

**ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 35 - 220 кВ.
ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА**

**Расчёт уставок
Методические указания**

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 года №184 ФЗ "О техническом регулировании", а правила применения стандартов организаций – ГОСТ Р 1.4 - 2004 "Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения".

В настоящем стандарте приведены методики расчёта уставок дистанционной защиты линий электропередач 35 - 220 кВ от междуфазных коротких замыканий, двойных замыканий на землю линий 35 кВ.

Методики расчёта носят рекомендательный характер.

Сведения о стандарте

1 **РАЗРАБОТАН** ООО "НТЦ "Механотроника"

Научно-технический руководитель работы:

Заведующий кафедрой Релейной защиты и автоматики электрических станций, сетей и систем Петербургского Энергетического Института Повышения Квалификации к.т.н. СОЛОВЬЁВ А. Л.

Научный редактор

ЗАХАРОВ О.Г.

Исполнители:

Начальник отдела релейной защиты и автоматики,

ПИРОГОВ М. Г.

Главный специалист отдела релейной защиты и автоматики,

ИЛЮХИН Е. В.

2 **УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ** Приказом Генерального директора

№ 91-УК от 04.04.2012

3 Код Общественного классификатора предприятий и организаций ОКПО - 23048570

4 **ВЗАМЕН СТО ДИВГ-048-2012**

Настоящий стандарт является объектом охраны в соответствии с международным и российским законодательствами об авторском праве.

Любое несанкционированное использование стандарта, включая копирование, тиражирование и распространение, но не ограничиваясь этим, влечёт применение к виновному лицу гражданско-правовой ответственности, а также уголовной ответственности в соответствии со статьёй 146 УК РФ и административной ответственности в соответствии со статьёй 7.12 КоАП РФ.

Содержание

1 Область применения	1
2 Обозначения и сокращения	2
3 Общие сведения о ДЗ.....	3
4 Особенности ДЗ в блоках БМРЗ.....	4
4.1 Характеристики срабатывания.....	4
4.2 Включение цифровых РС	8
4.3 Ускорение ДЗМФ	10
4.4 Блокирование защиты при качаниях	10
5 Контроль исправности измерительных цепей напряжения	13
6 Одиночные линии 35 - 220 кВ	15
7 Две параллельные линии 35 - 220 кВ.....	24
8 Одиночные и параллельные линии 35 - 220 кВ с ответвлениями.....	33
9 Блок трансформатор (автотрансформатор) – линия 35 - 220 кВ.....	41
10 Третья ступень ДЗ линий 35 - 220 кВ	46
11 Расчёт уставки по активному сопротивлению.....	46
12 Расчёты уставок для защит от двойных замыканиях на землю	48
13 Пересчёт уставок во вторичные величины.....	50
Литература	52

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
СТО ДИВГ-048-2014
ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 35 - 220 кВ.
ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА
Расчёт уставок
Методические указания

1 Область применения

Настоящий стандарт соответствует требованиям и рекомендациям, изложенным в ПУЭ [1] и руководящих указаниях [2].

Стандарт содержит указания по расчёту уставок дистанционной защиты от многофазных коротких замыканий линий 35 - 220 кВ, двойных замыканий на землю линий 35 кВ с двух - и односторонним питанием для:

- одиночных и параллельных линий;
- линий с ответвлениями;
- линий, работающих по схеме блока "трансформатор

(автотрансформатор) – линия".

Использование стандарта позволит проектным организациям и эксплуатирующим предприятиям эффективно реализовать все функциональные возможности блоков БМРЗ, выпускаемых ООО "НТЦ "Механотроника".

2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

АРМ СРЗА - автоматизированное рабочее место служб расчетов уставок релейной защиты;

АПВ – автоматическое повторное включение;

БМРЗ – блок микропроцессорный релейной защиты;

ДЗ – дистанционная защита;

ДЗДВ – дистанционная защита от двойных замыканий на землю;

ДЗМФ - дистанционная защита от междуфазных коротких замыканий;

ДО – дистанционный орган;

КЗ – короткое замыкание;

КЦН – контроль исправности цепей напряжения;

ЛЭП – линия электропередачи;

НЦН – неисправность цепей напряжения;

ПС – подстанция;

РМН – реле минимального напряжения;

РС – реле сопротивления;

РЭ – руководство по эксплуатации;

Т – трансформатор (автотрансформатор);

ТКЗ – токи короткого замыкания;

ТН – трансформатор напряжения;

ТТ – трансформатор тока;

УБК – устройство блокировки при качаниях;

ЦП – центральный процессор.

3 Общие сведения о ДЗ

Дистанционными называют направленные защиты с относительной селективностью, выполняемые с использованием реле минимального сопротивления [3].

Для реле сопротивления (РС) отношение напряжения на "зажимах" реле к току в реле пропорционально расстоянию (т.е. - дистанции) от места КЗ до места установки защиты, что определило название защиты.

Для обеспечения селективного отключения повреждённого участка сети [3] время срабатывания t ДЗ должно зависеть от расстояния до точки КЗ

$$t = f(l), \quad (3.1)$$

где l – расстояние от точки подключения защиты до места возникшего КЗ.

При этом ближайшая к месту КЗ защита должна иметь меньшую выдержку времени, чем более удалённые от места КЗ защиты.

Как и другие защиты с относительной селективностью, ДЗ могут быть выполнены со ступенчатыми, зависимыми или комбинированными характеристиками.

Обычно применяют ступенчатые (часто трёхступенчатые) характеристики.

Основным элементом ДЗ является дистанционный орган (ДО), определяющий удалённость КЗ от места установки защиты. В качестве ДО используют реле сопротивления, реагирующие на полное Z сопротивление линии (реактивное X и активное R).

Сопротивление фазы линии от места установки реле до места КЗ пропорционально длине этого участка

$$Z_l = Z_{уд} \cdot l_l, \quad (3.2)$$

$$X_l = X_{уд} \cdot l_l, \quad (3.3)$$

$$R_l = R_{уд} \cdot l_l, \quad (3.4)$$

где Z_l , X_l , R_l – полное, реактивное и активное сопротивления, Ом;

l_l - длина участка линии, км;

$Z_{уд}$, $X_{уд}$, $R_{уд}$ – удельное сопротивление линии, Ом/км.

На практике кроме сопротивления самой линии следует учитывать ряд других факторов:

- переходные сопротивления в месте повреждения;
- источники питания и нагрузки, находящиеся между точкой подключения реле и точкой КЗ и др. [3].

По сравнению с токовыми ступенчатыми защитами применение РС позволяет:

- обеспечить независимость действия защиты при изменении напряжения на шинах станций и подстанций при переходных процессах в сетях;
- задать фиксированную длину первой защищаемой зоны;
- более точно контролировать конец защищаемого участка и шины противоположной подстанции второй зоной.

4 Особенности ДЗ в блоках БМРЗ

4.1 Характеристики срабатывания

4.1.1 В блоках БМРЗ реализована трёхступенчатая ДЗ от междуфазных КЗ.

В блоках БМРЗ, используемых для защиты линий напряжением 35 кВ, эта защита дополнена защитой от двойных замыканий на землю.

Алгоритмы ДЗМФ и ДЗДВ имеют одинаковые характеристики.

Для первых двух ступеней предусмотрено использование только четырёхугольной характеристики.

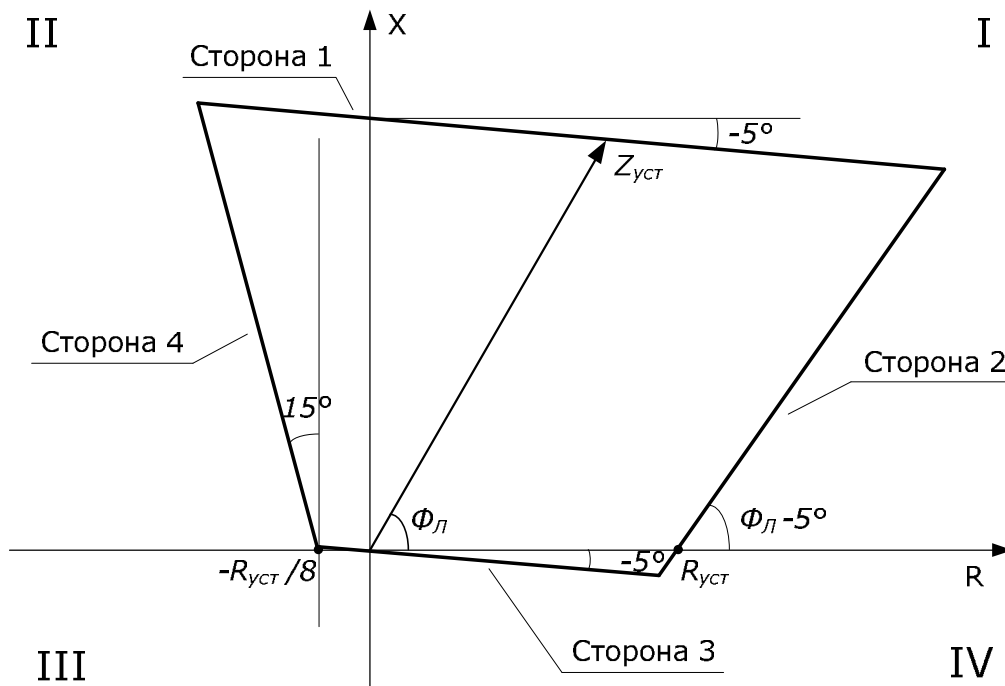


Рисунок 4.1 – Четырёхугольная характеристика ДЗ

4.1.2 Четырёхугольную характеристику срабатывания первой ступени ДЗ (рисунок 4.1) характеризуют следующие уставки:

$R_{уст}$ – активное сопротивление, Ом;

$Z_{уст}$ – полное сопротивление, Ом;

$\Phi_{л}$ – угол линии, °.

Угол линии $\Phi_{л}$ зависит от соотношения индуктивной и активной составляющих сопротивления прямой последовательности линии

$$\Phi_{л} = \arctg\left(\frac{X_{л}}{R_{л}}\right), \quad (4.1)$$

где $X_{л}$ – реактивное сопротивление защищаемой линии, Ом;

$R_{л}$ – активное сопротивление защищаемой линии, Ом.

Положение стороны 1 задают уставкой полного сопротивления $Z_{уст}$.

Для повышения селективности ДЗ при дуговых замыканиях вне зоны действия первой ступени сторона 1 имеет наклон относительно оси R . Наклон задан постоянным и равен минус 5° .

4.1.3 Положение стороны 2 (границы правой части четырехугольной характеристики) выбирают таким, чтобы защита реагировала на дуговое замыкание через переходное сопротивление.

Учитывая, что сопротивление дуги R_d с приближением точки КЗ к источнику питания уменьшается, угол наклона стороны 2 меньше угла линии Φ_l и принят равным (Φ_l минус 5°).

Для обеспечения срабатывания ДЗ при близких КЗ через переходное сопротивление угол наклона стороны 3 четырехугольной характеристики задан равным минус 5° относительно оси R .

Существенное расширение области слева нежелательно из-за:

- влияния качаний на работу ДО;
- ухудшения динамических характеристик ДО в переходных режимах (расширение области излишнего срабатывания).

Учитывая погрешности РС (ДО) в статических и динамических режимах, а также необходимость обеспечения быстродействия, положение стороны 4 задано следующим образом:

- сторона 4 смещена влево от оси Y на расстояние, равное $1/8 \cdot R_{уст}$;
- угол наклона стороны 4 задан равным 15° относительно оси X .

4.1.4 Сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ $Z'_{с.з.}$, определяющее уставку $Z_{уст}$, рассчитывают из условия несрабатывания ДО при КЗ за пределами защищаемой линии.

Погрешность используемых совместно с блоками БМРЗ измерительных ТТ и ТН, а также погрешность РС, применённого в блоке БМРЗ, приводит к изменению зоны действия первой ступени.

Поэтому сопротивление срабатывания $Z'_{с.з.}$ для I ступени ДЗ необходимо выбирать меньше, чем сопротивление защищаемой линии.

Как правило, значение сопротивления срабатывания $Z'_{с.з.}$ составляет приблизительно 85 % от полного сопротивления прямой последовательности линии. Таким образом, первая ступень оставляет незащищенными от 10 до 15 % длины линии.

4.1.5 Для исключения излишней работы ДЗ при близких КЗ на элементах сети, находящихся до места установки защиты, так называемых КЗ "за спиной" (точка К1 для защиты 2 на рисунке 4.2), характеристика первой ступени ДЗ реализована без смещения в III квадрант.

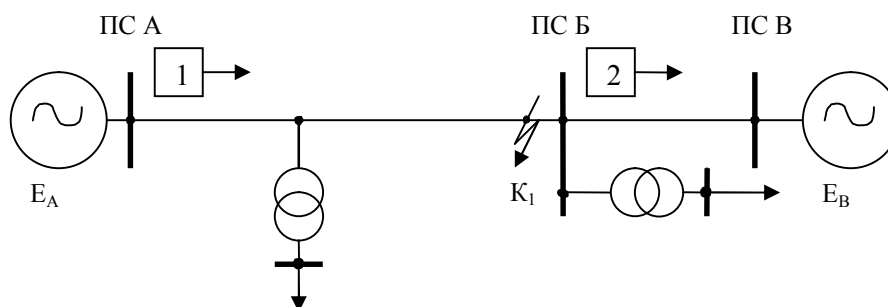


Рисунок 4.2 – Пример схемы сети с установленными ДЗ на ПС А и ПС Б

Выдержку времени срабатывания этой ступени принимают нулевой.

4.1.6 Четырёхугольную характеристику срабатывания для второй и третьей ступеней ДЗ (рисунок 4.3) задают следующими уставками:

$R_{уст}$ – активное сопротивление, Ом;

$Z_{уст}$ – полное сопротивление, Ом;

$Z_{см}$ – смещение по полному сопротивлению, Ом;

Φ_l – угол линии, °.

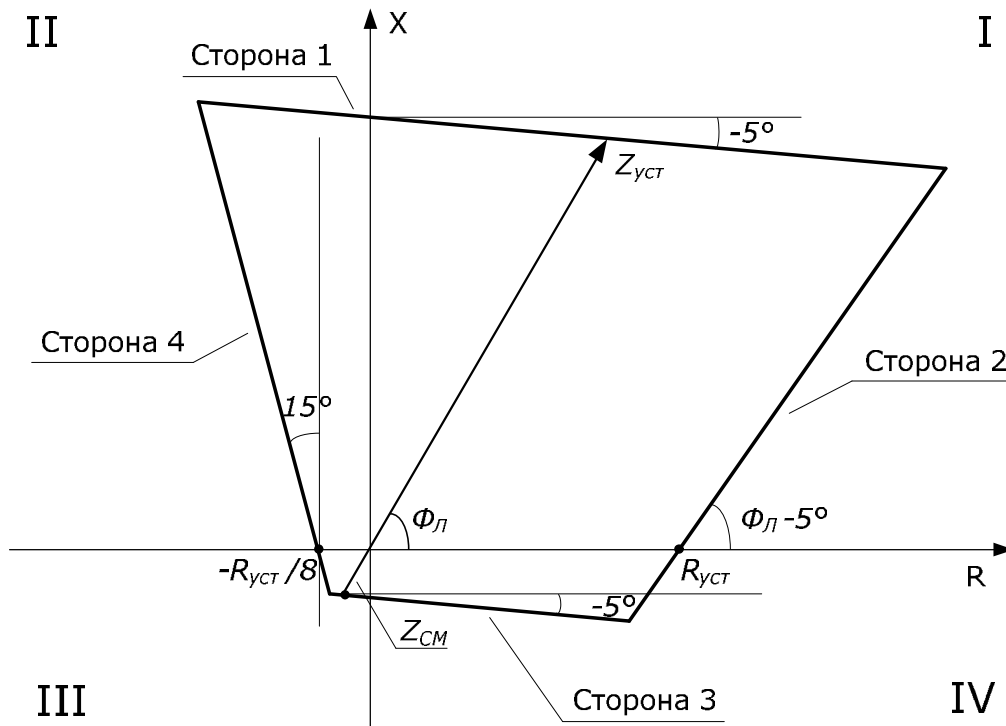


Рисунок 4.3 - Четырёхугольная характеристика ДЗ со смещением

При задании уставки $Z_{см} = 0$ эта характеристика становится идентичной приведенной на рисунке 4.1.

4.1.7 Вторая ступень ДЗ предназначена для:

- резервирования первой ступени защиты;
- защиты участка линии, оставшегося незащищённым первой ступенью ДЗ. Как правило это от 10 до 15 % от длины линии.

В зону, защищаемую второй ступенью ДЗ, входят шины на противоположном конце защищаемой линии.

Вторую зону ДЗ целесообразно смещать в III и IV квадрант для защиты шин, где установлена рассматриваемая защита ($Z_{см} > 0$).

4.1.8 Для обеспечения селективности ДЗ уставки срабатывания второй ступени должны быть согласованы с уставками защит первой ступени элементов противоположной подстанции (под противоположной понимается подстанция, подключенная в конце защищаемой линии, противоположном месту установки защиты, т.е. ПС В для защиты 2 на рисунке 4.2).

Время срабатывания защиты принимают:

- при $Z_{см} = 0$ - на ступень селективности больше, чем выдержки времени первых ступеней элементов, отходящих от шин противоположной подстанции;
- при $Z_{см} > 0$ - на ступень селективности больше, чем выдержки времени вторых ступеней элементов, отходящих от шин подстанции "за спиной".

В том случае, когда невозможно отстроить выдержку времени только на одну ступень селективности, $Z_{см}$ должно быть принято равным нулю.

При этом резервирование защит шин подстанции, на которой установлена защита, следует выполнять смещением в III и IV квадранты четырёхугольной характеристики третьей ступени ДЗ, имеющей большую выдержку времени.

4.1.9 Для третьей ступени предусмотрена возможность выбора следующих характеристик срабатывания:

- четырёхугольной (рисунок 4.3);
- треугольной (рисунок 4.4).

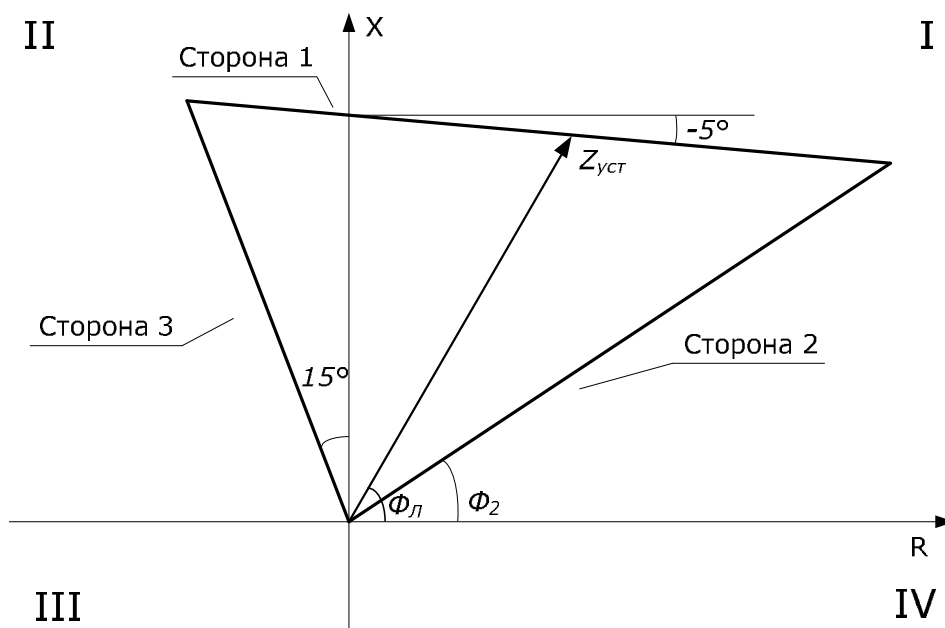


Рисунок 4.4 – Треугольная характеристика ДЗ

Треугольную характеристику задают следующими уставками:

$Z_{уст}$ – полное сопротивление, Ом;

$\phi_{л}$ – угол линии, $^{\circ}$;

ϕ_2 – угол наклона стороны 2, $^{\circ}$.

Угол наклона стороны 2 можно изменять относительно угла защищаемой линии в большую и меньшую стороны для отстройки от сопротивления нагрузки.

Данную характеристику применяют при условии выполнения дальнего резервирования (защиты присоединений, отходящих от шин противоположной подстанции).

Сопротивление срабатывания третьей ступени ДЗ следует задавать с учетом обеспечения требуемой чувствительности к КЗ в конце зоны резервирования, а также предельных нагрузочных режимов и условий подпитки от шин противоположного конца линии.

4.1.10 Наличие тока подпитки между местом установки защиты и местом КЗ увеличивает погрешность расчёта сопротивления. Этот эффект возникает потому, что ток подпитки вызывает дополнительное падение напряжения в месте установки защиты.

Выдержку времени третьей ступени ДЗ выбирают по условию обеспечения селективности с третьей ступенью резервируемой ДЗ $t_{IIIА} = t_{IIIБ} + \Delta t$ (рисунок 4.2).

4.2 Включение цифровых РС

4.2.1 Программа ЦП блоков БМРЗ, в зависимости от исполняемого алгоритма, реализует два типа включения РС при неизменной схеме подключения входных аналоговых сигналов к блоку.

4.2.2 В алгоритме ДЗМФ реализованы РС, включённые на междуфазные напряжения и разность фазных токов. Расчёт сопротивлений контуров $\underline{Z}_{ab}^{1)}$, \underline{Z}_{bc} , \underline{Z}_{ca} происходит в ЦП блока БМРЗ по формулам

$$\underline{Z}_{ab} = \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_b}{\dot{I}_a - \dot{I}_b},^{2)} \quad (4.2)$$

$$\underline{Z}_{bc} = \frac{\dot{U}_b - \dot{U}_c}{\dot{I}_b - \dot{I}_c}, \quad (4.3)$$

$$\underline{Z}_{ca} = \frac{\dot{U}_c - \dot{U}_a}{\dot{I}_c - \dot{I}_a}, \quad (4.4)$$

где \dot{U}_a – вторичное напряжение фазы А, В;

\dot{U}_b – вторичное напряжение фазы В, В;

\dot{U}_c – вторичное напряжение фазы С, В;

\dot{I}_a – вторичный ток фазы А, А;

\dot{I}_b – вторичный ток фазы В, А;

\dot{I}_c – вторичный ток фазы С, А.

¹⁾ Здесь и далее по тексту чертой, подчеркивающей величину (\underline{Z}_{ab}), обозначены обычные комплексные величины.

²⁾ Здесь и далее по тексту точкой, стоящей над величиной (\dot{U}_a), обозначены векторы на комплексной плоскости, изображающие гармонически изменяющиеся функции времени.

В общем случае работа РС определяется отношением напряжения \dot{U}_p , подводимого к нему, к току \dot{I}_p , протекающему через РС.

Напряжение на РС при междуфазном металлическом КЗ равно

$$\dot{U}_p = \dot{I}_p \cdot \underline{Z}_{уд} \cdot l, \quad (4.5)$$

где $\underline{Z}_{уд}$ – удельное сопротивление линии, Ом/км;

l – длина участка линии от места установки защиты до точки КЗ, км.

Таким образом, при междуфазном КЗ сопротивление \underline{Z}_p на "зажимах" РС равно

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_{уд} \cdot l \quad (4.6)$$

Поэтому сопротивление \underline{Z}_p зависит только от расстояния l до точки КЗ и не зависит от абсолютных значений напряжения \dot{U}_p и тока \dot{I}_p [3].

4.2.3 В алгоритме ДЗДВ реализованы РС, включённые по схеме с токовой компенсацией [4]. Расчёт сопротивления контуров \underline{Z}_{A0} , \underline{Z}_{B0} , \underline{Z}_{C0} на "зажимах" реле происходит в ЦП блока БМРЗ с учётом тока нулевой последовательности и коэффициента компенсации тока нулевой последовательности линии $k_{КОМП}$ по формулам [4]

$$\underline{Z}_{A0} = \frac{\dot{U}_A}{(\dot{I}_A + k_{КОМП} \cdot 3\dot{I}_0)}, \quad (4.7)$$

$$\underline{Z}_{B0} = \frac{\dot{U}_B}{(\dot{I}_B + k_{КОМП} \cdot 3\dot{I}_0)}, \quad (4.8)$$

$$\underline{Z}_{C0} = \frac{\dot{U}_C}{(\dot{I}_C + k_{КОМП} \cdot 3\dot{I}_0)}, \quad (4.9)$$

где \dot{U}_a – вторичное напряжение фазы А, В;

\dot{U}_b – вторичное напряжение фазы В, В;

\dot{U}_c – вторичное напряжение фазы С, В;

\dot{I}_a – вторичный ток фазы А, А;

\dot{I}_b – вторичный ток фазы В, А;

\dot{I}_c – вторичный ток фазы С, А.

$k_{КОМП}$ – коэффициент компенсации тока нулевой последовательности;

\dot{I}_0 – вторичный ток нулевой последовательности, А.

Коэффициент $k_{КОМП}$ определяют по формуле [4]

$$k_{КОМП} = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1}, \quad (4.10)$$

где Z_0 и Z_1 – соответственно сопротивления нулевой и прямой последовательностей защищаемого участка линии, Ом.

Для реле, установленного между двумя точками замыкания на землю, учет коэффициента компенсации тока нулевой последовательности линии $K_{\text{КОМП}}$ позволяет обеспечить равенство двух величин:

- сопротивления на "зажимах" реле;
- сопротивления фазы линии до места КЗ.

4.2.4 В блоках БМРЗ, установленных для защиты сетей с малым током замыкания на землю, реализован автоматический переход от алгоритма ДЗМФ к алгоритму ДЗДВ. При появлении тока нулевой последовательности, всегда возникающего на участке между точками замыкания на землю, происходит автоматическое переключение алгоритма ДЗМФ на алгоритм ДЗДВ.

4.3 Ускорение ДЗМФ

4.3.1 КЗ на защищаемой линии вне зоны действия первой ступени ДЗМФ будут селективно отключены с выдержками времени второй или третьей ступенью защиты.

При использовании на обоих концах линии блоков БМРЗ возможно ускоренное срабатывание ДЗМФ, обеспечивающее селективное отключение КЗ в пределах всей линии с минимальной выдержкой времени.

Для этого в блоках БМРЗ предусмотрена возможность обмена информацией с блоком противоположного конца линии с использованием дополнительной аппаратуры и каналов связи.

При срабатывании РС первой ступени защиты одного конца защищаемой линии блок БМРЗ формирует сигнал ускорения, который передается на другой конец защищаемой линии, где установлен второй блок защиты. Полученный сигнал ускоряет работу первой, второй и третьей ступеней ДЗМФ.

Для исключения влияния на работу алгоритма ДЗМФ разновременности отключения выключателей на обоих концах линии, в блоках БМРЗ предусмотрено продление сигнала ускорения на время, равное 0,5 с, после срабатывания первой ступени ДЗМФ на данном конце линии на отключение.

Задержка на формирование, передачу и приём сигнала ускорения составляет не менее 40 мс.

4.3.2 Кроме того, в алгоритме ДЗМФ предусмотрено:

- оперативное ускорение ДЗМФ по входному дискретному сигналу;
- автоматическое ускорение при включении выключателя на КЗ.

Более подробная информация по ускорению ДЗМФ содержится в руководстве по эксплуатации на соответствующий блок защиты.

4.4 Блокирование защиты при качаниях

4.4.1 Для исключения возможного ложного действия РС при качаниях в энергосистеме в блоках БМРЗ для первой, второй и третьей ступеней ДЗ предусмотрено блокирование защиты при качаниях с помощью алгоритма "УБК".

Защиты с выдержкой времени более 1,5 с, как правило, не успевают срабатывать во время качаний [4]. В связи с этим алгоритм "УБК" целесообразно применять для первых двух ступеней ДЗ, выдержки времени которых не превышают значений 1,5 с.

В нормальном режиме работы энергосистемы и при качаниях реле сопротивления заблокированы. В момент КЗ при срабатывании пусковых

органов алгоритма "УБК" РС будут разблокированы на время, задаваемое уставкой времени деблокировки $T_{д.б.1}$.

При попадании вектора измеряемого сопротивления линии в зону срабатывания ДЗ произойдет пуск РС.

Дальнейшая работа выдержек времени всех ступеней ДЗ обеспечена тем, что вне зависимости от значения уставки $T_{д.б.1}$ РС после пуска остаются в разблокированном состоянии в течение промежутка времени, определяемого уставкой $T_{д.б.2}$

$$T_{д.б.2} = t''_{с.з.} + 0,1, \quad (4.11)$$

где $t''_{с.з.}$ - время срабатывания второй ступени ДЗ, с.

Для разблокирования первой и второй ступеней защиты при КЗ в защищаемой зоне, уставки пусковых органов алгоритма "УБК" рассчитывают для зоны действия второй ступени ДЗ.

4.4.2 Быстропротекающие процессы несимметрии токов и напряжений являются характерным признаком, отличающим КЗ от симметричных качаний.

При металлических трёхфазных КЗ равенство сопротивлений фаз не нарушается, поэтому токи и напряжения в этом режиме симметричны.

Процессы КЗ обычно начинаются с замыкания одной или двух фаз, а затем переходят в трёхфазные КЗ. Это характерно и для случаев включения ЛЭП на трёхфазное КЗ через заземление из-за разновременности замыкания фаз контактами выключателя. Кроме этого, при одновременном замыкании трёх фаз вследствие переходных процессов, возникающих в первичных и вторичных цепях измерительных трансформаторов, появляется кратковременная несимметрия вторичных величин. В результате в начальный момент трёхфазного КЗ кратковременно возникает несимметрия.

Несимметрия сопровождается появлением составляющих тока I_2 и напряжения U_2 обратной последовательности [4], наличие которых позволяет установить факт возникновения КЗ.

Такое различие между режимами КЗ и качаний использовано для работы алгоритма "УБК" в блоках БМРЗ.

4.4.3 Если значение одной из контролируемых величин превышает уставку, то происходит срабатывание пусковых органов алгоритма "УБК", обеспечивающее разблокирование защит.

Алгоритм "УБК" контролирует:

- действующее значение аварийной составляющей фазных токов;
- приращение действующего значения тока обратной последовательности;
- приращение действующего значения напряжения обратной последовательности.

Уставку по аварийной составляющей фазного тока рассчитывают по формуле

$$I_{ф.УБК} = \frac{I_{КЗ\min} - I_{раб.\max}}{K_{\chi}}, \quad (4.12)$$

где $I_{КЗ\min}$ – минимальное значение тока КЗ в конце II зоны действия рассматриваемой ДЗ;

$I_{раб.\max}$ – максимальное значение рабочего тока защищаемой линии, А;

K_{χ} – коэффициент чувствительности, значение которого выбирают из диапазона от 1,5 до 2,5.

Уставку по приращению напряжения обратной последовательности рассчитывают по формуле

$$U_{2УБК} = \frac{U_{2\min} - (U_{несим} + U_{нб})}{K_{\chi}}, \quad (4.13)$$

где $U_{2\min}$ – минимальное значение напряжения обратной последовательности при КЗ в конце защищаемой зоны, В;

$U_{несим}$ – максимальное значение напряжения несимметрии в режиме нагрузки и в режиме качаний энергосистемы, В;

$U_{нб}$ – максимальное значение напряжения небаланса фильтра напряжения обратной последовательности, В

K_{χ} – коэффициент чувствительности, значение которого выбирают из диапазона от 1,5 до 2,5.

Максимальное значение напряжения небаланса $U_{нб}$ для блоков БМРЗ можно рассчитать по формуле

$$U_{нб} = \frac{U_{ном} \cdot K_{нб\ U2}}{\sqrt{3}}, \quad (4.14)$$

где $U_{ном}$ – номинальное первичное значение напряжения защищаемой линии, В;

$K_{нб\ U2}$ – коэффициент небаланса фильтра, принимаемый равным 0,025.

После расчёта уставки $U_{2УБК}$ необходимо удостовериться, что условие $U_{2УБК} \geq k_H \cdot (U_{несим} + U_{нб})$ выполнено.

Значение коэффициента надёжности k_H принять равным 1,2.

Уставку по приращению тока обратной последовательности определяют по формуле

$$I_{2УБК} = \frac{I_{2\min} - (I_{несим} + I_{нб})}{K_{\chi}}, \quad (4.15)$$

где $I_{2\min}$ – минимальное значение тока обратной последовательности при КЗ в конце защищаемой зоны, В;

$I_{несим}$ – максимальное значение тока несимметрии в режиме нагрузки и в режиме качаний энергосистемы, А;

$I_{нб}$ – максимальное значение тока небаланса фильтра тока обратной последовательности, А;

K_{ψ} – коэффициент чувствительности, принимаемый равным от 1,5 до 2,5.

Максимальное значение тока небаланса $I_{нб}$ для блоков БМРЗ можно рассчитать по формуле:

$$I_{нб} = I_{раб макс} \cdot K_{нб 12} , \quad (4.16)$$

где $I_{раб макс}$ – первичное значение максимального рабочего тока линии, А;

$K_{нб 12}$ – коэффициент небаланса фильтра, принимаемый равным 0,025.

После расчёта уставки $I_{2УБК}$ необходимо удостовериться, что условие $I_{2УБК} \geq K_H \cdot (I_{несим} + I_{нб})$ выполнено.

Значение коэффициента надежности K_H принять равным 1,2.

Выдержку времени $T_{д.б.1}$ определяют по формуле

$$T_{д.б.1} = t_{откл1} + t_{АПВ} + t_{откл2} , \quad (4.17)$$

где $t_{откл1}$ и $t_{откл2}$ – наибольшее время отключения КЗ в результате срабатывания второй ступени ДЗ, в первый раз и после АПВ соответственно, с;

$t_{АПВ}$ – время действия АПВ, с.

Функциональная схема алгоритма "УБК" ДЗ приведена в руководстве по эксплуатации на конкретное исполнение БМРЗ.

5 Контроль исправности измерительных цепей напряжения

5.1 Для исключения ложного срабатывания ДЗ при возникновении неисправностей во вторичных цепях ТН, в блоках БМРЗ предусмотрен алгоритм "КЦН", схема которого приведена в РЭ на соответствующее исполнение блока.

Алгоритм "КЦН" функционирует непрерывно. При обнаружении неисправности цепей напряжения алгоритм блокирует все ступени ДЗМФ и ДЗДВ и формирует выходной сигнал "НЦН".

Снижение всех пяти входных напряжений блока (\dot{U}_{A0} , \dot{U}_{B0} , \dot{U}_{C0} , $\dot{U}_{НИ}$ и $\dot{U}_{ИК}$) ниже значения 5 В приводит к срабатыванию реле минимального напряжения и появлению выходного сигнала "PMH".

5.2 В блоке БМРЗ предусмотрена возможность выбора одного из трёх вариантов функционирования алгоритма "КЦН" при разных схемах включения ТН.

Вариант включения выбирает пользователь, задавая один из режимов работы:

- особая фаза¹⁾ "А";
- особая фаза "В";
- особая фаза "С".

В блоках БМРЗ предусмотрен выбор одного из двух значений уставки по номинальному напряжению дополнительной обмотки ТН $U_{доп}$ - 100 В и 100/3 В.

¹⁾ Под «особой фазой» понимают фазу, из соединенных в звезду фаз вторичных цепей ТН, вектор которой сонаправлен с вектором напряжения $\dot{U}_{НИ}$ дополнительной обмотки ТН.

Возможность выбора уставки $U_{доп}$ позволяет обеспечить правильную работу алгоритма "КЦН" при использовании ТН с номинальным напряжением основной обмотки $100 / \sqrt{3}$ В и дополнительной обмотки 100 или 100/3 В.

5.3 Информационным признаком, свидетельствующим о неисправности цепей напряжения, служит напряжение $\dot{U}_{кцн}$ (таблица 5.1).

Таблица 5.1 - Расчётные формулы для напряжения $\dot{U}_{кцн}$

Особая фаза	Номинальное напряжение дополнительной обмотки 100 В	Номинальное напряжение дополнительной обмотки 100/3 В
"А"	$\dot{U}_{кцн} = ((\dot{U}_{в0} + \dot{U}_{с0}) - \dot{U}_{а0}) + (\dot{U}_{ни} - \dot{U}_{ик}) \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$\dot{U}_{кцн} = ((\dot{U}_{в0} + \dot{U}_{с0}) - \dot{U}_{а0}) + (\dot{U}_{ни} - \dot{U}_{ик}) \cdot \sqrt{3}$
"В"	$\dot{U}_{кцн} = ((\dot{U}_{а0} + \dot{U}_{с0}) - \dot{U}_{в0}) + (\dot{U}_{ни} - \dot{U}_{ик}) \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$\dot{U}_{кцн} = ((\dot{U}_{а0} + \dot{U}_{с0}) - \dot{U}_{в0}) + (\dot{U}_{ни} - \dot{U}_{ик}) \cdot \sqrt{3}$
"С"	$\dot{U}_{кцн} = ((\dot{U}_{а0} + \dot{U}_{в0}) - \dot{U}_{с0}) + (\dot{U}_{ни} - \dot{U}_{ик}) \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$\dot{U}_{кцн} = ((\dot{U}_{а0} + \dot{U}_{в0}) - \dot{U}_{с0}) + (\dot{U}_{ни} - \dot{U}_{ик}) \cdot \sqrt{3}$

где $\dot{U}_{а0}$, $\dot{U}_{в0}$, $\dot{U}_{с0}$ - векторы фазных напряжений;
 $\dot{U}_{ни}$ - вектор напряжения между выводами "Н" и "И" дополнительной обмотки ТН;
 $\dot{U}_{ик}$ - вектор напряжения между выводами "И" и "К" дополнительной обмотки ТН.

В условиях, когда действующее значение напряжения $\dot{U}_{кцн}$ превышает значение 10 В, алгоритм формирует сигнал "НЦН".

5.4 Сигнал "НЦН" вырабатывается также при отсутствии всех пяти входных напряжений¹⁾.

При этом блокирование всех ступеней ДЗМФ происходит после истечения промежутка времени, определяемого уставкой $T_{нцн}$.

Для исключения ложного срабатывания ступеней ДЗМФ, не контролируемых алгоритмом "УБК", необходимо задать уставку по времени $T_{нцн}$, меньшую, чем время срабатывания данных ступеней на половину ступени селективности Δt . Значение Δt - от 0,3 до 0,4 с.

При близких КЗ также возможно исчезновение всех пяти напряжений, в связи с этим рекомендуется первые две ступени ДЗМФ всегда выполнять с контролем от алгоритма "УБК".

Уставку по времени $T_{нцн}$ в данном случае необходимо задать на половину ступени селективности Δt больше, чем время срабатывания данных ступеней. Значение Δt - от 0,3 до 0,4 с.

Для контроля обрыва нулевого провода необходимы дополнительные меры (установка резистора во вторичные цепи ТН). Подробное описание приведено в руководстве по эксплуатации на конкретное исполнение БМРЗ.

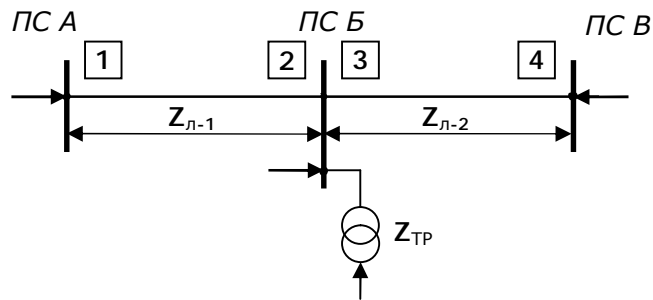
При появлении сигнала "НЦН" происходит блокирование РС и срабатывает вызывная сигнализация.

¹⁾ Ситуация возможна при обрывах контрольных кабелей, отключении автоматических выключателей или выгорании плавких вставок ТН.

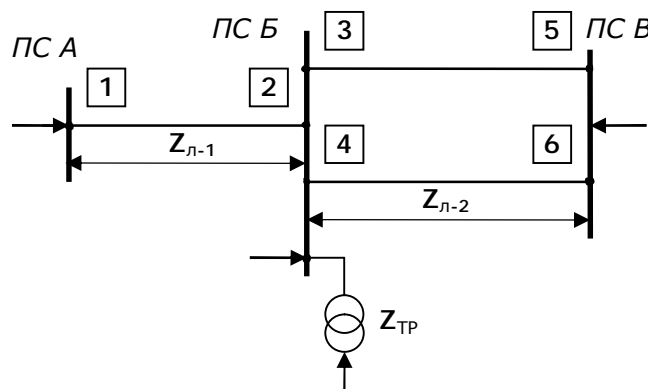
6 Однoчные линии 35 - 220 кВ

6.1 Сопротивления срабатывания первой $Z'_{с.з.}$ и второй $Z''_{с.з.}$ ступеней ДЗ однoчных линий с двусторонним (рисунок 6.1 а) – г)) и однoсторонним (рисунок 6.1, д)) питанием определяют для случаев металлических КЗ по формулам, приведённым в таблице 6.1. Результаты расчётов соответствуют первичным значениям.

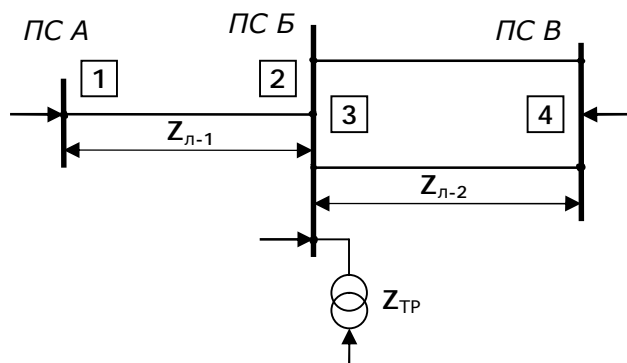
а)



б)



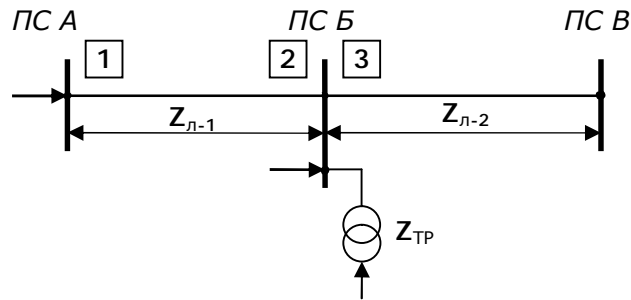
в)



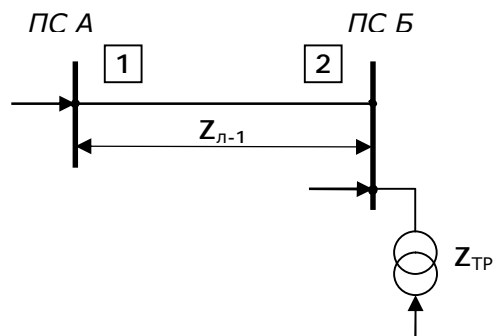
$Z_{л-1}$, $Z_{л-2}$ – сопротивления линий, $Z_{ТР}$ – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на ПС Б

Рисунок 6.1 (лист 1 из 2) - Примеры схем участков сети с однoчными линиями

г)



д)



$Z_{л-1}$, $Z_{л-2}$ – сопротивления линий, $Z_{ТР}$ – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на ПС Б

Рисунок 6.1 (лист 2 из 2) - Примеры схем участков сети с одиночными линиями

В формулах, приведенных в таблице 6.1, под первой степенью защиты подразумевают степень без выдержки времени, а под второй – степень с выдержкой времени, равной степени селективности Δt .

Формулы таблицы 6.1 применяют при использовании ДЗ в качестве основной или резервной защиты.

В качестве сопротивления срабатывания для второй степени принимают наименьшее из сопротивлений, полученных по приведённым расчётным условиям.

Таблица 6.1 - Формулы для расчета сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней ДЗ одиночных линий

Ступень защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Формула расчёта полного сопротивления		Условие обеспечения чувствительности $Z''_{с.з.1} \geq 1,25 Z_{л-1}$
			в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (см. примечание 2)	
I	1 (рисунок 6.1 а), б), в), г))	Отстройка от КЗ на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу линии	$Z'_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z'_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot Z_{л-1} \quad (6)$	Не требует проверки
	2 (рисунок 6.1 д))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z'_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1} + Z_{ТР}}{1 + \beta + \delta} \quad (2)$	$Z'_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot (Z_{л-1} + Z_{ТР}) \quad (7)$	$\frac{Z_{ТР}}{Z_{л-1}} \geq 0,47$
II	3 (рисунок 6.1 а))	Согласование с первой ступенью защиты 3	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k_{Т.ИИ}} Z'_{с.з.3}}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$	$Z''_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,66}{k_{Т.ИИ}} Z_{л-2} \quad (8)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 0,6 k_{Т.ИИ}$
	4 (рисунок 6.1 г))			$Z''_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,78}{k_{Т.ИИ}} Z'_{с.з.3} \quad (9)$	$\frac{Z'_{с.з.3}}{Z_{л-1}} \geq 0,51 k_{Т.ИИ}$
	5 (рисунок 6.1 б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1}{k_{Т.ИИ}} 0,5 Z_{л-2}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$	$Z''_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,43}{k_{Т.ИИ}} Z_{л-2} \quad (10)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 0,93 k_{Т.ИИ}$
	6 (рисунок 6.1 а), б), в), г))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{Z_{ТР}}{k_{Т.ТР}}}{1 + \beta + \delta} \quad (5)$	$Z''_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot (Z_{л-1} + \frac{Z_{ТР}}{k_{Т.ТР}}) \quad (11)$	$\frac{Z_{ТР}}{Z_{л-1}} \geq 0,47 k_{Т.ТР}$

Примечания

1 Формулы даны для определения сопротивлений срабатывания первой $Z'_{с.з.1}$ и второй $Z''_{с.з.1}$ ступеней применительно к защите 1 одиночных линий по схемам рисунка 6.1.

2 Формулы (6) ÷ (11) и соотношения, обеспечивающие требуемую чувствительность второй ступени, составлены для коэффициентов $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,05$ и $\delta = 0,1$.

3 Формулы варианта расчёта 6 даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.

6.2 В формулах для расчёта сопротивлений срабатывания (таблица 6.1) с помощью коэффициентов δ , α и β учитывают (см. рисунок 6.2):

– погрешность, вызванную неточностью расчёта первичных электрических величин (влияет как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения защищаемой зоны), и необходимый запас. Значение коэффициента δ принимают равным $\delta = 0,1$;

– погрешности ТТ, ТН и релейной аппаратуры (α – в сторону уменьшения, β – в сторону увеличения защищаемой зоны).

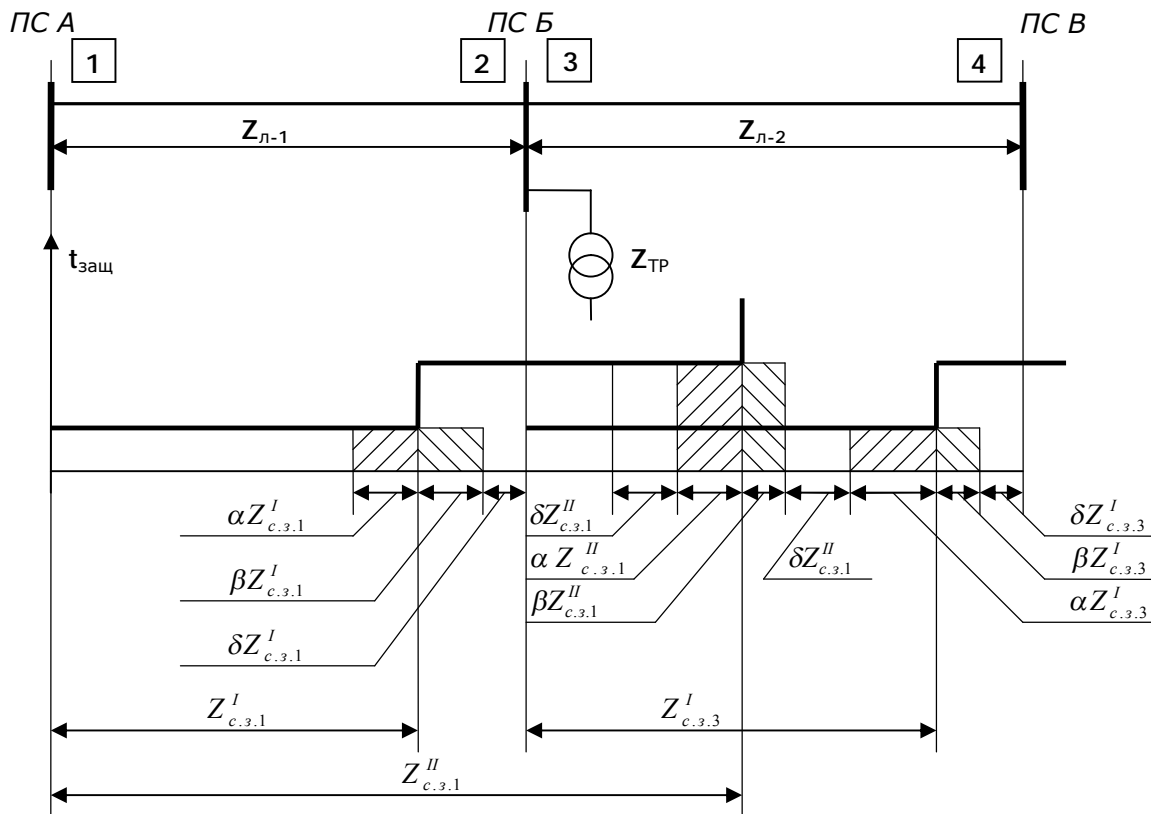


Рисунок 6.2 – Погрешности работы ДЗ

Погрешности ТТ действуют в сторону уменьшения защищаемой зоны, а ТН и реле (из-за разброса характеристик) – в сторону увеличения или уменьшения защищаемой зоны.

Коэффициент α должен быть больше коэффициента β .

Значения коэффициентов в таблице 6.1 принимают: $\alpha = 0,1$, $\beta = 0,05$. Приведенные ориентировочные значения коэффициентов α и β могут быть уточнены при наладке защиты.

6.3 Для повышения чувствительности ДЗ тупиковых линий целесообразно выбирать сопротивление срабатывания первой ступени из условия отстройки от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу линии (таблица 6.1, вариант расчёта 2).

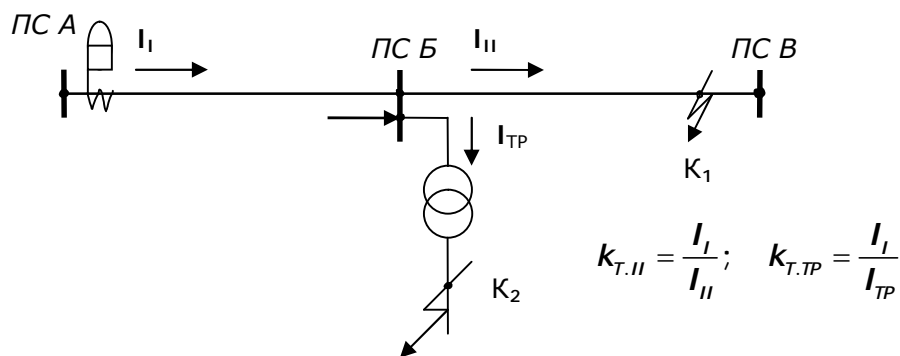
6.4 В формулах (3) – (5) и (8) – (11) таблицы 6.1 для выбора сопротивления второй ступени ДЗ необходимо учитывать коэффициент токораспределения k_T , который равен отношению первичного тока в защите к току в рассматриваемом участке (рисунок 6.3).

Токи КЗ для определения расчётного значения коэффициента k_T можно рассчитать для момента времени $t = 0$.

Расчётный коэффициент k_T соответствует наименьшему возможному значению сопротивления в месте установки рассматриваемой защиты.

На рисунке 6.3 приведены формулы для определения значений коэффициента токораспределения k_T , входящего в расчётные формулы, используемые в таблице 6.1.

а)



б)

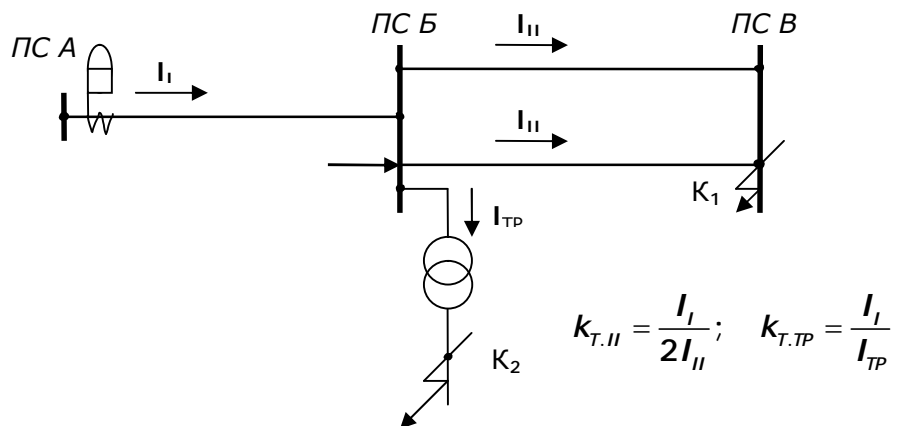


Рисунок 6.3 – Примеры определения коэффициента токораспределения k_T для одиночных линий

6.5 В схемах, аналогичных приведённым на рисунке 6.1 б), в), необходимо учитывать условие отстройки от КЗ на шинах ПС В (таблица 6.1, вариант расчёта 5), поскольку, даже при наличии специальной защиты шин необходимо учитывать возможность её вывода или отказа.

6.6 Расчёт сопротивления срабатывания второй ступени защиты по условию отстройки от КЗ на стороне низшего (среднего) напряжения трансформаторов (автотрансформаторов) подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемого участка осуществляют в соответствии с вариантом расчёта 6 (таблица 6.1).

В данном случае необходимо учитывать наименьшее сопротивление этих трансформаторов (автотрансформаторов), которое может иметь место при регулировании напряжения изменением коэффициента трансформации.

При применении для защиты трансформаторов подстанции, примыкающей к противоположному концу защищаемого участка, токовой отсечки (а не дифференциальной защиты), вторую ступень рассматриваемой ДЗ целесообразно согласовывать с токовой отсечкой вместо отстройки от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции.

Согласование с токовой отсечкой производят аналогично тому, как согласовывают уставку второй ступени ДЗ с уставкой токовой отсечки, являющейся первой ступенью защиты предыдущего участка линии (6.7).

6.7 Согласование уставки второй ступени ДЗ с уставкой первой ступени защиты предыдущего участка (при выполнении последней с помощью токовой отсечки, отсечки по напряжению или комбинированной отсечки по току и напряжению) производят по формуле, аналогичной (3) таблицы 6.1

$$Z_{с.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{Z_{расч}}{k_T}}{1 + \beta + \delta} = 0,85 \cdot \left(Z_{л-1} + \frac{Z_{расч}}{k_T} \right), \quad (6.1)$$

где $Z_{л-1}$ – сопротивление участка, на котором установлена согласуемая защита;

$Z_{расч}$ – сопротивление зоны, охватываемой защитой, с которой производят согласование в расчётных для согласования условиях при металлическом КЗ¹⁾;

k_T – коэффициент токораспределения в расчётных для согласования условиях.

При выполнении первой ступени защиты предыдущего участка с комбинированной отсечкой по току и напряжению, уставка ДЗ должна быть согласована с уставками токового органа и органа напряжения комбинированной отсечки по отдельности.

Условию согласования будет удовлетворять меньшее из полученных сопротивлений, поскольку зона работы комбинированного органа определяется наименьшей из зон срабатывания токового органа и органа напряжения.

Сопротивление $Z_{расч}$, входящее в формулу (6.1), в общем случае может быть определено графически по кривым изменения:

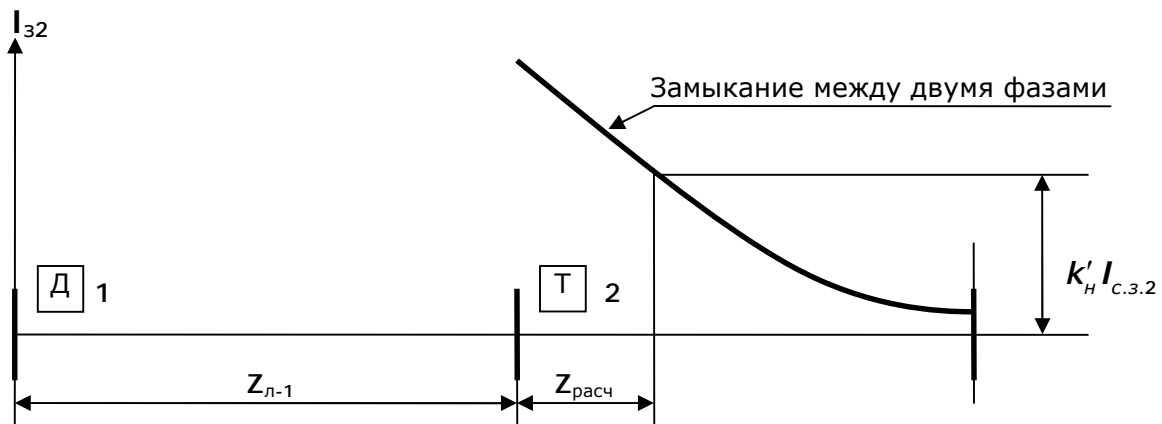
- токов в защите при КЗ (рисунок 6.4, а)) - для согласования с уставкой токовой отсечки или токового органа комбинированной отсечки по току и напряжению;

- напряжений в месте установки защиты при КЗ (рисунок 6.4, б)) - для согласования с уставкой отсечки по напряжению или уставкой органа напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению.

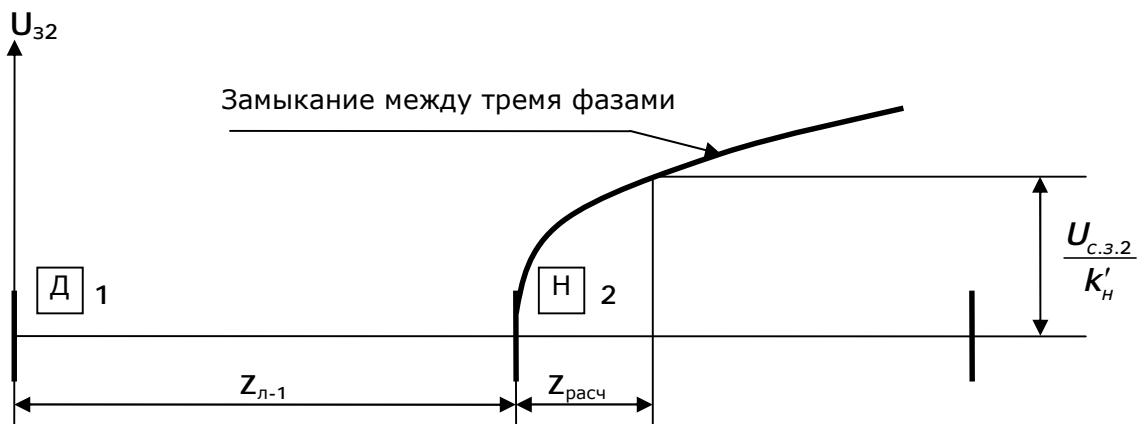
¹⁾ При этом коэффициент надёжности $k'_н = 1,1$.

Обе кривые построены для случая металлического КЗ в расчётных условиях, которым соответствует наименьшее из возможных значений отношения $Z_{расч} / k_T$.

а)



б)



Д — ДЗ;

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 КЗ в расчётных для согласования условиях;

$I_{сз2}$ и $U_{сз2}$ — соответственно ток и напряжение срабатывания защиты 2;

k'_H — коэффициент, учитывающий погрешность реле защиты 2 и погрешность в расчёте тока КЗ

Рисунок 6.4 – Графическое определение $Z_{расч}$ для согласования уставок ДЗ с уставками токовой отсечки или токового органа комбинированной отсечки по току и напряжению (а) и уставками отсечки по напряжению или органа напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению (б)

Согласование уставок ДЗ с уставками токовой отсечки или токового органа комбинированной отсечки по току и напряжению выполняют для КЗ между двумя фазами.

Это вызвано тем, что при данном КЗ ток обычно меньше, чем при других многофазных КЗ, а следовательно, меньше и сопротивление зоны, контролируемой токовым реле.

Расчётный режим работы сети:

- ток в месте установки защиты, с уставкой которой производят согласование, наименьший;
- ток в месте установки согласуемой защиты – по возможности наибольший.

Согласование уставок ДЗ с уставками отсечки по напряжению или органа напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению выполняют для любого многофазного КЗ.

Сопротивление зоны, надёжно контролируемой реле напряжения, не зависит от вида многофазного КЗ.

Расчётный режим работы сети - ток в месте установки согласуемой ДЗ наибольший.

6.8 Выдержку времени второй ступени ДЗ при выборе сопротивления срабатывания по указанным выше условиям (6.4 – 6.7) принимают на ступень селективности Δt больше выдержки времени:

- быстродействующей защиты предыдущего участка, с которой производят согласование;
- защит без выдержки времени, установленных на трансформаторах подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемого участка.

6.9 Коэффициент чувствительности k_c второй ступени ДЗ необходимо проверять для металлического КЗ в конце защищаемого участка.

Минимальное значение коэффициента чувствительности может быть:

- 1,25 - при использовании двух либо трёх ступеней ДЗ, применяемой в качестве резервной;
- 1,50 - при использовании двух либо трёх ступеней ДЗ, применяемой в качестве основной.

6.10 В тех случаях, когда коэффициент чувствительности второй ступени ДЗ, выбранной в соответствии с указаниями, приведёнными в таблице 6.1 и в 6.5 – 6.8, меньше требуемого, сопротивление срабатывания и выдержку времени ДЗ необходимо уточнить, учитывая изложенное ниже.

6.10.1 Если сопротивление срабатывания согласовывали с первой ступенью защиты предыдущего участка (таблица 6.1, варианты расчёта 3 и 4), то необходимо согласовать его со второй ступенью этой же защиты.

6.10.2 Если сопротивление срабатывания выбирали по условиям отстройки от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемого участка (таблица 6.1, вариант расчёта 6), то необходимо его согласовать с уставкой быстродействующей защиты элементов стороны низшего (среднего) напряжения рассматриваемой подстанции.

6.10.3 Если сопротивление срабатывания выбирали исходя из отстройки от токов КЗ на шинах подстанции, примыкающей к дальнему (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу предыдущего участка (таблица 6.1, вариант расчёта 5), то его необходимо согласовать со второй ступенью защиты предыдущего участка как при включении защиты на ток одной линии (рисунок 6.1, б)), так и на сумму токов двух параллельных линий (рисунок 6.1, в)).

Если и в этом случае уставка не удовлетворяет требованию чувствительности или, если вторая ступень защиты предыдущего участка имеет большую выдержку времени и, следовательно, согласование с ней приведёт к чрезмерному увеличению времени действия второй ступени защищаемого участка, то при наличии специальной защиты шин условие отстройки от токов КЗ на шинах подстанции, примыкающей к дальнему концу предыдущего участка, допустимо не учитывать. Сопротивление срабатывания рассматриваемой ступени защиты принять исходя из условия обеспечения минимального значения коэффициента чувствительности $K_{\text{ч}}$ в соответствии с 6.9.

При этом вторая ступень рассматриваемой защиты в схеме (рисунок 6.1, б)) должна быть согласована с первой ступенью защиты 3 при каскадном отключении КЗ на участке ПС Б – ПС В.

При таком согласовании должен быть учтён коэффициент возврата ДО второй ступени защиты 1, так как ДО может сработать до начала каскадного отключения.

Согласование производят по формулам (3) и (8) таблицы 6.1, а знаменатель правой части формул должен быть умножен на коэффициент возврата $K_{\text{в}}$.

В схеме, приведенной на рисунке 6.1, в) должно быть произведено аналогичное согласование, но в режиме работы одной линии на участке ПС Б – ПС В. Так как только в этом случае вводится в действие первая ступень суммарной защиты 3; то согласование производится по формулам (3) и (8) таблицы 6.1.

Кроме того, выдержка времени второй ступени защиты 1 (в схеме рисунка 6.1, в)) должна быть выбрана с учётом возможности каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты (которая предполагается установленной на параллельных линиях участка ПС Б – ПС В).

Если вторая ступень защиты 1 (с учётом коэффициента возврата) окажется отстроенной от КЗ на границе зоны каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты со стороны ПС В, каскадное действие защиты можно не учитывать.

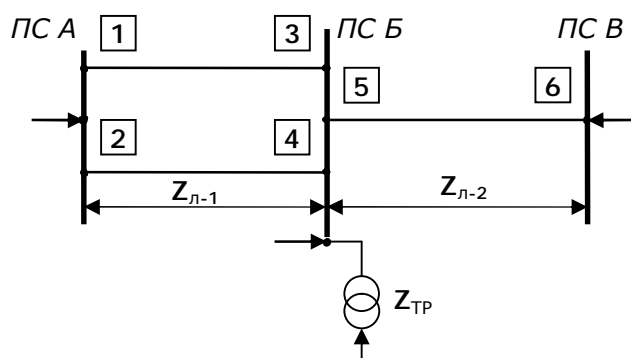
6.11 При согласовании с первой ступенью защиты предыдущего участка (таблица 6.1, вариант расчёта 3) может потребоваться учёт коэффициента возврата, когда из-за влияния коэффициента токораспределения защита недопустимо загроубляется.

7 Две параллельные линии 35 - 220 кВ

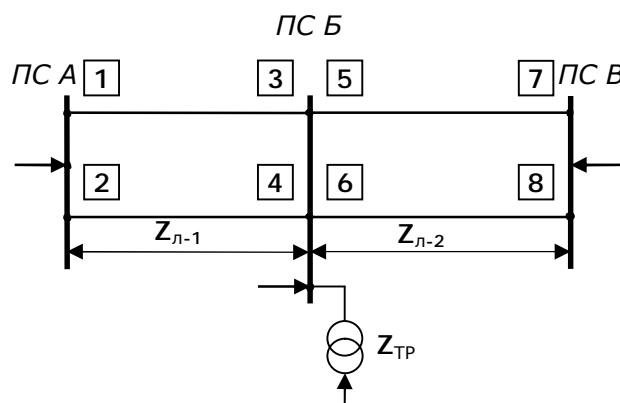
7.1 Сопротивление срабатывания $Z_{с.з.}^I$ первой ступени ДЗ (выполненной без выдержки времени) параллельных линий с двусторонним (рисунок 7.1 а) – е)) и односторонним питанием, кроме тупиковых, определяют, как и для защиты одиночных линий по формулам (1) и (6) таблицы 6.1.

В случае включения рассматриваемой ДЗ на сумму токов двух линий (рисунок 7.1 г) – е)) данный расчёт корректен, поскольку на рассматриваемых линиях первая ступень суммарной ДЗ вводится в действие только при отключении одной из параллельных линий.

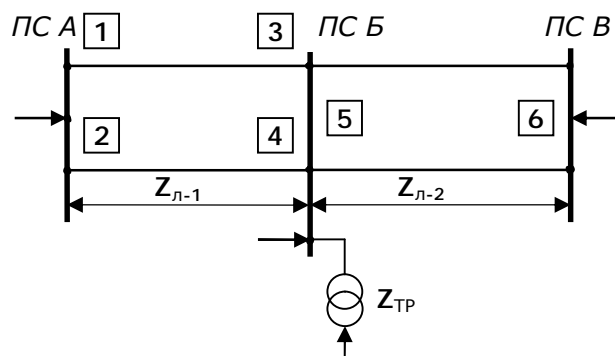
а)



б)



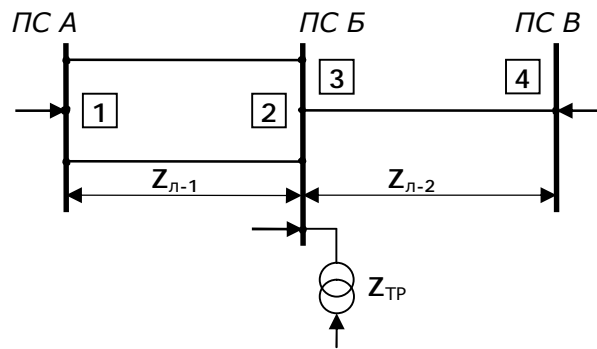
в)



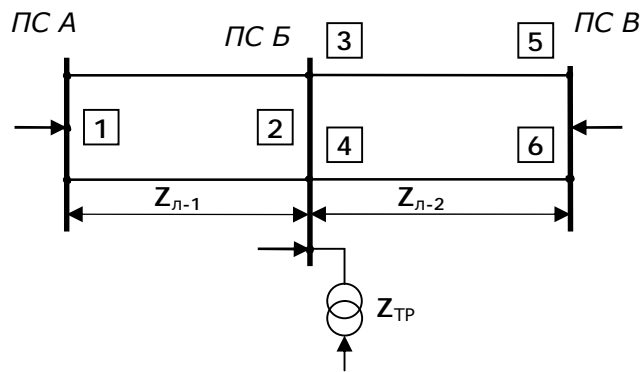
$Z_{л-1}$, $Z_{л-2}$ – сопротивления линий; $Z_{ТР}$ – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на ПС Б

Рисунок 7.1 (лист 1 из 3) – Примеры схем участков сети с параллельными линиями

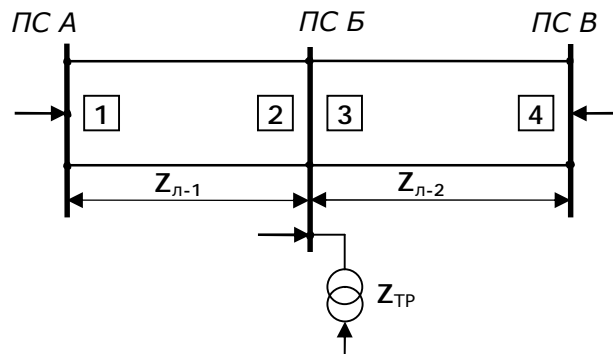
г)



д)



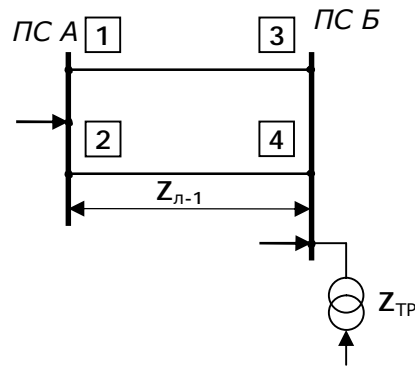
е)



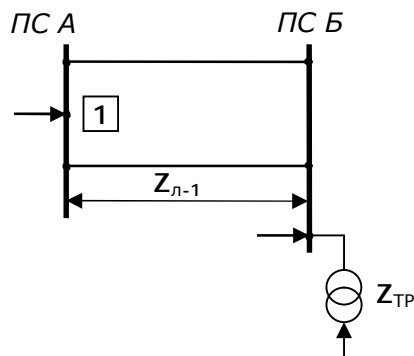
$Z_{л-1}$, $Z_{л-2}$ – сопротивления линий; $Z_{ТР}$ – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на ПС Б

Рисунок 7.1 (лист 2 из 3) – Примеры схем участков сети с параллельными линиями

ж)



и)



$Z_{л-1}$, $Z_{л-2}$ – сопротивления линий; $Z_{ТР}$ – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на ПС Б
Рисунок 7.1 (лист 3 из 3) – Примеры схем участков сети с параллельными линиями

Сопротивление срабатывания $Z_{с.з.}^I$ первой ступени ДЗ тупиковых параллельных линий определяют:

- по формулам (1) и (6) из таблицы 6.1 – при включении защиты на ток одной линии (рисунок 7.1, ж));
- по формулам (7) и (14) из таблицы 7.1 – при включении защиты на сумму токов двух линий (рисунок 7.1, и)).

В последнем случае первую ступень защиты выполняют с выдержкой времени, равной ступени селективности. Уставки данной ступени защиты отстраивают от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения приёмной подстанции аналогично тому, как отстраивают уставки второй ступени защиты.

7.2 Сопротивление срабатывания $Z_{с.з.}^{II}$ второй ступени ДЗ параллельных линий с двусторонним (рисунок 7.1, а) – е)) и односторонним (рисунок 7.1 ж), и)) питанием, выполненной с выдержкой времени, равной ступени селективности, определяют для случаев металлических КЗ по формулам, приведённым в таблице 7.1.

В тех случаях, когда участок линии от ПС Б до ПС В для схем рисунка 7.1, а), г) является тупиковым, согласование уставок второй ступени ДЗ с уставками первой ступени защиты 5 или 3 может производиться по формулам (1) и (5), приведённым в таблице 7.1.

При этом сопротивление срабатывания защиты 5 или 3 должно определяться вариантом расчёта 2 по таблице 6.1.

Формулы, приведенные в таблице 7.1 действительны при использовании защиты в качестве:

- основной или резервной при работе одной или двух линий (ДЗ включена на ток одной линии);
- резервной при работе двух линий и основной или резервной при работе одной линии (ДЗ включена на сумму токов двух параллельных линий).

На рисунке 7.2 приведены формулы для определения значений коэффициента токораспределения K_T , входящего в расчётные формулы, используемые в таблице 7.1.

В качестве расчётного значения коэффициента токораспределения K_T выбирают его наибольшее значение из полученных для всех реально возможных режимов работы (см. ниже 7.3 и 7.4).

В качестве сопротивления уставки для второй ступени ДЗ принимают наименьшее из сопротивлений, полученных по приведённым в таблице 7.1 расчётным условиям.

7.3 Выбор сопротивления срабатывания второй ступени ДЗ, включенной на ток одной линии (рисунок 7.1, а) – в))

7.3.1 В схеме рисунка 7.1, а) необходимо согласовать уставку этой ступени с уставкой первой ступени защиты 5 (таблица 7.1, вариант расчёта 1) при отключении второй параллельной линии на участке ПС А – ПС Б.

7.3.2 В схемах рисунка 7.1, б), в) необходимо отстроиться от токов КЗ на шинах ПС В для режима, когда на рассматриваемом участке ПС А – ПС Б работает одна линия, а на предыдущем участке ПС Б – ПС В – две линии в соответствии с вариантом расчёта 2 таблицы 7.1 (учитывается случай выведения из действия предусмотренной для шин специальной защиты, её отказ или отсутствие).

Если вторая ступень рассматриваемой ДЗ не удовлетворяет требованию чувствительности к КЗ в конце защищаемого участка (коэффициент чувствительности не соответствует указанному в 6.9), то при наличии специальной защиты шин указанный режим допустимо не учитывать.

В этом случае, отстройка от токов КЗ на шинах производится для режима, когда на участках ПС А – ПС Б и ПС Б – ПС В работают обе линии.

В схеме рисунка 7.1, б) должно быть произведено также согласование рассматриваемой второй ступени защиты 1 с первой ступенью защиты 5 при каскадном отключении КЗ на линии ПС Б – ПС В в режиме отключения параллельной линии на участке ПС А – ПС Б.

При согласовании должен быть учтён коэффициент возврата ДО второй ступени защиты 1, поскольку ДО может сработать до начала каскадного отключения. Согласование производится по формулам (3) и (8) таблицы 6.1, но знаменатель правой части формул должен быть умножен на коэффициент возврата K_B .

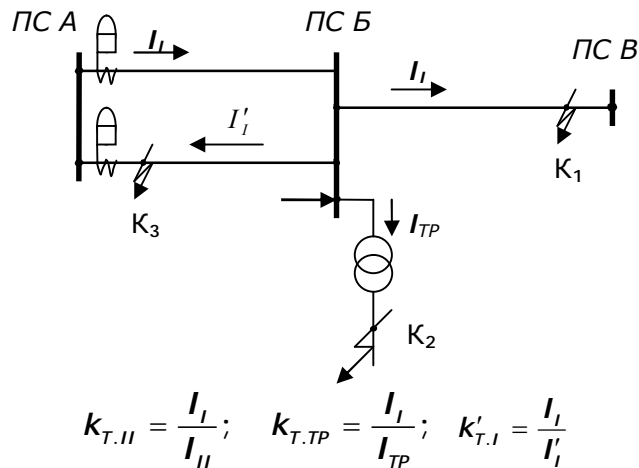
Таблица 7.1 - Формулы для определения сопротивлений срабатывания второй ступени ДЗ параллельных линий

Включение защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Расчётное число линий на участке ПС А–ПС Б	Формула		Условие обеспечения чувствительности $Z''_{с.з.1} \geq 1,25Z_{л-1}$
				в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)	
На ток одной линии	1 (рисунок 7.1 а))	Согласование с первой ступенью защиты предыдущего участка Б	Одна	$Z'_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k_{Т.И}} \cdot Z'_{с.з.5}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,66}{k_{Т.И}} Z_{л-2} \quad (8)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 0,6k_{Т.И}$
	2 (рисунок 7.1 б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В		$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1}{k_{Т.И}} \cdot 0,5Z_{л-2}}{1 + \beta + \delta} \quad (2)$	$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,43}{k_{Т.И}} Z_{л-2} \quad (9)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 0,93k_{Т.И}$
	3 (рисунок 7.1 а), б), в), ж))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б		$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{Z_{ТП}}{k_{Т.ТП}}}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$	$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,85 \cdot (Z_{л-1} + \frac{Z_{ТП}}{k_{Т.ТП}}) \quad (10)$	$\frac{Z_{ТП}}{Z_{л-1}} \geq 0,47k_{Т.ТП}$
	4 (рисунок 7.1 а), б), в), ж))	Согласование с первой ступенью защиты 4 при каскадном отключении КЗ на параллельной линии	Две	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k'_{Т.И}} Z'_{с.з.4}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$	$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,66}{k'_{Т.И}} Z_{л-1} \quad (11)$	$k'_{Т.И} \leq 1,66$
5 (рисунок 7.1 г))	Согласование с первой ступенью защиты 3	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k_{Т.И}} Z'_{с.з.3}}{1 + \beta + \delta} \quad (5)$		$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,43 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,66}{k_{Т.И}} Z_{л-2} \quad (12)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,25k_{Т.И}$	
6 (рисунок 7.1 д), е))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{л-1} + \frac{1}{k_{Т.И}} \cdot 0,5 \cdot Z_{л-2}}{1 + \beta + \delta} \quad (6)$		$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,43 \cdot (Z_{л-1} + \frac{Z_{л-2}}{k_{Т.И}}) \quad (13)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,91k_{Т.И}$	
На сумму токов двух линий	7 (рисунок 7.1 г), д), е), и))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{л-1} + \frac{Z_{ТП}}{k_{Т.ТП}}}{1 + \beta + \delta} \quad (7)$	$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,43 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,85}{k_{Т.ТП}} Z_{ТП} \quad (14)$	$\frac{Z_{ТП}}{Z_{л-1}} \geq 0,97k_{Т.ТП}$	

Примечания

- 1 В таблице даны формулы для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 по схемам рисунка 7.1.
- 2 Значения коэффициентов даны в примечании 2 к таблице 6.1.
- 3 Расчётные формулы даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.
- 4 Соотношение, обеспечивающее требуемую чувствительность второй ступени защиты, включенной на сумму токов параллельных линий, при КЗ в конце линии $Z''_{с.з.1} \geq 1,25Z_{л-1}$ приведено для случая отключения одной из параллельных линий.

а)



б)

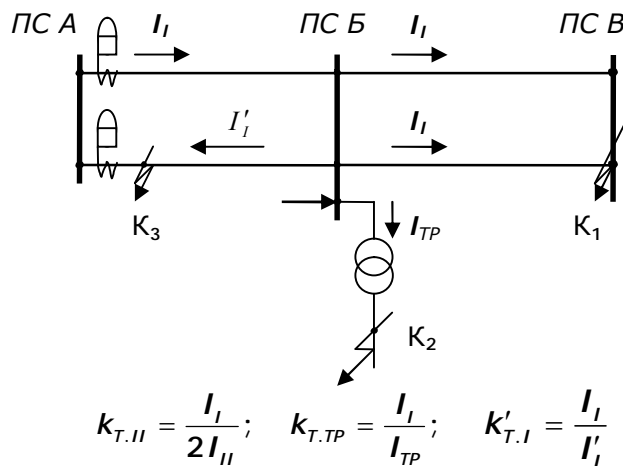


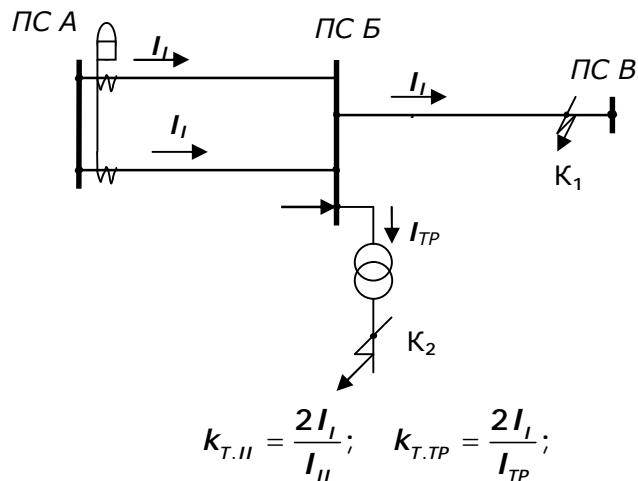
Рисунок 7.2 (лист 1 из 2) – Примеры определения коэффициента токораспределения k_T для параллельных линий

Для схемы рисунка 7.1, в) аналогичного согласования в этом случае не требуется, поскольку не следует рассматривать режим работы одной линией одновременно на участках ПС А – ПС Б и ПС Б – ПС В¹⁾.

Выдержка времени второй ступени защиты 1 должна быть выбрана с учётом возможности каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты, которая предполагается установленной на параллельных линиях участка ПС Б – ПС В.

¹⁾ Первая ступень защиты 5 вводится в действие только при отключении одной из линий на участке ПС Б – ПС В.

в)



г)

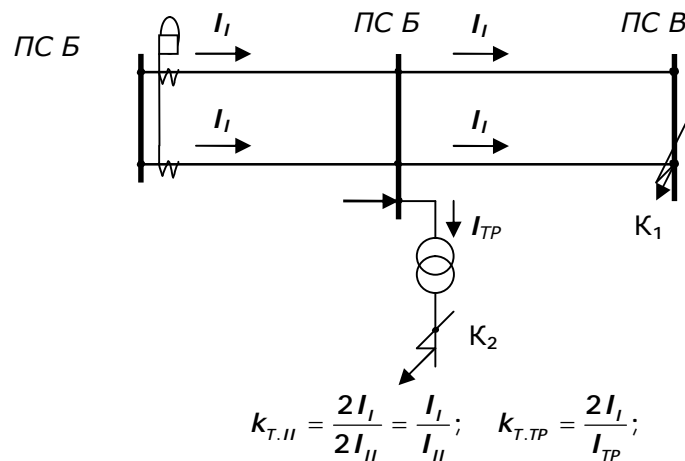


Рисунок 7.2 (лист 2 из 2) – Примеры определения коэффициента токораспределения k_T для параллельных линий

7.3.3 В схемах рисунка 7.1 а) – в), ж) необходимо отстроиться от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б в соответствии с вариантом расчёта 3 таблицы 7.1 в режиме, когда на рассматриваемом участке ПС А – ПС Б работает одна линия. В схемах рисунка 7.1 б), в), кроме указанного, должен рассматриваться также режим работы одной линии на участке ПС Б – ПС В; расчётным явится тот режим, которому будет соответствовать большее значение коэффициента токораспределения k_T .

7.3.4 В схемах рисунка 7.1 а) – в), ж) необходимо согласовать уставку данной ступени с уставкой первой ступени защиты 4 (вариант расчёта 4 таблицы 7.1) для случая замыкания на параллельной линии и каскадного её отключения.

7.3.5 В тех случаях, когда вторая ступень ДЗ, выбранная в соответствии с 7.3.1 - 7.3.3, не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно её сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать в соответствии с указаниями 6.10.

7.4 Выбор сопротивления срабатывания второй ступени ДЗ, включенной на сумму токов параллельных линий (рисунок 7.1 г) – е), и))

7.4.1 В схеме рисунка 7.1 г) необходимо согласовать уставку данной ступени с уставкой первой ступени защиты 3 (таблица 7.1, вариант расчёта 5) в режиме работы обеих линий на участке ПС А – ПС Б.

7.4.2 В схемах рисунка 7.1 д) необходимо отстроиться от КЗ на шинах ПС В в соответствии с вариантом расчёта 6 таблицы 7.1 в режиме работы обеих линий на участке ПС А – ПС Б и ПС Б – ПС В (учитывается случай выведения из действия предусмотренной для шин специальной защиты, её отказ или отсутствие последней).

7.4.3 В схемах рисунка 7.1 г) – е), и) необходимо отстроиться от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б в режиме, когда на участке ПС А – ПС Б работают обе линии, а на участке ПС Б – ПС В – одна линия.

7.4.4 В тех случаях, когда уставка второй ступени ДЗ, выбранная по условиям селективности в режиме работы обеих линий на участке ПС А – ПС Б (таблица 7.1, варианты расчёта 5 - 7), не удовлетворяет требованию чувствительности к КЗ в конце защищаемого участка при работе одной линии на участке ПС А – ПС Б, необходимо отдельно рассчитать уставку второй ступени для данного режима работы.

При изменении режима необходимо произвести смену программ уставок. При этом сопротивление срабатывания второй ступени, на которое переключается защита после отключения параллельной линии, рассчитывается аналогично вариантам расчёта 3 – 6 таблицы 6.1 для расчёта защит одиночных линий.

Области, в которых защита, выбранная по условиям селективности в режиме работы обеих линий на участке ПС А – ПС Б, удовлетворяет требованию чувствительности к КЗ в конце защищаемого участка и при работе одной линии на участке ПС А – ПС Б, ограничены снизу линиями **ж**, **к**, **л** (рисунок 7.3).

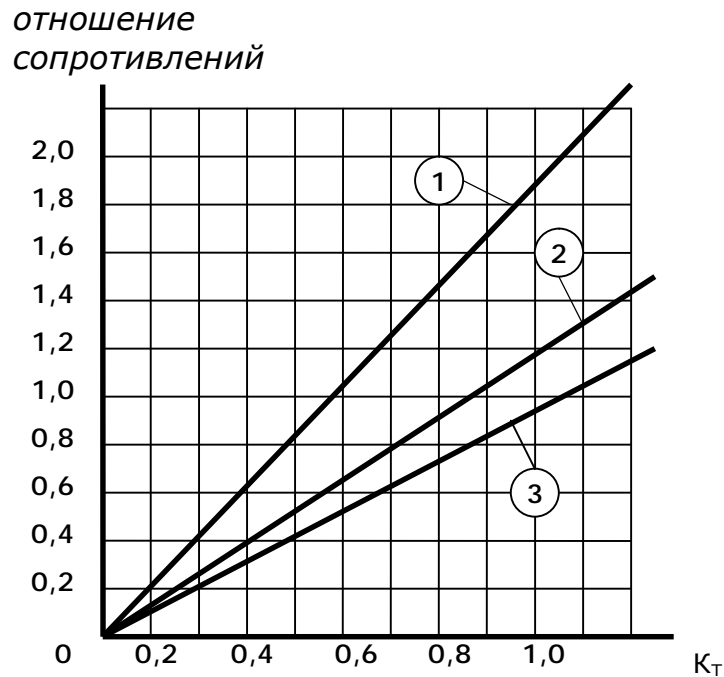
Линия **ж** соответствует случаю, когда уставка второй ступени суммарной ДЗ выбрана такой, которая обеспечивает отстройку от тока КЗ на шинах ПС В в схемах рисунка 7.1 д), е) ($\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,91 \cdot k_T$, см. вариант расчёта 6 таблицы 7.1).

Линия **к** соответствует случаю, когда уставка второй ступени суммарной ДЗ согласована с уставкой защиты 3 в схеме рисунка 7.1 г) ($\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,25 \cdot k_T$, см. вариант расчёта 5 таблицы 7.1).

Линия **л** соответствует случаю, когда уставка второй ступени суммарной ДЗ выбрана такой, которая обеспечивает отстройку от тока КЗ на шинах ПС В в схемах рисунка 7.1 г) – е) ($\frac{Z_{TP}}{Z_{л-1}} \geq 0,97 \cdot k_T$, см. вариант расчёта 7 таблицы 7.1).

7.5 Выдержку времени второй ступени ДЗ, включенной на сумму токов параллельных линий, необходимо отстроить от времени каскадного отключения одной из параллельных линий поперечной дифференциальной направленной защитой, если последняя использована в качестве основной защиты этих линий.

7.6 Проверка чувствительности второй ступени ДЗ и её согласование с защитами тока и напряжения, установленными на предыдущих участках производят так же, как для защиты одиночных линий (раздел 6) для режима работы одной из параллельных линий рассматриваемого участка.



Отношение сопротивлений - $Z_{л-2} / Z_{л-1}$ или $Z_{ТР} / Z_{л-1}$;

Линия **ж** - $\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,91 \cdot k_T$; Линия **к** - $\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,25 \cdot k_T$; Линия **л** - $\frac{Z_{ТР}}{Z_{л-1}} \geq 0,97 \cdot k_T$;

k_T - коэффициент токораспределения

Рисунок 7.3 - Области, в которых ДЗ отвечает требованиям чувствительности

8 Однoчные и параллельные линии 35 - 220 кВ с ответвлениями

8.1 Определение сопротивлений срабатывания первой $Z_{с.з.}^I$ и второй $Z_{с.з.}^{II}$ ступеней ДЗ линий с ответвлениями, а также определение коэффициентов чувствительности этой защиты следует производить с учётом токораспределения на отдельных участках линии.

При этом коэффициент токораспределения k_T следует выбирать:

- максимально возможный - для расчёта сопротивлений срабатывания;
- минимально возможный - для определения коэффициента чувствительности.

8.2 При определении сопротивлений срабатывания первой $Z_{с.з.}^I$ и второй $Z_{с.з.}^{II}$ ступеней ДЗ линий с ответвлениями в дополнение к расчётным условиям для защит линий без ответвлений необходимо проверить отстройку от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции на ответвлении.

При этом должны рассматриваться КЗ за трансформаторами с наименьшими приведёнными реактивными сопротивлениями, расположенными ближе к месту установки рассматриваемой защиты.

8.3 Сопротивления срабатывания первой $Z_{с.з.}^I$ и второй $Z_{с.з.}^{II}$ ступеней ДЗ линий с ответвлениями определяют:

- по формулам из таблицы 8.1 - для одиночных линий с ответвлениями (схемы рисунка 8.1);
- по формулам из таблицы 8.2 - для параллельных линий с ответвлениями (схемы рисунка 8.3).

Формулы для определения значений коэффициентов токораспределения k_T , входящих в расчётные формулы таблицы 8.1 и таблицы 8.2, приведены:

- на рисунке 8.2 - для одиночных линий с ответвлениями (рисунок 8.1);
- на рисунке 8.4 - для параллельных линий с ответвлениями (рисунок 8.3).

В качестве сопротивления срабатывания для первой и второй ступеней защиты принимаются наименьшие из сопротивлений, полученных по приведенным в таблицах 8.1 и 8.2 расчётным условиям.

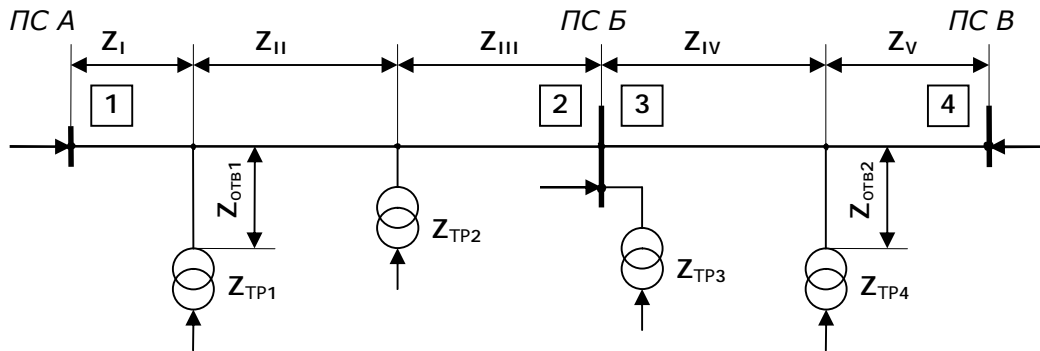
8.4 В схемах рисунков 8.1 а) – г) и 8.3 а) отстройку от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях необходимо производить в соответствии со следующими вариантами расчёта:

- варианты расчёта 3 и 4 таблицы 8.1 – для схем по рисунку 8.1 а) – г);
- варианты расчёта 2 и 3 таблицы 8.2 – для схемы по рисунку 8.3 а).

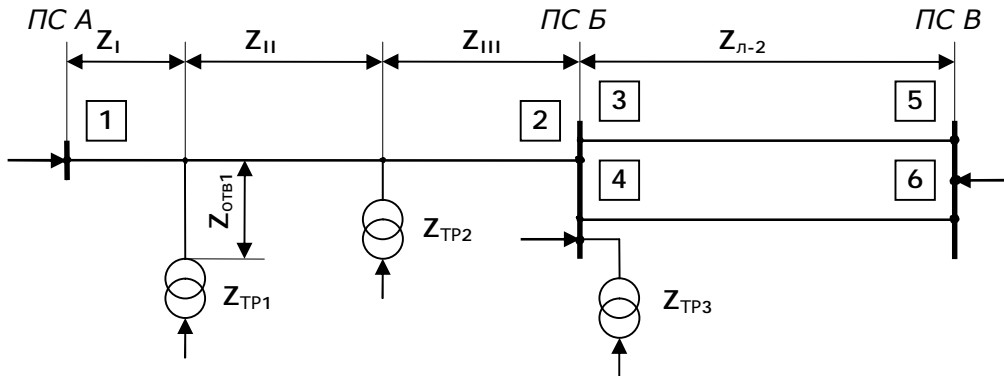
8.4.1 Необходимо рассматривать следующие режимы работы:

- часть подстанций на ответвлениях отключена, на других включено минимальное возможное число источников питания;
- защищаемая линия отключена со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты. Указанный режим должен учитываться в тех случаях, когда на подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу линии, отсутствует обходной выключатель.

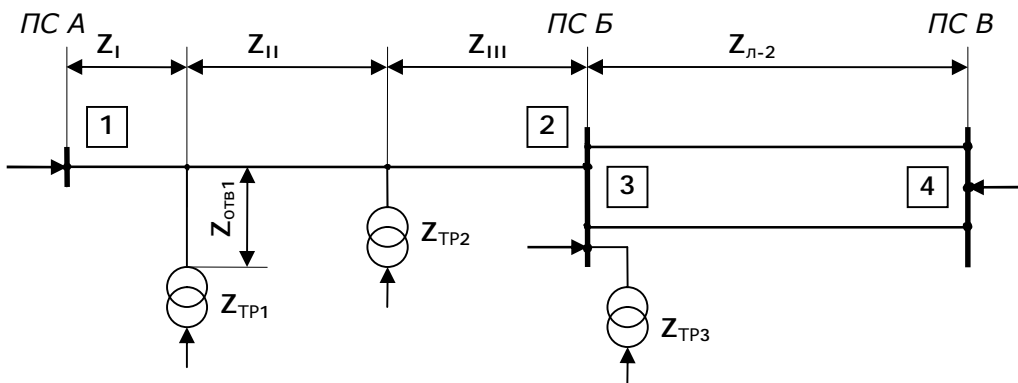
а)



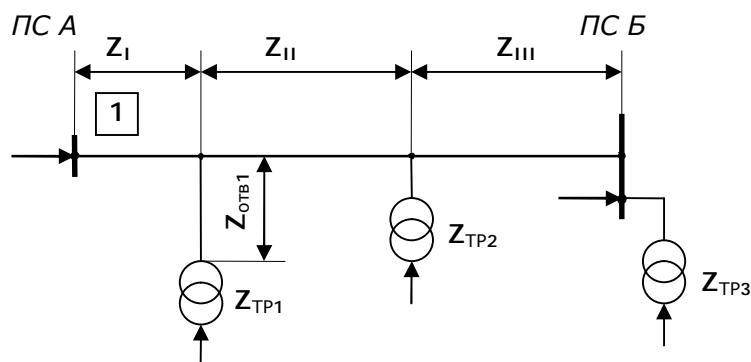
б)



в)



г)



$Z_{TP1}, Z_{TP2}, Z_{TP3}, Z_{TP4}$ – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов; $Z_I, Z_{II}, Z_{III}, Z_{IV}, Z_V$ – сопротивление отдельных участков защищаемой и предыдущей линий; $Z_{отв1}, Z_{отв2}$ – сопротивления ответвлений; $Z_{л-2}$ – сопротивление предыдущей линии

Рисунок 8.1 – Примеры схем одиночных линий с ответвлениями

Таблица 8.1 - Формулы для определения сопротивлений срабатывания ДЗ одиночных линий с ответвлениями

Ступень защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Формула	
			в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)
I	1 (рисунок 8.1 а), б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу линии	$Z'_{c.3.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z'_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) \quad (8)$
	2 (рисунок 8.1 г))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z'_{c.3.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP.3}}{k_{T,III}}}{1 + \beta + \delta} \quad (2)$	$Z'_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III} + Z_{TP.3}}{k_{T,III}} \right) \quad (9)$
I и II	3 (рисунок 8.1 а), б), в), г))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС на ответвлениях	$Z_{c.3.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{отв1} + Z_{TP.1}}{k_{T,TP.1}}}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$	$Z_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{отв1} + Z_{TP.1}}{k_{T,TP.1}} \right) \quad (10)$
	4 (рисунок 8.1 а), б), в), г))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС на ответвлениях	$Z_{c.3.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{TP.2}}{k_{T,TP.2}}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$	$Z_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{TP.2}}{k_{T,TP.2}} \right) \quad (11)$
II	5 (рисунок 8.1 а))	Согласование с первой ступенью защиты 3	$Z''_{c.3.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{1-\alpha}{k_{T,IV}} \cdot Z_{IV} + \frac{1-\alpha}{k_{T,V}} \cdot (Z'_{c.3.3} - Z_{IV})}{1 + \beta + \delta} \quad (5)$	$Z''_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) + 0,78 \cdot \left(\frac{Z_{IV}}{k_{T,IV}} + \frac{Z'_{c.3.3}}{k_{T,V}} - \frac{Z_{IV}}{k_{T,V}} \right) \quad (12)$
II	6 (рисунок 8.1 б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z''_{c.3.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{0,5 \cdot Z_{л-2}}{k_{T,IV}}}{1 + \beta + \delta} \quad (6)$	$Z''_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) + \frac{0,43}{k_{T,IV}} \cdot Z_{л-2} \quad (13)$
	7 (рисунок 8.1 а), б), в))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z''_{c.3.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP.3}}{k_{T,TP.3}}}{1 + \beta + \delta} \quad (7)$	$Z''_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP.3}}{k_{T,TP.3}} \right) \quad (14)$

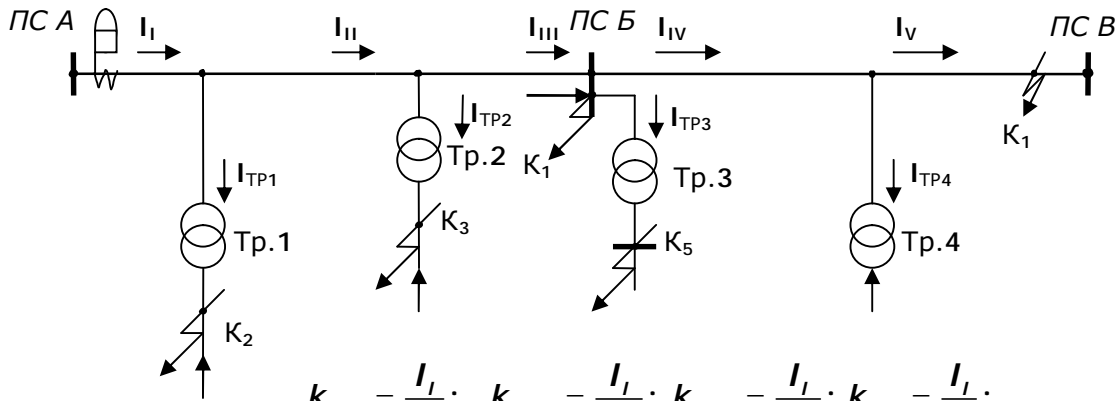
Примечания

1 В таблице даны формулы для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 одиночных линий с ответвлениями по схеме рисунка 8.1.

2 Принятые обозначения и значения коэффициентов даны на рисунке 8.1 и в примечании 2 к таблице 6.1.

3 Формулы варианта 6 даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий предыдущего участка.

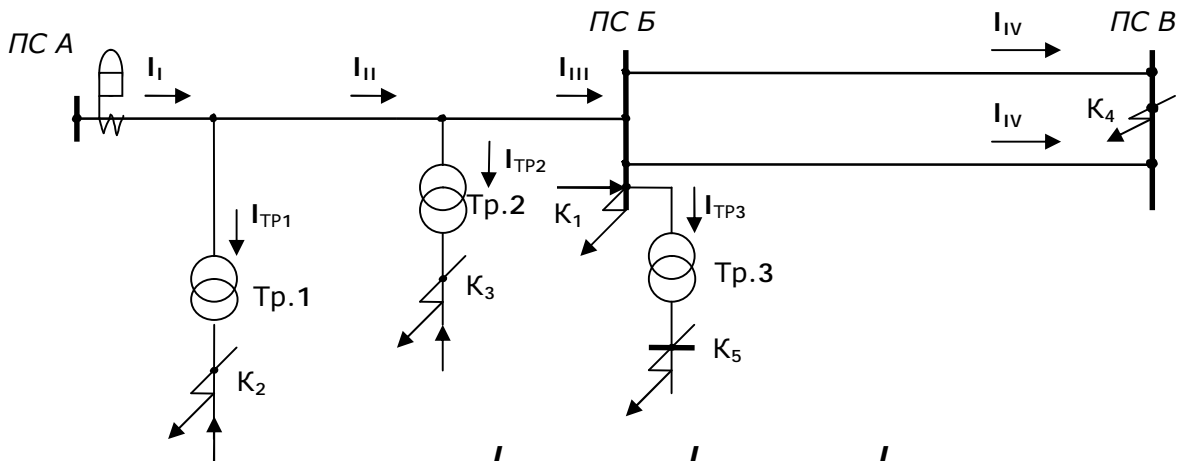
а)



$$k_{T.II} = \frac{I_I}{I_{II}}; \quad k_{T.III} = \frac{I_I}{I_{III}}; \quad k_{T.IV} = \frac{I_I}{I_{IV}}; \quad k_{T.V} = \frac{I_I}{I_V};$$

$$k_{T.TP.1} = \frac{I_I}{I_{TP.1}}; \quad k_{T.TP.2} = \frac{I_I}{I_{TP.2}}; \quad k_{T.TP.3} = \frac{I_I}{I_{TP.3}};$$

б)



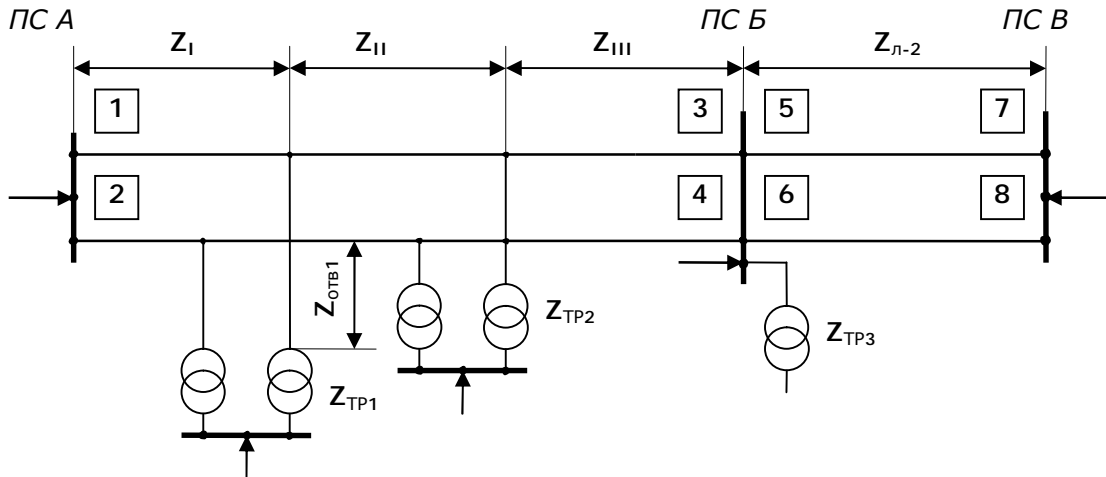
$$k_{T.II} = \frac{I_I}{I_{II}}; \quad k_{T.III} = \frac{I_I}{I_{III}}; \quad k_{T.IV} = \frac{I_I}{2I_{IV}};$$

$$k_{T.TP.1} = \frac{I_I}{I_{TP.1}}; \quad k_{T.TP.2} = \frac{I_I}{I_{TP.2}}; \quad k_{T.TP.3} = \frac{I_I}{I_{TP.3}};$$

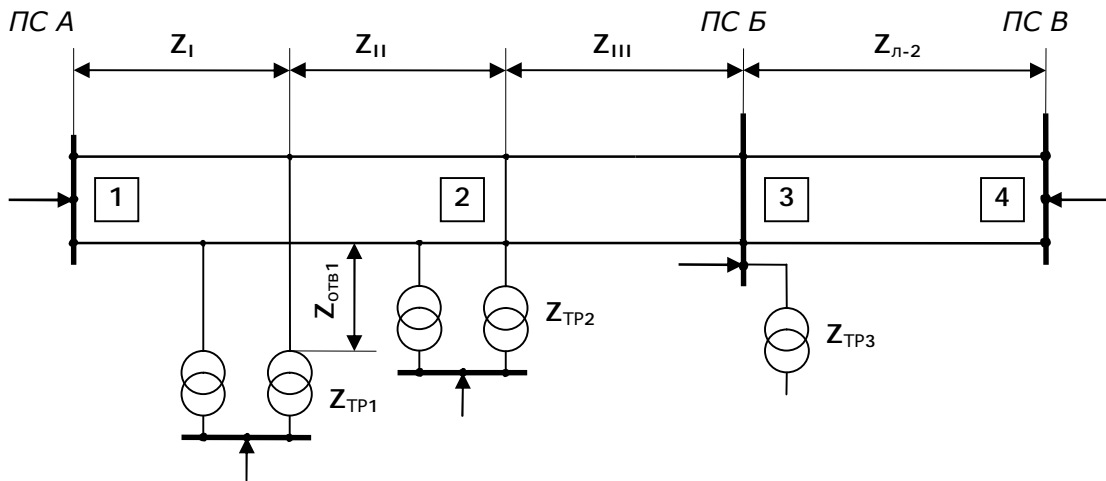
Рисунок 8.2 – Примеры определения коэффициента токораспределения k_T для одиночных линий с ответвлениями

8.4.2 Для схемы по рисунку 8.3 а) в случае параллельной работы трансформаторов подстанций на ответвлениях на стороне низшего (среднего) напряжения дополнительно необходимо рассматривать такой режим, когда параллельная линия отключена, а трансформаторы подстанций на ответвлениях переведены на питание от защищаемой линии.

а)



б)



Z_{TP1} , Z_{TP2} , Z_{TP3} , Z_{TP4} , – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов; Z_I , Z_{II} , Z_{III} , Z_{IV} , Z_V – сопротивление отдельных участков защищаемой и предыдущей линий; $Z_{отв1}$, $Z_{отв2}$ – сопротивления ответвлений; $Z_{л-2}$ – сопротивление предыдущей линии

Рисунок 8.3 – Примеры схем параллельных линий с ответвлениями

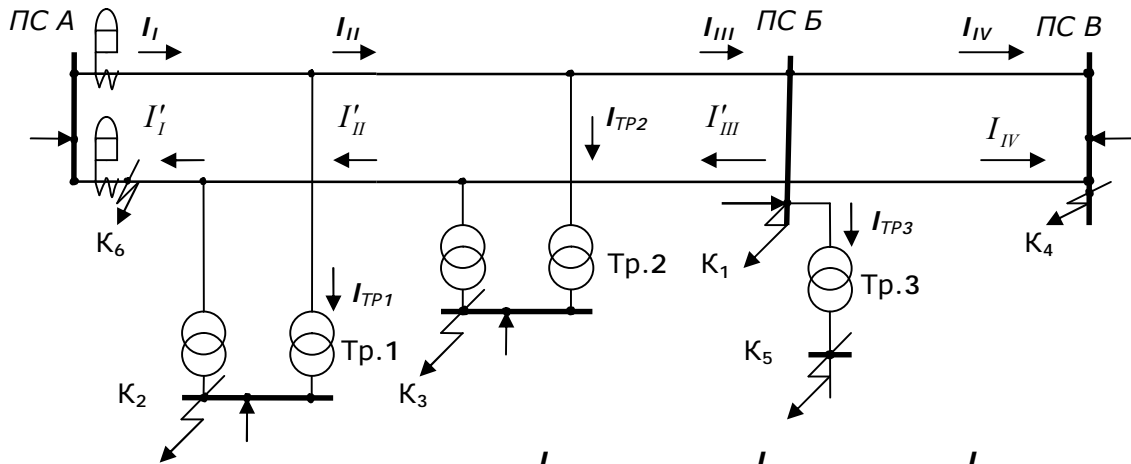
8.5. Для схемы рисунка 8.3 б) отстройку от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях необходимо производить в соответствии с вариантами расчёта 2 и 3 таблицы 8.2.

8.5.1 Отстройку первой степени защиты необходимо производить при отключении одной из параллельных линий потому, что только в этом режиме первая степень защиты вводится в действие.

Если трансформаторы подстанций на ответвлениях работают параллельно на стороне низшего (среднего) напряжения, необходимо учитывать случай, когда трансформаторы подстанций на ответвлениях, подключенные в нормальном режиме ко второй параллельной линии, переведены на питание от защищаемой линии.

8.5.2 Отстройку второй ступени защиты необходимо производить в режимах по 8.4.1. В случае параллельной работы трансформаторов подстанций на ответвлениях, нужно рассматривать отключение (со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты) одной из защищаемых линий, а при отдельной работе этих трансформаторов – отключение (со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты) той линии, к которой присоединён трансформатор, на стороне низшего напряжения которого рассматриваемое КЗ.

а)

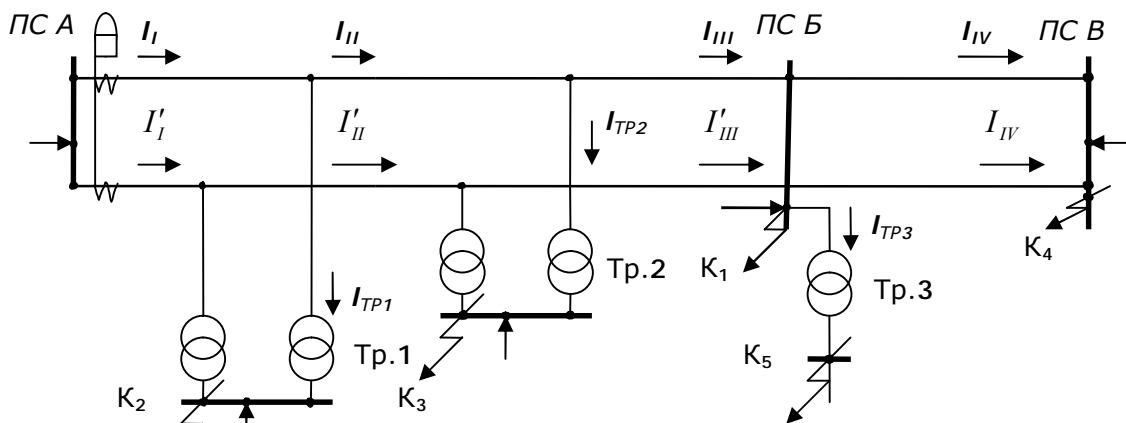


$$k_{T.I} = 1; k_{T.II} = \frac{I_I}{I_{II}}; k_{T.III} = \frac{I_I}{I_{III}}; k_{T.IV} = \frac{I_I}{2 I_{IV}};$$

$$k_{T.TP.1} = \frac{I_I}{I_{TP.1}}; k_{T.TP.2} = \frac{I_I}{I_{TP.2}}; k_{T.TP.3} = \frac{I_I}{I_{TP.3}};$$

$$k'_{T.I} = \frac{I_I}{I'_I}; k'_{T.II} = \frac{I_I}{I'_{II}}; k'_{T.III} = \frac{I_I}{I'_{III}};$$

б)



$$k_{T.I} = \frac{I_I + I'_I}{I_I}; k_{T.II} = \frac{I_I + I'_I}{I_{II}}; k_{T.III} = \frac{I_I + I'_I}{I_{III}}; k_{T.IV} = \frac{I_I + I'_I}{2 I_{IV}};$$

$$k_{T.TP.1} = \frac{I_I + I'_I}{I_{TP.1}}; k_{T.TP.2} = \frac{I_I + I'_I}{I_{TP.2}}; k_{T.TP.3} = \frac{I_I + I'_I}{I_{TP.3}}$$

Рисунок 8.4 – Примеры определения коэффициента токораспределения k_T для параллельных линий с ответвлениями

Таблица 8.2 - Формулы для определения сопротивлений срабатывания ДЗ параллельных линий с ответвлениями

Ступень защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Формула	
			в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)
I	1 (рисунок 8.3 а), б))	Отстройка от КЗ на шинах противоположного конца линии	$Z'_{с.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z'_{с.з.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) \quad (7)$
			I и II	2 (рисунок 8.3 а), б))
I и II	3 (рисунок 8.3 а), б))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения		$Z_{с.з.1} \leq \frac{\frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{TP,2}}{k_{T,TP,2}}}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$
	II	4 (рисунок 8.3 а), б))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{\frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{0,5 \cdot Z_{л-2}}{k_{T,IV}}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$
5 (рисунок 8.3 а), б))		Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{\frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP,3}}{k_{T,TP,3}}}{1 + \beta + \delta} \quad (5)$	$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(\frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP,3}}{k_{T,TP,3}} \right) \quad (11)$
6 (рисунок 8.3 а))		Согласование с первой ступенью защиты 4 при каскадном отключении КЗ на параллельной линии	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{1-\alpha}{k'_{T,III}} \cdot Z_{III}}{1 + \beta + \delta} + \frac{\frac{1-\alpha}{k'_{T,II}} \cdot Z_{II} + \frac{1-\alpha}{k'_{T,I}} (Z'_{с.з.4} - Z_{II} - Z_{III})}{1 + \beta + \delta} \quad (6)$	$Z''_{с.з.1} \lesssim 0,85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) + 0,78 \cdot \left(\frac{Z_{III}}{k'_{T,III}} + \frac{Z_{II}}{k'_{T,II}} + \frac{Z'_{с.з.4} - Z_{II} - Z_{III}}{k'_{T,I}} \right) \quad (12)$

Примечания

1 В таблице даны формулы для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 параллельных линий с ответвлениями по схемам рисунка 8.3.

2 Принятые обозначения и значения коэффициентов даны на рисунке 8.1 и в примечании 2 к таблице 6.1.

3 Расчётные формулы даны для случая равенства сопротивления параллельных линий одного участка.

8.6 При выборе сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней защит линий по рисункам 8.1 и 8.3 по другим условиям (таблица 8.1, варианты расчёта 1, 2, 5 – 7 и таблица 8.2, варианты расчёта 1, 4 – 6) необходимо:

- учитывать рекомендации, изложенные в 6.4, 7.3 и 7.4;
- рассматривать режим, в котором часть подстанций на ответвлениях отключена, а на других включено минимальное возможное число источников питания.

8.7 Если уставки второй ступени защиты одиночных линий (рисунок 8.1), а также защиты, включённой на ток одной из двух параллельных линий (схема рисунка 8.3 а)), рассчитанные по условиям соответственно таблиц 8.1 и 8.2, не удовлетворяют требованиям чувствительности, их расчёт целесообразно произвести в соответствии с указаниями раздела 6 (6.10).

Указанное условие должно быть заменено согласованием с быстродействующей защитой элементов стороны низшего (среднего) напряжения рассматриваемой подстанции, если условие отстройки от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции на ответвлении было определяющим для расчёта значения уставки.

8.8 В тех случаях, когда вторая ступень защиты, включенной на сумму токов двух параллельных линий (рисунок 8.3 б)), выбранная по условиям селективности в режиме работы обеих линий на участке ПС А – ПС Б (вариант расчёта 2 – 5 таблицы 8.2) не удовлетворяет требованию чувствительности к КЗ в конце защищаемого участка при работе одной линии на участке ПС А – ПС Б, необходимо отдельно рассчитать уставку второй ступени для данного режима работы.

При этом необходимо иметь еще одну программу уставок для режима работы одной линии на участке ПС А – ПС Б. После изменения режима на указанный необходимо произвести смену программ уставок.

Сопротивление срабатывания второй ступени второй программы уставок, на которую переключается защита после отключения параллельной линии, рассчитывают в соответствии с вариантами расчёта 3 - 7 из таблицы 8.1 для защит одиночных линий с ответвлениями.

8.9 Определение сопротивлений срабатывания защиты в сетях сложной топологии, выражения из таблиц 8.1 и 8.2 к которым неприменимы, можно производить непосредственно через напряжения и токи в месте установки защиты в расчётных по селективности условиях, по общим выражениям или с помощью специализированных программ.

8.10 Во всём остальном (проверка чувствительности второй ступени защиты, согласование второй ступени ДЗ с защитами тока и напряжения, установленными на предыдущих линиях, выбор выдержки времени второй ступени защиты, включенной на сумму токов двух параллельных линий и т.д.) расчёт производится так же, как и для защит соответственно одиночных и параллельных линий без ответвлений (разделы 6 и 7).

9 Блок трансформатор (автотрансформатор) – линия 35 - 220 кВ

9.1 Ниже рассмотрены особенности расчёта ДЗ, установленной со стороны трансформатора (автотрансформатора) с соединением обмоток $Y/\Delta-11$ на линиях 35 - 220 кВ, работающих в составе блока двухобмоточный трансформатор (автотрансформатор) – линия (рисунок 9.1).

9.2 Использование для ДЗ линии ТН, установленных на стороне низшего или среднего напряжения Т блока, и включение в связи с этим Т блока в зону защиты приводит к:

- сокращению доли линии, контролируемой первой (без выдержки времени) ступенью защиты;
- снижению чувствительности второй и третьей ступеней.

Это обусловлено тем, что:

- незащищённая первой ступенью часть блока Т – линия, расположенная в конце линии и равная $k \cdot (Z_{тр} + Z_{л})$, больше, чем незащищённая часть линии $k \cdot Z_{л}$, при применении для последней отдельной защиты;

- сопротивление на "зажимах" реле при КЗ в конце линии увеличивается в большей степени, чем увеличивается сопротивление срабатывания второй ступени ДЗ в случае замены защиты линии защитой блока;

- сопротивления срабатывания третьей ступени защиты блока и отдельной защиты линии практически одинаковы;

- при наличии на Т блока встроенного регулирования напряжения под нагрузкой при определении сопротивления срабатывания используют коэффициент трансформации, отличный от того, для которого рассчитывают коэффициент чувствительности.

9.3 Для блоков с Т, имеющими встроенное регулирование напряжения под нагрузкой, сопротивление срабатывания защиты, приведённое к стороне высшего напряжения блока, рассчитывают с учётом наименьшего возможного при регулировании сопротивления Т.

Вторичное значение сопротивления срабатывания реле определяют в целях упрощения расчёта по формулам (9.1) – (9.3) при наибольшем значении коэффициента трансформации Т блока.

Расчёт чувствительности уставок второй ступени ДЗ производят по вторичным величинам, определяемым в соответствии или по аналогии с формулами (9.1) – (9.3). При этом учитывают наибольшее возможное при регулировании сопротивление и наименьший коэффициент трансформации Т блока.

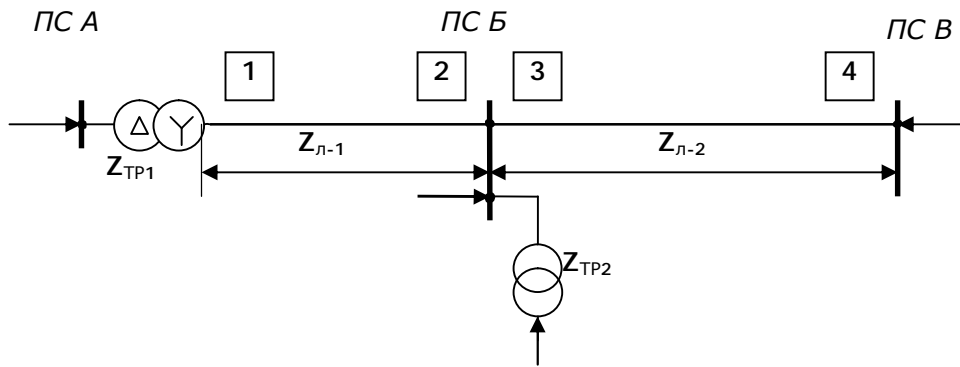
В случаях, когда указанный метод расчёта приводит к недопустимому загромождению защиты, необходимо произвести более точные расчёты, учитывающие возможные при регулировании напряжения сочетания значений сопротивления и коэффициента трансформации Т блока.

В расчётах используют сочетания, обеспечивающие:

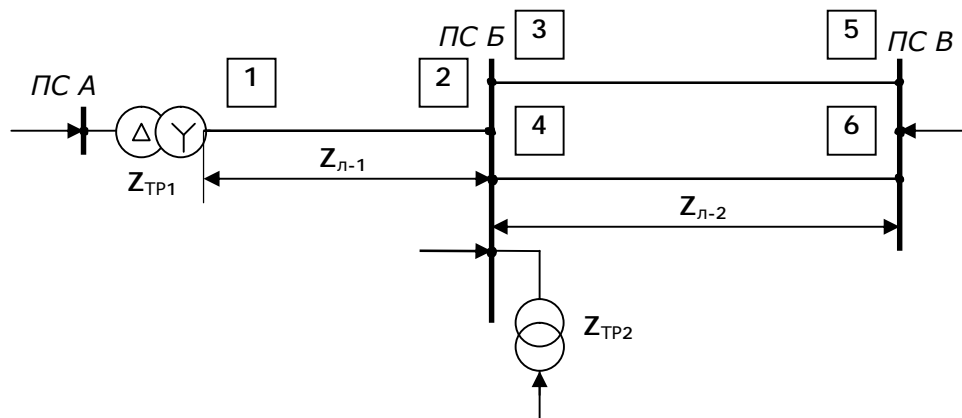
- наименьшее значение вторичного сопротивления на реле в условиях, расчётных по селективности;

- наибольшее значение этого сопротивления в условиях, расчётных по чувствительности.

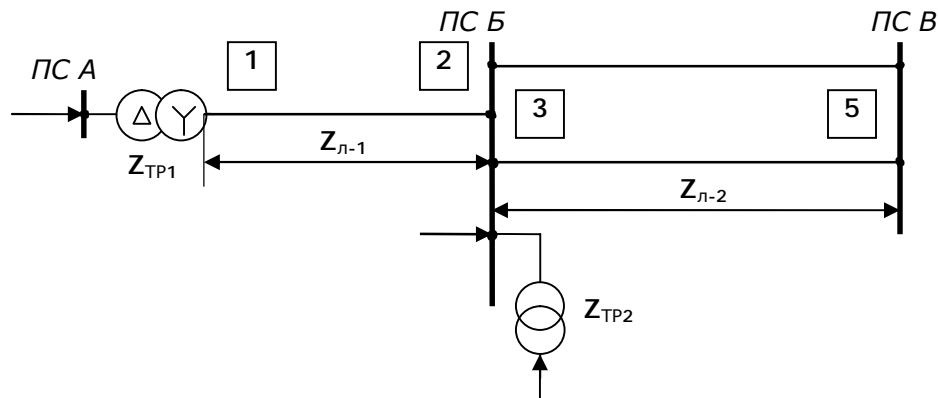
а)



б)



в)



$Z_{Л-1}$, $Z_{Л-2}$ – сопротивление линий; $Z_{ТР1}$ – сопротивление Т блока; $Z_{ТР2}$ – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающим трансформаторов на ПС Б.

Рисунок 9.1 – Примеры схем сети с блоком трансформатор – линия

9.4 Формулы для определения сопротивлений срабатывания первой $Z'_{с.з.}$ и второй $Z''_{с.з.}$ ступеней ДЗ линий, работающих в составе блока Т – линия приведены в таблице 9.1. Значения коэффициентов токораспределения k_T определяют аналогично тому, как в защите одиночных линий (рисунок 6.3).

Таблица 9.1 - Формулы для определения сопротивлений срабатывания ДЗ линий, работающих в составе блока Т – линия

Степень защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Формула	
			в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)
I	1 (рисунок 9.1 а), б), в))	Отстройка от КЗ на шинах противоположного конца линии	$Z'_{с.з.1} \leq \frac{Z_{ТП1} + Z_{л-1}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z'_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot (Z_{ТП1} + Z_{л-1}) \quad (5)$
II	2 (рисунок 9.1 а))	Согласование с первой степенью защиты 3	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{ТП1} + Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k_{Т.ИИ}} \cdot Z'_{с.з.3}}{1 + \beta + \delta} \quad (2)$	$Z''_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot (Z_{ТП1} + Z_{л-1}) + \frac{0,66}{k_{Т.ИИ}} \cdot Z_{л-2} \quad (6)$
	3 (рисунок 9.1 б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{ТП1} + Z_{л-1} + \frac{0,5}{k_{Т.ИИ}} \cdot Z_{л-2}}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$	$Z''_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot (Z_{ТП1} + Z_{л-1}) + \frac{0,43}{k_{Т.ИИ}} \cdot Z_{л-2} \quad (7)$
	4 (рисунок 9.1 а), б), в))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z''_{с.з.1} \leq \frac{Z_{ТП1} + Z_{л-1} + \frac{1}{k_{Т.ТП.1}} \cdot Z_{ТП.2}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$	$Z''_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot (Z_{ТП1} + Z_{л-1} + \frac{Z_{ТП.2}}{k_{Т.ТП.1}}) \quad (8)$
<p>Примечания</p> <p>1 В таблице даны формулы для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 линий, работающих в составе блока Т – линия, в схемах рисунка 9.1.</p> <p>2 $Z_{ТП1}$ – минимальное возможное при регулировании сопротивление Т между стороной его высшего напряжения (сторона защищаемой линии) и стороной, где установлены ТН, используемые для защиты; остальные обозначения и значения коэффициентов даны на рисунке 9.1 и в примечании 2 к таблице 6.1.</p>				

В качестве сопротивления срабатывания второй ступени защиты принимают наименьшее сопротивление из полученных по приведённым расчётным условиям.

Формулы в таблице 9.1 составлены для случаев:

- включения рассматриваемой защиты на ТН, установленные на стороне низшего напряжения трансформатора блока двухобмоточный трансформатор – линия или трёхобмоточный Т – линия. В последнем случае – при отсутствии питания со стороны среднего напряжения или равенстве нулю сопротивления его обмотки низшего напряжения;

- включения рассматриваемой защиты на ТН, установленные на стороне среднего напряжения трансформатора блока трёхобмоточный Т – линия, при отсутствии питания со стороны низшего напряжения или равенстве нулю сопротивления его обмотки среднего напряжения.

Формулы таблицы 9.1 могут быть использованы также для расчёта защиты линии блока трёхобмоточный Т – линия при трёхстороннем питании и неравенстве нулю сопротивления обмотки Т, со стороны которой установлены используемые для защиты ТН.

При этом защита выполняется с компенсацией падения напряжения в сопротивлении обмотки Т, на стороне которой установлены ТН, используемые для защиты. Под сопротивлением Z_{TP1} надо понимать сопротивление обмотки высшего напряжения Т блока.

В тех случаях, когда уставка второй ступени ДЗ, выбранная по указанным в таблице 9.1 условиям, не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно её сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать в соответствии с указаниями раздела 6 (6.10).

9.5 Вторичные значения сопротивлений срабатывания $Z_{c.p.}$ определяют исходя из первичных значений сопротивлений срабатывания $Z_{c.з.}$, рассчитанных в соответствии с таблицей 9.1, по следующим формулам:

- при включении защиты на ТТ и ТН, установленные со стороны низшего напряжения трансформатора блока,

$$Z_{c.p.} = \frac{n_T^{(H)}}{3 \cdot n_H^{(H)} \cdot n_{TP}^2} \cdot Z_{c.з.}; \quad (9.1)$$

- при включении защиты на ТН, установленные со стороны низшего напряжения, и на ТТ, установленные со стороны высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока,

$$Z_{c.p.} = \frac{n_T^{(B)}}{\sqrt{3} \cdot n_H^{(H)} \cdot n_{TP}} \cdot Z_{c.з.}; \quad (9.2)$$

- при включении защиты на ТН, установленные со стороны среднего напряжения, и на ТТ, установленные со стороны высшего напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока,

$$Z_{c.p.} = \frac{n_T^{(B)}}{3 \cdot n_H^{(C)} \cdot n_{TP}} \cdot Z_{c.з.}; \quad (9.3)$$

где $n_T^{(H)}$ и $n_T^{(B)}$ – коэффициенты трансформации ТТ, используемых для защиты и установленных соответственно на сторонах низшего и высшего напряжения Т блока;

$n_H^{(H)}$ и $n_H^{(C)}$ – коэффициенты трансформации ТН, используемых для защиты и установленных соответственно на сторонах низшего и среднего напряжения Т блока;

n_{TP} – коэффициент трансформации трансформатора блока между стороной его высшего напряжения (сторона защищаемой линии) и стороной установки ТН. В целях большей надёжности должен учитываться максимально возможный коэффициент трансформации, который может иметь место при регулировании напряжения;

$Z_{C.3}$ – сопротивление срабатывания защиты, Ом, рассчитанное по формулам таблицы 9.1.

Формулы (9.1) – (9.3) составлены исходя из того, что защиту подключают:

- на фазные напряжения относительно нулевой точки системы при использовании для защиты ТН, установленных на стороне низшего напряжения Т блока;

- на междуфазные напряжения при использовании для защиты ТН, установленных на стороне среднего напряжения Т блока;

- на разность токов при использовании для защиты ТТ, установленных на стороне низшего напряжения Т блока и соединённых в треугольник;

- на разность фазных токов при использовании для защиты ТТ, установленных на стороне высшего напряжения Т блока.

9.6 Значение уставки угла линии Φ_n в случае защиты блока Т – линия целесообразно принимать 75° , так как угол суммарного сопротивления Т и линии и соответственно угол сопротивления, подводимого к реле при КЗ в конце линии блока, близок к этому значению.

9.7 Во всех остальных случаях (согласование второй ступени ДЗ с защитами тока и напряжения, установленными на предыдущих участках, выбор выдержки времени второй ступени защиты, проверка чувствительности уставки второй ступени защиты и т.д.) расчёт необходимо производить так же, как для защиты одиночных линий (раздел 6).

10 Третья ступень ДЗ линий 35 - 220 кВ

10.1 Третья ступень ДЗ предназначена для резервирования защит присоединений (ЛЭП, трансформаторов), отходящих от шин противоположной подстанции.

ДО этой ступени должны действовать при КЗ в конце наиболее протяженной ЛЭП, отходящей от шин противоположной подстанции, и за подключенными за ней трансформаторами.

Выбор уставок по полному сопротивлению срабатывания третьей ступени ДЗ следует осуществлять исходя из условия обеспечения требуемого коэффициента чувствительности.

10.2 Согласно [2], коэффициент чувствительности k_{ν} уставки третьей ступени ДЗ необходимо рассчитывать при металлическом КЗ в конце зоны резервирования. В соответствии с [1] при КЗ в конце зоны резервирования $k_{\nu} \geq 1,2$, а при КЗ в конце защищаемой линии – $k_{\nu} \geq 1,5$.

10.3 Сопротивление срабатывания третьей ступени $Z_{с.з.}^{III}$, удовлетворяющее условию резервирования, обычно имеет большое значение.

В большинстве случаев угол сопротивления нагрузки значительно меньше угла сопротивления линии. В этом случае вектор сопротивления нагрузки имеет направление в сторону пересечения со стороной 2 четырехугольной характеристики ДО и может попасть в характеристику срабатывания.

Поэтому отстройка от тока нагрузки связана с выбором уставки по активному сопротивлению.

10.4 Критерии выбора уставки по активному сопротивлению приведены в разделе 11.

11 Расчёт уставки по активному сопротивлению

11.1 Уставку по активному сопротивлению $R_{уст}$ необходимо рассчитывать для случая неметаллического КЗ, когда к сопротивлению защищаемого участка добавляется переходное сопротивление.

При междуфазном замыкании переходным сопротивлением является активное сопротивление электрической дуги.

Уставку по активному сопротивлению $R_{уст}$ рассчитывают по формуле

$$R_{уст} = k_H \cdot \frac{R_D}{k_T \cdot 2}, \quad (11.1)$$

где k_H – коэффициент надёжности, равный 1,2;

R_D – сопротивление дуги, Ом;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току дуги.

11.2 Оценку активного сопротивления электрической дуги можно произвести с учётом рекомендаций, приведенных в [5]. Напряженность электрического поля дуги принята постоянной и равной 2500 В/м.

С учетом этого сопротивление электрической дуги R_D , соответствующее КЗ в конце защищаемого участка, можно оценить по формуле

$$R_D = \frac{2 \cdot I_D \cdot (Z_C + Z_{уст})}{\frac{U_\pi}{1050} - I_D}, \quad (11.2)$$

где I_D – длина дуги, м;

Z_C – полное сопротивление системы "за спиной", Ом;

$Z_{уст}$ – полное сопротивление срабатывания соответствующей ступени, Ом;

U_π – действующее значение линейного напряжения системы, В.

Сопротивление электрической дуги R_D с приближением места КЗ к источнику питания уменьшается.

Длина дуги изменяется во времени и через 0,5 – 1,0 с после возникновения может превысить расстояние между фазными проводами:

- в 2 раза – в безветренную погоду;
- в 3 - 4 раза – при небольшом ветре;
- в 8 - 10 раз – при сильном ветре.

Для первой ступени ДЗ время срабатывания $t' \approx 0$ с. Длину дуги I_D при расчёте уставки $R_{уст}$ первой ступени рекомендуется принимать равной расстоянию между проводами фаз.

При расчёте уставки $R_{уст}$ второй ступени длину дуги I_D рекомендуется принимать равной от 3 до 5 расстояний между проводами фаз.

При расчёте уставки $R_{уст}$ третьей ступени длину дуги I_D рекомендуется принимать равной от 7 до 10 расстояний между проводами фаз.

Для расчёта сопротивления дуги можно использовать шаблон модуля "ТКЗ" из программного комплекса "АРМ СРЗА".

11.3 Дополнительным условием выбора уставки по активному сопротивлению $R_{уст}$ является отстройка от нагрузочного режима и режима самозапуска электродвигателей.

Максимально допустимое значение уставки по активному сопротивлению $R_{уст макс}$, обеспечивающее условие возврата ДО в нагрузочном режиме и режиме самозапуска электродвигателей после отключения КЗ, рассчитывают с учётом коэффициента возврата k_B по формуле

$$R_{уст макс} = \frac{Z_{раб.мин}}{k_H \cdot k_B} \cdot \left(\cos(\Phi_H) - \frac{\sin(\Phi_H)}{\operatorname{tg}(\Phi_\pi - 5^\circ)} \right), \quad (11.3)$$

где $Z_{раб.мин}$ – минимальное значение сопротивления в рабочем режиме, Ом;

k_H – коэффициент надёжности, равный 1,2;

k_B – коэффициент возврата, равный 1,04;

Φ_H – угол нагрузки в рассматриваемом режиме, °.

Φ_π – угол линии, °.

Сопротивление $Z_{раб.мин}$ рассчитывают по формуле

$$Z_{\text{раб. min}} = \frac{U_{\text{раб. min}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{раб. max}}}, \quad (11.4)$$

где $U_{\text{раб. min}}$ – минимальное напряжения в месте установки защиты, В;
 $I_{\text{раб. max}}$ – максимальный рабочий тока в защищаемой линии, А.

В случае, когда допускается самозапуск электродвигателей формула (11.4) принимает вид

$$Z_{\text{раб. min}} = \frac{U_{\text{раб. min CЗ}}}{\sqrt{3} \cdot k_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{раб. max}}}, \quad (11.5)$$

где $U_{\text{раб. min CЗ}}$ – минимальное напряжение в месте установки защиты в момент самозапуска. Значение определяют расчётным способом. Ориентировочное значение может быть принято равным $0,7 - 0,8 U_{\text{раб. min}}$;

$k_{\text{сзп}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске электродвигателей.

Если в нагрузке преобладают электродвигатели, то значение коэффициента $k_{\text{сзп}}$ необходимо принимать равным от 2 до 4.

При небольшой электродвигательной нагрузке значение коэффициента $k_{\text{сзп}}$ принимают равным 1,5–2.

Если значение уставки по активному сопротивлению $R_{\text{уст}}$ превышает максимально допустимое значение $R_{\text{уст макс}}$, в качестве уставки по активному сопротивлению соответствующей ступени необходимо принять значение $R_{\text{уст макс}}$. В этом случае для присоединений, для которых не выполняется требование по обеспечению дальнего резервирования, необходимо рассмотреть возможность усиления ближнего резервирования.

Другим способом обеспечения дальнего резервирования может быть применение треугольной характеристики ДО (см. рисунок 4.4).

12 Расчёты уставок для защит от двойных замыканий на землю

12.1 Расчёт сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней ДЗ с токовой компенсацией необходимо производить с учётом как междуфазных КЗ, так и двойных замыканий на землю в сетях напряжением 35 кВ.

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 КЗ, пропорционально расстоянию от места установки защиты до места КЗ.

Таким образом, расчёт при двойном замыкании на землю в сетях напряжением 35 кВ необходимо производить исходя из тех же условий и формул, что и при междуфазном КЗ:

- таблица 6.1 – для одиночных линий;
- таблица 7.1 – для параллельных линий;
- таблицы 8.1 и 8.2 – для линий с ответвлениями;

- таблица 9.1 – для блока Т – линия.

Расчётным видом КЗ является тот вид, которому соответствует наибольшее значение коэффициента токораспределения.

12.2 В блоках БМРЗ фиксация двойного замыкания на землю на линиях 35 кВ происходит при превышении током нулевой последовательности $3I_0$ уставки ДЗ $I_{\text{СРАБ}}$.

Значение уставки $I_{\text{СРАБ}}$ рассчитывают по условию отстройки от максимального значения тока небаланса $I_{\text{НБ.РАСЧ.}}$, возникающего при междуфазном КЗ в месте установки рассматриваемой защиты [2], по формуле

$$I_{\text{СРАБ}} = k_{\text{Н}} \cdot I_{\text{НБ.РАСЧ.}} = k_{\text{Н}} \cdot k_{\text{апер.}} \cdot I_{\text{НБ.УСТ.}} \quad (12.1)$$

где $k_{\text{Н}} = 1,25$ – коэффициент надёжности;

$k_{\text{апер.}} = 2,0$ – коэффициент, учитывающий наличие аperiodической составляющей тока;

$I_{\text{НБ.УСТ.}}$ – ток небаланса в нулевом проводе ТТ в установившемся режиме при металлическом трёхфазном КЗ в месте установки рассматриваемой защиты, А.

Для ТТ, удовлетворяющих требованиям обеспечения 10 %-ной погрешности, $I_{\text{НБ.УСТ.}}$ может быть определён по формуле

$$I_{\text{НБ.УСТ.}} = k_{\text{ОДН}} \cdot f_i \cdot I_{\text{расч}} \quad (12.2)$$

где $k_{\text{ОДН}}$ – коэффициент однотипности ТТ, который в зависимости от кратности токов КЗ и значения сопротивления вторичных цепей ТТ принимают равным от 0,5 до 1,0 (при использовании однотипных ТТ $k_{\text{ОДН}} = 0,5$. Для разнотипных ТТ - $k_{\text{ОДН}} = 1,0$);

f_i – максимально возможная относительная погрешность ТТ при КЗ в месте установки рассматриваемой защиты, может быть принята равной 0,1;

$I_{\text{расч}}$ – расчётный ток металлического трёхфазного КЗ в месте установки рассматриваемой защиты, А.

12.3 Сопротивления контуров $Z_{\text{Д0}}$, $Z_{\text{В0}}$, $Z_{\text{С0}}$, на "зажимах" реле, рассчитывает ЦП блока БМРЗ по формулам (4.7) – (4.9). При расчётах учитывается ток нулевой последовательности и коэффициент компенсации тока нулевой последовательности линии $k_{\text{КОМП}}$, рассчитываемый по формуле [4]

$$k_{\text{КОМП}} = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1} \quad (12.3)$$

где Z_0 и Z_1 – соответственно сопротивления нулевой и прямой последовательностей защищаемого участка, Ом.

12.4 Согласно действующей редакции ПУЭ [1] защита от двойных замыканий на землю в большинстве случаев должна обеспечивать отключение только одного места повреждения при двойном замыкании на землю. После ликвидации двойного замыкания сеть остается в работе с однофазным

замыканием на землю. Такой принцип работы защиты позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей.

Отключение только одного места повреждения при двойном замыкании на землю в блоке БМРЗ обеспечивается наличием индивидуальных выдержек времени для каждого контура всех ступеней дистанционной защиты от двойных замыканий на землю.

Данная возможность реализована наличием следующих выдержек времени защиты: T_{A0} , T_{B0} , T_{C0} - выдержки времени контуров, T_1 , T_2 - выдержки времени ступеней. Суммарная выдержка времени соответствующего контура и соответствующей ступени определяет время срабатывания защиты.

Ликвидация двойного замыкания в сети будет выполнена тем блоком БМРЗ, суммарная выдержка времени которого будет меньшей.

Выдержки времени контуров T_{A0} , T_{B0} , T_{C0} следует выбирать отличными друг от друга не менее, чем на ступень селективности. Выдержка времени второй ступени защиты T_2 должна быть больше суммы выдержки времени первой ступени T_1 и максимальной из выдержек времени контуров T_{A0} , T_{B0} , T_{C0} не менее, чем на ступень селективности.

Значения соответствующих выдержек времени защиты должны быть одинаковыми во всей защищаемой сети.

13 Пересчёт уставок во вторичные величины

13.1 Перед вводом уставок в блок БМРЗ необходимо произвести их пересчёт из первичных значений во вторичные с учетом коэффициентов трансформации применяемых ТТ и ТН.

Пересчёт уставок по току производят по формуле

$$I_{C.P.} = \frac{I_{C.З.}}{n_T}, \quad (13.1)$$

где $I_{C.P.}$ – ток срабатывания реле (вторичное значение), А;

$I_{C.З.}$ – расчётный ток срабатывания защиты (первичное значение), А;

n_T – коэффициент трансформации ТТ.

13.2 Пересчёт уставок по напряжению производят по формуле

$$U_{C.P.} = \frac{U_{C.З.}}{n_H}, \quad (13.2)$$

где $U_{C.P.}$ – напряжение срабатывания реле (вторичное значение), В;

$U_{C.З.}$ – расчётное напряжение срабатывания защиты (первичное значение), В;

n_H – коэффициент трансформации ТН.

13.3 Пересчёт уставок по сопротивлению производят по формуле

$$Z_{C.P.} = Z_{C.З.} \frac{n_T}{n_H}, \quad (13.3)$$

где $Z_{C.P.}$ – сопротивления срабатывания реле (вторичное значение), Ом;

$Z_{C.З.}$ – расчётное сопротивления срабатывания защиты (первичное значение), Ом;

n_T – коэффициент трансформации ТТ;

n_H – коэффициент трансформации ТН.

Для линий, работающих в составе блока Т – линия, особенности пересчёта уставок по сопротивлению во вторичные значения приведены в 9.5.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2005. – 464 с.
2. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ. – М., Ленинград: "Энергия", 1966. – 172 с.
3. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. – М.: "Энергия", 1976.
4. Чернобровов Н.В. Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
5. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.

УДК 621.316.925.1

Ключевые слова: дистанционная защита, расчёт уставок, короткое замыкание, чувствительность защиты

**Генеральный директор
ООО "НТЦ "Механотроника"**

Шейкин И.С.

Генеральный конструктор

Гондуров С.А.

Заведующий кафедрой Релейной защиты
и автоматики электрических станций,
сетей и систем
Петербургского Энергетического
Института Повышения Квалификации
к.т.н.

Соловьёв А.Л.

Начальник отдела релейной защиты и
автоматики

Пирогов М.Г.

Начальник бюро разработки
эксплуатационной документации

Карлова И.А.

Заместитель начальника
управления по качеству

Захаров О.Г.

Главный специалист отдела релейной
защиты и автоматики

Илюхин Е.В.

НОРМОКОНТРОЛЬ:

Начальник бюро стандартизации и
технической документации

Ермоленко Л.М.

