

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

**Методика расчёта уставок защиты**

**Санкт-Петербург  
2012**

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.

**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 системотехники,

ПИРОГОВ М. Г.

Инженер-системотехник,

ЧЕРКЕСОВА И. В.

Инженер-системотехник,

ИЛЮХИН Е. В.

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

№

**3 ВВОДИТСЯ ВПЕРВЫЕ**

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 Введение.....	4
2 Обозначения и сокращения .....	5
3 Общие сведения о ДЗ.....	6
4 Особенности ДЗ в терминалах БМРЗ.....	7
4.1 Характеристики срабатывания .....	7
4.2 Включение цифровых РС .....	11
4.3 Ускорение ДЗМФ .....	13
4.4 Блокирование защиты при качаниях .....	13
5 Контроль исправности измерительных цепей напряжения .....	16
6 Одиночные линии 35 - 220 кВ.....	19
7 Две параллельные линии 35 - 220 кВ.....	28
8 Одиночные и параллельные линии 35 - 220 кВ с ответвлениями.....	37
9 Блок трансформатор (автотрансформатор) – линия 35 - 220 кВ .....	45
10 Третья ступень ДЗ линий 35 - 220 кВ.....	50
11 Расчёт уставки по активному сопротивлению.....	51
12 Расчёты уставок для защит от двойных замыканиях на землю.....	52
13 Пересчёт уставок во вторичные величины .....	53
Литература .....	55

Листов 57  
Формат А4

---

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**  
**ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 35 - 220 кВ.**  
**ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА**  
**Методика расчёта уставок защиты**

---

## **1 Введение**

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

В стандарте учтены особенности построения и функционирования цифровых устройств релейной защиты БМРЗ, а также опыт их эксплуатации.

Стандарт содержит указания по расчёту ДЗ 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».

Расчёты в стандарте выполнены в первичных значениях величин. Перед вводом в цифровое устройство релейной защиты уставок, первичные значения величин необходимо перевести во вторичные.

При выполнении практических расчётов рекомендуется применять программный комплекс АРМ СРЗА (ПК «БРИЗ», г. Новосибирск) или другие аналогичные расчётные программы.

Стандарт предназначен для специалистов, занятых в области проектирования и эксплуатации релейной защиты.

## 2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте приняты следующие обозначения и сокращения:

АПВ – автоматическое повторное включение;

БМРЗ – блок микропроцессорный релейной защиты;

ДЗ – дистанционная защита;

ДЗМФ – дистанционная защита от междуфазных коротких замыканий;

ДЗДВ – дистанционная защита от двойных замыканий на землю;

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;

Т – трансформатор (автотрансформатор);

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 [4].

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

Для обеспечения селективного отключения повреждённого участка сети [4] время срабатывания  $t$  ДЗ должно зависеть от расстояния до точки КЗ:

$$t = f(l) \quad (3-1)$$

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

При этом ближайшее к месту КЗ реле защиты всегда будет 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 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 помимо сопротивления самой линии приходится учитывать ряд других факторов:

- переходные сопротивления в месте повреждения;
- источники питания и нагрузки, находящиеся между точкой подключения реле и точкой КЗ и др. [4].

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;
- точнее контролировать конец защищаемого участка и шины противоположной подстанции второй зоной.

## 4 Особенности ДЗ в терминалах БМРЗ

### 4.1 Характеристики срабатывания

4.1.1 В терминалах БМРЗ реализована трёхступенчатая ДЗ от междуфазных КЗ.

В терминалах 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 четырёхугольных характеристик.

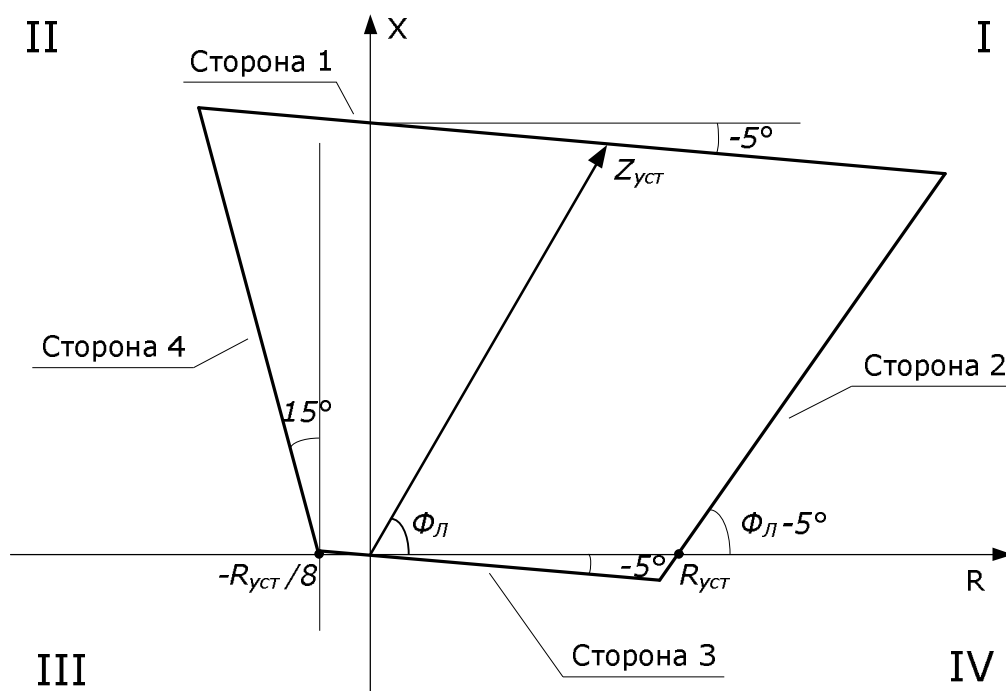


Рисунок 4.1 – Четырёхугольная характеристика ДЗ

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

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

$Z_{уст}$  – полное сопротивление, Ом;

$\varphi_l$  – угол линии, °.

Угол линии  $\varphi_l$  зависит от соотношения индуктивной и активной составляющих сопротивления прямой последовательности линии:

$$\varphi_l = \arctg\left(\frac{X_l}{R_l}\right), \quad (4-1)$$

где  $X_l$  – реактивное сопротивление защищаемой линии, Ом;

$R_l$  – активное сопротивление защищаемой линии, Ом.

Во всех трёх характеристиках положение стороны 1 (рисунки 4.1, 4.3 и 4.4) 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  $5^{\circ}$ .

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  $R_o$  с приближением точки КЗ к источнику питания уменьшается, угол наклона стороны 2 меньше угла линии и принят равным  $(\varphi_d - 5^{\circ})$ .

Для обеспечения срабатывания ДЗ при близких КЗ через переходное сопротивление угол наклона стороны 3 четырехугольной характеристики задан равным минус  $5^{\circ}$  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 по оси  $X$  на расстояние, равное  $1/8R_{уст}$ ;
- угол наклона стороны 4 задан равным  $15^{\circ}$  относительно оси  $X$ .

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

Погрешность используемых совместно с терминалами БМРЗ измерительных ТТ и ТН, а так же погрешность РС, применённого в терминале 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  $Z'_{с.з.}$  составляет порядка 85 % от полного сопротивления прямой последовательности линии. Таким образом, первая ступень оставляет незащищенными 10 – 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.

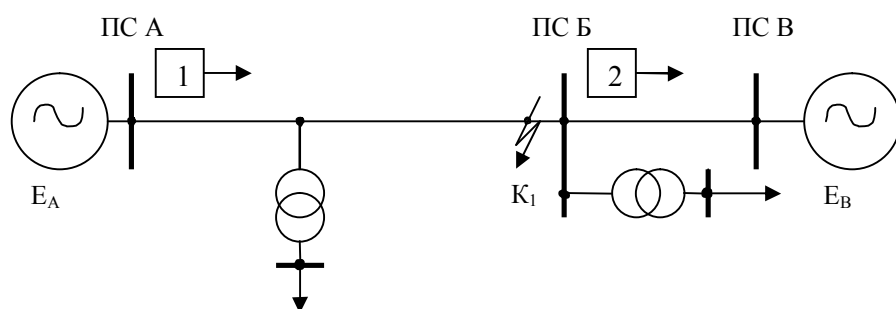


Рисунок 4.2 – Пример схемы сети с установленными ДЗ на ПС А и ПС Б

Выдержка времени срабатывания этой ступени принимается 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;

$\Phi_l$  – угол линии, °.

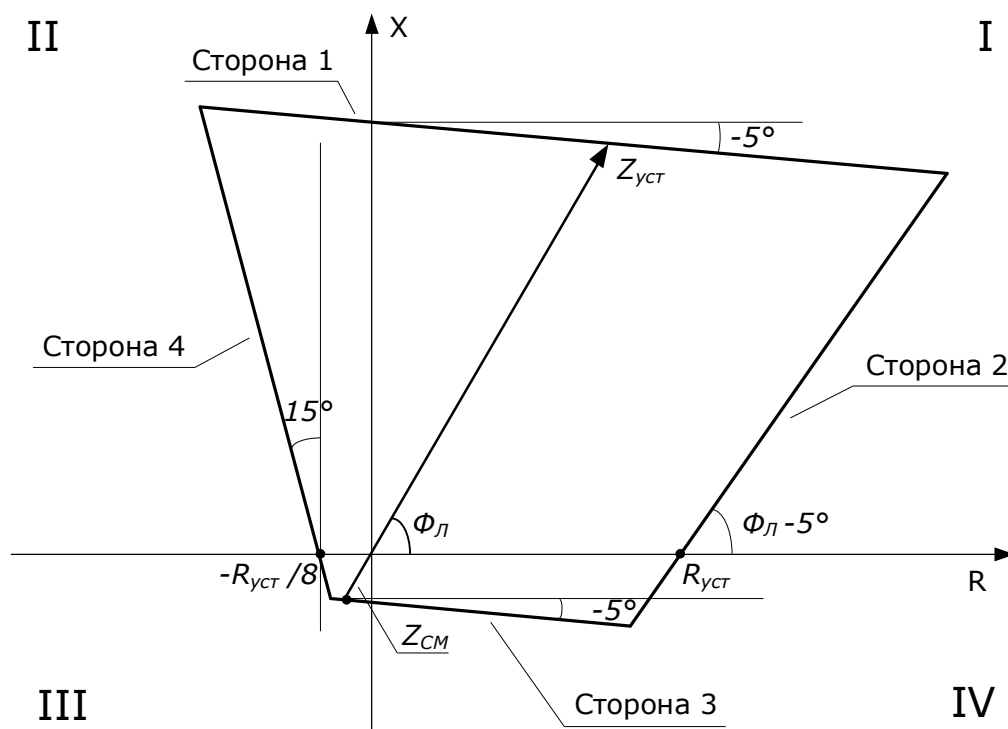


Рисунок 4.3 - Четырёхугольная характеристика ДЗ со смещением

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 10 – 15 % от длины линии;
- выполнения функции ближнего резервирования при отказе первых ступеней ДЗ элементов смежной линии при близких КЗ.

В зону, защищаемую второй ступенью ДЗ, входят шины на противоположном конце линии и отходящие от них элементы.

Уставку второй ступени защиты задают с учётом нагрузочных режимов и возможности подпитки от шин противоположного конца 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, то  $Z_{см}$  должно быть принятым равным нулю.

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

Характеристика третьей ступени выполняется четырехугольной.

4.1.9 Для третьей ступени предусмотрена возможность выбора следующих характеристик срабатывания:

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

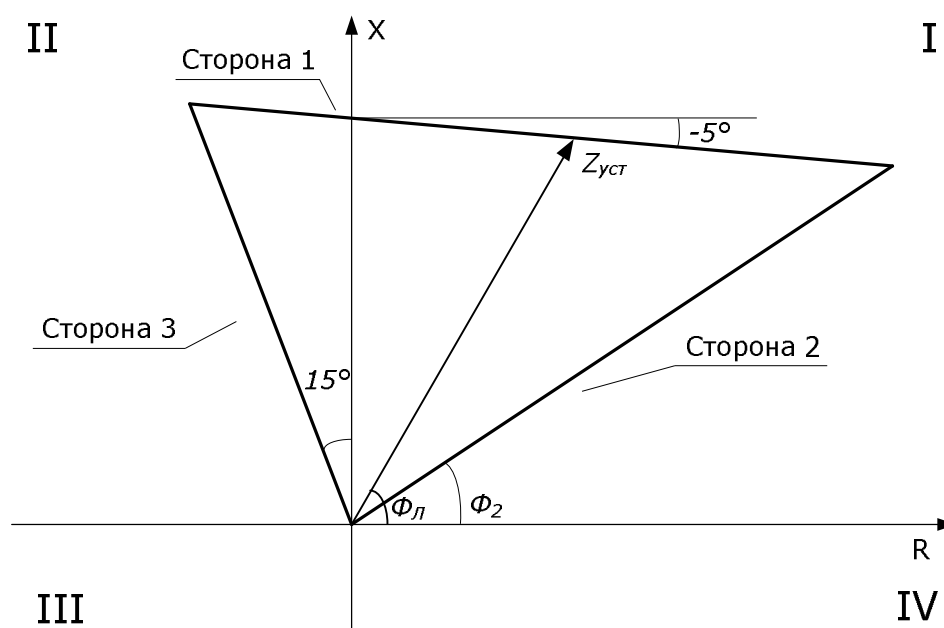


Рисунок 4.4 – Треугольная характеристика ДЗ

Треугольную характеристику задают следующими уставками:

$Z_{уст}$  – полное сопротивление, Ом;

$\Phi_l$  – угол линии,  $^{\circ}$ ;

$\Phi_2$  – 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).

Уставки защиты следует задавать с учётом предельных нагрузочных режимов и условий подпитки от шин противоположного конца линии.

Сопrotивление срабатывания III ступени ДЗ задают для КЗ в конце защищаемого участка зоны резервирования.

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. Поэтому защита определяет замыкание как более удалённое, чем есть на самом деле, т.е. фактическая длина защищаемой зоны уменьшается.

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

## 4.2 Включение цифровых РС

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

4.2.2 В алгоритме ДЗМФ реализованы РС, включённые на междуфазные напряжения и разность фазных токов. Расчёт сопротивлений контуров  $\underline{Z}_{ab}^1$ ,  $\underline{Z}_{bc}$ ,  $\underline{Z}_{ca}$  на «зажимах» реле происходит в ЦП терминала БМРЗ по формулам (4-2) – (4-4):

$$\underline{Z}_{ab} = \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_b}{\dot{I}_a - \dot{I}_b};^2 \quad (4-2)$$

$$\underline{Z}_{bc} = \frac{\dot{U}_b - \dot{U}_c}{\dot{I}_b - \dot{I}_c}; \quad (4-3)$$

$$\underline{Z}_{ca} = \frac{\dot{U}_c - \dot{U}_a}{\dot{I}_c - \dot{I}_a}, \quad (4-4)$$

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.

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

<sup>2</sup> 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, можно сказать, что 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:

$$\dot{U}_p = \dot{I}_p \cdot \underline{Z}_{y\delta} \cdot l, \quad (4-5)$$

где  $\underline{Z}_{y\delta}$  – 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:

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_{y\delta} \cdot l. \quad (4-6)$$

Поэтому сопротивление  $\underline{Z}_p$  зависит только от расстояния  $l$  до точки КЗ и не зависит от абсолютных значений  $\dot{U}_p$  и  $\dot{I}_p$  [4].

4.2.3 В алгоритме ДЗДВ реализованы РС, включённые по схеме с токовой компенсацией [8]. Расчёт сопротивления контуров  $\underline{Z}_{A0}$ ,  $\underline{Z}_{B0}$ ,  $\underline{Z}_{C0}$  на «зажимах» реле происходит в ЦП терминала БМРЗ с учётом тока нулевой последовательности и коэффициента компенсации тока нулевой последовательности линии  $k_{КОМП}$  по формулам (4-7) – (4-9) [8]:

$$\underline{Z}_{A0} = \frac{\dot{U}_A}{(\dot{I}_A + k_{КОМП} \cdot 3\dot{I}_0)}; \quad (4-7)$$

$$\underline{Z}_{B0} = \frac{\dot{U}_B}{(\dot{I}_B + k_{КОМП} \cdot 3\dot{I}_0)}; \quad (4-8)$$

$$\underline{Z}_{C0} = \frac{\dot{U}_C}{(\dot{I}_C + k_{КОМП} \cdot 3\dot{I}_0)}, \quad (4-9)$$

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 [8]:

$$k_{КОМП} = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1}, \quad (4-10)$$

где  $Z_1$  и  $Z_0$  – соответственно сопротивления прямой и нулевой 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 терминалах 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 терминалов БМРЗ возможно ускоренное срабатывание ДЗМФ, обеспечивающее селективное отключение КЗ в пределах всей линии с минимальной выдержкой времени.

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

При срабатывании РС первой ступени защиты одного конца защищаемой линии терминал БМРЗ формирует сигнал ускорения, который передается на другой конец защищаемой линии, где установлен второй терминал 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 терминалах 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 терминал защиты.

### 4.4 Блокирование защиты при качаниях

4.4.1 Для исключения возможного ложного действия РС при качаниях в энергосистеме, в терминалах БМРЗ для первой, второй и третьей ступеней ДЗ с помощью алгоритма «УБК» происходит блокирование защиты при качаниях.

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  $T_{\text{Д.Б.1}}$ .

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

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

$$T_{Д.Б.2} = t_{с.з.}^{III} + 0,1 \text{ с}, \quad (4-11)$$

где  $t_{с.з.}^{III}$  - время срабатывания III ступени ДЗ, с.

Для разблокирования всех ступеней защиты при КЗ в защищаемой зоне, уставки пусковых органов алгоритма «УБК» рассчитывают для зоны действия III 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.

Исследования и опыт эксплуатации показывают, что 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. Помимо 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 [8], наличие которых и позволяет установить факт возникновения КЗ.

Такое различие между режимами КЗ и качаний использовано для работы алгоритма «УБК» в терминалах 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:

$$I_{\phi.УБК} = \frac{I_{КЗ \min} - I_{\text{раб. max}}}{K_{\phi}}, \quad (4-12)$$

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

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

$K_{\phi}$  – коэффициент чувствительности, значение которого выбирают из диапазона 1,5 - 2,5.

Уставку по приращению напряжения обратной последовательности рассчитывают по формуле:

$$U_{2УБК} = \frac{U_{2 \min}}{K_{\phi}}, \quad (4-13)$$

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

$K_{\phi}$  – коэффициент чувствительности, значение которого выбирают из диапазона 1,5 - 2,5.

Уставку по приращению напряжения обратной последовательности при наличии несимметрии в режиме нагрузки и в режиме качаний вычисляют по формуле:

$$U_{2УБК} = \frac{U_{2 \min} - U_{\text{нб}}}{K_{\phi}}, \quad (4-14)$$

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

$U_{\text{нб}}$  – максимальное значение напряжения небаланса в режиме нагрузки и в режиме качаний энергосистемы, В;

$K_{\phi}$  – коэффициент чувствительности, значение которого выбирают из диапазона 1,5 - 2,5.

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

Значение коэффициента надежности  $k_H$  принимают равным 1,2.

Уставку по приращению тока обратной последовательности определяют по формуле:

$$I_{2УБК} = \frac{I_{2 \min}}{K_{\phi}}, \quad (4-15)$$

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

$K_{\phi}$  – коэффициент чувствительности, принимаемый из диапазона 1,5 - 2,5.

При наличии несимметрии в режиме нагрузки и в режиме качаний уставку по приращению тока обратной последовательности рассчитывают по формуле:

$$I_{2УБК} = \frac{I_{2\min} - I_{нб}}{K_q}, \quad (4-16)$$

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

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

$K_q$  – коэффициент чувствительности, значение которого выбирают из диапазона 1,5 - 2,5.

После расчёта уставки  $I_{2УБК}$  необходимо удостовериться, что условие  $I_{2УБК} \geq k_H \cdot I_{нб}$  выполнено.

Как и ранее значение коэффициента надёжности  $k_H$  принимают 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 III 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 терминалах БМРЗ предусмотрен алгоритм «КЦН», схема которого приведена в РЭ на соответствующее исполнение терминала.

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 терминала ( $\dot{U}_{A0}$ ,  $\dot{U}_{B0}$ ,  $\dot{U}_{C0}$ ,  $\dot{U}_{НН}$  и  $\dot{U}_{ИК}$ ) ниже значения 5 В приводит к срабатыванию реле минимального напряжения и появлению выходного сигнала «РМН».

5.2 В терминале 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 фаза<sup>3</sup> «А»;
- особая фаза «В»;
- особая фаза «С».

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

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

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

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

Особая фаза	Номинальное напряжение дополнительной обмотки 100 В	Номинальное напряжение дополнительной обмотки 100/3 В
«А»	$\dot{U}_{кци} = ((\dot{U}_{В0} + \dot{U}_{С0}) - \dot{U}_{А0}) + (\dot{U}_{НИ} - \dot{U}_{ИК}) \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$\dot{U}_{кци} = ((\dot{U}_{В0} + \dot{U}_{С0}) - \dot{U}_{А0}) + (\dot{U}_{НИ} - \dot{U}_{ИК}) \cdot \sqrt{3}$
«В»	$\dot{U}_{кци} = ((\dot{U}_{А0} + \dot{U}_{С0}) - \dot{U}_{В0}) + (\dot{U}_{НИ} - \dot{U}_{ИК}) \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$\dot{U}_{кци} = ((\dot{U}_{А0} + \dot{U}_{С0}) - \dot{U}_{В0}) + (\dot{U}_{НИ} - \dot{U}_{ИК}) \cdot \sqrt{3}$
«С»	$\dot{U}_{кци} = ((\dot{U}_{А0} + \dot{U}_{В0}) - \dot{U}_{С0}) + (\dot{U}_{НИ} - \dot{U}_{ИК}) \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$	$\dot{U}_{кци} = ((\dot{U}_{А0} + \dot{U}_{В0}) - \dot{U}_{С0}) + (\dot{U}_{НИ} - \dot{U}_{ИК}) \cdot \sqrt{3}$ ,

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  $\dot{U}_{кци}$  превышает значение 10 В, алгоритм формирует сигнал «НЦН».

5.4 Сигнал «НЦН» вырабатывается также при отсутствии всех пяти входных напряжений<sup>4</sup>.

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 задавать уставку по времени  $T_{НЦН}$ , меньшую, чем время срабатывания данных ступеней на ступень селективности  $\Delta t$ . Значение  $\Delta t = 0,3 \div 0,4$  с.

<sup>3</sup> Под «особой фазой» понимают фазу, из соединенных в звезду фаз вторичных цепей ТН, вектор которой сонаправлен с вектором напряжения разомкнутого треугольника  $\dot{U}_{НИ}$ .

<sup>4</sup> Ситуация возможна при обрывах контрольных кабелей, отключении автоматических выключателей или выгорании плавких вставок ТН.

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 задавать на ступень селективности  $\Delta t$  больше, чем время срабатывания данных ступеней. Значение  $\Delta t = 0,3 \div 0,4 c$ .

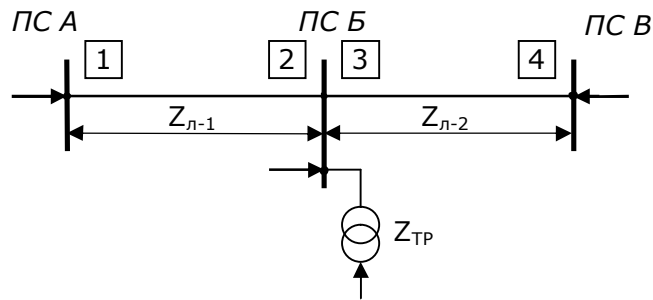
В случае обрыва нулевого провода корректная работа РС ДЗМФ сохраняется.

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

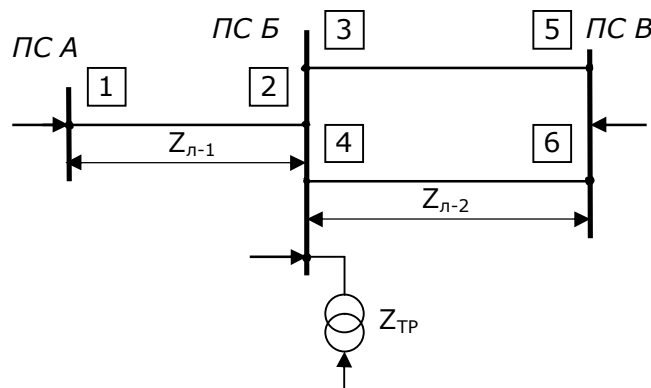
## 6 Одноточные линии 35 - 220 кВ

6.1 Сопротивления срабатывания первой  $Z_{СЗ}^I$  и второй  $Z_{СЗ}^{II}$  ступеней ДЗ одиночных линий с двусторонним (рисунок 6.1 а) – г)) и односторонним (рисунок 6.1, д)) питанием определяют для случаев металлических КЗ по выражениям, приведённым в таблице 6.1. Результаты расчётов соответствуют первичным значениям.

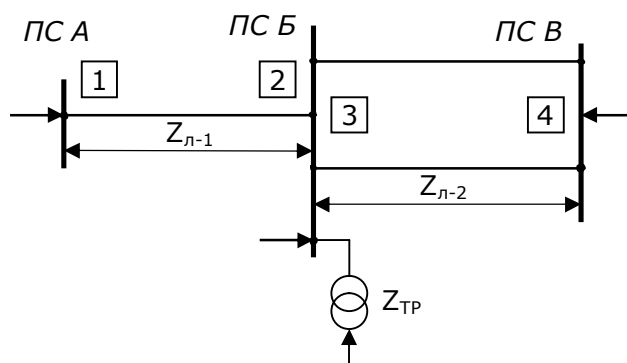
а)



б)



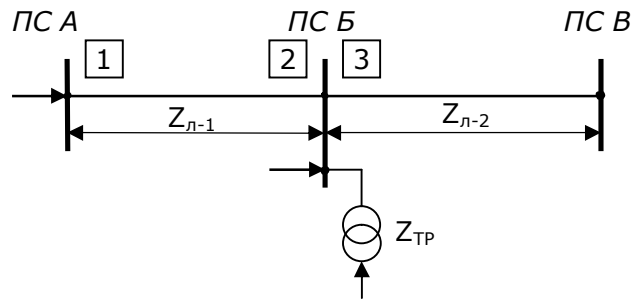
в)



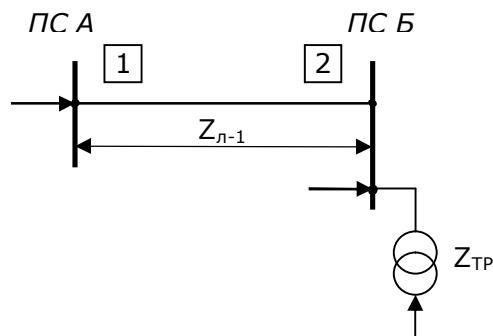
$Z_{л-1}$ ,  $Z_{л-2}$  – сопротивления линий,  $Z_{ТР}$  – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на ПС Б

Рисунок 6.1 (лист 1 из 2) - Примеры схем участков сети с одиночными 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 выражениях, приведенных в таблице 6.1, под первой ступенью защиты подразумевают ступень без выдержки времени, а под второй – ступень с выдержкой времени, равной ступени селективности  $\Delta t$ .

Выражения таблицы 6.1 применяются при использовании ДЗ в качестве основной или резервной защиты.

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

Таблица 6.1 - Расчётные выражения для сопротивлений срабатывания I и II ступеней ДЗ одиночных линий

Ступень защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Расчётное выражение для полного сопротивления		Условие обеспечения чувствительности $Z_{c.з.1}^{II} \geq 1,25Z_{л-1}$
			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	$Z_{c.з.1}^I \leq \frac{Z_{л-1}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z_{c.з.1}^I \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} \quad (6)$	Не требует проверки
	2 (рисунок 6.1 д))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z_{c.з.1}^I \leq \frac{Z_{л-1} + Z_{TP}}{1 + \beta + \delta} \quad (2)$	$Z_{c.з.1}^I \lesssim 0,85 \cdot (Z_{л-1} + Z_{TP}) \quad (7)$	$\frac{Z_{TP}}{Z_{л-1}} \geq 0,47$
II	3 (рисунок 6.1 а))	Согласование с первой ступенью защиты 3	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k_{T,II}} Z_{c.з.3}^I}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$	$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,66}{k_{T,II}} Z_{л-2} \quad (8)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 0,6k_{T,II}$
	4 (рисунок 6.1 г))			$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,78}{k_{T,II}} Z_{c.з.3}^I \quad (9)$	$\frac{Z_{c.з.3}^I}{Z_{л-1}} \geq 0,51k_{T,II}$
	5 (рисунок 6.1 б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б - ПС В	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1}{k_{T,II}} 0,5Z_{л-2}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$	$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,43}{k_{T,II}} Z_{л-2} \quad (10)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 0,93k_{T,II}$
	6 (рисунок 6.1 а), б), в), г))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{Z_{TP}}{k_{T,TP}}}{1 + \beta + \delta} \quad (5)$	$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot (Z_{л-1} + \frac{Z_{TP}}{k_{T,TP}}) \quad (11)$	$\frac{Z_{TP}}{Z_{л-1}} \geq 0,47k_{T,TP}$

## Примечания:

1. Выражения даны для определения сопротивлений срабатывания первой  $Z_{c.з.1}^I$  и второй  $Z_{c.з.1}^{II}$  ступеней применительно к защите **1** одиночных линий по схемам рисунка 6.1.
2. Выражения (6) ÷ (11) и соотношения, обеспечивающие требуемую чувствительность второй ступени, составлены для коэффициентов  $\alpha = 0,1$ ;  $\beta = 0,05$  и  $\delta = 0,1$ .
3. Расчётные выражения варианта расчёта б даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.

6.2 В выражениях для расчёта сопротивлений срабатывания (таблица 6.1) с помощью коэффициентов  $\delta$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  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  $\delta$  принимают равным  $\delta = 0,1$ ;

- погрешности ТТ и ТН и релейной аппаратуры ( $\alpha$  - в сторону уменьшения,  $\beta$  - в сторону увеличения защищаемой зоны).

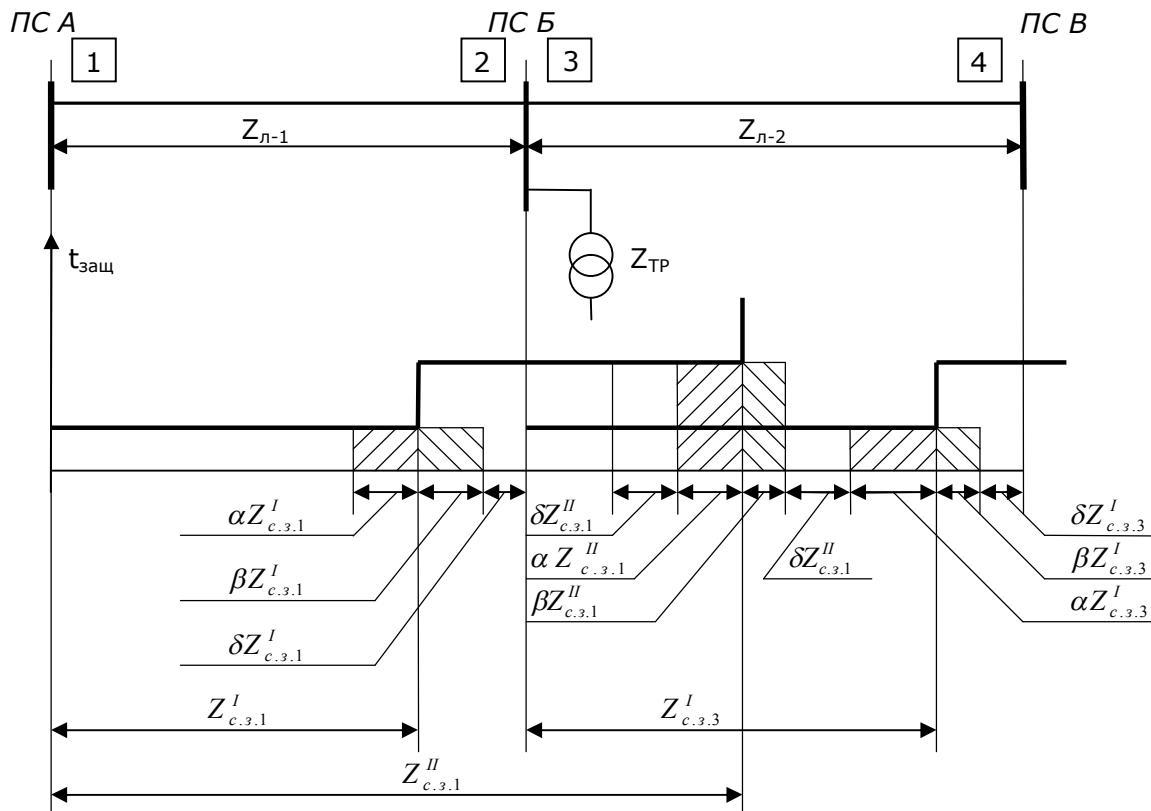


Рисунок 6.2 – Погрешности работы ДЗ

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

Коэффициент  $\alpha$  должен быть больше коэффициента  $\beta$ .

Значения коэффициентов в таблице 6.1 принимают:  $\alpha = 0,1$ ,  $\beta = 0,05$ . Приведенные здесь ориентировочные значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  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).

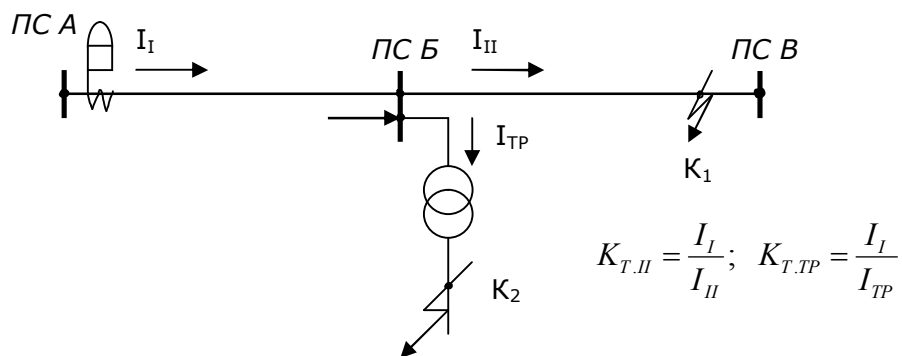
6.4 В выражениях (3) – (5) и (8) – (11) таблицы 6.1 для выбора сопротивления второй ступени ДЗ необходимо учитывать коэффициент токораспределения  $k_T$ , который равен отношению первичного тока в защите к току в рассматриваемом участке (рисунок 6.3).

Токи КЗ для определения расчётного значения коэффициента  $k_T$  можно рассчитывать 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 выражения, используемые в таблице 6.1.

а)



б)

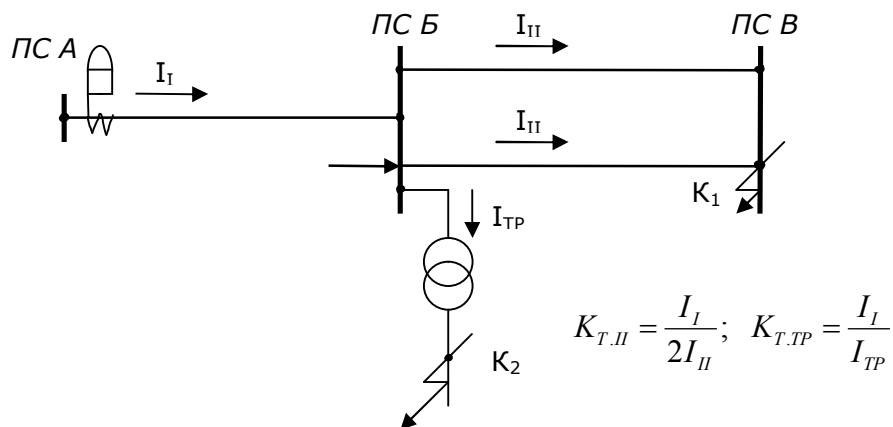


Рисунок 6.3 – Примеры определения коэффициента токораспределения  $k_T$  для одиночных линий

6.5 В схемах, аналогичных приведённым на рисунке 6.1 б) и 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 считаться с возможностью 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 б (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 (п. 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 выражению, аналогичному (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 КЗ<sup>5</sup>;

$k_T$  – 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 выражение (6-1), в общем случае может быть определено графически по кривым изменения:

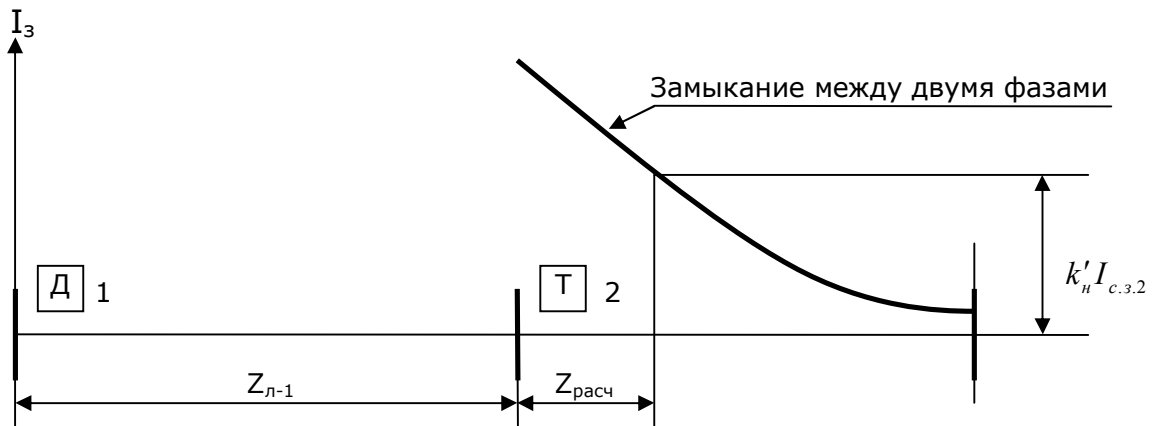
- токов в защите при КЗ (рисунок 6.4, а)) - для согласования с уставкой токовой отсечки или токового органа комбинированной отсечки по току и напряжению;

- 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.

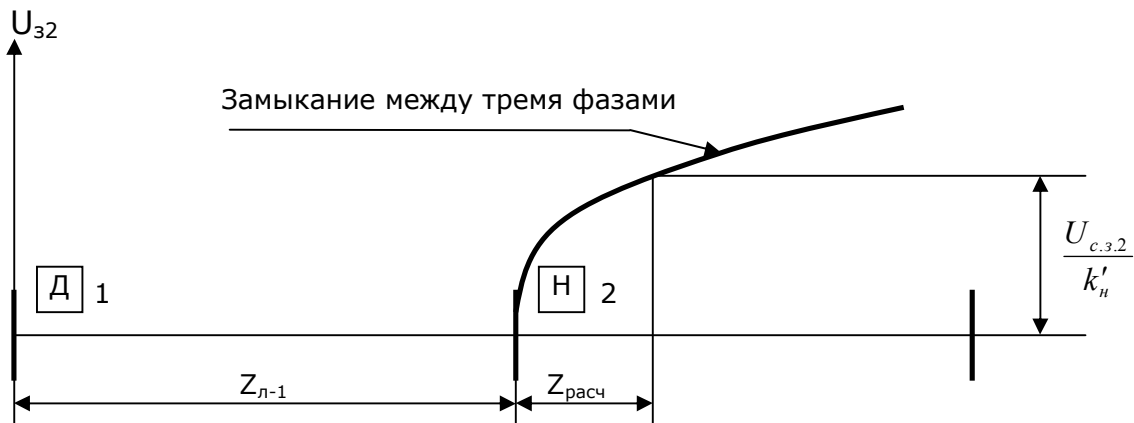
<sup>5</sup> При этом коэффициент надёжности  $k'_n = 1,1$ .

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;

$I_{32}$  и  $U_{32}$  – 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;

$k'_н$  – 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.

Вызвано это 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 (пп. 6.4 – 6.7) принимают на ступень  $\Delta t$  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  $k_{\text{ч}}$  второй ступени ДЗ необходимо проверять для металлическом 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 пп. 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.

В этом случае сопротивление срабатывания рассматриваемой ступени защиты принимают исходя из условия обеспечения минимального значения коэффициента чувствительности  $k_{\text{ч}}$  в соответствии с п. 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 выражениям (3) и (8) таблицы 6.1, а знаменатель правой части выражений должен быть умножен на коэффициент возврата  $k_B$ .

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 выражениям (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 же 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.

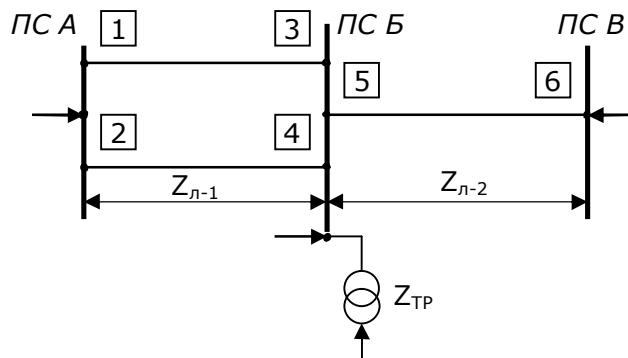
6.11 При согласовании с первой ступенью защиты предыдущего участка (таблица 6.1, вариант расчёта 3) может потребоваться учёт коэффициента возврата, когда из-за влияния коэффициента токораспределения защита недопустимо загрубляется.

## 7 Две параллельные линии 35 - 220 кВ

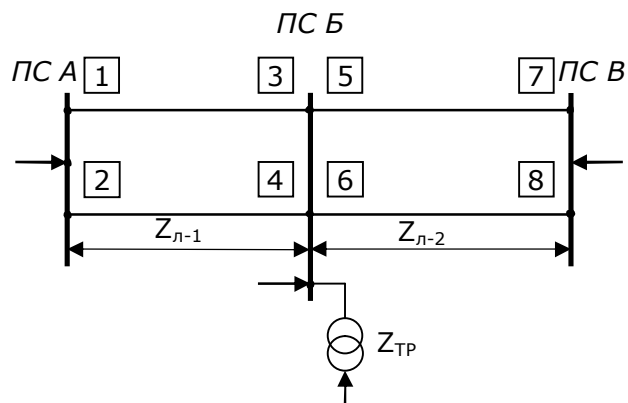
7.1 Сопротивление срабатывания  $Z_{с.з.}^1$  первой ступени ДЗ (выполненной без выдержки времени) параллельных линий с двусторонним (рисунок 7.1 а) – е)) и односторонним питанием, кроме тупиковых, определяют, как и для защиты одиночных линий по выражениям (1) и (6) таблицы 6.1.

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.

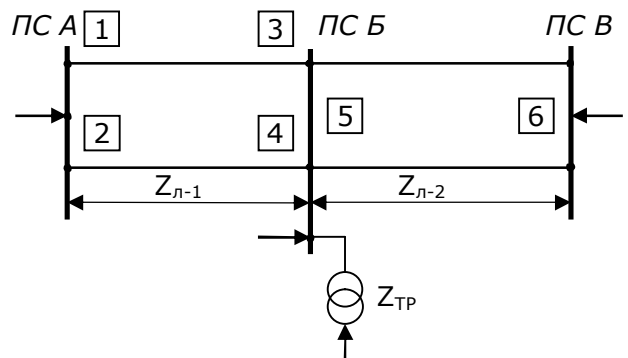
а)



б)



в)

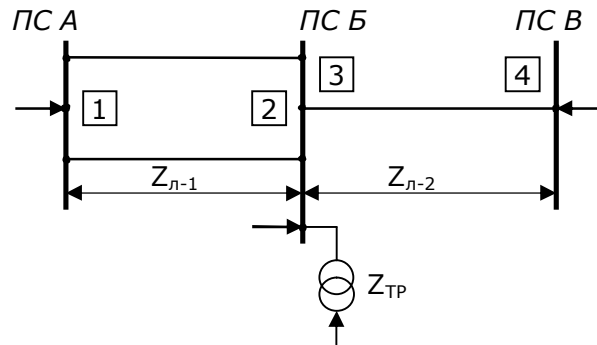


$Z_{л-1}$ ,  $Z_{л-2}$  – сопротивления линий;  $Z_{ТР}$  – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на ПС Б

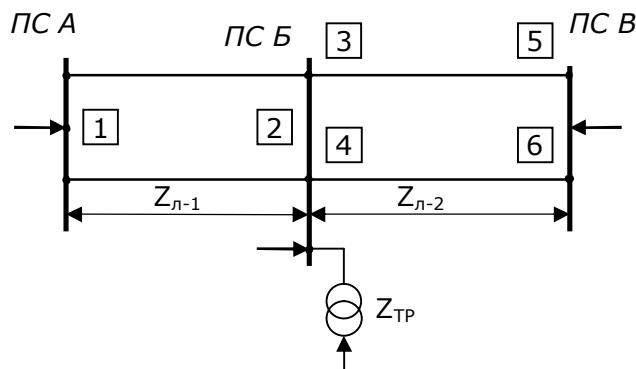
Рисунок 7.1 (лист 1 из 3) – Примеры схем участков сети с

параллельными линиями

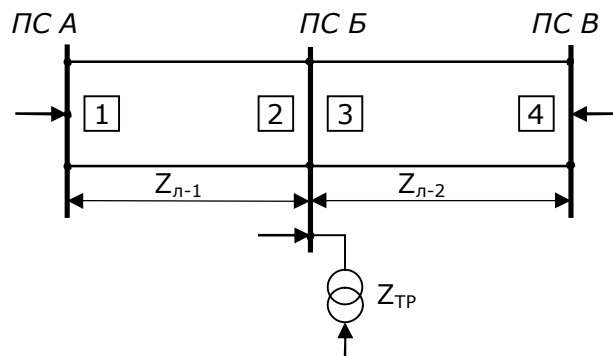
г)



д)



е)



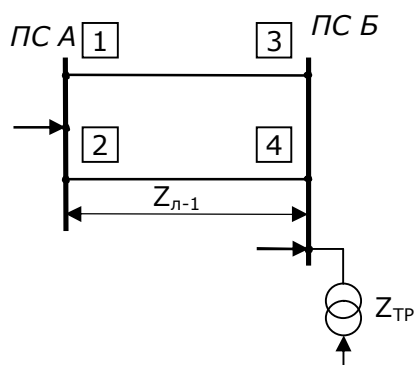
$Z_{л-1}, Z_{л-2}$  – сопротивления линий;  $Z_{ТР}$  – минимальное эквивалентное сопротивление параллельно работающих трансформаторов на ПС Б

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

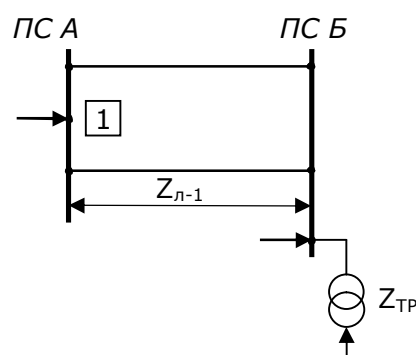
Сопротивление срабатывания  $Z_{с.з.}^I$  первой ступени ДЗ тупиковых параллельных линий определяют:

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

ж)



з)



$Z_{л-1}, Z_{л-2}$  – 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

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), з)) питанием, выполненной с выдержкой времени, равной ступени селективности, определяют для случаев металлических КЗ по выражениям, 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 выражениям (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.

Выражения, 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 выражения, 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 пп. 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 п. 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 выражениям (3) и (8) таблицы 6.1, но знаменатель правой части выражений должен быть умножен на коэффициент возврата  $k_B$ .

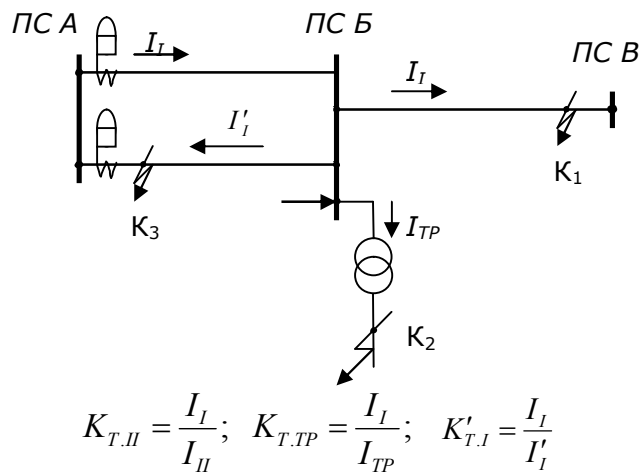
Таблица 7.1 - Выражения для определения сопротивлений срабатывания второй ступени ДЗ параллельных линий

Включение защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Расчётное число линий на участке ПС А-ПС Б	Расчётное выражение		Условие обеспечения чувствительности $Z_{c.з.1}^{II} \geq 1,25Z_{л-1}$
				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 5	Одна	$Z_{c.з.1}^I \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k_{T,II}} \cdot Z_{c.з.5}^I}{1+\beta+\delta} \quad (1)$	$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,66}{k_{T,II}} Z_{л-2} \quad (8)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 0,6k_{T,II}$
	2 (рисунок 7.1 б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В		$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1}{k_{T,II}} \cdot 0,5Z_{л-2}}{1+\beta+\delta} \quad (2)$	$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,43}{k_{T,II}} Z_{л-2} \quad (9)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 0,93k_{T,II}$
	3 (рисунок 7.1 а), б), в), ж))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б		$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{Z_{TP}}{k_{T,TP}}}{1+\beta+\delta} \quad (3)$	$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot (Z_{л-1} + \frac{Z_{TP}}{k_{T,TP}}) \quad (10)$	$\frac{Z_{TP}}{Z_{л-1}} \geq 0,47k_{T,TP}$
	4 (рисунок 7.1 а), б), в), ж))	Согласование с первой ступенью защиты 4 при каскадном отключении КЗ на параллельной линии	Две	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k'_{T,I}} Z_{c.з.4}^I}{1+\beta+\delta} \quad (4)$	$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,66}{k'_{T,I}} Z_{л-1} \quad (11)$	$k'_{T,I} \leq 1,66$
5 (рисунок 7.1 г))	Согласование с первой ступенью защиты 3	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k_{T,II}} Z_{c.з.3}^I}{1+\beta+\delta} \quad (5)$		$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,43 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,66}{k_{T,II}} Z_{л-2} \quad (12)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,25k_{T,II}$	
6 (рисунок 7.1 д), е))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{л-1} + \frac{1}{k_{T,II}} \cdot 0,5 \cdot Z_{л-2}}{1+\beta+\delta} \quad (6)$		$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,43 \cdot (Z_{л-1} + \frac{Z_{л-2}}{k_{T,II}}) \quad (13)$	$\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,91k_{T,II}$	
На сумму токов двух линий	7 (рисунок 7.1 г), д), е), з))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б		$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{л-1} + \frac{Z_{TP}}{k_{T,TP}}}{1+\beta+\delta} \quad (7)$	$Z_{c.з.1}^{II} \lesssim 0,43 \cdot Z_{л-1} + \frac{0,85}{k_{T,TP}} Z_{TP} \quad (14)$	$\frac{Z_{TP}}{Z_{л-1}} \geq 0,97k_{T,TP}$

## Примечания:

- 1 В таблице даны выражения 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 выражения даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.
- 4 Соотношение, обеспечивающее требуемую чувствительность второй ступени защиты, включенной на сумму токов параллельных линий, при КЗ в конце линии  $Z_{c.з.1}^{II} \geq 1,25Z_{л-1}$  приведено для случая отключения одной из параллельных линий.

а)



б)

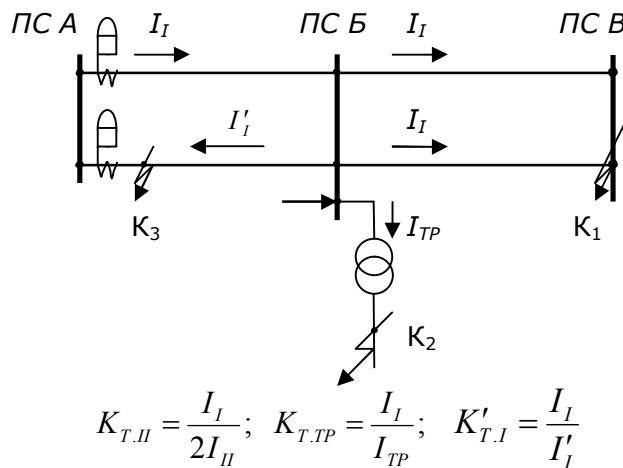


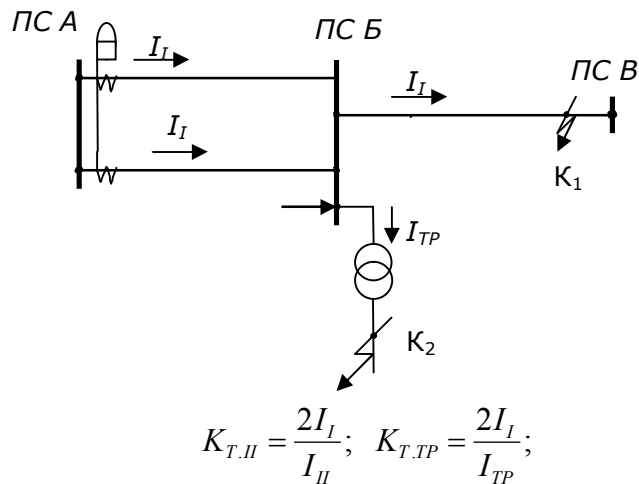
Рисунок 7.2 (лист 1 из 2) – Примеры определения коэффициента токораспределения  $k_T$  для параллельных линий

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 В<sup>6</sup>.

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.

<sup>6</sup> Первая ступень защиты 5 вводится в действие только при отключении одной из линий на участке ПС Б – ПС В.

в)



г)

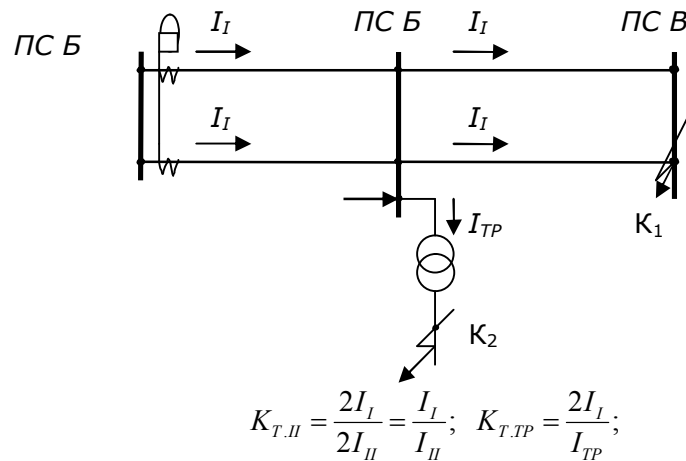


Рисунок 7.2 (лист 2 из 2) – Примеры определения коэффициента токораспределения  $k_T$  для параллельных линий

7.3.3 В схемах рисунка 7.1 а) – в) и 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) и 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) и 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 каскадном её отключении.

7.3.5 В тех случаях, когда вторая ступень ДЗ, выбранная в соответствии с пп. 7.3.1 - 7.3.3, не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно её сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать в соответствии с указаниями раздела 6, п. 10.

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

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 з) 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 ①, ②, ③ (рисунок 7-3).

Линия ① 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) и е) ( $\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,91k_T$ , см. вариант расчёта 6 таблицы 7.1).

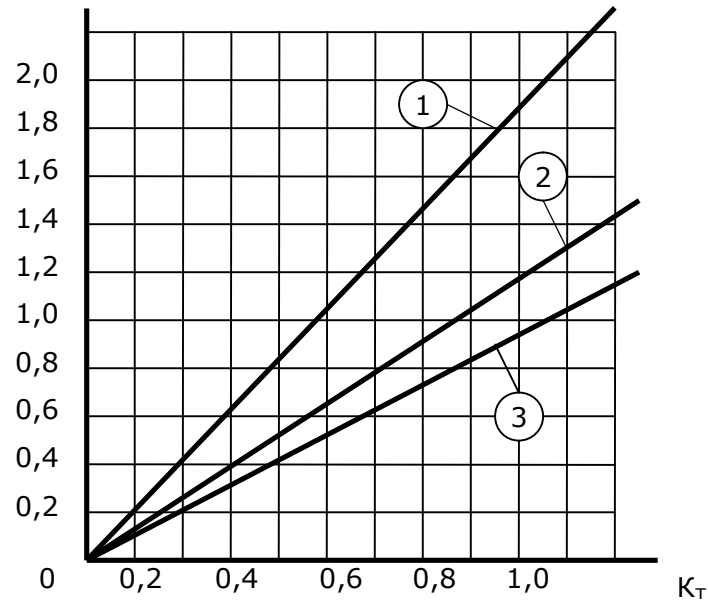
Линия ② соответствует случаю, когда уставка второй ступени суммарной ДЗ согласована с уставкой защитой 3 в схеме рисунка 7.1 г) ( $\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,25k_T$ , см. вариант расчёта 5 таблицы 7.1).

Линия ③ 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) ( $\frac{Z_{TP}}{Z_{л-1}} \geq 0,97k_T$ , 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), с тем только отличием, что для суммарной защиты определение чувствительности необходимо производить по режиму работы одной из параллельных линий рассматриваемого участка.

отношение  
сопротивлений



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

Линия ① -  $\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,91k_T$ ; Линия ② -  $\frac{Z_{л-2}}{Z_{л-1}} \geq 1,25k_T$ ; Линия ③ -  $\frac{Z_{TP}}{Z_{л-1}} \geq 0,97k_T$ ;

$k_T$  - 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 и 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 выражениям из таблицы 8.1 - для одиночных линий с ответвлениями (схемы рисунка 8.1);
- по выражениям из таблицы 8.2 - для параллельных линий с ответвлениями (схемы рисунка 8.3).

Выражения для определения значений коэффициентов токораспределения  $k_T$ , входящих в расчётные выражения 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).

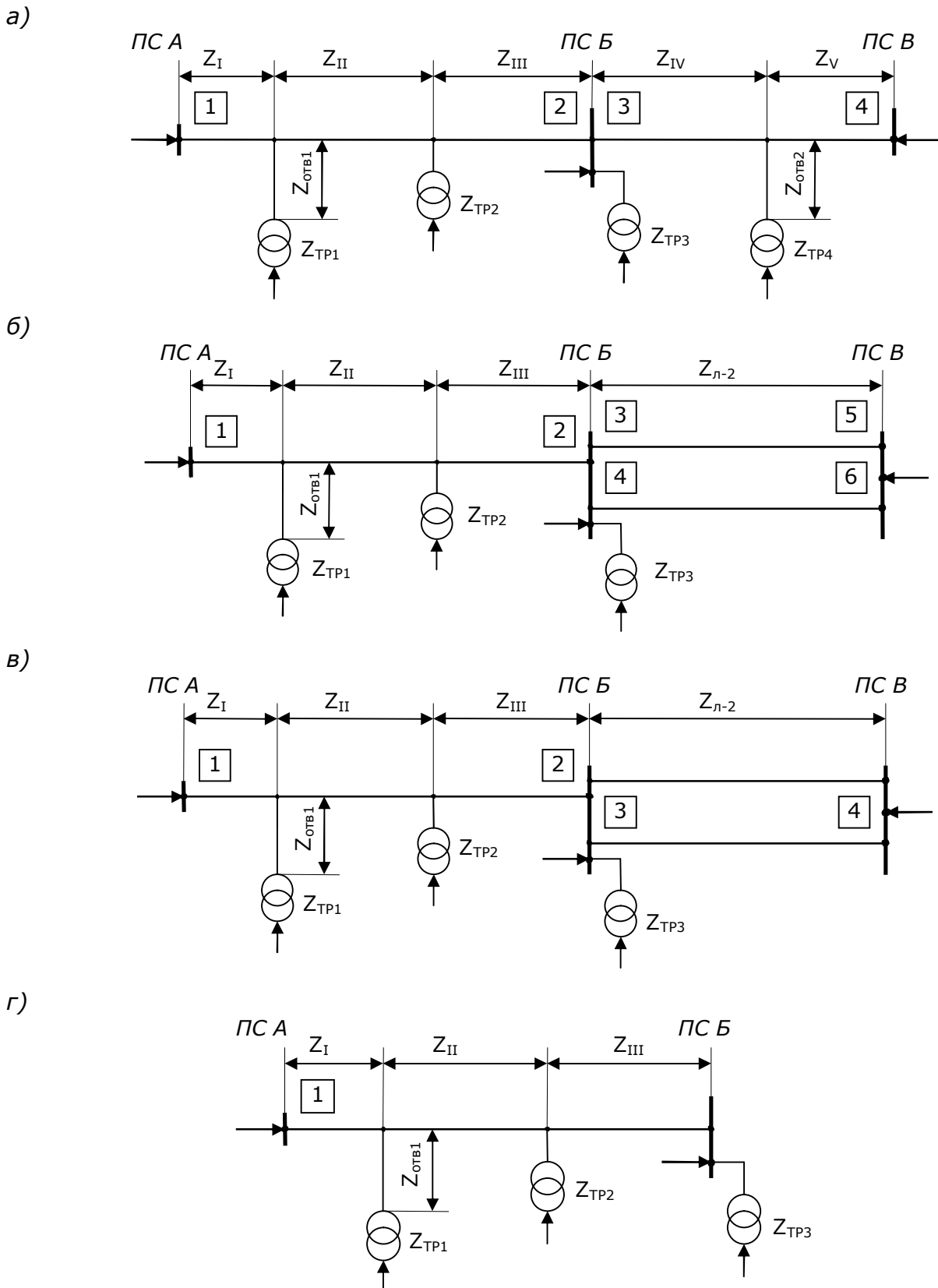
В качестве сопротивления срабатывания для первой и второй ступеней защиты принимаются наименьшие из сопротивлений, полученных по приведенным в таблицах 8.1 и 8.2 расчётным условиям.

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 При этом 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.



$Z_{TP1}, Z_{TP2}, Z_{TP3}, Z_{TP4}$ , – 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 - Выражения для определения сопротивлений срабатывания ДЗ одиночных линий с ответвлениями

Степень защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Расчётное выражение	
			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	$Z'_{c.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z'_{c.з.1} \approx 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) \quad (8)$
	2 (рисунок 8.1 г))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z'_{c.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP.3}}{k_{T,III}}}{1 + \beta + \delta} \quad (2)$	$Z'_{c.з.1} \approx 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III} + Z_{TP.3}}{k_{T,III}} \right) \quad (9)$
I и II	3 (рисунок 8.1 а), б), в), г))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС на ответвлениях	$Z_{c.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{om61} + Z_{TP.1}}{k_{T,TP.1}}}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$	$Z_{c.з.1} \approx 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{om61} + Z_{TP.1}}{k_{T,TP.1}} \right) \quad (10)$
	4 (рисунок 8.1 а), б), в), г))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС на ответвлениях	$Z_{c.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{TP.2}}{k_{T,TP.2}}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$	$Z_{c.з.1} \approx 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{TP.2}}{k_{T,TP.2}} \right) \quad (11)$
II	5 (рисунок 8.1 а))	Согласование с первой степенью защиты З	$Z''_{c.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{1-\alpha}{k_{T,IV}} \cdot Z_{IV} + \frac{1-\alpha}{k_{T,V}} \cdot (Z'_{c.з.3} - Z_{IV})}{1 + \beta + \delta} \quad (5)$	$Z''_{c.з.1} \approx 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) + 0,78 \cdot \left( \frac{Z_{IV}}{k_{T,IV}} + \frac{Z'_{c.з.3}}{k_{T,V}} - \frac{Z_{IV}}{k_{T,V}} \right) \quad (12)$
II	6 (рисунок 8.1 б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z''_{c.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{0,5 \cdot Z_{л-2}}{k_{T,IV}}}{1 + \beta + \delta} \quad (6)$	$Z''_{c.з.1} \approx 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) + \frac{0,43}{k_{T,IV}} \cdot Z_{л-2} \quad (13)$
	7 (рисунок 8.1 а), б), в))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z''_{c.з.1} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP.3}}{k_{T,TP.3}}}{1 + \beta + \delta} \quad (7)$	$Z''_{c.з.1} \approx 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP.3}}{k_{T,TP.3}} \right) \quad (14)$

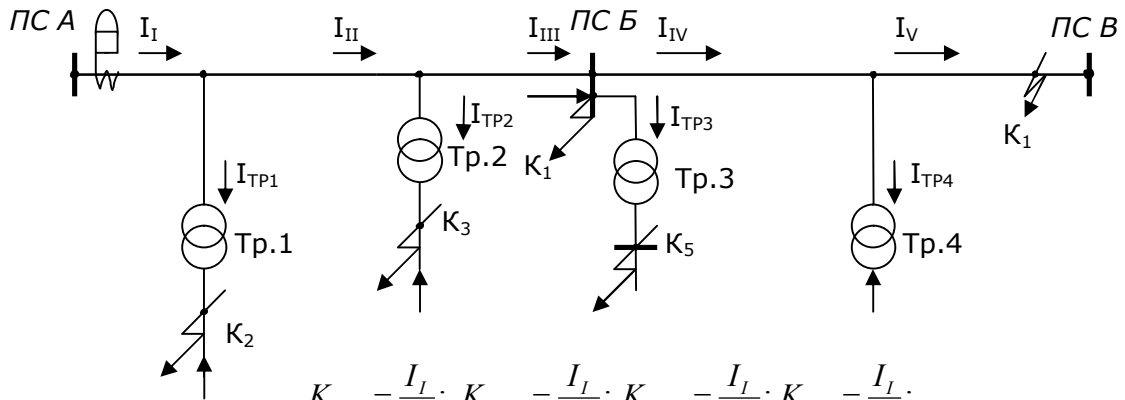
## Примечания:

1 В таблице даны выражения 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 Выражения п. 6 даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий предыдущего участка.

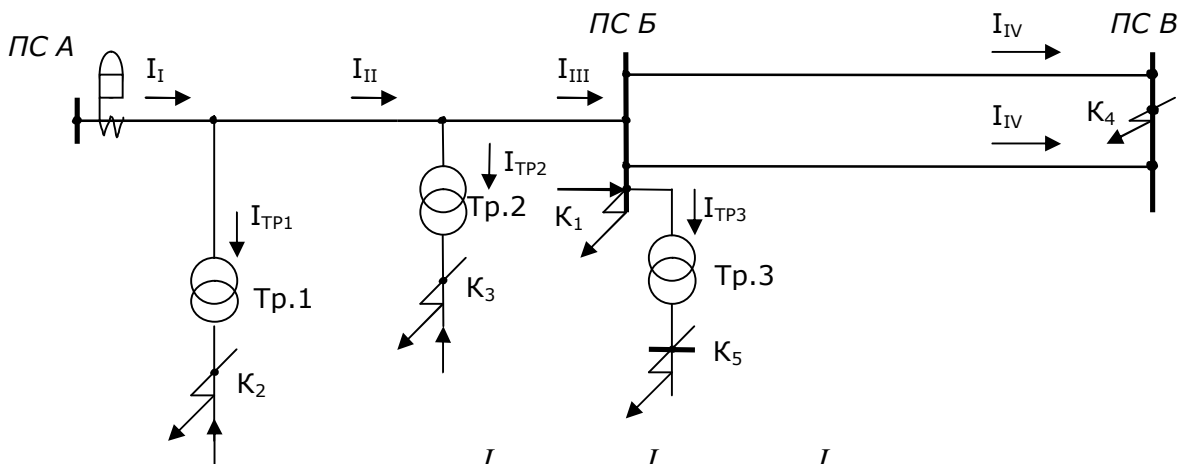
а)



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

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

б)



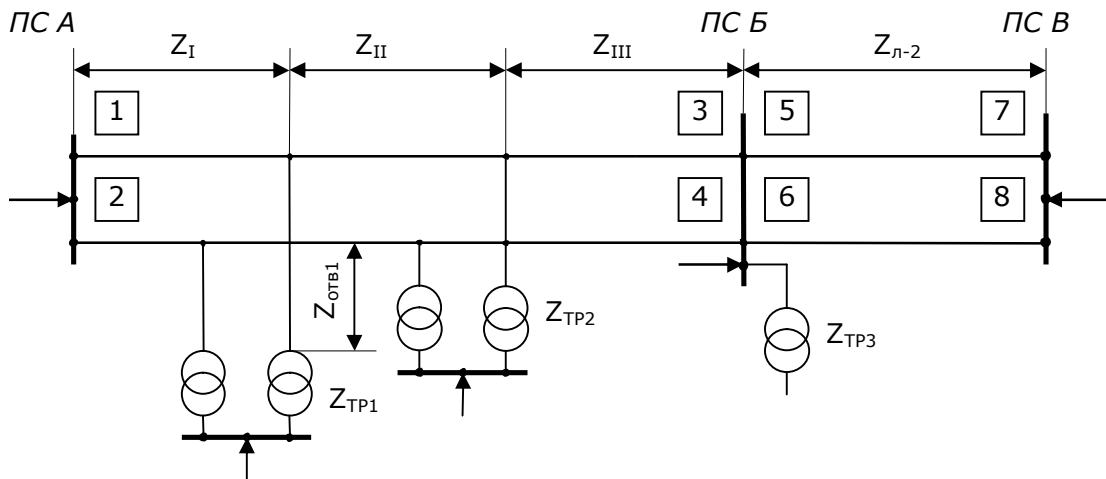
$$K_{T.II} = \frac{I_I}{I_{II}}; K_{T.III} = \frac{I_I}{I_{III}}; K_{T.IV} = \frac{I_I}{2I_{IV}};$$

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

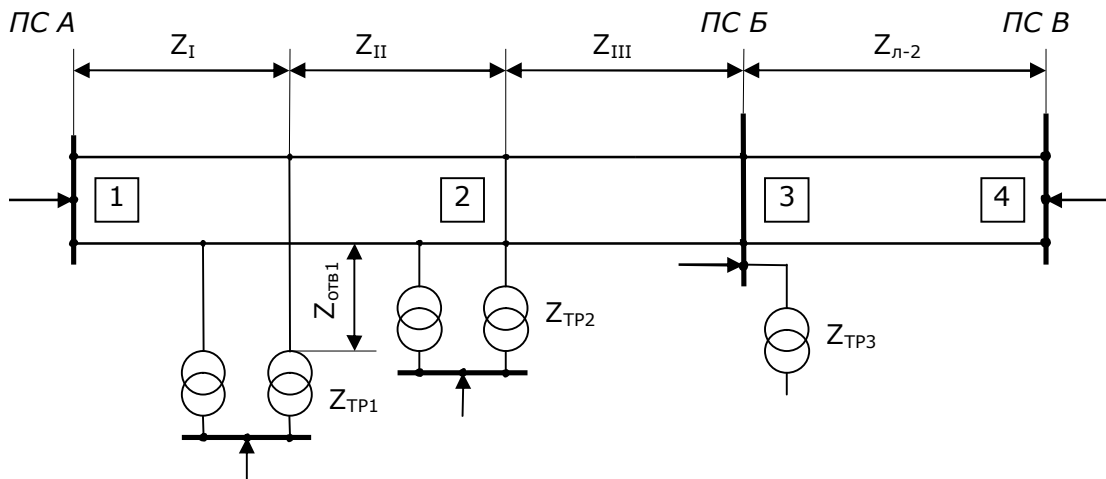
Рисунок 8.2 – Примеры определения коэффициента токораспределения  $k_T$  для одиночных линий с ответвлениями

8.4.3 Для схемы по рисунке 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;  $Z_{омс1}, Z_{омс2}$  – сопротивления ответвлений;  $Z_{л-2}$  – сопротивление предыдущей линии.

Рисунок 8.3 – Примеры схем параллельных линий с ответвлениями

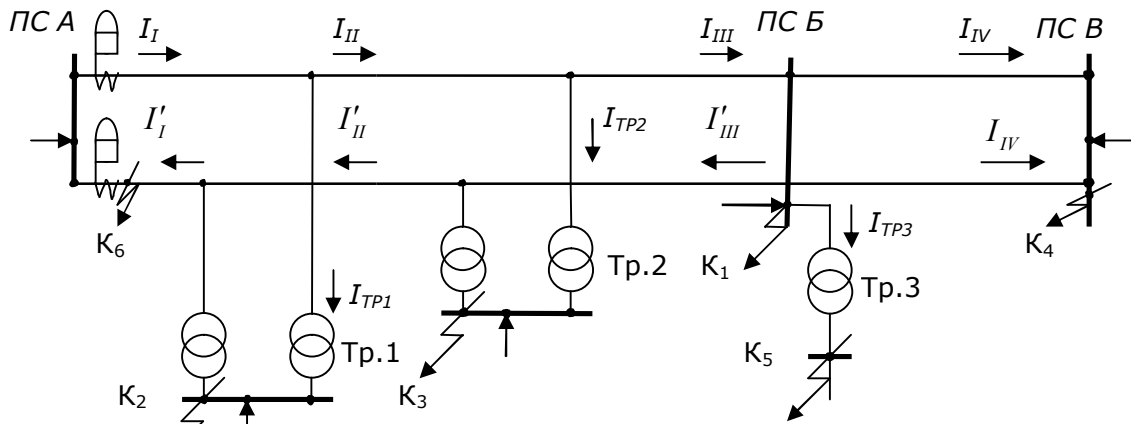
8.5. Для схемы рисунка 8.3 б) отстройку от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях необходимо производить в соответствии с вариантами расчёта 2 и 3 таблицы 8.2.

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 п. 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)

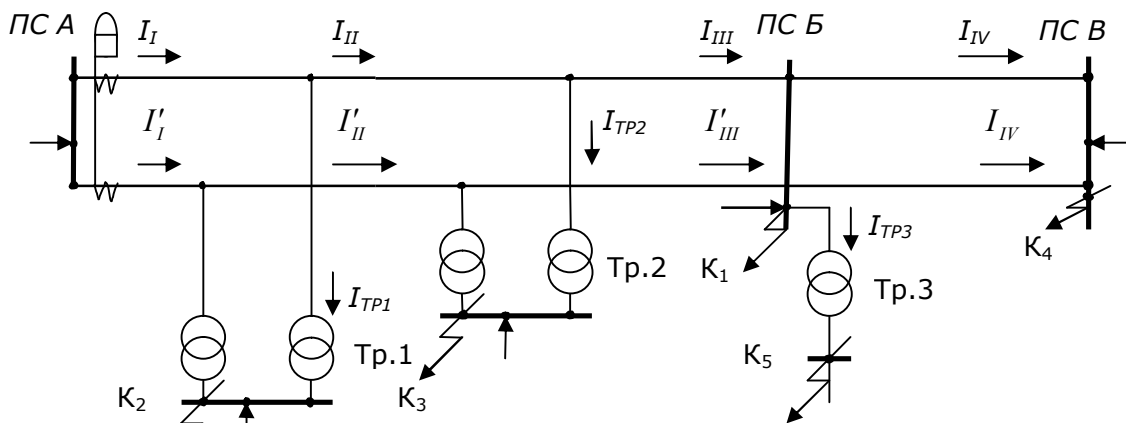


$$K_{T.I} = 1; K_{T.II} = \frac{I_I}{I_{II}}; K_{T.III} = \frac{I_I}{I_{III}}; K_{T.IV} = \frac{I_I}{2I_{IV}};$$

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

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

б)



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

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

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

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

Ступень защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Расчётное выражение	
			в общем виде	при принятых значениях коэффициентов (примечание 2)
I	1 (рисунок 8.3 а), б))	Отстройка от КЗ на шинах противоположного конца линии	$Z_{c.3.1}^I \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z_{c.3.1}^I \lesssim 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) \quad (7)$
I и II	2 (рисунок 8.3 а), б))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения	$Z_{c.3.1} \leq \frac{\frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{oms}}{k_{T,TP,1}} + Z_{TP,1}}{1 + \beta + \delta} \quad (2)$	$Z_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left( \frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{oms} + Z_{TP,1}}{k_{T,TP,1}} \right) \quad (8)$
	3 (рисунок 8.3 а), б))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения	$Z_{c.3.1} \leq \frac{\frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{TP,2}}{k_{T,TP,2}}}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$	$Z_{c.3.1} \lesssim 0,85 \cdot \left( \frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{TP,2}}{k_{T,TP,2}} \right) \quad (9)$
II	4 (рисунок 8.3 а), б))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z_{c.3.1}^{II} \leq \frac{\frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{0,5 \cdot Z_{л-2}}{k_{T,IV}}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$	$Z_{c.3.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot \left( \frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) + \frac{0,43}{k_{T,IV}} \cdot Z_{л-2} \quad (10)$
	5 (рисунок 8.3 а), б))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z_{c.3.1}^{II} \leq \frac{\frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP,3}}{k_{T,TP,3}}}{1 + \beta + \delta} \quad (5)$	$Z_{c.3.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot \left( \frac{Z_I}{k_{T,I}} + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{Z_{TP,3}}{k_{T,TP,3}} \right) \quad (11)$
	6 (рисунок 8.3 а))	Согласование с первой ступенью защиты 4 при каскадном отключении КЗ на параллельной линии	$Z_{c.3.1}^{II} \leq \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} + \frac{1-\alpha}{k'_{T,III}} \cdot Z_{III} + \frac{1-\alpha}{k'_{T,II}} \cdot Z_{II} + \frac{1-\alpha}{k'_{T,I}} (Z_{c.3.4}^I - Z_{II} - Z_{III})}{1 + \beta + \delta} \quad (6)$	$Z_{c.3.1}^{II} \lesssim 0,85 \cdot \left( Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{T,II}} + \frac{Z_{III}}{k_{T,III}} \right) + 0,78 \cdot \left( \frac{Z_{III}}{k'_{T,III}} + \frac{Z_{II}}{k'_{T,II}} + \frac{Z_{c.3.4}^I - Z_{II} - Z_{III}}{k'_{T,I}} \right) \quad (12)$

Примечания:

1 В таблице даны выражения 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 выражения даны для случая равенства сопротивления параллельных линий одного участка.

8.6 При выборе сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней защит линий по рисунках 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) нужно:

- учитывать рекомендации раздела 6, п. 6.4 и разд. 7, пп. 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, п. 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 рассматриваются 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  $k \cdot (Z_{TP} + Z_n)$ , больше, чем незащищённая часть линии  $k \cdot Z_n$ , 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;

- сопротивление 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.

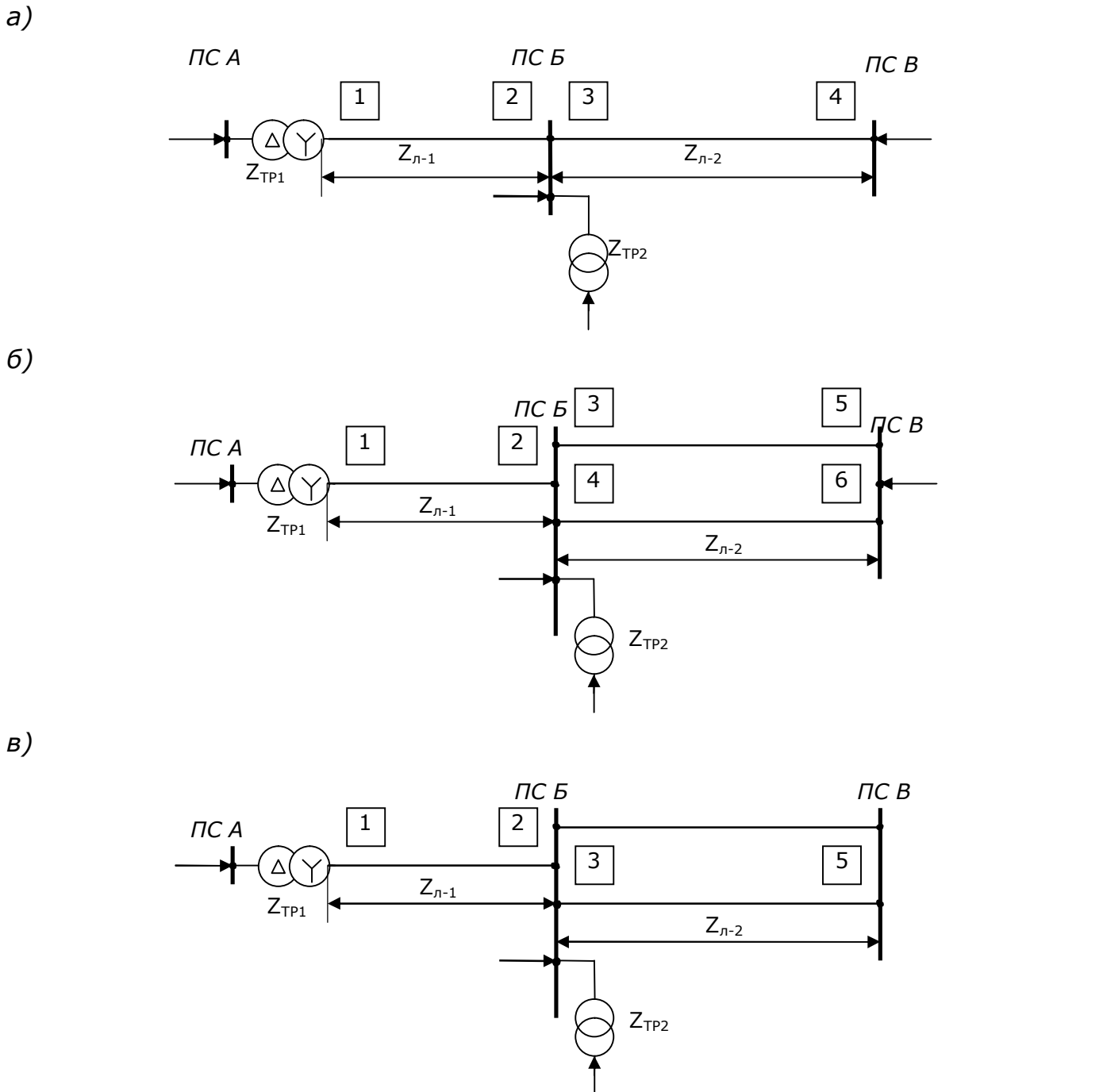
Расчёт чувствительности уставок второй ступени ДЗ производят по вторичным величинам, определяемым в соответствии или по аналогии с формулами (9-1) – (9-3). При этом учитывают наибольшее возможное при регулировании сопротивление и наименьший коэффициент трансформации Т блока.

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.



$Z_{л-1}$ ,  $Z_{л-2}$  – сопротивление линий;  $Z_{TP1}$  – сопротивление Т блока;  $Z_{TP2}$  – 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  $Z_{с.з.}^I$  и второй  $Z_{с.з.}^{II}$  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 - Выражения для сопротивлений срабатывания ДЗ линий, работающих в составе блока Т – линия

Степень защиты	Вариант расчёта (исходные схемы)	Расчётное условие	Расчётное выражение	
			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	$Z_{c.з.1}^I \leq \frac{Z_{TP1} + Z_{л-1}}{1 + \beta + \delta} \quad (1)$	$Z_{c.з.1}^I \approx 0,85 \cdot (Z_{TP1} + Z_{л-1}) \quad (5)$
II	2 (рисунок 9.1 а))	Согласование с первой ступенью защиты 3	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{TP1} + Z_{л-1} + \frac{1-\alpha}{k_{T,II}} \cdot Z_{c.з.3}^I}{1 + \beta + \delta} \quad (2)$	$Z_{c.з.1}^{II} \approx 0,85 \cdot (Z_{TP1} + Z_{л-1}) + \frac{0,66}{k_{T,II}} \cdot Z_{л-2} \quad (6)$
	3 (рисунок 9.1 б), в))	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{TP1} + Z_{л-1} + \frac{0,5}{k_{T,II}} \cdot Z_{л-2}}{1 + \beta + \delta} \quad (3)$	$Z_{c.з.1}^{II} \approx 0,85 \cdot (Z_{TP1} + Z_{л-1}) + \frac{0,43}{k_{T,II}} \cdot Z_{л-2} \quad (7)$
	4 (рисунок 9.1 а), б), в))	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z_{c.з.1}^{II} \leq \frac{Z_{TP1} + Z_{л-1} + \frac{1}{k_{T,TP.1}} \cdot Z_{TP.2}}{1 + \beta + \delta} \quad (4)$	$Z_{c.з.1}^{II} \approx 0,85 \cdot (Z_{TP1} + Z_{л-1} + \frac{Z_{TP.2}}{k_{T,TP.1}}) \quad (8)$

Примечания:

- 1 В таблице даны выражения для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 линий, работающих в составе блока Т – линия, в схемах рисунка 9.1.
- 2  $Z_{TP1}$  – минимальное возможное при регулирование 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.

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

Выражения 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 равенства 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 равенства нулю сопротивления его обмотки среднего напряжения.

Выражения таблицы 9.1 могут быть использованы также и 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. В этом случае под  $Z_{TP1}$  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, п.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  $Z_{c.з.}$  – сопротивление срабатывания защиты, Ом, рассчитанное по выражениям таблицы 9.1;

$n_{TP}$  – 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;

$n_T^{(H)}$  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.

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  $\varphi_d$  в случае защиты блока Т – линия целесообразно принимать  $75^\circ$ , 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.

Сопrotивление срабатывания третьей ступени  $Z_{с.з.}^{III}$ , удовлетворяющее условию резервирования, обычно имеет большое значение. Поэтому вторым условием для выбора  $Z_{с.з.}^{III}$  является отстройка от минимального значения сопротивления в рабочем режиме  $Z_{раб.мин}$ . Часто второе условие определяет зону действия третьей ступени.

10.2 Сопrotивление  $Z_{раб.мин}$  рассчитывают по следующей формуле:

$$Z_{раб.мин} = \frac{U_{раб.мин}}{\sqrt{3} \cdot I_{раб.маx}}, \quad (10-1)$$

где  $U_{раб.мин}$  – минимальное напряжения в месте установки защиты, В;

$I_{раб.маx}$  – максимальный рабочий тока в защищаемой линии, А.

В случае когда допускается самозапуск синхронных электродвигателей с непогашенным возбуждением, формула (10-1) принимает следующий вид:

$$Z_{раб.мин} = \frac{U_{раб.мин\ CЗ}}{\sqrt{3} \cdot k_{сзн} \cdot I_{раб.маx}}, \quad (10-2)$$

где  $U_{раб.мин\ CЗ}$  – минимальное напряжение в месте установки защиты в момент самозапуска. Значение определяют расчётным способом. Ориентировочное значение может быть принято равным 0,8 - 0,9  $U_{раб.мин}$ ;

$k_{сзн}$  – коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске электродвигателей.

Если в нагрузке преобладают электродвигатели, то значение  $k_{сзн}$  необходимо принимать равным от 3 до 6.

При небольшой электродвигательной нагрузке значение  $k_{сзн}$  принимают равным 1,5 - 2.

Для обеспечения возврата ДО после отключения КЗ необходимо выполнить условие:

$$Z_B < \frac{Z_{раб.мин}}{k_H}, \quad (10-3)$$

где  $Z_B$  – сопротивление возврата ДО, Ом;

$k_H$  – коэффициент надёжности, равный 1,2.

Сопротивление срабатывания  $Z_{с.з.}^{III}$ , Ом, обеспечивающее условие возврата ДО в нагрузочном режиме при  $Z_{раб.мин}$ , рассчитывают с учётом коэффициента возврата  $k_B$ :

$$Z_{с.з.}^{III} < \frac{Z_B}{k_B} = \frac{Z_{раб.мин}}{k_H \cdot k_B}, \quad (10-4)$$

где  $k_B$  – коэффициент возврата, равный 1,04.

Согласно [2], коэффициент чувствительности уставки третьей ступени ДЗ необходимо рассчитывать при металлическом КЗ в конце зоны резервирования. В соответствии с [1] при КЗ в конце зоны резервирования  $k_q \geq 1,2$ , а при КЗ в конце защищаемой линии -  $k_q \geq 1,5$ .

## 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 практически активное сопротивление электрической дуги.

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

$$R_{уст} = 1,25 \cdot (R_D / 2 + Z_{уст} \cdot \cos \varphi_l), \quad (11-1)$$

где  $R_D$  – сопротивление дуги, Ом;

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

$\varphi_l$  – угол защищаемой линии, °.

11.2 Оценку активного сопротивления электрической дуги можно произвести следующим образом.

На основании рекомендаций, приведенных в [8] принимаем напряженность электрического поля дуги постоянной и равной 1050 В/м.

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

$$R_D = \frac{2 \cdot l_D \cdot (Z_C + Z_{уст})}{\frac{U_l}{1050} - l_D}, \quad (11-2)$$

где  $l_D$  – длина дуги, м;

$Z_C$  – полное сопротивление системы «за спиной», Ом;

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

$U_l$  – действующее значение линейного напряжения системы, В.

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

Длина дуги изменяется во времени и через 0,5 - 1 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  $t^I \approx 0$  с. Длину дуги  $l_D$  при расчёте  $R_{уст}$  первой ступени рекомендуется принимать равной расстоянию между проводами фаз.

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

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

Для расчёта сопротивления дуги можно воспользоваться шаблоном модуля «ТКЗ» из программного комплекса «АРМ СРЗА».

Проверку расчётного значения уставки по активному сопротивлению выполняют для максимального нагрузочного режима.

Если вектор нагрузки попадает в область срабатывания защиты, то значение  $R_{уст}$  необходимо уменьшить.

Для третьей ступени с треугольной характеристикой целесообразно рассмотреть вопрос изменения угла наклона стороны 2 (см. рисунок 4.4).

## 12 Расчёты уставок для защит от двойных замыканиях 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 выражений, 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, которому соответствует наибольшее значение коэффициента токораспределения.

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

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

$$I_{СРАБ} = k_H \cdot I_{НБ.РАСЧ.} = k_H \cdot k_{анер.} \cdot I_{НБ.УСТ.} \quad (12-1)$$

где  $k_H = 1,25$  – коэффициент надёжности;

$k_{анер.} = 2,0$  – коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей тока;

$I_{НБ.УСТ.}$  – 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,  $I_{НБ.УСТ.}$  может быть определён следующей формулой:

$$I_{НБ.УСТ.} = k_{ОДН} \cdot f_i \cdot I_{расч.} \quad (12-2)$$

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

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

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

12.3 Сопротивления контуров  $Z_{A0}$ ,  $Z_{B0}$ ,  $Z_{C0}$ , на «зажимах» реле, рассчитывает ЦП терминала БМРЗ по формулам (4-7) – (4-9). При расчётах учитывается ток нулевой последовательности и коэффициент компенсации тока нулевой последовательности линии  $k_{КОМП}$ , рассчитываемый по формуле [8]:

$$k_{КОМП} = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1} \quad (12-3)$$

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

Выдержку времени для второй ступени ДЗ от двойных замыканий на землю выбирать аналогично выдержке времени второй ступени ДЗ от междуфазных КЗ.

### 13 Пересчёт уставок во вторичные величины

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

Пересчёт уставок по току производят по следующей 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 следующей 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 п. 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. РД 153-34.0-35.301-2002. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты и измерения.
4. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. – М.: «Энергия», 1976.
5. Чернобровов Н.В. Релейная защита. – М.: «Энергия», 1967.
6. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита. Принципы и применение. Пер. с англ. под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Энергоиздат, 2005.
7. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007
8. Чернобровов Н.В. Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
9. Дони Н.А. Об использовании обмоток ТН, соединённых в разомкнутый треугольник. //Релейщик, №4(5), 2009, с. 73.
10. СТО ДИВГ-046-2011. Терминалы релейной защиты синхронных и асинхронных электродвигателей 6 - 10 кВ. Методические указания по расчёту уставок защит. СПб, НТЦ «Механотроника», 2011.

УДК 621.316.9:621.313.13

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

**Генеральный директор  
ООО «НТЦ «Механотроника»**

**Новиков В.Е.**

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 системотехники

Пирогов М.Г.

Начальник бюро разработки  
эксплуатационной документации

Карлова И.А.

Инженер-системотехник

Черкесова И.В.

Инженер-системотехник

Илюхин Е.В.

**НОРМОКОНТРОЛЬ:**

Заместитель начальника  
управления по качеству

Захаров О.Г.

