полученных по приведенным в табл. 10 и 11 расчетным условиям.

4. При определении сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней защит одиночных линий (схемы рис. 45), а также защиты, включенной на ток одной из двух параллельных линий (схема рис. 47,*а*) по условию отстройки от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответ-

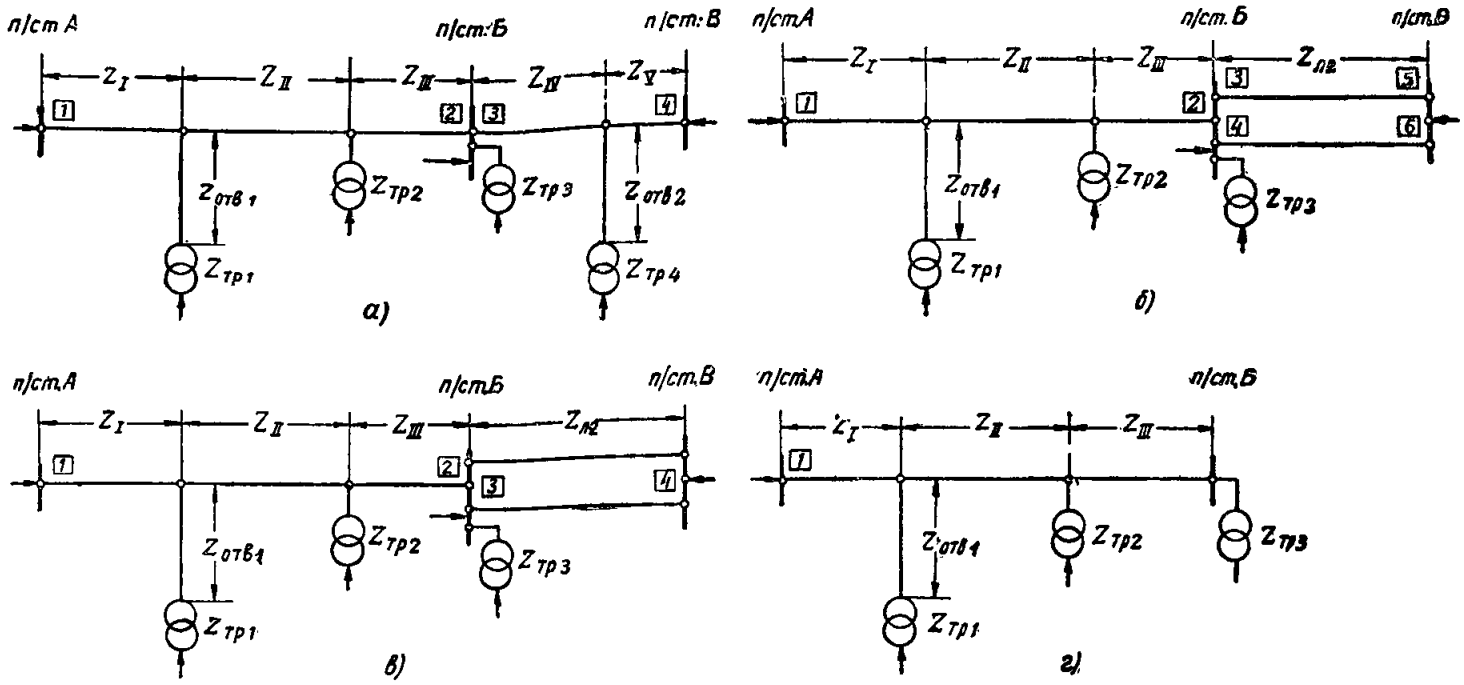


Рис. 45. Примеры схем одиночных линий с ответвлениями.

$z_{тр1}$, $z_{тр2}$, $z_{тр3}$, $z_{тр4}$ — минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов; z_I, z_{II}, z_{III}, z_{IV}, z_V — сопротивление отдельных участков защищаемой и предыдущей линий; $z_{отв1}$, $z_{отв2}$ — сопротивление ответвления; $z_{л-2}$ — сопротивление предыдущей линии.

влениях (соответственно пп. 3 и 4 табл. 10 и пп. 2 и 3 табл. 11) должны рассматриваться следующие режимы:

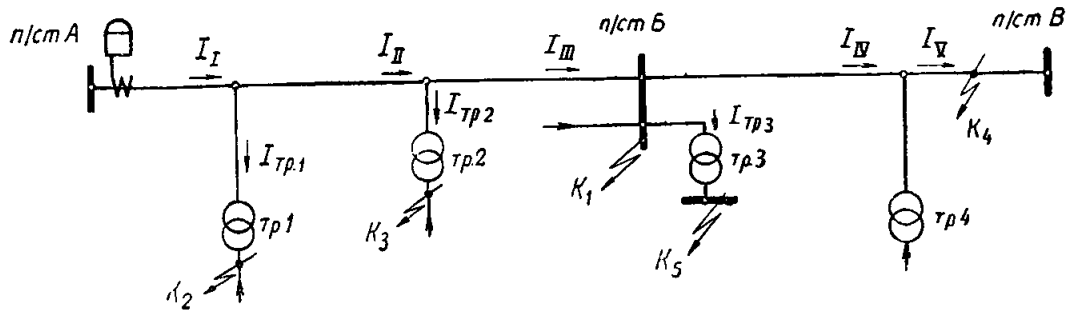
а) Часть подстанций на ответвлениях отключена, на других включена реально возможная минимальная генерирующая мощность.

б) Защищаемая линия отключена со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты. Указанный режим должен учитываться, например, если на подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу линии, отсутствует обходный выключатель.

Для защиты включенной на ток одной из двух параллельных линий (схема рис. 47,*а*) в случае параллельной работы трансформаторов подстанций на ответвлениях на стороне низшего (среднего) напряжения (как показано на рис. 47,*а*) дополнительно должен рассматриваться режим, когда параллельная линия отключена, а приключенные к ней в нормальном режиме трансформаторы подстанций на ответвлениях переведены на питание от защищаемой линии.

5. При определении сопротивлений срабатывания защиты, включенной на сумму токов двух параллельных линий (схема рис. 47,*б*), по условию отстройки от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях необходимо учитывать следующее:

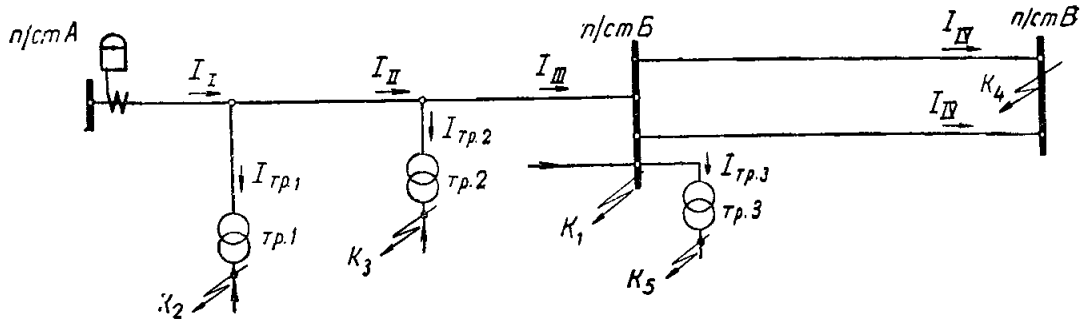
а) Отстройка первой ступени защиты должна производиться при отключении одной из параллельных



$$K_{тII} = \frac{I_I}{I_{II}}; \quad K_{тIII} = \frac{I_I}{I_{III}}; \quad K_{тIV} = \frac{I_I}{I_{IV}}; \quad K_{тV} = \frac{I_I}{I_V}$$

$$K_{т.тр.1} = \frac{I_I}{I_{тр.1}}; \quad K_{т.тр.2} = \frac{I_I}{I_{тр.2}}; \quad K_{т.тр.3} = \frac{I_I}{I_{тр.3}}$$

а)



$$K_{тII} = \frac{I_I}{I_{II}}, \quad K_{тIII} = \frac{I_I}{I_{III}}; \quad K_{тIV} = \frac{I_I}{2I_{IV}}$$

$$K_{т.тр.1} = \frac{I_I}{I_{тр.1}}, \quad K_{т.тр.2} = \frac{I_I}{I_{тр.2}}, \quad K_{т.тр.3} = \frac{I_I}{I_{тр.3}}$$

Рис. 46. Примеры определения коэффициента токораспределения $k_т$ для одиночных линий с ответвлениями по рис. 45.

Таблица 10

Расчетные выражения для определения сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты одиночных линий с ответвлениями

№ п/п.	Ступень защиты	Исходная схема рис. 45	Расчетное условие	Расчетное выражение	
				в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)
1	I	*а* *б* *в*	Отстройка от коротких замыканий на шинах подстанции, примыкающей к противоположному концу линии	$z^{I}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}}}{1+\beta+\delta}$ (1)	$z^{I}_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}}\right)$ (8)
2		*г*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б*	$z^{I}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \dfrac{z_{тр3}}{k_{тIII}}}{1+\beta+\delta}$ (2)	$z^{I}_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}+z_{тр3}}{k_{тIII}}\right)$ (9)
3	I и II	*а* *б* *в* *г*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях	$z_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{отв1}+z_{тр1}}{k_{т.тр1}}}{1+\beta+\delta}$ (3)	$z_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{отв1}+z_{тр1}}{k_{т.тр1}}\right)$ (10)
4				$z_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{тр2}}{k_{т.тр2}}}{1+\beta+\delta}$ (4)	$z_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{тр2}}{k_{т.тр2}}\right)$ (11)
5	II	*а*	Согласование с первой ступенью защиты *3*	$z^{II}_{с.з.1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \ldots \rightarrow}{1+\beta+\delta}$ $\leftarrow \ldots + \dfrac{1-\alpha}{k_{тIV}} z_{IV} + \dfrac{1-\alpha}{k_{тV}}\left(z^{I}_{с.з3} - z_{IV}\right)$ (5)	$z^{II}_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}}\right) +$ $+ 0{,}78\left(\dfrac{z_{IV}}{k_{тIV}} + \dfrac{z^{I}_{с.з3}}{k_{тV}} - \dfrac{z_{IV}}{k_{тV}}\right)$ (12)

Продолжение табл. 10

№ п/п.	Ступень защиты	Исходная схема рис. 45	Расчетное условие	Расчетное выражение	
				в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)
6	II	*б*	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *В* при двух линиях на участке п/ст. *Б*—п/ст. *В*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \dfrac{0{,}5\, z_{л\text{-}2}}{k_{тIV}}}{1+\beta+\delta}$ (6)	$z^{II}_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}}\right) + \dfrac{0{,}43}{k_{тIV}} z_{л\text{-}2}$ (13)
		в			
7		*а*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \dfrac{z_{тр3}}{k_{т.тр3}}}{1+\beta+\delta}$ (7)	$z^{II}_{с.з1} \leqslant 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \dfrac{z_{тр3}}{k_{т.тр3}}\right)$ (14)
		б			
		в			

Примечания:
1. В таблице даны выражения для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите *1* одиночных линий с ответвлениями по схемам рис. 45.
2. Принятые обозначения и значения коэффициентов даны на рис. 45 и в примечании 2 к табл. 8.
3. Выражения п. 6 даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий предыдущего участка.

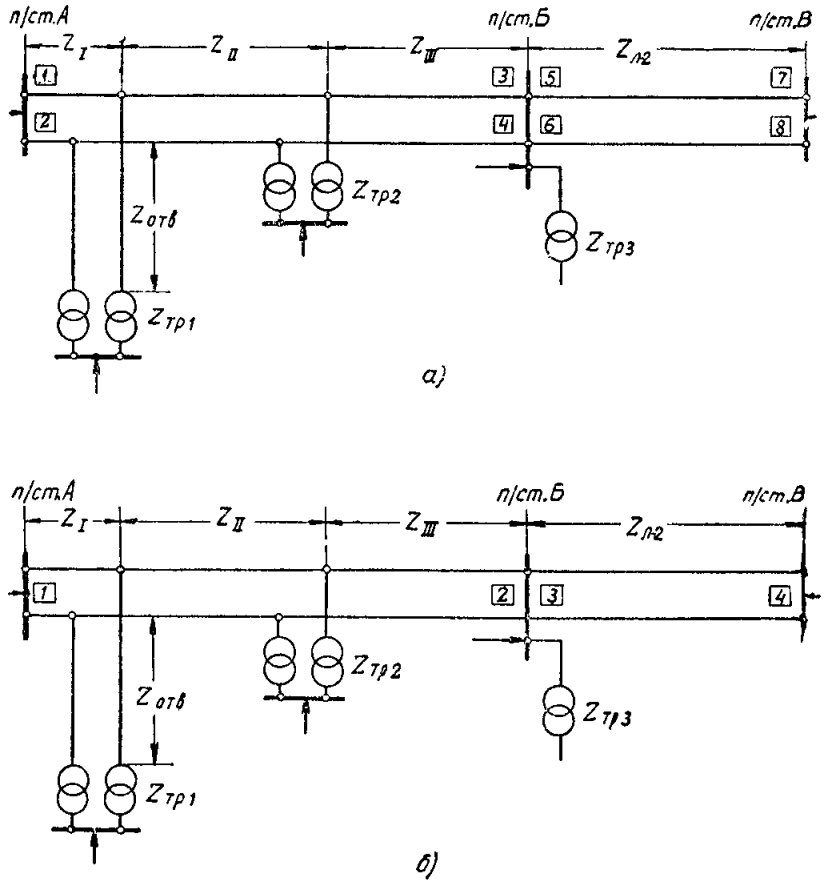


Рис. 47. Примеры схем параллельных линий с ответвлениями.

Примечание. Обозначения см. на рис. 45.

линий, поскольку только в этом режиме вводится в действие первая ступень защиты. При этом, если трансформаторы подстанций на ответвлениях работают параллельно на стороне низшего (среднего) напряжения, как это показано на рис. 47,*б*, то должен учитываться случай, когда трансформаторы подстанций на ответвлениях, приключенные в нормальном режиме ко второй параллельной линии, переведены на питание от защищаемой линии.

б) Отстройка второй ступени защиты должна производиться в режимах по п. 4,а и б. При этом в режиме по п. 4,б в случае параллельной работы трансформаторов подстанций на ответвлениях, как показано на рис. 47,*б*, должно рассматриваться отключение (со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты) одной из защищаемых линий, а при раздельной работе этих трансформаторов — отключение (со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты) той линии, к которой присоединен трансформатор, питающий повреждение.

6. При выборе сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней защит линий по рис. 45 и 47 по другим условиям (табл. 10, пп. 1, 2, 5—7 и табл. 11, пп. 1, 4—6) должны учитываться рекомендации разд. А, п. 4 и разд. Б, пп. 3 и 4, а также должен рассматриваться режим по п. 4,а.

7. В тех случаях, когда вторая ступень защиты одиночных линий (рис. 45), а также защиты, включенной на ток одной из двух параллельных линий (схема рис. 47,*а*), рассчитанная по условиям соответственно табл. 10 и 11, не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно ее сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать в соответствии с указаниями разд. А, п. 11.

Если же при этом определяющим было условие отстройки от коротких замыканий на шинах низшего

Таблица 11

Расчетные выражения для определения сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты параллельных линий с ответвлениями

№ п/п.	Ступень защиты	Исходная схема рис. 47	Расчетное условие	Расчетное выражение: в общем виде	Расчетное выражение: при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)
1	I	*а* *б*	Отстройка от коротких замыканий на шинах противоположного конца линии	$z^{I}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}}}{1+\beta+\delta}$ (1)	$z^{I}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}}\right)$ (7)
2	I и II	*а* *б*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях	$z_{с.з1} \leqslant \dfrac{\dfrac{z_I}{k_{тI}} + \dfrac{z_{отв} + z_{тр1}}{k_{т.тр1}}}{1+\beta+\delta}$ (2)	$z_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\left(\dfrac{z_I}{k_{тI}} + \dfrac{z_{отв} + z_{тр1}}{k_{т.тр1}}\right)$ (8)
3				$z_{с.з1} \leqslant \dfrac{\dfrac{z_I}{k_{тI}} + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{тр2}}{k_{т.тр2}}}{1+\beta+\delta}$ (3)	$z_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\left(\dfrac{z_I}{k_{тI}} + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{тр2}}{k_{т.тр2}}\right)$ (9)
4	II	*а* *б*	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *В* при двух линиях на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{\dfrac{z_I}{k_{тI}} + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \dfrac{0{,}5 z_{л\text{-}2}}{k_{тIV}}}{1+\beta+\delta}$ (4)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\left(\dfrac{z_I}{k_{тI}} + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}}\right) + \dfrac{0{,}43}{k_{тIV}} z_{л\text{-}2}$ (10)
5			Отстройка от короткого замыкания на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{\dfrac{z_I}{k_{тI}} + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \dfrac{z_{тр3}}{k_{т.тр3}}}{1+\beta+\delta}$ (5)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\left(\dfrac{z_I}{k_{тI}} + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \dfrac{z_{тр3}}{k_{т.тр3}}\right)$ (11)
6		*а*	Согласование с первой ступенью защиты *4* при каскадном отключении повреждения на параллельной линии	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}} + \dfrac{1-\alpha}{k'_{тIII}} z_{III} + \cdots}{1+\beta+\delta} \rightarrow$ $\leftarrow \dfrac{\cdots + \dfrac{1-\alpha}{k'_{тII}} z_{II} + \dfrac{1-\alpha}{k'_{тI}} (z^{I}_{с.з4} - z_{II} - z_{III})}{}$ (6)	$z^{II}_{с.з1} \lessapprox 0{,}85\left(z_I + \dfrac{z_{II}}{k_{тII}} + \dfrac{z_{III}}{k_{тIII}}\right) + 0{,}78\left(\dfrac{z_{III}}{k'_{тIII}} + \dfrac{z_{II}}{k'_{тII}} + \dfrac{z^{I}_{с.з4} - z_{II} - z_{III}}{k'_{тI}}\right)$ (12)

Примечания:
1. В таблице даны выражения для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите *1* параллельных линий с ответвлениями по схемам рис. 47.
2. Принятые обозначения и значения коэффициентов даны на рис. 45 и в примечании 2 к табл. 8.
3. Расчетные выражения даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.

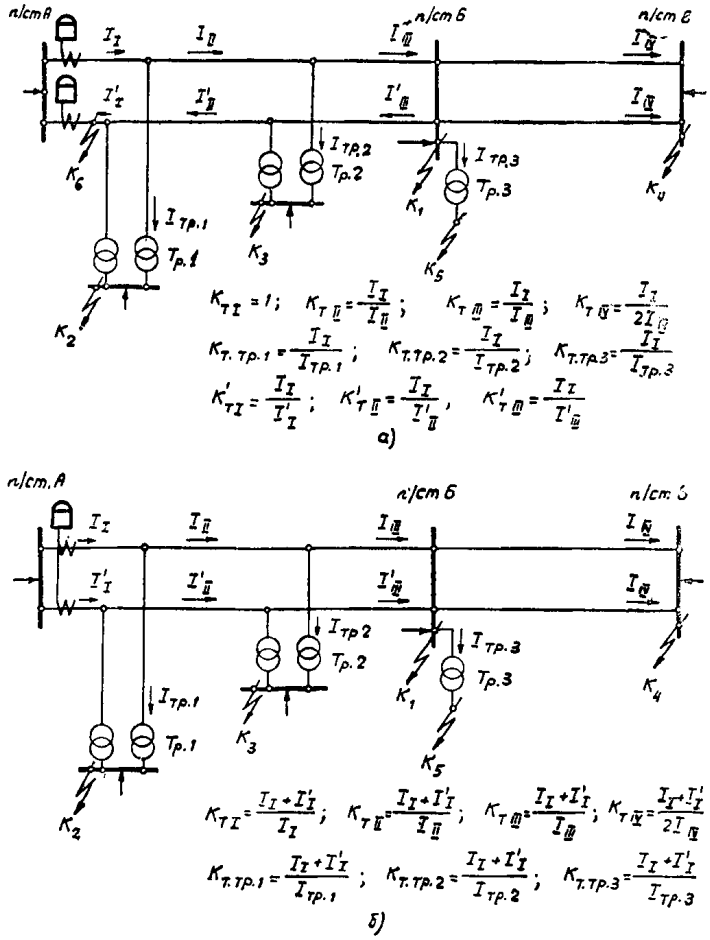


Рис. 48. Примеры определения коэффициента токораспределения $k_т$ для параллельных линий с ответвлениями по рис. 47.

(среднего) напряжения подстанции на ответвлении, то указанное условие должно быть заменено согласованием с быстродействующей защитой элементов стороны низшего (среднего) напряжения рассматриваемой подстанции.

8. В тех случаях, когда вторая ступень защиты, включенной на сумму токов двух параллельных линий (рис. 47,*б*), выбранная по условиям селективности в режиме работы обеих линий на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б* (пп. 2—5 табл. 11) не удовлетворяет требованию чувствительности к коротким замыканиям в конце защищаемого участка при работе одной линии на участке п/ст. *А* — п/ст. *Б*, в схемах должно быть предусмотрено изменение сопротивления срабатывания в режиме работы одной линии (приложение VIII). При этом сопротивление срабатывания второй ступени, на которое переключается защита после отключения параллельной линии, определяется по выражениям табл. 10, пп. 3—7 для расчета защит одиночных линий с ответвлениями.

9. Определение сопротивлений срабатывания защиты в сложных сетях, когда использование для этой цели выражений табл. 10 и 11 окажется затруднительным, может производиться непосредственно через напряжения и токи в месте установки защиты в расчетных по селективности условиях, которые могут быть вычислены по общим выражениям или с помощью модели постоянного тока.

10. Параметры срабатывания пусковых органов, выполненных с помощью реле тока, напряжения и сопротивления, которые в ряде схем используются также в качестве третьей ступени защиты (схемы по рис. 1—5, 13—15, 17, 20 и 21), определяются по выражениям (4)—(12), приведенным в разд. А, п. 15.

При этом для защиты параллельных линий, включенной на ток одной линии (рис. 47,*а*), должен рассматриваться режим, когда на защищаемом участке п/ст. *А* — п/ст. *Б* работает только одна линия, а для защиты, включенной на сумму токов параллельных линий (рис. 47,*б*), — режим, когда на защищаемом участке работают две линии.

Расчет сопротивлений срабатывания третьей ступени и параметров пусковых органов следует производить с учетом самозапуска нагрузки подстанций на ответвлениях при включении защищаемой линии со стороны, где расположена рассматриваемая защита.

11. Во всем остальном (проверка чувствительности второй ступени защиты, проверка чувствительности пусковых органов и третьей ступени защиты, согласование второй ступени дистанционной защиты с защитами тока и напряжения, установленными на предыдущих линиях, выбор смещения характеристики реле полного сопротивления типа КРС-111, определение вторичного сопротивления срабатывания реле, выбор выдержки времени второй ступени защиты, включенной на сумму токов двух параллельных линий и т. д.) расчет производится так же, как и для защит соответственно одиночных и параллельных линий без ответвлений (разд. А и Б).

Г. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 110—330 *кв*, РАБОТАЮЩИХ ПО СХЕМЕ БЛОКА ТРАНСФОРМАТОР (АВТОТРАНСФОРМАТОР) — ЛИНИЯ

1. Ниже рассматриваются особенности расчета дистанционной защиты, установленной со стороны трансформатора (автотрансформатора) с соединением обмоток Y△-11 (YY△-12—11) на линиях, работающих по схеме блока двух- или трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия (рис. 49), при использовании для питания защиты трансформаторов напряжения, установленных со стороны обмотки низшего или среднего напряжения трансформатора блока.

2. Использование для дистанционной защиты линии трансформаторов напряжения, установленных на стороне низшего или среднего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока, и включение в связи с этим трансформатора (автотрансформатора) блока в зону защиты приводит к сокращению доли линии, охватываемой первой (без выдержки времени) ступенью защиты, и снижению чувствительности второй и третьей ступеней.

Указанное объясняется тем, что:

а) незащищенная первой ступенью часть блока трансформатор (автотрансформатор) — линия, расположенная в конце линии и равная $m(z_{тр}+z_л)$, больше, чем незащищенная часть линии $mz_л$, при применении для последней отдельной защиты (гл. 3, разд. А, п. 5);

б) сопротивление на зажимах реле защиты блока трансформатор (автотрансформатор) — линия при повреждении в конце линии ($z_{тр}+z_л$) увеличивается по сравнению с сопротивлением на зажимах реле отдельной защиты линии $z_л$ в большей степени, чем сопротивление срабатывания второй ступени защиты блока по сравнению с сопротивлением срабатывания второй ступени отдельной защиты линии, а сопротивление срабатывания третьей ступени защиты блока и отдельной защиты линии практически одинаковы;

в) при наличии на трансформаторе (автотрансформаторе) блока встроенного регулирования напряжения под нагрузкой значения первичного сопротивления срабатывания защиты и вторичного сопротивления сраба-

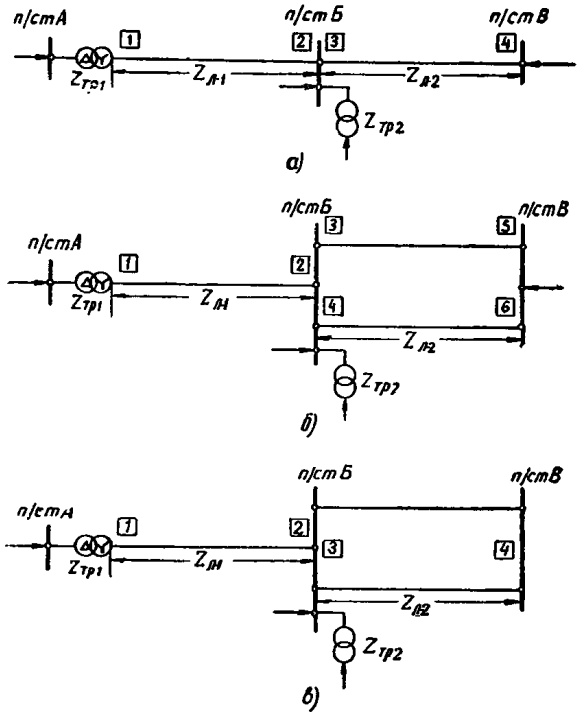


Рис. 49. Примеры схем сети с участком, работающим блоком трансформатор — линия.

$z_{л\text{-}1}$, $z_{л\text{-}2}$ — сопротивления линий; $z_{тр1}$ — сопротивление трансформатора (автотрансформатора) блока; $z_{тр2}$ — минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на п/ст. *Б*.

тывания реле в расчетах селективности и значения первичного сопротивления на зажимах защиты и вторичного сопротивления на зажимах реле в расчетах чувствительности определяются для различных (расчетных) значений сопротивления и коэффициента трансформации трансформатора (автотрансформатора) блока.

3. Для блоков с трансформаторами (автотрансформаторами), имеющими встроенное регулирование напряжения под нагрузкой, сопротивление срабатывания защиты, приведенное к стороне высшего напряжения блока, рассчитывается с учетом наименьшего возможного при регулировании сопротивления трансформатора (автотрансформатора), вторичное сопротивление срабатывания реле [определяемое по (20)—(22)] в целях упрощения расчета — с учетом наибольшего возможного коэффициента трансформации трансформатора (автотрансформатора) блока (пп. 4 и 5). Расчет чувствительности второй ступени защиты и пусковых органов производится по вторичным величинам, определяемым в соответствии или по аналогии с (20)—(22); при этом учитывается наибольшее возможное при регулировании сопротивление и наименьший коэффициент трансформации трансформатора (автотрансформатора) блока.

Однако в случаях, когда указанный метод расчета приводит к недопустимому загрублению защиты, требуется производить более точные расчеты с учетом действительных, возможных при регулировании сочетаний значений сопротивления и коэффициента трансформации трансформатора (автотрансформатора) блока, обеспечивающих наименьшее значение вторичного сопротивления на реле в условиях, расчетных по селективности, и наибольшее значение этого сопротивления в условиях, расчетных по чувствительности.

4. Расчетные выражения для определения первичных сопротивлений срабатывания первой $z^{I}_{с.з}$ и второй $z^{II}_{с.з}$ ступеней дистанционной защиты линий, работающих по схеме блока трансформатор (автотрансформатор) — линия, приведены в табл. 12.

Значения коэффициентов токораспределения $k_т$, входящих в расчетные выражения табл. 12, определяются аналогично тому, как в защите одиночных линий (рис. 37).

В качестве сопротивления срабатывания для второй ступени защиты принимается наименьшее из сопротивлений, полученных по приведенным расчетным условиям.

Выражения табл. 12 составлены для случаев:

а) включения рассматриваемой защиты на трансформаторы напряжения, установленные на стороне низшего напряжения трансформатора блока двухобмоточный трансформатор — линия или трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия, в последнем случае — при отсутствии питания со стороны среднего напряжения или равенстве нулю сопротивления его обмотки низшего напряжения;

б) включения рассматриваемой защиты на трансформаторы напряжения, установленные на стороне среднего напряжения трансформатора блока трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия при отсутствии питания со стороны низшего напряжения или равенстве нулю сопротивления его обмотки среднего напряжения.

Выражения табл. 12 могут быть использованы также и для расчета защиты линии блока трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) — линия при трехстороннем питании и неравенстве нулю сопротивления обмотки трансформатора (автотрансформатора), со стороны которой установлены используемые для защиты трансформаторы напряжения. При этом защита выполняется с компенсацией падения напряжения в сопротивлении обмотки трансформатора или автотрансформатора, на стороне которой установлены трансформаторы напряжения, используемые для защиты (схема по рис. 23). В этом случае под $z_{тр1}$ надо понимать сопротивление обмотки высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока.

В тех случаях, когда вторая ступень дистанционной защиты, выбранная по указанным в табл. 12 условиям, не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно ее сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать в соответствии с указаниями разд. А, п. 11.

5. Сопротивления срабатывания реле $z_{с.р}$ определяются исходя из первичных сопротивлений срабатывания защиты $z_{с.з}$, рассчитанных в соответствии с табл. 12 по следующим выражениям:

при включении защиты на трансформаторы тока и напряжения, установленные со стороны низшего напряжения трансформатора блока,

$$z_{с.р} = \frac{n_т^{(н)}}{3n_н^{(н)}n_{тр}^2} z_{с.з}; \qquad (20)$$

при включении защиты на трансформаторы напряжения, установленные со стороны низшего напряжения, и на трансформаторы тока, установленные со стороны высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока,

$$z_{с.р} = \frac{n_т^{(в)}}{\sqrt{3}\, n_н^{(н)}\, n_{тр}} z_{с.з}; \qquad (21)$$

при включении защиты на трансформаторы напряжения, установленные со стороны среднего напряжения,

Таблица 12

Расчетные выражения для определения сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты линий блока трансформатор (автотрансформатор)—линия

№ п/п.	Ступень защиты	Исходная схема рис. 49	Расчетное условие	Расчетное выражение	
				в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примеч. 2)
1	I	*а*, *б*, *в*	Отстройка от коротких замыканий на шинах противоположного конца линии	$z^{I}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{тр1} + z_{л\text{-}1}}{1 + \beta + \delta}$ (1)	$z^{I}_{с.з1} \approxeq 0{,}85\,(z_{тр1} + z_{л\text{-}1})$ (5)
2	II	*а*	Согласование с первой ступенью защиты *3*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{тр1} + z_{л\text{-}1} + \dfrac{1-\alpha}{k_{тII}} z^{I}_{с.з3}}{1 + \beta + \delta}$ (2)	$z^{II}_{с.з1} \approxeq 0{,}85(z_{тр1} + z_{л\text{-}1}) + \dfrac{0{,}66}{k_{тII}} z_{л\text{-}2}$ (6)
3		*б*, *в*	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *В* при двух линиях на участке п/ст. *Б* — п/ст. *В*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{тр1} + z_{л\text{-}1} + \dfrac{0{,}5}{k_{тII}} z_{л\text{-}2}}{1 + \beta + \delta}$ (3)	$z^{II}_{с.з1} \approxeq 0{,}85(z_{тр1} + z_{л\text{-}1}) + \dfrac{0{,}43}{k_{тII}} z_{л\text{-}2}$ (7)
4		*а*, *б*, *в*	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего (среднего) напряжения п/ст. *Б*	$z^{II}_{с.з1} \leqslant \dfrac{z_{тр1} + z_{л\text{-}1} + \dfrac{1}{k_{т.тр}} z_{тр2}}{1 + \beta + \delta}$ (4)	$z^{II}_{с.з1} \approxeq 0{,}85\left(z_{тр1} + z_{л\text{-}1} + \dfrac{z_{тр2}}{k_{т.тр}}\right)$ (8)

Примечания:

1. В таблице даны выражения для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 линий, работающих блоком трансформатор (автотрансформатор)—линия, в схемах по рис. 49.

2. $z_{тр1}$ — минимальное возможное при регулировании сопротивление трансформатора (автотрансформатора) между стороной его высшего напряжения (сторона защищаемой линии) и стороной, где установлены трансформаторы напряжения, используемые для защиты; остальные обозначения и значения коэффициентов даны на рис. 49 и в примечании 2 к табл. 8.

и на трансформаторы тока, установленные со стороны высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока,

$$z_{с.р} = \frac{n_{т}^{(в)}}{n_{н}^{(с)} n_{тр}} z_{с.з}, \qquad (22)$$

где $z_{с.з}$ — сопротивление срабатывания защиты, определяется по выражениям табл. 12;

$n_{тр}$ — коэффициент трансформации трансформатора блока между стороной его высшего напряжения (сторона защищаемой линии) и стороной установки трансформатора напряжения; в целях большей надежности должен учитываться максимально возможный коэффициент трансформации, который может иметь место при регулировании напряжения;

$n_{т}^{(н)}$ и $n_{т}^{(в)}$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока, используемых для защиты и установленных соответственно на сторонах низшего и высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока;

$n_{н}^{(н)}$ и $n_{н}^{(с)}$ — коэффициенты трансформации трансформаторов напряжения, используемых для защиты и установленных соответственно на сторонах низшего и среднего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока.

Выражения (20)—(22) составлены исходя из того, что защита включается (гл. 3, разд. А, пп. 2, 3, 4 и 7):

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

б) на междуфазные напряжения при использовании для защиты трансформаторов напряжения, установленных на стороне среднего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока;

в) на разность токов по рис. 25,*б* при использовании для защиты трансформаторов тока, установленных на стороне низшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока и соединенных в треугольник;

г) на разность фазных токов при использовании для защиты трансформаторов тока, установленных на стороне высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока.

6. При применении в качестве дистанционного органа защиты направленного реле сопротивления целесообразно использовать реле с углом максимальной чувствительности $\varphi_{макс.ч} \approx 75°$, так как угол суммарного сопротивления трансформатора (автотрансформатора) и линии блока и соответственно угол сопротивления, подводимого к реле при повреждении в конце линии блока, близок к этому значению.

7. Во всем остальном (согласование второй ступени дистанционной защиты с защитами тока и напряжения, установленными на предыдущих участках, выбор выдержки времени второй ступени защиты, проверка чувствительности второй ступени защиты и пусковых органов и т. д.) расчет производится так же, как для защиты одиночных линий (разд. А).

Д. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 35 *кв*

1. Особенности расчета дистанционной защиты линий 35 *кв* (в сетях с малым током замыкания на землю) связаны с необходимостью учета двойных замыканий на землю.

Определение первичных сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты с токовой компенсацией (схемы по рис. 27—29 и 31, 32) должно производиться с учетом как междуфазных коротких замыканий, так и двойных замыканий на землю. Поскольку в схемах с токовой компенсацией на участках, где имеется ток нулевой последовательности, сопротивление на зажимах защиты при двойном замыкании на землю, так же как и при междуфазных коротких замыканиях, пропорционально расстоянию от места установки защиты до места повреждения, то расчет при двойном замыкании на землю производится исходя из тех же условий и выражений, что и при междуфазном коротком замыкании (табл. 8 — для одиночных линий, табл. 9 — для параллельных линий, табл. 10 и 11 — для линий с ответвлениями, табл. 12 — для линий блока трансформатор — линия). Расчетным видом повреждения явится то, которому будут соответствовать наибольшие значения коэффициентов токораспределения. Для определения коэффициентов токораспределения при двойных замыканиях на землю в реальном режиме работы должны быть вычислены соответствующие токи, которые могут быть определены по выражениям, приведенным в приложении X. Определение первичных сопротивлений срабатывания дистанционной защиты без токовой компенсации (используется на линиях с односторонним питанием — схемы по рис. 30 и 33) производится по междуфазным коротким замыканиям. Двойные замыкания на землю не учитываются в связи со следующим:

а) при отсутствии тока нулевой последовательности в месте установки защиты (защита остается включенной на междуфазное напряжение) сопротивления на зажимах защиты примерно равны таковым при междуфазных повреждениях в тех же условиях [1];

б) при наличии тока нулевой последовательности в месте установки защиты (защита переключается на фазные напряжения) подведение к защите сопротивлений, примерно равных таковым при междуфазных повреждениях, обеспечивается выполнением схемы защиты (гл. 4, разд. Б, описание схемы по рис. 30, п. 2).

2. Коэффициент компенсации в схемах с токовой компенсацией (рис. 27—29 и 31, 32) определяется по выражению

$$k = \frac{z_0 - z_1}{3z_1}, \qquad (23)$$

где z_1 и z_0 — соответственно сопротивления прямой и нулевой последовательностей защищаемого участка.

3. При выборе параметров срабатывания пускового органа необходимо учитывать следующие особенности:

а) Первичный ток срабатывания токовых реле токового пускового органа, включенных на фазные токи (схемы по рис. 27, 28, 30, 31 и 33) дополнительно к условиям, изложенным в разд. А, п. 15,а, выбирается также по условию отстройки от тока в неповрежденной фазе при двойном замыкании на землю:

$$I_{с.з} \geqslant k_н I_{неп}, \qquad (24)$$

где $I_{неп}$ — максимальное значение первичного тока в неповрежденной фазе при двойном замыкании на землю;

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

б) Первичный ток срабатывания токового реле, включенного на ток нулевой последовательности (реле $9PT_0$ в схемах рис. 27—29, 31 и 32) выбирается по условию отстройки от максимального расчетного значения тока небаланса $I_{нб.расч}$, возникающего при междуфазном коротком замыкании в месте установки рассматриваемой защиты:

$$I_{с.з} = k_н I_{нб.расч} = k_н k_{апер} I_{нб.уст}, \qquad (25)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимается равным 1,25;

$k_{апер}$ — коэффициент, учитывающий переходный режим (наличие апериодической составляющей тока), может быть принят равным 2,0;

$I_{нб.уст}$ — первичный ток небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока в установившемся режиме при металлическом трехфазном коротком замыкании в месте установки рассматриваемой защиты, может быть определен в соответствии с «Руководящими указаниями по релейной защите, вып. 2. Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности *от замыканий на землю* линий 110—220 *кв*», гл. 2, п. 15.

Для грубо ориентировочных расчетов ток $I_{нб.уст}$ может быть определен по следующему выражению, составленному в предположении, что трансформаторы тока удовлетворяют кривым кратностей тока при 10%-ной погрешности:

$$I_{нб.уст} = k_{одн} f_i I_{расч}, \qquad (26)$$

где $k_{одн}$ — коэффициент однотипности трансформаторов тока, который в зависимости от кратности токов короткого замыкания и значения сопротивлений во вторичных цепях трансформаторов тока принимается равным от 0,5 до 1,0;

f_i — относительная максимально возможная погрешность трансформаторов тока при коротком замыкании в месте установки рассматриваемой защиты, может приниматься равной 0,1;

$I_{расч}$ — первичный расчетный ток металлического трехфазного короткого замыкания в месте установки рассматриваемой защиты.

В тех случаях, когда реле $9PT_0$, включенное на ток нулевой последовательности, с током срабатывания, выбранным по указанным условиям, недостаточно чувствительно при двойном замыкании на землю, могут потребоваться специальные мероприятия: использование реле с насыщающимся трансформатором, присоединение реле $9PT_0$ к трансформатору тока через фильтр, предотвращающий попадание в реле высших гармоник, использование реле с торможением, введение последовательно с контактом реле $9PT_0$ контакта реле напряжения нулевой последовательности, однако в последнем случае при возникновении замыкания между фазами на защищаемом участке в режиме длительного замыкания на землю одной фазы это мероприятие неэффективно.

Следует отметить также, что при наличии на защищаемой линии токовой отсечки ток срабатывания реле $9PT_0$ может отстраиваться от тока небаланса при замыкании между фазами в конце зоны, защищаемой токовой отсечкой.

в) Первичное напряжение срабатывания реле напряжения, переключаемых на фазные напряжения, пускового органа по току и напряжению (реле *31PH* и *32PH* в схеме по рис. 28 и реле *36PH* и *37PH* в схеме по рис. 31) дополнительно к условиям, изложенным в разд. А, п. 15,б и соответствующим включению реле на междуфазные напряжения, выбирается также по

[1] А. Б. Чернин, Действие дистанционной защиты импедансного типа при двойных замыканиях на землю в компенсированной сети, «Электричество», 1941, № 1.

условию отстройки от напряжения неповрежденной фазы при двойном замыкании на землю и включении реле на фазные напряжения по выражению

$$U_{с.з} \leqslant \frac{U_{неп.фаз}}{k_н}, \qquad (27)$$

где $U_{неп.фаз}$ — минимальное значение первичного напряжения на неповрежденной фазе в месте установки защиты при двойном замыкании на землю, может быть принято равным 1,0—1,2 $U_{раб.фаз}$;

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

При определении вторичного напряжения срабатывания рассматриваемых реле напряжения должно учитываться, что междуфазные напряжения подводятся к их обмоткам через добавочные сопротивления.

Первичное напряжение срабатывания реле напряжения, не переключаемых на фазные напряжения (реле *33РН* в схеме по рис. 28 и реле *38РН* в схеме по рис. 31), а также первичный ток срабатывания токовых реле рассматриваемого пускового органа, выбираются в соответствии с изложенным в разд. А, п. 15,б.

г) Первичное сопротивление срабатывания реле полного сопротивления пускового органа (реле *1РС — 3РС* в схемах по рис. 29 и 32) дополнительно к условиям, изложенным в разд. А, п. 15,в, выбирается также по условию отстройки от сопротивления на зажимах реле, включенного на ток неповрежденной фазы:

$$z^{III}_{с.з} \leqslant \frac{z_{защ.неп}}{k_н}, \qquad (28)$$

где $z_{защ.неп}$ — первичное сопротивление на зажимах реле сопротивления пускового органа, включенного на ток неповрежденной фазы, при таком металлическом коротком замыкании (двойном замыкании на землю или двухфазном коротком замыкании), при котором это сопротивление имеет наименьшее значение;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимается равным 1,5.

Следует отметить, что в (28) должно учитываться первичное сопротивление на зажимах реле при включении последнего на междуфазное напряжение. Уменьшение расчетного сопротивления на зажимах реле неповрежденной фазы при переключении пускового органа на фазные напряжения в условиях двойного замыкания на землю учитывается автоматическим уменьшением уставки при переключении в 1,73 раза. Указанное осуществляется уменьшением используемого числа витков первичной обмотки автотрансформатора напряжения реле сопротивления. При этом зона, охватываемая реле при двойных замыканиях на землю, меньше, чем при других видах повреждения, так как уставка реле уменьшается в 1,73 раза, между тем как сопротивление на зажимах реле поврежденной фазы (отношение напряжения к току) остается примерно таким же, как при междуфазных коротких замыканиях.

4. При выборе смещения α характеристики реле полного сопротивления (разд. А, п. 14) следует учитывать, что переходное сопротивление при двойном замыкании на землю в большинстве случаев во много раз больше, чем сопротивление дуги.

5. Сопротивление срабатывания реле $z_{с.р}$ определяется исходя из первичного сопротивления срабатывания защиты $z_{с.з}$:

$$z_{с.р} = k_{сх} \frac{n_т}{n_н} z_{с.з}, \qquad (29)$$

где $k_{сх}$ — коэффициент схемы, который при включении реле сопротивления на междуфазные напряжения и разность фазных токов (дистанционный орган) равен 1, а при включении реле сопротивления, на междуфазные напряжения и фазные токи (пусковой орган) равен $\sqrt{3}$.

Остальные обозначения те же, что и в (17), разд. А, п. 18.

5. Во всем остальном (проверка чувствительности защиты и пусковых органов, выбор выдержки времени второй ступени защиты и т. д.) расчет производится так же, как и для защиты одиночных и параллельных линий сетей с большим током замыкания на землю (разд. А—Г настоящей главы). Проверка чувствительности пусковых реле тока, включенных на сумму токов двух фаз (реле *7РТ* в схемах по рис. 27, 28 и 31 и реле *6РТ* и *8РТ* соответственно в схемах по рис. 30 и 33), производится по (13) так же, как и пусковых реле тока, включенных на фазные токи.

Е. УЧЕТ ТОКА ТОЧНОЙ РАБОТЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

1. При оценке поведения дистанционных защит необходимо учитывать ток точной работы реле сопротивления, равный значению тока в реле $I_{р.т}$, при котором снижение сопротивления срабатывания реле от принятой его уставки составляет 10%.

При токе, меньшем тока точной работы, погрешность реле резко увеличивается за счет увеличения относительного влияния механического момента реле при малых токах.

Проверка дистанционной защиты по току точной работы необходима для выяснения надежности обеспечения чувствительности и селективности.

Ниже рассматриваются вопросы, связанные с учетом тока точной работы реле сопротивления типов КРС-111, КРС-112, КРС-121, КРС-131 и КРС-132.

2. Значение тока точной работы реле сопротивления рассматриваемых типов в общем случае зависит от числа используемых витков обмотки трансреактора и автотрансформатора напряжения реле (приложение XI).

3. Ток точной работы реле $I_{р.т}$ уменьшается при увеличении числа используемых витков обмотки трансреактора $w_{тр.исп}$. Это следует из (П-32), (П-34), (П-36) и (П-44), приведенных в приложении XI, при учете того, что z_0, x_{01} и z_{y0}, входящие в эти выражения, пропорциональны $w_{тр.исп}$. При этом для реле типов КРС-112, КРС-131, КРС-132 и КРС-121 ток точной работы при неизменном значении числа витков N автотрансформатора напряжения обратно пропорционален $w_{тр.исп}$.

Для реле типа КРС-111 обратная пропорциональность $I_{р.т}$ и $w_{тр.исп}$ наблюдается при неизменном N и неизменном коэффициенте смещения α [(П-34) из приложения XI].

Таким образом, для реле типов КРС-111, КРС-131 и КРС-121 (имеющих регулируемое число витков трансреактора) в целях получения наименьшего тока точной работы реле при заданном сопротивлении его срабатывания, желательно принимать максимально возможное (при данной уставке реле) количество включенных витков трансреактора.

Следует, однако, учитывать, что увеличение $w_{тр.исп}$ ведет к увеличению потребления в трансреакторе (которое, впрочем, не превышает по данным завода 7 *ва*), а также к усилению влияния токов индукционной системы данного реле сопротивления на работу цепей напряжения направленных реле сопротивления своей и других панелей.

Таблица 13

Токи точной работы реле дистанционного органа защит типа ПЗ-158 и ПЗ-157

Уставка на трансреакторе реле (*ом* на фазу)	Ток точной работы (*а*) для времени от начала короткого замыкания (*сек*)					
	для реле типа КРС-131 при трехфазном замыкании			для реле типа КРС-121 при замыкании между двумя фазами		
	∞	0,25	0,12	∞	0,25	0,12
0,25	9,2	10	16	3,5	5,2	8
0,5	4,6	5	8	1,75	2,6	4
1	2,3	2,5	4	0,8	1,3	2
2	1,15	1,3	2	0,4	0,65	1

4. Влияние изменения числа используемых витков обмотки автотрансформатора напряжения на значение тока точной работы реле типов КРС-131, КРС-132 и КРС-121 зависит от типа реле.

Таблица 14

Токи точной работы реле дистанционного органа защит типа ПЗ-152 и ПЗ-153

Уставка на трансреакторе (*ом* на фазу)	Ток точной работы (*а*) для времени от начала трехфазного короткого замыкания (*сек*)		
	∞	0,25—0,36	0,14—0,17
0,15	5,5	10	16
0,3	2,7	5	8
0,5	1,6	3	5
0,75	1,1	2	3,5

Для реле типов КРС-131 и КРС-132:

$$I_{р.т} = \frac{I_{р.т0}}{\sqrt{N}}, \qquad (30)$$

для реле типа КРС-121:

$$I_{р.т} = I_{р.т0} N, \qquad (31)$$

где N — отношение числа первичных витков автотрансформатора к числу включенных его вторичных витков;

$I_{р.т0}$ — ток точной работы при использовании всех витков автотрансформатора в его вторичной обмотке ($N=1$).

Ток точной работы реле типов КРС-111 и КРС-112 не зависит от числа включенных витков автотрансформатора напряжения (приложение XI).

Таблица 15

Токи точной работы реле типа КРС-111

Уставка на трансреакторе реле (*ом* на фазу) при подведении напряжения		Ток точной работы (*а*) для времени от начала трехфазного короткого замыкания (*сек*)
ко всем виткам автотрансформатора реле	к половине витков автотрансформатора реле	
0,25	0,125	9,2
0,5	0,25	4,6
1	0,5	2,3
1,5	0,75	1,53

Таблица 16

Токи точной работы реле типов КРС-112 и КРС-132

Уставка (*ом* на фазу)	Ток точной работы (*а*) для времени $t = \infty$ от начала трехфазного короткого замыкания
2	2,3

Примечания к табл. 13—16:

1. Значения токов точной работы реле типов КРС-111, КРС-112, КРС-132 и КРС-131 для $t = \infty$ увеличены в 1,15 раза по сравнению со значениями этих токов в заводской информации, где они даются для замыкания между двумя фазами. Остальные данные заимствованы из заводских информаций.

2. Все значения уставок и токов даны для исполнения трансформаторов тока на 5 *а*, при исполнении трансформаторов тока на 1 *а* все значения уставок должны быть увеличены, а токов — уменьшены в 5 раз.

3. Значения токов точной работы в зависимости от уставки для защит типов ПЗ-158, ПЗ-157, ПЗ-152 и ПЗ-153 даны при отношении $N=1$ числа используемых первичных и вторичных витков автотрансформатора реле.

5. Для быстродействующей защиты следует учитывать увеличение тока точной работы реле, связанное с ограничением допустимого времени действия реле. В табл. 13—16 даются значения токов точной работы реле сопротивления различных типов при ограничении времени действия реле и при отсутствии этого ограничения. Данные табл. 13—16 по току точной работы при ограничении по времени действия реле относятся в основном к первой ступени защиты.

Вопрос учета увеличения тока точной работы при ограничении по времени действия защиты возникает также в некоторых случаях для второй ступени, а именно, при выполнении ее с мгновенным замером или ускорением после включения выключателя.

При необходимости ток точной работы первой ступени защиты может быть значительно снижен увеличением времени переключения в цепях напряжения защиты для перехода с уставки первой на уставку второй ступени (например, с 0,12 до 0,25 *сек*).

6. Чувствительность защиты по току точной работы определяется коэффициентом чувствительности $k_{ч.т}$ при коротком замыкании в расчетной точке (см. ниже):

$$k_{ч.т} = \frac{I_{к.з.мин}}{I_{з.т}}, \qquad (32)$$

где $I_{к.з.мин}$ — первичный ток короткого замыкания при рассматриваемом виде повреждения в расчетном минимальном режиме;

$I_{з.т}$ — ток точной работы защиты (первичный) при данном виде повреждения.

Минимальное значение коэффициента чувствительности в рассматриваемом случае допускается порядка 1,3.

Ток $I_{к.з.мин}$ в (32) допустимо принимать для короткого замыкания в конце защищаемой линии как для второй, так и для первой ступени защиты, учитывая, что в этой точке ток короткого замыкания мало отличается от тока короткого замыкания в конце защищаемой зоны первой ступени и что она является расчетной по чувствительности для второй ступени защиты.

В соответствии с этим, а также учитывая пп. 4 и 5, проверка по току точной работы защит с реле разных типов, содержащих первую и вторую ступени, должна производиться следующим образом:

а) для реле типов КРС-111, КРС-112 и КРС-131 — только для первой ступени, поскольку увеличение сопротивления срабатывания этих реле либо не отражается на токе точной работы реле, либо приводит к его уменьшению;

б) для реле типа КРС-121 с переключением в цепях напряжения, используемого для первой и второй ступеней, проверка по току точной работы должна производиться для второй ступени защиты, если $\frac{z^{II}_{с.з}}{z^{I}_{с.з}} \geqslant 2{,}5$, и для первой ступени, если $\frac{z^{II}_{с.з}}{z^{I}_{с.з}} < 2{,}5$ (при времени срабатывания первой ступени $t = 0{,}12$ *сек*).

Указанное обусловлено тем, что в соответствии с табл. 13 возрастание тока точной работы второй ступени в связи с увеличением значения N в (31) при $\frac{z^{II}_{с.з}}{z^{I}_{с.з}} < 2{,}5$ не компенсирует увеличения тока точной работы первой ступени в связи с ограничением времени его срабатывания до 0,12 *сек*.

При выполнении второй ступени защиты с мгновенным замером или при применении ускорения ее после включения выключателя может оказаться необходимой проверка по току точной работы для второй ступени, даже если

$$\frac{z^{II}_{с.з}}{z^{I}_{с.з}} < 2{,}5 \text{ (п. 5).}$$

7. Для обеспечения согласования дистанционных защит смежных участков проверка по току точной работы должна производиться для той защиты предыдущего участка (в конце защищаемой ею зоны), с которой согласована защита последующего участка.

Такая проверка необходима для предотвращения неправильного срабатывания защиты последующего участка при коротком замыкании в конце зоны, охватываемой защитой предыдущего участка и отказе последней в действии в связи с тем, что ток короткого замыкания в месте установки защиты оказался меньше ее тока точной работы.

При согласовании второй ступени защиты последующего участка с первой ступенью защиты предыдущего участка (например, второй ступени защиты *2* с первой ступенью защиты *1* с характеристиками по рис. 16,*в*) специальной проверки по току точной работы не требуется. Указанное обусловлено тем, что в соответствии с п. 6 первая ступень защиты должна быть чувствительна по току точной работы к повреждениям в конце защищаемой линии, т. е. необходимая по условию селективности согласуемых защит чувствительность по току точной работы первой ступени защиты к повреждению в конце охватываемой ею зоны обеспечивается с запасом.

Проверка по току точной работы требуется лишь при согласовании между собой вторых ступеней защит смежных участков (например, защит *3* и *2* с характеристиками по рис. 16,*в*).

В рассматриваемом случае должен проверяться коэффициент чувствительности по (32) при коротком замыкании в конце зоны, охватываемой защитой предыдущего участка (защитой *2* на рис. 16,*в*). Этот коэффициент чувствительности должен быть не менее $k_{ч.т} = 1{,}1$.

Кроме того, в целях увеличения надежности согласования защит желательно соблюдать условие

$$I_{з.т\,(n+1)} \geqslant k_н k_т I_{з.т(n)}, \qquad (33)$$

где $I_{з.т(n+1)}$ и $I_{з.т(n)}$ — токи точной работы защит $(n+1)$ и n элементов сети, если защита $(n+1)$-го элемента должна быть согласована с защитой n-го элемента;

$k_т$ — коэффициент токораспределения, равный отношению тока в элементе $(n+1)$ к току в элементе n;

$k_н$ — коэффициент надежности согласования, принимаемый равным 1,1.

Следует учитывать, что при наличии обходных связей расчетным для определения коэффициента токораспределения $k_т$ является повреждение в конце зоны, охватываемой защитой элемента n.

8. Снижение тока точной работы может быть осуществлено:

а) для всех типов реле сопротивления, используемых для осуществления ступеней защиты, не имеющих выдержек времени, введением выдержки времени до 0,25 *сек* (п. 5);

б) для реле сопротивления всех типов, за исключением КРС-112, увеличением сопротивления срабатывания, которое должно осуществляться следующим способом: увеличением уставки на трансреакторе — для реле типов КРС-121 и КРС-111, увеличением отношения N числа первичных витков автотрансформатора к числу включенных его вторичных витков — для реле типа КРС-132, и любым из этих способов — для реле типа КРС-131;

в) для реле типа КРС-121 с переключением его уставки с первой ступени на вторую — отказом от выполнения первой ступени на рассматриваемом реле, что дает возможность использовать большее число витков трансреактора при выполнении уставки второй ступени;

г) для реле типа КРС-121 без переключения уставки в тех случаях, когда вторичное сопротивление срабатывания превышает 2 *ом* на фазу, а использование предельного числа витков трансреактора ($z_0 = 2$ *ом* и $N > 1$) не обеспечивает чувствительности по току точной работы — уменьшением сопротивления срабатывания до 2 *ом* на фазу;

д) для реле типа КРС-111 — смещением центра окружности характеристики срабатывания, сопровождаемым увеличением суммарного числа витков трансреактора [(П-34) из приложения XI].

Ж. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ ТИПА КРБ-122 (КРБ-124)

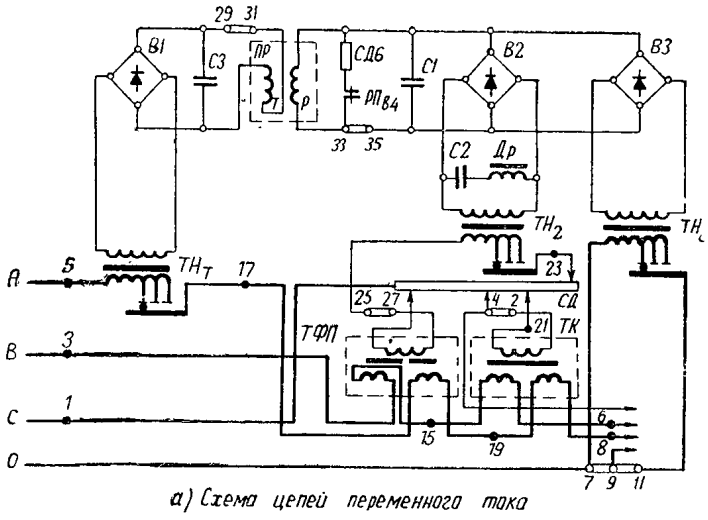
Ниже приводится расчет устройства блокировки при качаниях, реагирующего на $|\dot{I}_2| + |k\dot{I}_0|$ и имеющего торможения от фазного тока, применительно к устройству типа КРБ-122.

Расчет устройства блокировки типа КРБ-124 производится аналогично.

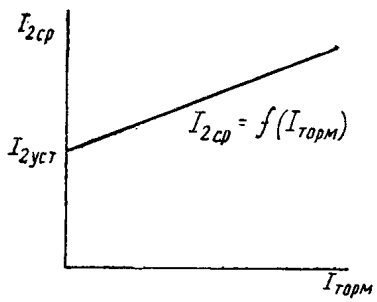
I. Характеристики срабатывания устройства

Расчет устройства блокировки при качаниях данного типа имеет целью определение уставок устройства по току обратной последовательности $I_{2уст}$, по утроенному току нулевой последовательности $3I_{0уст}$ и по коэффициенту торможения $k_{торм}$, а также проверку чувствительности.

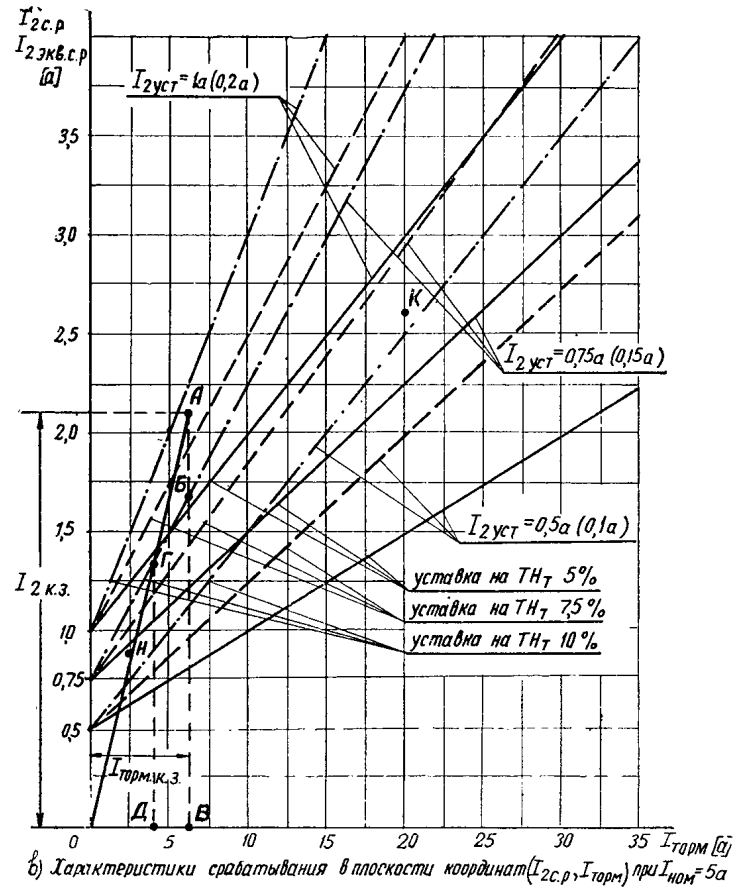
Расчет устройства производится на основании его характеристик срабатывания и кривых чувствительности, приведенных в информации завода на устройство блокировки при качаниях типа КРБ-122 (информация



а) Схема цепей переменного тока



б) Характеристика срабатывания в плоскости координат ($I_{2с.р}$, $I_{торм}$) при заданных $I_{2уст}$ и $K_{торм}$



в) Характеристики срабатывания в плоскости координат ($I_{2с.р}$, $I_{торм}$) при $I_{ном}$ = 5а

Рис. 50. Характеристики срабатывания и схема цепей переменного тока устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122.

Примечание. Для $I_{ном}$=1,0 *а* масштабы по осям $I_{2с.р}$ и $I_{торм}$ увеличиваются в 5 раз, а $I_{2уст}$ показаны цифрой в скобках.

ОБК 469.253.01, апрель 1960 г.), в предположении линейности характеристик промежуточных трансформаторов устройства TH_2, TH_0 и $TH_т$ (см. схему цепей переменного тока устройства на рис. 50,*а*, заимствованную из указанной информации завода).

Характеристика срабатывания устройства в координатах $I_{2с.р}$ и $I_{торм}$ при заданных уставках $I_{2.уст}$ и $k_{торм}$ приближенно может быть представлена прямой (рис. 50,*б*), определяемой выражением:

$$I_{2с.р}=k_{торм}I_{торм}+I_{2.уст}, \qquad (34)$$

где $I_{2с.р}$ — ток I_2 срабатывания устройства;

$I_{торм}$ — ток в фазе, питающей трансформатор торможения $TH_т$ (рис. 50,*а*);

$I_{2.уст}$ — уставка устройства по току I_2 (на TH_2);

$k_{торм}$ — коэффициент торможения.

Рассматриваемое устройство блокировки имеет следующие уставки:

по току обратной последовательности ($I_{2\,уст}$) 0,5; 0,75; 1 *а* — для исполнения на номинальный ток 5 *а* и, 0,1; 0,15; 0,2 *а* — для исполнения на номинальный ток 1 *а*; по утроенному току нулевой последовательности ($3I_{0уст}$) 1,0; 1,5; 2,0 *а* — для исполнения на номинальный ток 5 *а* и 0,2; 0,3; 0,4 *а* — для исполнения на номинальный ток 1 *а*, а по коэффициенту торможения ($k_{торм}$) при номинальной уставке $I_{2\,уст}$ 5, 7,5, 10%. С увеличением уставки $I_{2\,уст}$ коэффициент торможения пропорционально увеличивается. Значения коэффициента торможения $k_{торм}$ для разных уставок даны в табл. 17.

Таблица 17

Значения коэффициента торможения $k_{торм}$ устройства блокировки типа КРБ-122 в зависимости от уставок на TH_2 и TH_0 (в относительных единицах)

Уставка на $TH_т$, %	Коэффициент торможения при уставке на $TH_2 I_{2\,уст}$, *а*		
	0,5 (0,1)	0,75 (0,15)	1,0 (0,2)
5	0,05	0,075	0,10
7,5	0,075	0,112	0,15
10	0,1	0,15	0,2

Примечание. Значения $I_{2\,уст}$ даны для $I_{ном}$=5 *а* (без скобок) и $I_{ном}$ = = 1 *а* (в скобках).

На рис. 50,*в* приведены характеристики срабатывания устройства для всех уставок по I_2 и $k_{торм}$, соответствующие (34), всего девять характеристик. С помощью этих характеристик, как показано ниже, могут быть произведены выбор уставок устройства и проверка его чувствительности.

Учитывая отличия расчетов для случаев использования и неиспользования в устройстве тока $3I_0$, ниже выбор уставки и проверка чувствительности устройства блокировки рассматриваются отдельно для каждого случая. Расчет приведен во вторичных величинах.

II. Выбор уставок устройства блокировки, когда ток $3I_0$ не используется в устройстве

1. Ток срабатывания устройства выбирается по условию отстройки от суммарного тока обратной последовательности, определяемого в следующих режимах:

а) в расчетном нагрузочном режиме

$$I_{2с.р.нагр}\geqslant\frac{k_н}{k_в}I_{2расч.нагр}, \qquad (35)$$

где

$$I_{2\,расч.нагр}=I_{2\,нб.нагр}+I_{2\,н.р.нагр}; \qquad (36)$$

б) в режиме качаний

$$I_{2с.р.кач}\geqslant k_н I_{2расч.кач}; \qquad (37)$$

$$I_{2\,расч.кач}=I_{2\,нб.кач}+I_{2\,н.р.кач}. \qquad (38)$$

В (35)—(38):

$I_{2\,нб.нагр}$ и $I_{2\,нб.кач}$ — ток небаланса фильтра тока обратной последовательности (отнесенный к входу фильтра) соответственно в расчетных нагрузочном режиме и в режиме качаний;

$I_{2\,н.р.нагр}$ и $I_{2\,н.р.кач}$ — ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией в системе, соответственно в расчетных нагрузочном режиме и в режиме качаний;

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

$k_в$ — коэффициент возврата, ориентировочно может быть принят равным 0,8.

Следует отметить, что в (37) не учтен коэффициент возврата, поскольку если в случае возникновения качаний после короткого замыкания, в результате которого сработало устройство блокировки при качаниях, реагирующее реле устройства не вернулось в исходное положение, то все устройство в целом также не может вернуться в исходное положение, чем и предотвращается возможное неправильное действие дистанционной защиты при качаниях.

Значения токов $I_{2нб.нагр}$ и $I_{2нб.кач}$ в (36) и (38) могут быть ориентировочно подсчитаны в предположении совпадения по фазе отдельных слагающих токов небаланса:

$$I_{2нб}=\left(k_{сх}\frac{\Delta I\%}{100}+k_{fi}\frac{\Delta f}{f}+\frac{\Delta\Phi\%}{100}\right)I, \qquad (39)$$

где I — максимальный фазный ток в рассматриваемом режиме;

$k_{сх}$ — коэффициент, зависящий от схемы соединения фильтра тока обратной последовательности и трансформаторов тока; для расчетных условий, когда один из трансформаторов тока имеет наибольшую погрешность, а другие работают без погрешности, при включении устройства блокировки на трансформаторы тока, соединенные в полную звезду с нулевым проводом, $k_{сх}=\frac{1}{3}$;

$\Delta I\%$ — относительная погрешность в коэффициенте трансформации $n_т$ трансформаторов тока, питающих устройство блокировки; в нагрузочном режиме можно принимать $\Delta I\%\approx 3\%$, а при качаниях погрешность $\Delta I\%$ принимается равной $\sim 10\%$ (если ток качаний не превосходит тока, соответствующего кривым кратностей при 10%-ной погрешности) или рассчитывается более точно — по кривым намагничивания (когда устройство при приближенном определении $\Delta I\%$ не удовлетворяет требованиям чувствительности);

k_{fi} — коэффициент, зависящий от типа фильтра, для рассматриваемого устройства $k_{fi}\approx 0{,}5$;

Δf — абсолютное значение отклонения частоты сети, уточняется для конкретной сети;

для нагрузочного режима можно принять (учитывая возможное длительное снижение частоты в эксплуатационных условиях) $\Delta f = 1$ *гц*;

для режима качаний ориентировочно в первом приближении можно принять $\Delta f = 3$ *гц* (уточняется в конкретных условиях);

f — номинальная частота сети, равная 50 *гц*;

$\Delta\Phi\%$ — составляющая тока небаланса, обусловленная неточностью настройки фильтра; при $I \leqslant 2I_{ном}$ можно принимать $\Delta\Phi\% \approx 1\%$; при $I = 2 \div 10 I_{ном}$ в соответствии с информацией завода $\Delta\Phi\%$ грубо приближенно может определяться по выражению

$$\Delta\Phi\% = 5\frac{I}{10I_{ном}}. \qquad (40)$$

Подставляя в (35) и (37) хриведенные выше значения входящих в них величин с учетом (39) и (40), получаем:

а) в нагрузочном режиме:

$$I_{2расч.нагр} = 0{,}03\, I_{нагр} + I_{2н.р.нагр}, \qquad (36а)$$

$$I_{2\,с.р.нагр} \geqslant \frac{k_н}{k_в}(0{,}03 I_{нагр} + I_{2н.р.нагр}); \qquad (35а)$$

б) в режиме качаний (в предположении, что $\Delta I\% = 10\%$):

$$I_{2расч.кач} \leqslant (0{,}063 + 0{,}005 \underset{*}{I_{кач}}) I_{кач} + I_{2н.р.кач}, \qquad (38а)$$

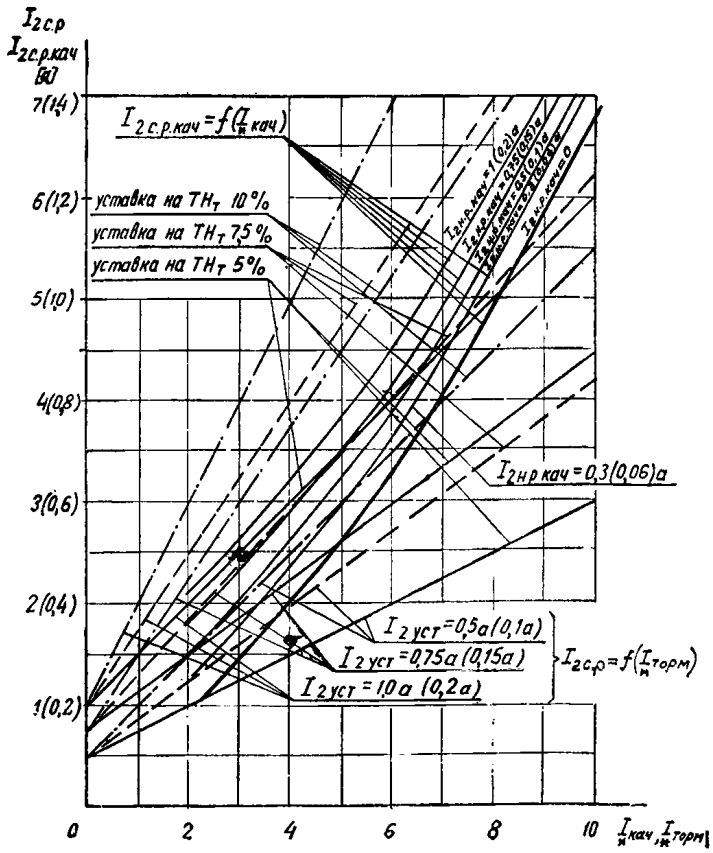


Рис. 51. Характеристики срабатывания $I_{2с.р} = f(\underset{*}{I_{торм}})$ и кривые $I_{2с.р.кач} = f(\underset{*}{I_{кач}})$ устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 ($3I_0$ не используется).

Примечание. Цифры, показанные в скобках, относятся к исполнению устройства на $I_{ном} = 1$ *а*.

$$I_{2с.р.кач} \leqslant k_н(0{,}063 + 0{,}005 \underset{*}{I_{кач}}) I_{кач} + I_{2н.р.кач}, \qquad (37а)$$

где $\underset{*}{I_{кач}}$ — кратность тока качаний по отношению к номинальному току трансформаторов тока.

Следует отметить, что при составлении (35) и (37) не учитывалось в качестве расчетного условие отстройки от тока в реле при разрыве фазных проводов трансформаторов тока, при котором возможен отказ ступеней защиты, блокируемых при качаниях, или неправильное срабатывание на отключение сработавшего от токов нагрузки пускового органа, осуществленного с помощью устройства блокировки при качаниях (в случае, когда он выполнен с действием на отключение, например, в защите по схеме рис. 4).

2. Выбор уставок устройства блокировки $I_{2уст}$ и $k_{торм}$ производится с помощью рис. 50,*в* в следующем порядке.

На плоскость ($I_{2с.р}$, $I_{торм}$) наносятся точки K и H, ординаты которых соответствуют значениям $I_{2с.р}$, определенным соответственно для режима качаний и режима нагрузки по (37а) и (35а), а абсциссы определяются током торможения $I_{торм}$ в рассматриваемом режиме. Положение указанных точек на плоскости координат должно соответствовать наиболее тяжелым условиям для выбора характеристики срабатывания.

На основании анализа можно установить, что практически в качестве расчетного нагрузочного режима (точка H) следует принимать режим, характеризуемый максимальным значением тока $I_{2н.р.нагр}$ и минимальным значением тока $I_{нагр}$; в качестве расчетного режима качаний (точка K) практически может быть принят режим, характеризуемый максимальным значением тока $\underset{*}{I_{кач}}$.

Дополнительно следует учитывать, что в рассматриваемых режимах в качестве тока торможения $I_{торм}$ должен приниматься ток, равный наименьшему возможному току в фазе A (поскольку в данном устройстве торможение обеспечивается током этой фазы).

В качестве возможных вариантов уставок принимаются уставки по $I_{2уст}$ и $k_{торм}$, соответствующие характеристикам срабатывания, ближайшим к точкам K и H и проходящим не ниже обеих этих точек. При наличии нескольких вариантов возможных уставок лучший вариант может быть выявлен при проверке чувствительности устройства.

3. На рис. 51 на одном графике построены характеристики срабатывания устройства и кривые зависимости $I_{2с.р.кач} = f(\underset{*}{I_{кач}})$ для $\underset{*}{I_{кач}} \geqslant 2I_{ном}$, полученные по (37а) для различных значений $I_{2н.р.кач}$ при $k_н = 1{,}2$.

Указанный график может быть использован для графического выбора уставок устройства по условию отстройки от режима качаний для заданных токов $\underset{*}{I_{кач}}$ и $I_{2н.р.кач}$ (т. е. без соответствующих аналитических расчетов).

Из анализа графика рис. 51 вытекают следующие рекомендации, упрощающие выбор уставок устройства.

а) Если уставка, выбранная по режиму качаний, удовлетворяет соотношению

$$I_{2уст} \geqslant 1{,}5 I_{2н.р.нагр},$$

то нагрузочный режим может не рассматриваться, т. е. расчет достаточно производить только по режиму качаний.

Действительно, из сравнения (35а) и (34) видно, что угол наклона к оси абсцисс прямых (35а) при $\frac{k_н}{k_в} = 1{,}5$ меньше, чем прямых (34), даже при минимальном значении коэффициента торможения $k_{торм} = 0{,}05$. Поэтому все точки, соответствующие прямой (35а), бу-

дут лежать ниже прямых (34), если соблюдается указанное соотношение между $I_{2уст}$ и $I_{2н.р.нагр}$. С учетом сказанного, исходя из рис. 51, можно показать, что нагрузочный режим может не рассматриваться в качестве расчетного, в частности, при

$$I_{2н.р.нагр} = I_{2н.р.кач} \leqslant 0{,}5a \ (0{,}1a \text{ для } I_{ном} = 1a).$$

б) При отсутствии несимметрии в режиме нагрузки и в режиме качаний ($I_{2н.р.нагр}=I_{2н.р.кач}=0$) уставки для устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 могут быть приняты ориентировочно в соответствии с табл. 18.

Таблица 18

Ориентировочное значение кратности тока качаний по отношению к номинальному току $I_{*кач}$	Рекомендуемые уставки
8,5—10	$I_{2уст} = 0{,}75\ a\ (0{,}15\ a)$ $k_{торм}=0{,}15$ (уставка на $TH_т$ 10%)
6,8—8,5	$I_{2уст} = 0{,}75\ a\ (0{,}15\ a)$ $k_{торм} = 0{,}112$ (уставка на $TH_т$7,5%)
5—6,8	$I_{2уст} = 0{,}5\ a\ (0{,}1\ a)$ $k_{торм} = 0{,}1$ (уставка на $TH_т$10%)
4—5	$I_{2уст} = 0{,}5\ a\ (0{,}1\ a)$ $k_{торм}=0{,}1$ (уставка на $TH_т$ 10%)
	$I_{2уст} = 0{,}75\ a\ (0{,}15\ a)$ $k_{торм} = 0{,}075\ a$(уставка на $TH_т$ 5%)
2—4	$I_{2уст} = 0{,}5\ a\ (0{,}1\ a)$ $k_{торм} = 0{,}075$ (уставка на $TH_т$ 7,5%)

Примечание. При $I_{*кач} = 4-5$ окончательный выбор уставок производится на основании расчетов чувствительности.

Принятые в соответствии с табл. 18 уставки устройства должны быть проверены по условию чувствительности.

в) Аналогично могут быть даны рекомендации по выбору уставок устройства при токах $I_{2н.р.кач} \neq 0$. Так, при $I_{2н.р.кач}=0{,}5\ a\ (0{,}1\ a)$ могут быть рекомендованы следующие уставки.

При $I_{*кач}=6{,}7-10$:

$$I_{2уст}=0{,}75\ a\ (0{,}15\ a);$$

$$k_{торм}=0{,}15\ (TH_т\ 10\%).$$

При $I_{*кач}=2-6{,}7$:

$$I_{2уст}=0{,}75\ a\ (0{,}15\ a);$$

$$k_{торм}=0{,}112\ (TH_т\ 7{,}5\%).$$

г) В общем случае при расчете в соответствии с п. 2, рис. 51 может быть использован для упрощения расчета. При этом положение расчетной точки для режима качаний может быть найдено для данных тока качаний и тока $I_{2н.р.кач}$ по кривым $I_{2с.р.кач}=f(I_{*кач})$ без аналитического расчета.

III. Выбор уставок устройства блокировки, когда ток $3I_0$ используется в устройстве

Выполнение устройства блокировки с использованием тока $3I_0$, т. е. с комбинированным пуском по $|\dot{I}_2|+|k\dot{I}_0|$, предназначено для повышения чувствительности устройства блокировки к двухфазным замыканиям на землю и должно применяться в случаях, если на основании расчета устройства без использования тока $3I_0$ выявилась его недостаточная чувствительность к указанным повреждениям.

Однако использование тока $3I_0$ в устройстве может привести в свою очередь к увеличению уставок $I_{2уст}$ или $k_{торм}$ по сравнению со случаем неиспользования тока $3I_0$, а значит, и к снижению чувствительности при замыканиях между двумя фазами. Указанное увеличение уставок может оказаться необходимым для отстройки устройства от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока защиты в нагрузочном режиме или в режиме качаний.

Расчет устройства блокировки при использовании токов I_2 и $3I_0$ и наличии торможения возможен исходя из уравнения характеристики срабатывания устройства (34) и кривых чувствительности (рис. 52), заимствованных из заводской информации на устройство блокировки при качаниях типа КРБ-122 (информация ОБК 469253.01, апрель 1960 г.) и дающих кратности тока в поляризованном реле $ПР$ (рис. 50,$а$) к току его срабатывания $\frac{I_р}{I_{с.р}}$ в зависимости от значений токов I_2 и $3I_0$ в защите при заданных уставках $I_{2уст}$ и $3I_{0уст}$.

На основании этих кривых для данных уставок устройства $I_{2уст}$ и $3I_{0уст}$ токи в устройстве I_2 и $3I_0$ могут быть заменены одним эквивалентным током обратной последовательности $I_{2экв}$ (обусловливающим при данной уставке $I_{2уст}$ такую же кратность момента на реле, как и при совместном действии токов I_2 и $3I_0$).

Этот ток $I_{2экв}$ может быть определен исходя из кратности тока на реле при рассматриваемых значениях подводимых к реле токов I_2 и $3I_0$ в соответствии с соотношением

$$\frac{I_{2экв}}{I_{2уст}} = \frac{I_р}{I_{с.р}}. \qquad (41)$$

Тогда для случая $I_0 \neq 0$ уравнение срабатывания устройства (34) примет вид:

$$I_{2экв.с.р}=k_{торм}I_{торм}+I_{2уст}. \qquad (42)$$

Выражение (42) является уравнением характеристики срабатывания устройства блокировки в общем виде, представленным графически на рис. 50,$в$ всеми девятью прямыми.

В случае использования в устройстве тока $3I_0$ при определении расчетного тока срабатывания устройства в режимах, указанных в § II, п. 1, следует учитывать влияние токов, протекающих через нулевой провод трансформаторов тока защиты.

В этом случае ток срабатывания устройства $I_{с.р}$ взамен (35) и (37) следует определять по выражениям:

$$I_{с.р.нагр} \geqslant \frac{k_н}{k_в} I_{2экв.нагр}; \qquad (43)$$

$$I_{с.р.кач} \geqslant k_н I_{2экв.кач}, \qquad (44)$$

в которых ток $I_{2экв}$, как результирующий двух слагаемых $I_{2расч}$ и $3I_{0расч}$, подлежит определению по кривым чувствительности (рис. 52).

Расчетные токи $I_{2расч}$ определяются для соответствующих режимов по (36) и (38).

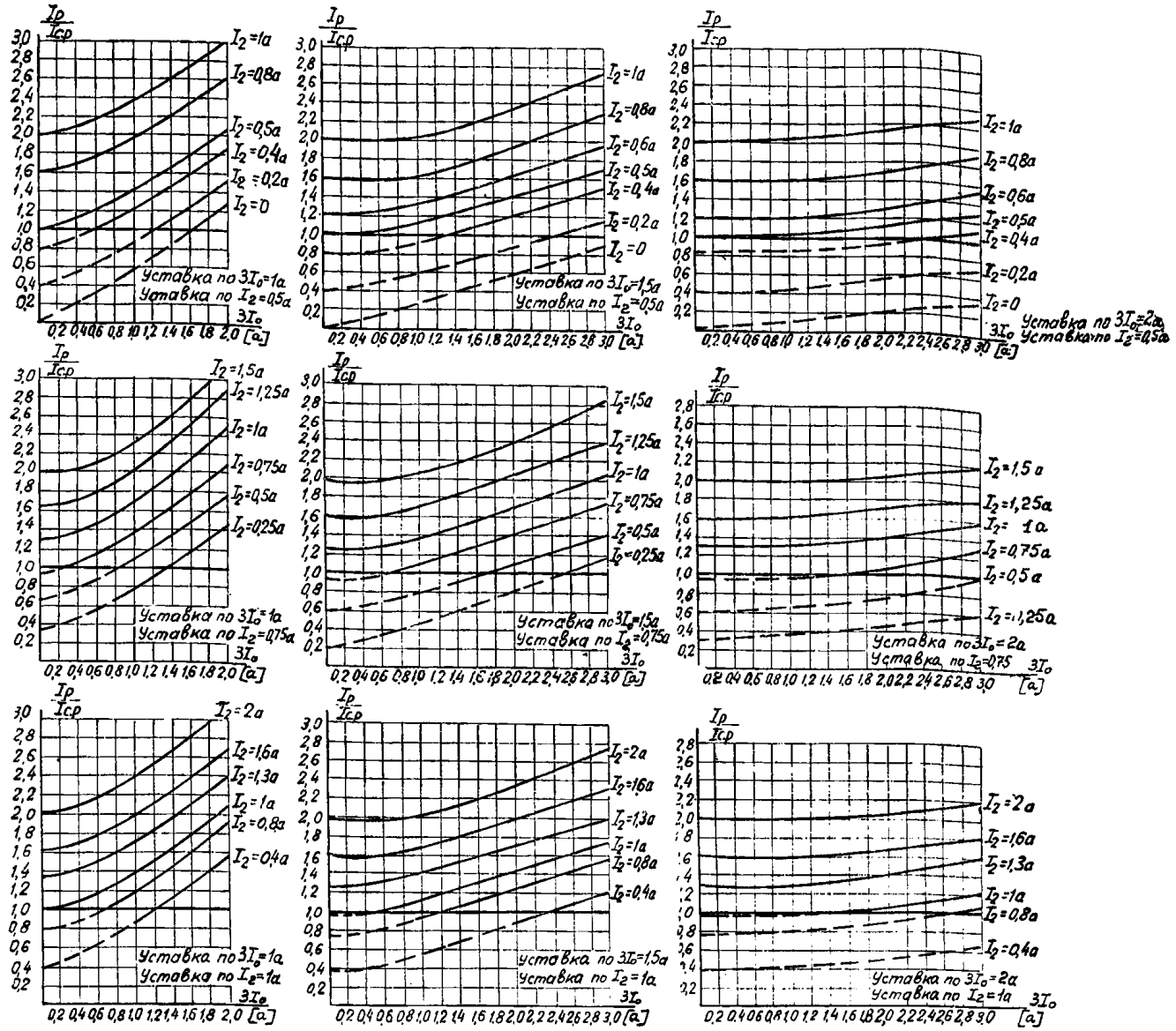


Рис. 52. Характеристики чувствительности пускового органа устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122.
$I_р$ — ток в обмотке реле *ПР*; $I_{с.р}$ — ток срабатывания реле *ПР*; I_2 — ток обратной последовательности; $3I_0$ — утроенный ток нулевой последовательности.
Уставки по токам I_2 и $3I_0$ и значения токов I_2 и $3I_0$ даны для исполнения устройства на номинальный ток 5 *а*.

Расчетный ток $3I_{0\,расч}$ для режима нагрузки или качаний грубо приближенно может быть определен по выражению

$$3I_{0\,расч}=I_{0нб}+3I_{0\,н.р}, \qquad (45)$$

где $I_{0\,нб}$ — ток небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока в рассматриваемом режиме;
$I_{0н.р}$ — ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе, если такая несимметрия имеется.

Ток $I_{0\,нб}$ грубо приближенно может быть определен:

для режима нагрузки

$$I_{0\,нб.нагр}=0{,}03\div 0{,}05I_{нагр}; \qquad (46)$$

для режима качаний — исходя из «Руководящих указаний по релейной защите, вып. 2. Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110—220 *кв*», гл. 2, п. 15 (П-7) в предположении, что трансформаторы тока удовлетворяют кривым кратности тока при 10%-ной погрешности при максимальном токе качаний и что коэффициент однотипности трансформаторов тока $k_{одн}=0{,}5$

$$I_{0нб.кач}\approx 0{,}05I_{кач}. \qquad (47)$$

В случаях, когда устройство блокировки при качаниях при определении $I_{0нб.кач}$ по (47) не удовлетворяет требованиям чувствительности при двухфазном замыкании на землю, значение $I_{0нб.кач}$ следует определять более точно с использованием кривых намагничивания стали трансформаторов тока.

2. Ввиду того что использование кривых рис. 52 для определения $I_{2\,экв}$ в (43) и (44) возможно только

при известных уставках $I_{2\,уст}$ и $3I_{0\,уст}$, можно принять следующий порядок расчета:

а) для уставок $I_{2\,уст}$ и $k_{торм}$, принятых по предварительному расчету (на основании которого выявилась недостаточная чувствительность устройства к двухфазным замыканиям на землю при неиспользовании тока $3I_0$), и наибольшей уставки $3I_{0уст}$ проверяется, согласно указаниям § IV, чувствительность устройства к двухфазным замыканиям на землю; если при этом требования чувствительности не удовлетворяются, то уставка $3I_{0\,уст}$ соответственно уменьшается; в качестве наибольшей уставки практически может приниматься уставка $3I_{0\,уст}=1{,}5\ a$ (п. 3);

б) на основании уставок $I_{2\,уст}$ и $3I_{0\,уст}$ и токов $I_{2\,расч.кач}$ и $3I_{0\,расч.кач}$, найденных по (38) и (45) для режима качаний с помощью кривых чувствительности рис. 52, определяется отношение $\frac{I_р}{I_{с.р}}$ и ток $I_{2\,экв.кач}$, эквивалентный току обратной последовательности при данной уставке $I_{2\,уст}$, последний может быть определен по преобразованному выражению (41):

$$I_{2экв}=\frac{I_р}{I_{с.р}}I_{2уст}. \qquad (48)$$

в) по (44) определяется ток $I_{с.р.кач}$ и при принятых $I_{2\,уст}$ и $k_{торм}$ по характеристике рис. 50,*в* проверяется условие отстройки от режима качаний с учетом торможения. Если это условие удовлетворяется, то производится аналогичная проверка характеристики для нагрузочного режима, исходя из $I_{с.р.нагр}$, определяемого по (43). В противном случае уставки $I_{2\,уст}$ и $k_{торм}$ пересматриваются в соответствии с рассчитанным по (43) значением $I_{с.р.нагр}$ и расчет производится вновь.

Необходимо отметить, что при использовании для описанного расчета приведенных на рис. 52 заводских характеристик чувствительности пускового органа устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 при больших расчетных значениях токов обратной и нулевой последовательностей может потребоваться экстраполяция этих характеристик. Указанное относится и к случаю использования характеристик для устройства блокировки при качаниях типа КРБ-124, приведенных в инструкции по монтажу и эксплуатации ОБК 469347.01 за 1965 г.

В дальнейшем характеристики для устройства типа КРБ-124 должны быть даны заводом в необходимом диапазоне токов I_2 и $3I_0$.

3. На рис. 53 даны характеристики срабатывания устройства и кривые зависимости $I_{с.р.кач}=f(I^*_{кач})$ для случая отсутствия несимметрии ($I_{2\,н.р\text{-}кач}=3I_{0\,н.р.кач}=0$). Последние построены по (44) для различных уставок $I_{2\,уст}$ и $3I_{0уст}$ при $k_н=1{,}2$. При построении ток $I_{2\,расч\text{-}кач}$ определяется по (38а), а $3I_{0\,расч}$ — по (45), учитывая (47). Для каждого значения тока $I_{кач}$ и соответствующих значений $I_{2\,расч\text{-}кач}$ и $3I_{0\,расч.кач}$ значение $I_{2\,экв\text{-}кач}$ в (44) определялось с помощью кривых чувствительности устройства (рис. 52).

На основании анализа графиков рис. 53 могут быть даны следующие конкретные рекомендации, упрощающие выбор уставок устройства при использовании тока $3I_0$.

а) При отсутствии тока несимметрии нулевой последовательности ($3I_{0\,н.р}=0$) при уставке $3I_{0\,уст}=2\ a$ (0,4 *a*) и любых уставках $I_{2\,уст}$ использование тока $3I_0$ практически не ухудшает условий отстройки от режима качаний по сравнению со случаем неиспользования тока $3I_0$;

б) Учитывая указанное, а также то, что использование тока $3I_0$ при уставке $3I_{0\,уст}=2\ a$ (0,4 *a*) дает весьма незначительный выигрыш чувствительности, уставку $3I_{0уст}=2\ a$ (0,4 *a*) целесообразно рассматривать только при значительных токах качаний и $3I_{0\,н.р}$ и если повышение чувствительности при двухфазном замыкании на землю с помощью использования $3I_0$ в устройстве требуется незначительное (порядка 10—15%).

в) При отсутствии несимметрии в режиме нагрузки и в режиме качаний ($I_{2\,н.р.нагр}=I_{2\,н\text{-}р.кач}=3I_{0\,н.р.нагр}=3I_{0н.р.кач}=0$) для устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 ориентировочно может быть принята уставка $3I_{0\,уст}=1{,}5\ a$ (0,3 *a*) при уставках по $I_{2\,уст}$ и $k_{торм}$, принимаемых в соответствии с табл. 19.

Таблица 19

Ориентировочное значение кратности тока качаний по отношению к номинальному току $I^*_{кач}$	Рекомендуемые уставки
7,5—10	$I_{2уст}=0{,}75\ a$ (0,15 *a*) $k_{торм}=0{,}15$ (уставка на $TH_т$ 10%)
5,5—7,5	$I_{2уст}=0{,}75\ a$ (0,15 *a*) $k_{торм}=0{,}112$ (уставка на $TH_т$ 7,5%)
4,5—5,5	$I_{2уст}=0{,}5\ a$ (0,1 *a*) $k_{торм}=0{,}1$ (уставка на $TH_т$ 10%)
3,5—4,5	$I_{2уст}=0{,}5\ a$ (0,1 *a*) $k_{торм}$=0,1 (уставка на $TH_т$ 10%)
	$I_{2уст}=0{,}75\ a$ (0,15 *a*) $k_{торм}=0{,}075$ (уставка на $TH_т$ 5 %)
2—3,5	$I_{2уст}=0{,}5\ a$ (0,1 *a*) $k_{торм}=0{,}075$ (уставка на $TH_т$ 7,5%)

Примечание. При $I^*_{кач}=3{,}5$—4,5 окончательный выбор уставок производится на основании расчетов чувствительности.

Уставки, принятые в соответствии с рекомендациями табл. 19, должны быть проверены по условию чувствительности.

Аналогично с помощью графиков рис. 53 могут быть составлены рекомендации по выполнению уставок при $3I_{0\,уст}=1\ a$ (0,2 *a*).

4. Следует отметить, что расчет уставок устройства принципиально может быть выполнен и аналитически (т. е. без использования характеристик рис. 50,*в*) — подбором с помощью (34). Однако такой расчет является нецелесообразным ввиду необходимости рассмотрения нескольких вариантов.

IV. Расчет чувствительности устройства

1. Расчет чувствительности устройства может быть произведен графически исходя из рис. 50,*в* следующим образом (см. также п. 7).

а) на плоскость ($I_{2с.р}$, $I_{торм}$) рис. 50,*в* наносится точка *A*, соответствующая току $I_{2\,к.з}$ и тормозному току $I_{торм.к.з}$, определенным при металлическом коротком замыкании в расчетных по чувствительности условиях.

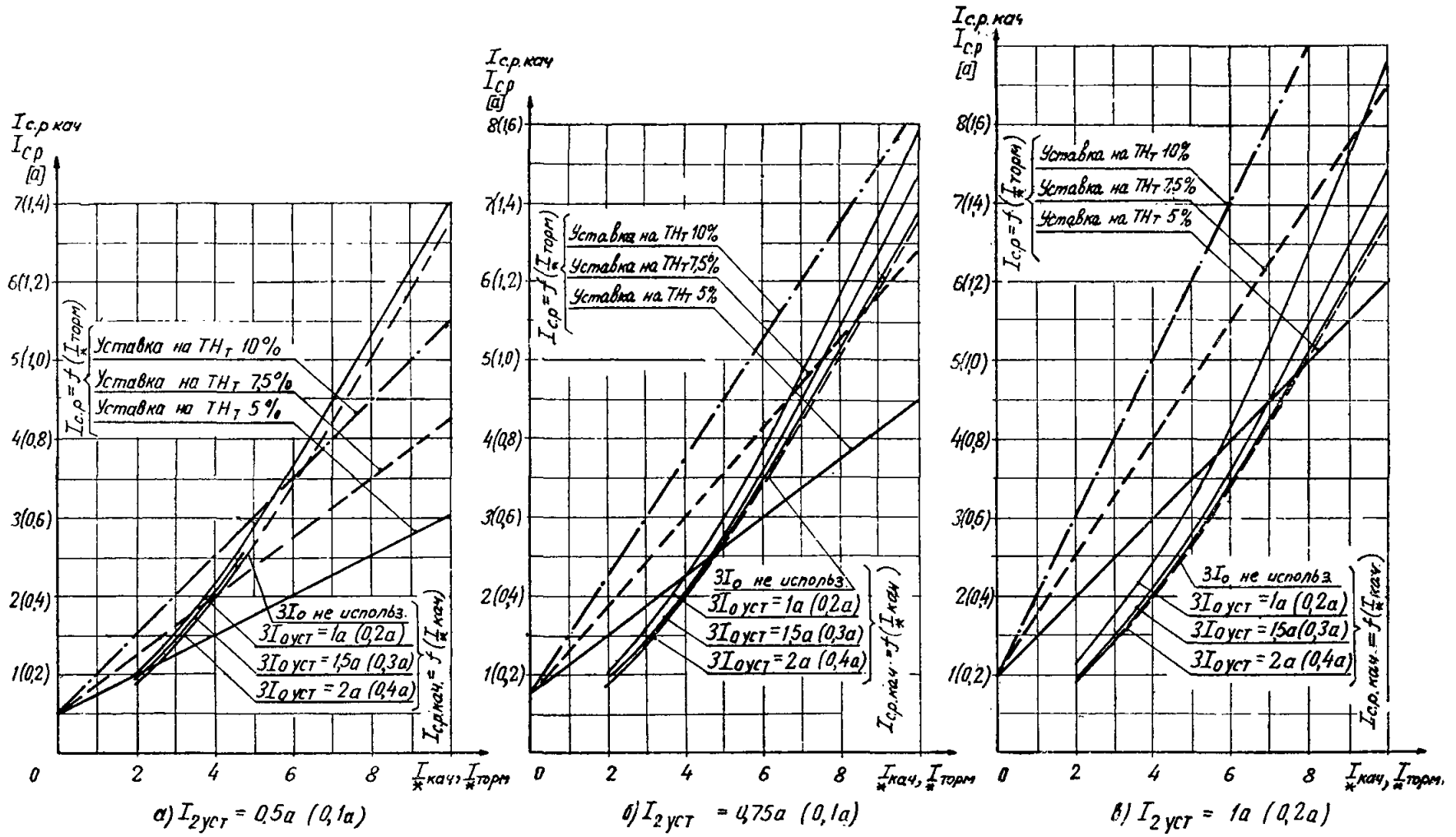


Рис. 53. Характеристики срабатывания $I_{с.р.} = f(I_{*торм})$ и кривые $I_{с.р.кач} = f(I_{*кач})$ устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 ($3I_0$ используется).

Примечание. Цифры, показанные в скобках, относятся к исполнению устройства на $I_{ном} = а$.

б) Проводится прямая OA, соединяющая точку A с началом координат. Эта прямая приближенно может рассматриваться как геометрическое место точек, соответствующих рассматриваемому случаю короткого замыкания через различные переходные сопротивления.

в) Определяется точка $Г$ пересечения прямой OA с характеристикой срабатывания устройства $I_{2\,с.р} = f(I_{торм})$, соответствующей выбранным уставкам устройства $I_{2\,уст}$ и $k_{торм}$ и точка $Б$ пересечения характеристики срабатывания устройства с проведенным из точки A перпендикуляром AB к оси абсцисс.

г) Определяется коэффициент чувствительности $k_ч = \frac{AB}{ГД}$ и коэффициент чувствительности $k'_ч = \frac{AB}{БВ}$.

Определение, помимо коэффициента чувствительности $k_ч$, также и коэффициента чувствительности $k'_ч$ целесообразно для учета возможных погрешностей в определении токов $I_{2\,к.з}$ и $I_{торм}$, а также возможного смещения характеристики срабатывания из-за погрешностей устройства.

2. Для схем, в которых для пуска защиты необходимо срабатывание устройства блокировки при качаниях (например, трехступенчатая дистанционная защита с использованием типовой панели защиты типа ПЗ-158 по рис. 1), устройство должно иметь следующие коэффициенты чувствительности:

а) $k_ч \geqslant 1{,}5$ и $k'_ч \geqslant 1{,}1$ — при коротком замыкани в конце защищаемого участка;

б) $k_ч \geqslant 1{,}2$ и $k'_ч \geqslant 1{,}1$ — при коротком замыкании в конце зоны резервирования (в случае, если рассматриваемая дистанционная защита осуществляет функцию резервирования смежных элементов).

Следует отметить, что при $k_ч = 1{,}5$ условие $k'_ч \geqslant 1{,}1$, как правило, удовлетворяется. Поэтому при проверке чувствительности в конце защищаемого участка коэффициент чувствительности $k'_ч$ может специально не определяться.

3. Для схемы по рис. 3 при выполнении ее таким образом, когда пуск защиты возможен без срабатывания устройства блокировки (п. 3,б описания схемы по рис. 3), чувствительность устройства должна проверяться:

а) при блокировании только первой ступени защиты — при коротком замыкании в конце защищаемой зоны первой ступени; в целях упрощения в этом случае целесообразно рассматривать короткое замыкание в конце защищаемого участка;

б) при блокировании первой и второй ступени (или только второй ступени) — при коротком замыкании в конце защищаемого участка.

В обоих случаях коэффициент чувствительности должен быть $k_ч \geqslant 1{,}5$.

Следует отметить, что при согласовании между собой вторых ступеней защит смежных участков (например, защит *3* и *2* с характеристиками по рис. 16,*в*), в целях обеспечения селективности, чувствительность устройства блокировки защиты, с которой производится согласование, должна проверяться в конце зоны, охватываемой второй ступенью по аналогии с проверкой тока точной работы (разд. Е п. 7). При этом коэффициент чувствительности $k_ч$ должен быть не менее 1,1. Однако в целях упрощения можно считать, что селективность обеспечивается, если коэффициент чувствительности $k_ч$ рассматриваемого устройства блокировки при коротком замыкании в конце защищаемого участка не менее коэффициента чувствительности ступени, с которой производится согласование.

4. Устройство блокировки при качаниях должно удовлетворять требованиям чувствительности, как правило, при замыкании между двумя фазами и при двухфазном замыкании на землю. Расчетными для проверки чувствительности являются следующие виды короткого замыкания:

при неиспользовании в устройствах тока $3I_0$ — двухфазное замыкание на землю;

при использовании тока $3I_0$ — как двухфазное замыкание на землю, так и замыкание между двумя фазами; указанное объясняется тем, что хотя при коротком замыкании между двумя фазами ток обратной последовательности больше, чем при двухфазном замыкании на землю, однако в последнем случае чувствительность устройства повышается из-за появления тока нулевой последовательности.

При трехфазных коротких замыканиях специальную проверку чувствительности устройства блокировки производить не требуется; предполагается, что при трехфазном коротком замыкании длительность предшествующей ему несимметрии, а также кратность токов в реле достаточны для надежного срабатывания устройства блокировки в соответствии с данными завода (т. е. длительность несимметрии не менее 0,008 *сек* при кратности по отношению к току срабатывания не менее 3).

5. В общем случае в качестве расчетных режимов для проверки чувствительности должны приниматься режимы, соответствующие минимальным значениям токов обратной и нулевой последовательностей $I_{2к.з}$ и $3I_{0к.з}$ в защите при минимальных отношениях тока в рабочей обмотке реле к току тормозной его обмотке.

Условия, определяющие минимальное значение тока $I_{2к.з}$ в устройстве при двухфазном коротком замыкании на землю, могут быть установлены с помощью выражения (при $z_{1\Sigma} = z_{2\Sigma}$)

$$I^{(1,1)}_{2к.з} = \frac{E_ф k_т}{\left(\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}} + 2\right) z_{1\Sigma}} \qquad (49)$$

в котором $E_ф$ — фазная э. д. с. системы;

$k_т$ — коэффициент токораспределения для токов обратной последовательности, равный отношению тока в рассматриваемой защите к току в месте повреждения;

$z_{1\Sigma}$ и $z_{0\Sigma}$ — результирующие сопротивления соответственно прямой (обратной) и нулевой последовательностей относительно места повреждения.

При использовании тока $3I_0$ в устройстве расчетные режимы для определения минимальных значений токов обратной $I_{2к.з}$ и нулевой $3I_{0к.з}$ последовательностей в защите при двухфазном замыкании на землю противоречивы, а потому следует производить расчеты чувствительности для основных реальных режимов работы сети.

6. Значение тормозного тока $I_{торм.к.з}$ при расчете чувствительности устройства блокировки определяется в тех же расчетных режимах, что и минимальные значения токов обратной $I_{2к.з}$ и нулевой $3I_{0к.з}$ последовательностей в защите, и принимается равным максимальному току в одной из поврежденных фаз.

При неучете нагрузки значение тормозного тока может быть получено через токи отдельных последовательностей в месте установки защиты:

для короткого замыкания между двумя фазами (при $z_{1\Sigma} \approx z_{2\Sigma}$)

$$I^{(2)}_{торм.к.з} = \sqrt{3}\, I^{(2)}_{2к.з}; \qquad (50)$$

для двухфазного короткого замыкания на землю (через токи всех трех последовательностей)

$$I^{(1,1)}_{\text{торм.к.з}} = \sqrt{\left[\frac{1}{2}\left(I^{(1,1)}_{1\text{к.з}} - I^{(1,1)}_{2\text{к.з}}\right) + I^{(1,1)}_{0\text{к.з}}\right]^2 + \cdots \rightarrow} \overleftarrow{\cdots + \frac{3}{4}\left(I^{(1,1)}_{1\text{к.з}} + I^{(1,1)}_{2\text{к.з}}\right)^2} \qquad (51)$$

или только через токи обратной и нулевой последовательностей (при $z_{1\Sigma} = z_{2\Sigma}$)

$$I^{(1,1)}_{\text{торм.к.з}} = \sqrt{3\left(I^{(1,1)}_{2\text{к.з}} + \frac{1}{2}\frac{k_{\text{т}}}{k_{\text{т0}}} I^{(1,1)}_{0\text{к.з}}\right)^2 + \cdots \rightarrow} \overleftarrow{\cdots + \left[\left(\frac{1}{2}\frac{k_{\text{т}}}{k_{\text{т0}}} + 1\right) \cdot I^{(1,1)}_{0\text{к.з}}\right]^2}, \qquad (52)$$

где $k_{\text{т}}$ и $k_{\text{т0}}$ — коэффициенты распределения токов прямой (обратной) и нулевой последовательностей, равные отношению тока в рассматриваемой защите к току в месте повреждения.

Учитывая, что, как указано в п. 5, расчетным при проверке чувствительности является минимальное отношение тока в рабочей обмотке реле к току в тормозной его обмотке, тормозной ток при токах нагрузки, соизмеримых с токами короткого замыкания, следует определять с учетом нагрузки.

7. Расчет чувствительности устройства при двухфазном замыкании на землю в случае, когда в устройстве используется ток $3I_0$, производится исходя из значения эквивалентного тока обратной последовательности $I_{2\text{экв.к.з}}$ в следующем порядке:

а) для заданных уставок устройства $I_{2\text{уст}}$ и $3I_{0\text{уст}}$ и конкретных значений токов в защите $I_{2\text{к.з}}$ и $3I_{0\text{к.з}}$ по кривым чувствительности на рис. 52 определяется отношение

$$\frac{I_{\text{р}}}{I_{\text{с.р}}};$$

б) по (48) определяется эквивалентный минимальный ток обратной последовательности в защите $I_{2\text{экв.к.з}}$;

в) для тока $I_{2\text{экв.к.з}}$ и тормозного тока $I_{\text{торм.к.з}}$, определяемого в соответствии с п. 6, на плоскость ($I_{2\text{с.р}}$, $I_{\text{торм}}$) рис. 50,*в* наносится точка A, которая соединяется с началом координат;

г) определяется коэффициент чувствительности $k''_{\text{ч}} = \frac{AB}{\Gamma Д}$ и коэффициент чувствительности $k'_{\text{ч}} = \frac{AB}{БВ}$.

8. Расчет чувствительности устройства может быть произведен также и аналитически с помощью расчетных выражений, выведенных на основании рис. 54.

На плоскость ($I_{2\text{с.р}}$, $I_{\text{торм}}$) указанного рисунка нанесена точка A, соответствующая минимальному току $I_{2\text{к.з}}$ и тормозному току $I_{\text{торм.к.з}}$ в защите, определенным при металлическом коротком замыкании в расчетных по чувствительности условиях, и характеристика срабатывания устройства — прямая I, которая удовлетворяет (34). Прямой II, соединяющей точку A с началом координат, соответствует уравнение

$$I_2 = \operatorname{tg}\alpha I_{\text{торм}}, \qquad (53)$$

где

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{AB}{OB} = \frac{I_{2\text{к.з}}}{I_{\text{торм.к.з}}}. \qquad (54)$$

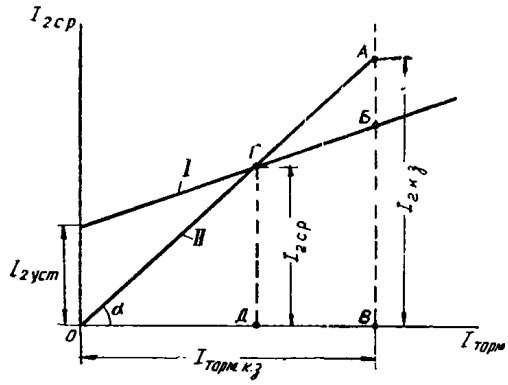


Рис. 54. Проверка чувствительности устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122.

Решая совместно (34) и (53) с учетом (54) для коэффициента чувствительности $k_{\text{ч}}$ можно получить

$$k_{\text{ч}} = \frac{AB}{\Gamma Д} = \frac{I_{2\text{к.з}} - k_{\text{торм}} I_{\text{торм.к.з}}}{I_{2\text{уст}}}, \qquad (55)$$

где $I_{2\text{к.з}}$ и $I_{\text{торм.к.з}}$ — минимальный ток обратной последовательности и соответствующий ему тормозной ток в защите в расчетных по чувствительности условиях;

$I_{2\text{уст}}$, $k_{\text{торм}}$ — уставки устройства соответственно по току обратной последовательности и коэффициенту торможения.

Исходя из рис. 54, можно получить также следующее выражение для коэффициента чувствительности $k'_{\text{ч}}$:

$$k'_{\text{ч}} = \frac{AB}{БВ} = \frac{I_{2\text{к.з}}}{k_{\text{торм}} I_{\text{торм.к.з}} + I_{2\text{уст}}}. \qquad (56)$$

Выражения (55) и (56) могут использоваться для определения чувствительности при замыкании между двумя фазами, а также при двухфазном замыкании на землю в случае, когда в устройстве не используется ток $3I_0$.

Расчет чувствительности устройства при двухфазном замыкании на землю в случае, когда в устройстве используется ток $3I_0$, производится по выражениям, составленным аналогично выражениям (55) и (56):

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2\text{экв.к.з}} - k_{\text{торм}} I_{\text{торм.к.з}}}{I_{2\text{уст}}}, \qquad (57)$$

$$k'_{\text{ч}} = \frac{I_{2\text{экв.к.з}}}{k_{\text{торм}} I_{\text{торм.к.з}} + I_{2\text{уст}}}, \qquad (58)$$

где $I_{2\text{экв.к.з}}$ — эквивалентный ток обратной последовательности в защите в расчетных по чувствительности условиях; определяется по (48), исходя из кривых чувствительности рис. 52 для принятых уставок $I_{2\text{уст}}$ и $3I_{0\text{уст}}$.

9. Дополнительно следует отметить, что для передачи, на которой предусмотрено несинхронное АПВ, в случае выполнения возврата устройства блокировки в исходное положение с заданной выдержкой времени желательно обеспечение требований чувствительности устрой-

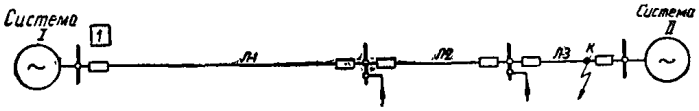


Рис. 55. Пример схемы сети с двусторонним питанием для расчета уставок устройства блокировки при качаниях.

ства блокировки при качаниях при внешнем коротком замыкании любого вида на элементе передачи, отключение которого может привести к несинхронному АПВ.

Указанное целесообразно для обеспечения недействия блокируемых при качаниях ступеней дистанционной защиты неповрежденного участка в случае, если после успешного АПВ центр качаний окажется расположенным в зоне действия этих ступеней, а устройство блокировки при качаниях сработает в результате появления кратковременной несимметрии в момент включения линии от АПВ.

Так, например, при коротком замыкании любого вида на элементах передачи по рис. 55 (в точке *К*) в результате отключения участка *Л-3* и последующего несинхронного АПВ, возможно срабатывание защиты *1*, если центр качаний окажется в зоне тех ее ступеней, которые блокируются при качаниях, а блокировка при качаниях защиты *1* не пришла в действие в момент короткого замыкания, но сработала за счет кратковременной несимметрии при несинхронном АПВ.

При расчете чувствительности устройства блокировки в рассматриваемом случае в дополнение к указанному в пп. 1—8 необходимо учитывать следующее:

а) В качестве расчетных должны рассматриваться следующие виды короткого замыкания (при $z_{1\Sigma}=z_{2\Sigma}$):

при неиспользовании тока $3I_0$ в устройстве—двухфазное замыкание на землю при $\frac{z_{0\Sigma}}{z_{1\Sigma}}<1$ и однофазное замыкание на землю при $\frac{z_{0\Sigma}}{z_{1\Sigma}}>1$;

при использовании тока $3I_0$ в устройстве блокировки — все виды несимметричных коротких замыканий; при этом условия, определяющие минимальные значения токов обратной последовательности, могут быть выявлены для двухфазного замыкания на землю по (49), а для однофазного замыкания на землю — по выражению (при $z_{1\Sigma}=z_{2\Sigma}$)

$$I^{(1)}_{2\text{к.з}}=\frac{E_\Phi k_\text{т}}{\left(\frac{z_{0\Sigma}}{z_{1\Sigma}}+2\right)z_{1\Sigma}}. \qquad (59)$$

б) Значение тормозного тока в защите для проверки чувствительности устройства при однофазном замыкании на землю может быть определено по выражению

$$I_{\text{торм.к.з}}=2I^{(1)}_{2\text{к.з}}+I^{(1)}_{0\text{к.з}}. \qquad (60$$

10. Следует отметить, что в случае, когда требование чувствительности, рассмотренное в п. 9, не обеспечивается, неправильное срабатывание защиты может быть предотвращено, если устройство блокировки будет отстроено от токов несимметричного режима, возникающего за счет неодновременного включения фаз выключателя при несинхронном АПВ.

Однако в большинстве случаев такая отстройка может привести к недопустимому загрублению защиты. С другой стороны, возможное неправильное срабатывание защиты может быть в ряде случаев исправлено успешным АПВ.

V. Примеры выбора уставок и проверки чувствительности устройства

Пример 1. Ток $3I_0$ в устройстве не используется.

1. Исходные данные.

Приняты следующие вторичные токи в цепях защиты:

а) в расчетном нагрузочном режиме

$$I_{\Phi A}=I_{\text{торм}}=2{,}0\ a,\ I_{\Phi B}=I_{\Phi C}=3{,}8\ a,$$

$$I_{2\text{н.р.нагр}}=0{,}6\ a;$$

б) в режиме качаний

$$I_{2\text{н.р.кач}}=0{,}6\ a,\ I_{\Phi A}\approx I_{\Phi B}\approx I_{\Phi C}=20\ a.$$

в) при двухфазном замыкании на землю в расчетной по чувствительности точке (в конце зоны резервирования) ток обратной последовательности в рассматриваемой защите $I^{(1,1)}_{2\text{к.з}}=2{,}2\ a$ при наибольшем токе в фазе (с учетом нагрузки) $I^{(1,1)}_{\Phi}=I_{\text{торм}}=6\ a$.

2. Расчет селективности и проверка чувствительности.

В связи с тем, что при исходных данных рассматриваемого примера не могут быть использованы реко-

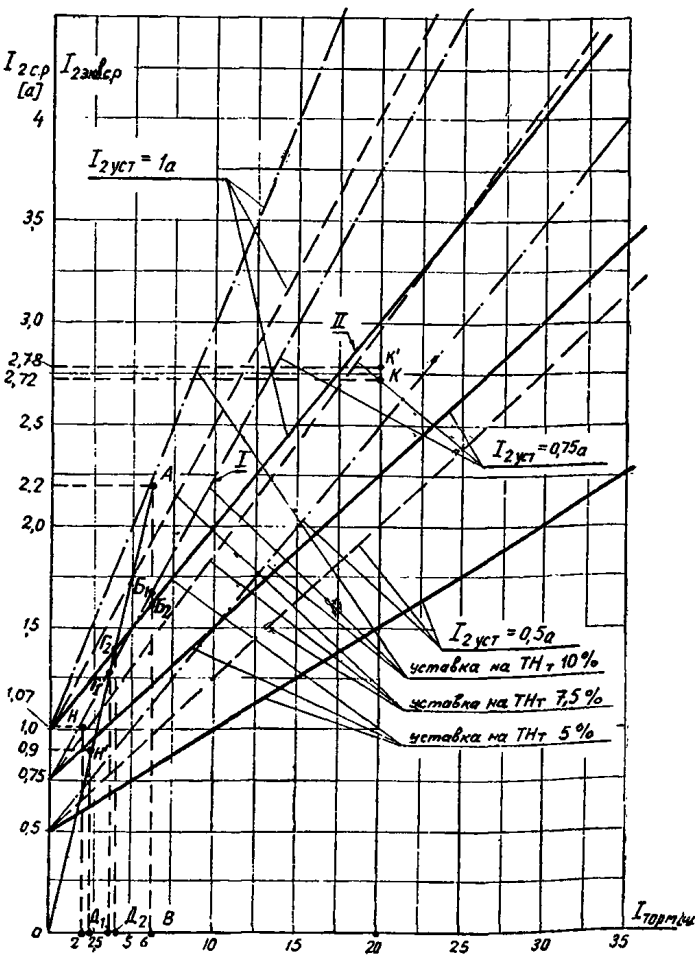


Рис. 56. К примеру расчета устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122.

Таблица 20

Расчет устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 в случае, когда ток $3I_0$ в устройстве не используется

№ п/п.	Расчетные величины	Метод определения	Числовое значение при принятых вариантах уставок	
			I вариант	II вариант
1	Ток срабатывания, определяемый по условию отстройки от режима качаний $I_{2\text{с.р.кач}}$	По (37) и (38)	$I_{2\text{с.р.кач}}=1{,}2\left[(0{,}063+0{,}005\frac{20}{5})\,20+0{,}6\right]=2{,}72$ а (точка K на рис. 56)	
2	Ток срабатывания, определяемый по условию отстройки от режима нагрузки $I_{2\text{с.р.нагр}}$	По (35) и (36)	$I_{2\text{с.р.нагр}}=\frac{1{,}2}{0{,}8}(0{,}03\cdot 3{,}8+0{,}6)=1{,}07$ а (точка H на рис. 56)	
3	Принятые варианты уставок $I_{2\text{уст}}$ и $k_{\text{торм}}$	Рисунок 56 с учетом табл. 17	$I_{2\text{уст}}=0{,}75$ а, $k_{\text{торм}}=0{,}15$	$I_{2\text{уст}}=1$ а, $k_{\text{торм}}=0{,}1$
4	Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ при двухфазном замыкании на землю	Графический по рис. 56	$k_{\text{ч}}=\frac{AB}{\Gamma_1 Д_1}=\frac{2{,}2}{1{,}27}=1{,}73$	$k_{\text{ч}}=\frac{AB}{\Gamma_2 Д_2}=\frac{2{,}2}{1{,}37}=1{,}6$
5		Аналитический по (55)	$k_{\text{ч}}=\frac{2{,}2-0{,}15\cdot 6}{0{,}75}=1{,}73$	$k_{\text{ч}}=\frac{2{,}2-0{,}1\cdot 6}{1}=1{,}6$
6	Коэффициент чувствительности $k'_{\text{ч}}$ при двухфазном замыкании на землю	Графический по рис. 56	$k'_{\text{ч}}=\frac{AB}{Б_1 В}=\frac{2{,}2}{1{,}66}=1{,}33$	$k'_{\text{ч}}=\frac{AB}{Б_2 B}=\frac{2{,}2}{1{,}61}=1{,}37$
7		Аналитический по (56)	$k'_{\text{ч}}=\frac{2{,}2}{0{,}15\cdot 6+0{,}75}=1{,}33$	$k'_{\text{ч}}=\frac{2{,}2}{0{,}1\cdot 6+1}=1{,}37$
8	Окончательно принятые уставки			$I_{2\text{уст}}=0{,}75$ а, $k_{\text{торм}}=0{,}15$ (уставка на $TH_{\text{т}}$ 10%)

мендации по упрощенному расчету (§ II, п. 3), ниже расчет производится в полном объеме.

Расчет селективности производится с помощью (35а) и (37а) и характеристик срабатывания устройства, приведенных на рис. 56. Результаты расчета сведены в табл. 20.

Для полученных в табл. 20 пп. 1 и 2 значений $I_{\text{с.р.кач}}$ и $I_{\text{с.р.нагр}}$ и соответствующих им значений тормозных токов $I_{\text{торм}}$ на график рис. 56 наносятся точки K и H.

Как видно из указанного рисунка, наиболее близко по отношению к точкам K и H (по сравнению с остальными прямыми, проходящими выше этих точек) проходят прямая I, которой соответствуют уставки $I_{2\text{уст}}=0{,}75$ а и $k_{\text{торм}}=0{,}15$ (вариант I), и прямая II, которой соответствуют уставки $I_{2\text{уст}}=1{,}0$ а и $k_{\text{торм}}=0{,}1$ (вариант II) (уставки $k_{\text{торм}}$ получены с помощью табл. 17).

Оптимальный вариант уставок выясняется в результате проверки чувствительности при двухфазном замыкании на землю. Проверка чувствительности устройства проводится для сравнения двумя способами — графическим (по рис. 56) и аналитическим — по (55) и (56). На основании этих расчетов, приведенных также в табл. 20, приняты уставки, соответствующие варианту I, как обеспечивающие чувствительность по основному условию (55) большую, чем по варианту II.

Проверка чувствительности для случая короткого замыкания в конце защищаемого участка производится аналогично.

Следует отметить, что при заданных в примере исходных значениях величин расчет без учета нагрузочного режима приводит к неправильным результатам. Действительно, при расчете только по режиму качаний могут быть выбраны уставки, соответствующие прямой $I_{2\text{уст}}=0{,}75$ а, $k_{\text{торм}}=0{,}112$, которые не удовлетворяют условию отстройки от нагрузочного режима.

Пример 2. Ток $3I_0$ используется в устройстве.

1. Исходные данные.

Приняты следующие вторичные токи в цепях защиты:

а) в расчетном нагрузочном режиме

$$I_{\Phi A}=I_{\text{торм}}=2{,}5\ а,\ I_{\Phi B}=I_{\Phi C}=3{,}5\ а,$$

$$I_{2\text{н.р.нагр}}=0{,}5\ а,\ 3I_{0\text{н.р.нагр}}=0{,}3\ а;$$

б) в режиме качаний

$$I_{2\text{н.р.кач}}=0{,}5\ а,\ 3I_{0\text{н.р.кач}}=0{,}3\ а,$$

$$I_{\Phi A}\approx I_{\Phi B}\approx I_{\Phi C}=20\ а;$$

в) при двухфазном замыкании на землю в расчетной по чувствительности точке (в конце зоны резервирования)

$$I^{(1,1)}_{2к.з}=1{,}5\ a,\quad 3I^{(1,1)}_{0к.з}=1{,}6\ a,$$

$$I^{(1,1)}_{ф}=I_{торм}=6\ a\ \text{(с учетом нагрузки)}.$$

При замыкании между двумя фазами в расчетной по чувствительности точке (в конце зоны резервирования)

$$I^{(2)}_{2к.з}=2\ a,\quad I^{(2)}_{ф}=I_{торм}=5\ a\ \text{(с учетом нагрузки)}.$$

2. На основании расчетов, проведенных аналогично примеру 1 (при неиспользовании тока $3I_0$), получены уставки $I_{2уст}=0{,}75$ и $k_{торм}=0{,}112$; при этом чувствительность к двухфазным замыканиям на землю $k_ч=1{,}1$, $k'_ч=1{,}05$. Поэтому в устройстве блокировки используется тока $3I_0$. С целью предварительного определения уставки $3I_{0уст}$, необходимой для расчета селективности, производится проверка чувствительности при двухфазном замыкании на землю. В рассматриваемом случае целесообразно проверить возможность использования наибольшей уставки $3I_{0уст}$.

Для $I_{2уст}=0{,}75\ a$, $I^{(1,1)}_{2к.з}=1{,}5\ a$, $3I^{(1,1)}_{0к.з}=1{,}6\ a$ и $3I_{0уст}=2\ a$, по кривой чувствительности определяется отношение $\frac{I_р}{I_{с.р}}=2{,}05$ (рис. 57,*а*), откуда по (48)

$$I_{2экв.к.з}=2{,}05\cdot 0{,}75=1{,}54\ a,$$

а по (57) и (58)

$$k_ч=\frac{1{,}54-0{,}112\cdot 6}{0{,}75}\approx 1{,}15,$$

$$k'_ч=\frac{1{,}54}{0{,}112\cdot 6+0{,}75}\approx 1{,}08.$$

Поскольку устройство блокировки при принятых уставках не удовлетворяет требованиям чувствительности, принимаем $3I_{0уст}=1{,}5\ a$. При этом отношение $\frac{I_р}{I_{с.р}}=2{,}25$ (рис. 57,*б*):

$$I_{2экв.к.з}=2{,}25\cdot 0{,}75=1{,}69\ a;$$

$$k_ч=\frac{1{,}69-0{,}112\cdot 6}{0{,}75}=1{,}36>1{,}2;$$

$$k'_ч=\frac{1{,}69}{0{,}112\cdot 6+0{,}75}=1{,}19>1{,}1.$$

Таким образом, при принятой уставке $3I_{0уст}=1{,}5\ a$ устройство удовлетворяет требованиям чувствительности.

3. Расчет селективности.

Для режима качаний по (38а)

$$I_{2расч.кач}=\left(0{,}063+0{,}005\frac{20}{5}\right)\cdot 20+0{,}5=2{,}16\ a,$$

по (45) с учетом (47)

$$3I_{0расч.кач}=0{,}05\cdot 20+0{,}3=1{,}3\ a.$$

По кривым чувствительности устройства для $I_{2уст}=0{,}75\ a$ и $3I_{0уст}=1{,}5\ a$ (рис. 57,*б*) при $I_{2расч.кач}=2{,}16\ a$ и $3I_{0расч.кач}=1{,}3\ a$ получим:

$$\frac{I_р}{I_{с.р}}=3{,}1.$$

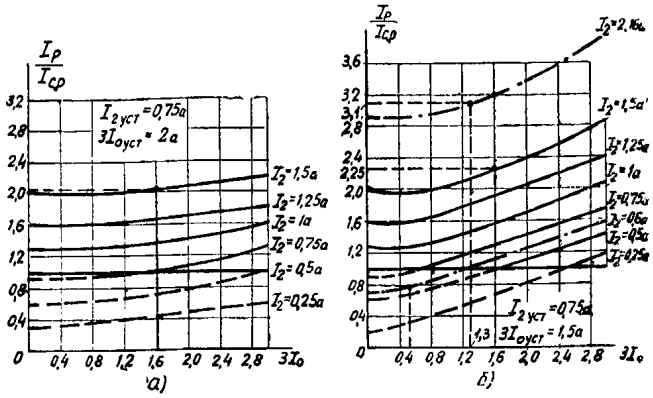


Рис. 57. Характеристики чувствительности пускового органа блокировки при качаниях типа КРБ-122.

По (48)

$$I_{2экв.кач}=3{,}1\cdot 0{,}75=2{,}32\ a;$$

по (44)

$$I_{с.р.кач}=1{,}2\cdot 2{,}32=2{,}78\ a.$$

Для $I_{с.р.кач}=2{,}78\ a$ и $I_{торм}=20\ a$ определяется положение точки K' на графике рис. 56. Указанная точка лежит ниже прямой для $I_{2уст}=0{,}75\ a$, $k=_{торм}=0{,}112$, т. е. условие селективности обеспечивается.

Для расчетного режима нагрузки по (36а)

$$I_{2расч.нагр}=0{,}03\cdot 3{,}5+0{,}5=0{,}605\ a;$$

по (45) с учетом (46)

$$3I_{0расч.нагр}=0{,}05\cdot 3{,}5+0{,}3=0{,}475\ a.$$

По кривым чувствительности устройства для $I_{2уст}=0{,}75$ и $3I_{0уст}=1{,}5$ (рис. 57,*б*) при $I_{2расч.нагр}=0{,}605\ a$ и $3I_{0расч.нагр}=0{,}475\ a$ определяется отношение

$$\frac{I_{ф}}{I_{с.р}}=0{,}8,\ \text{откуда по (48)}$$

$$I_{2экв.нагр}=0{,}8\cdot 0{,}75=0{,}6\ a.$$

По (43)

$$I_{с.р.нагр}=\frac{1{,}2}{0{,}8}\cdot 0{,}6=0{,}9\ a.$$

Для $I_{с.р.нагр}=0{,}9\ a$, $I_{торм}=2{,}5\ a$ определяется положение точки H' на графике рис. 56. Указанная точка лежит ниже прямой для $I_{2уст}=0{,}75\ a$, $k_{торм}=0{,}112$, т. е. условие селективности обеспечивается.

4. Проверка чувствительности.

Поскольку окончательно принятые уставки соответствуют принятым при предварительном расчете чувствительности устройства при двухфазном замыкании на землю, то полученные в предварительном расчете значения $k_ч$ и $k'_ч$ при этом виде повреждения сохраняются (п. 2).

Дополнительно проверяется чувствительность при замыкании между двумя фазами по (55) и (56):

$$k_ч=\frac{2-0{,}112\cdot 5}{0{,}75}=1{,}92>1{,}2;$$

$$k'_ч=\frac{2}{0{,}112\cdot 5+0{,}75}=1{,}53>1{,}1.$$

Устройство удовлетворяет требованиям чувствительности.

Проверка чувствительности для случая короткого замыкания в конце защищаемого участка производится аналогично.

3. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ ТИПА КРБ-121 (КРБ-123)

Ниже приводится расчет устройства блокировки при качаниях, реагирующего на $|\dot{U}_2|+|k\dot{I}_0|$ применительно к устройству блокировки типа КРБ-121.

Расчет устройства блокировки типа КРБ-123 производится аналогично.

Расчет имеет целью определение уставок устройства по фазному напряжению обратной последовательности $U_{2уст}$ и по утроенному току нулевой последовательности $3I_{0уст}$, а также проверку чувствительности.

Рассматриваемое устройство блокировки имеет следующие уставки:

по фазному напряжению обратной последовательности ($U_{2уст}$) 2,0; 3,0; 4,0 *в*, по утроенному току нулевой последовательности ($3I_{0уст}$) 1,0; 1,5; 2,0 *а* — для исполнения на номинальный ток 5 *а*, и 0,2; 0,3; 0,4 *а* — для исполнения на номинальный ток 1 *а*.

Учитывая отличия расчетов для случаев использования и неиспользования в устройстве тока $3I_0$ ниже выбор уставок и проверка чувствительности устройства блокировки рассматриваются отдельно для каждого случая. Расчет приведен во вторичных величинах.

I. Выбор уставок устройства блокировки, когда ток $3I_0$ не используется в устройстве

Напряжение срабатывания устройства выбирается по условию отстройки от максимального напряжения обратной последовательности в нагрузочном режиме

$$U_{2с.р} \geqslant \frac{k_н}{k_в} U_{2расч}, \qquad (61)$$

где

$$U_{2расч} = U_{2нб} + U_{2нр}; \qquad (62)$$

в (61) и (62):

$U_{2нб}$ — напряжение небаланса фильтра напряжения обратной последовательности в режиме нагрузки;

$U_{2н.р}$ — напряжение обратной последовательности, обусловленное несимметрией в системе в режиме нагрузки;

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

$k_в$ — коэффициент возврата, ориентировочно может быть принят равным 0,8.

Следует отметить, что условие отстройки от режима качаний в целях упрощения не рассматривается в предположении, что значения $U_{2нб}$ и $U_{2н.р}$ в указанном режиме не превышают таковых в режиме нагрузки.

Значение $U_{2нб}$ зависит от конструктивного выполнения фильтра, возможных отклонений частоты сети от номинального ее значения, наличия высших гармонических в кривой напряжения, а также от падения напряжения в соединительных проводах цепей напряжения от тока нагрузки трансформатора напряжения. Поэтому точный расчет $U_{2нб}$ является затруднительным.

На основании данных опыта эксплуатации при $U_{2н.р}=0$ (т. е. при отсутствии несимметрии в системе) напряжение срабатывания 2—4 *в*, которое можно установить в устройстве КРБ-121, обычно удовлетворяет требованиям отстройки от $U_{2нб}$.

II. Выбор уставок устройства блокировки, когда ток $3I_0$ используется в устройстве

Выполнение устройства блокировки с использованием тока $3I_0$, т. е. с комбинированным пуском по $|\dot{U}_2|+|k\dot{I}_0|$, предназначено для повышения чувствительности устройства блокировки к двухфазным замыканиям на землю и должно применяться в случаях, если на основании расчета устройства без использования тока $3I_0$ выявилась его недостаточная чувствительность к указанным повреждениям.

Однако использование тока $3I_0$ в устройстве может привести к увеличению уставки $U_{2уст}$ по сравнению со случаем неиспользования тока $3I_0$, а значит, и к снижению чувствительности при замыканиях между двумя фазами. Указанное увеличение уставки $U_{2уст}$ может оказаться необходимым для отстройки устройства от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока защиты в режиме качаний.

Выбор уставок устройства в рассматриваемом случае производится исходя из режима качаний по выражению

$$I_{с.р} \geqslant \frac{k_п}{k_в} I_{р.расч}, \qquad (63)$$

где $I_{с.р}$ — ток срабатывания поляризованного реле, реагирующего на выпрямленные значения напряжения обратной последовательности и утроенного тока нулевой последовательности;

$I_{р.расч}$ — ток в реле, соответствующий сумме выпрямленных значений максимального напряжения обратной последовательности $U_{2расч}$ и максимального утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0расч}$, от которых устройство должно быть отстроено.

Отношение $\frac{k_н}{k_в}$ в (63) может быть принято приближенно равным $\frac{k_н}{k_в} \approx \frac{1}{0,7}$. С учетом этого выбор уставок устройства блокировки может быть произведен по отношению

$$\frac{I_{р.расч}}{I_{с.р}} \leqslant 0,7. \qquad (64)$$

На рис. 58 приведены кривые чувствительности, заимствованные из информации завода на устройство блокировки при качаниях типа КРБ-121 (информация ОБК 469035.03, март 1959 г.) и дающие кратности тока $\frac{I_р}{I_{с.р}}$ в поляризованном реле устройства блокировки в зависимости от $3I_0$ и U_2 при заданных уставках $U_{2уст}$ и $3I_{0уст}$. С помощью этих кривых для исходных значений $U_{2расч}$ и $3I_{0расч}$, определяемых в режиме качаний, соответственно по (62) и (45), подбираются значения уставок $U_{2уст}$ и $3I_{0уст}$, при которых отношение $\frac{I_р}{I_{с.р}} = \frac{I_{р.расч}}{I_{с.р}}$ равно или несколько меньше 0,7.

III. Расчет чувствительности устройства

1. При применении устройства блокировки типа КРБ-121 в качестве блокировки при качаниях защиты типа ПЗ-157 или модернизированной типовой панели трехступенчатой дистанционной защиты типа ПЗ-159Б, чувствительность этого устройства должна проверяться при коротких замыканиях в следующих точках:

а) при блокировании только первой ступени защиты — при несимметричном коротком замыкании в конце защищаемой зоны первой ступени; в целях упрощения

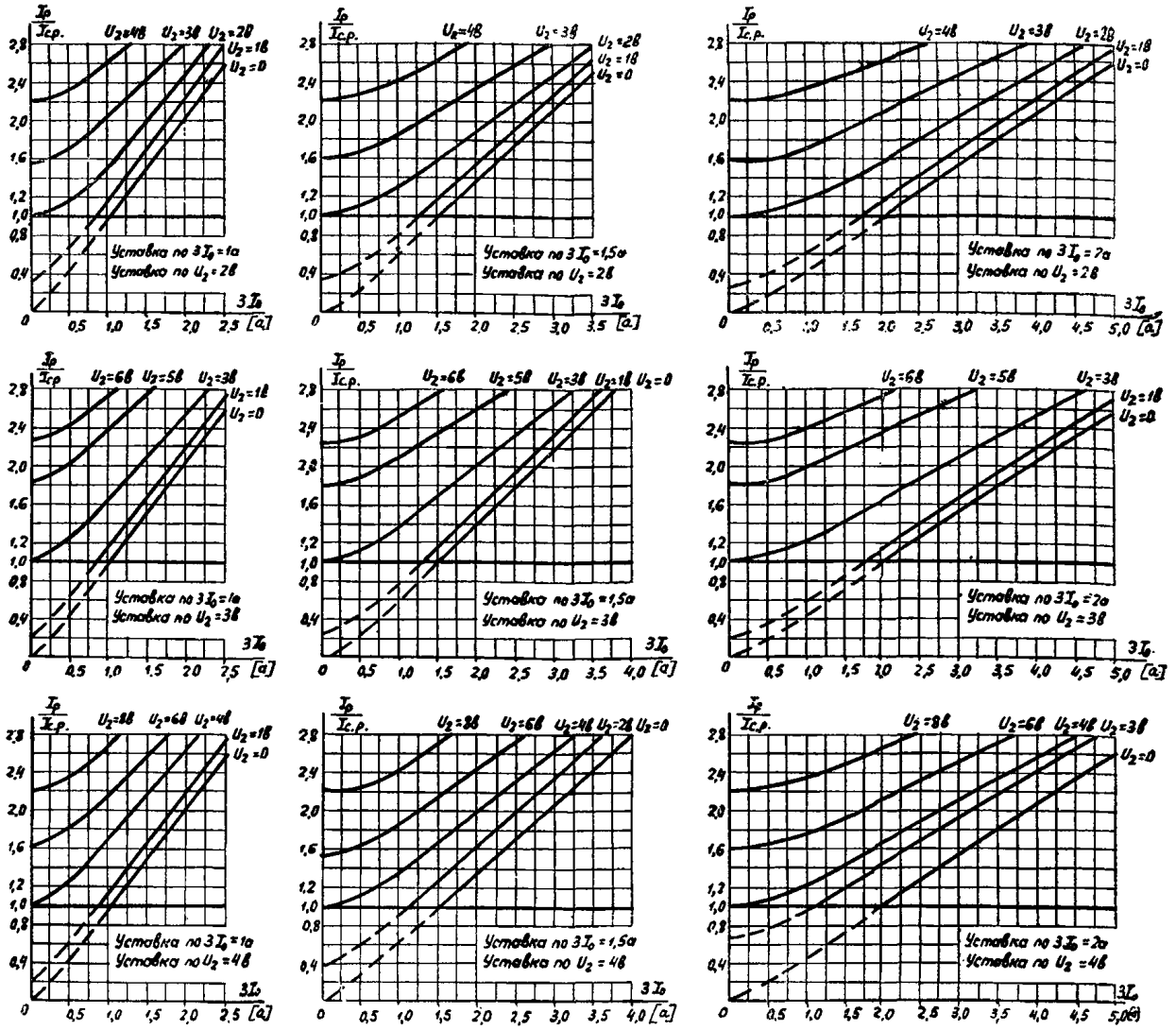


Рис. 58. Характеристики чувствительности пускового органа устройства блокировки при качаниях типа КРБ-121.

$I_р$ — ток в обмотке реле $РН$; $I_{с.р}$ — ток срабатывания реле $РН$; $3I_0$ — утроенный ток нулевой последовательности; U_2 — фазное напряжение обратной последовательности. Уставки по $3I_0$ и значения токов $3I_0$ даны для исполнения устройства на номинальный ток 5 *а*.

в этом случае целесообразно рассматривать короткое замыкание в конце защищаемого участка;

б) при блокировании первой и второй ступеней защиты (или только второй ступени) — при несимметричном коротком замыкании в конце защищаемого участка.

В обоих случаях коэффициент чувствительности должен быть $k_ч \geqslant 1{,}5$ (см. также разд. ж, § 4, п. 3).

2. В случаях, когда ток $3I_0$ не используется в устройстве, т. е. пуск его осуществляется только по $|\dot{U}_2|$, коэффициент чувствительности устройства может быть определен по выражению

$$k_ч \approx \frac{U_{2к.з}}{U_{2уст}}, \qquad (65)$$

где $U_{2к.з}$ — минимальное значение напряжения обратной последовательности в месте установки защиты в расчетных по чувствительности условиях;

$U_{2уст}$ — принятая уставка устройства по напряжению обратной последовательности.

В рассматриваемом случае расчет чувствительности производится при двухфазном замыкании на землю.

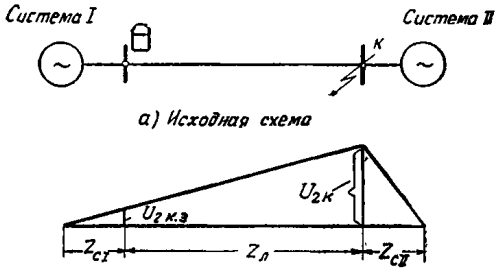
В качестве расчетного для проверки чувствительности режима работы сети должен быть принят такой режим, при котором остаточное напряжение обратной последовательности в месте установки защиты $U_{2к.з}$ наименьшее.

Указанный режим для одиночной линии с двусторонним питанием при $z_{1\Sigma} = z_{2\Sigma}$ характеризуется, как правило, следующими условиями (рис. 59):

для системы I — максимальным значением отношения $z_{1л}/z_{1сI}$, что соответствует максимальному режиму работы системы I;

для системы II — максимальным значением отношения $z_{1сII}/z_{0сII}$ (для обеспечения максимального значения $z_{1\Sigma}/z_{0\Sigma}$).

3. В случаях, когда ток $3I_0$ используется в устройстве, т. е. пуск его осуществляется по $|\dot{U}_2| + |k\dot{I}_0|$, расчет чувствительности производится как при двухфазном



При $Z_{1\Sigma} = Z_{2\Sigma}$

$$U_{2K} = \frac{E_\Phi Z_{0\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + 2Z_{0\Sigma}} = \frac{E_\Phi}{2 + \frac{Z_{1\Sigma}}{Z_{0\Sigma}}}$$

$$U_{2к.з} = U_{2K} \frac{Z_{1cI}}{Z_{1cI} + Z_{1л}} = U_{2K} \frac{1}{1 + \frac{Z_{1л}}{Z_{1cI}}} =$$

$$= \frac{E_\Phi}{\left(2 + \frac{Z_{1\Sigma}}{Z_{0\Sigma}}\right)\left(1 + \frac{Z_{1л}}{Z_{1cI}}\right)}$$

где $Z_{1\Sigma}$ и $Z_{0\Sigma}$ — результирующее сопротивление по отношению к месту короткого замыкания соответственно в схеме замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей.

б) Напряжение в месте установки защиты

Рис. 59. Вывод выражения для напряжения обратной последовательности в месте установки защиты при двухфазном замыкании на землю.

замыкании на землю, так и при замыкании между двумя фазами.

Указанное объясняется тем, что хотя при замыкании между двумя фазами напряжение обратной последовательности больше, чем при двухфазном замыкании на землю, однако в последнем случае чувствительность устройства повышается из-за появления тока нулевой последовательности.

Для случая замыкания между двумя фазами расчетным, т. е. соответствующим минимальному значению напряжения обратной последовательности в месте установки защиты $U_{2к.з}$, является максимальный режим работы системы, примыкающей к месту установки рассматриваемой защиты (системы I на рис. 59).

Для случая двухфазного замыкания на землю расчетные режимы для определения $U_{2к.з}$ и $3I_{0к.з}$ противоречивы, а потому следует производить расчеты чувствительности для основных реальных режимов работы сети.

Определение коэффициента чувствительности устройства блокировки при двухфазном замыкании на землю производится для минимальных значений $U_{2к.з}$ и $3I_{0к.з}$ и принятых уставок $U_{2к.з}$ и $3I_{0уст}$ по кривым чувствительности рис. 58.

4. Дополнительно следует отметить, что для передачи, на которой предусмотрено несинхронное АПВ, в случае выполнения возврата устройства блокировки в исходное положение с заданной выдержкой времени желательно обеспечение требований чувствительности устройства блокировки при качаниях при внешнем коротком замыкании любого вида на элементе передачи, отключение которого может привести к несинхронному АПВ (разд. Ж, § IV, п. 9).

При этом для случая неиспользования тока $3I_0$ в устройстве блокировки расчетным для проверки чувствительности видом повреждения является:

двухфазное замыкание на землю

при $\frac{z_{0\Sigma}}{z_{1\Sigma}} < 1$;

однофазное замыкание на землю

при $\frac{z_{0\Sigma}}{z_{1\Sigma}} > 1$.

При выборе расчетных для проверки чувствительности режимов следует учитывать, что эти режимы характеризуются, как правило, следующими условиями (полученными для схемы по рис. 55 по аналогии с приведенными на рис. 59):

при двухфазном замыкании на землю — минимальным значением отношения $\frac{k_т}{z_{1\Sigma}/z_{1cI}}$ при максимальном значении отношения $\frac{z_{1cII}}{z_{0cII}}$, соответствующем максимальному значению $\frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}$ ($k_т$ — коэффициент токораспределения для токов обратной последовательности, равный отношению тока в защите *I* к току в месте повреждения, z_{cI} и z_{cII} — сопротивления систем *I* и *II* на рис. 55);

при однофазном замыкании на землю — минимальным значением отношения $\frac{k_т}{z_{1\Sigma}/z_{1cI}}$ при минимальном значении отношения $\frac{z_{1cII}}{z_{0cII}}$ $\left(\text{и } \frac{z_{1\Sigma}}{z_{0\Sigma}}\right)$.

Для случая использования тока $3I_0$ в устройстве блокировки следует рассматривать в качестве расчетных как замыкание между двумя фазами, так и двухфазное и однофазное замыкания на землю.

Расчеты чувствительности следует производить для основных реальных режимов работы сети.

5. В случае, когда требование чувствительности, рассмотренное в п. 4, не обеспечивается, неправильное действие защиты может быть предотвращено, если устройство блокировки будет отстроено от напряжений и токов несимметричного режима, возникающего за счет неодновременного включения фаз выключателя при несинхронном АПВ.

Следует отметить, что так же как и для устройства блокировки типа КРБ-122, отстройка устройства блокировки типа КРБ-121 от режиме несинхронного включения в ряде случаев является затруднительной. С другой стороны, возможное неправильное действие защиты может быть в ряде случаев исправлено успешным АПВ.

6. Следует отметить, что при малых сопротивлениях обратной последовательности системы, примыкающей к месту установки защиты, рассмотренное устройство блокировки при качаниях типа КРБ-121 применять менее целесообразно, чем устройство блокировки типа КРБ-122, которое в этих случаях может оказаться более чувствительным.

IV. Примеры выбора уставок и проверки чувствительности устройства

Пример 1. Ток $3I_0$ в устройстве не используется.

1. Исходные данные:

а) Расчетное значение вторичного напряжения обратной последовательности, от которого должно быть отстроено устройство блокировки при качаниях, принято:

$$U_{2расч} = 2 \text{ в}.$$

б) Вторичное напряжение обратной последовательности при двухфазном замыкании на землю в конце защищаемого участка в расчетном по чувствительности режиме

$$U_{2к.з}^{(1,1)} = 3\ в.$$

2. Расчет селективности:
по (61)

$$U_{2ср} \geqslant \frac{k_н}{k_в} U_{2расч} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 2 = 3в.$$

Принимаем $U_{2уст} = 3\ в$.
3. Проверка чувствительности:
по выражению (65)

$$k_ч = \frac{U_{2к.з}^{(1,1)}}{U_{2уст}} = \frac{3}{3} = 1,0 < 1,5.$$

Устройство блокировки не удовлетворяет требованию чувствительности, в связи с чем необходимо использование в устройстве тока $3I_0$.

Пример 2. Ток $3I_0$ используется в устройстве.

1. Исходные данные.

а) Расчетное значение вторичного напряжения обратной последовательности, от которого должно быть отстроено устройство блокировки при качаниях (в режиме нагрузки и в режиме качаний) принято

$$U_{2расч} = 2\ в.$$

б) Расчетное значение вторичного утроенного тока нулевой последовательности, от которого должно быть отстроено устройство блокировки [может быть получено для режима качаний по (45)]

$$3I_{0расч} = 0,5\ а.$$

в) При двухфазном замыкании на землю в конце защищаемого участка в расчетном по чувствительности режиме:

$$U_{2к.з}^{(1,1)} = 3\ в;$$

$$3I_{0к.з}^{(1,1)} = 2\ а.$$

При замыкании между двумя фазами в конце защищаемого участка в расчетном по чувствительности режиме:

$$U_{2к.з}^{(2)} = 5,0\ в.$$

2. Выбор уставок.

Из рассмотрения кривых чувствительности рис. 58 следует, что при $U_{2расч} = 2\ в$ и $3I_{0расч} = 0,5\ а$ (64) удовлетворяется при $U_{2уст} = 3\ в$ и $3I_{0уст} = 2\ а$ (рис. 60), при этом

$$\frac{I_р}{I_{с.р}} \approx 0,7.$$

Принимается $U_{2уст} = 3\ в$. $3I_{0уст} = 2\ а$.

3. Проверка чувствительности.

При двухфазном замыкании на землю:

по кривой чувствительности (рис. 60)

для $U_{2уст} = 3\ в$. $3I_{0уст} = 2\ а$ при $U_{2к.з}^{(1,1)} = 3\ в$, $3I_{0к.з}^{(1,1)} = 2\ а$ получаем:

$$k_ч = \frac{I_р}{I_{с.р}} \approx 1,6.$$

При замыкании между двумя фазами в соответствии с (65)

$$k_ч = \frac{5}{3} = 1,66.$$

Устройство удовлетворяет требованиям чувствительности.

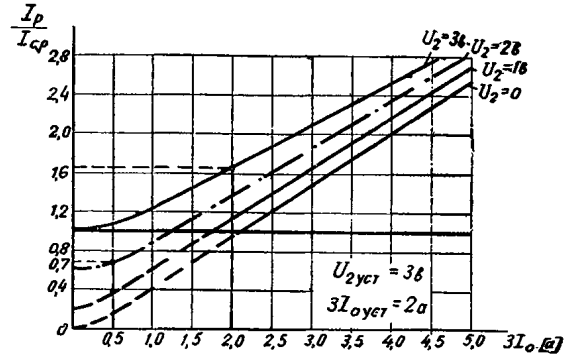
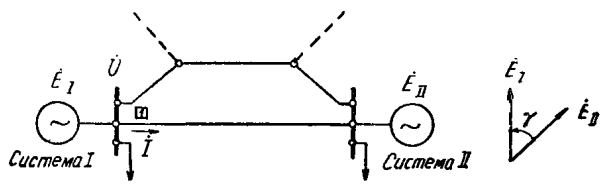


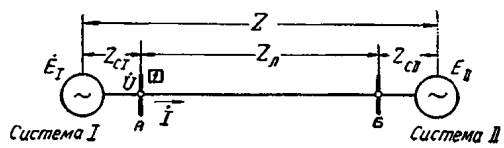
Рис. 60. Характеристики чувствительности пускового органа устройства блокировки при качаниях типа КРБ-121.

И. ПОВЕДЕНИЕ ОДНОФАЗНЫХ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ (ТИПОВ КРС-111, КРС-131 и КРС-132) ПРИ КАЧАНИЯХ В НАГРУЗОЧНОМ РЕЖИМЕ

Оценка поведения реле сопротивления типов КРС-111, КРС-131 и КРС-132 при качаниях производится сопоставлением характеристик сопротивлений срабатывания реле с характеристиками сопротивления в месте установки защиты в рассматриваемом режиме.



а) Линия с обходной связью



б) Линия без обходной связи

Рис. 61. Линия с двусторонним питанием.

При этом определяются предельные углы качаний, при превышении которых защита срабатывает.

Ниже даны способы построения характеристик сопротивлений в схемах рис. 61.

I. Способ построения характеристик сопротивлений в месте установки защит на одиночных линиях с двусторонним питанием и обходными связями (рис. 61,*а*)

1. В общем случае при наличии двух генерирующих источников э. д. с. E_I и E_{II}, примыкающих к защищаемой линии с двух сторон (рис. 61,*а*), имеем:

$$\dot{U} = \dot{A}\dot{E}_I + \dot{B}\dot{E}_{II}; \qquad (66)$$

$$\dot{I} = \dot{C}\dot{E}_I + \dot{D}\dot{E}_{II}, \qquad (67)$$

где $\dot{U}$, $\dot{I}$ — напряжение и ток в месте установки защиты;

$\dot{A}$, $\dot{B}$, $\dot{C}$, $\dot{D}$ — комплексные коэффициенты, зависящие от сопротивления схемы замещения рассматриваемой сети.

Коэффициенты $\dot{A}-\dot{D}$ могут быть вычислены для отдельных конкретных случаев независимо от сложности схемы.

Пользуясь (66) и (67) и произведя некоторые преобразования для полного сопротивления в месте установки защиты, можно получить следующее выражение:

$$Z_{\text{защ}}=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=\frac{\dot{A}\dot{E}_{\text{I}}+\dot{B}\dot{E}_{\text{II}}}{\dot{C}\dot{E}_{\text{I}}+\dot{D}\dot{E}_{\text{II}}}=$$

$$=\frac{\dot{A}\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}e^{j\gamma}+\dot{B}+\frac{\dot{A}\dot{D}}{\dot{C}}-\frac{\dot{A}\dot{D}}{\dot{C}}}{\dot{C}\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}e^{j\gamma}+\dot{D}}=$$

$$=\frac{\dot{A}}{\dot{C}}+\frac{\dot{B}-\frac{\dot{A}\dot{D}}{\dot{C}}}{\dot{C}\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}e^{j\gamma}+\dot{D}}=$$

$$=\frac{\dot{A}}{\dot{C}}+\frac{\frac{\dot{B}}{\dot{D}}-\frac{\dot{A}}{\dot{C}}}{\frac{\dot{C}}{\dot{D}}\cdot\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}e^{j(\gamma+\psi)}+1}=$$

$$=\frac{\dot{A}}{\dot{C}}+\frac{\dot{F}}{1+ke^{j\alpha}}, \qquad (68)$$

где

$$\dot{F}=\frac{\dot{B}}{\dot{D}}-\frac{\dot{A}}{\dot{C}}, \qquad (69)$$

$$k=\frac{\dot{C}}{\dot{D}}\cdot\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}, \qquad (70)$$

$$\alpha=\gamma+\psi=180^\circ-\beta, \qquad (71)$$

$\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}$ — модуль отношения э. д. с. систем I и II;

γ — угол, на который э. д. с. $\dot{E}_{\text{I}}$ опережает э. д. с. $\dot{E}_{\text{II}}$;

ψ — угол отношения коэффициентов $\frac{\dot{C}}{\dot{D}}$;

β — угол, дополняющий до 180° угол α.

Преобразованием (68) сопротивление в месте установки защиты $z_{\text{защ}}$ может быть также представлено и в следующем виде:

$$Z_{\text{защ}}=\frac{\dot{A}}{\dot{C}}+\frac{\dot{F}}{1+ke^{j\alpha}}+\dot{F}-\dot{F}=$$

$$=\frac{\dot{B}}{\dot{D}}-\frac{\dot{F}}{1+\frac{1}{k}e^{-j\alpha}}. \qquad (68а)$$

Если ввести обозначение

$$k'=\frac{1}{k}=\frac{D}{C}\frac{E_{\text{II}}}{E_{\text{I}}}; \qquad (70а)$$

$$\alpha'=-\alpha, \qquad (71а)$$

то (68а) примет вид

$$Z_{\text{защ}}=\frac{\dot{B}}{\dot{D}}-\frac{\dot{F}}{1+k'e^{j\alpha'}}. \qquad (68б)$$

Можно показать, что при постоянстве угла α (постоянстве угла γ) и изменяющемся значении k (изменяющемся значении отношения $\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}$), а также при постоянстве значения k и изменяющемся угле α правая часть выражения (68) представляет собой радиус-вектор, конец которого скользит по окружности.

2. Рассмотрим условие, когда значение отношения э. д. с. k меняется при постоянном значении угла между э. д. с. γ.

При постоянстве углов γ и $\alpha=\gamma+\psi$ и изменяющемся значении k геометрическое место концов вектора

$$Z_{\text{д}}=\frac{\dot{F}}{ke^{j\alpha}+1}, \qquad (72)$$

входящего в правую часть выражения (68), изображается дугой окружности[1].

Это вытекает из рис. 62, на котором постоянный угол $\beta=180^\circ-\alpha$, образуемый векторами $Z_{\text{д}}$ и $kZ_{\text{д}}e^{j\alpha}$, опирается на один и тот же вектор $\dot{F}$.

Следовательно, при постоянстве угла α и изменении значения k геометрическим местом точек, по которому перемещается конец вектора $Z_{\text{д}}$ по (72) будет дуга окружности, опирающаяся на вектор $\dot{F}$.

Дуга окружности, являющаяся геометрическим местом точек, по которому перемещается конец вектора $Z_{\text{д}}$ при отрицательном угле α и изменяющейся величине k, приведена на рис. 62,*б*.

Очевидно, что если при изменении значения k конец вектора $Z_{\text{д}}$ скользит по дуге окружности, то конец вектора $Z_{\text{защ}}$, равный (68):

$$Z_{\text{защ}}=\frac{\dot{A}}{\dot{C}}+Z_{\text{д}}, \qquad (73)$$

тоже скользит по дуге окружности, поскольку вектор $\frac{\dot{A}}{\dot{C}}$ для данного режима работы рассматриваемой сети постоянен (рис. 62).

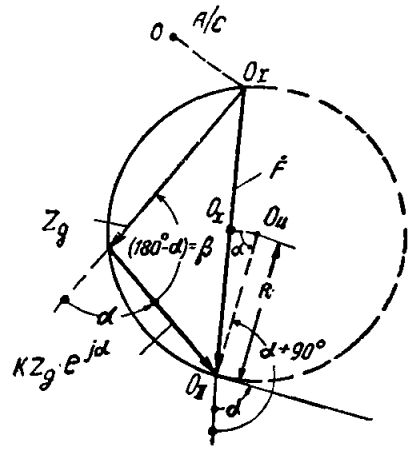
При $k=0$ вектор $Z_{\text{д}}$ совпадает с вектором $\dot{F}$; в этом случае угол α образуется продолжением вектора $\dot{F}$ и направлением касательной в конце его, как показано на рис. 62.

Указанный случай ($k=0$) положен в основу практического метода построения характеристик по хорде $\dot{F}$ и направлению касательной в конце ее (под углом α к хорде $\dot{F}$).

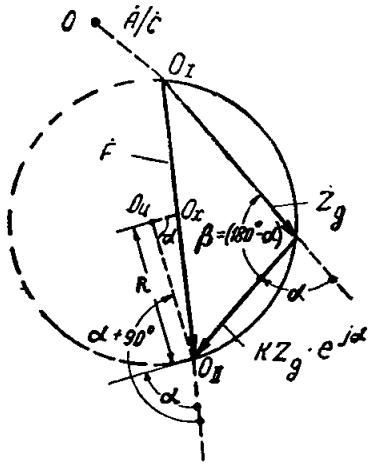
Построение производится следующим образом:

через конец вектора $\dot{F}$ под углом $(\alpha+90^\circ)$ к нему проводится ось, на которой должен лежать центр искомой окружности:

[1] Основы электротехники, под редакцией А. К. Круга, Госэнергоиздат, 1952.



а) При положительном значении угла α



б) при отрицательном значении угла α

Рис. 62. Дуги окружностей, по которым перемещается конец вектора $z_д$ [по (72)] при изменении k и заданном значении угла α.

угол ($\alpha+90°$) откладывается против часовой стрелки при $\alpha>0$ (рис. 62,*а*) и по часовой стрелке при $\alpha<0$ (рис. 62,*б*).

Радиус окружности определяется по выражению, вытекающему из рис. 62:

$$R=\frac{F}{2\sin\alpha} \tag{74}$$

или

$$O_ц O_x=\frac{F}{2}\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}. \tag{75}$$

Для разных значений угла α геометрическое место точек, по которому перемещается конец вектора $Z_д$ и вектора $Z_{защ}$ при изменении значения k, изобразится семейством окружностей, опирающихся на вектор $\dot F$ (рис. 63).

3. Рассмотрим условие, когда значение угла между э. д. с. γ меняется при постоянном значении отношения э. д. с. k.

При постоянстве значения k и изменяющихся углах γ и α геометрическое место концов вектора $Z_д$ по (72) изображается окружностью.

Это вытекает из того обстоятельства, что при постоянстве значения k и изменяющемся угле α знаменатель (72) представляет собой уравнение окружности, не проходящей через начало координат. Но если геометрическим местом точек, по которому перемещается конец вектора, является окружность, не проходящая через начало координат, то и геометрическим местом точек, по которому перемещается конец обратного вектора, также является окружность, не проходящая через начало координат [1].

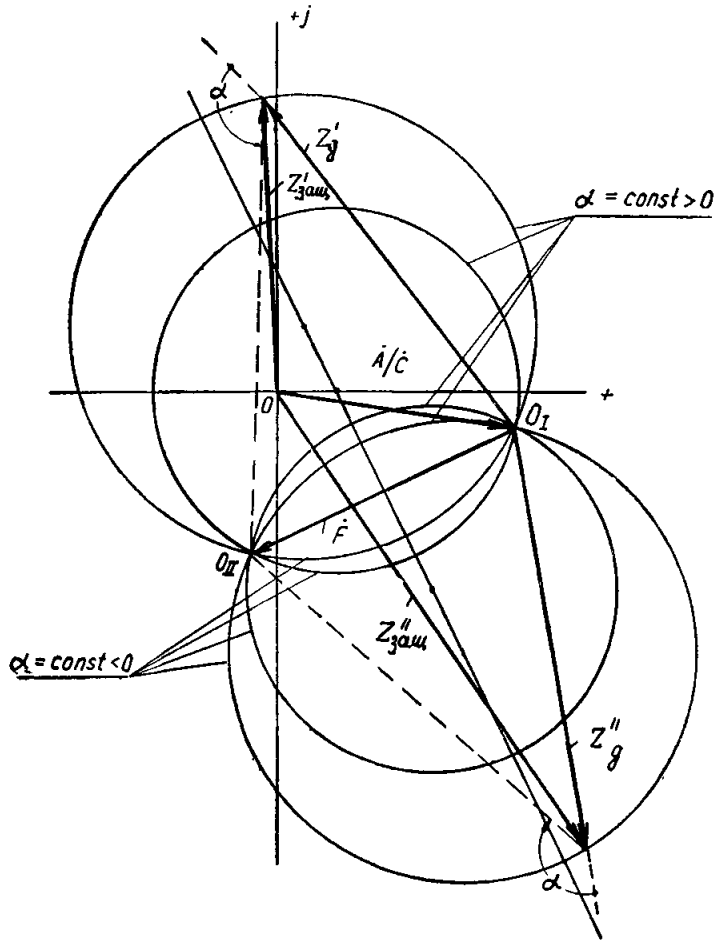


Рис. 63. Семейство дуг окружностей, по которым перемещаются концы векторов $z_д$ и $z_{защ}$ по (72) и (73) при изменении k и заданном значении угла α.

Таким образом, при постоянстве значения k и изменяющемся угле α конец вектора $Z_д$ перемещается по окружности (рис. 64,*а* — для $k<1{,}0$ и рис. 64,*б* — для $k>1{,}0$).

Очевидно, что при этом и конец вектора $Z_{защ}$ (68) перемещается также по окружности.

Практически метод построения рассмотренных окружностей, т. е. определение положения центра и значения радиуса базируется на приведенных ниже соотношениях, характерных для рис. 64.

При изменении угла α точка c треугольника abc перемещается по окружности. При этом отрезки ac и cb изменяются по значению, но отношение их сохраняется постоянным и равным $\frac{1}{k}$, т. е.

$$\frac{ac}{cb}=\frac{an}{nb}=\frac{am}{mb}=\frac{1}{k}. \tag{76}$$

Из (76) следует

$$\frac{an}{an+nb}=\frac{1}{1+k};\quad \frac{am}{am-mb}=\frac{1}{1-k}; \tag{77}$$

$$\left.\begin{aligned} an&=\frac{F}{1+k};\\ am&=\frac{F}{1-k}. \end{aligned}\right\} \tag{78}$$

[1] Основы электротехники, под редакцией А. К. Круга, Госэнергоиздат, 1946, т. 2, гл. 1, § 15.

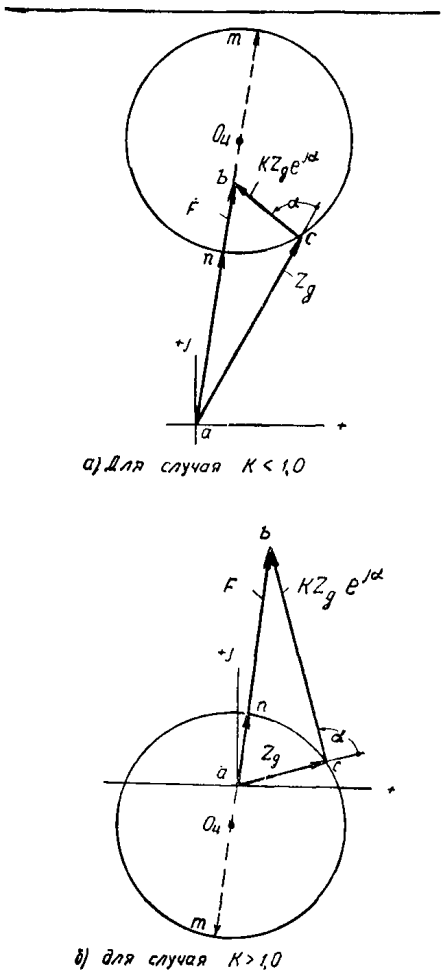


Рис. 64. Окружности, по которым перемещается конец вектора $z_д$ (72) при изменении угла α и заданном значении k.

Радиус окружности

$$R = \frac{am - an}{2} = \frac{Fk}{1 - k^2}. \qquad (79)$$

Расстояние от точки a до центра окружности $O_ц$

$$aO_ц = an + \frac{am - an}{2} = \frac{F}{1 - k^2}. \qquad (80)$$

Следует учитывать, что для случая $k>1{,}0$ (рис. 64,*б*) отрезки am и $aO_ц$ по (78) и (80) получаются отрицательными, в соответствии с этим они и отложены на рис. 64,*б* в сторону, противоположную направлению вектора $\dot{F}$.

При $k=1$ радиус окружности по (79) равен ∞, т. е. в этом случае окружность превращается в прямую, проходящую через середину вектора $\dot{F}$ и перпендикулярную к нему (76).

Для разных значений k геометрическое место точек, по которому перемещается конец вектора $Z_д$ и вектора $Z_{защ}$ при изменении угла α, изобразится семейством окружностей, центры которых лежат на продолжении вектора $\dot{F}$ (рис. 65).

Круговые диаграммы полных сопротивлений в месте установки защиты $Z_{защ}$ при постоянстве угла α и изменяющемся значении k и наоборот, при постоянстве

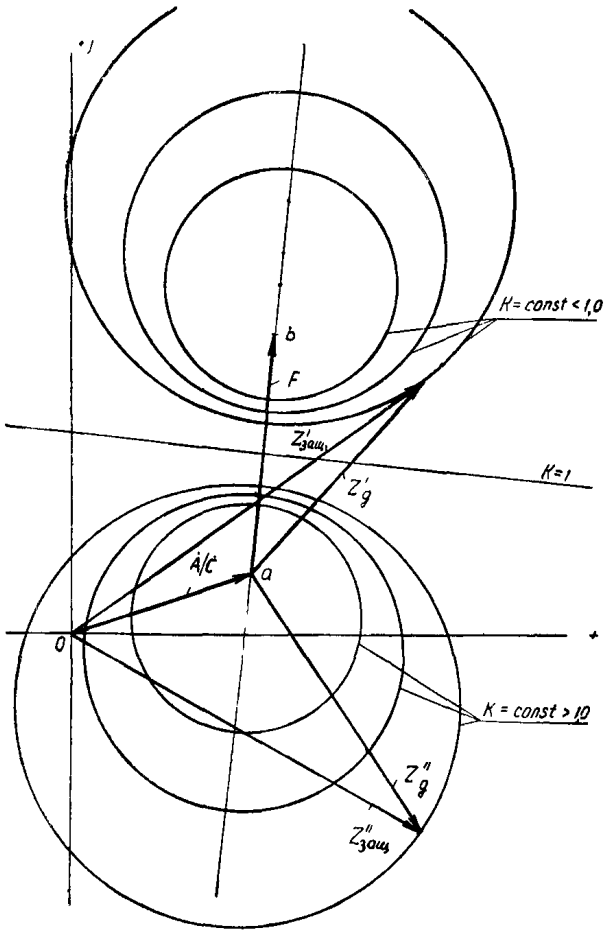


Рис. 65. Семейство окружностей, по которым перемещаются концы векторов $z_д$ и $z_{защ}$, по (72) и (73) при изменении угла α для ряда значений k.

значения k и изменяющемся угле α, в совокупности характеризуют рассматриваемый режим работы сети при наличии качаний, так как дают возможность определить полные сопротивления в месте установки защиты при любых значениях отношения э. д. с. $\left(\frac{E_I}{E_{II}}\right)$ и угла γ *.

II. Способ построения характеристик сопротивлений в месте установки защиты и определение предельных углов качаний для защит, установленных на одиночных линиях с двусторонним питанием без обходных связей (рис. 61,*б*)

Для дистанционной защиты, установленной на линии без обходных связей, построение характеристик сопротивлений в месте установки защиты упрощается.

В этом случае коэффициенты, входящие в (66) и (67), равны:

$$\dot{A} = 1 - \frac{Z_{cI}}{Z}; \quad \dot{B} = \frac{Z_{cI}}{Z}; \quad \dot{C} = -\dot{D} = \frac{1}{Z}. \qquad (81)$$

* П. К. Фейст, Исследование работы дистанционных реле методом круговых диаграмм в плоскости полных сопротивлений, Труды ЦНИЭЛ, вып. I, Госэнергоиздат, 1953.

Кроме того, в (69), (70) и (71)

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \gamma + \psi = \gamma + 180°; \\ \dot{F} &= -Z; \\ k &= \frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}. \end{aligned}\right\} \qquad (82)$$

Учитывая (81) и (82), из (68б) получаем:

$$Z_{\text{защ}} = -Z_{\text{cI}} + \frac{Z}{1 + \frac{E_{\text{II}}}{E_{\text{I}}} e^{j\alpha'}}, \qquad (83)$$

или учтя (71а)

$$Z_{\text{защ}} = -Z_{\text{cI}} + \frac{Z}{1 - \frac{E_{\text{II}}}{E_{\text{I}}} e^{-j\gamma}}. \qquad (83а)$$

В данном случае для определения предельных углов качаний $\gamma_{\text{пред}}$ построены характеристики сопротивлений на зажимах реле при постоянном значении отношения э. д. с. $\left(k = \frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}\right)$ и переменных углах γ.

В соответствии с построениями на рис. 64 и (83а) предельные углы качаний для дистанционной защиты, установленной в схеме по рис. 61,*б* со стороны системы *I*, могут быть определены следующим образом (рис. 66):

а) На комплексной плоскости сопротивлений наносятся сопротивления элементов расчетной схемы по рис. 61,*б*; на рис. 66 принято, что сопротивления систем Z_{cI} и Z_{cII} реактивные, а сопротивление линии *АБ* содержит активную и реактивную составляющие. Начало координат принимается совпадающим с местом установки рассматриваемой защиты (в точке *A*).

б) Используя (83а) и по аналогии с построениями, приведенными на рис. 64, на комплексной плоскости сопротивлений строятся характеристики геометрического места точек, по которым перемещаются концы векторов сопротивлений в месте установки защиты $Z_{\text{защ}}$ (83а) при изменении угла γ, представляющие собой в общем случае окружности.

Положение центра этих окружностей и значения их радиусов определяются по (74) и (75) с учетом (82).

При равенстве э. д. с. системы II и I эта окружность превращается в прямую, перпендикулярную прямой *I—II* и делящую ее пополам.

На рис. 66 нанесены дуги окружностей *CD* и *EF* (по которым перемещаются концы вектора $Z_{\text{защ}}$) для случаев, когда $E_{\text{I}} > E_{\text{II}}$ и $E_{\text{II}} > E_{\text{I}}$, а также прямая *AB* при $E_{\text{I}} = E_{\text{II}}$.

Следует отметить, что окружности (*CD* и *EF*) и прямая *AB* на рис. 66 соответствуют геометрическому месту точек нулевых потенциалов системы в потенциальной диаграмме.

в) Находятся точки пересечения указанных характеристик сопротивлений в месте установки защиты с характеристиками сопротивления срабатывания защиты; поскольку в этих точках вектор $Z_{\text{защ}}$ (83а) будет равен $Z_{\text{защ}} = Z_{\text{с.з}}$, то углы γ, характеризующие точки пересечения, являются наибольшими углами между э. д. с., при превышении которых срабатывает реле сопротивления.

На рис. 66 прямая *AB* ($E_{\text{I}} = E_{\text{II}}$) пересекает характеристики срабатывания защит, выполненных с реле полного сопротивления и с направленным реле сопротивления соответственно в точках *a*, *d* и *b*, *c*.

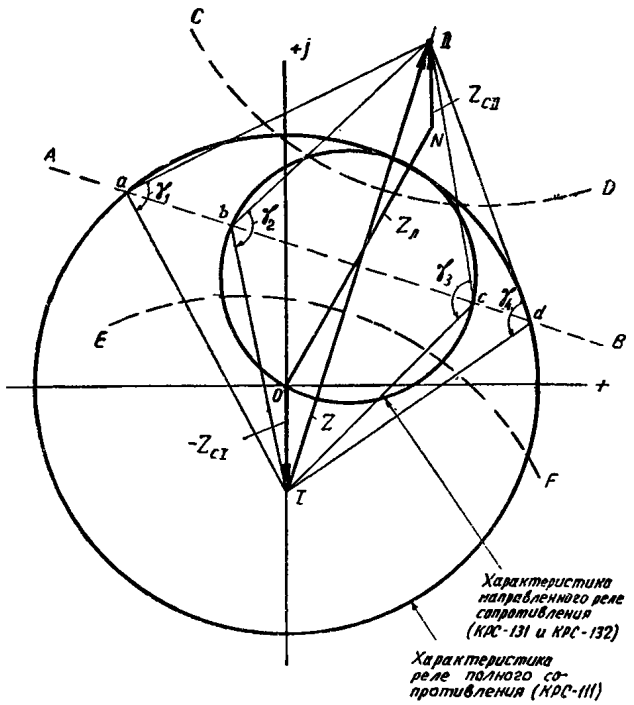


Рис. 66. Определение предельных углов γ для реле полного сопротивления и направленного реле сопротивления, установленных на одиночной линии с двусторонним питанием по рис. 61,*б*.

Следовательно, при превышении углов γ_1 и γ_4 для защиты, выполненной с реле типа КРС-111, и углов γ_2 и γ_3 — с реле типа КРС-131 (КРС-132) указанные защиты срабатывают неправильно. Как видно из рис. 66, реле типа КРС-131 (КРС-132) действует правильно при бо́льших углах сдвига э. д. с., чем реле типа КРС-111; указанное справедливо и для случаев $E_{\text{I}} \neq E_{\text{II}}$.

К. ПОВЕДЕНИЕ ТРЕХФАЗНОГО И ОДНОФАЗНЫХ НАПРАВЛЕННЫХ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ (ТИПОВ КРС-121, КРС-131 И КРС-132) ПРИ ДВУХФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ, СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ КАЧАНИЯМИ

I. Трехфазное направленное реле сопротивления, включенное на два разноименных напряжения и соответствующие им токи (реле типа КРС-121)

Для ориентировочной оценки поведения трехфазного направленного реле сопротивления типа КРС-121 (по предложению инж. Бреслера) могут быть использованы кривые рис. 68, построенные для линии с двусторонним питанием по рис. 67,*а* и дающие зависимость диапазонов углов γ (расхождения между э. д. с. $\dot{E}_{\text{I}}$ и $\dot{E}_{\text{II}}$), при которых реле действует неправильно при замыкании между двумя фазами, от отношения $m_{\text{y}} = \frac{z_{1c} + z_{\text{y}}}{z_1}$ при $\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}} = 0{,}6;\ 1{,}0;\ 1{,}5$. Указанные кривые построены при следующих допущениях:

а) сопротивления прямой и обратной последовательностей отдельных участков сети принимаются равными;

б) углы полного сопротивления участков сети принимаются одинаковыми;

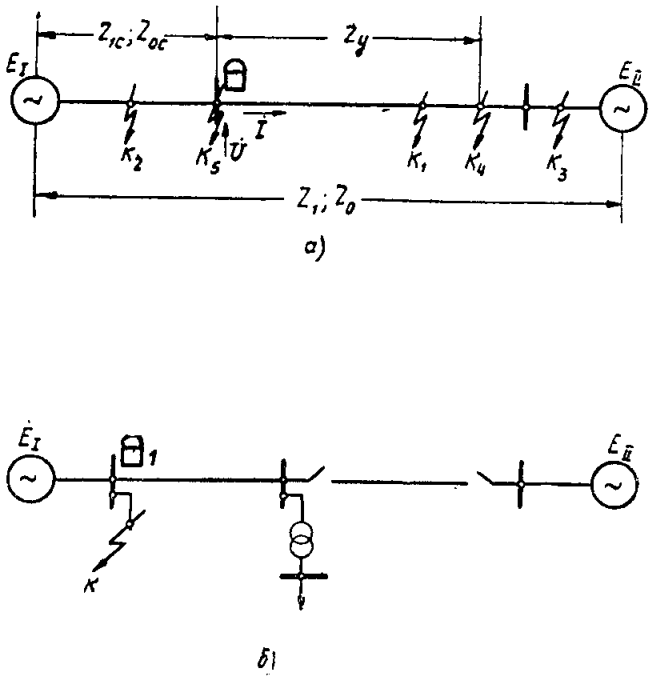


Рис. 67. Сети с двусторонним питанием.

в) механический момент сопротивления реле принимается равным нулю.

Отметим, что возможное увеличение случаев неправильного срабатывания реле при повреждениях вне защищаемой зоны за счет несоблюдения условий «а» и «б» в действительной сети в известной степени компенсируется механическим моментом реле.

На рис. 68 сплошные кривые соответствуют направлению мощности короткого замыкания от шин. Направление штриховки соответствует диапазону углов γ, в котором реле действует неправильно; указанное означает, что при замыкании между двумя фазами реле отказывает в действии при повреждениях в защищаемой зоне и срабатывает неправильно при повреждениях вне зоны.

Способ построения кривых на рис. 68 изложен в приложении XII.

Следует отметить, что как это вытекает из приложения XII, при замыканиях между двумя фазами реле имеет бо́льшую чувствительность, чем при замыкании одной и двух фаз на землю, а потому кривые рис. 68, построенные для случая замыкания между двумя фазами, являются расчетными для оценки неправильного срабатывания реле при повреждениях вне защищаемой зоны.

Ниже даны выводы, которые вытекают из рассмотрения кривых рис. 68:

а) При направлении мощности короткого замыкания от шин для случая короткого замыкания в защищаемой зоне и вне ее (в точках K_1 и K_3 рис. 67,*а*) реле будет правильно действовать, когда

$$\frac{z_{1c}+z_y}{z_1} < \frac{E_I}{E_I+E_{II}}.$$

При том же направлении мощности короткого замыкания и значениях

$$\frac{z_{1c}+z_y}{z_1} > \frac{E_I}{E_I+E_{II}}$$

возникает диапазон углов γ неправильного действия, причем с увеличением значения $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1}$ диапазон уг-

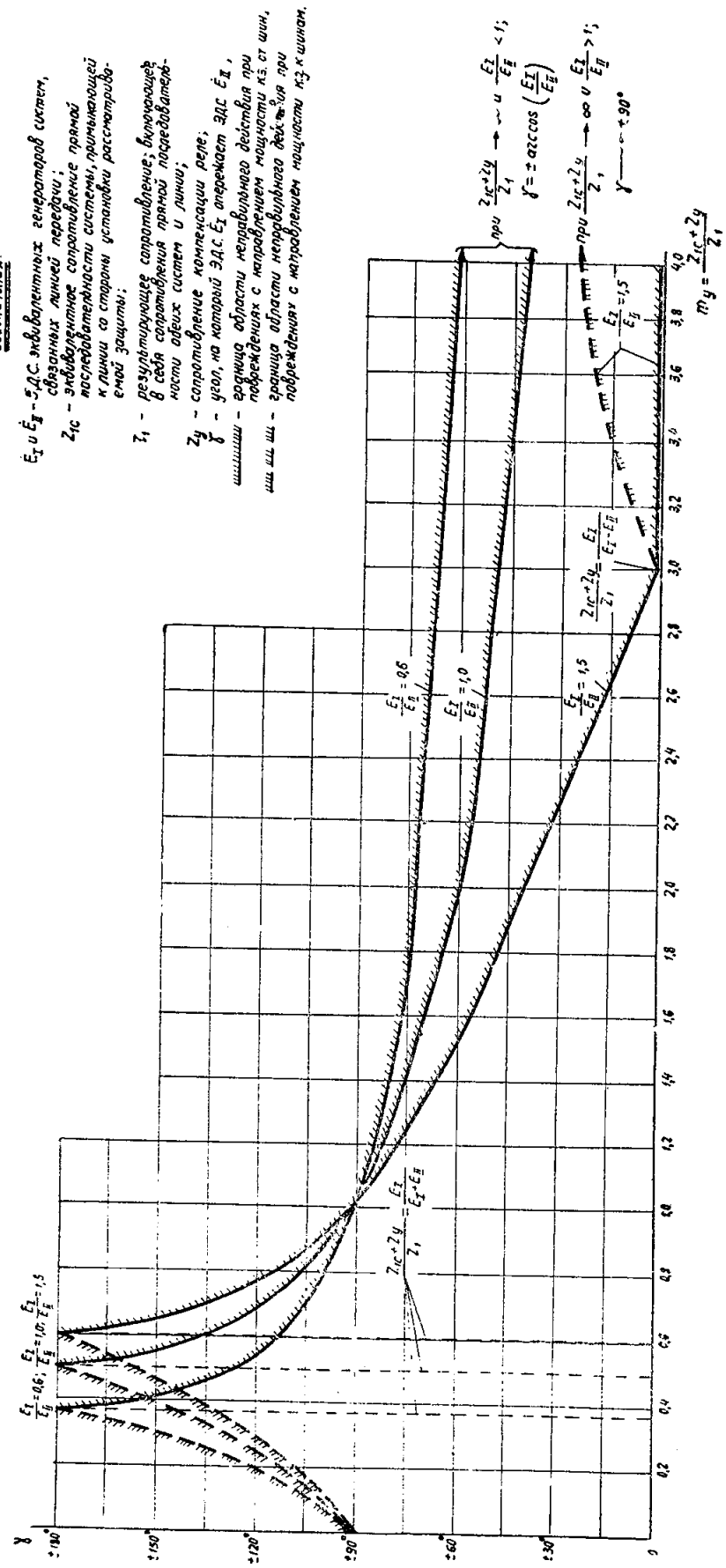


Рис. 68. Зависимость предельных углов γ от $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1}$ для трехфазного направленного реле сопротивления типа КРС-121 при замыканиях между двумя фазами в схеме по рис. 67,*а*.

лов неправильного действия увеличивается. При отношении

$$\frac{E_I}{E_{II}} < 1 \text{ и } \frac{z_{1c}+z_y}{z_1} \to \infty$$

минимальный угол неправильного действия реле уменьшается до $\gamma = \pm \arccos\left(\frac{E_I}{E_{II}}\right)$, а при $\frac{E_I}{E_{II}} > 1$ указанный минимальный угол уменьшается до 0°, когда

$$\frac{z_{1c}+z_y}{z_1} = \frac{E_I}{E_I - E_{II}}.$$

При дальнейшем увеличении $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1}$ в последнем случае $\left(\text{при } \frac{E_I}{E_{II}} > 1\right)$ неправильное действие реле имеет место при всех углах γ.

Поскольку сопротивление между местом приложения э. д. с. E_I и электрическим центром системы определяется как

$$\frac{E_I}{E_I + E_{II}} z_1,$$

то можно сказать, что при направлении мощности короткого замыкания от шин реле может работать неправильно только тогда, когда электрический центр расположен на участке $(z_{1c}+z_y)$, причем возможность неправильной работы реле увеличивается при удалении конца зоны от электрического центра системы.

б) При направлении мощности короткого замыкания к шинам реле будет неправильно срабатывать при повреждениях вне защищаемой зоны, когда $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1} < \frac{E_I}{E_I+E_{II}}$, причем с увеличением отношения $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1}$ от нуля до $\frac{E_I}{E_I+E_{II}}$ минимальный угол этого неправильного срабатывания увеличивается с 90 до 180°.

Учитывая, что $\frac{E_I}{E_I+E_{II}}$ характеризует положение электрического центра в системе, можно сказать, что при направлении мощности короткого замыкания к шинам реле может неправильно срабатывать (при повреждениях вне защищаемой зоны), когда электрический центр расположен вне участка $(z_{1c}+z_y)$.

Дополнительный диапазон углов неправильного срабатывания при таком же направлении мощности имеет место, только когда $\frac{E_I}{E_{II}} > 1$. Указанный диапазон начинается с угла $\gamma = 0$ при $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1} = \frac{E_I}{E_I - E_{II}}$ и доходит до $\gamma = \pm 90°$ при $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1} \to \infty$.

в) Из «а» и «б» следует, что при значениях $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1}$, приближающихся к $\frac{E_I}{E_I - E_{II}}$, реле может работать неправильно даже при небольших значениях угла γ, что особо резко проявляется при максимально возможном отношении $\frac{E_I}{E_{II}}$. Поэтому может оказаться нецелесообразным применять указанное реле для осуществления третьей ступени защиты при больших значениях

$$\frac{z_{1c}+z_y}{z_1}.$$

Следует отметить, что в режиме одностороннего питания сети (рис. 67,*б*) отпадает вопрос о неправильности действия защиты при качаниях. Однако ее чувствительность ограничивается максимальным допустимым значением уставки z_y в этом режиме. Ограничение уставки требуется для предотвращения неправильного срабатывания защиты *1* при двухфазных коротких замыканиях на смежных линиях, отходящих от шин подстанции, где установлена рассматриваемая защита (рис. 67,*б*). Математически это условие выражается отношением [1]

$$z_y \leqslant \frac{2z_{1н}z_{2н}}{z_{1н}+z_{2н}}, \qquad (84)$$

где $z_{1н}$ и $z_{2н}$ — сопротивления прямой и обратной последовательностей цепи от шин подстанции по защищаемым участкам линии до нулевых точек нагрузок.

II. Однофазное направленное реле сопротивления, включенное на линейное напряжение и разность соответствующих фазных токов (реле типа КРС-131 и КРС-132)

Для ориентировочной оценки поведения однофазного направленного реле сопротивления, включенного, например, на фазе B и C (U_{BC} и $I_B - I_C$), могут быть использованы кривые рис. 69, построенные для линии с двусторонним питанием по рис. 67,*а* и дающие зависимость диапазонов углов γ, при которых реле срабатывает неправильно вне защищаемой зоны при замыканиях фаз C и A, а также A и B на землю и без земли от отношения параметров

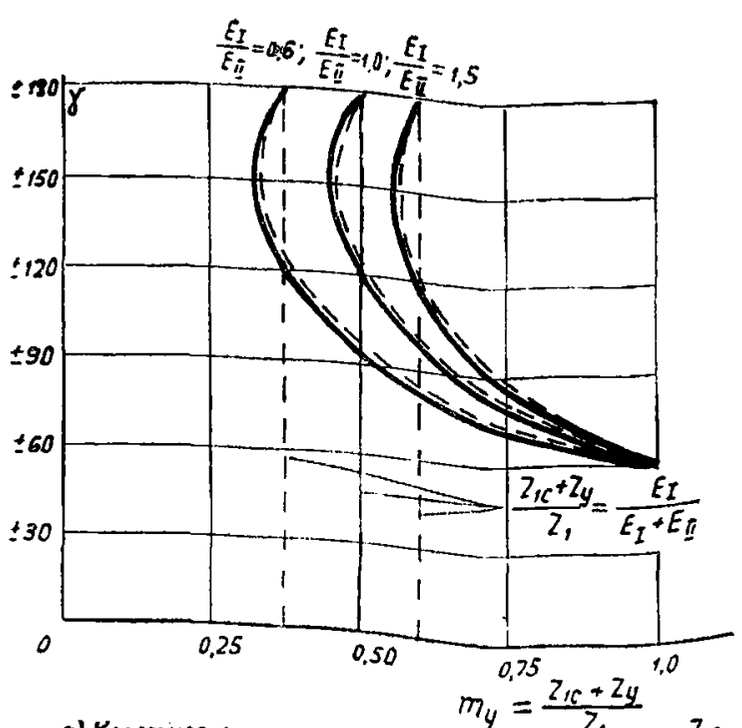
$$m_y = \frac{z_{1c}+z_y}{z_1}$$

при

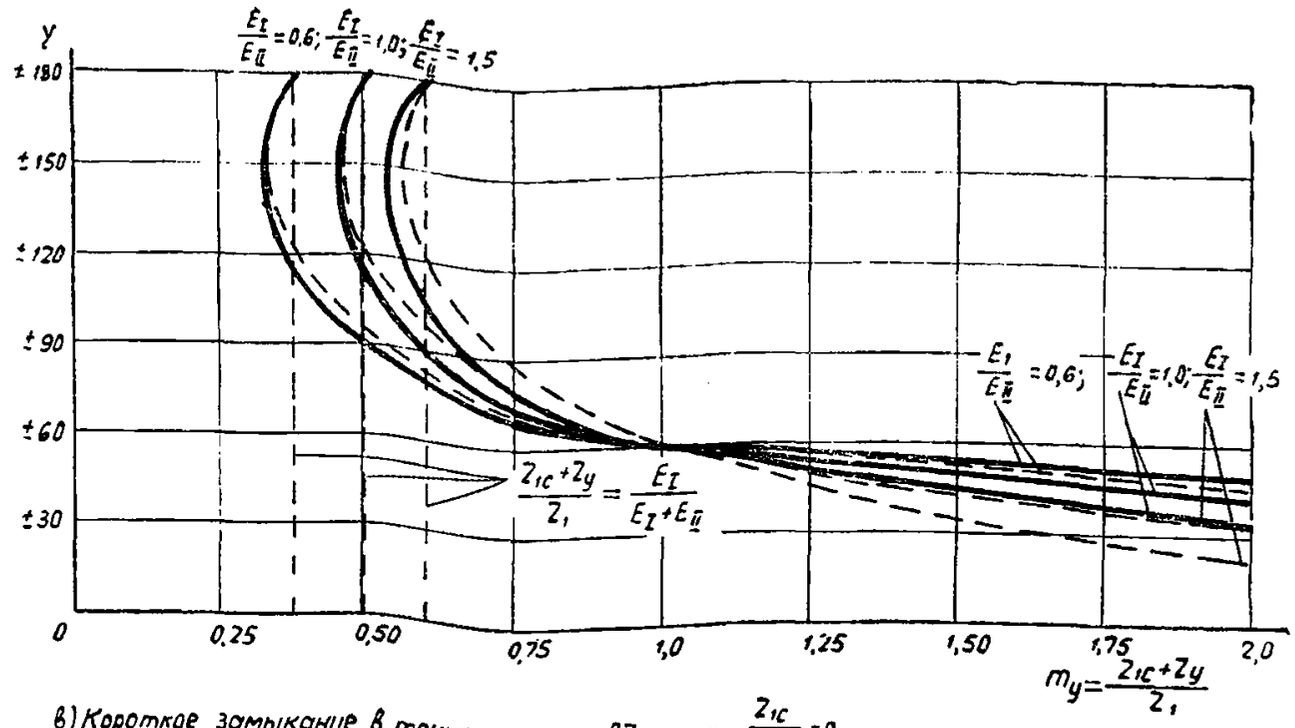
$$\frac{E_I}{E_{II}} = 0{,}6;\ 1{,}0;\ 1{,}5$$

и $z_{1c}/z_1 = 0;\ 0{,}3$. Рисунки 69, *а* и *б* относятся к случаю повреждения в точке K_4 рис. 67,*а*, причем для повреждения в рассматриваемой точке параметр $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1}$ ограничивается физическими пределами сети максимальным значением $\frac{z_{1c}+z_y}{z_1} = 1$. Рисунки 69, *в* и *г* относятся к случаю повреждения в точке K_5 рис. 67,*а*. Повреждения рассматриваются в указанных точках, как наиболее близких к месту установки реле точках внешнего повреждения, которые можно считать расчетными для определения условия неправильного срабатывания. Кривые рис. 69,*а*—*г* построены при тех же допущениях, что и кривые рис. 68 для реле типа КРС-121. Кроме того, принимается, что $Z_{1\Sigma} = Z_{0\Sigma}$, где

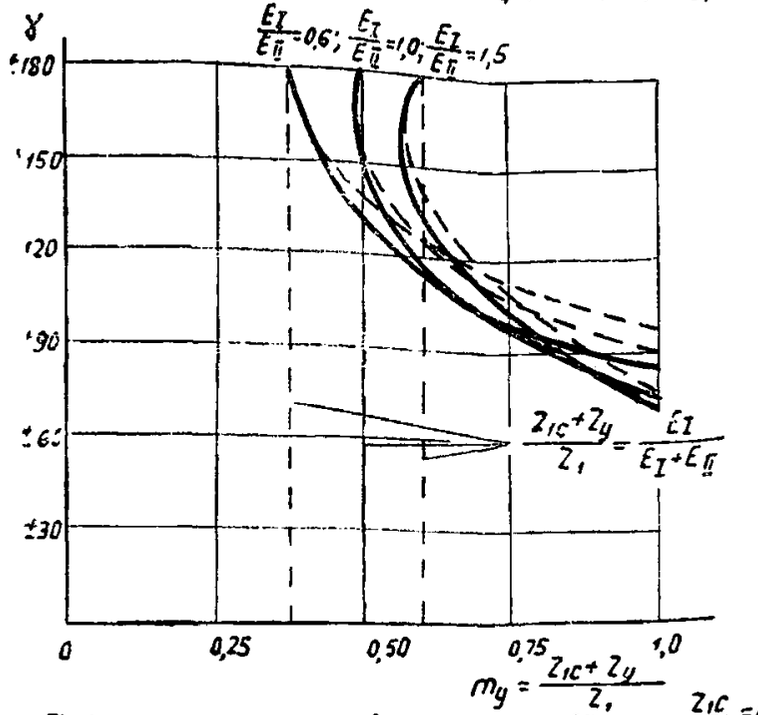
[1] А. М. Федосеев, Релейная защита электрических систем, Госэнергоиздат, 1952.



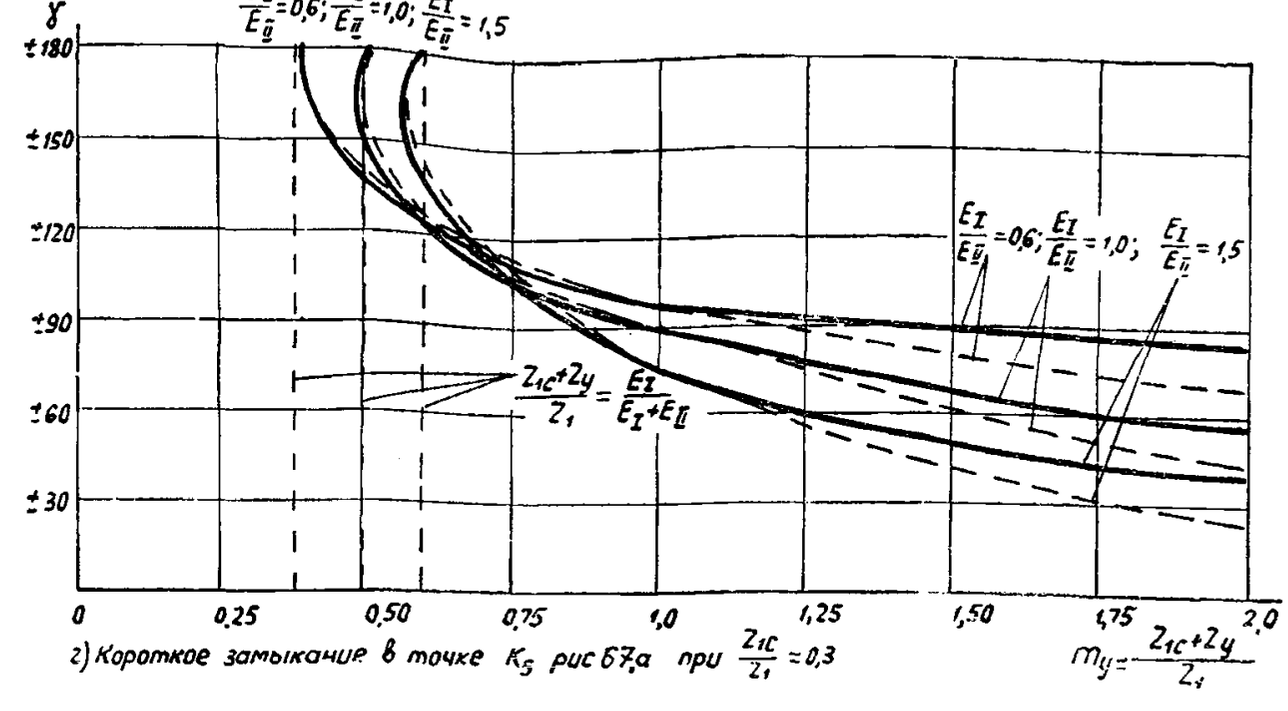
а) Короткое замыкание в точке K_4 рис.67,а при $\frac{Z_{1C}}{Z_1}=0$



в) Короткое замыкание в точке K_5 рис 67,а при $\frac{Z_{1C}}{Z_1}=0$



б) Короткое замыкание в точке K_4 рис.67,а при $\frac{Z_{1C}}{Z_1}=0,3$



г) Короткое замыкание в точке K_5 рис 67,а при $\frac{Z_{1C}}{Z_1}=0,3$

Рис. 69. Зависимость предельных углов γ от $\frac{z_{1C}+z_y}{z_1}$ для реле типов КРС-131 и КРС-132, при таких двухфазных коротких замыканиях, когда к реле подводится напряжение между одной из поврежденных и неповрежденной фазами.

———— — граница области неправильного срабатывания при замыкании двух фаз на землю вне защищаемой зоны; — — — — — — граница области неправильного срабатывания при замыкании между двумя фазами вне защищаемой зоны. Область неправильного срабатывания располагается выше приведенных граничных линий.

$Z_{1\Sigma}$ и $Z_{0\Sigma}$ — результирующие сопротивления соответственно схемы прямой и нулевой последовательностей относительно места повреждения.

Способ построения этих кривых изложен в приложении XII. Кривые рис. 69 построены при $\frac{z_{1c}}{z_1} < \frac{E_I}{E_I + E_{II}}$ ($z_{1c} = 0$; 0,3).

Из рассмотрения указанных кривых можно установить следующее.

При коротком замыкании в точке K_4 или K_5 рис. 67,*а* реле может неправильно срабатывать в некотором диапазоне углов γ, когда $\frac{z_{1c} + z_y}{z_1} \geqslant \frac{E_I}{E_I + E_{II}}$ (практически и при несколько меньших значениях, $\frac{z_{1c} + z_y}{z_1}$, учитывая характер кривых рис. 69).

При коротком замыкании в точке K_4 рис. 67,*а* минимальный угол, при котором реле неправильно срабатывает, достигает наименьшего значения, равного $\pm 60°$, когда $\frac{z_{1c}}{z_1} = 0$ и $\frac{z_{1c} + z_y}{z_1} = 1$. С увеличением отношения $\frac{z_{1c}}{z_1}$ минимальный угол неправильного срабатывания реле увеличивается, причем указанный угол меньше при замыканиях двух фаз на землю, чем при замыканиях между двумя фазами.

Кривые неправильного срабатывания совпадают для случаев замыкания между двумя фазами в точках K_4 и K_5 рис. 67,*а* в диапазоне $1 > \frac{z_{1c} + z_y}{z_1} > 0$.

При коротком замыкании в точке K_5 и увеличении отношения $\frac{z_{1c} + z_y}{z_1}$ свыше единицы минимальный угол неправильного срабатывания снижается, причем он всегда оказывается меньше для случая замыкания между двумя фазами по сравнению со случаем замыкания двух фаз на землю.

Реле типа КРС-131 может срабатывать неправильно в случае повреждения в точке K_5 при малых углах γ для больших отношений $\frac{z_{1c} + z_y}{z_1}$ и $\frac{z_{1c}}{z_1} < \frac{E_I}{E_I + E_{II}}$.

Это может затруднить его использование в качестве третьей ступени защиты.

Учитывая, что отношение $\frac{E_I}{E_I + E_{II}}$ характеризует положение электрического центра в системе, можно сказать, что реле может срабатывать неправильно в рассматриваемых случаях коротких замыканий вне защищаемой зоны при расположении электрического центра системы на участке, защищаемом реле, причем возможность неправильного срабатывания увеличивается с увеличением отношения

$$\frac{z_{1c} + z_y}{z_1} \text{ при } \frac{z_{1c}}{z_1} = \text{const}.$$

Этот вывод справедлив при неучете влияния устройства памяти в реле типа КРС-131. Однако, как показывает предварительный анализ, в течение времени переходных процессов в устройстве памяти реле может неправильно срабатывать в рассматриваемых случаях коротких замыканий и при расположении электрического центра на большом отдалении от защищаемого участка.

Л. ПРИМЕР РАСЧЕТА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ МНОГОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 110 *кв* С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

В примере дан расчет дистанционной защиты, используемой в качестве основной от всех видов многофазных коротких замыканий и устанавливаемой на каждой из параллельных линий 110 *кв* с ответвлениями (рис. 70,*а*).

Защищаемые линии длиной 150 и 100 *км* соответственно с двумя и одним ответвлениями связывают две системы с трехфазной мощностью короткого замыкания на их шинах $P_{к.з.сист.макс\ I} = 3\,500$ *мва* и $P_{к.з.сист\ II} = 2\,500$ *мва*. Две подстанции на ответвлениях выполнены проходными (п/ст. *Б* и п/ст. *В*). Предполагается, что на всех подстанциях, питающихся от защищаемых линий, трансформаторы работают параллельно на сторонах среднего (35 *кв*) и низшего (27 *кв*) напряжений и что на этих сторонах не имеется генерирующих мощностей. На напряжении 27 *кв* все подстанции питают тяговую нагрузку на переменном токе.

Схема замещения прямой (обратной) последовательности приведена на рис. 70,*б*.

В примере дан расчет сопротивлений срабатывания и выдержек времени всех ступеней дистанционных защит *1—8*. Защиты от повреждений на линиях 110 *кв*, установленные на подстанциях, питающихся от ответвлений (п/ст. *Б*, *В* и *Д*), в настоящем примере не рассматривались. Подпитка по сети 27 *кв* в расчетах не учитывалась.

Пример рассчитан в именованных единицах, приведенных к ступени напряжения 115 *кв*, как к базисной.

Расчет параметров срабатывания первой и второй ступеней рассматриваемых дистанционных защит сети по рис. 70,*а* приведен в табл. 21. Расчет производился по выражениям, приведенным в табл. 11 с учетом рекомендаций гл. V, разд. В, п. 7.

Отстройка первых и вторых ступеней дистанционных защит *5—8* от коротких замыканий на шинах низшего напряжения (27 *кв*) подстанции *Д* на ответвлении (поскольку короткие замыкания на стороне 35 *кв* не являются расчетными) производится в двух расчетных режимах:

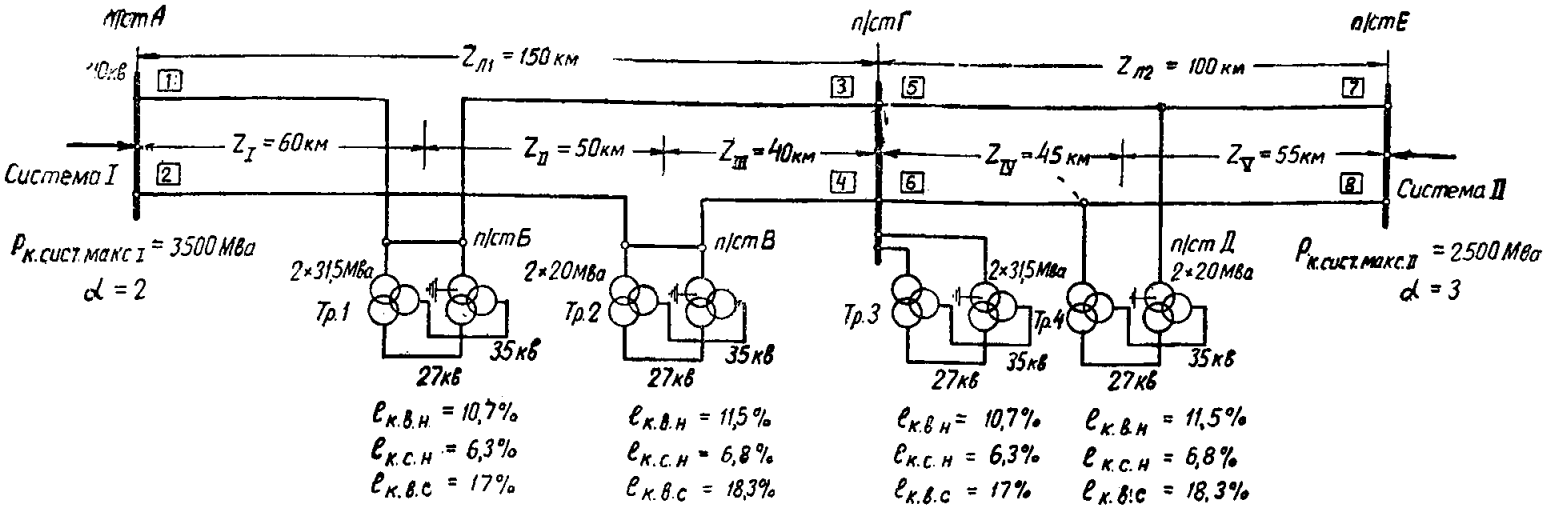
а) подстанция на ответвлении питается от обеих параллельных линий, при этом защищаемая линия отключена с противоположного конца;

б) параллельная линия отключена, а оба трансформатора подстанции переведены на питание от защищаемой линии.

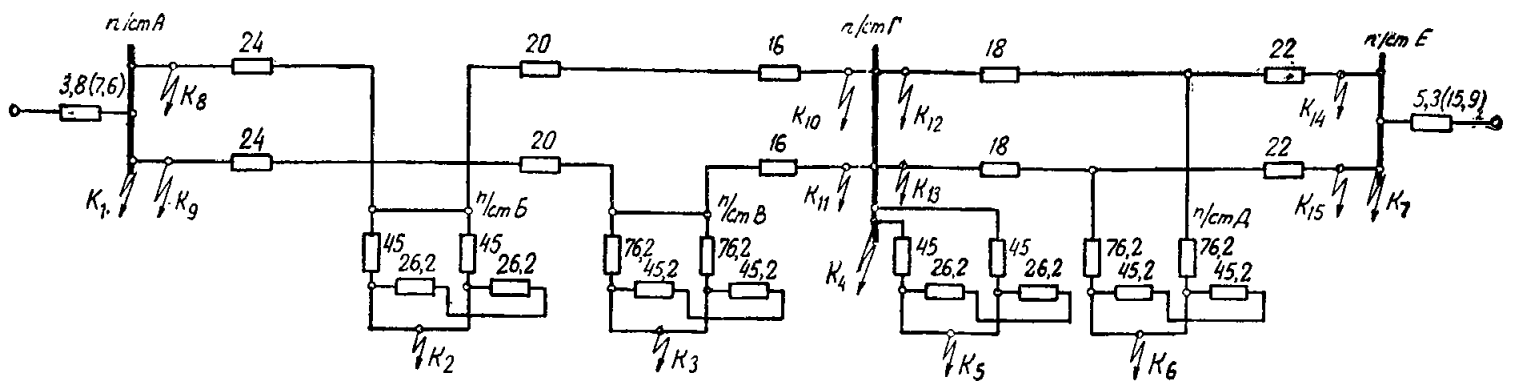
При этом в расчете (как и в аналогичных расчетах защит *1—4*) не учитывалось наличие регулирования напряжения под нагрузкой на трансформаторах подстанции на ответвлении; при наличии соответствующих данных в расчетах должны учитываться наименьшие сопротивления трансформаторов, которые могут иметь место при регулировании напряжения.

Токораспределение при коротком замыкании на шинах низшего напряжения подстанции *Д* приведено на рис. 71.

Согласование вторых ступеней дистанционных защит *1—8* с первой ступенью защиты противоположного конца параллельной линии производилось при каскадном отключении повреждения на параллельной линии в режиме, когда имеет место наименьшая подпитка от соответствующей системы. Токораспределение в режимах, в которых производится согласование для всех рассматриваемых защит, приведено на рис. 72.



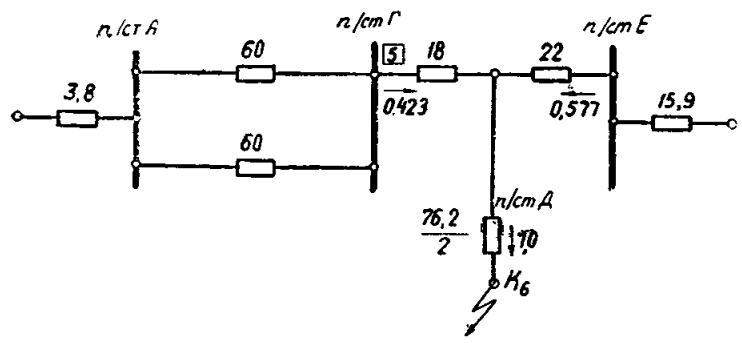
а) Исходная схема



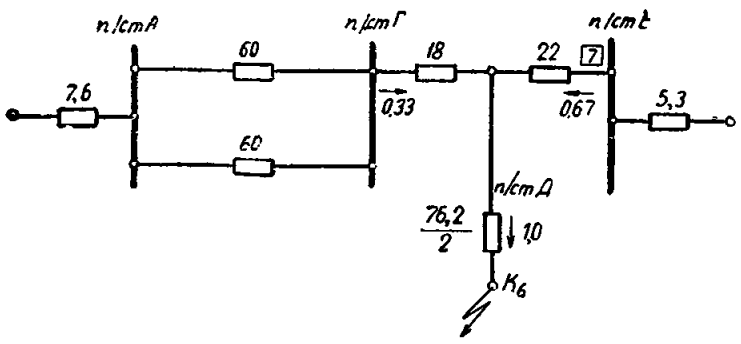
б) Схема замещения прямой (обратной) последовательности

Рис. 70. Исходная схема и схема замещения прямой (обратной) последовательности для примера расчета дистанционной защиты параллельных линий 110 *кв* с ответвлениями.

Примечания:
1. Сопротивления в схеме замещения рис. 70,*б* даны в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*; в скобках указаны сопротивления систем в минимальном режиме.
2. α — отношение сопротивления системы в минимальном режиме к сопротивлению ее в максимальном режиме.



а) для защит 5 и 6



б) для защит 7 и 8

Согласование вторых ступеней дистанционных защит *5, 6* и *3, 4* с первыми ступенями защит других элементов, присоединенных соответственно к шинам подстанции *Е* и подстанции *А*, производилось условно. При этом расчетное сопротивление срабатывания первых ступеней защит, с которыми производится согласование, и коэффициенты токораспределения принимались соответственно: 40 *ом* и 0,35 — для согласования с защитами элементов подстанции *Е*; 50 *ом* и 0,25 — для согласования с защитами элементов постанции *А*.

Отстройка вторых ступеней дистанционных защит *1—4* от коротких замыканий на шинах низшего напряжения подстанций *Б* и *В* на ответвлениях приводит к недопустимому их загрублению. В связи с этим указанные защиты по сопротивлению срабатывания и времени действия согласовываются с быстродействующими защитами элементов стороны низшего напряжения соответствующей подстанции на ответвлении в предположении, что согласование с быстродействующими защитами элементов стороны среднего напряжения не является определяющим.

При этом предполагается, что на линиях 27 *кв* в качестве первой ступени установлена токовая отсечка

Рис. 71. Токораспределение в случаях, расчетных для отстройки первых ступеней защит *5—8* от короткого замыкания на шинах низшего напряжения п/ст. *Д* в режиме, когда отключена параллельная линия.

Таблица 21

Расчет параметров срабатывания первой и второй ступеней дистанционной защиты сети по рис. 70,*а*

№ п/п.	№ защиты	Ступень	Расчетное условие	Место повреждения	Расчетное выражение	Коэффициент токораспределения по рис.	Расчетные значения сопротивлений срабатывания, *ом*	Принятые значения параметров срабатывания
1	5 и 6	I	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *Е* с противоположного конца линии	K_7	(7) из табл. 11	—	$z^{I}_{с.з5} = z^{I}_{с.з6} = 0{,}85 z_{л2} = 0{,}85 \cdot 40 = 34$	$z^{I}_{с.з5} = z^{I}_{с.з6} = 34$ *ом* $t^{I}_{с.з5} = t^{I}_{с.з6} = 0$ *сек*
2		I и II	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения п/ст. *Д* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца	K_6	(8) из табл. 11	—	$z_{с.з5} = z_{с.з6} = 0{,}85 (z_{IV} + z_{тр4}) = 0{,}85 (18 + 76{,}2) = 80$	$z^{II}_{с.з5} = z^{II}_{с.з6} = 80$ *ом* $t^{II}_{с.з5} = t^{II}_{с.з6} = 0{,}5$ *сек*
3		II	То же, но при отключении параллельной линии и переводе обоих трансформаторов подстанции на ответвлении на питание от защищаемой линии	K_6	(8) из табл. 11	71,*а*	$z_{с.з5} = z_{с.з6} = 0{,}85 \left(z_{IV} + \frac{z_{тр4}}{2k_т}\right) = 0{,}85 \left(18 + \frac{76{,}2}{2 \cdot 0{,}423}\right) = 91{,}7$	
4		II	Согласование с первыми ступенями защит соответственно *8* или *7* при каскадном отключении повреждения на параллельной линии		(12) из табл. 11	72,*а*	$z^{II}_{с.з5} = z^{II}_{с.з6} = 0{,}85 z_{л2} + 0{,}78 \frac{z^{I}_{с.з8 \text{ или } 7}}{k_т} = 0{,}85 \cdot 40 + 0{,}78 \frac{34}{0{,}177} = 187$	
5			Согласование с первыми ступенями защит других элементов, присоединенных к шинам п/ст. *Е*		(12) из табл. 11		$z^{II}_{с.з5} = z^{II}_{с.з6} = 0{,}85 z_{л2} + 0{,}78 \frac{z^{I}_{с.зE}}{k_т} = 0{,}85 \cdot 40 + 0{,}78 \frac{40}{0{,}35} = 95$	
6	1	I	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *Г* с противоположного конца линии	K_4	(7) из табл. 11		$z^{I}_{с.з1} = 0{,}85 z_{л1} = 0{,}85 \cdot 60 = 51$	$z^{I}_{с.з1} = 39{,}5$ *ом* $t^{I}_{с.з1} = 0$ *сек* $z^{II}_{с.з1} = 85$ *ом* $t^{II}_{с.з1} = 0{,}5$ *сек*
7			Отстройка от коротких замыканий на шинах низкого напряжения п/ст. *Б* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца	K_2	(8) из табл. 11		$z^{I}_{с.з1} = 0{,}85 \left(z_1 + \frac{z_{тр1}}{2}\right) = 0{,}85 \left(24 + \frac{45}{2}\right) = 39{,}5$	

Продолжение табл. 21

№ п/п.	№ защиты	Ступень	Расчетное условие	Место повреждения	Расчетное выражение	Коэффициент токораспределения по рис.	Расчетные значения сопротивлений срабатывания, *ом*	Принятые значения параметров срабатывания
8	1	II	Согласование с первыми ступенями защит элементов стороны низшего напряжения п/ст. *Б* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца		По аналогии с (8) из табл. 11 и (1) из гл. V, разд. А, п. 7		$z^{II}_{с.з1} = 0{,}85\left(z_1 + \frac{z_{тр1}}{2} + z_{расч}\right) = 0{,}85\left(24 + \frac{45}{2} + 80\right) = 107{,}5$	
9			Согласование с первой ступенью защиты *4* при каскадном отключении повреждения на параллельной линии		(12) из табл. 11	*72,6*	$z^{II}_{с.з1} = 0{,}85 z_{л1} + 0{,}78 \frac{z^{I}_{с.з4}}{k_т} = 0{,}85 \cdot 60 + 0{,}78 \cdot \frac{46}{0{,}466} = 130$	
10			Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *Е* при двух линиях на участках п/ст. *Г* — п/ст. *Е* и п/ст. *А* — п/ст. *Г*	K_7	По аналогии с (4) из табл. 11	—	$z^{II}_{с.з1} = 0{,}85\,(z_{л1} + z_{л2}) = 0{,}85\,(60 + 40) = 85$	
11			Согласование с первыми ступенями защит *5* и *6* предыдущего участка при одной линии на участке п/ст. *А*—п/ст. *Г*		По (3) из табл. 8 с учетом коэффициента возврата	*72,6*	$z^{II}_{с.з1} = 0{,}85\left(z_{л1} + \frac{0{,}9}{k_в} \cdot \frac{z^{I}_{с.з5\text{ или }6}}{k_т}\right) = 0{,}85\left(60 + \frac{0{,}9}{1{,}05} \cdot \frac{34}{0{,}466}\right) = 104$	
12			Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения п/ст. *Г*	K_5	(11) из табл. 11	*73,а*	$z^{II}_{с.з1} = 0{,}85\left(z_{л1} + \frac{z_{тр3}}{2k_т}\right) = 0{,}85\left(60 + \frac{45}{2 \cdot 0{,}36}\right) = 104$	
13	2	I	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *Г* с противоположного конца линии	K_4	(7) из табл. 11	—	$z^{I}_{с.з2} = 0{,}85 z_{л1} = 0{,}85 \cdot 60 = 51$	
14			Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения п/ст. *В* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца	K_3	(8) из табл. 11	—	$z^{I}_{с.з2} = 0{,}85\left(z_I + z_{II} + \frac{z_{тр.2}}{2}\right) = 0{,}85\left(24 + 20 + \frac{76{,}2}{2}\right) = 69{,}8$	

Продолжение табл. 21

№ п/п.	№ защиты	Ступень	Расчетное условие	Место повреждения	Расчетное выражение	Коэффициент токораспределения по рис.	Расчетные значения сопротивлений срабатывания, *ом*	Принятые значения параметров срабатывания
15	2	II	Согласование с первыми ступенями защит элементов стороны низшего напряжения подстанции *В* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца		По аналогии с (8) из табл. 11 и (1) из гл. V, разд. А п. 7	—	$z^{II}_{с.з2} = 0{,}85\left(z_I + z_{II} + \frac{z_{тр2}}{2} + z_{расч}\right) = 0{,}85\left(24+20+\frac{76{,}2}{2}+70\right) = 129$	$z^{I}_{с.з2} = 51$ *ом* $t^{I}_{с.з2} = 0$ *сек* $z^{II}_{с.з2} = 85$ *ом* $t^{II}_{с.з2} = 0{,}5$ *сек*
16			Согласование с первой ступенью защиты *3* при каскадном отключении повреждения на параллельной линии		(12) из табл. 11	72,*б*	$z^{II}_{с.з2} = 0{,}85 z_{л\text{-}1} + 0{,}78\frac{z^{I}_{с.з3}}{k_т} = 0{,}85\cdot 60 + 0{,}78\frac{49{,}7}{0{,}466} = 136{,}3$	
17			Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *Е* при двух линиях на участках п/ст. *Г* — п/ст. *Е* и п/ст. *А* — п/ст. *Г*	K_7	По аналогии с (4) из табл. 11	—	$z^{II}_{с.з2} = 0{,}85\,(z_{л\text{-}1} + z_{л\text{-}2}) = 0{,}85\,(60+40) = 85$	
18			Согласование с первыми ступенями защит *5* и *6* предыдущего участка при одной линии на участке п/ст. *А* — п/ст. *Г*		По (3) из табл. 8 с учетом коэффициента возврата	72,*б*	$z^{II}_{с.з2} = 0{,}85\left(z_{л\text{-}1} + \frac{0{,}9}{k_в}\frac{z^{I}_{с.з5\text{ или }6}}{k_т}\right) = 0{,}85\left(60+\frac{0{,}9}{1{,}05}\cdot\frac{34}{0{,}466}\right) = 104$	
19			Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения п/ст. *Г*	K_5	(11) из табл. 11	73,*а*	$z^{II}_{с.з2} = 0{,}85\left(z_{л\text{-}1} + \frac{z_{тр3}}{2k_т}\right) = 0{,}85\left(60+\frac{45}{2\cdot 0{,}36}\right) = 104$	
20	3	I	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *А* с противоположного конца линии	K_1	(7) из табл. 11	—	$z^{I}_{с.з3} = 0{,}85 z_{л\text{-}1} = 0{,}85\cdot 60 = 51$	$z^{I}_{с.з3} = 49{,}7$ *ом* $t^{I}_{с.з3} = 0$ *сек* $z^{II}_{с.з3} = 118$ *ом* $t^{II}_{с.з3} = 0{,}5$ *сек*
21			Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения п/ст. *Б* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца	K_2	(8) из табл. 11	—	$z^{I}_{с.з3} = 0{,}85\left(z_{II} + z_{III} + \frac{z_{тр1}}{2}\right) = 0{,}85\left(20+16+\frac{45}{2}\right) = 49{,}7$	

Продолжение табл. 21

№ п/п.	№ защиты	Ступень	Расчетное условие	Место повреждения	Расчетное выражение	Коэффициент токораспределения по рис.	Расчетные значения сопротивления срабатывания, *ом*	Принятые значения параметров срабатывания
22	3	II	Согласование с первыми ступенями защит элементов стороны низшего напряжения п/ст. *Б* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца		По аналогии с (8) из табл. 11 и (1) из гл. V, разд. А, п. 7	—	$z^{II}_{с.з3}=0{,}85\left(z_{II}+z_{III}+\frac{z_{тр1}}{2}+z_{расч}\right)=$ $=0{,}85\left(20+16+\frac{45}{2}+80\right)=118$	$z^{II}_{с.з3}=49{,}7$ *ом* $t^{I}_{с.з3}=0$ *сек* $z^{II}_{с.з3}=118$ *ом* $t^{II}_{с.з3}=0{,}5$ *сек*
23			Согласование с первой ступенью защиты *2* при каскадном отключении повреждения на параллельной линии		(12) из табл. 11	72,*в*	$z^{II}_{с.з3}=0{,}85z_{л1}+0{,}78\frac{z^{I}_{с.з2}}{k_т}=$ $=0{,}85\cdot60+0{,}78\frac{51}{0{,}082}=548$	
24			Согласование с первыми ступенями защит других элементов, присоединенных к шинам п/ст. *А*		(12) из табл. 11	—	$z^{II}_{с.з}=0{,}85z_{л1}+0{,}78\frac{z^{I}_{с.зА}}{k_т}=$ $=0{,}85\cdot60+0{,}78\frac{50}{0{,}25}=211$	
25	4	I	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *А* с противоположного конца линии	K_1	(7) из табл. 11	—	$z^{I}_{с.з4}=0{,}85z_{л1}=0{,}85\cdot60=51$	$z^{I}_{с.з4}=46$ *ом* $t^{I}_{с.з4}=0$ *сек* $z^{II}_{с.з4}=106$ *ом* $t^{II}_{с.з4}=0{,}5$ *сек*
26			Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения п/ст. *В* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца	K_3	(8) из табл. 11	—	$z^{I}_{с.з4}=0{,}85\left(z_{III}+\frac{z_{тр2}}{2}\right)=$ $=0{,}85\left(16+\frac{76{,}2}{2}\right)=46$	
27	4	II	Согласование с первой ступенью защит элементов стороны низшего напряжения п/ст. *В* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца		По аналогии с (8) из табл. 11 и (1) из гл. V, разд. А, п. 7	—	$z^{II}_{с.з4}=0{,}85\left(z_{III}+\frac{z_{тр2}}{2}+z_{расч}\right)=$ $=0{,}85\left(16+\frac{76{,}2}{2}+70\right)=106$	
28			Согласование с первой ступенью защиты *1* при каскадном отключении повреждения на параллельной линии		(12) из табл. 11	72,*в*	$z^{II}_{с.з4}=0{,}85z_{л1}+0{,}78\frac{z^{I}_{с.з1}}{k_т}=$ $=0{,}85\cdot60+0{,}78\frac{39{,}5}{0{,}082}=436$	

№ п/п.	№ защиты	Ступень	Расчетное условие	Место повреждения	Расчетное выражение	Коэффициент токораспределения по рис.	Расчетные значения сопротивления срабатывания, *ом*	Принятые значения параметров срабатывания
29	4	II	Согласование с первыми ступенями защит других элементов, присоединенных к шинам п/ст. *А*		(12) из табл. 11	—	$z^{II}_{с.з4} = 0{,}85 z_{л\text{-}1} + 0{,}78 \frac{z^{I}_{с.зА}}{k_т} = 0{,}85 \cdot 60 + 0{,}78 \frac{50}{0{,}25} = 211$	
30	7 и 8	I	Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *Г* с противоположного конца линии	K_4	(7) из табл. 11	—	$z^{I}_{с.з7} = z^{I}_{с.з8} = 0{,}85 z_{л2} = 0{,}85 \cdot 40 = 34$	$z^{I}_{с.з7} = z^{I}_{с.з8} = 34$ *ом* $t^{I}_{с.з7} = t^{I}_{с.з8} = 0$ *сек*
31		I и II	Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения п/ст. *Д* на ответвлении при отключении защищаемой линии с противоположного конца	K_6	(8) из табл. 11	—	$z_{с.з7} = z_{с.з8} = 0{,}85 (z_V + z_{тр4}) = 0{,}85 (22 + 76{,}2) = 83{,}5$	$z^{II}_{с.з7} = z^{II}_{с.з8} = 59{,}8$ *ом* $t^{II}_{с.з7} = t^{II}_{с.з8} = 0{,}5$ *сек*
32			То же, но при отключении параллельной линии и переводе обоих трансформаторов п/ст. *Д* на ответвлении на питание от защищаемой линии	K_6	(8) из табл. 11	71,*б*	$z_{с.з7} = z_{с.з8} = 0{,}85 \left(z_V + \frac{z_{тр4}}{2k_т} \right) = 0{,}85 \left(22 + \frac{76{,}2}{2 \cdot 0{,}67} \right) = 67$	
33		II	Согласование с первой ступенью защиты соответственно *6* или *5* при каскадном отключении повреждения на параллельной линии		(12) из табл. 11	72,*г*	$z^{II}_{с.з7} = z^{II}_{с.з8} = 0{,}85 z_{л\text{-}1} + 0{,}78 \frac{z^{I}_{с.з6 \text{ или } 5}}{k_т} = 0{,}85 \cdot 40 + 0{,}78 \frac{34}{0{,}6} = 79{,}4$	
34			Отстройка от коротких замыканий на шинах п/ст. *А* при двух линиях на участке п/ст. *А* — п/ст. *Г* и одной на участке п/ст. *Г* — п/ст. *Е*	K_1	(10) из табл. 11	—	$z^{II}_{с.з7} = z^{II}_{с.з8} = 0{,}85 z_{л\text{-}2} + 0{,}43 z_{л\text{-}1} = 0{,}85 \cdot 40 + 0{,}43 \cdot 60 = 59{,}8$	
35			Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения п/ст. *Г*	K_5	(11) из табл. 11	73,*б*	$z^{II}_{с.з7} = z^{II}_{с.з8} = 0{,}85 \left(z_{л\text{-}2} + \frac{z_{тр3}}{2k_т} \right) = 0{,}85 \left(40 + \frac{45}{2 \cdot 0{,}454} \right) = 76{,}2$	

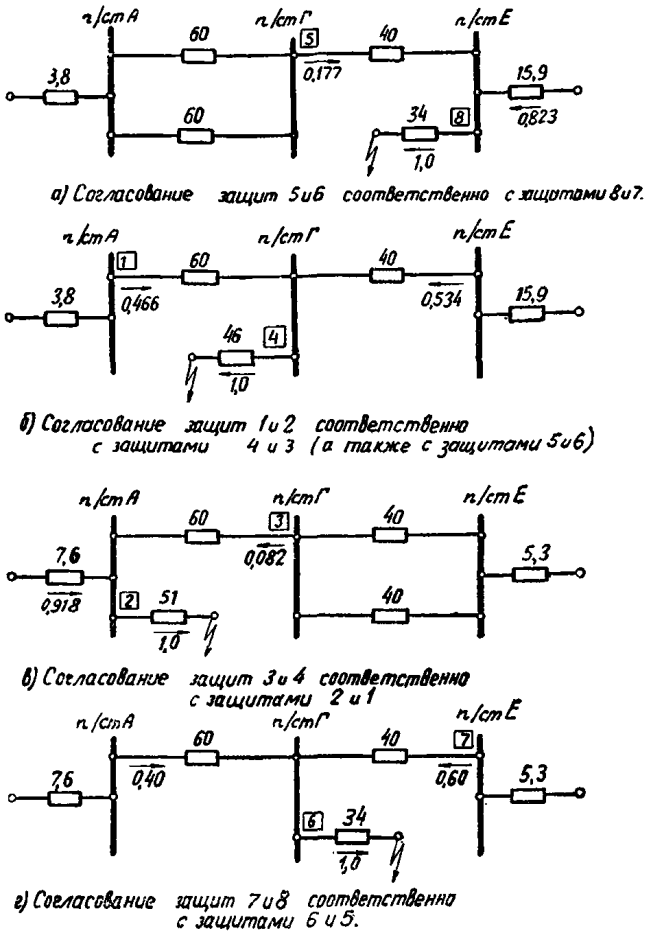


Рис. 72. Токораспределение в случаях, расчетных для согласования второй ступени защиты с первой ступенью защиты противоположного конца параллельной линии.

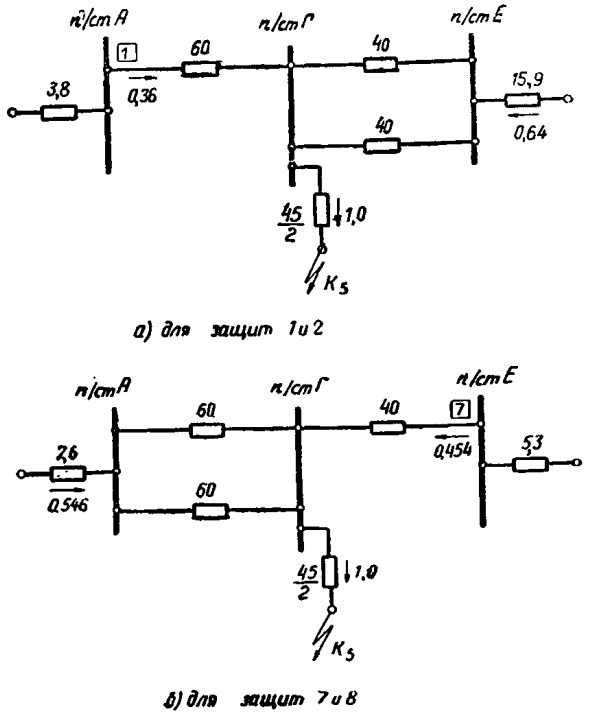


Рис. 73. Токораспределение в случаях, расчетных для отстройки вторых ступеней защит *1, 2, 7* и *8* от короткого замыкания на шинах низшего напряжения п/ст. *Г*.

без выдержки времени, а минимальные сопротивления, защищаемые отсечкой в минимальном режиме работы систем (которые должны учитываться при согласовании), составляют 80 *ом* — для защит линий подстанции *Б* и 70 *ом* — для защит линий подстанции *В*. Соответствующие расчетные выражения для согласования были составлены по аналогии с (8) из табл. 11 с учетом (1) из гл. V, разд. А, п. 7.

Отстройка вторых ступеней защит *1* и *2* от коротких замыканий на шинах подстанции *Е* в режиме, когда на участке п/ст. *А*—п/ст. *Г* работает одна, а на участке п/ст. *Г* — п/ст. *Е* — обе линии, приводит к недопустимому загрублению защиты. В связи с этим рассматриваемая отстройка производится в режиме, когда на участке п/ст. *А* — п/ст. *Г* (а также на участке п/ст. *Г* — п/ст. *Е*) работают обе линии. Указанное допустимо в предположении, что на подстанции *Е* имеется защита шин. В связи с такой отстройкой дополнительно производится согласование указанных вторых ступеней с первыми ступенями защит *5* и *6* предыдущего участка при одной линии на участке п/ст. *А* — п/ст. *Г* (см. гл. V, разд. Б, п. 3). Это согласование производится в режиме каскадного отключения с противоположного конца повреждения на предыдущей линии в режиме, когда имеет место наименьшая подпитка. Коэффициент токораспределения в рассматриваемом случае будет таким же, как при согласовании второй ступени рассматриваемой защиты с первой ступенью защиты противоположного конца параллельной линии (рис. 72,*б*). Согласование производится по (3) из табл. 8 с учетом коэффициента возврата дистанционного органа II ступени защит *1* и *2* (принимаемого равным $k_в = 1{,}05$), поскольку согласуемая защита (*1* и *2*) может подействовать до начала каскадного отключения поврежденной линии с противоположного конца.

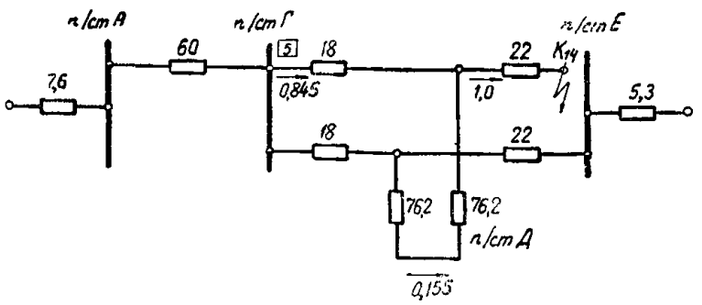
Отстройка вторых ступеней защит *1, 2, 7* и *8* от коротких замыканий на шинах низшего напряжения подстанции *Г* производится в режимах, когда имеет место наименьшая подпитка. Токораспределение для этих случаев приведено на рис. 73.

Расчет чувствительности вторых ступеней дистанционных защит к повреждениям в конце защищаемой линии приведен в табл. 22. Определение коэффициентов чувствительности защит *5—8* производилось для случаев, когда имеется подпитка места короткого замыкания через трансформаторы подстанции *Д*. Токораспределение для этих случаев приведено на рис. 74.

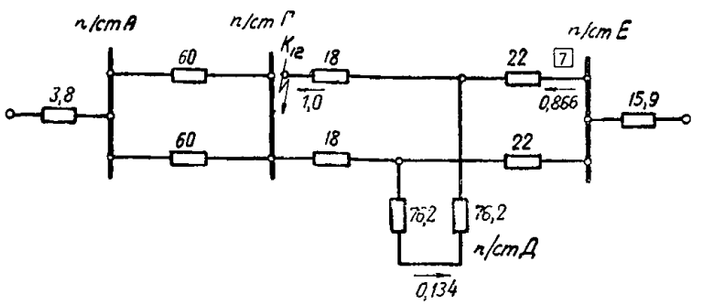
Из табл. 22 видно, что при повреждении на противоположном конце защищаемой линии вторые ступени защит *3, 4* и *5, 6* имеют чувствительность, достаточную для двухступенчатых защит ($k_ч \geqslant 1{,}5$), а вторые ступени защит *1, 2* и *7, 8* — чувствительность, достаточную для трехступенчатых защит ($k_ч \geqslant 1{,}25$).

В связи с указанным, а также предполагая, что третьи ступени защит *3, 4* и *5, 6* не могут полноценно резервировать защит линий, отходящих от шин, соответственно п/ст. *А* и п/ст. *Е* (из-за сравнительно больших длин этих линий и мощных подпиток), принимаем защиты *3, 4* и *5, 6* двухступенчатыми (по рис. 4, 5 или 6). При этом предполагается также, что на подстанциях *А* и *Е* имеется УРОВ.

Защиты *1, 2* и *7, 8* принимаются трехступенчатыми (по рис. 1, 2 или 3). Конкретный выбор схемы защиты производится после расчета устройства блокировки при качаниях (примеры расчета блокировок приведены



а) для защит 5 и 6



б) для защит 7 и 8

Рис. 74. Токораспределение в случаях, расчетных по чувствительности для вторых ступеней защит *5—8*.

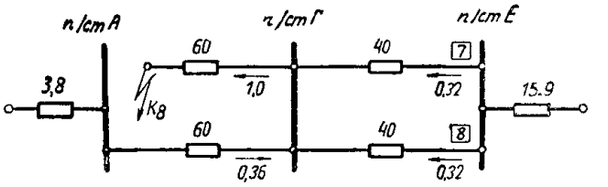


Рис. 75. Токораспределение в случае, расчетном по чувствительности для третьих ступеней дистанционных защит *7—8*.

в гл. V, разд. Ж и З), который в настоящем примере не приводится.

Расчет сопротивлений срабатывания третьих ступеней защит *1*, *2* и *7*, *8* производился исходя из расчетных параметров в месте установки защиты в расчетных аварийных режимах. Расчет приведен в табл. 23.

При определении минимального рабочего сопротивления на зажимах защиты в условиях самозапуска $z_{\text{самозап}}$ по (1.1) из гл. V, разд. А коэффициент самозапуска ориентировочно принимался равным $k_{\text{самозап}}=1{,}0$, поскольку защищаемые линии питают тяговую нагрузку.

При определении первичного сопротивления срабатывания третьей ступени $z^{\text{III}}_{\text{с.з}}$ по (10) из гл. V, разд. А коэффициент возврата реле сопротивления третьей ступени (типа КРС-132) принимался равным $k_{\text{в}}=1{,}05$, а угол максимальной чувствительности реле — $\varphi_{\text{м.ч}}=65°$.

Расчет чувствительности третьих ступеней дистанционных защит *1*, *2* и *7*, *8* приведен в табл. 24. Рас-

Таблица 22

Расчет чувствительности вторых ступеней дистанционной защиты сети по рис. 70,*а*

№ п/п.	№ защиты	Место повреждения	Расчетный режим	Первичное сопротивление на зажимах защиты $z_{\text{защ}}$, *ом*	Значение коэффициента чувствительности $k_{\text{ч}}=\frac{z_{\text{с.з}}}{z_{\text{защ}}}$
1	1	K_{10}	Любой	60	$\frac{85}{60}=1{,}42$
2	2	K_{11}	Любой	60	$\frac{85}{60}=1{,}42$
3	3	K_8	Любой	60	$\frac{118}{60}=1{,}97$
4	4	K_9	Любой	60	$\frac{106}{60}=1{,}77$
5	5 и 6	K_{14} (K_{15})	Отключен выключатель соответственно *7* или *8* противоположного конца защищаемой линии в минимальном режиме работы системы I и максимальном режиме работы системы II, отключена одна из линий на участке п/ст.*А*—п/ст.*Г*	$18+\frac{22}{k_{\text{т}}}=18+\frac{22}{0{,}845}=44{,}0$	$\frac{80}{44}=1{,}82$
6	7 и 8	K_{12} (K_{13})	Отключен выключатель *5* или *6* соответственно противоположного конца защищаемой линии в максимальном режиме работы системы I и минимальном режиме работы системы II	$22+\frac{18}{k_{\text{т}}}=22+\frac{18}{0{,}866}=42{,}8$	$\frac{59{,}8}{42{,}8}=1{,}4$

Примечания:
1. Сопротивления даны в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*.
2. Определяется чувствительность к повреждениям в конце защищаемой линии.

Таблица 23

Расчет сопротивлений срабатывания третьих ступеней дистанционных защит *1*, *2*, *7* и *8* сети по рис. 70,*а*

№ защиты	Расчетные параметры в местах установки защит в расчетных аварийных режимах				Первичное сопротивление срабатывания, *ом*, по (10) из гл. V, разд. А, п. 15
	Напряжение, *кв*	Ток, *ка*	Угол между током и напряжением, *град*	Минимальное сопротивление самозапуска, *ом*, по (11) из гл. V, разд. А, п. 15 $z_{самозап}$	
1	108	0,40	36	156	141
2	108	0,32	35	195	179
3	101	0,30	40	—	—
4	101	0,20	40	—	—
5	101	0,18	40	—	—
6	101	0,18	40	—	—
7	105	0,20	38	303	270
8	105	0,20	38	303	270

Примечания:

1. Расчетные параметры даны для каждой защиты в расчетном для нее аварийном режиме.
2. Напряжения даны в киловольтах, токи в килоамперах а сопротивления в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*.

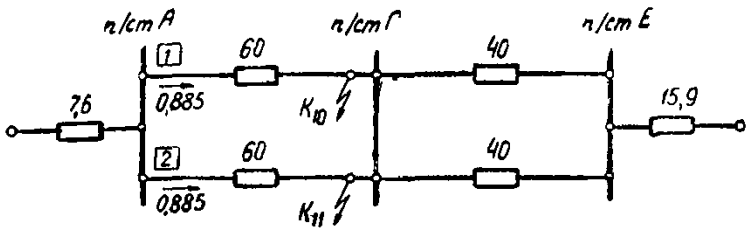
Таблица 24

Расчет чувствительности третьих ступеней дистанционных защит *1*, *2*, *7* и *8* сети по рис. 70,*а*

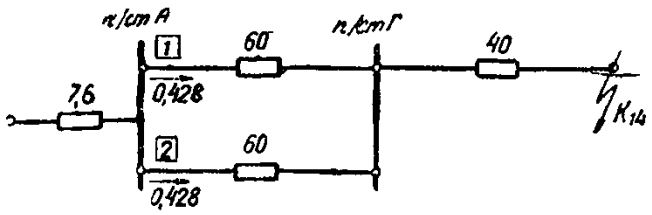
№ защиты	Место повреждения	Расчетный режим	Первичное сопротивление на зажимах защиты $z_{защ}$, *ом*	Значение коэффициента чувствительности $k_ч = \frac{z_{с.з}}{z_{защ}}$
1	K_{14} (K_{15})	Отключены выключатели *7* и *8* (после отключения неповрежденной линии п/ст. *Г*—п/ст. *Е*)	$60+2\cdot40=140$	$\frac{141}{140}=1,01$
1	K_{14} (K_{15})	То же, но дополнительно отключен выключатель *2* (после отключения параллельной линии п/ст. *А*—п/ст. *Г*) см. следующую строку	$60+40=100$	$\frac{141}{100}=1,41$
2	K_{14} (K_{15})	Отключены выключатели *7* и *8* (после отключения неповрежденной линии п/ст. *Г*—п/ст. *Е*)	$60+2\cdot40=140$	$\frac{179}{140}=1,28$
7 и 8	K_8 (K_9)	Отключен выключатель *1* или *2* в максимальном режиме работы системы *I* и минимальном режиме работы системы *II*	$40+\frac{60}{0,32}=227$	$\frac{270}{227}=1,19$

Примечания:

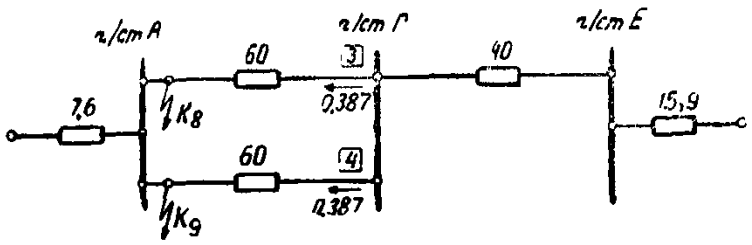
1. Сопротивления даны в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*.
2. Определяется чувствительность к повреждениям в конце предыдущей линии после отключения выключателя, ближайшего к месту повреждения.



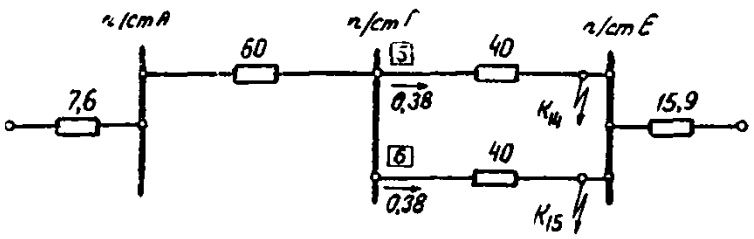
а) для защит 1 и 2 (первая и вторая ступени)



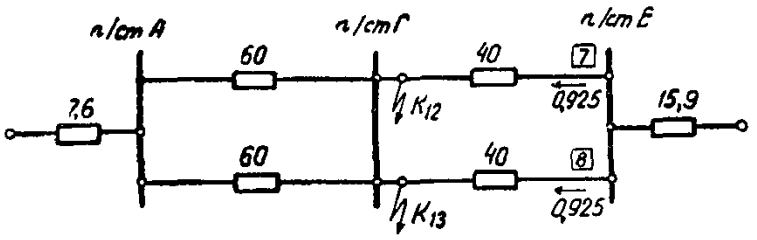
б) для защит 1 и 2 (третья ступень)



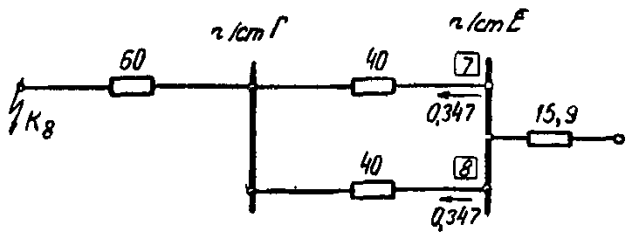
в) для защит 3 и 4



г) для защит 5 и 6



д) для защит 7 и 8 (первая и вторая ступени)



е) для защит 7 и 8 (третья ступень)

Рис. 76. Токи повреждения в случаях, расчетных для определения чувствительности потоку точной работы дистанционных защит сети по рис. 70,*а*.

Таблица 25

Расчет чувствительности по току точной работы реле сопротивления дистанционных защит сети по рис. 70,*а*

№ защиты	Коэффициент трансформации трансформаторов тока в месте установки защиты	Ступень	Сопротивление срабатывания защиты $z_{с.з}$	Сопротивление срабатывания реле $z_{с.р}$	Уставка на трансреакторе z_0 (*ом* на фазу)	Отношение числа первичных витков автотрансформатора к числу включенных его вторичных витков $N = \frac{z_{ср}}{z_0}$	Значение тока точной работы (а)		Вторичные токи в месте установки защиты при коротких замыканиях в конце защищаемой линии			Коэффициент чувствительности по току точной работы по (32) из гл. V, разд. Е, п. 6	
							для реле типа КРС-131 и КРС-132 (III ступ.) по (30) из гл. V, раздел Е, п. 4	для реле типа КРС-121 по (31) из гл. V, разд. Е, п. 4	место повреждения	замыкание между тремя фазами	замыкание между двумя фазами	для реле типа КРС-131 и КРС-132 (III ступень)	для реле типа КРС-121
1	$\frac{600}{5}$	I	39,5	4,3	2	2,15	$\frac{2}{\sqrt{2,15}} = 1,37$	$1 \cdot 2,15 = 2,15$	K_{10}	7,37	6,39	5,4	2,97
		II	85	9,27	2	4,63	$\frac{1,15}{\sqrt{4,63}} = 0,53$	$0,4 \cdot 4,63 = 1,85$	K_{10}			13,9	3,46
		III	141	15,4	2	7,7	$\frac{2,3}{\sqrt{7,7}} = 0,83$	—	K_{14} (K_{15})	3,57	—	4,3	—
2	$\frac{600}{5}$	I	51	5,56	2	2,78	$\frac{2}{\sqrt{2,78}} = 1,2$	$1 \cdot 2,78 = 2,78$	K_{11}	7,37	6,39	6,14	2,3
		II	85	9,27	2	4,63	$\frac{1,15}{\sqrt{4,63}} = 0,53$	$0,4 \cdot 4,63 = 1,85$	K_{11}			13,9	3,46
		III	179	19,5	2	9,75	$\frac{2,3}{\sqrt{9,75}} = 0,74$	—	K_{14} (K_{15})	3,57	—	4,8	—
3	$\frac{600}{5}$	I	49,7	5,42	2	2,71	$\frac{2}{\sqrt{2,71}} = 1,22$	—	K_8	3,22	—	2,64	—
		II	118	12,9	2	6,45	$\frac{1,15}{\sqrt{6,45}} = 0,45$	—	K_8			7,15	—
4	$\frac{600}{5}$	I	46	5,01	2	2,5	$\frac{2}{\sqrt{2,5}} = 1\ 27$	—	K_9	3,22	—	2,54	—
		II	106	11,6	2	5,8	$\frac{1,15}{\sqrt{5,8}} = 0,48$	—	K_9			6,7	—
5 и 6	$\frac{300}{5}$	I	34	1,85	1	1,85	$\frac{4}{\sqrt{1,85}} = 2,94$	—	K_{14} и K_{15}	6,32	—	2,15	—
		II	80	4,36	1	4,36	$\frac{2,3}{\sqrt{4,36}} = 1,1$	—	K_{14} и K_{15}			5,74	—
7 и 8	$\frac{300}{5}$	I	34	1,85	1	1,85	$\frac{4}{\sqrt{1,85}} = 2,94$	$2 \cdot 1,85 = 3,7$	K_{12} и K_{13}	15,4	13,4	5,24	3,62
		II	59,8	3,26	1	3,26	$\frac{2,3}{\sqrt{3,26}} = 1,28$	$0,8 \cdot 3,26 = 2,61$	K_{12} и K_{13}			12,0	5,14
		III	270	14,7	2	7,3	$\frac{2,3}{\sqrt{7,3}} = 0,85$	—	K_8 и K_9	5,77	—	6,8	—

Примечания:

1. Сопротивления срабатывания защиты $z_{с.з}$ заимствованы из табл. 21 и 23 и даны в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*, а сопротивления срабатывания реле $z_{с.р}$ — в действительных вторичных омах.

2. Коэффициент трансформации трансформаторов напряжения, к которым присоединены защиты, $n_н = 110\,000/100$.

3. Значения тока точной работы приведены в таблице для реле типов КРС-131 и КРС-132 — для случая замыкания между тремя фазами, а для реле типа КРС-121 — для случая замыкания между двумя фазами.

сматривается чувствительность к повреждению в конце предыдущего участка после отключения выключателя, ближайшего к месту повреждения. Токораспределение в расчетном по чувствительности случае для защит *7* и *8* приведено на рис. 75.

Из табл. 24 видно, что достаточная чувствительность третьих ступеней ($k_ч \geqslant 1{,}2$) обеспечивается только при каскадном отключении последующих участков.

Расчет чувствительности защиты по току точной работы приведен в табл. 25.

При определении тока точной работы для каждой ступени защиты рассчитывается вторичное сопротивление срабатывания реле $z_{с.р}$, выбирается уставка z_0 на трансреакторе реле и определяется отношение N числа первичных витков автотрансформатора к числу включенных его вторичных витков. Затем, исходя из приведенных в табл. 13 и 16 значений тока точной работы при использовании всех витков автотрансформатора в его вторичной обмотке (при $N=1$), по (30) и (31) определяются значения тока точной работы при использованном в действительности числе вторичных витков ($N \neq 1$). По этим значениям определяются коэффициенты чувствительности по току точной работы.

Токи повреждения в случаях, расчетных для определения чувствительности по току точной работы, приведены на рис. 76.

Из табл. 25 видно, что чувствительность по току точной работы для всех защит значительно больше необходимой.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ БЛОКИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ОБРЫВЕ ТРЕХ ФАЗ ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

1. Ниже приводятся некоторые варианты выполнения блокировки дистанционной защиты (применяемые в ряде энергосистем), предотвращающие ее неправильное срабатывание при обрыве трех фаз цепей напряжения, например, из-за ошибочного отключения трансформатора напряжения.

2. Указанная блокировка может быть выполнена [1]:

а) с помощью двух реле тока, ток срабатывания которых выбирается по условию отстройки от тока нагрузки в нормальном нагрузочном режиме, поскольку вероятность одновременной перегрузки линии и обрыва трех фаз цепей напряжения невелика.

Замыкающие контакты реле тока должны включаться таким образом, чтобы они подавали плюс на реле сопротивления (дистанционного и пускового органов) только при коротком замыкании и не влияли на работу реле, осуществляющего переключение в цепях напряжения реле сопротивления дистанционного органа для перехода с уставки первой на уставку второй ступени;

б) с помощью одного реле тока, включаемого на фазный ток, и одного реле напряжения, включаемого на междуфазное напряжение, реле тока должно включаться на ток одной из тех фаз, на которое включено реле напряжения. Замыкающие контакты реле тока и напряжения соединяются параллельно и включаются в цепь подведения плюса оперативного постоянного тока к защите.

Ток срабатывания реле тока должен выбираться по условию отстройки от тока нагрузки линии в нормальном нагрузочном режиме; напряжение возврата реле напряжения должно быть выбрано так, чтобы реле не возвращалось от напряжения в месте установки защиты при коротком замыкании в такой точке линии, где реле тока еще удовлетворяет требованию чувствительности.

В нормальном нагрузочном режиме подведение оперативного тока к защите обеспечивается контактом реле напряжения. При близких коротких замыканиях с участием фазы, на которую включено реле тока, оперативный ток на защиту подается контактом этого реле, при удаленных коротких замыканиях того же вида, когда реле тока нечувствительно, а также при замыканиях между теми фазами, на которые не включено реле тока, — контактом реле напряжения;

в) с помощью реле типа РТБ-1 (изготавливаемого ЦЛЭМ Мосэнерго), реагирующего на сумму трех выпрямленных фазных напряжений (рабочая обмотка) и выпрямленный ток одной фазы (дополнительная обмотка). Замыкающий контакт этого реле включается в цепь подведения плюса оперативного постоянного тока к защите.

В нормальном нагрузочном режиме, а также при удаленных трехфазных коротких замыканиях и любых несимметричных повреждениях реле держит контакт замкнутым за счет подведения напряжения к рабочей обмотке; при трехфазных коротких замыканиях вблизи места установки защиты — за счет наличия тока в дополнительной обмотке. Реле замыкает контакт при исчезновении трех фаз цепей напряжения с дистанционной защиты.

3. Блокировка по п. 2,а имеет очень ограниченную область применения (короткие, малонагруженные линии, отходящие от мощной системы).

Область применения блокировки по п. 2,б шире, чем у блокировки по п. 2,а и не зависит от длины и нагруженности защищаемых линий.

Область применения блокировки по п. 2,в еще несколько шире и, так же как и для блокировки по п. 2,б, ограничивается только мощностью питающей системы (значением сопротивления от источника питания до места установки защиты).

Все перечисленные варианты выполнения блокировки снижают надежность цепи подведения плюса оперативного постоянного тока к дистанционной защите.

Блокировка по п. 2,б имеет дополнительно тот недостаток, что время размыкания замыкающего контакта реле напряжения блокировки может быть больше, чем время срабатывания реле сопротивления защиты при обрыве трех фаз цепей напряжения.

Следует отметить, что применение указанных блокировок не исключает необходимости использования устройства блокировки от обрыва одной или двух фаз цепей напряжения.

[1] Л. С. Перельман, Блокировка защит типов ПЗ-156 и ПЗ-157 при обрыве трех фаз цепей напряжения, «Электрические станции», 1958, № 6 и О. А. Гильчер, Блокировка дистанционных защит от исчезновения напряжения одновременно в трех фазах, «Электрические станции», 1959, № 3.

БЛОКИРУЮЩЕЕ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

1. Блокирующие реле сопротивления с прямолинейной характеристикой применяются в схемах дистанционной защиты (гл. 1, разд. А, п. 15) для повышения чувствительности защиты путем улучшения отстройки ее от нагрузочных режимов. Реле включаются на междуфазные напряжения и разности фазных токов, а контакты их — последовательно с контактами реле сопротивления пускового или дистанционного органа.

2. На рис. П-1 в комплексной плоскости сопротивлений даны характеристики срабатывания направленного реле сопротивления и блокирующего реле сопротивления. Точка *О* на рис. П-1 соответствует месту установки защиты, а точки *А* и *Б* — местам приложения э. д. с. генераторов систем в предположении, что углы сопротивлений систем и линий одинаковы.

Характеристика блокирующего реле, отсекая часть плоскости, ограниченной характеристикой срабатывания направленного реле сопротивления, позволяет отстраиваться от нагрузочных режимов, характеризуемых векторами $Z_{нагр}$, концы которых находятся в области срабатывания направленного реле сопротивления и вне области срабатывания блокирующего реле сопротивления (на рис. П-1 указанная область ограничена прямой характеристики срабатывания блокирующего реле и пунктирной частью характеристики направленного реле сопротивления).

3. ЦЛЭМ Мосэнерго изготовляет блокирующее реле сопротивления типа ИСХ на базе барабанчиковой системы реле мощности типа ИМБ-171/1.

Параметры этого реле (на основании материалов ЦЛЭМ Мосэнерго) следующие:

а) чувствительность реле (минимальное сопротивление трогания, т. е. кратчайшее расстояние характеристики реле от начала координат) 2,15—3,9 *ом* на фазу (ступенчатая регулировка осуществляется с помощью ответвлений на автотрансформаторе);

б) ток точной работы реле составляет 2—3 *а*;

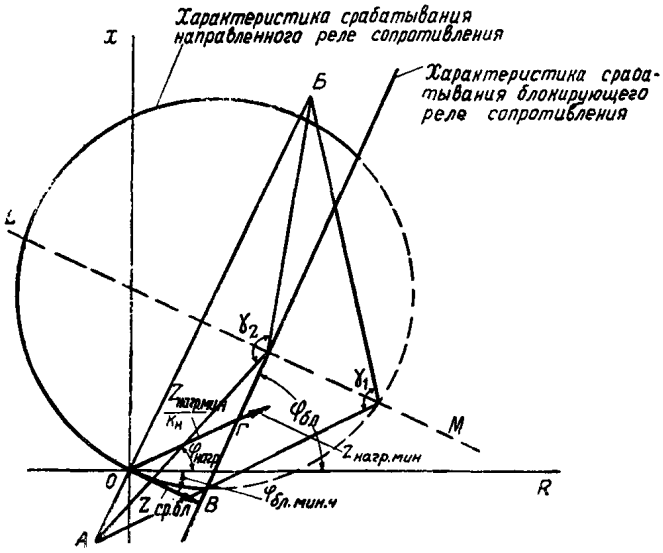


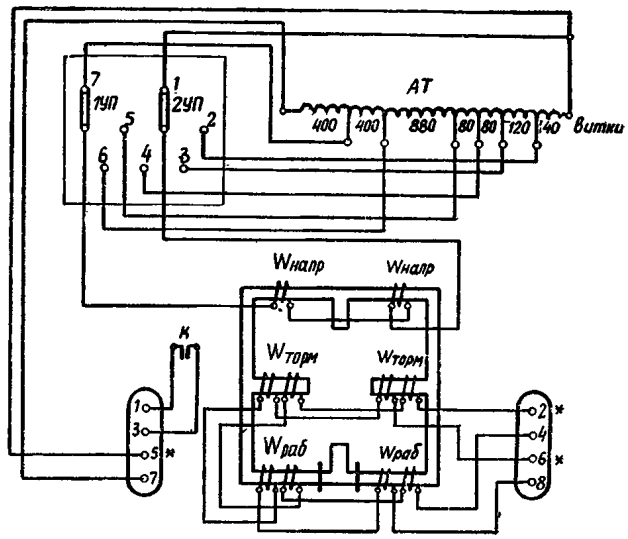
Рис. П-1. Характеристики срабатывания направленного реле сопротивления и блокирующего реле сопротивления.

в) потребление токовых цепей 5 *ва* при 5 *а*;

г) потребление цепи напряжения 17 *ва* при 110 *в* (на минимальной уставке);

д) время действия реле при кратности $\frac{z_{реле}}{z_{с.р}} = 0{,}85$ составляет 0,07 *сек*.

Схема внутренних соединений реле приведена на рис. П-2, характеристики реле по данным ЦЛЭМ Мосэнерго — на рис. П-3, П-4 и П-5.



* однополярные зажимы реле

К – контакт реле

Рис. П-2. Схема внутренних соединений реле типа ИСХ.

4. При совместном применении направленного и блокирующего реле сопротивления выбор уставок обоих реле производится следующим образом.

Сопротивление срабатывания направленного реле сопротивления выбирается таким, чтобы обеспечивалась требуемая чувствительность.

Первичное сопротивление срабатывания блокирующего реле сопротивления выбирается по выражению, вытекающему из рис. П-1:

$$z_{с.р.бл} = \frac{z_{нагр.мин} \sin(\varphi_{бл} - \varphi_{нагр})}{k_н}, \quad (П\text{-}1)$$

где $z_{нагр.мин}$ — минимально возможное сопротивление нагрузки;

$\varphi_{нагр}$ — угол минимального сопротивления нагрузки;

$\varphi_{бл}$ — угол характеристики срабатывания блокирующего реле, для реле типа UCX может быть принят равным 67° (рис. П-5);

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

Необходимо также проверить чувствительность блокирующего реле по току точной работы.

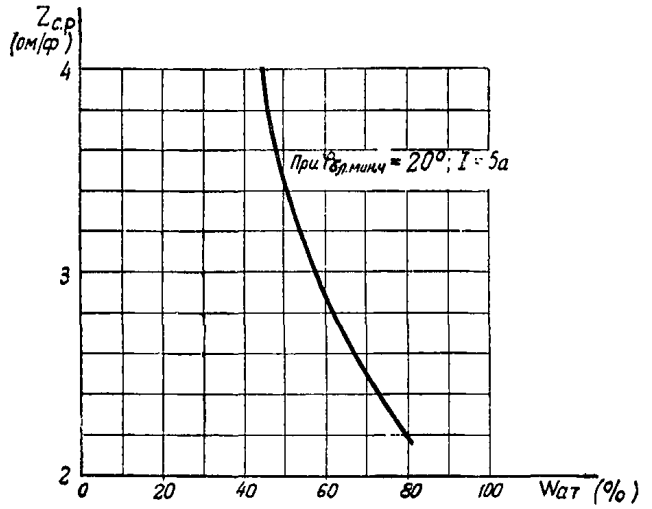


Рис. П-3. Пределы регулировки сопротивления срабатывания реле типа ИСХ.

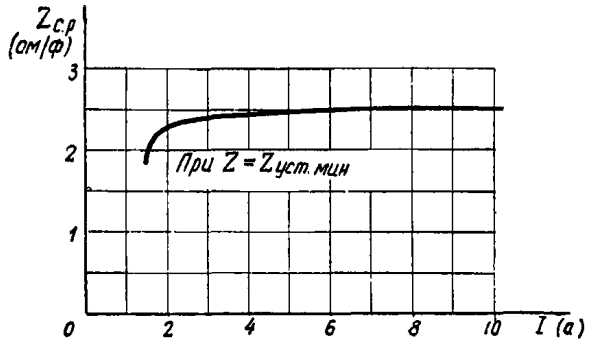


Рис. 11-4. Зависимость сопротивления срабатывания реле типа ИСХ от тока.

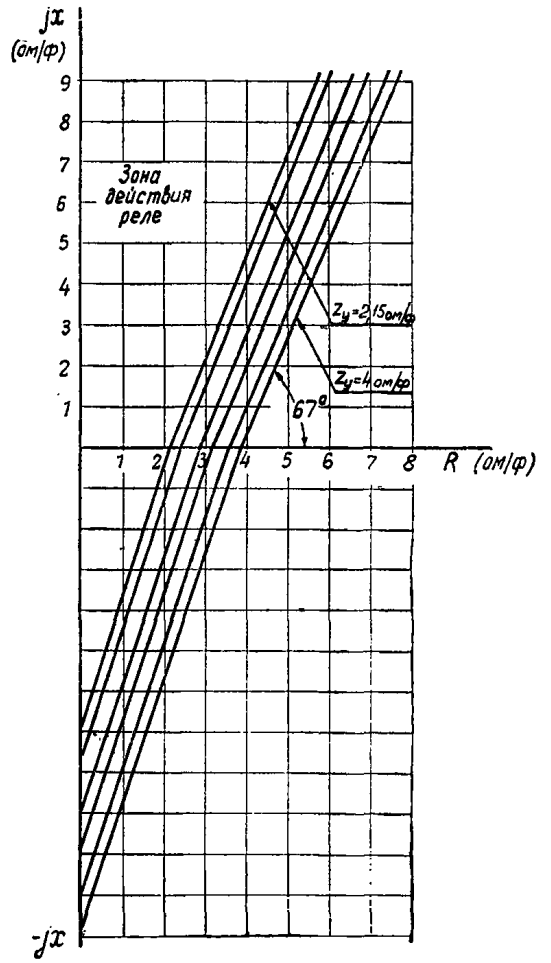


Рис. П-5. Характеристики срабатывания реле типа ИСХ при различных уставках.

5. Сокращение области срабатывания защиты, имеющей блокирующее реле сопротивления, приводит к уменьшению вероятности работы защиты при качаниях. Указанное иллюстрируется на рис. П-1 для случая равенства э. д. с. генераторов систем, примыкающих к защищаемой линии, при этом прямая LM, проходящая в этом случае через середину отрезка прямой $АБ$, является геометрическим местом нулевых потенциалов систем. Предельный угол расхождения фаз э. д. с. систем, при которых возможно неправильное срабатывание защиты, увеличивается от значения γ_1 при отсутствии блокирующего реле сопротивления до значения γ_2 при наличии указанного реле.

Применение в защите блокирующего реле сопротивления, как видно из рис. П-1, уменьшает также ее чувствительность к коротким замыканиям через переходное сопротивление.

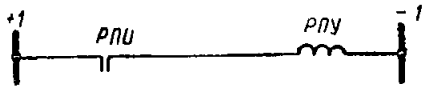
Другой вариант выполнения блокирующего реле с прямолинейной характеристикой рассмотрен в статье Михайлова В. В., Нечитайлова В. В. и Сенчукова А. А. «Фазоограничивающие реле для повышения чувствительности пусковых органов дистанционных защит» («Электрические станции», 1965, № 1).

ПРИЛОЖЕНИЕ III

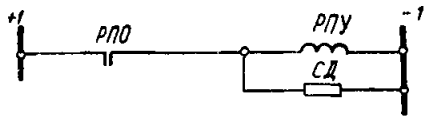
ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ РЕЛЕ УСКОРЕНИЯ ПОСЛЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

1. Ниже на рис. П-6 приводятся возможные варианты выполнения схемы присоединения реле ускорения (*РПУ*) после включения выключателя, которые обеспечивают различную длительность замыкания замыкающего контакта реле *РПУ* в цепи ускорения защиты:

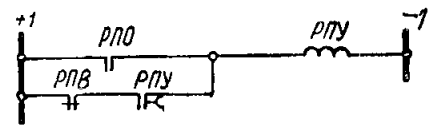
а) Для воздушных выключателей (с временем включения 0,2—0,4 *сек*) принимается запуск реле *РПУ*



а) для случая использования в схемах защиты линий с воздушными выключателями



б) для случая использования в схемах защиты линий с масляными выключателями с $t_{вкл} \leq 0{,}6$ сек



в) для случая использования в схемах защиты линии с масляными выключателями с $t_{вкл} > 0{,}6$ сек

Рис. П-6. Возможные варианты выполнения схемы присоединения реле ускорения после включения выключателя.

от замыкающего контакта реле положения «отключено» (рис. П-6,*а*). При этом время при возврате реле *РПУ* (типа РП-252) должно приниматься порядка 1,1 *сек*, поскольку обмотка реле положения «отключено» (*РПО*) выключателя шунтируется в момент замыкания замыкающего контакта выходного реле устройства АПВ или соответствующего контакта ключа управления, а замыкающий контакт реле *РПО* размыкается в начале хода выключателя на включение.

б) Для масляных выключателей, у которых время включения 0,4—0,6 *сек*, для увеличения надежности действия защиты по цепи ускорения (увеличения времени, в течение которого реле *РПУ* держит свой замыкающий контакт в цепи ускорения защиты замкнутым) в схеме предусмотрено включение добавочного сопротивления *СД* (порядка 1 000 *ом*) параллельно обмотке реле *РПУ* (рис. П-6,*б*). Такое включение добавочного сопротивления увеличивает время при возврате реле *РПУ* примерно до 1,5 *сек*.

в) Для масляных выключателей, у которых время включения более 0,6 *сек*, для увеличения надежности действия защиты по цепи ускорения (п. б) в схеме предусматривается удерживание реле *РПУ* после размыкания замыкающего контакта реле *РПО* с помощью последовательно соединенных размыкающего контакта реле положения «включено» (*РПВ*) и замыкающего контакта реле *РПУ* (рис. П-6,*в*), поскольку реле *РПВ* срабатывает, а названный его контакт размыкается в конце хода выключателя на включение. Замыкающий контакт реле *РПУ* в рассматриваемой цепи удерживания предотвращает возможность неправильного срабатывания указательного реле в цепи ускорения в момент подачи импульса на отключение, поскольку замыкающий контакт выходного реле защиты шунтирует обмотку реле *РПВ* *.

* Подробнее см. Руководящие указания по релейной защите, вып. 2 «Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110—220 *кв*» гл. 1, разд. В, описание схемы по рис. 1, п. 4.

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

СХЕМА ПОДВЕДЕНИЯ ПЛЮСА ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА К ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ ОДИНОЧНОЙ ЛИНИИ 35—330 *кв*

1. Ниже рассматривается типовая схема по рис. П-7 подведения плюса оперативного постоянного тока к дистанционной защите, обеспечивающая правильное действие последней при обесточении реле повторителей положения разъединителей [1].

2. В схеме по рис. П-7 подведение плюса оперативного постоянного тока к защите осуществляется контактами реле *11РПР* и *12РПР*, срабатывающих при действии реле повторителей *1РПР* и *2РПР* положения разъединителей, через контакты которых подается переменное напряжение на защиту.

Включение контактов реле *11РПР* и *12РПР* в цепь подведения плюса оперативного постоянного тока предотвращает неправильное срабатывание защиты:

а) при длительном обесточении реле повторителей (например, из-за разрегулировки блок-контактов разъединителей), сопровождающемся снятием переменного напряжения с защиты;

б) при кратковременных исчезновениях оперативного постоянного тока (например, в результате прерывистого контакта при установке предохранителей).

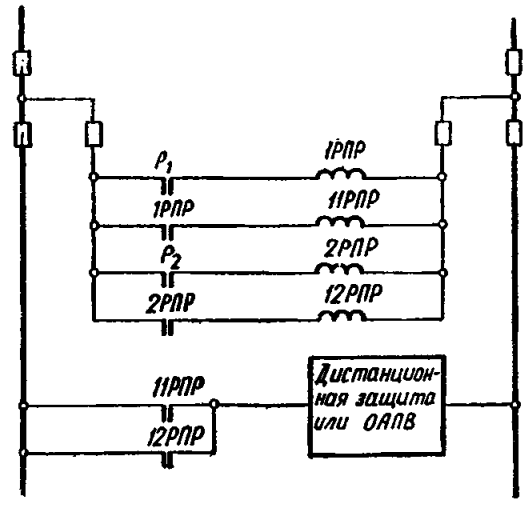


Рис. П-7. Принципиальная схема подведения оперативного постоянного тока к дистанционной защите.

[1] Противоаварийный циркуляр «О предотвращении неправильных действий дистанционных защит, защиты ДФЗ-2 и устройства ОАПВ при питании цепей напряжения этих устройств через реле-повторители разъединителей» № Э-4/64 от 18/V, 1964.

Неправильное срабатывание в случае «а» могло бы иметь место для защит, содержащих устройства блокировки при качаниях с пуском по напряжению (например, типа КРБ-121 и КРБ-123) — в первый момент снятия напряжения с защиты, поскольку указанные устройства могут при этом сработать, а для защит, содержащих устройство блокировки при качаниях с пуском по току (например, типа КРБ-122 и КРБ-124) — при внешнем коротком замыкании.

При исчезновении оперативного постоянного тока реле повторители положения разъединителей снимают переменное напряжение с защиты, что может привести к срабатыванию реле сопротивления под влиянием тока нагрузки и при отсутствии контактов реле *11РПР* и *12РПР* в цепи плюса — к неправильному срабатыванию защиты в момент подачи оперативного постоянного тока после его кратковременного (порядка 0,1—0,2 *сек*) снятия (случай «б»).

При более длительных перерывах в питании постоянным током, превышающих время возврата реле, осуществляющего переключение в цепях напряжения дистанционных органов для перехода с уставки первой на уставку второй ступени (например, реле $17РП_{II}$ в схеме по рис. 1) или время возврата реле ограничения ввода в действие блокируемых при качаниях ступеней (например, реле *8РПв* в схеме по рис. 1) цепь отключения от первой ступени в момент восстановления питания будет разомкнута на контакте реле переключения или контакте реле устройства блокировки при качаниях.

Следует отметить, что реле-повторители *1РПР* и *2РПР* в схеме рис. П-7 выполнены с помощью реле с замедлением при возврате (типа РП-252), что предотвращает снятие переменного напряжения с защиты при кратковременных исчезновениях оперативного постоянного тока (случай «б») и тем самым повышает надежность правильного действия защиты.

3. Контакты реле *11РПР* и *12РПР* используются обычно так же и в других цепях. В тех случаях, когда контакты реле *11РПР* и *12РПР* используются только для подведения плюса оперативного постоянного тока, вместо этих реле может быть предусмотрено одно реле, запускаемое от реле *1РПР* и *2РПР* повторителей положения разъединителей.

ПРИЛОЖЕНИЕ V

УСТРОЙСТВО ФИЛЬТР-РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРЯМОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

1. Устройство фильтр-реле напряжения прямой последовательности применяется в схемах дистанционной защиты для ускорения действия последней при использовании защиты в качестве резервной (гл. I, разд. Б, описание схемы по рис. 10, п. 5).

2. Для выполнения устройства фильтр-реле напряжения прямой последовательности может быть использовано устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1 *, при этом необходимо (рис. П-8):

а) поменять местами фазы на входе фильтра (следует к зажиму *4* фильтр-реле типа РНФ-1 подводить фазу *С*, а к зажиму *6* фазу *В* соответственно вместо фаз *В* и *С*);

б) в цепь реле включить добавочное сопротивление типа ПЭВ-10 от 4 300 до 5 000 *ом*. Указанное сопротивление встраивается в кожух реле и подключается к соответствующим зажимам на плате реле *РТ*, вместо отключающего устройства;

в) фильтр-реле настроить на напряжение срабатывания $U_{вых.ср}=90$ *в*.

3. Фильтр-реле напряжения прямой последовательности при $U_{вход}=110$ *в* термически устойчиво.

Потребление фильтр-реле при симметричном напряжении на входе 100 *в* и добавочном сопротивлении в цепи реле 5 000 *ом* составляет для фазы *а* — 7,8 *ва*; для фазы *b* — 15 *ва* и для фазы *с* — 7,8 *ва*.

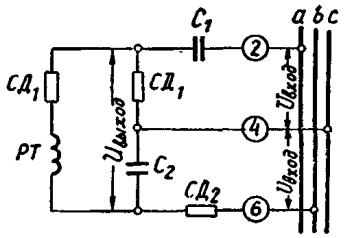


Рис. П-8. Принципиальная схема включения и схема внутренних соединений фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1, используемого в качестве фильтр-реле напряжения прямой последовательности.

* Работа «Испытание реле РНФ-1, используемого в качестве реле минимального напряжения прямой последовательности», Энергосетьпроект, 1962.

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

ПОВЕДЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ ПРИ ЗАМЫКАНИЯХ МЕЖДУ ДВУМЯ ФАЗАМИ ЗА ТРАНСФОРМАТОРОМ Y△-11 ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ ПИТАНИИ

1. Ниже рассматривается влияние трансформаторов с соединением обмоток Y△-11, установленных между местом включения защиты и коротким замыканием, на работу дистанционных органов защит различных типов.

Влияние такого соединения обмоток имеет значение при замыканиях между двумя фазами.

На рис. П-9 даны векторные диаграммы токов и напряжений в месте включения рассматриваемой защиты при замыканиях между двумя фазами за трансформатором Y△-11.

В таблицах П-1—П-3 даны расчетные выражения для токов, напряжений и сопротивлений на зажимах реле сопротивления, включенных на междуфазное напряжение и разность фазных токов для защит, рассматриваемых в данной работе.

Векторные диаграммы рис. П-9,*б* и соотношения табл. П-1—П-3 даны для исходной схемы установки, показанной на рис. П-9,*а*. При этом предполагается, что защищаемая линия имеет одностороннее питание и ток нагрузки трансформатора с приемной стороны равен нулю.

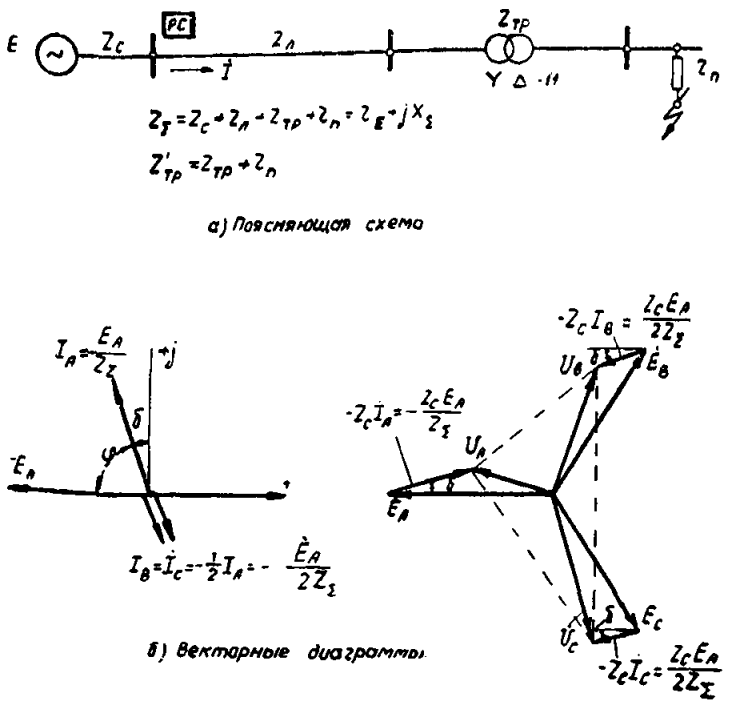


Рис. П-9. Векторные диаграммы токов и напряжений в месте установки защиты при замыкании между фазами C и A за трансформатором YΔ-11.

Примечания:

1. Угол $\delta = 90° - \varphi$, где φ — угол полного сопротивления схемы при учете переходного сопротивления $r_п$.

Векторная диаграмма напряжений рис. П-9,*б* построена вычитанием из э. д. с. генераторов падения напряжения в сопротивлении системы Z_c, которое в схемах прямой и обратной последовательностей принято одинаковым и не содержащим активных сопротивлений.

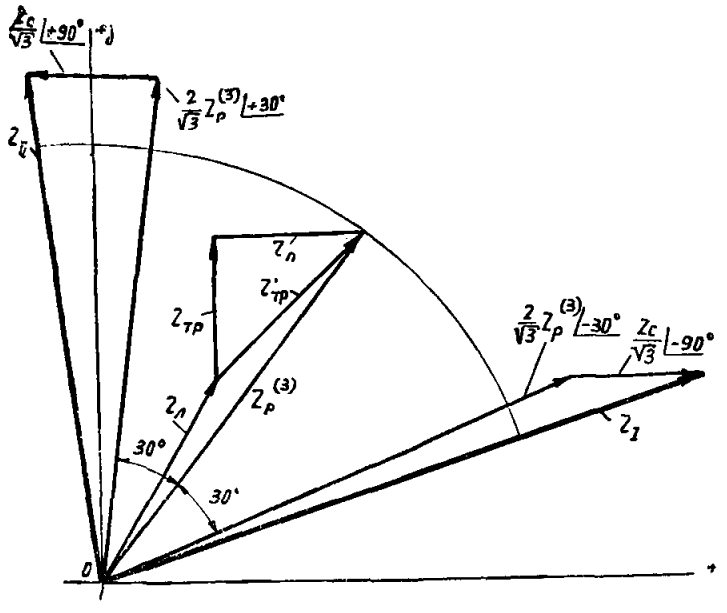
2. На рис. П-10 даны векторные диаграммы для сопротивления на зажимах реле в соответствии с расчетными соотношениями, приведенными в табл. П-1—П-3. Из рассмотрения рис. П-10,*б* видно, что сопротивление на зажимах реле типов КРС-131, КРС-132 и дистанционного органа защиты типа ПЗ-152 при всех видах замыканий между двумя фазами и учете лишь реактивных составляющих сопротивлений исходной схемы больше, чем соответствующее сопротивление при трехфазном коротком замыкании в том же месте, равное $(Z_л + Z_{тр})$.

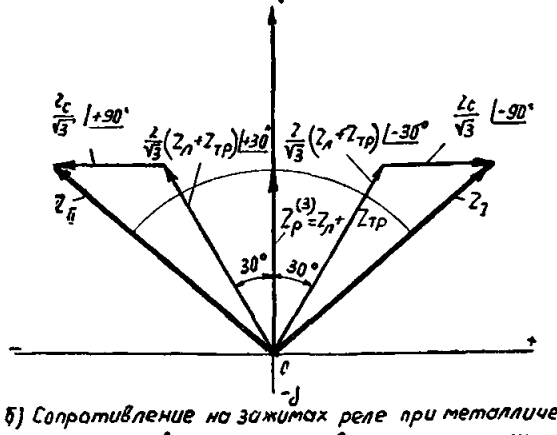
Из рис. П-10,*в* следует, что при наличии переходного сопротивления большого значения в месте замыкания между фазами сопротивления на зажимах реле

---

2. Векторные диаграммы для других двух случаев замыканий между двумя фазами получаются циклической перестановкой индексов. При замыкании между фазами B и C $\dot{I}_A = \dot{I}_B = -\frac{1}{2} I_C = -\frac{\dot{E}_C}{2Z_\Sigma}$, а при замыкании между фазами A и B

$$\dot{I}_C = I_A = -\frac{1}{2}\ \dot{I}_B = -\frac{\dot{E}_B}{2Z_\Sigma}.$$





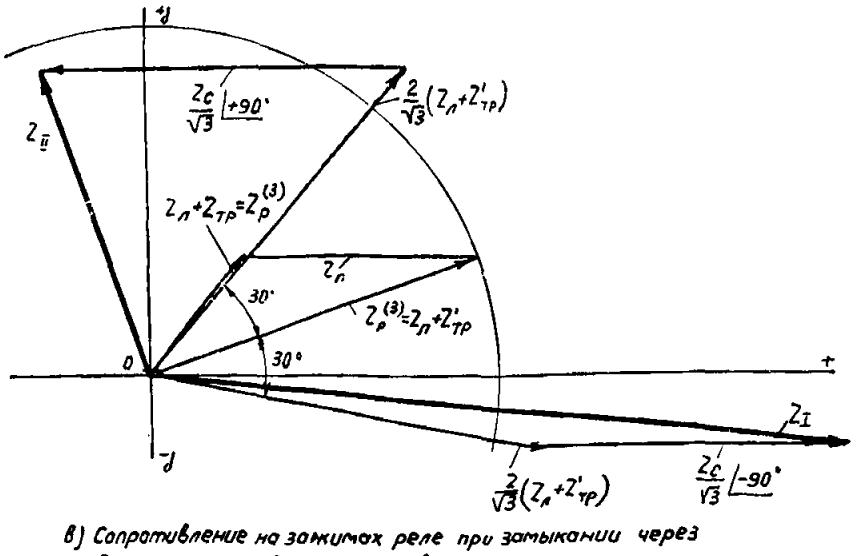


Рис. П-10. Векторные диаграммы сопротивления на зажимах реле при замыканиях между двумя фазами за трансформатором YΔ-11.

Примечание. $Z_р^{(3)}$ — сопротивление на зажимах реле при трехфазном коротком замыкании за трансформатором и тех же условиях, что и при рассматриваемом замыкании между двумя фазами.

Таблица П-1

Сопротивления на зажимах однофазного реле сопротивления типов КРС-131 и КРС-132, включенных на междуфазное напряжение и разность соответствующих фазных токов, при замыканиях между фазами *C* и *A* за трансформатором Y△-11

Реле включены на		Токи и напряжения, подводимые к реле		Сопротивление на зажимах реле
$\dot{I}_р$	$\dot{U}_р$	$I_р$	$\dot{U}_р$	$Z_р = \dot{U}_р/\dot{I}_р$
$\dot{I}_A - \dot{I}_B$	$\dot{U}_{AB}$	$\dot{I}_A - \dot{I}_B = \frac{3}{2}\cdot\frac{\dot{E}_A}{Z_\Sigma}$	$\dot{U}_{AB} = \left[\sqrt{3}\angle+30° - \frac{3}{2}\cdot\frac{Z_с}{Z_\Sigma}\right]\dot{E}_A$	$\frac{2Z_л + Z'_{тр}\angle+30°}{\sqrt{3}} + \frac{Z_с}{\sqrt{3}}\angle+90° = Z_{II}$
$\dot{I}_B - \dot{I}_C$	$\dot{U}_{BC}$	$\dot{I}_B - \dot{I}_C = 0$	$\dot{U}_{BC} = \sqrt{3}\dot{E}_A\angle-90°$	$\to\infty$
$\dot{I}_C - \dot{I}_A$	$\dot{U}_{CA}$	$\dot{I}_C - \dot{I}_A = -\frac{3}{2}\cdot\frac{\dot{E}_A}{Z_\Sigma}$	$\dot{U}_{CA} = \left[\sqrt{3}\angle+150° + \frac{3}{2}\frac{Z_с}{Z_\Sigma}\right]\dot{E}_A$	$\frac{2(Z_л + Z'_{тр})\angle-30°}{\sqrt{3}} + \frac{Z_с}{\sqrt{3}}\angle-90° = Z_I$

Примечание. Расчетные выражения для случаев замыканий между фазами *A* и *B* и *B* и *C* получаются циклической перестановкой индексов, как показано в примечании 4 к рис. П-9.

Таблица П-2

Сопротивления на зажимах реле сопротивления дистанционного органа в защите типа ПЗ-152 (по рис. 13, 14 и 20) при замыканиях между фазами за трансформатором Y△-11

№№ п/п.	Работают пусковые органы (и органы направления мощности)	Напряжение, подводимое к реле	Ток, подводимый к реле	Сопротивление $Z_р$ на зажимах реле		
		$\dot{U}_р$	$\dot{I}_р$	*A* и *B*	*B* и *C*	*C* и *A*
1	*6PT (1PM), 7PT (2PM), 8PT (3PM)*	$\dot{U}_{CB}$	$\dot{I}_C - \dot{I}_B$	Z_{II}	Z_I	∞
2	*6PT (1PM), 7PT (2PM)*	$\dot{U}_{AB}$	$\dot{I}_A - \dot{I}_B$	Z_I	∞	Z_{II}
3	*7PT (2PM), 8PT (3PM)*	$\dot{U}_{CB}$	$\dot{I}_C - \dot{I}_B$	Z_{II}	Z_I	∞
4	*6PT (1PM), 8PT (3PM)*	$\dot{U}_{CA}$	$\dot{I}_C - \dot{I}_A$	∞	Z_{II}	Z_I
5	*6PT (1PM)*	$\dot{U}_{уд}$	0	∞	∞	∞
6	*7PT (2PM)*	$\dot{U}_{AB}$	$\dot{I}_A - \dot{I}_B$	Z_I	∞	Z_{II}
7	*8PT (3PM)*	$\dot{U}_{CA}$	$\dot{I}_C - \dot{I}_A$	∞	Z_{II}	Z_I

Примечания:
1. Органы направления мощности, которые используются и должны работать в схеме по рис. 20, указаны в скобках.
2. Сопротивление $Z_р$ на зажимах реле, обозначенное через Z_I и Z_{II}, определяется выражениями, приведенными в табл. П-1.

Таблица П-3

Сопротивления на зажимах реле полного сопротивления типа КРС-111, включенного постоянно на разность токов $\dot{I}_A-\dot{I}_C$, в защите по рис. 15 и 21 при замыканиях между двумя фазами за трансформатором Y△-11

Вид замыкания	Работают пусковые органы	Работают промежуточные реле			Напряжение, подводимое к реле	Сопротивление на зажимах реле
		24РП	25РП	26РП	$\dot{U}_р$	$z_р=\frac{\dot{U}_р}{\dot{I}_A-\dot{I}_C}$
CA	12РТ, 13РТ, 14РТ / 12РТ, 14РТ	+	+	+	$\dot{U}_{AC}=\sqrt{3}\dot{E}_A\angle-30°-\frac{3}{2}\cdot\frac{Z_с}{Z_\Sigma}\dot{E}_A$	$\frac{2}{\sqrt{3}}(Z_л+Z'_{тр})\angle-30°+\frac{Z_с}{\sqrt{3}}\angle-90°=Z_I$
	12РТ, 13РТ / 12РТ	+	+	—	$\frac{1}{2}\dot{U}_{AB}=\frac{\sqrt{3}}{2}\dot{E}_A\angle+30°-\frac{3}{2}\cdot\frac{Z_с}{Z_\Sigma}\dot{E}_A$	$\frac{1}{2}\left[\frac{2}{\sqrt{3}}(Z_л+Z'_{тр})\angle+30°+\frac{Z_с}{\sqrt{3}}\angle+90°\right]=\frac{1}{2}Z_{II}$
BC	12РТ, 13РТ, 14РТ / 12РТ, 14РТ	+	+	+	$\dot{U}_{AC}=\sqrt{3}\dot{E}_C\angle-150°+\frac{3}{2}\cdot\frac{Z_с}{Z_\Sigma}\dot{E}_C$	$\frac{2}{\sqrt{3}}(Z_л+Z'_{тр})\angle+30°+\frac{Z_с}{\sqrt{3}}\angle+90°=Z_{II}$
	13РТ, 14РТ / 14РТ	—	—	+	$\frac{1}{2}\dot{U}_{BC}=\frac{\sqrt{3}}{2}\dot{E}_C\angle+150°+\frac{3}{4}\cdot\frac{Z_с}{Z_\Sigma}\dot{E}_C$	$\frac{1}{2}\left[\frac{2}{\sqrt{3}}(Z_л+Z'_{тр})\angle-30°+\frac{Z_с}{\sqrt{3}}\angle-90°\right]=\frac{1}{2}Z_I$

Примечание. При замыкании между фазами *A* и *B* на стороне низшего напряжения трансформатора Y△-11 $\dot{I}_C-\dot{I}_A=\frac{1}{2}\dot{I}_B$, а потому $Z_р=\frac{\dot{U}_р}{\dot{I}_A-\dot{I}_C}\to\infty$ независимо от работы пусковых органов. При замыкании между фазами *C* и *A* $\dot{I}_A-\dot{I}_C=\frac{3}{2}\frac{\dot{E}_A}{Z_\Sigma}$ (табл. П-1), а при замыкании между фазами *B* и *C* $\dot{I}_A-\dot{I}_C=\frac{3}{2}\frac{\dot{E}_C}{Z_\Sigma}$ (примечание 2 к рис. П-9).

$Z_р=Z_{II}$ в некотором диапазоне значений $Z_с$ может оказаться меньше сопротивления трехфазного короткого замыкания $Z_р^{(3)}$. Однако в этом случае сопротивление Z_{II} больше, чем сопротивление на зажимах реле при металлическом коротком замыкании $(Z_л+Z_{тр})$. Следовательно, при определении сопротивления срабатывания следует учитывать случай трехфазного короткого замыкания.

3. Для защиты с реле типа КРС-111 (без переключения в цепях тока) из соотношений, приведенных в табл. П-3 для всех видов замыканий между двумя фазами следует: а) при действии всех пусковых органов сопротивление на зажимах реле аналогично таковому для защит с реле, указанных в п. 2; б) при отказе в действии одного или двух пусковых органов сопротивление на зажимах реле может оказаться преуменьшенным в 2 раза по сравнению с сопротивлением на зажимах реле, рассмотренных в табл. П-1 и П-2. Отметим, что в пределе при равенстве сопротивления системы $Z_с$ нулю в этих же случаях сопротивление на зажимах реле в $\sqrt{3}$ раза меньше, чем соответствующее сопротивление при трехфазном коротком замыкании в том же месте, равное $(Z_л+Z'_{тр})$.

Такое преуменьшение сопротивления на зажимах реле может привести к неправильному срабатыванию защиты и, следовательно, должно учитываться при выборе сопротивления срабатывания реле. При этом необходимо считаться с таким снижением сопротивления на зажимах реле, которое может иметь место при реальном значении сопротивления системы.

В случаях, когда указанное снижение сопротивления срабатывания реле недопустимо из-за недостаточной чувствительности должна использоваться специальная блокировка, предотвращающая неправильное действие защиты при отказе одного из реле тока пускового органа (см. например, приложение VII).

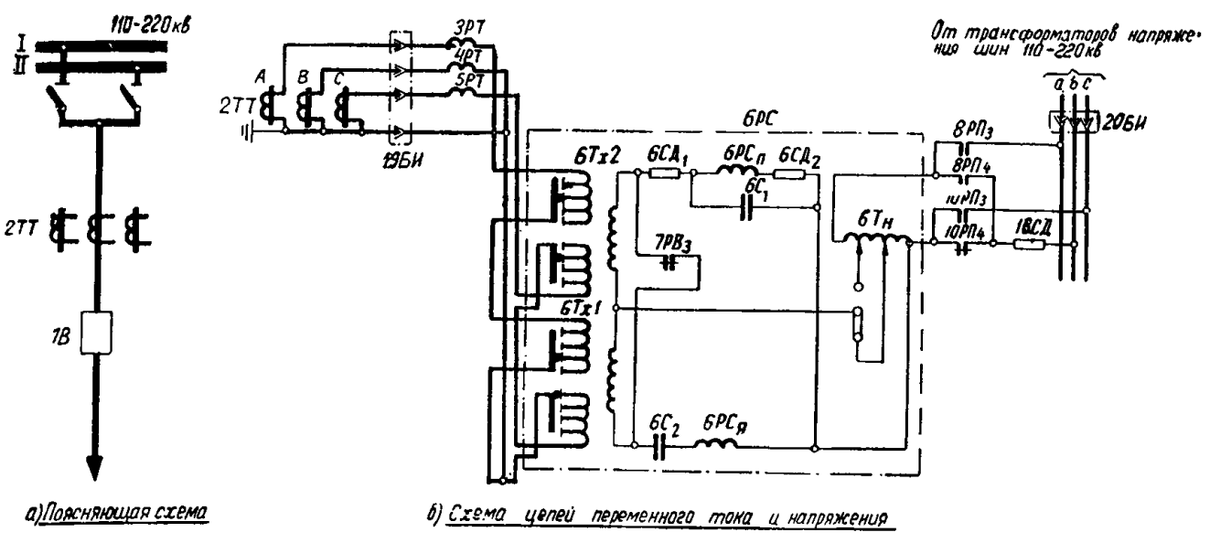
4. Поведение защиты с реле типа КРС-121 при двухфазных коротких замыканиях определяется разностью квадратов симметричных составляющих обратной и прямой последовательностей компенсированных напряжений, а потому от группы соединения трансформаторов не зависит, поэтому защита будет правильно реагировать на рассмотренные выше повреждения.

ВАРИАНТ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМЫ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ЗАЩИТЫ С ПЕРВОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ СТУПЕНЬЮ С ТОКОВЫМ ПУСКОМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ВТОРОЙ СТУПЕНИ, СОДЕРЖАЩЕЙ БЛОКИРОВКУ, КОТОРАЯ ПРЕДОТВРАЩАЕТ НЕПРАВИЛЬНОЕ СРАБАТЫВАНИЕ ЗАЩИТЫ ПРИ ОТКАЗЕ ОДНОГО ИЗ РЕЛЕ ТОКА ПУСКОВОГО ОРГАНА[1]

1. Ниже рассматривается вариант схемы двухступенчатой защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, для питающего конца линий 110—220 *кв* с односторонним питанием от всех видов многофазных коротких замыканий.

Рассматриваемый вариант по рис. П-11 в отличие от схемы по рис. 15 (гл. 1, разд. Б, описание схемы, п. 2) позволяет не учитывать преуменьшенный замер реле сопротивления при коротком замыкании между

[1] Блокировка, предотвращающая неправильное действие рассматриваемой дистанционной защиты при отказе в действии одного из реле тока пускового органа, предложена инж. Р. М. Цигером.



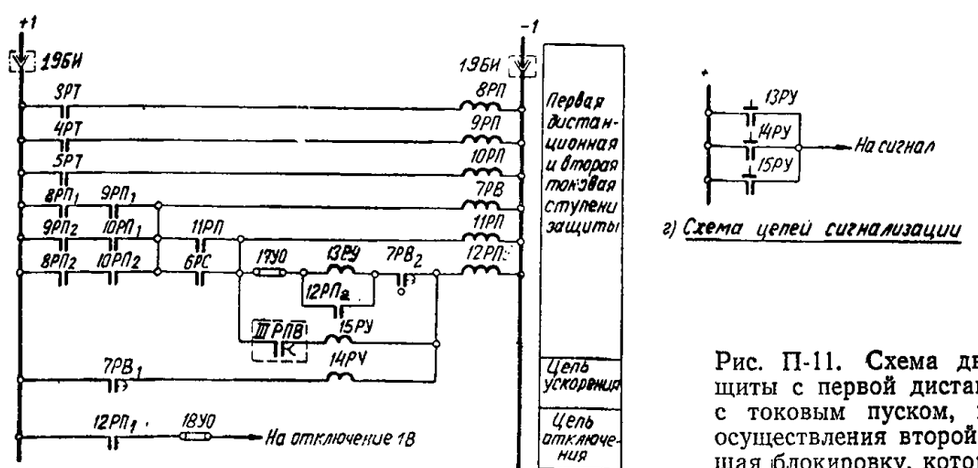


Рис. П-11. Схема двухступенчатой защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, содержащая блокировку, которая предотвращает неправильное срабатывание защиты при отказе одного из реле тока пускового органа.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3РТ — 5РТ* — реле тока типа РТ-40; *6РС* — реле сопротивления типа КРС-111; *7РВ* — реле времени типа ЭВ-122; *8РП—11РП* — реле промежуточные типа РП-23; *12РПВ* — реле промежуточные типа РП-251; *13РУ—15РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *16СД* — сопротивление добавочное; *17УО, 18УО* — устройства отключающие типа НКР-3; *19БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *20БИ* — блок испытательный типа БИ-4.

Примечания:

1. В реле *12РПВ* один замыкающий контакт должен быть переделан на размыкающий.
2. Замыкающий без выдержки времени контакт реле *7РВ* должен быть переделан на размыкающий.
3. Для осуществления шунтирования контактом $7РВ_3$ обмоток трансреакторов *6Тх1* и *6Тх2* должны быть предусмотрены выводы концов этих обмоток согласно рис. *б*.
4. *11РПВ* — контакт реле ускорения защит.

фазами *A* и *C* на защищаемой линии, замыкании между фазами *A* и *C* или *B* и *C* за трансформатором с соединением обмоток Y△ (см. векторные диаграммы на рис. П-9) и трехфазных коротких замыканиях, если при этом будет иметь место отказ одного из двух реле тока пускового органа.

2. В схеме по рис. П-11 плюс оперативного постоянного тока на контакт реле сопротивления подается через попарно последовательно соединенные контакты трех промежуточных реле (*8РП—10РП*), запускаемых от реле тока *3РТ* и *5РТ* пускового органа и реле тока *4РТ*, включенного на ток фазы *B*, которое предусмотрено в схеме по рис. 15 для увеличения чувствительности второй ступени защиты.

Для предотвращения возможности преуменьшения замера из-за отказа реле *5РТ* при замыкании между фазами *A* и *C* за трансформатором с соединением обмоток Y△ или реле *3РТ* при замыкании между фазами *B* и *C* в той же точке, а также из-за отказа реле *3РТ* или *5РТ* при трехфазных коротких замыканиях, когда есть опасность, что подведение плюса к защите будет обеспечено за счет срабатывания реле *4РТ* (к которому в рассматриваемом случае подводится такой же ток, что и к одному из реле тока пускового органа), последнее выполняется менее чувствительным (на 10—15%), чем реле *3РТ* и *5РТ* пускового органа.

При таком выполнении защиты в случае рассмотренных выше повреждений плюс оперативного постоянного тока будет подаваться на контакт реле сопротивления, только если срабатывают оба реле тока пускового органа, т. е. в условиях, когда обеспечен правильный замер.

3. Следует учитывать, что применение рассматриваемой схемы (вместо схемы по рис. 15) приводит к снижению на 10—15% чувствительности дистанционной ступени защиты по току при замыканиях между фазами *A* и *B* или *B* и *C* на защищаемой линии, а также к такому же снижению чувствительности токовой ступени защиты при замыкании между фазами *A* и *B* за трансформатором с соединением обмоток Y△-11.

Необходимо также отметить, что надежность работы рассматриваемой схемы несколько снижена за счет того, что в ней в нормальном нагрузочном режиме не предусматривается подведение к реле сопротивления напряжения, т. е. не создается удерживающего момента, обеспечивающего удерживание контактов указанного реле в разомкнутом положении.

ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ УСТАВКИ СУММАРНОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ И ВКЛЮЧЕНИИ ОДНОЙ ИЗ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

1. Ниже рассматриваются способы автоматического изменения уставки второй ступени защиты применительно к схемам по рис. 17—20 и уставки дистанционной ступени защиты применительно к схеме по рис. 21 при отключении или включении одной из защищаемых параллельных линий.

В схемах по рис. 17—20 на реле дистанционного органа (реле сопротивления типов КРС-131, КРС-121, дистанционный орган панели защиты типа ПЗ-152) требуется иметь три уставки: уставку первой ступени, уставку второй ступени, соответствующую параллельной работе защищаемых линий, и уставку второй ступени, соответствующую работе только одной из защищаемых параллельных линий. Поскольку конструкция автотрансформатора напряжения реле сопротивления предусматривает одновременно выполнение только двух уставок, третья уставка выполняется на автотрансформаторе напряжения реле с помощью специальных штеккеров.

Специальные штеккеры переделываются из штеккеров заводского изготовления в соответствии с эскизом (рис. П-12,*д*).

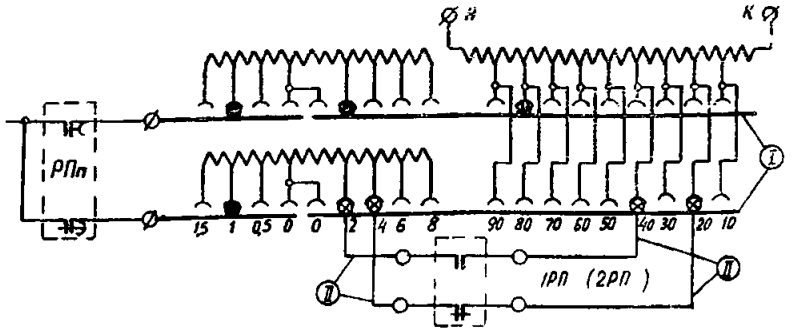
В схеме по рис. 21 на реле дистанционного органа (реле сопротивления типа КРС-111) требуется иметь две уставки: уставку, соответствующую параллельной работе защищаемых линий, и уставку, соответствующую работе только одной из защищаемых параллельных линий. Указанное не вызывает затруднений, поскольку конструкция автотрансформатора напряжения реле предусматривает выполнение двух уставок (рис. П-12,*в*).

2. На рис. П-12,*а* и *б* даны возможные варианты выполнения схем цепей напряжения реле сопротивления применительно к схемам по рис. 17—20. Схема по варианту *1* может применяться тогда, когда уставки должны быть выполнены числом витков автотрансформатора напряжения, не кратным десяти, а по варианту *2* — когда одна из уставок может быть выполнена числом витков, кратным десяти. Вариант *2* может быть осуществлен при меньшем числе неиспользованных в заводском исполнении зажимов реле сопротивления, чем вариант *1*.

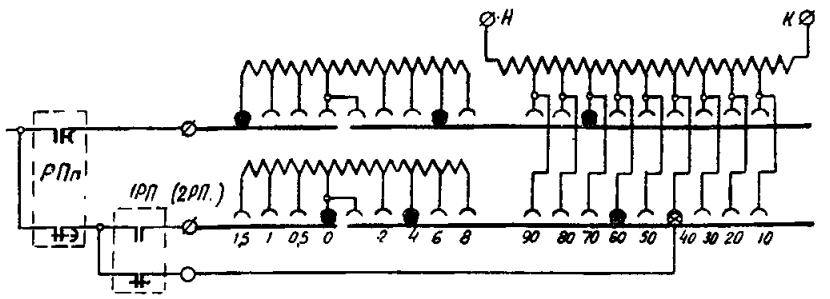
На рис. П-12,*в* дано выполнение цепей напряжения реле сопротивления применительно к схеме по рис. 21.

3. Автоматическое переключение уставки производится с помощью дополнительно устанавливаемых промежуточных реле *1РП* и *2РП* (при выполнении цепей напряжения по схеме рис. П-12,*в* используются только контакты реле *1РП*). В цепь параллельно включенных обмоток реле *1РП* и *2РП* включены последовательно соединенные размыкающие контакты реле ускорения обеих защищаемых линий (рис. П-12,*г*).

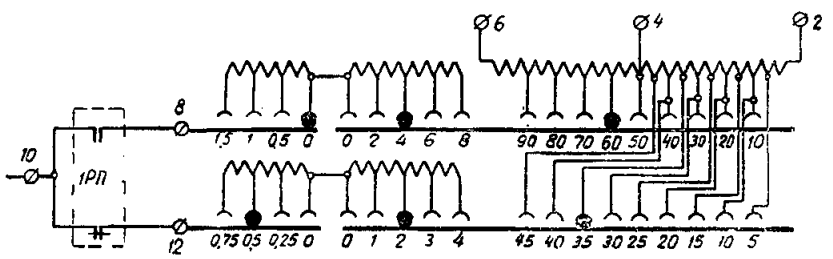
Переключение реле сопротивления на уставку, соответствующую работе одной из защищаемых параллельных линий, производится при срабатывании реле ускорения одной из линий, а обратное переключение — на уставку, соответствующую работе обеих параллельных линий, — при возврате реле ускорения. Таким образом, при включении выключателя до момента разрыва цепи ускорения защиты соответствующей линии реле сопротивления оказывается включенным на уставку, соответствующую работе одной из защищаемых линий.



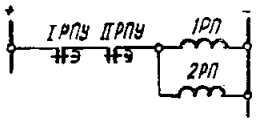
а) Включение цепей напряжения реле сопротивления, вариант 1



б) Включение цепей напряжения реле сопротивления, вариант 2



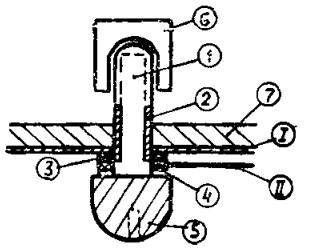
в) Включение цепей напряжения реле сопротивления типа КРС-111



Примечание

I РПУ, II РПУ – контакты реле ускорения защит

г) Включение реле 1РП и 2РП дополнительно предусматриваемых для переключения уставки защиты при отключении одной из линий



д) Эскиз продольного разреза штекера автотрансформатора реле сопротивления (штеккер спец. изготовлен.)

Условные обозначения

- ● – штеккер заводского изготовления
- ⊗ – штеккер специального изготовления
- ○ – зажимы реле, необходимые для изменения уставки при отключении одной из линий
- Ⓘ – металлическая плата автотрансформатора
- Ⓘ – гибкий проводник, осуществляющий электрическую связь между штеккером специального изготовления и свободным зажимом реле сопротивления
- Ø – зажим реле сопротивления
- ① – штеккер
- ② – хлорвиниловая трубка
- ③ – эбонитовое кольцо
- ④ – оконцеватель гибкого провода
- ⑤ – пластмассовая головка
- ⑥ – ответвление автотрансформатора.
- ⑦ – изоляционная плата автотрансформатора

Рис. П-12. Выполнение цепей напряжения реле сопротивления при необходимости автоматического изменения сопротивления срабатывания суммарной дистанционной защиты.

Примечания:

1. Включение цепей напряжения по вариантам *1* и *2* дано для реле сопротивления типов КРС-131, КРС-121 и дистанционных органов панелей защиты типов ПЗ-152 и ПЗ-153.

2. Реле *РПп* — реле переключения дистанционного органа защиты с уставки первой на уставку второй ступени.

3. На автотрансформаторах реле сопротивления даны примеры выполнения уставок:

а) на схеме по рис. П-12,*а* для первой ступени $w^{I} = 83$ витка, для второй ступени $w_1^{II} = 43$ витка (при работе обеих параллельных линий); $w_2^{II} = 25$ витков (при работе только одной из параллельных линий); б) на схеме по рис. П-12,*б* для первой ступени $w_{II}^{I} = 77{,}5$ витка, для второй ступени $w_1^{II} = 64$ витка (при работе обеих параллельных линий); $w_2^{II} = 40$ витков (при работе только одной из параллельных линий); в) на схеме по рис. П-12*в*, для случая работы обеих параллельных линий — $w_1^{II} = 64$ витка, а на случай работы только одной из параллельных линий — $w_2^{II} = 37{,}5$ витка.

СОГЛАСОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ТОКОВОЙ ОТСЕЧКОЙ, ОТСЕЧКОЙ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОТСЕЧКОЙ ПО ТОКУ И НАПРЯЖЕНИЮ В СЕТЯХ 110—220 *кв*

Ниже рассмотрено согласование дистанционной защиты, выполненной с помощью реле полного сопротивления без смещения или направленного реле сопротивления, угол максимальной чувствительности которого примерно равен углу сопротивления линии, с токовой отсечкой, отсечкой по напряжению и с комбинированной отсечкой по току и напряжению, установленными на предыдущем участке линии. При согласовании с комбинированной отсечкой по току и напряжению дистанционная защита должна быть согласована отдельно с токовым органом и с органом напряжения комбинированной отсечки. Удовлетворяющим условию согласования явится меньшее из полученных сопротивлений, поскольку при отказе одного из органов комбинированная отсечка отказывает в целом.

Согласование производится по (1), приведенному в гл. 5, разд. А, п. 7. Расчетными для согласования являются условия, при которых значение отношения $z_{расч}/k_т$ из (1) наименьшее.

Ниже дается анализ расчетных условий и влияния переходного сопротивления в месте повреждения при согласовании рассматриваемых защит.

А. РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ТОКОВОЙ ОТСЕЧКОЙ И ТОКОВЫМ ОРГАНОМ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТСЕЧКИ

Расчетным видом повреждения является замыкание между двумя фазами, поскольку вследствие уменьшения тока короткого замыкания (по сравнению с трехфазным коротким замыканием) уменьшается сопротивление участка, надежно охватываемого токовым реле.

Расчетным режимом работы сети является такой режим, при котором ток в месте установки защиты, с которой производится согласование, наименьший (что соответствует наименьшему $z_{расч}$), а в месте установки согласуемой дистанционной защиты — наибольший (что в совокупности с первым условием соответствует наибольшему коэффициенту токораспределения $k_т$).

В частных случаях для схем простой конфигурации могут быть получены конкретные соотношения, характеризующие расчетный режим. Так, для схемы по рис. П-13 (при отсутствии цепи с сопротивлением z_{II}, показанной пунктиром), к которой может быть приведена сеть любой конфигурации в случае, когда со стороны п/ст. *С* нет питания, ток в защите *2* в условиях ее надежного срабатывания при металлическом замыкании между двумя фазами равен:

$$I_{с.з}k'_н = \frac{E_{м.ф}}{2\left[z'_с + \dfrac{(z_с + z_{л\text{-}1})\,z_I}{z_с + z_{л\text{-}1} + z_I} + z_{расч}\right]}, \qquad (П\text{-}2)$$

откуда

$$z_{расч} = \frac{0{,}5E_{м.ф}}{k'_н I_{с.з}} - z'_с - \frac{(z_с + z_{л\text{-}1})\,z_I}{z_с + z_{л\text{-}1} + z_I}.$$

Поскольку коэффициент токораспределения

$$k_т = \frac{z_I}{z_с + z_{л\text{-}1} + z_I},$$

то отношение

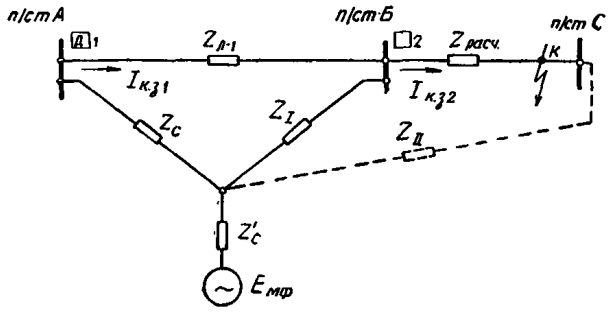
$$\frac{z_{расч}}{k_т} = \frac{(z_с + z_{л\text{-}1} + z_I)\left[\dfrac{0{,}5E_{м.ф}}{k'_н I_{с.з}} - z'_с\right]}{z_I} - (z_с + z_{л\text{-}1}). \qquad (П\text{-}3)$$

Выражение (П-3) может быть преобразовано следующим образом:

$$\frac{z_{расч}}{k_т} = (z_с + z_{л\text{-}1})\left[\frac{\dfrac{0{,}5E_{м.ф}}{k'_н I_{с.з}} - z'_с}{z_I} - 1\right] + \left[\frac{0{,}5E_{м.ф}}{k'_н I_{с.з}} - z'_с\right]. \qquad (П\text{-}4)$$

Из анализа (П-3) и (П-4) следует, что минимальное значение отношения $z_{расч}/k_т$ будет в случае, когда z_I — максимально; $z'_с$ — максимально; $z_с$ — минимально или максимально в зависимости от того, больше или меньше нуля первая квадратная скобка. Например, если $z_{расч} > z_I$, то $z_{расч}/k_т$ должно быть больше $(z_с + z_{л\text{-}1} + z_I)$, а это может иметь место, только когда первая квадратная скобка в (П-4) положительна, а вторая больше z_I, т. е. $z_с$ должно быть принято минимальным.

Наличие питания со стороны п/ст. *С* грубо приближенно может быть имитировано цепью с сопротивлением z_{II}, показанной на рис. П-13 пунктиром, что эквивалентно увеличению сопротивления $z'_с$, поэтому в расчетном режиме сопротивление z_{II} должно приниматься минимальным.



Обозначения

Д — *дистанционная защита*,

□ — *защита, с которой производится согласование*,

$I_{кз1}$ — *ток в месте установки защиты 1 при к.з в точке К*,

$I_{кз2}$ — *то же, но в месте установки защиты 2*.

Рис. П-13. Схема замещения прямой (обратной) последовательности для сети общего вида.

Значение $z_{\text{расч}}/k_{\text{т}}$ в расчетном режиме для схемы по рис. П-13 (при отсутствии цепи с сопротивлением z_{II}) может быть вычислено аналитически по (П-3).

Б. РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ОТСЕЧКОЙ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И ОРГАНОМ НАПРЯЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТСЕЧКИ

За расчетное может быть принято замыкание как между двумя, так и между тремя фазами, поскольку сопротивление участка, надежно охватываемого органом напряжения ($z_{\text{расч}}$), будет при этом одинаковым.

Расчетным режимом работы сети является такой режим, при котором ток $I_{\text{к.з 1}}$ в месте установки согласуемой дистанционной защиты наибольший, значение тока $I_{\text{к.з 2}}$ в месте установки защиты, с которой производится согласование, не сказывается на условиях согласования, поскольку

$$\frac{z_{\text{расч}}}{k_{\text{т}}} = \frac{z_{\text{расч}} I_{\text{к.з2}}}{I_{\text{к.з1}}} = \frac{U_{\text{с.з2}}}{I_{\text{к.з1}}}, \qquad \text{(П-5)}$$

где $U_{\text{с.з 2}}$ — напряжение срабатывания защиты, с которой производится согласование.

В частных случаях для схем простой конфигурации могут быть получены конкретные соотношения, характеризующие расчетный режим. Так, для схемы по рис. П-13 (при отсутствии цепи с сопротивлением z_{II}, показанной пунктиром) напряжение в месте установки защиты *2* в условиях ее надежного срабатывания

$$\frac{U_{\text{с.з}}}{k'_{\text{н}}} = \frac{E_{\text{м.ф}} z_{\text{расч}}}{\left[z'_{\text{с}} + \dfrac{(z_{\text{с}} + z_{\text{л-1}}) z_{\text{I}}}{z_{\text{с}} + z_{\text{л-1}} + z_{\text{I}}} + z_{\text{расч}} \right]}, \qquad \text{(П-6)}$$

откуда

$$z_{\text{расч}} = \frac{z'_{\text{с}} + \dfrac{(z_{\text{с}} + z_{\text{л-1}}) z_{\text{I}}}{z_{\text{с}} + z_{\text{л-1}} + z_{\text{I}}}}{k'_{\text{н}} \dfrac{E_{\text{м.ф}}}{U_{\text{с.з}}} - 1}.$$

Поскольку коэффициент токораспределения $k_{\text{т}} = \dfrac{z_{\text{I}}}{z_{\text{с}} + z_{\text{л-1}} + z_{\text{I}}}$, то отношение $\dfrac{z_{\text{расч}}}{k_{\text{т}}}$ может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{z_{\text{расч}}}{k_{\text{т}}} = \frac{(z_{\text{с}} + z_{\text{л-1}}) \left[\dfrac{z'_{\text{с}}}{z_{\text{I}}} + 1 \right] + z'_{\text{с}}}{k'_{\text{н}} \dfrac{E_{\text{м.ф}}}{U_{\text{с.з}}} - 1}. \qquad \text{(П-7)}$$

Из анализа (П-7) следует, что минимальное значение отношения $z_{\text{расч}}/k_{\text{т}}$ будет в случае, когда z_{I} — максимально; $z'_{\text{с}}$ — минимально; $z_{\text{с}}$ — минимально.

Наличие цепи с сопротивлением z_{II} (рис. П-13) может быть имитировано как увеличение $z'_{\text{с}}$, т. е. сопротивление его должно быть максимально. В связи с этим при наличии питания со стороны п/ст. *С* в качестве расчетного следует рассматривать режим каскадного отключения повреждений ($z_{\text{II}} = \infty$).

В частном случае, когда $z'_{\text{с}} = 0$ (подпитка от обособленной станции), значение отношения $z_{\text{расч}}/k_{\text{т}}$ зависит только от сопротивления системы $z_{\text{с}}$ (П-7), которое в расчете должно быть принято минимальным; z_{I} и z_{II} могут быть приняты любыми.

Значение $z_{\text{расч}}/k_{\text{т}}$ в расчетном режиме для схемы по рис. П-13 может быть вычислено аналитически по (П-7).

Следует отметить, что расчетный режим работы сети для согласования дистанционной защиты с отсечкой по напряжению и органом напряжения комбинированной отсечки совпадает с расчетным режимом для определения тока срабатывания токовой отсечки с $t = 0$ от замыканий между фазами, установленной в том же месте, что и согласуемая дистанционная защита, и отстраиваемой от повреждений на шинах противоположной подстанции. Указанное объясняется тем, что в обоих упомянутых случаях расчетные условия соответствуют протеканию через рассматриваемую (согласуемую или отстраиваемую) защиту наибольшего тока при прочих равных условиях.

В. ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В МЕСТЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ СОГЛАСОВАНИИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ТОКОВОЙ ОТСЕЧКОЙ, ОТСЕЧКОЙ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОТСЕЧКОЙ ПО ТОКУ И НАПРЯЖЕНИЮ

Для выявления влияния переходного сопротивления при согласовании дистанционной защиты с токовой отсечкой и токовым органом комбинированной отсечки целесообразно построить характеристику срабатывания токового реле в плоскости сопротивлений рис. П-14.

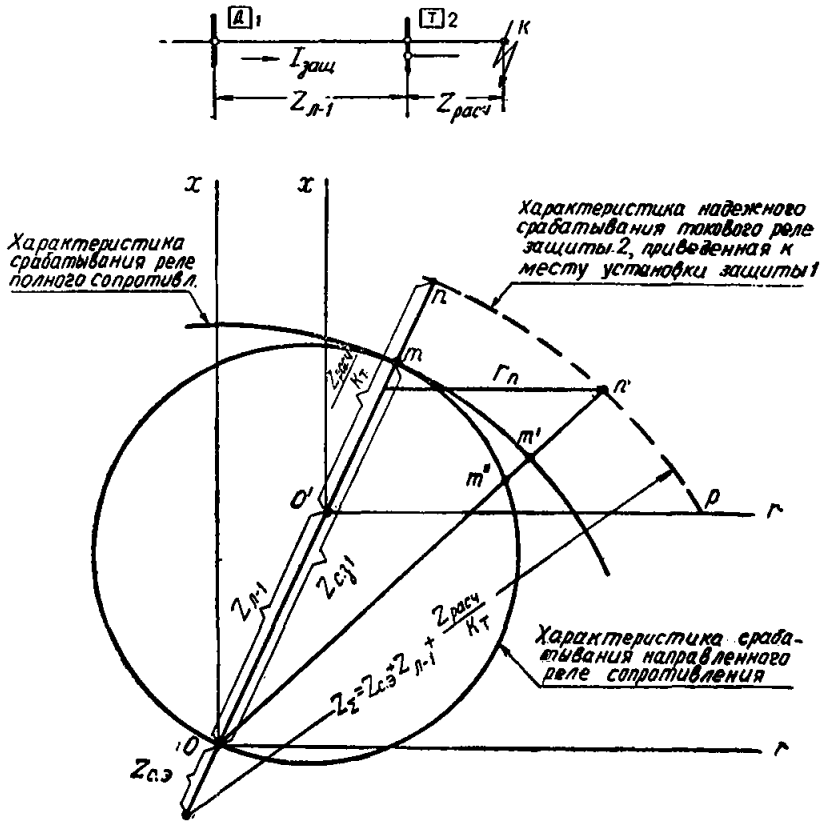


Рис. П-14. Влияние переходного сопротивления в месте короткого замыкания при согласовании дистанционной защиты с токовой отсечкой и токовым органом комбинированной отсечки.

$z_{\text{с.э}}$ — эквивалентное сопротивление системы $z_{\text{с.э}} = \dfrac{z'_{\text{с}}}{k_{\text{т}}} + z_{\text{с}}$ (см. рис. П-13); $z_{\text{л-1}}$ — сопротивление линии, на которой установлена дистанционная защита; $z_{\text{расч}}$ — сопротивление участка, надежно охватываемого защитой *2* в расчетных для согласования условиях; $k_{\text{т}}$ — коэффициент токораспределения; $r_{\text{п}}$ — переходное сопротивление в месте короткого замыкания.

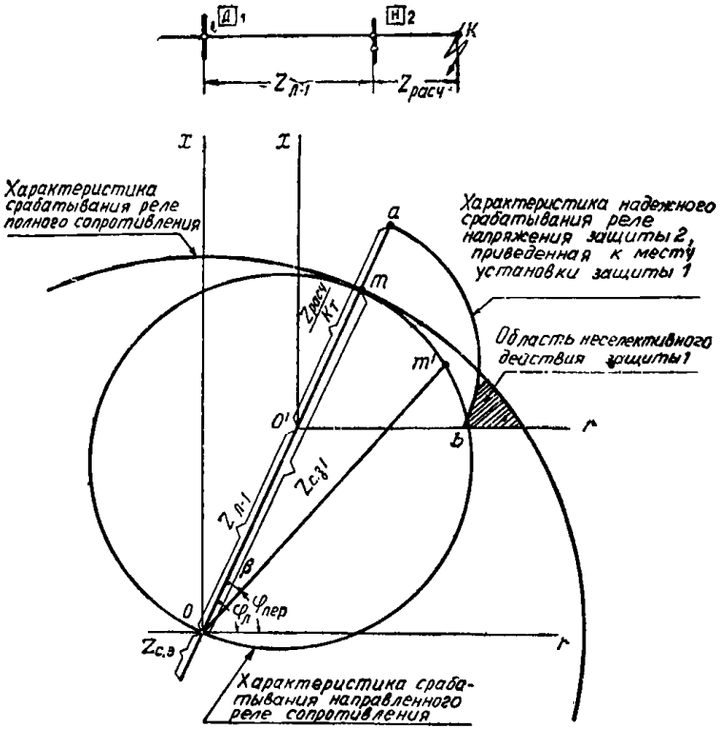


Рис. П-15. Влияние переходного сопротивления в месте короткого замыкания при согласовании дистанционной защиты с отсечкой по напряжению и органом напряжения комбинированной отсечки.

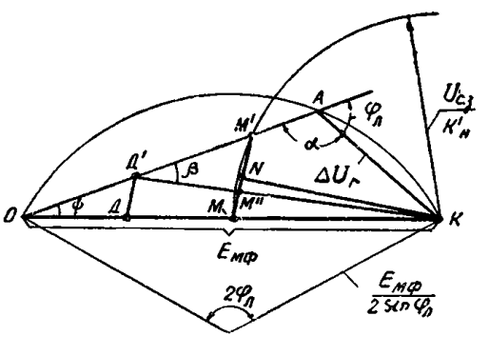
$z_{с.э}$ — эквивалентное сопротивление системы (см. обозначения к рис. П-14); $z_{л-1}$ — сопротивление линии, на которой установлена дистанционная защита; $z_{расч}$ — сопротивление участка, надежно охватываемого защитой *2* в расчетных для согласования условиях; $k_т$ — коэффициент токораспределения.

Указанная на этом рисунке дуга $nn'p$ представляет собой геометрическое место точек концов векторов равных по значению результирующих сопротивлений схемы при металлическом замыкании (тока n) и замыкании через различные переходные сопротивления (точки n' и p) в точке K. Эти результирующие сопротивления соответствуют току в реле тока защиты *2*, равному току надежного его срабатывания ($k'_н I_{с.з}$). Поэтому дуга $nn'p$ является частью характеристики надежного срабатывания (приведенной к месту установки защиты *1*, т. е. отнесенной к току в этом месте) токового реле в плоскости сопротивлений.

Характеристики срабатывания реле полного сопротивления без смещения и направленного реле сопротивления лежат полностью внутри характеристики надежного срабатывания токового реле, причем при замыкании через переходное сопротивление надежность согласования (характеризуемая на рис. П-14 отрезком $m'n'$ — для реле полного сопротивления и $m''n'$ — для направленного реле сопротивления) увеличивается по сравнению с металлическим замыканием (отрезок mn).

Следовательно, согласование рассматриваемых защит должно производиться по металлическому короткому замыканию.

Для выявления влияния переходного сопротивления при согласовании дистанционной защиты с отсечкой по напряжению и органом напряжения комбинированной отсечки на рис. П-15 в комплексной плоскости сопротивлений для расчетного режима построена кривая ab, являющаяся частью характеристики надежного срабатывания (приведенной к месту установки защиты *1*, т. е. отнесенной к току в этом месте) реле напряжения при замыканиях через различные переходные сопротивления, а также построены характеристики реле полного сопротивления без смещения и направленного реле сопротивления.



Точка a характеристики надежного срабатывания реле напряжения соответствует металлическому замыканию, точка b — замыканию через переходное сопротивление в месте установки защиты при $\Delta U_R = U_{с.з}$. Форма характеристики объясняется тем, что при повреждении через переходное сопротивление в условиях $U_{реле} = U_{с.з} = \text{const}$ ток через реле возрастает в сравнении с металлическим замыканием, в результате чего отсечка по напряжению начинает отказывать при меньших суммарных сопротивлениях от места повреждения до места установки защиты ($o'b < o'a$). Как видно из рис. П-16, с увеличением переходного сопротивления условия согласования ухудшаются. Однако согласование дистанционной защиты с отсечкой по напряжению и органом напряжения комбинированной отсечки при выполнении этих защит без выдержки времени может производиться по металлическому короткому замыканию, так как за время действия защиты ($\approx 0{,}1$ *сек*) сопротивление дуги не может достигнуть больших значений.

В тех случаях, когда при согласовании с первой ступенью защиты предыдущего участка не удается обеспечить достаточную чувствительность защиты к коротким замыканиям в конце защищаемого участка, согласование производится со второй ступенью с $t \geqslant 0{,}5$ *сек* защиты предыдущего участка. Последнее должно производиться при повреждении через реально возможное переходное сопротивление.

Способы согласования дистанционной защиты с отсечкой по напряжению и органом напряжения комбинированной отсечки при учете переходного сопротивления даны ниже.

Г. СПОСОБЫ СОГЛАСОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ОТСЕЧКОЙ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И ОРГАНОМ НАПРЯЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТСЕЧКИ ПРИ УЧЕТЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Указанное согласование может быть выполнено:

а) графически (в общем случае) путем построения в комплексной плоскости сопротивлений характеристик срабатывания реле рассматриваемых защит;

б) аналитически по (1), приведенному в гл. 5, разд. А., п. 7, дополненному коэффициентами, учитывающими влияние возможного переходного сопротивления.

а) Графический способ

Для построения в комплексной плоскости сопротивлений характеристики надежного срабатывания реле напряжения, приведенной к месту установки дистанционной защиты:

$$z_{с.з} = \frac{U_{с.з}/k'_н}{I_{защ}}, \qquad (П\text{-}8)$$

где $U_{с.з}/k'_н = \text{const}$ — напряжение надежного срабатывания реле напряжения;

$I_{защ}$ — ток, проходящий через дистанционную защиту при напряжении в месте установки реле напряжения, равном $U_{с.з}/k'_н$, и фиксированном значении переходного сопротивления.

Необходимо знать изменение тока, проходящего в месте установки дистанционной защиты ($I_{защ}$) в зависимости от изменения переходного сопротивления ($r_п$), т. е. зависимость $I_{защ}=f(r_п)$ в условиях срабатывания реле напряжения.

Эту зависимость можно найти из построения треугольника падения напряжения, приведенного на рис. П-16. Основание этого треугольника OK представляет собой геометрическую сумму падений напряжения в системе, линии и дуге, равную междуфазной э. д. с. $E_{м.ф}$, сторона OA — падение напряжения в системе и линиях, сторона AK — падение напряжения в активном сопротивлении дуги $\Delta U_т$. Угол при вершине этого треугольника $\alpha=180°-\varphi_л$, где $\varphi_л$ — угол сопротивления линии и системы (принималось, что эти сопротивления имеют одинаковый угол). При различных значениях падения напряжения на дуге $\Delta U_т$ вершина A треугольника падения напряжения скользит по дуге окружности радиусом $E_{м.ф}/2\sin\varphi_л$, опирающейся на отрезок $E_{м.ф}$ как на хорду.

Если из точки K радиусом, равным напряжению надежного срабатывания реле напряжения $U_{с.з}/k'_н$, провести дугу, то отсекаемые этой дугой отрезки OM и OM' представляют собой падения напряжения от нулевой точки системы (O) до места установки отсечки по напряжению или комбинированной отсечки, соответственно при металлическом повреждении и повреждении через переходное сопротивление в условиях срабатывания реле напряжения. Поскольку суммарное сопротивление от нулевой точки системы до места установки рассматриваемой защиты не меняется, отношение $OM'/OM=k_{ток}$ будет равно отношению тока в дистанционной защите при замыкании через переходное сопротивление к току при металлическом повреждении.

Практически для согласования достаточно построить в комплексной плоскости сопротивлений только одну точку характеристики надежного срабатывания отсечки напряжения. Эта расчетная точка (по которой производится согласование) должна соответствовать реально возможному максимальному сопротивлению дуги, падение напряжения на котором ($\Delta U_т$) в киловольтах может быть определено по (3), приведенному в гл. 5, разд. А, п. 14.

При этом должны учитываться только те случаи, когда падение напряжения на реальном сопротивлении дуги не превышает напряжения надежного срабатывания реле напряжения $U_{с.з}/k'_н$, поскольку согласование производится в условиях надежного срабатывания реле напряжения.

После построения расчетной для согласования точки характеристики надежного срабатывания реле напряжения можно построить характеристику срабатывания реле сопротивления с учетом необходимого коэффициента надежности.

б) Аналитический способ

Рассмотрим снова треугольник падения напряжения, приведенный на рис. П-16. Разделив отрезок OM на части $OД$ и $ДM$, пропорциональные падению напряжения в системе ($OД$) и на линии, защищаемой дистанционной защитой ($ДM$), и проведя затем линию $ДД'$ параллельно MM' и линию $Д'K$, получим, что отношение $Д'K/ДK=k_{напр}$ равно отношению напряжений, подводимых к дистанционной защите соответственно при повреждении через переходное сопротивление и при металлическом повреждении.

Исходя из сказанного выше, влияние переходного сопротивления можно учесть умножением сопротивления срабатывания дистанционной защиты $z_{с.з}$, полученного для условий согласования при металлическом коротком замыкании, на коэффициент $k_{сопр}=k_{напр}/k_{ток}$.

Если согласуемая дистанционная защита выполнена направленным реле сопротивления, то при замыкании через переходное активное сопротивление чувствительность ее уменьшается и условия согласования облегчаются (по сравнению с защитой, выполненной с реле полного сопротивления). Это видно из рис. П-15, на котором сопротивление срабатывания защиты *1*, при замыкании через переходное сопротивление $om'<om=z_{с.з\,1}$.

Уменьшение чувствительности защиты, равное отношению om'/om в рассматриваемом случае, когда угол максимальной чувствительности реле примерно равен углу сопротивления линии, может быть определено как косинус разности углов сопротивлений, подводимых к дистанционной защите при металлическом замыкании и замыкании через переходное сопротивление:

$$\frac{om'}{om} = \cos(\varphi_л - \varphi_{пер}) = \cos\beta. \qquad (П\text{-}9)$$

Угол β может быть также найден из треугольника падения напряжения рис. П-16 ($<АД'K$) как угол между вектором падения напряжения в линии ($Д'A$) и результирующим вектором падения напряжения в линии и в переходном сопротивлении ($Д'K$) при замыкании через активное переходное сопротивление.

Таким образом, сопротивление срабатывания защиты, выполненной направленным реле сопротивления, может быть увеличено, т. е. умножено на $k_{хар}=om/om'=1/\cos\beta>1$ (рис. П-15).

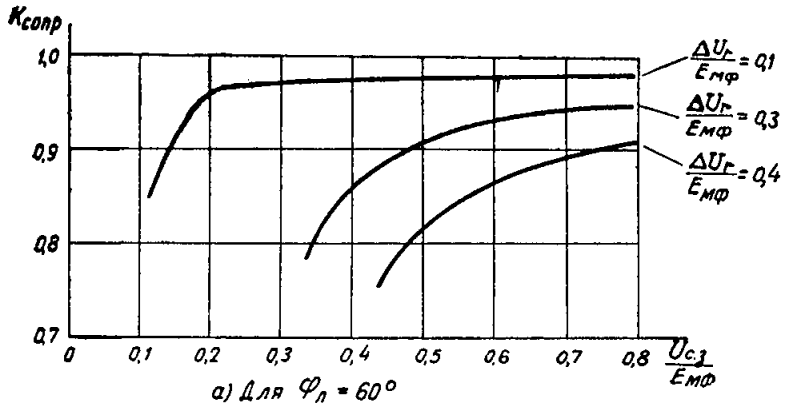
Для практического учета влияния сопротивления дуги на согласование защит были определены значения коэффициентов $k_{ток}$, $k_{напр}$, $k_{сопр}$ и $k_{хар}$ для различных напряжений срабатывания отсечки по напряжению или органа напряжения комбинированной отсечки $U_{с.з}$ при углах сопротивления линии $\varphi_л$, равных 60 и 75°, и возможных значениях падения напряжения на дуге. Результаты расчетов в виде кривых

$$k_{сопр}=f(U_{с.з},\ \Delta U_т,\ \varphi_л) \text{ и}$$

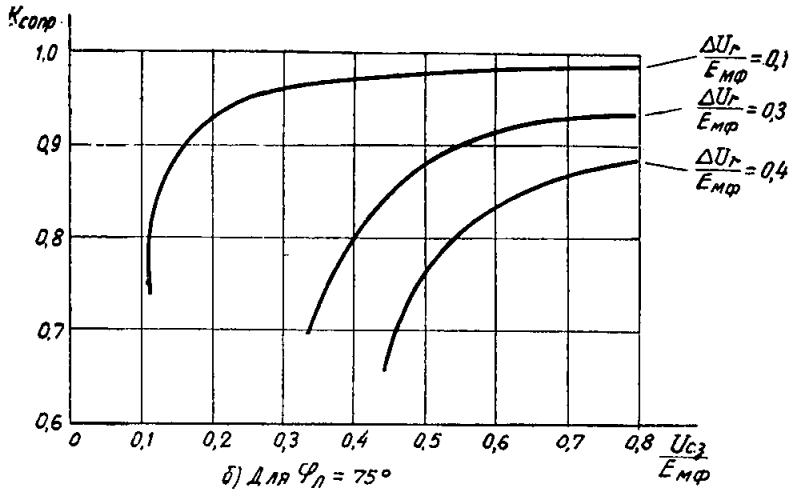
$$k_{хар}=f\left(U_{с.з},\ \frac{z_{с.з}}{z_{л\text{-}1}},\ \Delta U_т,\ \varphi_л\right)$$

приведены соответственно на рис. П-17 и П-18. Эти кривые могут быть использованы для практических расчетов по согласованию дистанционной защиты, выполненной с реле полного сопротивления или с направленным реле сопротивления в случаях, когда угол сопротивления $\varphi_л$ составляет 60 или 75° (для направленного реле сопротивления при этом должно соблюдаться также условие, что угол максимальной чувствительности реле примерно равен углу сопротивления линии).

При построении кривых в целях упрощения учитывалось минимальное значение коэффициента $k_{напр}$ (что увеличивает надежность согласования). Указанное не-



а) Для $\varphi_л = 60°$



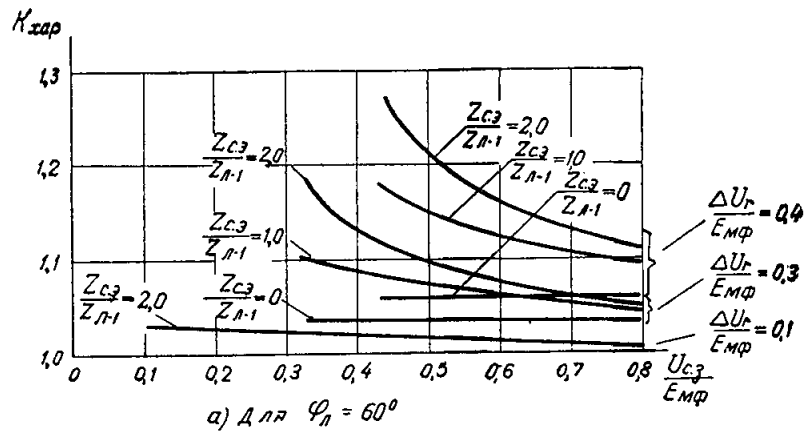
б) Для $\varphi_л = 75°$

Рис. П-17. Кривые $k_{соnр} = f(U_{с.з}; \Delta U_г; \varphi_л)$.

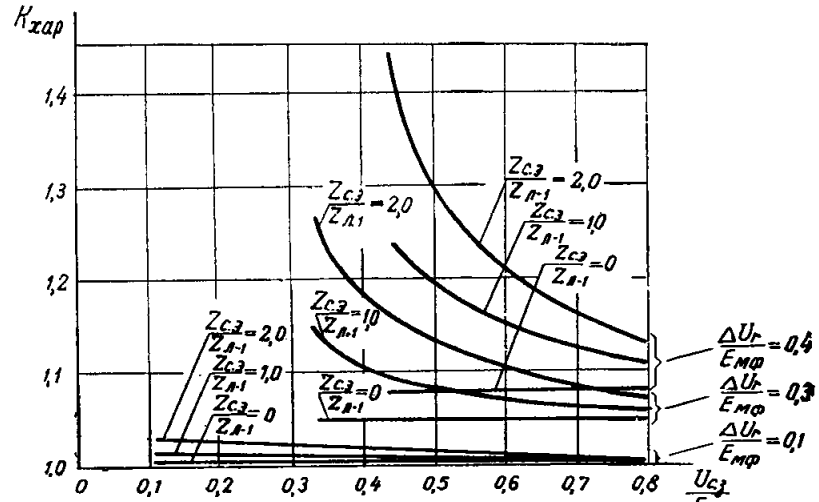
обходимо в связи с тем, что для определения точного значения коэффициента $k_{напр}=Д'К/ДК$ (рис. П-16) необходимо знать положение точки $Д$, т. е. соотношение сопротивлений системы и линии защищаемой согласуемой дистанционной защитой. В двух крайних положениях, когда падение напряжения в сопротивлениях системы или в сопротивлении линии, защищаемой дистанционной защитой, равно нулю (точка $Д$ совпадает с точкой $О$ или точкой $М$), коэффициент $k_{напр}=1$; во всех промежуточных положениях $k_{напр}<1$.

Минимальное значение коэффицента $k_{напр}$ может быть легко найдено, если учесть, что $Д'К/ДК=М''К/МК$, поскольку прямые $ДД'$ и $ММ'$ параллельны. Из рис. П-16 видно, что $k_{напр}$ будет минимальным, когда прямая пройдет через середину хорды $ММ'$ (точка N). Это значение $k_{напр}=NK/MK$ и принималось при построении кривых.

Значение коэффициента $k_{хар}$ также зависит от положения точки $Д$, т. е. от соотношения сопротивлений



а) Для $\varphi_л = 60°$



б) Для $\varphi_л = 75°$

Рис. П-18. Кривые $k_{хар} = f\left(U_{с.з}; \frac{z_{с.э}}{z_{л\text{-}1}}; \Delta U_г; \varphi_л\right)$.

системы и линии, защищаемой дистанционной защитой.

Минимальное значение коэффициента $k_{хар}$ будет в случае, когда падение напряжения на сопротивлениях системы равно нулю (точка $Д$ совпадает с точкой $О$ и $\angle\beta=\angle\psi$). В связи с тем, что действительные значения $k_{хар}$ могут значительно отличаться от минимальных, на рис. П-18, кроме минимальных значений $k_{хар}$, соответствующих $z_{с.э}/z_{л-1}=0$ ($z_{с.э}$ — эквивалентное сопротивление системы — см. примечание к рис. П-14), даны также кривые $k_{хар}=f(U_{с.з}; \Delta U_г)$ для $z_{с.э}/z_{л-1}=1,0$ и 2,0.

В практических расчетах рекомендуется по возможности использовать аналитический метод, как более простой. Однако в случаях, когда угол линии $\varphi_л$ не равен 60 или 75° (углы, для которых построены кривые рис. П-17 и П-18), следует пользоваться графическим методом.

ПРИЛОЖЕНИЕ Х

РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДВОЙНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С МАЛЫМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

А. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

1. Ниже приводятся расчетные выражения для определения токов и напряжений при двойных замыканиях на землю в сетях с малым током замыкания на землю.

Все выводы сделаны в предположении равенства сопротивлений прямой и обратной последовательностей всех элементов системы и равенства э. д. с. источников питания, что значительно упрощает расчетные выражения.

Таблица П-4

Выражения для расчета токов при двойных замыканиях на землю в схеме по рис. П-19

Участок		Симметричные составляющие токов (для фазы A)			Токи в фазах		
		Ток прямой последовательности $\dot{I}_1$	Ток обратной последовательности $\dot{I}_2$	Ток нулевой последовательности $\dot{I}_0$	$\dot{I}_A$	$\dot{I}_B$	$\dot{I}_C$
KP	$\dot{I}'$	$(a-a^2)\dot{I}_{0M}$	$-(a-a^2)\dot{I}_{0M}$	0	0	$3\dot{I}_{0M}$	$-3\dot{I}_{0M}$
PM	$\dot{I}_M$	$a\dot{I}_{0M}$	$a^2\dot{I}_{0M}$	$\dot{I}_{0M}$	0	$3\dot{I}_{0M}$	0
PN	$\dot{I}_N$	$-a^2\dot{I}_{0M}$	$-a\dot{I}_{0M}$	$-\dot{I}_{0M}$	0	0	$-3\dot{I}_{0M}$

$$\dot{I}_{0M}=\frac{(a^2-a)\dot{E}_A}{6Z'_1+2Z_{1M}+2Z_{1N}+Z_{0M}+Z_{0N}+6r_п}$$

Таблица П-5

Выражения для расчета напряжений при двойных замыканиях на землю в схеме по рис. П-19

Напряжение в точке V	Симметричные составляющие напряжения	$\dot{U}_{1V}$	$\dot{E}_A-\dot{I}_{0M}[(a-a^2)Z'_1+aZ_{1M}+ar_п]$
		$\dot{U}_{2V}$	$\dot{I}_{0M}[(a-a^2)Z'_1-a^2Z_{1M}-a^2r_п]$
		$\dot{U}_{0V}$	$-a^2\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\times(3Z'_1+2Z_{1M}+2r_п)$
	Фазные напряжения	$\dot{U}_{AV}$	$(1-a^2)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\times(3Z'_1+3Z_{1M}+3r_п)$
		$\dot{U}_{BV}$	0
		$\dot{U}_{CV}$	$(a-a^2)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\times(6Z'_1+3Z_{1M}+3r_п)$
Напряжение в точке W	Симметричные составляющие напряжения	$\dot{U}_{1W}$	$\dot{E}_A-\dot{I}_{0M}[(a-a^2)Z'_1-a^2Z_{1N}-a^2r_п]$
		$\dot{U}_{2W}$	$\dot{I}_{0M}[(a-a^2)Z'_1+aZ_{1N}+ar_п]$
		$\dot{U}_{0W}$	$-a\dot{E}_A-\dot{I}_{0M}\times\times(3Z'_1+2Z_{1N}+2r_п)$

Продолжение табл. П-5

Напряжение в точке W	Фазные напряжения	$\dot{U}_{AW}$	$(1-a)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\times(-3Z'_1-3Z_{1N}-3r_п)$
		$\dot{U}_{BW}$	$(a^2-a)\dot{E}_A+I_{0M}\times\times(-6Z'_1-3Z_{1N}-3r_п)$
		$\dot{U}_{CW}$	0
Напряжение в точке P	Симметричные составляющие напряжения	$\dot{U}_{1P}$	$\dot{E}_A-\dot{I}_{0M}(a-a^2)Z'_1$
		$\dot{U}_{2P}$	$\dot{I}_{0M}(a-a^2)Z'_1$
		$\dot{U}_{0P}$	$-a^2\dot{E}_A+I_{0M}\times\times(3Z'_1+2Z_{1M}+Z_{0M}+3r_п)$
	Фазные напряжения	$\dot{U}_{AP}$	$(1-a^2)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\times(3Z'_1+2Z_{1M}+Z_{0M}+3r_п)$
		$\dot{U}_{BP}$	$\dot{I}_{0M}(2Z_{1M}+Z_{0M}+3r_п)$
		$\dot{U}_{CP}$	$(a-a^2)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\times(6Z'_1+2Z_{1M}+Z_{0M}+3r_п)$

2. Расчетные выражения для симметричных составляющих фазы A и полных значений токов и напряжений приведены в табл. П-4, П-5 и П-6, П-7 соответственно для схем с одно- и двусторонним питанием, причем для схемы с односторонним питанием (рис. П-19) места замыкания на землю располагаются на различных линиях, а для схемы с двусторонним питанием (рис. П-20) оба места замыкания на землю должны располагаться на одном или смежных участках одной линии. Следует учитывать, что к схеме по рис. П-19 может быть приведена любая сложная система, имеющая равные э. д. с. источников питания при любом расположении мест повреждения.

3. Вывод выражений для расчетов токов и напряжения при двойных замыканиях на землю в простейшей схеме по рис. П-19 производится следующим образом.

Учитывая, что на участке KP протекают токи прямой и обратной последовательностей, а на участках PM и PN — токи прямой, обратной и нулевой последовательностей, и при равенстве сопротивлений прямой и обратной последовательностей элементов схемы, урав-

Таблица П-6

Выражения для расчета токов при двойных замыканиях на землю в схеме по рис. П-20

Участок		Симметричные составляющие токов		
		Ток прямой последовательности $\dot{I}_1$	Ток обратной последовательности $\dot{I}_2$	Ток нулевой последовательности $\dot{I}_0$
KM	$\dot{I}'$	$\dot{I}_{0M}\frac{[aZ''_1+(a-a^2)Z'''_1]}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}$	$-\dot{I}_{0M}\frac{(a-a^2)Z'''_1-a^2Z''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}$	0
MN	$\dot{I}''$	$-I_{0M}\frac{aZ'_1+a^2Z'''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}$	$-\dot{I}_{0M}\frac{a^2Z'_1+aZ'''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}$	$-\dot{I}_{0M}$
LN	$\dot{I}'''$	$\dot{I}_{0M}\frac{[(a-a^2)Z'_1-a^2Z''_1]}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}$	$-\dot{I}_{0M}\frac{(a-a^2)Z'_1+aZ''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}$	0
MV	$\dot{I}_M$	$a\dot{I}_{0M}$	$a^2\dot{I}_{0M}$	$\dot{I}_{0M}$
NW	$\dot{I}_N$	$-a^2\dot{I}_{0M}$	$-a\dot{I}_{0M}$	$-\dot{I}_{0M}$

$$\dot{I}_{0M}=\frac{\dot{E}_A(a^2-a)(Z'_1+Z''_1+Z'''_1)}{(Z'_1+Z''_1+Z'''_1)[3(r_M+r_N)+Z''_0]+6Z'_1Z'''_1+2Z''_1(Z'_1+Z'''_1)}$$

Таблица П-7

Выражения для расчета напряжений при двойных замыканиях на землю в схеме по рис. П-20

Напряжение в точке V			Напряжение в точке W		
Симметричные составляющие	$\dot{U}_{1V}$	$\dot{E}_A-\dot{I}_{0M}\times\left(Z'_1\frac{(a-a^2)Z'''_1+aZ''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}+ar_M\right)$	Симметричные составляющие напряжения	$\dot{U}_{1W}$	$\dot{E}_A-\dot{I}_{0M}\times\left(Z'''_1\frac{(a-a^2)Z'_1-a^2Z''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}-a^2r_N\right)$
	$\dot{U}_{2V}$	$\dot{I}_{0M}\times\left(Z'_1\frac{(a-a^2)Z'''_1-a^2Z''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}-a^2r_M\right)$		$\dot{U}_{2W}$	$\dot{I}_{0M}\times\left(Z'''_1\frac{(a-a^2)Z'_1+aZ''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}+ar_N\right)$
	$\dot{U}_{0V}$	$-a^2\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\left(Z'_1\frac{2Z''_1+3Z'''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}+2r_M\right)$		$\dot{U}_{0W}$	$-a\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\left(Z'''_1\frac{-3Z'_1-2Z''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}-2r_N\right)$
Фазные напряжения	$\dot{U}_{AV}$	$(1-a_2)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\left(Z'_1\frac{3Z''_1+3Z'''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}+3r_M\right)$	Фазные напряжения	$\dot{U}_{AW}$	$(1-a)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\left(Z'''_1\frac{-3Z'_1-3Z''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}-3r_N\right)$
	$\dot{U}_{BV}$	0		$\dot{U}_{BW}$	$(a^2-a)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\left(Z'''_1\frac{-6Z'_1-3Z''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}-3r_N\right)$
	$\dot{U}_{CV}$	$(a-a^2)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\times\left(Z'_1\frac{3Z''_1+6Z'''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}+3r_M\right)$		$\dot{U}_{CW}$	0

Продолжение табл. П-7

Напряжение в точке Q		
Симметричные составляющие напряжения	$\dot{U}_{1Q}$	$\dot{E}_A-\dot{I}_{0M}\times\left[\frac{(a-a^2)Z'''_1+aZ''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}(Z'_1-Z_1^{IV})\right]$
	$\dot{U}_{2Q}$	$\dot{I}_{0M}\times\left[\frac{(a-a^2)Z'''_1-a^2Z''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}(Z'_1-Z_1^{IV})\right]$
	$\dot{U}_{0Q}$	$-a^2\dot{E}_A+I_{0M}\times\left(\frac{2Z''_1+3Z'''_1}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}Z'_1+3r_M\right)$
Фазные напряжения	$\dot{U}_{AQ}$	$(1-a^2)\dot{E}_A+I_{0M}\times\left[\frac{Z'_1(3Z''_1+2Z'''_1)-Z''_1Z_1^{IV}}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}+3r_M\right]$
	$\dot{U}_{BQ}$	$\dot{I}_{0M}\times\left[\frac{Z_1^{IV}(3Z'''_1+2Z''_1)}{Z'_1+Z''_1+Z'''_1}+3r_M\right]$
	$\dot{U}_{CQ}$	$(a-a^2)\dot{E}_A+\dot{I}_{0M}\left[\frac{Z'_1(3Z''_1+6Z'''_1)-\dots}{Z'_1+Z''_1+}\right.$ $\left.\dots\frac{-Z_1^{IV}(Z''_1+3Z'''_1)}{+Z'''_1}+3r_M\right]$

нение падения напряжений в контуре $KPMNPK$ имеет следующий вид:

$$\dot{E}_B-\dot{E}_C=Z'_1(\dot{I}'_{1B}+\dot{I}'_{2B})+(Z_{1M}+r_n)(\dot{I}_{1MB}+\dot{I}_{2MB})+$$
$$+(Z_{0M}+r_n)\dot{I}_{0M}-(Z_{1N}+r_n)(\dot{I}'_{1NC}+\dot{I}_{2NC})-$$
$$-(Z_{0N}+r_n)\dot{I}_{0N}-Z'_1(\dot{I}'_{1C}+\dot{I}'_{2C}). \quad (П\text{-}10)$$

Учитывая, что для схемы по рис. П-19 справедливы соотношения:

$$\dot{I}_{1MB}=\dot{I}_{2MB}=\dot{I}_{0M}; \quad (П\text{-}11)$$

$$\dot{I}_{1NC}=\dot{I}_{2NC}=\dot{I}_{0N}=-\dot{I}_{0M}; \quad (П\text{-}12)$$

$$\dot{I}'_{1B}+\dot{I}'_{2B}=\dot{I}'_B=\dot{I}_{MB}=3\dot{I}_{0M}; \quad (П\text{-}13)$$

$$\dot{I}'_{1C}+\dot{I}'_{2C}=\dot{I}'_C=\dot{I}_{NC}=3\dot{I}_{0N}=-3\dot{I}_{0M}. \quad (П\text{-}14)$$

Из (П-10) с учетом (П-11) — (П-14) получим:

$$(a^2-a)\dot{E}_A=3Z'_1\dot{I}_{0M}+2(Z_{1M}+r_n)\dot{I}_{0M}+$$
$$+(Z_{0M}+r_n)\dot{I}_{0M}+2(Z_{1N}+r_n)\dot{I}_{0M}+$$
$$+(Z_{0N}+r_n)I_{0M}+3Z'_1\dot{I}_{0M}. \quad (П\text{-}15)$$

Из (П-15) может быть получено:

$$\dot{I}_{0M}=-\dot{I}_{0N}=\frac{(a^2-a)\dot{E}_A}{6Z'_1+2Z_{1M}+Z_{0M}+2Z_{1N}+Z_{0N}+6r_n}. \quad (П\text{-}16)$$

Для определения симметричных составляющих токов на участке KP дополнительно к (П-13) используется следующее соотношение:

$$\dot{I}'_{1A}=-\dot{I}'_{2A}. \quad (П\text{-}17)$$

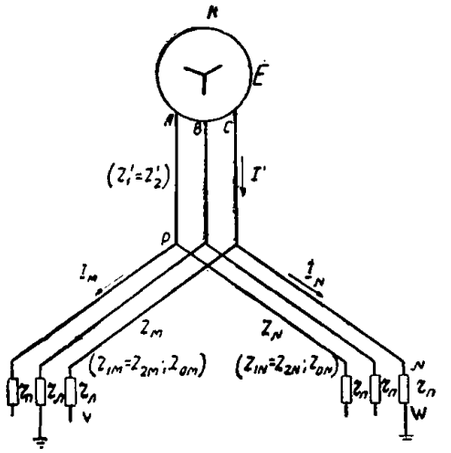


Рис. П-19. Пример схемы сети с односторонним питанием для случая, когда места замыкания на землю располагаются на различных линиях.

Из (П-13) и (П-17) может быть получено:

$$\dot{I}'_{1B} + \dot{I}'_{2B} = a^2\dot{I}'_{1A} - a\dot{I}'_{1A} = (a^2 - a)\,\dot{I}'_{1A} = 3\dot{I}_{0M}, \quad (\text{П-18})$$

откуда

$$\dot{I}'_{1A} = (a - a^2)\,\dot{I}_{0M}; \quad (\text{П-19})$$

$$\dot{I}'_{2A} = -(a - a^2)\,\dot{I}_{0M}. \quad (\text{П-20})$$

Напряжения прямой и обратной последовательностей фазы A в месте повреждения V определяются следующим образом:

$$\dot{U}_{1VA} = \dot{E}_A - (Z'_1\dot{I}'_{1A} + Z_{1M}\dot{I}_{1MA} + r_п\dot{I}_{1MA}); \quad (\text{П-21})$$

$$\dot{U}_{2VA} = 0 - (Z'_1\dot{I}'_{2A} + Z_{1M}\dot{I}_{1MA} + r_п I_{2MA}). \quad (\text{П-22})$$

Напряжение нулевой последовательности определяется из условия, что полное напряжение фазы B в точке V равно нулю, отсюда следует:

$$\dot{U}_{0V} = -(a^2\dot{U}_{1VA} + a\dot{U}_{2VA}). \quad (\text{П-23})$$

С учетом (П-11), (П-13) и (П-19) выражения (П-21), (П-22) и (П-23) могут быть преобразованы следующим образом:

$$\dot{U}_{1VA} = \dot{E}_A - \dot{I}_{0M}\,[(a - a^2)\,Z'_1 + aZ_{1M} + ar_п]; \quad (\text{П-24})$$

$$\dot{U}_{2VA} = \dot{I}_{0M}\,[(a - a^2)\,Z'_1 - a^2Z_{1M} - a^2r_п]; \quad (\text{П-25})$$

$$U_{0V} = -a^2\dot{E}_A + \dot{I}_{0M}\,(3Z'_1 + 2Z_{1M} + 2r_п). \quad (\text{П-26})$$

Выражения для токов на других участках и для напряжений в точках P и W выводятся аналогично; для точки W — с учетом того обстоятельства, что напряжение фазы C в этой точке равно нулю.

Расчетные выражения для токов и напряжений приведены в табл. П-4 и П-5.

4. Вывод выражений для расчета токов и напряжений при двойных замыканиях на землю для схемы с двусторонним питанием производится аналогично. Расчетные выражения для этого случая приведены в табл. П-6 и П-7.

Исходя из выражений, приведенных в табл. П-6, можно получить отношения полных токов в фазах.

Для участка KM схемы по рис. П-20 отношения токов фаз A и C к току фазы B, наибольшему по абсолютному значению:

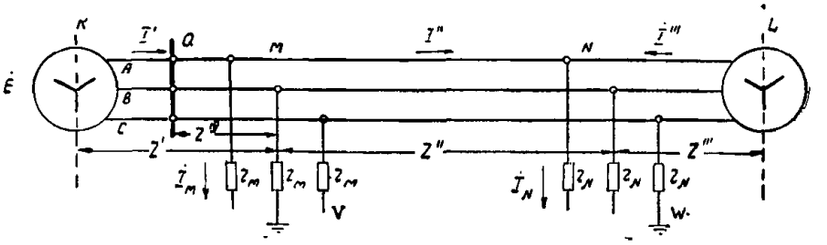


Рис. П-20. Пример схемы сети с двусторонним питанием для случая, когда оба места замыкания на землю располагаются на одном или смежных участках одной линии.

$$\frac{I_{KMA}}{I_{KMB}} = -\frac{Z''_1}{2Z''_1 + 3Z'''_1} = -\frac{1}{2 + 3\dfrac{Z'''_1}{Z''_1}}; \quad (\text{П-26а})$$

$$\frac{I_{KMC}}{I_{KMB}} = -\frac{Z''_1 + 3Z'''_1}{2Z''_1 + 3Z'''_1} = -1 + \frac{Z''_1}{2Z''_1 + 3Z'''_1} = -1 + \frac{1}{2 + 3\dfrac{Z'''_1}{Z''_1}}. \quad (\text{П-26б})$$

Для участка LN отношения токов фаз A и B к току фазы C, наибольшему по абсолютному значению:

$$\frac{I_{LNA}}{I_{LNC}} = -\frac{Z''_1}{3Z'_1 + 2Z''_1} = -\frac{1}{2 + 3\dfrac{Z'_1}{Z''_1}}; \quad (\text{П-26в})$$

$$\frac{I_{LNB}}{I_{LNC}} = -\frac{3Z'_1 + Z''_1}{3Z'_1 + 2Z''_1} = -1 + \frac{Z''_1}{3Z'_1 + 2Z''_1} = -1 + \frac{1}{2 + 3\dfrac{Z'_1}{Z''_1}}. \quad (\text{П-26г})$$

Из (П-26а) — (П-26г) следует, что для участков с $I_0=0$ схемы по рис. П-20 отношение тока в неповрежденной фазе к наибольшему току в поврежденной фазе (П-26а) и (П-26в) тем больше, а отношение наименьшего к наибольшему из токов в поврежденных фазах (П-26б) и (П-26г) тем меньше, чем больше сопротивление между точками замыкания на землю M и N (Z''_1) и чем меньше сопротивление участка с $I_0=0$ с противоположной стороны схемы (для участка KM — сопротивление Z'''_1, а для участка LN — сопротивление Z'_1).

В пределе, когда сопротивление Z'''_1 или Z'_1 равно нулю (бесконечно большая мощность системы L или K и замыкание на землю на шинах этой системы), токи в неповрежденной фазе и в одной из поврежденных фаз на участке с $I_0=0$ с противоположной стороны схемы достигают значения, равного половине значения тока в другой поврежденной фазе этого участка.

Если сопротивления Z'''_1 и Z'_1 одновременно равны нулю, то указанные соотношения соблюдаются для обоих участков с $I_0=0$. При этом, как следует из табл. П-6, токи всех трех фаз на участке MN одинаковы и равны току I_{0M}.

Отношения токов по (П-26а) — (П-26г) не зависят от сопротивлений ответвлений к местам повреждений, в частности от переходных сопротивлений в местах повреждений. Поэтому (П-26а) — (П-26г) действительны также для радиальной схемы с двумя точками питания при двойном замыкании на землю на ответвлениях.

Б. ПРИМЕР РАСЧЕТА ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДВОЙНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

В качестве примера рассмотрен случай, когда повреждения располагаются на двух радиальных линиях, имеющих одностороннее питание.

Схема сети и параметры схемы замещения приведены на рис. П-21.

Расчеты произведены по выражениям, приведенным в табл. П-4 и П-5.

Ток нулевой последовательности на участке PM равен:

$$\dot{I}_{0M} = \frac{(a^2 - a)\,\dot{E}_A}{6Z'_1 + 2Z_{1M} + 2Z_{1N} + Z_{0M} + Z_{0N} + 6r_п} =$$

$$= \frac{\sqrt{3}\ \angle\underline{-90^\circ} \cdot 21\,400\ \angle\underline{0^\circ}}{6 \cdot 3{,}4\ \angle\underline{90^\circ} + 2 \cdot 9{,}3\ \angle\underline{90^\circ} + 2 \cdot 4{,}9\ \angle\underline{90^\circ} + 27{,}9\ \angle\underline{90^\circ} + 14{,}7\ \angle\underline{90^\circ}} = 405\ \angle\underline{-180^\circ}\ a.$$

Токи на участке KP (в неразветвленной части сети).

Ток прямой последовательности

$$\dot{I}'_1 = (a - a^2)\,\dot{I}_{0M} = \sqrt{3}\ \angle\underline{90^\circ} \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = 700\ \angle\underline{-90^\circ}\ a.$$

Ток обратной последовательности

$$\dot{I}'_2 = -(a - a^2)\,\dot{I}_{0M} = -\sqrt{3}\ \angle\underline{90^\circ} \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = -700\ \angle\underline{-90^\circ}\ a.$$

Ток нулевой последовательности на участке KP не протекает.

Токи в фазах

$$\dot{I}'_A = 0;$$

$$\dot{I}'_B = 3\dot{I}_{0M} = 3 \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = 1\,215\ \angle\underline{-180^\circ}\ a;$$

$$\dot{I}'_C = -3\dot{I}_{0M} = -3 \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = -1\,215\ \angle -180\ a.$$

Токи на участке PM

$$\dot{I}_{1M} = a\dot{I}_{0M} = 1\ \angle\underline{120^\circ} \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = 405\ \angle\underline{-60^\circ}\ a;$$

$$\dot{I}_{2M} = a^2\dot{I}_{0M} = 1\ \angle\underline{240^\circ} \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = 405\ \angle\underline{60^\circ}\ a;$$

$$\dot{I}_{0M} = 405\ \angle\underline{-180^\circ}\ a;\ \dot{I}_{AM} = 0;\ \dot{I}_{CM} = 0;$$

$$\dot{I}_{BM} = 3\dot{I}_{0M} = 3 \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = 1\,215\ \angle\underline{-180^\circ}\ a.$$

Токи на участке PN

$$\dot{I}_{1N} = -a^2\dot{I}_{0M} = -1\ \angle\underline{240^\circ} \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = -405\ \angle\underline{60^\circ}\ a;$$

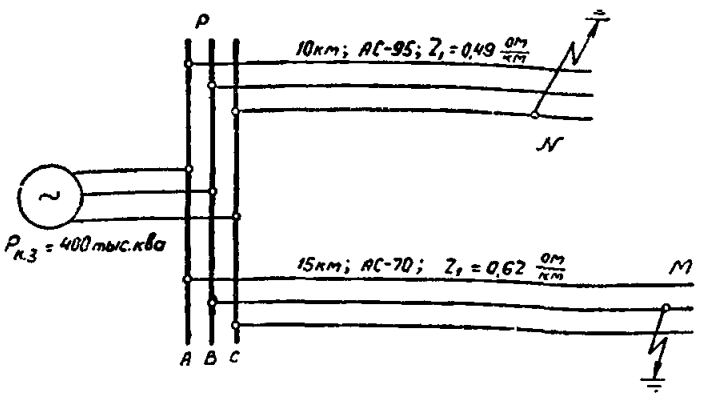
$$\dot{I}_{2N} = -a\dot{I}_{0M} = -1\ \angle\underline{120^\circ} \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = -405\ \angle\underline{-60^\circ} = 405\ \angle\underline{120^\circ}\ a;$$

$$\dot{I}_{0N} = -\dot{I}_{0M} = -405\ \angle\underline{-180^\circ} = 405\ \angle\underline{0^\circ}\ a;$$

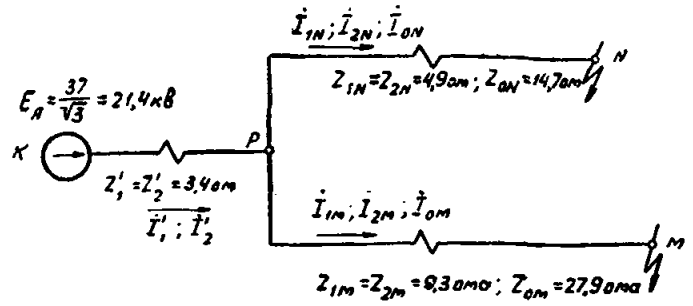
$$\dot{I}_{AN} = 0;$$

$$\dot{I}_{BN} = 0;$$

$$\dot{I}_{CN} = -3\dot{I}_{0M} = -3 \cdot 405\ \angle\underline{-180^\circ} = -1\,215\ \angle\underline{-180^\circ} = 1\,215\ \angle\underline{0^\circ}\ a.$$



а) Исходная схема сети



б) Расчетная схема

Рис. П-21. Схема сети и параметры расчетной схемы для примера расчета двойных замыканий на землю.
N — место металлического замыкания на землю фазы C;
M — место металлического замыкания на землю фазы B.

Напряжение прямой последовательности в точке M — месте замыкания на землю фазы B:

$$\dot{U}_{1M} = \dot{E}_A - \dot{I}_{0M}[(a - a^2)\,Z'_1 + aZ_{1M}] =$$

$$= 21\,400\ \angle\underline{0^\circ} - 405\ \angle\underline{-180^\circ}\,(\sqrt{3}\ \angle\underline{90^\circ} \cdot 3{,}4\ \angle\underline{90^\circ} + 1\ \angle\underline{120^\circ} \cdot 9{,}3\ \angle\underline{90^\circ}) = 15\,760 - j1\,883 =$$

$$= 15\,880\ \angle\underline{-6^\circ 49'}\ в.$$

Напряжение обратной последовательности фазы B в точке M

$$\dot{U}_{2M} = \dot{I}_{0M}[(a - a^2)\,Z'_1 - a^2Z_{1M}] =$$

$$= 405\ \angle\underline{-180^\circ}\,(\sqrt{3}\ \angle\underline{90^\circ} \cdot 3{,}4\ \angle\underline{90^\circ} - 1\ \angle\underline{240^\circ} \cdot 9{,}3\ \angle\underline{90^\circ}) =$$

$$= 5\,640 - j1\,883 = 5\,940\ \angle\underline{-18^\circ 30'}\ в.$$

Напряжение нулевой последовательности фазы B в точке M

$$\dot{U}_{0M} = -a^2\dot{E}_A + \dot{I}_{0M}(3Z'_1 + 2Z_{1M}) =$$

$$= -1\ \angle\underline{240^\circ} \cdot 21\,400\ \angle\underline{0^\circ} + 405\ \angle\underline{-180^\circ}\,(3 \cdot 3{,}4\ \angle\underline{90^\circ} + 2 \cdot 9{,}3\ \angle\underline{90^\circ}) = 10\,700 + j6\,850 = 12\,700\ \angle\underline{32^\circ 40'}\ в.$$

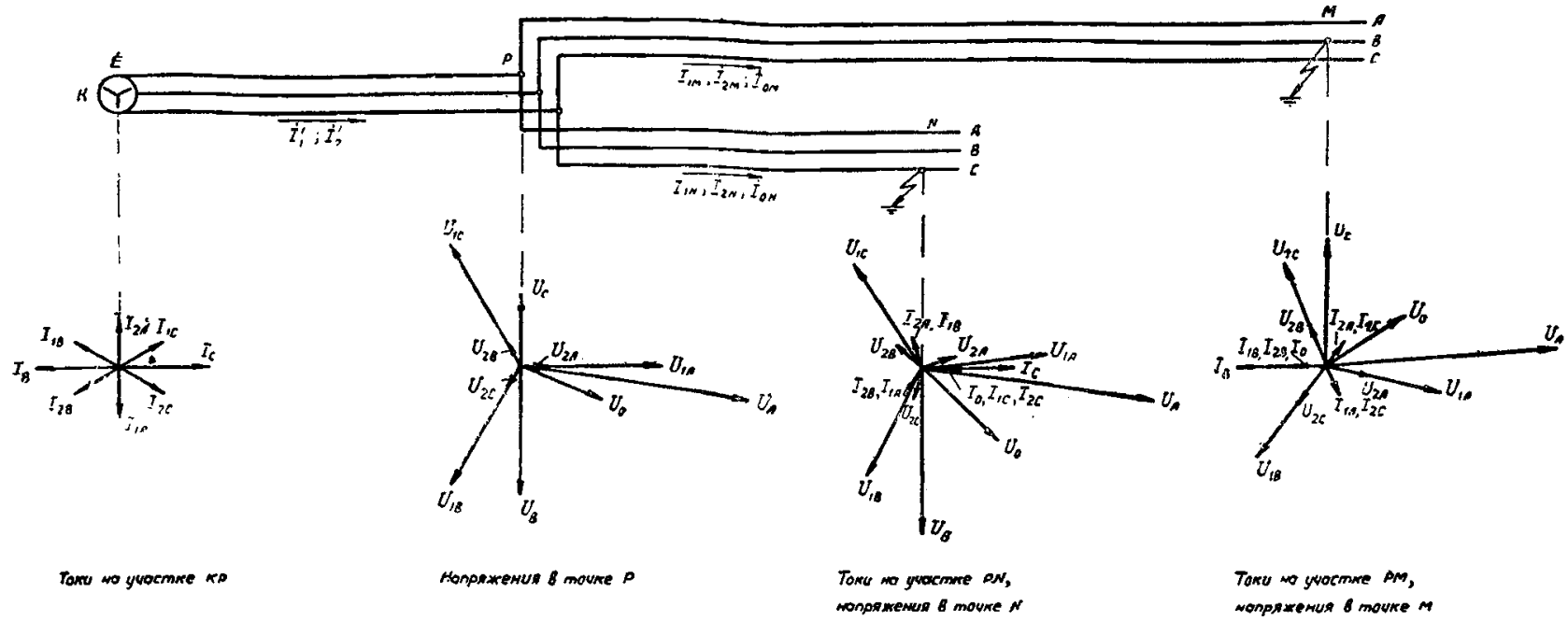


Рис. П-22. Векторные диаграммы токов и напряжений при двойных замыканиях на землю (для примера расчета).

Примечания:
1. Векторные диаграммы построены в масштабе: напряжения—5 *кв/см*; токи— 500 *а/см*.
2. Параметры расчетной схемы приведены на рис. П-21,*б*.

Фазные напряжения в точке M

$$\dot{U}_{AM} = (1 - a^2)\,\dot{E}_A + \dot{I}_{0M}\,(3Z'_1 + 3Z_{1M}) =$$
$$= (1 - 1\,\angle\underline{240°})\,21\,400\,\angle\underline{0°} +$$
$$+ 405\,\angle\underline{-180°}\,(3{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} + 3{\cdot}9{,}3\,\angle\underline{90°}) =$$
$$= 32\,100 + j3\,080 = 32\,100\,\angle\underline{5°30'}\ в;$$

$$\dot{U}_{BM} = 0;$$

$$\dot{U}_{CM} = (a - a^2)\,\dot{E}_A + \dot{I}_{0M}\,(6Z'_1 + 3Z_{1M}) =$$
$$= \sqrt{3}\,\angle\underline{90°}{\cdot}21\,400\,\angle\underline{0°} + 405\,\angle\underline{-180°}\,(6{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} +$$
$$+ 3{\cdot}9{,}3\,\angle\underline{90°}) = 37\,000\,\angle\underline{90°} - 19\,550\,\angle\underline{90°} =$$
$$= 17\,450\,\angle\underline{90°}\ в.$$

Напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей, а также фазные напряжения в точке N— месте замыкания на землю фазы C — равны соответственно:

$$\dot{U}_{1N} = \dot{E}_A - \dot{I}_{0M}\,[(a - a^2)\,Z'_1 - a^2 Z_{1N}] =$$
$$= 21\,400\,\angle\underline{0°} - 405\,\angle\underline{-180°}\,(\sqrt{3}\,\angle\underline{90°} - 3{,}4\,\angle\underline{90°} -$$
$$- 1\,\angle\underline{240°}{\cdot}4{,}9\,\angle\underline{90°}) = 17\,300 + j990 = 17\,300\,\angle\underline{3°17'}\ в;$$

$$\dot{U}_{2N} = \dot{I}_{0M}\,[(a - a^2)\,Z'_1 + aZ_{1N}] =$$
$$= 405\,\angle\underline{-180°}\,(\sqrt{3}\,\angle\underline{90°}{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} +$$
$$+ 1\,\angle\underline{120°}{\cdot}4{,}9\,\angle\underline{90°}) = 4\,100 + j990 = 4\,220\,\angle\underline{13°35'}\ в;$$

$$\dot{U}_{0N} = -a\dot{E}_A - I_{0M}\,(3Z'_1 + 2Z_{1N}) =$$
$$= -1\,\angle\underline{120°}{\cdot}21\,400\,\angle\underline{0°} - 405\,\angle\underline{-180°}\,(3{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} +$$
$$+ 2{\cdot}4{,}9\,\angle\underline{90°}) = 10\,700 - j10\,400 = 14\,940\,\angle\underline{-44°15'}\ в;$$

$$\dot{U}_{AN} = (1 - a)\,\dot{E}_A + \dot{I}_{0M}\,(-3Z'_1 - 3Z_{1N}) = (1 -$$
$$- 1\,\angle\underline{120°})\cdot 21\,400\,\angle\underline{0°} + 405\,\angle\underline{-180°}(-3{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} -$$
$$- 3{\cdot}4{,}9\,\angle\underline{90°}) = 32\,100 - j8\,400 = 33\,200\,\angle\underline{-14°40'}\ в;$$

$$\dot{U}_{BN} = (a^2 - a)\,\dot{E}_A + \dot{I}_{0M}\,(-6Z'_1 - 3Z_{1N}) =$$
$$= \sqrt{3}\,\angle\underline{-90°}\cdot 21\,400\,\angle\underline{0°} +$$
$$+ 405\,\angle\underline{-180°}\,(-6{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} - 3{\cdot}4{,}9\,\angle\underline{90°}) =$$
$$= 22\,800\,\angle\underline{-90°}\ в;$$
$$U_{CN} = 0.$$

Напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей, а также фазные напряжения в точке P схемы (в начале поврежденных линий) соответственно равны:

$$\dot{U}_{1P} = \dot{E}_A - \dot{I}_{0M}\,(a - a^2)\,Z'_1 =$$
$$= 21\,400\,\angle\underline{0°} - 405\,\angle\underline{-180°}\cdot\sqrt{3}\,\angle\underline{90°}{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} =$$
$$= 21\,400 - 2\,380 = 19\,020\ в;$$

$$\dot{U}_{2P} = \dot{I}_{0M}\,(a - a^2)\,Z'_1 =$$
$$= 405\,\angle\underline{-180°}\cdot\sqrt{3}\,\angle\underline{90°}{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} = 2\,380\ в;$$

$$\dot{U}_{0P} = -a^2\dot{E}_A + \dot{I}_{0M}\,(3Z'_1 + 2Z_{1M} + Z_{0M}) =$$
$$= -1\,\angle\underline{240°}{\cdot}21\,400\,\angle\underline{0°} + 405\,\angle\underline{-180°}\,(3{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} +$$
$$+ 2{\cdot}9{,}3\,\angle 90° + 27{,}9\,\angle 90°) = 10\,700 - j4\,450 =$$
$$= 11\,600\,\angle\underline{-22°35'}\ в;$$

$$U_{AP} = (1 - a^2)\,\dot{E}_A + \dot{I}_{0M}\,(3Z'_1 + 2Z_{1M} + Z_{0M}) =$$
$$= (1 - 1\,\angle\underline{240°})\,21\,400\,\angle\underline{0°} + 405\,\angle\underline{-180°}(3{\cdot}3{,}4\,\angle\underline{90°} +$$
$$+ 2{\cdot}9{,}3\,\angle\underline{90°} + 27{,}9\,\angle\underline{90°}) = 32\,100 - j4\,450 =$$
$$= 32\,400\,\angle\underline{-4°10'}\ в;$$

$$\dot{U}_{BP} = \dot{I}_{0M}(2Z_{1M} + Z_{0M}) =$$

$$= 405 \angle\underline{-180°}(2 \cdot 9{,}3 \angle\underline{90°} + 27{,}9 \angle\underline{90°}) =$$

$$= 18\,820 \angle\underline{-90°}\ в;$$

$$\dot{U}_{CP} = (a - a^2)\dot{E}_4 + \dot{I}_{0M}(6Z'_1 + 2Z_{1M} + Z_{0M}) =$$

$$= \sqrt{3} \angle\underline{90°} \cdot 21\,400 \angle\underline{0°} + 405 \angle\underline{-180°}(6 \cdot 3{,}4 \angle\underline{90} +$$

$$+ 2 \cdot 9{,}3 \angle\underline{90°} + 27{,}9 \angle\underline{90°}) = 37\,000 \angle\underline{90°} -$$

$$- 27\,100 \angle\underline{90°} = 9\,900 \angle\underline{90°}\ в.$$

На рис. П-22 представлены векторные диаграммы токов и напряжений, построенные на основании результатов настоящего расчета. На диаграммах даны как симметричные составляющие, так и полные значения фазных токов и напряжений.

ПРИЛОЖЕНИЕ XI

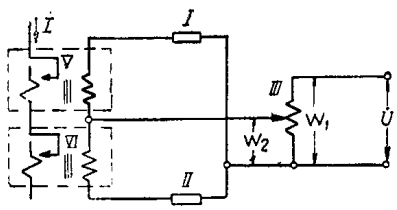
ВЛИЯНИЕ УСТАВКИ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ЗНАЧЕНИЕ ЕГО ТОКА ТОЧНОЙ РАБОТЫ

А. ОДНОФАЗНОЕ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ВКЛЮЧЕННОЕ НА ЛИНЕЙНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ И РАЗНОСТЬ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ФАЗНЫХ ТОКОВ (РЕЛЕ ТИПОВ КРС-111, КРС-112, КРС-131 и КРС-132)

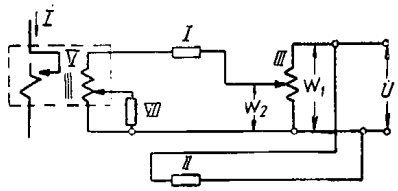
Принципиальные схемы внутренних соединений реле типов КРС-111, КРС-112, КРС-131 и КРС-132 приведены на рис. П-23.

Для условий срабатывания указанных реле сопротивления уравнение моментов, действующих на подвижную систему реле, имеет вид:

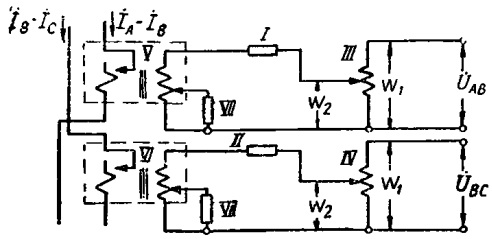
$$-m\left[\frac{\dot{U}}{N_1} - \dot{k}_1\dot{I}\right]\cdot\left[\frac{\dot{U}}{N_2} + \dot{k}_2\dot{I}\right] = M_{мех}, \quad (П\text{-}27)$$



а) Реле КРС-111 и КРС-112



б) Реле КРС-131 и КРС-132



в) Реле КРС-121

Рис. П-23. Принципиальные схемы внутренних соединений реле сопротивления.

I и *II* — обмотки индукционной системы реле; *III* и *IV* — автотрансформаторы напряжения; *V* и *VI* — трансреакторы; *VII* — активное сопротивление, обеспечивающее угол максимальной чувствительности.

где [ ]·[ ] — знак скалярного произведения;

$\dot{U}$ — вектор подводимого к реле вторичного напряжения трансформатора напряжения;

$\dot{I}$ — вектор подводимого к реле вторичного тока трансформаторов тока;

$\dot{k}_1\dot{I}$ и $\dot{k}_2\dot{I}$ — вторичные э. д. с. обмоток V и VI трансреакторов реле, действующие соответственно в контурах обмоток I и II индукционной системы реле;

N_1 и N_2 — отношение первичных витков автотрансформаторов напряжения к числу вторичных витков, используемых соответственно в контурах обмоток I и II индукционной системы реле;

$M_{мех}$ — механический момент;

m — коэффициент пропорциональности между напряжением и моментом на реле, обусловленным этим напряжением.

Левая часть (П-27) представляет собой скалярное, а не векторное произведение в связи с тем, что в рассматриваемых реле сопротивления векторы токов в обмотках индукционной системы сдвинуты на угол 90°.

Условие срабатывания реле в случае, когда сопротивление, подводимое к реле, имеет угол ($\varphi_p = \hat{\dot{U}\dot{I}}$), равный углу φ_A вектора $\dot{k}_1$, которому соответствует точка A на характеристиках срабатывания реле, показанных на рис. П-24, без учета $M_{мех}$ имеет вид:

$$\left[\frac{\dot{U}}{N_1} - \dot{k}_1\dot{I}\right] = 0,$$

откуда

$$\dot{k}_1 = \frac{1}{N_1}\frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{Z_1}{N_1} = \frac{z_1 e^{j\varphi_A}}{N_1}. \quad (П\text{-}28)$$

Точке $Б$ (на рис. П-24) соответствует условие

$$\left[\frac{\dot{U}}{N_2} + \dot{k}_2\dot{I}\right] = 0,$$

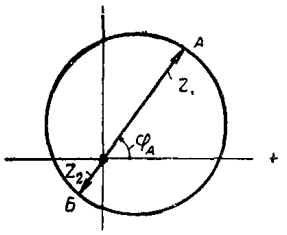
откуда

$$\dot{k}_2 = -\frac{1}{N_2}\frac{\dot{U}}{\dot{I}} = -\frac{Z_2}{N_2} =$$

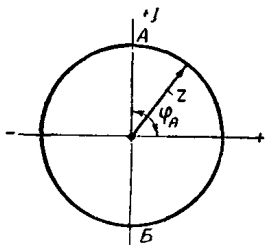
$$= -\frac{z_2 e^{j(\varphi_A + 180°)}}{N_2} = \frac{z_2 e^{j\varphi_A}}{N_2}. \quad (П\text{-}29)$$

Для условий, когда к реле подводится ток точной работы $\dot{I} = \dot{I}_{р.т}$ и $\varphi_p = \varphi_A$,

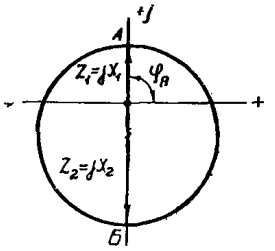
$$\dot{U}_{р.т} = 0{,}9Z\dot{I}_{р.т} = 0{,}9z_1 e^{j\varphi_A}\dot{I}_{р.т}. \quad (П\text{-}30)$$



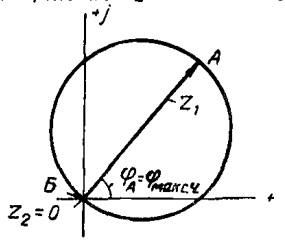
а) Характеристика срабатывания реле сопротивления, включенного на одно напряжение и соответствующий одноименный ток, в общем виде (см выражение (П-27))



б) Реле КРС-111 при отсутствии смещения и реле КРС-112



в) Реле КРС-111 при наличии смещения



г) Реле КРС-131 и КРС-132.

Рис. П-24. Характеристики срабатывания реле сопротивления.

При этом с учетом (П-28) — (П-30) уравнение (П-27) приводится к виду

$$-m\left[\frac{0{,}9z_1e^{j\varphi_A}\dot{I}_{р.т}}{N_1}-\frac{z_1e^{j\varphi_A}\dot{I}_{р.т}}{N_1}\right]\times$$

$$\times\left[\frac{0{,}9z_1e^{j\varphi_A}\dot{I}_{р.т}}{N_2}+\frac{z_2e^{j\varphi_A}\dot{I}_{р.т}}{N_2}\right]=M_{мех},$$

откуда

$$\frac{m}{N_1N_2}(z_1I_{р.т}-0{,}9z_1I_{р.т})(z_2I_{р.т}+0{,}9z_1I_{р.т})=M_{мех};$$

$$\frac{m}{N_1N_2}I^2_{р.т}z_1^2\,0{,}1\left(\frac{z_2}{z_1}+0{,}9\right)=M_{мех},$$

откуда, приняв обозначение $\sqrt{\frac{10M_{мех}}{m}}=a$,

$$I_{р.т}=\frac{a}{z_1}\sqrt{\frac{N_1N_2}{z_2/z_1+0{,}9}}. \qquad (П\text{-}31)$$

Для реле типов КРС-112 и КРС-111 при отсутствии смещения (рис. П-23,*а* и П-24,*б*)

$$N_1=N_2=N;\ z_1=z_2=z=Nz_0,$$

где z_0 — уставка реле при $N=1$, определяемая числом используемых первичных витков трансреакторов реле V и VI.

Учитывая это, из (П-31) можно получить:

$$I'_{р.т}=\frac{a}{z_0\cdot 1{,}38}. \qquad (П\text{-}32)$$

Следует отметить, что $I_{р.т}$ для реле типов КРС-112 и КРС-111 при отсутствии смещения, определяемый по (П-32), не зависит от угла $\varphi_р$. Указанное также вытекает из структуры приведенного ниже уравнения моментов в условиях срабатывания указанных реле, полученного из (П-27) с учетом

$$\dot{k}_1=\dot{k}_2=\dot{k}\quad\text{и}\quad N_1=N_2=N:$$

$$-m\left[\frac{\dot{U}}{N}-\dot{k}\dot{I}\right]\cdot\left[\frac{\dot{U}}{N}+\dot{k}\dot{I}\right]=M_{мех},$$

откуда

$$-m\left(\frac{U^2}{N^2}-k^2I^2\right)=M_{мех}. \qquad (П\text{-}33)$$

Для реле типа КРС-111 при наличии смещения (рис. П-23,*а* и П-24,*в*)

$$N_1=N_2=N;\ Z_1=jx_1;\ Z_2=jx_2;\ x_1=Nx_{01};$$

$$x_2=Nx_{02},$$

где x_{01} и x_{02} — уставки реле при $N=1$, определяемые числом используемых первичных витков трансреакторов V и VI реле.

Учитывая это, из (П-31) можно получить:

$$I_{р.т}=\frac{a}{x_{01}\sqrt{\alpha+0{,}9}}, \qquad (П\text{-}34)$$

где α — значение смещения характеристики, равное x_2/x_1.

Выражение (П-34) дано для случая, когда $\varphi_р=\varphi_A=90°$.

Как показали расчеты, практически изменением $I_{р.т}$ при изменении угла $\varphi_р$ для реле типа КРС-111 можно пренебречь.

Из (П-32) и (П-34) может быть получена зависимость тока точной работы реле КРС-111 при наличии смещения $I_{р.т}$ от тока точной работы этого реле при отсутствии смещения $I'_{р.т}$, значения которого для различных уставок даны в табл. 15, с учетом того, что $Z_0=jx_{01}$;

$$I_{р.т}=I'_{р.т}\frac{1{,}38}{\sqrt{\alpha+0{,}9}}. \qquad (П\text{-}35)$$

Из (П-32) и (П-34) следует, что ток точной работы указанных типов реле не зависит от N.

Для реле типов КРС-131 и КРС-132 (рис. П-23,*б* и П-24,*г*)

$$N_1=N;\ N_2=1;\ z_1=z=Nz_0;\ z_2=0.$$

Учитывая это, из (П-31) можно получить:

$$I_{р.т}=\frac{1{,}05a}{z_0\sqrt{N}}. \qquad (П\text{-}36)$$

Выражение (П-36) дается для случая, когда $\varphi_р=\varphi_A=\varphi_{макс.ч}$, где $\varphi_{макс.ч}$ — угол максимальной чувствительности.

При $N=1$

$$I_{р.т0}=\frac{1{,}05a}{z_0}. \qquad (П\text{-}36а)$$

Из (П-36) и (П-36 а)

$$I_{р.т}=I_{р.т0}\frac{1}{\sqrt{N}}. \qquad (П\text{-}37)$$

Из (П-37) следует, что ток точной работы указанных типов реле увеличивается при уменьшении N.

Б. ТРЕХФАЗНОЕ НАПРАВЛЕННОЕ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ВКЛЮЧЕННОЕ НА ДВА РАЗНОИМЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ТОКИ (РЕЛЕ ТИПА КРС-121)

Принципиальная схема внутренних соединений реле типа КРС-121 приведена на рис. П-23,*в*.

Для условий срабатывания указанного реле сопротивления уравнение моментов, действующих на подвижную систему реле, имеет вид:

$$m\left[\frac{\dot{U}_{AB}}{N}-\dot{k}(\dot{I}_A-\dot{I}_B)\right]\cdot\left[\frac{\dot{U}_{BC}}{N}-\dot{k}(\dot{I}_B-\dot{I}_C)\right]= =M_{\text{мех}}, \qquad \text{(П-38)}$$

где $[\,]\cdot[\,]$ — знак векторного произведения;

$\dot{U}_{AB}$ и $\dot{U}_{BC}$ — векторы подводимых к реле вторичных междуфазных напряжений трансформатора напряжения;

$\dot{I}_A-\dot{I}_B$ и $\dot{I}_B-\dot{I}_C$ — векторы подводимых к реле разностей вторичных фазных токов трансформаторов тока.

Остальные обозначения в (П-38) такие же, как в (П-27). В (П-38) положительное значение момента принято при отставании вектора

$$\dot{U}_{\text{I}}=\frac{\dot{U}_{AB}}{N}-\dot{k}(\dot{I}_A-\dot{I}_B)$$

от вектора

$$\dot{U}_{\text{II}}=\frac{\dot{U}_{BC}}{N}-\dot{k}(\dot{I}_B-\dot{I}_C).$$

В настоящем приложении ток точной работы реле КРС-121 определен только для случаев замыканий между двумя фазами, для действия при которых указанное реле в основном предназначено.

Условие срабатывания реле при замыкании между фазами B и C и при $\varphi_{\text{р}}=\varphi_{\text{макс.ч}}$ без учета $M_{\text{мех}}$ имеет вид:

$$\left[\frac{\dot{U}_{BC}}{N}-\dot{k}(\dot{I}_B-\dot{I}_C)\right]=0,$$

откуда

$$\dot{k}=\frac{1}{N}\,\frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{I}_B-\dot{I}_C}=\frac{Z_{\text{у}}}{N}=\frac{z_{\text{у}}e^{j\varphi_{\text{макс.ч}}}}{N}, \qquad \text{(П-39)}$$

где $z_{\text{у}}$ — уставка реле сопротивления КРС-121.

При замыкании между фазами B и C для условий срабатывания реле в случае, когда $\dot{I}_B-\dot{I}_C=\dot{I}_{\text{р.т}}$ и $\varphi_{\text{р}}=\varphi_{\text{макс.ч}}$, имеет место

$$\dot{U}_{BC}=0{,}9\,\dot{I}_{\text{р.т}}Z_{\text{у}}=0{,}9I_{\text{р.т}}z_{\text{у}}e^{j\varphi_{\text{макс.ч}}}. \qquad \text{(П-40)}$$

На рис. П-25 приведена для рассматриваемых условий векторная диаграмма токов и напряжений в месте установки защиты (показаны сплошными линиями) и компенсированных напряжений, подводимых к реле (показаны пунктирными линиями), построенная с учетом (П-39) и (П-40).

Из указанной векторной диаграммы следует:

$$\text{а)}\ \dot{U}_{\text{II}}=\frac{\dot{U}'_{BC}}{N}=\frac{\dot{U}_{BC}}{N}-\frac{z_{\text{у}}e^{j\varphi_{\text{макс.ч}}}}{N}\times$$

$$\times(\dot{I}_B-\dot{I}_C)=\frac{0{,}9\dot{I}_{\text{р.т}}z_{\text{у}}e^{j\varphi_{\text{макс.ч}}}}{N}-\frac{z_{\text{у}}e^{j\varphi_{\text{макс.ч}}}\dot{I}_{\text{р.т}}}{N}=$$

$$=0{,}1\,\frac{\dot{I}_{\text{р.т}}z_{\text{у}}e^{j\,(\varphi_{\text{макс.ч}}+180°)}}{N}; \qquad \text{(П-41)}$$

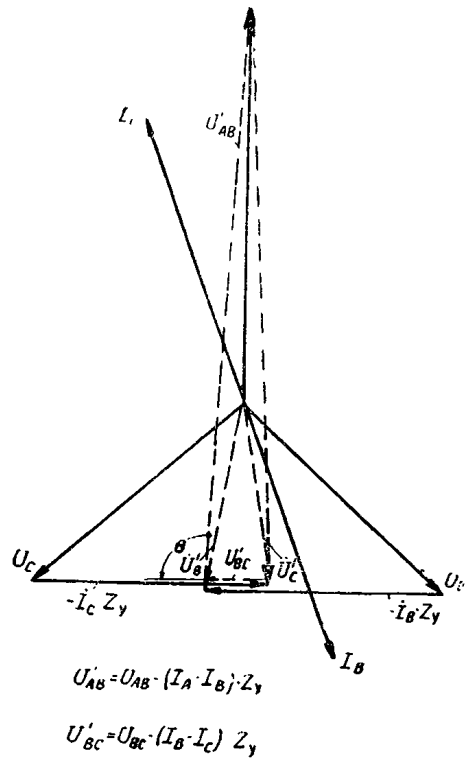


Рис. П-25. Векторная диаграмма токов и напряжений в месте установки защиты и компенсированных напряжений при замыкании между фазами B и C при $\dot{I}_B-\dot{I}_C=\dot{I}_{\text{р.т}}$.

б) с достаточной степенью точности можно принимать:

$$\theta=90°, \qquad \text{(П-42)}$$

где θ — угол между векторами $\dot{U}'_{AB}$ и $\dot{U}'_{BC}$ при отставании вектора $\dot{U}'_{AB}$ от вектора $\dot{U}'_{BC}$ и

$$\dot{U}_{\text{I}}=\frac{\dot{U}'_{AB}}{N}=\frac{1{,}5\dot{U}_{\text{ф}}}{N}. \qquad \text{(П-43)}$$

С учетом (П-41), (П-43) выражение (П-38) приводится к виду

$$m\,\frac{1{,}5U_{\text{ф}}}{N}\,\frac{0{,}1I_{\text{р.т}}z_{\text{у}}}{N}=M_{\text{мех}},$$

откуда, приняв обозначение $\dfrac{10M_{\text{мех}}}{m\cdot 1{,}5U_{\text{ф}}}=b$

$$I_{\text{р.т}}=\frac{bN^2}{z_{\text{у}}}.$$

Поскольку $z_{\text{у}}=z_{\text{у0}}$ (где $z_{\text{у0}}$ — уставка реле при $N=1$, определяемая числом первичных витков трансреакторов реле), из последнего выражения получается:

$$I_{\text{р.т}}=\frac{bN}{z_{\text{у0}}}. \qquad \text{(П-44)}$$

$$\text{При } N=1 \quad I_{\text{р.т0}}=\frac{b}{z_{\text{у0}}}. \qquad \text{(П-45)}$$

Из (П-44) и (П-45) $I_{р.т}=I_{р.т0}N$. (П-46)

Из (П-46) следует, что ток точной работы указанного типа реле увеличивается при увеличении N.

При замыкании между фазами A и B ток точной работы может быть определен по (П-44)—(П-46).

При замыкании между фазами A и C ввиду более значительного влияния угловых погрешностей трансформаторов напряжения ток точной работы может быть бо́льшим, чем при замыканиях между фазами A и B или B и C.

ПРИЛОЖЕНИЕ XII

ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕДЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО И ОДНОФАЗНОГО НАПРАВЛЕННЫХ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ДВУХФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ, СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ КАЧАНИЯМИ

А. ТРЕХФАЗНОЕ НАПРАВЛЕННОЕ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Для оценки поведения рассматриваемого реле при коротких замыканиях, сопровождающихся качаниями, целесообразно построить характеристики реле в комплексной плоскости параметра отношения э. д. с. эквивалентных источников $\dot{E}_I/\dot{E}_{II}$.

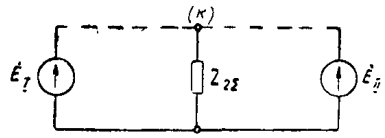
Ниже дан способ построения этих характеристик.

Как известно, общее выражение для момента на реле имеет вид:

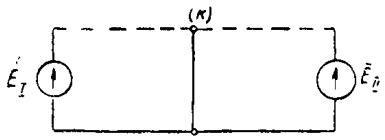
$$M \equiv |\dot{U}'_2|^2 - |\dot{U}'_1|^2, \qquad (П\text{-}47)$$

где

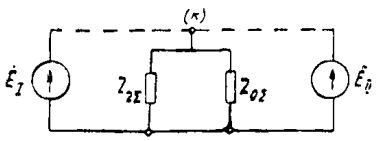
$$\dot{U}'_1 = \dot{U}_1 - Z_y\dot{I}_1; \quad \dot{U}'_2 = \dot{U}_2 - Z_y\dot{I}_2 \qquad (П\text{-}48)$$



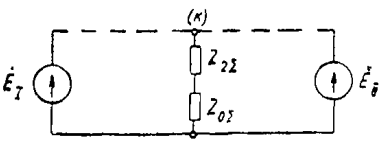
а) Комплексная схема последовательностей при замыкании между двумя фазами



б) Комплексная схема последовательности при трехфазном коротком замыкании



в) Комплексная схема последовательностей при замыкании двух фаз на землю



г) Комплексная схема последовательностей при замыкании одной фазы на землю

Рис. П-26. Комплексные схемы последовательностей при различных видах повреждений.

и $\dot{U}_1$; $\dot{U}_2$; $\dot{I}_1$; $\dot{I}_2$ — напряжения и токи прямой и обратной последовательностей в месте установки реле; Z_y — сопротивление компенсации.

Так как в (П-47) входят абсолютные значения напряжений отдельных последовательностей, поведение реле не зависит от того, какие фазы участвуют в данном виде повреждений.

Представив разность квадратов модулей (П-47) как скалярное произведение суммы векторов на их разность, можно выразить момент на реле следующим образом:

$$M \equiv [\dot{U}'_1+\dot{U}'_2]\,[-\dot{U}'_1+\dot{U}'_2]. \qquad (П\text{-}49)$$

Отметим, что физическое представление о поведении реле при различных видах коротких замыканий можно легко получить из рассмотрения комплексных схем последовательностей (рис. П-26).

Схема рис. П-26,*в* для случая замыкания двух фаз на землю при предельных значениях $z_{0\Sigma}=0$ и ∞ превращается соответственно в схему рис. П-26,*б* для случая трехфазного короткого замыкания и схему рис. П-26, *а* для случая замыкания между двумя фазами; точно так же схема рис. П-26,*г* для случая замыкания одной фазы на землю при $z_{0\Sigma}=0$ и ∞ превращается соответственно в схему рис. П-26,*а* и в схему симметричного нагрузочного режима.

Поскольку при симметричных условиях трехфазного короткого замыкания или нагрузочного режима, как вытекает из (П-47), реле не срабатывает, то в реальных случаях, когда $z_{0\Sigma}$ имеет конечное значение, реле обеспечивает меньшую чувствительность при замыканиях на землю, чем при замыканиях между двумя фазами.

Ниже рассматривается способ построения характеристик трехфазного направленного реле сопротивления при замыкании между двумя фазами, причем для упрощения принято равенство сопротивлений прямой и обратной последовательностей отдельных участков.

При замыкании между двумя фазами в прямом направлении (рис. 67,*а*) первый множитель (П-49), представляющий собой компенсированное напряжение неповрежденной фазы, имеет вид

$$\dot{U}'_1+\dot{U}'_2 = \left(1-\frac{Z_{1c}+Z_y}{Z_{1c}}\right)\dot{E}_I + \left(\frac{Z_{1c}+Z_y}{Z_1}\right)\dot{E}_{II} = (1-m_y)\,\dot{E}_I + m_y\dot{E}_{II}, \qquad (П\text{-}50)$$

где

$$m_y = \frac{Z_{1c}+Z_y}{Z_1}. \qquad (П\text{-}51)$$

Второй множитель (П-49), пропорциональный компенсированному напряжению петли короткого замыкания, имеет вид:

$$-\dot{U}'_1+\dot{U}'_2=\frac{Z_у-Z_к}{Z_{1с}+Z_к}\dot{E}_I, \qquad (П\text{-}52)$$

где $Z_к$ — сопротивление от места установки защиты до точки короткого замыкания.

Подставляя (П-50) и (П-52) в (П-49), получаем:

$$M\equiv[(1-m_у)\dot{E}_I+m_у\dot{E}_{II}]\left[\left(\frac{Z_у-Z_к}{Z_{1с}+Z_к}\right)\dot{E}_I\right]=$$

$$=\left[\left(\frac{Z_у-Z_к}{Z_{1с}+Z_к}\right)\left(\frac{1}{1-m_у}\right)\frac{\dot{E}_I}{\dot{E}_{II}}\right]\times$$

$$\times\left[\frac{\dot{E}_I}{\dot{E}_{II}}+\frac{m_у}{1-m_у}\right]. \qquad (П\text{-}53)$$

Точно так же можно представить (П-49) для случая замыкания между двумя фазами в обратном направлении рис. 67,*а*, следующим образом:

$$M\equiv\left[-\left(\frac{1}{1-m_у}\right)\left(\frac{Z_к+Z_у}{Z_1-Z_{1с}+Z_к}\right)\right]\times$$

$$\times\left[\frac{\dot{E}_I}{\dot{E}_{II}}+\frac{m_у}{1-m_у}\right]. \qquad (П\text{-}54)$$

В общем случае момент на реле может быть представлен следующим образом:

$$M\equiv[\dot{F}_{AB}(\dot{F}_{об}-\dot{F}_A)][\dot{F}_{об}-\dot{F}_B]. \qquad (П\text{-}55)$$

Применительно к (П-53) имеем:

$$\dot{F}_{об}=\frac{\dot{E}_I}{\dot{E}_{II}};\ \dot{F}_A=0;\ \dot{F}_B=-\frac{m_у}{1-m_у};$$

$$\dot{F}_{AB}=\left(\frac{Z_у-Z_к}{Z_{1с}+Z_к}\right)\left(\frac{1}{1-m_у}\right). \qquad (П\text{-}56)$$

Для случая короткого замыкания в обратном направлении момент по (П-54) может быть представлен обобщенно аналогично (П-55) следующим образом:

$$M\equiv[-\dot{F}_{CB}][\dot{F}_{об}-\dot{F}_B], \qquad (П\text{-}57)$$

где

$$\dot{F}_{об}=\frac{\dot{E}_I}{\dot{E}_{II}},\ \dot{F}_B=-\frac{m_у}{1-m_у};$$

$$\dot{F}_{CB}=\left(\frac{1}{1-m_у}\right)\left(\frac{Z_к+Z_у}{Z_1-Z_{1с}+Z_к}\right). \qquad (П\text{-}58)$$

Покажем, что характеристика срабатывания реле, момент которого представлен в общем виде (П-55), представляет собой окружность, а (П-57)—прямую.

Представим (П-55) в следующем виде:

$$M\equiv[\dot{F}_{AB}\dot{F}_I][\dot{F}_{II}]=F_{AB}F_IF_{II}\cos(\alpha+\varphi_{AB}), \qquad (П\text{-}59)$$

где

$$\dot{F}_I=\dot{F}_{об}-\dot{F}_A;\ \dot{F}_{II}=F_{об}-F_B \qquad (П\text{-}60)$$

и

$$\alpha=\varphi_I-\varphi_{II}=\arg\dot{F}_I-\arg\dot{F}_{II};\ \varphi_{AB}=\arg\dot{F}_{AB}. \qquad (П\text{-}61)$$

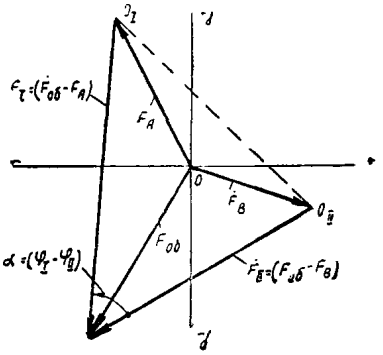


Рис. II-27. Векторная диаграмма величин в (П-59)—(П-61).

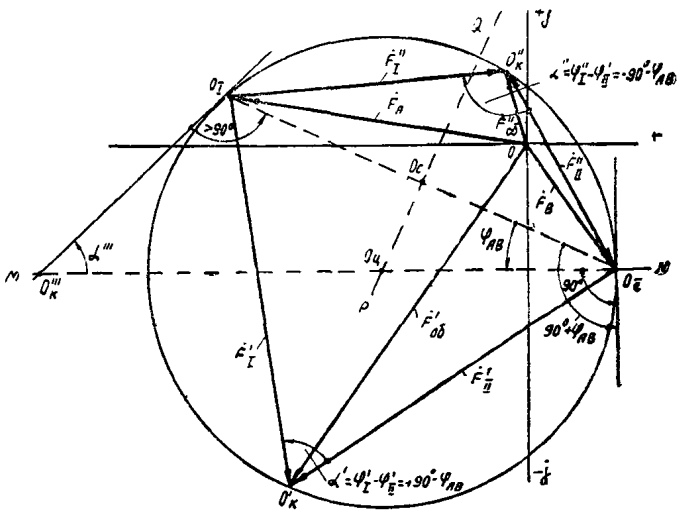


Рис. П-28. Построение характеристики срабатывания в виде окружности на комплексной плоскости по (П-55).

В соответствии с (П-59) и (П-60) видно, что реле находится на грани срабатывания, если

$$\dot{F}_{об}=\dot{F}_A \text{ или } \dot{F}_{об}=\dot{F}_B, \qquad (П\text{-}62)$$

а также если

$$\cos(\alpha+\varphi_{AB})=0 \qquad (П\text{-}63)$$

или

$$\alpha=\pm 90°-\varphi_{AB}\quad(\alpha_1=+90°-\varphi_{AB};$$

$$\alpha_2=-90°-\varphi_{AB}). \qquad (П\text{-}64)$$

Условия (П-62) и (П-64) могут быть представлены графически, если учесть, что векторы $\dot{F}_I$ и $\dot{F}_{II}$ (П-60) содержат общую составляющую $\dot{F}_{об}$, меняющуюся по значению и углу. На рис. П-27 показано построение векторов $\dot{F}_I$ и $\dot{F}_{II}$ относительно начала диаграммы O.

Геометрическое место точек, характеризующее условие срабатывания, содержит точки O_I и O_{II} концов векторов $\dot{F}_A$ и $\dot{F}_B$ и вершины угла α постоянного значения между переменными векторами $\dot{F}_I$ и $\dot{F}_{II}$ (П-64). Указанное геометрическое место точек вершины углов постоянного значения (на рис. П-28 α' и α''), опирающихся на заданную хорду O_IO_{II} (рис. П-28), представ-

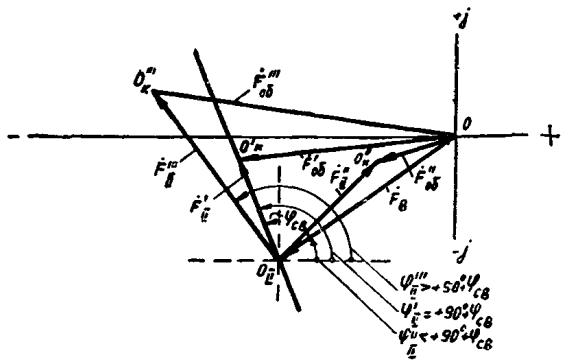


Рис. П-29. Построение характеристики срабатывания в виде прямой на комплексной плоскости по (П-57).

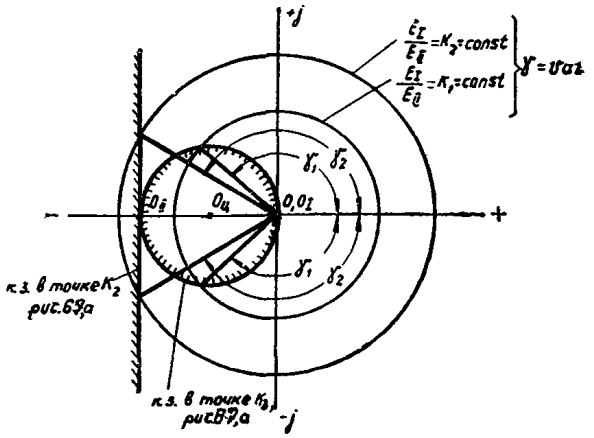


Рис. П-30. Характеристики срабатывания реле на плоскости $\dot{E}_I/\dot{E}_{II}$ при $z_{1c}+z_y<z_1$ по (П-53) и (П-54).

ляет собой дуги окружности; в соответствии с (П-64) указанные дуги являются двумя дополняющими друг друга частями одной окружности, содержащей хорду $O_I O_{II}$ (на рис. П-28 треугольники $O_I O'_к O_{II}$ и $O_I O''_к O_{II}$). Центр окружности определяется графически по следующим соображениям, вытекающим из рис. П-28. При перемещении точки $O'_к$ в направлении к точке O_{II} прямая $\dot{F}'_I$ в пределе занимает положение хорды $O_I O_{II}$, а прямая $\dot{F}'_{II}$ — касательной к окружности в точке O_{II}.

Отсюда вытекает, что центр окружности лежит на прямой MN, перпендикулярной к указанной касательной в точке O_{II}.

Таким образом, центр окружности лежит в точке пересечения перпендикуляра PQ, проходящего через середину хорды $O_I O_{II}$, и прямой MN, расположенной под углом $\varphi^в_{AB}$ к этой хорде. Следовательно, для построения характеристики требуется знать концы O_I и O_{II} хорды окружности (т. е. $\dot{F}_A$ и $\dot{F}_B$), а также угол φ_{AB} (рис. П-28).

Покажем, что для случая, рассматриваемого на рис. П-28, когда $0°<\varphi_{AB}<+90°$, область срабатывания реле лежит вне окружности. Действительно, для точки $O'''_к$, лежащей вне окружности, из треугольника $O_I O_{II} O'''_к$ видно, что $\alpha'''+\varphi_{AB}<90°$; в соответствии с (П-59) реле при этом срабатывает. К аналогичному выводу можно прийти при $0°>\varphi_{AB}>-90°$. Таким образом, область срабатывания лежит вне окружности при

$$+90°>\varphi_{AB}>-90°. \qquad (П\text{-}65)$$

Аналогично можно установить, что при

$$+90°<\varphi_{AB}<+270° \qquad (П\text{-}66)$$

область срабатывания лежит внутри окружности. При этом в обоих случаях реле срабатывает тогда, когда конец вектора $\dot{F}_{об}$ лежит в области срабатывания.

Рассмотрим теперь построение характеристики реле по (П-57), представляя последнее в следующем виде:

$$M \equiv -F_{CB}F_{II}\cos(\varphi_{II}-\varphi_{CB}), \qquad (П\text{-}67)$$

где

$$\dot{F}_{II}=\dot{F}_{об}-\dot{F}_B;\quad \varphi_{II}=\arg\dot{F}_{II};\quad \varphi_{CB}=\arg F_{CB}. \qquad (П\text{-}68)$$

Из (П-67) видно, что реле находится на грани срабатывания, когда

$$\varphi_{II}=\pm 90°+\varphi_{CB}. \qquad (П\text{-}69)$$

Геометрическое место точек, характеризуемое условием (П-69), как видно из рис. П-29, представляет собой прямую, продолжающую вектор $\dot{F}'_{II}$ и проходящую через конец вектора $\dot{F}_B$ под углом $\varphi_{II}=+90°+\varphi_{CB}$ с горизонталью.

Для случая, показанного на рис. П-29, когда $0°<\varphi_{CB}<+90°$, область срабатывания лежит слева от прямой, поскольку при этом $\varphi_{II}-\varphi_{CB}>90°$ (П-67).

В целом можно установить, как раньше, что область срабатывания лежит слева от прямой, когда

$$-90°<\varphi_{CB}<+90°. \qquad (П\text{-}70)$$

Аналогичным образом можно установить, что область срабатывания окажется справа от прямой, когда

$$+270°>\varphi_{CB}>+90°. \qquad (П\text{-}71)$$

На рис. П-30 показаны характеристики срабатывания для случаев короткого замыкания в точках K_2 и K_3 рис. 67,а при равенстве углов полного сопротивления участков сети и $m_y<1$. При этом при коротком замыкании в точке K_3 угол $\varphi_{AB}=180°$ (П-56) и (П-61), поскольку $z_к>z_y$, а при коротком замыкании в точке K_2 угол $\varphi_{CB}=0$ (П-58) и (П-68).

В соответствии с (П-65), (П-66) и (П-70), (П-71) заштрихованные области внутри окружности и слева от прямой соответствуют неправильному срабатыванию реле при повреждениях вне защищаемой зоны. Для определения диапазона углов γ, внутри которого может иметь место это неправильное срабатывание, проведены окружности с центром в начале координат для заданного отношения $E_I/E_{II}=\text{const}$, но при $\gamma=\text{var}$.

Из рис. П-30 видно, что для $E_I/E_{II}=k_1$ неправильное срабатывание при коротком замыкании в прямом направлении возможно только при углах $\gamma>|\gamma_1|$; аналогично для $E_I/E_{II}=k_2$ неправильное срабатывание при коротком замыкании в обратном направлении возможно только при $\gamma>|\gamma_2|$.

Исходя из диаграмм такого вида, на рис. 68 построены кривые, дающие диапазоны углов неправильного срабатывания при коротких замыканиях вне защищаемой зоны и отказа в действии при коротких замыканиях внутри зоны при замыканиях между двумя фазами в схеме рис. 67,*а* от отношения $m_y=\dfrac{z_{1c}+z_y}{z_1}$ при $E_I/E_{II}=0{,}6;\ 1{,}0;\ 1{,}5$.

Б. ОДНОФАЗНОЕ НАПРАВЛЕННОЕ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Для оценки поведения рассматриваемого реле при коротких замыканиях, сопровождающихся качаниями, используем метод, изложенный в гл. V, разд. И.

При металлических замыканиях между фазами B и C в сети рис. 67,*а* наличие качаний не влияет на действие рассматриваемого реле, включенного на фазы B и C. Поэтому ниже дается метод оценки возможности неправильного срабатывания реле при замыканиях фаз C и A или A и B на землю и без земли вне защищаемой зоны. Рассматриваются короткие замыкания в точках K_4 рис. 67,*а* (при $Z_к = Z_у$) и в K_5 (при $Z_к = 0$) как наиболее близких к месту включения защиты точках внешнего повреждения.

При повреждениях, характеризуемых особой фазой B или C, можно представить выражение для сопротивления на зажимах реле следующим образом:

$$Z_р = \frac{\dot U_{BC}}{\dot I_{BC}} = \frac{\dot U_{1A} - \dot U_{2A}}{\dot I_{1A} - \dot I_{2A}} = \frac{e^{\pm j120^\circ}\dot U_{1\beta} - e^{\mp j120^\circ}\dot U_{2\beta}}{e^{\pm j120^\circ}\dot I_{1\beta} - e^{\mp j120^\circ}\dot I_{2\beta}} = \frac{-\frac{1}{2}(\dot U_{1\beta} - \dot U_{2\beta}) \pm j\frac{\sqrt 3}{2}(\dot U_{1\beta} + \dot U_{2\beta})}{-\frac{1}{2}(\dot I_{1\beta} - \dot I_{2\beta}) \pm j\frac{\sqrt 3}{2}(\dot I_{1\beta} + \dot I_{2\beta})}, \quad (П\text{-}72)$$

где $\dot U$, I — напряжение и ток в месте установки реле.

Индекс β обозначает симметричные составляющие, отнесенные к особой фазе B или C, причем здесь и ниже верхний знак соответствует особой фазе B, а нижний — C.

Приведем (П-72) к виду (68) для случая замыкания фаз C и A (или A и B) на землю в точке K_5 (рис. 67,*а*). При этом учитываем следующие соотношения:

$$\left.\begin{aligned}
&\dot U_{1\beta} - \dot U_{2\beta} = 0;\\
&\dot U_{1\beta} + \dot U_{2\beta} = 2k_0^{(1,1)}\left[\left(1 - \frac{Z_{1c}}{Z_1}\right)\dot E_I + \frac{Z_{1c}}{Z_1}\dot E_{II}\right];\\
&\dot I_{1\beta} - \dot I_{2\beta} = -\frac{\dot E_{II}}{Z_1 - Z_{1c}};\\
&\dot I_{1\beta} + \dot I_{2\beta} = \frac{\dot U_{1\beta} + \dot U_{2\beta} - \dot E_{II}}{Z_1 - Z_{1c}} = \frac{2k_0^{(1,1)}\left[\left(1 - \frac{Z_{1c}}{Z_1}\right)\dot E_I + \frac{Z_{1c}}{Z_1}\dot E_{II}\right] - \dot E_{II}}{Z_1 - Z_{1c}},
\end{aligned}\right\} \quad (П\text{-}73)$$

где

$$k_0^{(1,1)} = \frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + 2Z_{0\Sigma}}. \quad (П\text{-}74)$$

Подставляя (П-73) в (П-72), получим следующие выражения для коэффициентов $\dot A - \dot D$ (66) и (67):

$$\left.\begin{aligned}
\dot A &= \pm j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\left(1 - \frac{Z_{1c}}{Z_1}\right);\\
\dot B &= \pm j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1};\\
\dot C &= \pm j\sqrt 3\,\frac{k_0^{(1,1)}\left(1 - \frac{Z_{1c}}{Z_1}\right)}{Z_1 - Z_{1c}};\\
\dot D &= \frac{-e^{\pm j120^\circ} \pm j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1}}{Z_1 - Z_{1c}}.
\end{aligned}\right\} \quad (П\text{-}75)$$

Из (П-75) можно определить параметры $\dot A/\dot C$:

$$\dot F = \left(\frac{\dot B}{\dot D} - \frac{\dot A}{\dot C}\right);$$

$$k = \frac{C}{D}\frac{E_I}{E_{II}} \quad \text{и} \quad \psi = \arg\frac{\dot C}{\dot D},$$

необходимые для построения кривых геометрических мест концов вектора сопротивления $Z_р$:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\dot A}{\dot C} = Z_1 - Z_{1c};\\
&\dot F = \frac{\dot B}{\dot D} - \frac{\dot A}{\dot C} = +\frac{e^{\pm j120^\circ}(Z_1 - Z_{1c})}{-e^{\pm j120^\circ} \pm j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1}} = -\frac{Z_1 - Z_{1c}}{1 + e^{\pm j150^\circ} j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1}};\\
&k = \frac{C}{D}\frac{E_I}{E_{II}} = \left|\frac{\pm j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\left(1 - \frac{Z_{1c}}{Z_1}\right)}{-e^{\pm j120^\circ} \pm j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1}}\right|\frac{E_I}{E_{II}};\\
&\psi = \arg\frac{\dot C}{\dot D} = \arg\left[\frac{\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\left(1 - \frac{Z_{1c}}{Z_1}\right)}{-e^{\pm j30^\circ} + \sqrt 3 k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1}}\right].
\end{aligned}\right\} \quad (П\text{-}76)$$

Отметим, что соотношение для случая замыкания между фазами C и A (или A и B) без земли в той же точке K_5 (рис. 67,*а*) можно получить, если учитывать $k_0^{(1,1)} = 1/2$ (П-74).

Аналогичные соотношения для случая замыкания фаз C и A (или A и B) на землю в точке K_4 (рис. 67,*а*), а также без земли [$k_0^{(1,1)} = 1/2$] имеют следующий вид:

$$\left.\begin{aligned}
\dot A &= e^{\pm j120^\circ}\left(1 - \frac{Z_{1c}}{Z_1}\frac{1}{m_y}\right) \pm\\
&\pm j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\left(\frac{Z_{1c}}{Z_1}\right)\left(\frac{1 - m_y}{m_y}\right);\\
\dot B &= \pm j\sqrt 3 k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1};\\
\dot C &= \frac{1}{Z_1 m_y}e^{\pm j120^\circ} \mp \sqrt 3 k_0^{(1,1)}\frac{(1 - m_y)}{Z_1 m_y};\\
\dot D &= \mp j\frac{\sqrt 3 k_0^{(1,1)}}{Z_1}.
\end{aligned}\right\} \quad (П\text{-}77)$$

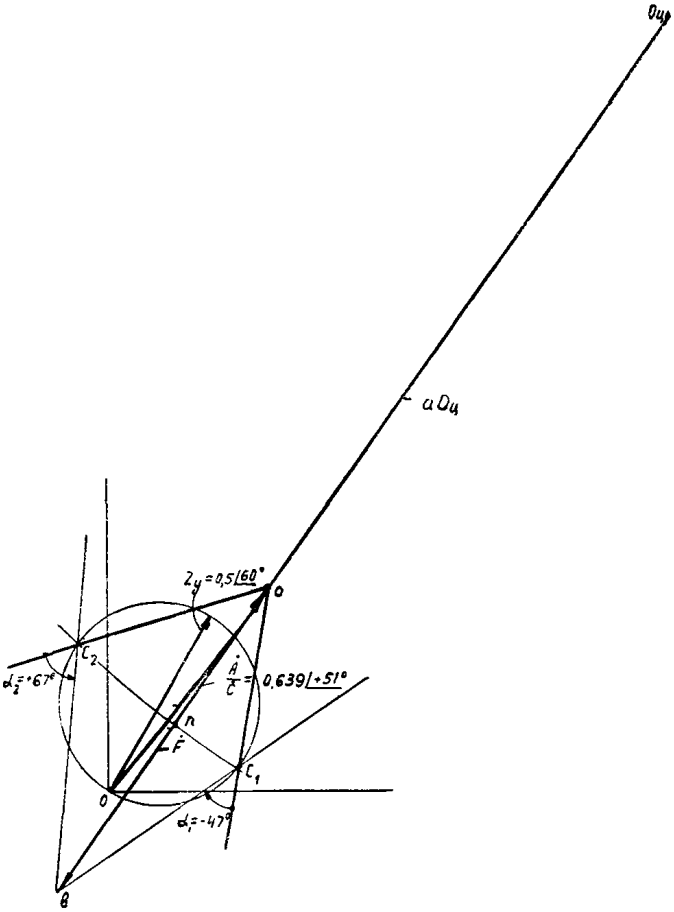


Рис. П-31. Пример определения предельных углов для однофазного реле сопротивления при замыкании между фазами.

В рассматриваемом случае

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\dot A}{\dot C}=\frac{e^{\pm j120°}\left(m_y-\frac{Z_{1c}}{Z_1}\right)\pm j\sqrt{3}k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1}(1-m_y)}{e^{\pm j120°}\mp j\sqrt{3}k_0^{(1,1)}(1-m_y)};\\
&\dot F=\frac{\dot B}{\dot D}-\frac{\dot A}{\dot C}=-\left[\frac{Z_{1c}}{Z_1}+\right.\\
&\left.+\frac{e^{\pm j120°}\left(m_y-\frac{Z_{1c}}{Z_1}\right)\pm j\sqrt{3}k_0^{(1,1)}\frac{Z_{1c}}{Z_1}(1-m_y)}{e^{\pm j120°}\mp j\sqrt{3}k_0^{(1,1)}(1-m_y)}\right]Z_1;\\
&k=\frac{C}{D}\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}=\left|\frac{e^{\pm j120°}\mp j\sqrt{3}k_0^{(1,1)}(1-m_y)}{\mp j\sqrt{3}k_0^{(1,1)}m_y}\right|\frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}};\\
&\psi=\arg\frac{\dot C}{\dot D}=\arg\left[\frac{-e^{\pm j30°}+\sqrt{3}k_0^{(1,1)}(1-m_y)}{\sqrt{3}k_0^{(1,1)}m_y}\right].
\end{aligned}\right\}\qquad(\text{П-78})$$

Рассмотрим пример определения предельных углов качаний для конкретного случая замыкания между фазами C и A в точке K_4 (рис. 67,*а*) при равенстве углов полного сопротивления элементов сети для $Z_{1c}/Z_1=0{,}3$:

$$m_y=\frac{Z_{1c}+Z_y}{Z_1}=0{,}8;\quad Z_1=1{,}0e^{+j60°};$$

$$Z_y=0{,}5e^{+j60°};\quad \frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}=1{,}0.$$

Подставляя эти значения в (П-78) получаем:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\dot A}{\dot C}=0{,}639\angle+51°;\quad \dot F=0{,}923\angle-126°;\\
&k=1{,}24;\quad \psi=-144°.
\end{aligned}\right\}\qquad(\text{П-79})$$

На рис. П-31 показано построение для определения предельных углов расхождения между э. д. с. $\dot E_{\text{I}}$ и $\dot E_{\text{II}}$. Дуга окружности c_1—n—c_2 (рис. П-31), соответствующая $k=\text{const}$, $\alpha=\text{var}$ построена по аналогии с рис. 64, но при учете того, что сопротивление $Z_{\text{р}}$ выражается в соответствии с (68).

На основании (79) радиус окружности вектора $Z_{\text{р}}$ при переменном значении угла α равен:

$$R=\frac{Fk}{1-k^2}=\frac{0{,}923\cdot 1{,}24}{1-(1{,}24)^2}=2{,}14.\qquad(\text{П-80})$$

В соответствии с (П-62) расстояние от точки a вдоль линии ab (рис. 64) до центра $O_{\text{д}}$ равно:

$$aO_{\text{д}}=\frac{\dot F}{1-k^2}=\frac{0{,}923\angle-126°}{1-(1{,}24)^2}=+1{,}72\angle+54°.\qquad(\text{П-81})$$

На рис. П-31 видно, что предельные углы α равны $\alpha_1=-47°$ и $\alpha_2=67°$, а по (71) с учетом (П-79) видно, что искомые предельные углы γ равны:

$$\gamma_1=+\alpha_1-\psi=97°;\quad \gamma_2=+\alpha_2-\psi=211°.\qquad(\text{П-82})$$

Следовательно, реле неправильно срабатывает в том случае, когда

$$+211°\geqslant\gamma\geqslant 97°.\qquad(\text{П-83})$$

Расчет показывает, что диапазон углов неправильного срабатывания реле при замыкании между фазами A и B в точке K_5 той же сети по рис. 67,*а* равен:

$$-97°\geqslant\gamma\geqslant-211°.\qquad(\text{П-84})$$

Следовательно, реле может неправильно срабатывать при замыканиях между фазами C и A, а также A и B, если

$$\gamma=|97°|.\qquad(\text{П-85})$$

Исходя из диаграмм, аналогичных рис. П-31, на рис. 69 для случаев равенства углов полного сопротивления элементов сети построены кривые, дающие диапазоны углов неправильного срабатывания реле при замыканиях фаз C и A, а также A и B на землю и без земли в точке K_4 (рис. 67,*а*) и в точке K_5 от отношения

$$m_y=\frac{z_{1c}+z_y}{z_1}\quad\text{при}\quad\frac{z_{1c}}{z_1}=0;\ 0{,}3\ \text{и}\ \frac{E_{\text{I}}}{E_{\text{II}}}=0{,}6;\quad 1{,}0;\quad 1{,}5.$$

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Глава первая. Схемы дистанционной защиты одиночных линий 110—330 *кв* в сетях с большим током замыкания на землю . . . **5**
А. Принципы выполнения схем защиты . . 5
Б. Особенности выполнения схем защиты (рис. 1—15) 10

Глава вторая. Схемы дистанционной защиты параллельных линий 110—330 *кв* в сетях с большим током замыкания на землю . . 45
А. Принципы выполнения схем защиты . . 45
Б. Особенности выполнения схем резервной суммарной защиты (рис. 17—22) . . . 47

Глава третья. Схемы дистанционной защиты линий 110—330 *кв*, работающих по схеме блока трансформатор (автотрансформатор) — линия в сетях с большим током замыкания на землю **59**
А. Принципы выполнения схем защиты . . 59
Б. Особенности выполнения схем защиты (рис. 23, 24). 62

Глава четвертая. Схемы дистанционной защиты линий 35 *кв* в сетях с малым током замыкания на землю 65
А. Принципы выполнения схем защиты . . 65
Б. Особенности выполнения схем защиты (рис. 27—33) 67

Глава пятая. Расчет дистанционной защиты линий 35—330 *кв* от всех видов многофазных коротких замыканий 81
А. Особенности расчета дистанционной защиты одиночных линий 110—330 *кв* . . . 81
Б. Особенности расчета дистанционной защиты параллельных линий 110—330 *кв* . . 90
В. Особенности расчета дистанционной защиты одиночных и параллельных линий 110—330 *кв* с ответвлениями 94
Г. Особенности расчета дистанционной защиты линий 110—330 *кв*, работающих по схеме блока трансформатор (автотрансформатор) — линия 99
Д. Особенности расчета дистанционной защиты линий 35 *кв* 101
Е. Учет тока точной работы дистанционной защиты 103
Ж. Расчет устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 (КРБ-124) 105
З. Расчет устройства блокировки при качаниях типа КРБ-121 (КРБ-123) 118
И. Поведение однофазных реле сопротивления (типов КРС-111, КРС-131 и КРС-132) при качаниях в нагрузочном режиме . . . 121
К. Поведение трехфазного и однофазных направленных реле сопротивления (типов КРС-121, КРС-131 и КРС-132) при двухфазных замыканиях, сопровождающихся качаниями 125
Л. Пример расчета дистанционной защиты от многофазных коротких замыканий для параллельных линий 110 *кв* с ответвлениями 129

Приложение I. Некоторые варианты выполнения блокировки дистанционной защиты при обрыве трех фаз цепей напряжения 141

Приложение II. Блокирующее реле сопротивления с прямолинейной характеристикой . . . 142

Приложение III. Возможные варианты выполнения схемы присоединения реле ускорения после включения выключателя 143

Приложение IV. Схема подведения плюса оперативного постоянного тока к дистанционной защите одиночной линии 35—330 *кв*. . . . 144

Приложение V. Устройство фильтр-реле напряжения прямой последовательности 145

Приложение VI. Поведение дистанционных защит при замыканиях между двумя фазами за трансформатором YΔ-11 при одностороннем питании 145

Приложение VII. Вариант выполнения схемы двухступенчатой защиты с первой дистанционной ступенью с токовым пуском, используемым для осуществления второй ступени, содержащей блокировку, которая предотвращает неправильное срабатывание защиты при отказе одного из реле тока пускового органа . 149

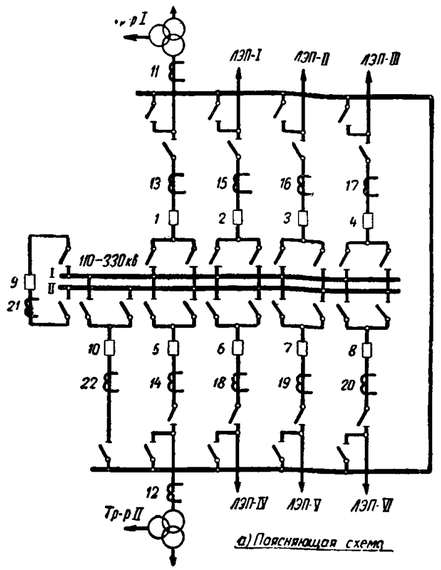
Приложение VIII. Автоматическое изменение уставки суммарной дистанционной защиты при отключении и включении одной из защищаемых параллельных линий 150

Приложение IX. Согласование дистанционной защиты с токовой отсечкой, отсечкой по напряжению и комбинированной отсечкой по току и напряжению в сетях 110—220 *кв* . . . 152

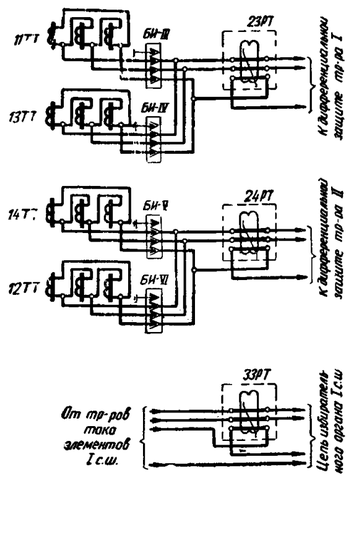
Приложение X. Расчетные выражения для определения токов и напряжений при двойных замыканиях на землю в сетях с малым током замыкания на землю 156

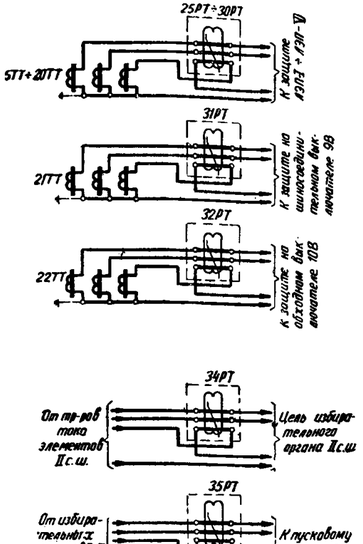
Приложение XI. Влияние уставки реле сопротивления на значение его тока точной работы . 163

Приложение XII. Построение характеристик для оценки поведения трехфазного и однофазного направленных реле сопротивления при двухфазных замыканиях, сопровождающихся качаниями 166

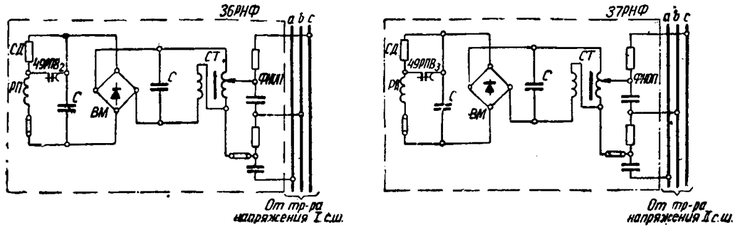


а) Поясняющая схема

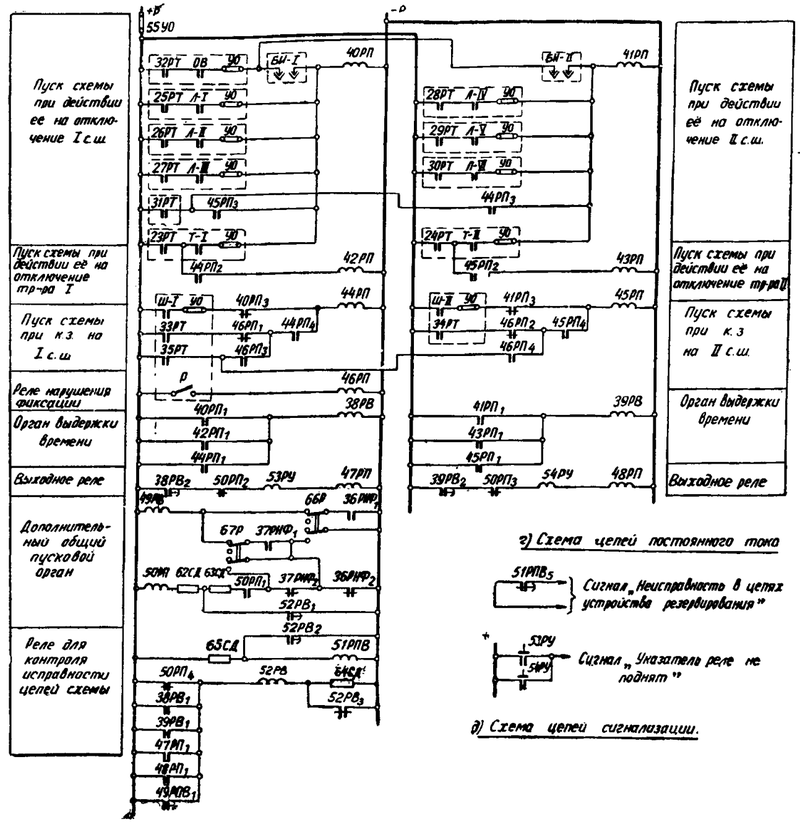




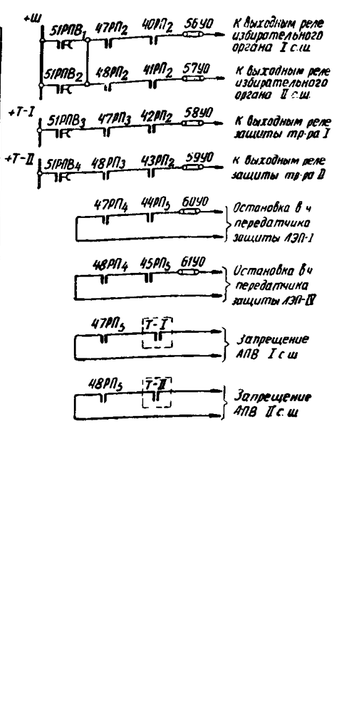
в) Схема цепей переменного тока



б) Схема цепей напряжения



г) Схема цепей постоянного тока



д) Схема цепей сигнализации.

Рис. 2. Схема устройства резервирования при отказе выключателей с общим дополнительным пусковым органом напряжения для двойной системы шин 110—330 *кв* с фиксированным распределением элементов. Вариант I.

1В—10В — выключатели; *11ТТ—22ТТ* — трансформаторы тока; *23РТ—35РТ* — реле тока; *36РНФ, 37РНФ* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности: *38РВ, 39РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *52РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *40РП—43РП, 46РП* — реле промежуточные типа РП-23; *44РП, 45РП, 47РП, 48РП* — реле промежуточные типа РП-255; *49РПВ* — реле промежуточное типа РП-251; *51РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *50РП* — реле промежуточное типа КДР-1; *53РУ, 54РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *55УО—61УО* — устройства отключающие типа ПКР-2; *62СД—64СД* — сопротивления добавочные 4 000 *ом* типа ПЭ-20; *65СД* — сопротивление добавочное 2 000 *ом* типа ПЭ-50; *66Р, 67Р* — рубильники.

Примечания. 1. В схеме приняты следующие обозначения контактов выходных промежуточных реле защит, пускающих устройство резервирования: *Л-I—Л-VI* — для защит линий соответственно *I—VI*; *Т-I* и *Т-II* — для защит трансформаторов соответственно *I* и *II*; *ОВ* — для защиты на обходном выключателе; *III-I* и *БИ-II* — для избирательных органов соответственно *I* и *II* систем шин.

2. *УО* — отключающие устройства, установленные на панелях соответствующих защит.

3. *БИ-I* и *БИ-II* — контакты испытательных блоков, используемых в защите шин, разомкнутые в нормальном режиме и замкнутые при замене обходным выключателем выключателя элемента, присоединенного соответственно к *I* или *II* системе шин; *БИ-III—БИ-VI* — испытательные блоки, предусмотренные в цепях дифференциальных защит трансформаторов и установленные на панелях их защит.

4. *Р* — полюс рубильника, предусмотренного в схеме дифференциальной токовой защиты шин, замкнутый при нарушении фиксации распределения элементов.

5. Устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности *36РНФ* и *37РНФ* заимствуются из устройства блокировки при качаниях типа КРБ-121. В схеме приняты следующие обозначения элементов, входящих в эти устройства: *ФНОП* — активно-емкостный фильтр напряжения обратной последовательности; *СТ* — стабилизирующий трансформатор; *ВМ* — выпрямитель; *РП* — обмотка поляризованного реле; *С* — конденсатор; *СД* — добавочное сопротивление.

6. Пунктиром выделены элементы, расположенные вне панели устройства резервирования.

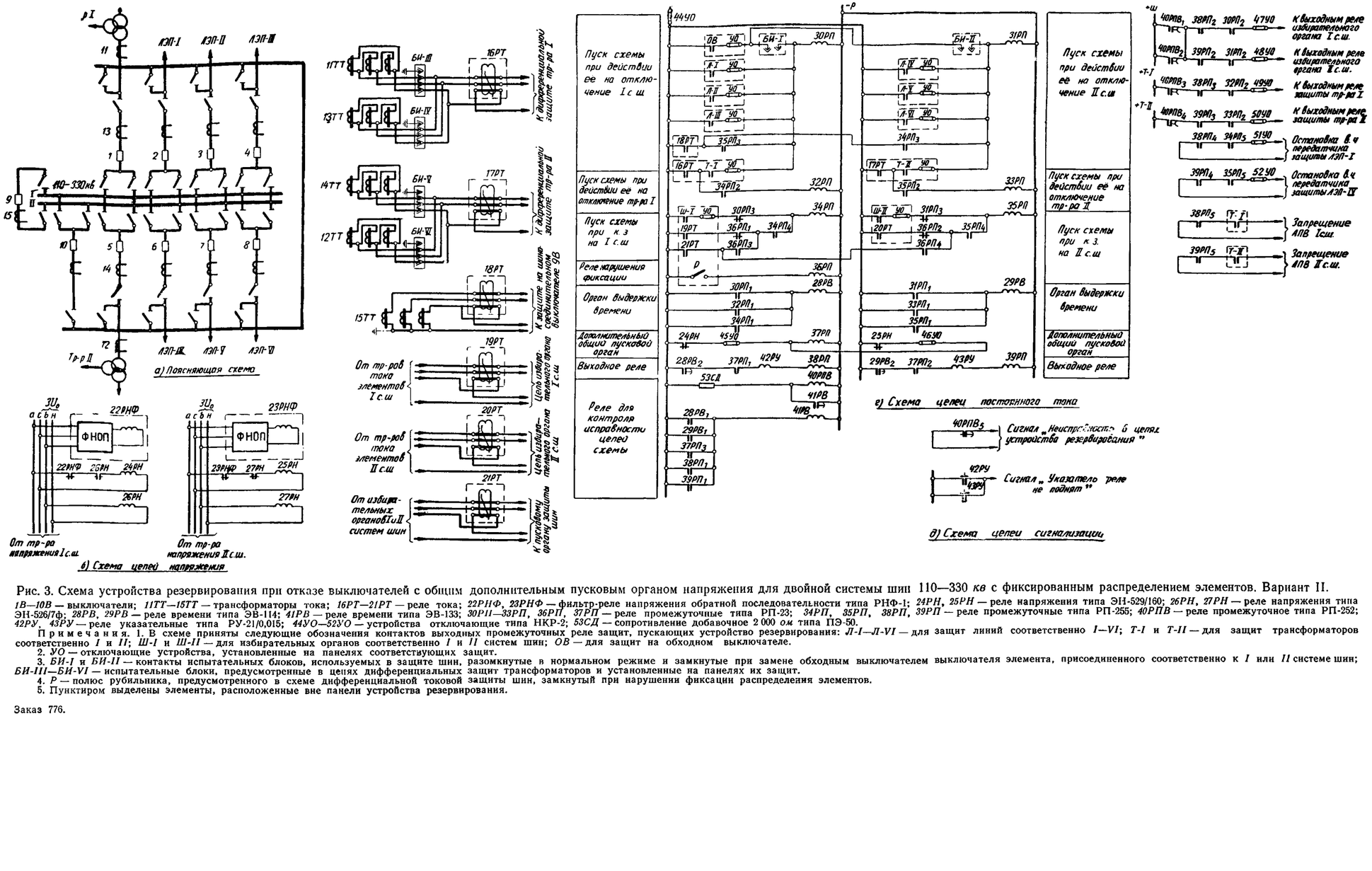


Рис. 3. Схема устройства резервирования при отказе выключателей с общим дополнительным пусковым органом напряжения для двойной системы шин 110—330 *кв* с фиксированным распределением элементов. Вариант II.

1В—10В — выключатели; *11ТТ—15ТТ* — трансформаторы тока; *16РТ—21РТ* — реле тока; *22РНФ, 23РНФ* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *24РН, 25РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *26РН, 27РН* — реле напряжения типа ЭН-526/7ф; *28РВ, 29РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *41РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *30РП—33РП, 36РП, 37РП* — реле промежуточные типа РП-23; *34РП, 35РП, 38РП, 39РП* — реле промежуточное типа РП-255; *40РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *42РУ, 43РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *44УО—52УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *53СД* — сопротивление добавочное 2 000 *ом* типа ПЭ-50.

Примечания. 1. В схеме приняты следующие обозначения контактов выходных промежуточных реле защит, пускающих устройство резервирования: *Л-I—Л-VI* — для защит линий соответственно *I—VI*; *Т-I* и *Т-II* — для защит трансформаторов соответственно *I* и *II*; *Ш-I* и *Ш-II* — для избирательных органов соответственно *I* и *II* систем шин; *ОВ* — для защит на обходном выключателе.

2. *УО* — отключающие устройства, установленные на панелях соответствующих защит.

3. *БИ-I* и *БИ-II* — контакты испытательных блоков, используемых в защите шин, разомкнутые в нормальном режиме и замкнутые при замене обходным выключателем выключателя элемента, присоединенного соответственно к *I* или *II* системе шин; *БИ-III—БИ-VI* — испытательные блоки, предусмотренные в цепях дифференциальных защит трансформаторов и установленные на панелях их защит.

4. *Р* — полюс рубильника, предусмотренного в схеме дифференциальной токовой защиты шин, замкнутый при нарушении фиксации распределения элементов.

5. Пунктиром выделены элементы, расположенные вне панели устройства резервирования.

Заказ 776.

Рис. 4. Схема устройства резервирования при отказе выключателей с реле тока в цепи каждого выключателя, с автоматической проверкой исправности последнего, для двойной системы шин с фиксированным распределением элементов. Вариант I.

1В—7В — выключатели; *8ТТ—16ТТ* — трансформаторы тока; *17РТ—23РТ* — реле тока; *24РВ, 25РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *26РП—29РП, 32РП—37РП, 40РП* — реле промежуточные типа РП-23; *30РП, 31РП, 38РП, 39РП, 41РП, 42РП* — реле промежуточные типа РП-255; *43РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *44РУ, 45РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *46РУ—52РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *53УО—70УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *71СД* — сопротивление добавочное 2 000 *ом* типа ПЭ-50.

Примечания. 1. В схеме приняты следующие обозначения контактов выходных промежуточных реле защит, пускающих устройство резервирования: *Л-I—Л-IV* — для защит линий соответственно *I—IV*; *Т-I—Т-II* — для защит трансформаторов соответственно *I* и *II*; *Ш-I, Ш-II* — для избирательных органов соответственно *I* и *II* систем шин; *ОВ* — для защит на обходном выключателе.

2. *УО* — отключающие устройства, установленные на панелях соответствующих защит.

3. *БИ-I* и *БИ-II* — контакты испытательных блоков, используемых в защите шин. В режиме работы выключателя *7В* в качестве шиносоединительного контакты $БИ\text{-}I_1$ и $БИ\text{-}II_1$ разомкнуты, а контакты $БИ\text{-}I_2$ и $БИ\text{-}II_2$ замкнуты. При замене выключателем *7В* выключателя одного из элементов, присоединенных к *I* с. ш., контакты $БИ\text{-}I_2$, $БИ\text{-}II_2$ и $БИ\text{-}II_1$ разомкнуты, а контакт $БИ\text{-}I_1$ замкнут. При замене выключателем *7В* выключателя одного из элементов, присоединенных ко *II* с. ш., контакты $БИ\text{-}I_2$, $БИ\text{-}II_2$ и $БИ\text{-}I_1$ разомкнуты, а контакт $БИ\text{-}II_1$ замкнут. ***БИ-III—БИ-VI*** — испытательные блоки, предусмотренные в цепях дифференциальных защит трансформаторов и установленные на панелях их защит.

4. *П-I* — контакт промежуточного реле устройства, предусмотренного в защите шин для ликвидации повреждения при неуспешном АПВ шин от питающего элемента, включаемого первым, в предположении, что защита шин при этом оказывается нечувствительной.

5. Пунктиром выделены элементы, расположенные вне панели устройства резервирования.

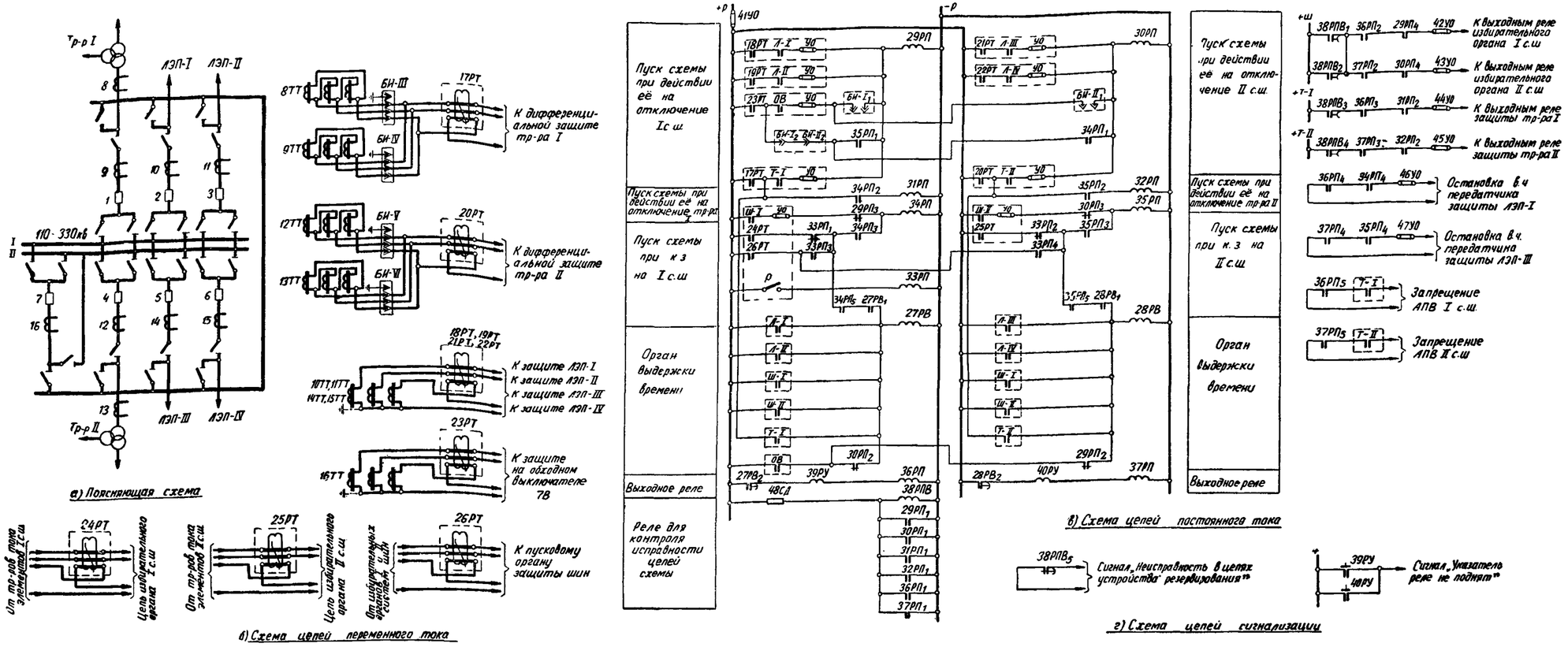


Рис. 5. Схема устройства резервирования при отказе выключателей с реле тока в цепи каждого выключателя, с дублированным пуском от защит, для двойной системы шин с фиксированным распределением элементов. Вариант I.

1В—7В — выключатели; *8ТТ—16ТТ* — трансформаторы тока; *17РТ—26РТ* — реле тока; *27РВ, 28РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *29РП—33РП* — реле промежуточные типа РП-23; *34РП—37РП* — реле промежуточные типа РП-255; *38РПВ* — реле промежуточное типа РП-252; *39РУ, 40РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *41УО—47УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *48СД* — сопротивление добавочное 2 000 *ом* типа ПЭ-50.

Примечания. 1. В схеме приняты следующие обозначения контактов выходных промежуточных реле защит, пускающих устройство резервирования: *Л-I—Л-IV* — для защит линий соответственно *I—IV*; *Т-I* и *Т-II* — для защит трансформаторов соответственно *I* и *II*; *Ш-I* и *Ш-II* — для избирательных органов соответственно I и II систем шин; *ОВ* — для защит на обходном выключателе.

2. *УО* — отключающие устройства, установленные на панелях соответствующих защит.

3. *БИ-I* и *БИ-II* — контакты испытательных блоков, используемых в защите шин. В режиме работы выключателя *7В* в качестве шиносоединительного контакты $БИ\text{-}I_1$ и $БИ\text{-}II_1$ разомкнуты, а контакты $БИ\text{-}I_2$ и $БИ\text{-}II_2$ замкнуты. При замене выключателем *7В* выключателя одного из элементов, присоединенных к *I* с. ш., контакты $БИ\text{-}I_2$, $БИ\text{-}II_2$ и $БИ\text{-}II_1$ разомкнуты, а контакт $БИ\text{-}I_1$ замкнут. При замене выключателем *7В* выключателя одного из элементов, присоединенных ко *II* с. ш., контакты $БИ\text{-}I_2$, $БИ\text{-}II_2$ и $БИ\text{-}I_1$ разомкнуты, а контакт $БИ\text{-}II_1$ замкнут; *БИ-III—БИ-VI* — испытательные блоки, предусмотренные в цепях дифференциальных защит трансформаторов и установленные на панелях их защит.

4. *Р* — полюс рубильника, предусмотренного в схеме дифференциальной токовой защиты шин, замкнутый при нарушении фиксации распределения элементов.

5. Пунктиром выделены элементы, расположенные вне панели устройства резервирования.

gost.e-ecolog.ru