



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»**

Приложение
к распоряжению АО «СО ЕЭС»
от _____ № _____

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО РАСЧЕТУ И ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ
РЕЗЕРВНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
110 КВ И ВЫШЕ**

Введены в действие с:	___.___.2023
Листов:	_____

Москва 2023

Содержание

1.	Область применения.....	5
2.	Термины и сокращения.....	5
3.	Общие указания по расчету параметров настройки ТЗНП ЛЭП.....	7
3.1.	Функциональное назначение ступеней ТЗНП.....	7
3.2.	Измерительные органы ТЗНП и РНМ нулевой последовательности.....	9
3.3.	Селективность и чувствительность ТЗНП.....	12
4.	Расчет и выбор параметров настройки РНМ нулевой последовательности ..	29
4.1.	Применение ненаправленных и направленных ступеней ТЗНП.....	29
4.2.	Фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности при КЗ на землю в сети с заземленной нейтралью.....	31
4.3.	Разрешающее и блокирующее РНМ нулевой последовательности.....	34
4.4.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий.....	35
4.5.	Расчет параметров настройки разрешающего РНМ нулевой последовательности.....	37
4.6.	Расчет параметров настройки блокирующего РНМ нулевой последовательности.....	45
4.7.	Перевод параметров настройки РНМ из первичных величин во вторичные.....	49
4.8.	Особенности расчета параметров настройки индукционных РНМ.....	50
4.9.	Особенности расчета параметров настройки РНМ в устройствах РЗ ЛЭП ШДЭ 2801 и ПДЭ 2002.....	56
4.10.	Особенности расчета параметров настройки РНМ в МП устройстве РЗ ЛЭП на примере шкафа ШЭ 2607.....	69
4.11.	Особенности поведения РНМ параллельных ЛЭП, работающих по схеме АТ-линия.....	76
4.12.	Особенности поведения РНМ параллельных ЛЭП с ответвлениями.....	81
5.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП одиночной ЛЭП.....	83
5.1.	Типовые схемы участков сети.....	83
5.2.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий.....	85
5.3.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП.....	88
6.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП параллельных ЛЭП.....	114
6.1.	Типовые схемы участков сети.....	114
6.2.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий.....	116
6.3.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП.....	120
7.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП ЛЭП с ответвлениями.....	145
7.1.	Типовые схемы участков сети.....	145
7.2.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий.....	148

7.3.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП.....	155
8.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.....	169
8.1.	Типовые схемы участков сети.....	169
8.2.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий	171
8.3.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП.....	174
9.	Расчет параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП	185
9.1.	Расчет параметров настройки оперативно ускоряемой ступени ТЗНП.....	185
9.2.	Расчет параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ТЗНП ..	187
9.3.	Расчет параметров настройки телеускоряемой ступени ТЗНП	190
9.4.	Расчет параметров настройки ступени ТЗНП, ускоряемой от защиты параллельной ЛЭП	192
10.	Расчет и выбор параметров настройки МФТО ЛЭП	197
10.1.	Назначение и измерительные органы МФТО.....	197
10.2.	Общие указания по расчету	198
10.3.	Перечень расчетных условий	200
10.4.	Расчет и выбор параметров настройки ступени МФТО, постоянно введенной в работу	202
10.5.	Расчет и выбор параметров настройки ступени МФТО, которая вводится в работу при включении ЛЭП под напряжение с контролем отсутствия напряжения на включаемой ЛЭП	208
10.6.	Расчет и выбор параметров настройки ступени МФТО, которая вводится в работу при включении выключателя ЛЭП без контроля отсутствия напряжения на ЛЭП.....	209
11.	Расчет параметров настройки токовых защит ШСВ (СВ)	212
11.1.	Назначение и состав токовых защит ШСВ (СВ).....	212
11.2.	Расчет и выбор параметров настройки МТЗ ШСВ (СВ)	213
11.3.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП ШСВ (СВ).....	230
12.	Расчет и выбор параметров настройки АМТЗ ЛЭП.....	247
12.1.	Назначение и измерительные органы АМТЗ.....	247
12.2.	Общие указания по расчету	247
12.3.	Перечень расчетных условий	248
12.4.	Расчет и выбор параметров настройки АМТЗ.....	250
13.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗО ЛЭП	258
13.1.	Назначение и измерительные органы ТЗО	258
13.2.	Расчет и выбор параметров настройки ТЗО	258
14.	Применение ТЗНП ЛЭП двойной чувствительности	260

14.1. Назначение и принцип действия ТЗНП двойной чувствительности	260
14.2. Пример расчета параметров настройки ТЗНП двойной чувствительности .	260
Приложение А.....	266
Приложение Б	274
Приложение В.....	284
Библиография.....	288

1. Область применения

1.1. Настоящие Методические указания устанавливают общие требования по расчету и выбору параметров настройки резервных токовых защит в устройствах релейной защиты воздушных, кабельных, кабельно-воздушных линий электропередачи номинальным напряжением 110 кВ и выше с питанием с двух и более сторон, шиносоединительных (секционных) выключателей номинальным напряжением 110 кВ и выше.

1.2. Настоящие Методические указания определяют особенности расчета параметров настройки резервных токовых защит одиночных и параллельных линий электропередачи, линий электропередачи при наличии ответвлений и линий электропередачи, работающих по схеме блока автотрансформатор – линия, а также шиносоединительных (секционных) выключателей для типовых конфигураций электрической сети.

1.3. Настоящие Методические указания учитывают требования действующей нормативно-технической документации, основополагающие принципы построения систем релейной защиты и автоматики и практический опыт расчетов.

1.4. Работники, выполняющие функции по расчету и выбору параметров настройки устройств релейной защиты и автоматики, обязаны руководствоваться требованиями настоящих Методических указаний в части, касающейся выполняемых ими функций.

2. Термины и сокращения

В настоящих Методических указаниях применяются термины и определения, установленные национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 57114-2022 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике и оперативно-технологическое управление. Термины и определения», утвержденным приказом Росстандарта от 29.12.2022 № 1683-ст, а также следующие сокращения:

АМТЗ	– аварийная максимальная токовая защита;
АПВ	– автоматическое повторное включение;
АТ	– автотрансформатор;
АУ	– автоматическое ускорение;
БТН	– бросок тока намагничивания;
ВЛ	– воздушная линия;
ВН	– высшее напряжение;
ДЗ	– дистанционная защита;
ДЗШ	– дифференциальная токовая защита шин;
ДЗО	– дифференциальная токовая защита ошиновки;
КЗ	– короткое замыкание;

ЛЭП	– линия электропередачи;
МП	– микропроцессорный;
МТЗ	– максимальная токовая защита;
МФТО	– междуфазная токовая отсечка;
НН	– низшее напряжение;
ОАПВ	– однофазное автоматическое повторное включение;
ОУ	– оперативное ускорение;
ПДНЗ	– поперечная дифференциальная направленная защита;
ПС	– подстанция;
РЗ	– релейная защита;
РНМ	– реле направления мощности;
РПН	– устройство регулирования напряжения под нагрузкой силовых трансформаторов (автотрансформаторов);
СВ	– секционный выключатель;
СН	– среднее напряжение;
Т	– трансформатор;
ТЗО	– токовая защита ошиновки;
ТЗНП	– токовая защита нулевой последовательности от коротких замыканий на землю;
ТН	– измерительный трансформатор напряжения;
ТТ	– измерительный трансформатор тока;
ТУ	– телеускорение;
УРОВ	– устройство резервирования при отказе выключателя;
ШСВ	– шиносоединительный выключатель;
ЭДС	– электродвижущая сила.

3. Общие указания по расчету параметров настройки ТЗНП ЛЭП

3.1. Функциональное назначение ступеней ТЗНП

Для ЛЭП напряжением 110 кВ и выше, имеющих питание с двух или более сторон, в качестве резервной защиты от КЗ на землю применяется ТЗНП в составе устройств РЗ ЛЭП на электромеханической, микроэлектронной и МП элементной базе.

ТЗНП является защитой относительной селективности и включает несколько ступеней с различным охватом защищаемой ЛЭП и ступенчатыми характеристиками выдержек времени.

Количество и функциональное назначение ступеней ТЗНП определяются типом применяемого устройства РЗ ЛЭП.

В разделах 5–8¹ приведены указания по расчету и выбору параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП ЛЭП напряжением 110 кВ и выше для типовых конфигураций электрической сети со следующим функциональным назначением ступеней:

- первая ступень охватывает часть защищаемой ЛЭП – выполняется без выдержки времени или с минимальной выдержкой времени;
- вторая ступень с частичным или полным охватом защищаемой ЛЭП – действует с выдержкой времени;
- третья ступень с надежным охватом защищаемой ЛЭП во всех возможных ремонтных схемах сети – действует с выдержкой времени;
- четвертая ступень предназначена для обеспечения резервных функций при КЗ на землю на защищаемой ЛЭП и на смежных участках сети в случае отказа выключателя или защиты смежных сетевых элементов – действует с выдержкой времени.

В МП устройствах РЗ кроме указанных ступеней могут применяться дополнительные ступени ТЗНП, предназначенные для действия при КЗ на землю на защищаемой ЛЭП или при КЗ на землю в зоне дальнего резервирования.

Например:

- ступень, предназначенная для отключения КЗ на землю на части защищаемой ЛЭП с наименьшей выдержкой времени и для согласования с ТЗНП смежных сетевых элементов;
- ступень с выдержкой времени большей, чем выдержки времени ТЗНП смежных сетевых элементов, обеспечивающая функцию дальнего резервирования.

¹ Здесь и далее по тексту указываются структурные единицы текста, относящиеся к настоящим Методическим указаниям, кроме указанных особо.

В устройствах РЗ ЛЭП предусмотрена возможность выполнения отдельных ступеней ТЗНП направленными. Указания по расчету и выбору параметров настройки РНМ в устройствах РЗ ЛЭП на электромеханической, микроэлектронной и МП элементной базе приведены в разделе 4.

В устройствах РЗ ЛЭП предусматривается ускорение действия отдельных ступеней ТЗНП.

В качестве автоматически, оперативно ускоряемой или телеускоренной ступени может применяться ступень ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП или отдельная ступень ТЗНП, специально предназначенная для этой цели. Указания по расчету и выбору параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП приведены в разделе 9.

В устройствах РЗ параллельных ЛЭП может использоваться ускорение ступени ТЗНП с контролем направления мощности нулевой последовательности в неповрежденной параллельной ЛЭП (ускорение от защиты параллельной ЛЭП). В разделе 9 приведены указания по условиям применения данного вида ускорения и особенностям расчета параметров настройки ускоряемой ступени ТЗНП.

В устройствах РЗ ЛЭП предусматривается АМТЗ, одна из ступеней которой включается на утроенный ток нулевой последовательности. АМТЗ вводится в работу при выявлении неисправности цепей напряжения и блокировки тех защит ЛЭП, которые могут работать ложно при отсутствии повреждения в сети. Указания по расчету и выбору параметров настройки АМТЗ приведены в разделе 12.

При наличии достаточного количества ступеней ТЗНП в устройствах РЗ параллельных ЛЭП возможна реализация автоматического очувствления отдельных ступеней ТЗНП (ступени ТЗНП двойной чувствительности), указания по применению указанных ступеней ТЗНП приведены в разделе 14.

В дополнение к ступеням, обеспечивающим надежную защиту ЛЭП и резервирование защит смежных сетевых элементов, могут использоваться ступени ТЗНП для специальных условий их применения. Например, самая чувствительная ненаправленная ступень ТЗНП может использоваться как пусковой орган для защиты от неполнофазного режима ЛЭП.

3.2. Измерительные органы ТЗНП и РНМ нулевой последовательности

В устройствах РЗ ЛЭП на электромеханической и микроэлектронной элементной базе измерительные органы ТЗНП и токовые измерительные органы РНМ нулевой последовательности включаются на фильтр тока нулевой последовательности, в качестве которого используется нулевой провод ТТ, соединенных по схеме полной звезды. Ток I_p , измеряемый защитой, равен геометрической сумме трех фазных токов:

$$I_p = \frac{I_A + I_B + I_C}{n_{ТТ}} = \frac{3I_0}{n_{ТТ}}, \quad (3.1)$$

где $3I_0$ – первичный утроенный ток нулевой последовательности;
 $n_{ТТ}$ – коэффициент трансформации ТТ.

Токи прямой и обратной последовательности на выходе фильтра отсутствуют, поскольку сумма токов трех фаз прямой и обратной последовательности равна нулю.

Таким образом, ТЗНП и РНМ нулевой последовательности реагируют на утроенный ток нулевой последовательности, протекающий в нулевом проводе ТТ при КЗ на землю и неполнофазных режимах в сети с заземленными нейтральными.

В устройствах РЗ ЛЭП на МП элементной базе измерительные органы ТЗНП и РНМ нулевой последовательности могут реагировать на значение расчетного утроенного тока нулевой последовательности, вычисленного суммированием векторов фазных токов согласно выражению (3.1), либо на утроенный ток нулевой последовательности, протекающий в нулевом проводе ТТ, соединенных по схеме полной звезды. В последнем случае в защите должен быть предусмотрен отдельный канал измерения.

При междуфазных КЗ, в нагрузочных и асинхронных режимах сумма первичных фазных токов практически равна нулю $I_A + I_B + I_C \approx 0$. В указанных режимах параметры настройки ТЗНП и РНМ необходимо отстраивать только от тока небаланса нулевой последовательности $I_{0нб}$, что обеспечивает защите более высокую чувствительность в сравнении с МТЗ, реагирующей на фазные токи.

Ток небаланса $I_{0нб}$ может быть обусловлен погрешностью ТТ, определяемой классом точности вторичных обмоток ТТ для устройств РЗ, а также неидентичными характеристиками намагничивания и неравенством вторичных нагрузок ТТ разных фаз, наличием в первичном токе апериодической составляющей тока КЗ и, как следствие, насыщением ТТ и искажением формы вторичного тока.

В МП устройствах РЗ для чувствительных ступеней ТЗНП может применяться торможение по току прямой последовательности для предотвращения излишних пусков защиты от повышенного тока небаланса нулевой последовательности в тяжелых нагрузочных режимах и

при междуфазных КЗ. С этой целью при формировании рабочей величины небольшая, задаваемая уставкой, или фиксированная часть тока прямой последовательности вычитается из тока нулевой последовательности:

$$I_p = 3 \cdot (|I_0| - K_T \cdot |I_1|), \quad (3.2)$$

где K_T – коэффициент торможения.

Торможение может осуществляться фазным током, когда фактическое значение уставки по току срабатывания $3I_{0уст}$ автоматически увеличивается при увеличении фазного тока на величину, определяемую коэффициентом торможения (рисунок 3.1).

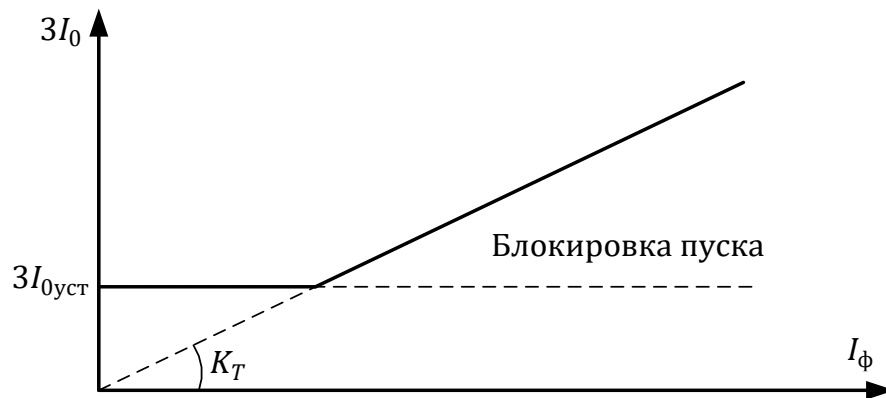


Рисунок 3.1. Торможение по фазному току

Использование торможения следует учитывать при проверке чувствительности ступеней ТЗНП и РНМ, а также при согласовании с ТЗНП смежных сетевых элементов, в которых торможение не применяется.

В устройствах РЗ на микроэлектронной и МП элементной базе производится фильтрация измеряемых токов и выявление повышенного содержания токов второй гармоники по отношению к току основной частоты, что позволяет выполнить блокировку ступеней ТЗНП при возникновении периодических и аperiodических БТН при включении защищаемой ЛЭП под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ и Т с заземленными нейтральными.

В разделах 5–8 расчетный первичный утроенный ток нулевой последовательности $3I_0$ в выражениях для выбора тока срабатывания ступеней ТЗНП по условиям отстройки или чувствительности в режимах КЗ следует принимать равным действующему значению периодической составляющей утроенного начального тока нулевой последовательности независимо от выполнения ступени ТЗНП с выдержкой времени или без таковой.

В устройствах РЗ ЛЭП на электромеханической и микроэлектронной элементной базе измерительные органы напряжения РНМ нулевой последовательности включаются на фильтр напряжения нулевой последовательности. Первичные обмотки ТН соединяются в звезду, нейтраль

которой заземляется (рисунок 3.2). На одном сердечнике ТН размещаются несколько вторичных обмоток. Основная вторичная обмотка, номинальное фазное напряжение которой составляет $100/\sqrt{3}$ В, соединяется в звезду. Дополнительная вторичная обмотка ТН, номинальное фазное напряжение которой составляет 100 В, соединяется на сумму напряжений трех фаз (схема «разомкнутого треугольника») и используется в качестве фильтра напряжения нулевой последовательности.

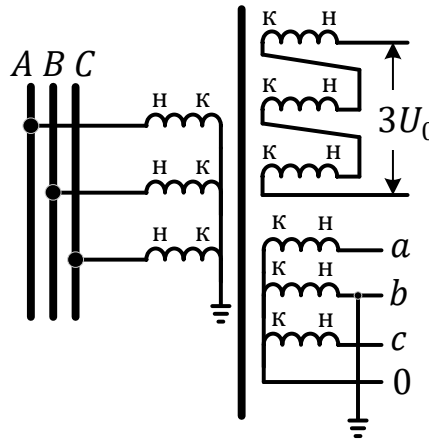


Рисунок 3.2. Схемы соединений вторичных обмоток ТН

В этом случае напряжение \underline{U}_p , измеряемое защитой, равно геометрической сумме трех фазных напряжений:

$$\underline{U}_p = \frac{\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C}{n_{\text{ТН}\Delta}} = \frac{3\underline{U}_0}{n_{\text{ТН}\Delta}}, \quad (3.3)$$

где $3\underline{U}_0$ – первичное утроенное напряжение нулевой последовательности;

$n_{\text{ТН}\Delta}$ – коэффициент трансформации ТН, обмотки которого соединены в «разомкнутый треугольник», для сетей с заземленными нейтральными равен:

$$n_{\text{ТН}\Delta} = \frac{U_{\text{НОМ}}/\sqrt{3}}{100}, \quad (3.4)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – первичное линейное номинальное напряжение ТН.

В устройствах РЗ на МП элементной базе измерительные органы напряжения РНМ нулевой последовательности при наличии отдельного канала измерения могут быть включены на утроенное напряжение нулевой последовательности, полученное с помощью схемы «разомкнутого треугольника» согласно выражению (3.3), либо могут реагировать на значение утроенного напряжения нулевой последовательности, вычисленного суммированием векторов фазных напряжений:

$$\underline{U}_p = \frac{\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C}{n_{\text{ТН}\Upsilon}} = \frac{3\underline{U}_0}{n_{\text{ТН}\Upsilon}}, \quad (3.5)$$

где $n_{ТНУ}$ – коэффициент трансформации ТН, вторичные обмотки которого соединены в звезду:

$$n_{ТНУ} = \frac{U_{НОМ}/\sqrt{3}}{100/\sqrt{3}}. \quad (3.6)$$

При междуфазных КЗ, в нагруженных и асинхронных режимах сумма первичных фазных напряжений практически равна нулю $\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C \approx 0$ – при отсутствии несимметрии в первичной сети. В указанных режимах параметры настройки РНМ необходимо отстраивать от напряжения небаланса нулевой последовательности $U_{0нб}$, которое обусловлено погрешностью ТН, определяемой классом точности вторичных обмоток ТН для устройств РЗ.

3.3. Селективность и чувствительность ТЗНП

3.3.1. Отстройка от внешних КЗ на землю

Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП в устройствах РЗ ЛЭП по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты при КЗ на землю вне зоны действия рассматриваемой ступени ТЗНП (например, начало смежного участка сети, конец зоны охвата ступени ТЗНП смежной ЛЭП и т.д.) производится с необходимым запасом, определяемым коэффициентом отстройки.

Коэффициент отстройки учитывает погрешность ТТ и измерительных токовых органов защиты, наличие апериодической составляющей в токе КЗ, погрешность расчета первичных величин, которая обусловлена возможным отличием действительных параметров защищаемой ЛЭП и прилегающей электрической сети от параметров схемы замещения математической модели, и необходимый запас.

Расчет токов КЗ для выбора тока срабатывания ступеней ТЗНП по условию отстройки должен производиться с учетом минимальных сопротивлений АТ (Т с заземленной нейтралью), имеющих регулирование напряжения под нагрузкой, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

Ниже приводятся значения коэффициентов отстройки применительно к расчетным условиям выбора тока срабатывания четырехступенчатой ТЗНП одиночных и параллельных ЛЭП, одиночных и параллельных ЛЭП при наличии ответвлений и одиночных и параллельных ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

3.3.1.1. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП, действующей без выдержки времени (с минимальной выдержкой времени), по условию отстройки от максимального утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0\text{ макс}}$ в месте установки защиты при однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетной точке сети производится по выражению:

$$3I_{0\text{ уст}}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0\text{ макс}} \quad (3.7)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается в зависимости от типа устройства РЗ равным:

– для устройств РЗ ЛЭП 110–220 кВ на электромеханической, микроэлектронной и МП базе:

$$k_{отс} = 1,3;$$

– для устройств РЗ ЛЭП 330 кВ и выше на электромеханической базе с применением реле типа РТ-40, подключенных к ТТ с номинальным вторичным током 1 А:

$$k_{отс} = 1,4–1,5;$$

– для устройств РЗ ЛЭП 330 кВ и выше на микроэлектронной и МП базе, а также на электромеханической базе с применением реле с быстронасыщающимися трансформаторами (типа РНТ):

$$k_{отс} = 1,3.$$

Увеличенные коэффициенты отстройки при использовании реле типа РТ-40 приведены согласно указаниям информационных писем [1, 2] в целях предотвращения излишних действий ступеней ТЗНП без выдержки времени из-за возникновения значительной и медленно затухающей апериодической составляющей в первичном токе при КЗ в сети 330 кВ и выше.

3.3.1.2. Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП, действующих с выдержкой времени, по условию согласования с ТЗНП смежных ЛЭП производится с коэффициентом отстройки:

– для всех устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,1.$$

3.3.1.3. Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП, действующих с выдержкой времени, по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП со стороны ПС, где установлена рассматриваемая защита, производится с коэффициентом отстройки:

– для всех устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,2.$$

3.3.1.4. Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП, действующих с выдержкой времени, по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС, примыкающей к участку, смежному с защищаемой ЛЭП при наличии на смежном участке параллельных ЛЭП, производится с коэффициентом отстройки:

– для устройств РЗ ЛЭП 330 кВ и выше на электромеханической базе с применением реле типа РТ-40:

$$k_{отс} = 1,3;$$

– для остальных устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,2.$$

3.3.1.5. Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП, действующих с выдержкой времени, по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ ПС

противоположного конца ЛЭП, а также ПС, где установлена рассматриваемая защита (для ненаправленной ступени ТЗНП), производится с коэффициентом отстройки:

– для устройств РЗ ЛЭП 330 кВ и выше на электромеханической базе с применением реле типа РТ-40:

$$k_{отс} = 1,3;$$

– для остальных устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,2$$

Указанные значения коэффициентов отстройки соответствуют случаю, когда АТ, имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

В случае если сопротивления АТ в схеме замещения соответствуют средним положениям РПН, значения коэффициентов отстройки требуют уточнения в зависимости от схемы прилегающей сети, соотношения сопротивлений защищаемой ЛЭП и эквивалентного сопротивления АТ ПС, примыкающей к противоположному концу ЛЭП.

В приложении А приведены примеры расчета тока срабатывания второй ступени ТЗНП ЛЭП 220 кВ по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ ПС, примыкающей к противоположному концу ЛЭП с учетом положения РПН АТ.

Рекомендуется выполнить сравнительные расчеты тока срабатывания ступени ТЗНП по условию отстройки при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ с учетом сопротивлений АТ при крайних или фактических и средних положениях РПН и при необходимости скорректировать значение коэффициента отстройки для обеспечения селективности защиты при внешних КЗ на землю.

Указания по расчету реактивных сопротивлений АТ при наличии РПН приведены в Приложении В к Методическим указаниям [3].

3.3.1.6. Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП ЛЭП, действующих с выдержкой времени, по условию согласования с ТЗНП АТ ПС противоположного конца ЛЭП, а также ПС, где установлена рассматриваемая защита (для ненаправленной ступени ТЗНП), производится с коэффициентом отстройки:

– для всех устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,1-1,2.$$

Меньшее значение коэффициента отстройки принимается, если АТ, имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

3.3.2. Отстройка от кратковременных неполнофазных режимов ЛЭП

3.3.2.1. Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП без выдержки времени по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0 \text{ неп}}$ при неодновременном включении фаз выключателя, замыкающего ЛЭП в транзит, производится по выражению:

$$3I_{0 \text{ уст}}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ неп}}, \quad (3.8)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.1 в зависимости от типа устройства РЗ.

Утроенный ток нулевой последовательности $3I_{0 \text{ неп}}$ в рассматриваемом режиме определяется из комплексных схем замещения, составленных для неполнофазных режимов ЛЭП с двусторонним питанием [4].

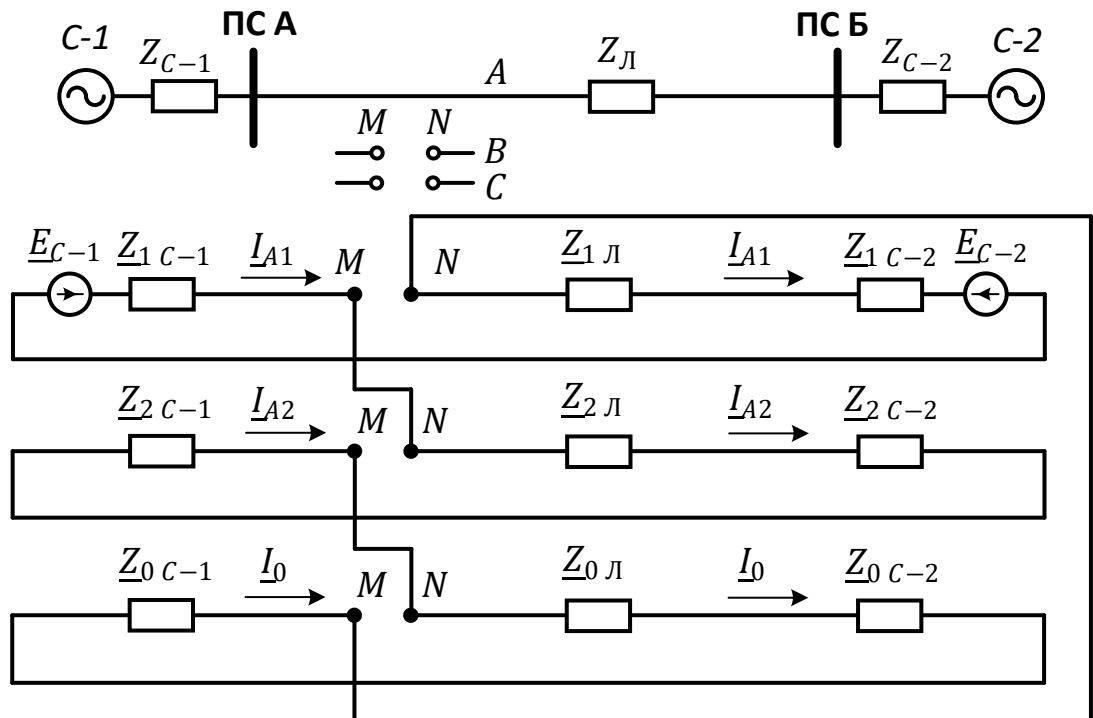


Рисунок 3.3. Принципиальная и комплексная схема замещения для случая неполнофазного режима ЛЭП с двусторонним питанием с разрывом двух фаз

При опережающем включении одной фазы ЛЭП (рисунок 3.3) $3I_{0 \text{ неп}}$ рассчитывается по выражению:

$$3I_{0 \text{ неп}} = 3 \cdot \frac{E_{C-1} - E_{C-2}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}, \quad (3.9)$$

где E_{C-1}, E_{C-2} – ЭДС эквивалентных генераторов примыкающих энергосистем (фазные значения),

$Z_{1\Sigma}, Z_{2\Sigma}, Z_{0\Sigma}$ – результирующие сопротивления схем прямой, обратной и нулевой последовательности относительно места разрыва, рассчитываются по выражениям:

$$Z_{1\Sigma} = Z_{1C-1} + Z_{1L} + Z_{1C-2},$$

$$\underline{Z}_{2\Sigma} = \underline{Z}_{2C-1} + \underline{Z}_{2Л} + \underline{Z}_{2C-2}, \quad (3.10)$$

$$\underline{Z}_{0\Sigma} = \underline{Z}_{0C-1} + \underline{Z}_{0Л} + \underline{Z}_{0C-2},$$

где $\underline{Z}_{1Л}$, $\underline{Z}_{2Л}$, $\underline{Z}_{0Л}$ – сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности ЛЭП;

\underline{Z}_{1C-1} , \underline{Z}_{2C-1} , \underline{Z}_{0C-1} – эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности системы С-1;

\underline{Z}_{1C-2} , \underline{Z}_{2C-2} , \underline{Z}_{0C-2} – эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности системы С-2.

При опережающем включении двух фаз ЛЭП (рисунок 3.4) $3I_{0\text{неп}}$ рассчитывается по выражению:

$$3I_{0\text{неп}} = 3 \cdot \frac{E_{C-1} - E_{C-2}}{\underline{Z}_{1\Sigma} + \frac{\underline{Z}_{2\Sigma} \cdot \underline{Z}_{0\Sigma}}{\underline{Z}_{2\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma}}} \cdot \frac{\underline{Z}_{2\Sigma}}{\underline{Z}_{2\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma}}, \quad (3.11)$$

где E_{C-1} , E_{C-2} и $\underline{Z}_{1\Sigma}$, $\underline{Z}_{2\Sigma}$, $\underline{Z}_{0\Sigma}$ соответствуют параметрам схемы в выражении (3.9).

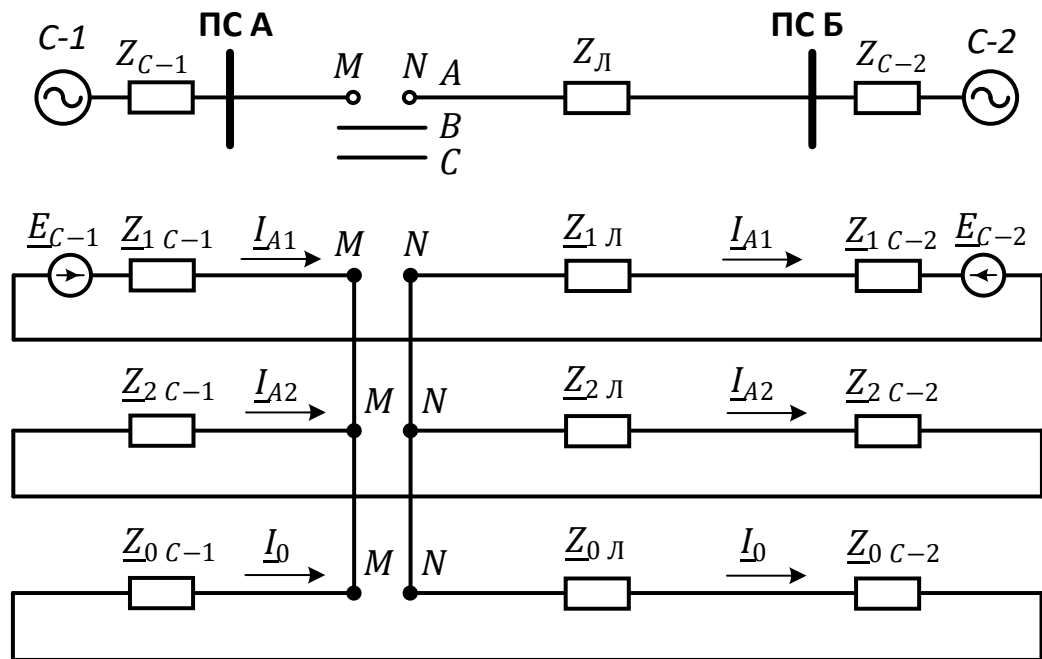


Рисунок 3.4. Принципиальная и комплексная схема замещения для случая неполнофазного режима ЛЭП с двусторонним питанием с разрывом одной фазы

В выражениях (3.9) и (3.11) должна быть учтена максимально возможная разность углов между эквивалентными ЭДС в режиме замыкания ЛЭП в транзит от устройства АПВ или при оперативном включении линии. Для ЛЭП, где возможно несинхронное АПВ, разность углов между эквивалентными ЭДС принимается равной 180° .

3.3.2.2. Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП без выдержки времени по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0\text{неп}}$ при одновременном включении фаз

выключателя, подающего напряжение на ЛЭП с ответвлениями и самозапуске двигателей нагрузки, питаемой от всех Т, присоединенных к ответвлениям от защищаемой ЛЭП, и работе хотя бы одного из этих Т с заземленной нейтралью, производится по выражению (3.8).

Расчет утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0 \text{ неп}}$ в рассматриваемом режиме выполняется с использованием принципа наложения.

Согласно этому принципу рассматривается два режима: полнофазный режим самозапуска двигателей нагрузки, питаемой от всех Т, присоединенных к ответвлениям от защищаемой ЛЭП, и дополнительный неполнофазный режим для ЛЭП с односторонним питанием, представленный комплексными схемами замещения [4].

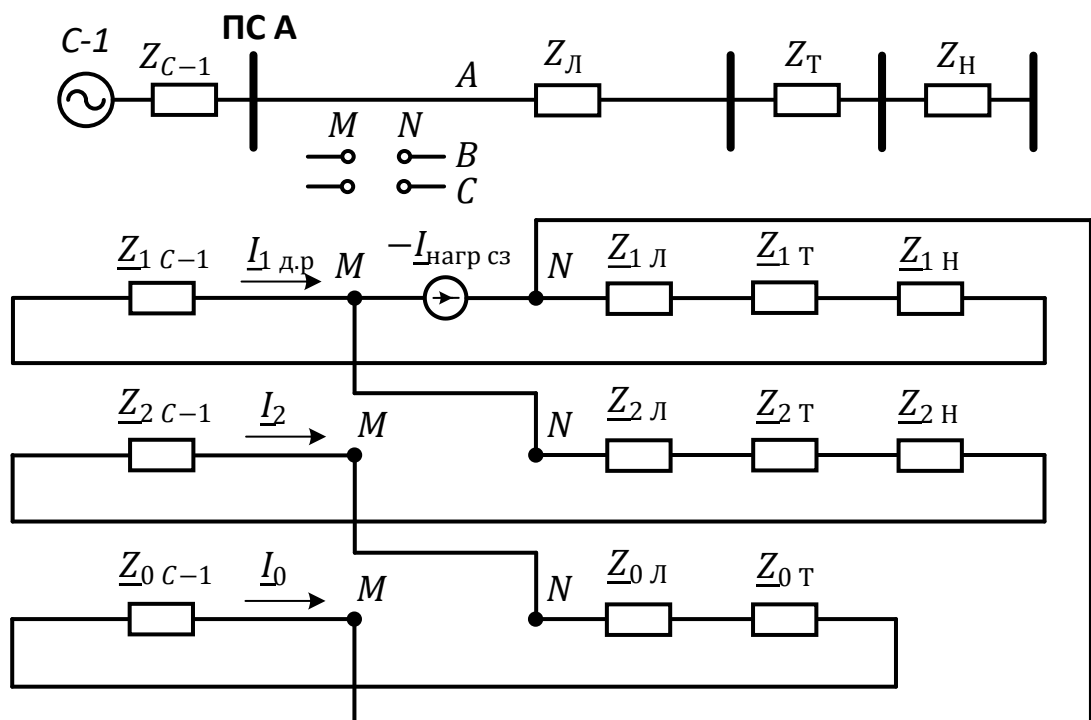


Рисунок 3.5. Принципиальная и комплексная схема замещения для случая неполнофазного режима ЛЭП с односторонним питанием с разрывом двух фаз

Расчетные выражения приводятся для ЛЭП с одним ответвлением с присоединенными Т с заземленной нейтралью.

При опережающем включении одной фазы ЛЭП (рисунок 3.5) $3I_{0 \text{ неп}}$ рассчитывается по выражению:

$$3I_{0 \text{ неп}} = 3I_{\text{нагр сз}} \cdot \frac{\underline{Z}_{1\Sigma}}{\underline{Z}_{1\Sigma} + \underline{Z}_{2\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma}}, \quad (3.12)$$

где $I_{\text{нагр сз}}$ – ток самозапуска двигателей нагрузки, питаемой от всех Т, присоединенных к ответвлению от защищаемой ЛЭП, в полнофазном режиме;

$I_{1 \text{ д.р}}$ – ток прямой последовательности в дополнительном режиме (в схемах на рисунках 3.5, 3.6);

$\underline{Z}_{1\Sigma}$, $\underline{Z}_{2\Sigma}$, $\underline{Z}_{0\Sigma}$ – результирующие сопротивления схем прямой, обратной и нулевой последовательности относительно места разрыва, рассчитываются по выражениям:

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{1\Sigma} &= \underline{Z}_{1C-1} + \underline{Z}_{1Л} + \underline{Z}_{1Т} + \underline{Z}_{1Н}, \\ \underline{Z}_{2\Sigma} &= \underline{Z}_{2C-1} + \underline{Z}_{2Л} + \underline{Z}_{2Т} + \underline{Z}_{2Н}, \\ \underline{Z}_{0\Sigma} &= \underline{Z}_{0C-1} + \underline{Z}_{0Л} + \underline{Z}_{0Т},\end{aligned}\quad (3.13)$$

где $\underline{Z}_{1Л}$, $\underline{Z}_{2Л}$, $\underline{Z}_{0Л}$ – сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности ЛЭП (участка ЛЭП);

\underline{Z}_{1C-1} , \underline{Z}_{2C-1} , \underline{Z}_{0C-1} – эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности системы С-1;

$\underline{Z}_{1Т}$, $\underline{Z}_{2Т}$, $\underline{Z}_{0Т}$ – эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности Т ответвления;

$\underline{Z}_{1Н}$, $\underline{Z}_{2Н}$ – сопротивления прямой и обратной последовательности подключенной нагрузки.

При опережающем включении двух фаз ЛЭП (рисунок 3.6) $3I_{0\text{неп}}$ рассчитывается по выражению:

$$3I_{0\text{неп}} = 3I_{\text{нагр сз}} \cdot \frac{\frac{1}{\underline{Z}_{0\Sigma}}}{\frac{1}{\underline{Z}_{1\Sigma}} + \frac{1}{\underline{Z}_{2\Sigma}} + \frac{1}{\underline{Z}_{0\Sigma}}}.\quad (3.14)$$

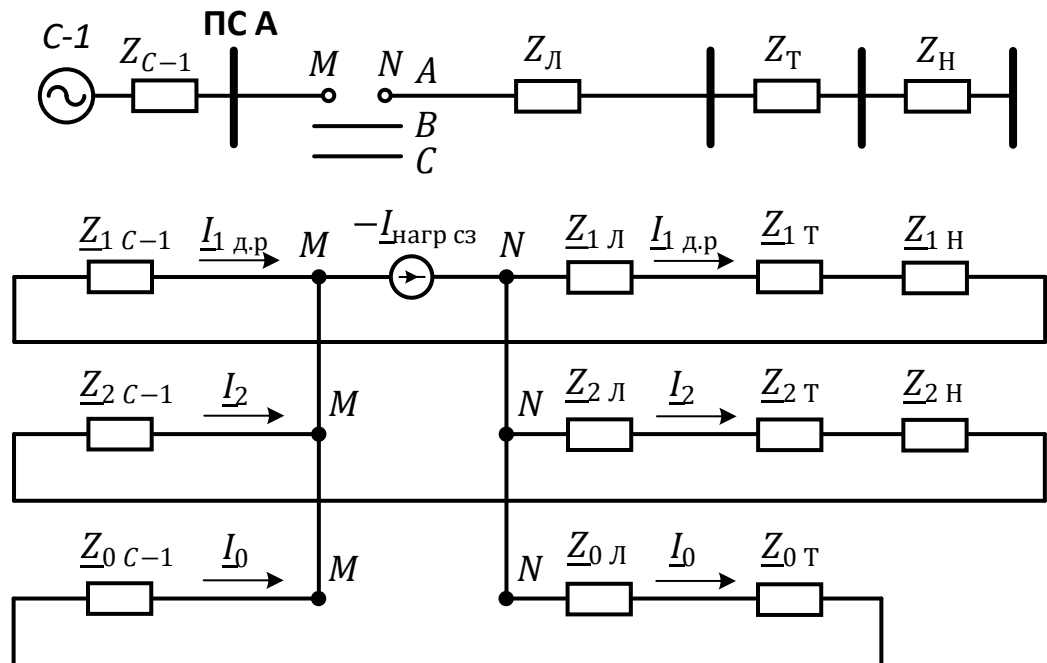


Рисунок 3.6. Принципиальная и комплексная схема замещения для случая неполнофазного режима ЛЭП с односторонним питанием с разрывом одной фазы

Ток в режиме самозапуска двигательной нагрузки может быть рассчитан по выражению:

$$I_{\text{нагр сз}} = k_{\text{сз}} \cdot I_{\Sigma \text{нагр}},\quad (3.15)$$

где $k_{сз}$ – коэффициент, учитывающий увеличение фазного тока в режиме самозапуска, ориентировочное значение принимается равным 1,5–2,0;

$I_{\Sigma \text{ нагр}}$ – ток, равный сумме фазных токов нагрузки, питающейся от Т на ответвлении.

При наличии на ЛЭП нескольких ответвлений результирующие сопротивления схем прямой, обратной и нулевой последовательности относительно места разрыва определяются по выражениям (3.13) суммированием сопротивления системы и сопротивления, рассчитанного с помощью эквивалентирования участков ЛЭП и подключенных Т ответвлений. В результирующем сопротивлении нулевой последовательности учитываются только Т с заземленными нейтральями.

3.3.2.3. Расчет тока срабатывания автоматически ускоряемой ступени ТЗНП, действующей без выдержки времени, по отстройке от утроенного емкостного тока нулевой последовательности $3I_{0с}$ в кратковременном неполнофазном режиме, возникающем при неодновременном включении фаз выключателя ЛЭП в режиме одностороннего включения ЛЭП под напряжение, производится по выражению:

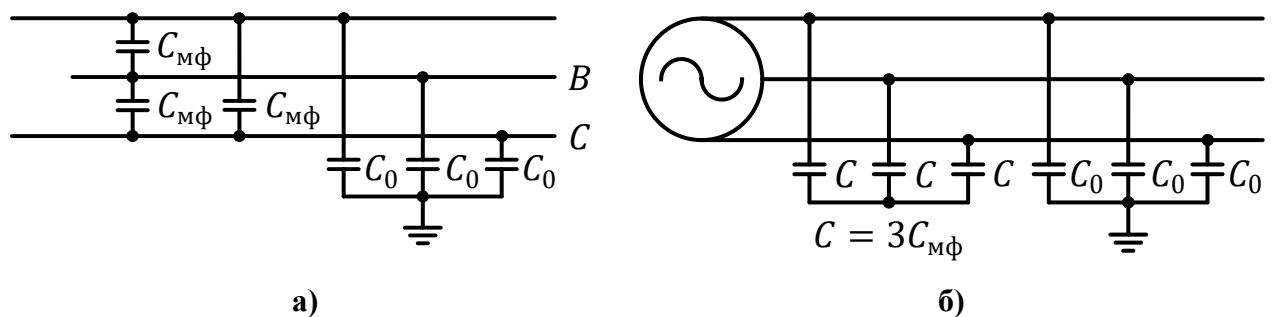
$$3I_{0уст}^{AY} \geq k_{отс} \cdot 3I_{0с}, \quad (3.16)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, который учитывает необходимый запас на увеличение емкостного тока в переходном режиме и принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше равным:

$$k_{отс} = 1,7-2,0 \text{ – согласно рекомендациям [5].}$$

Утроенный емкостный ток нулевой последовательности $3I_{0с}$ определяется из комплексных схем замещения, составленных для случаев неполнофазного одностороннего включения ЛЭП [4].

Емкость трехфазной ЛЭП определяется взаимной емкостью между фазами $C_{мф}$ и емкостью фазы относительно земли C_0 (рисунок 3.7). Для вычисления симметричных составляющих емкостного тока ЛЭП треугольник междуфазовых емкостей (рисунок 3.7 «а») может быть преобразован в звезду (рисунок 3.7 «б»).



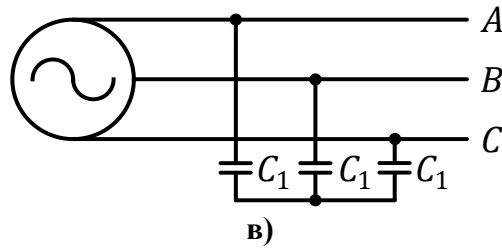


Рисунок 3.7. Определение емкости трехфазной ЛЭП

$$\frac{1}{\omega C} = X_C = \frac{X_{\text{мф}} \cdot X_{\text{мф}}}{X_{\text{мф}} + X_{\text{мф}} + X_{\text{мф}}} = \frac{X_{\text{мф}}}{3} = \frac{1}{3\omega C_{\text{мф}}} \quad (3.17)$$

Емкостные токи прямой (обратной) последовательности протекают через эквивалентную емкость C_1 прямой (обратной) последовательности (рисунок 3.7 «в»), которая определяется по выражению:

$$C_1 = C_0 + 3C_{\text{мф}} \quad (3.18)$$

Эквивалентную емкость прямой последовательности называют зарядной емкостью, по ней вычисляют зарядные токи в нормальном режиме.

Емкостный ток нулевой последовательности через емкость фаз относительно земли C_0 протекает к нулевым точкам системы.

Емкостная проводимость ЛЭП для токов прямой, обратной и нулевой последовательности определяется по выражениям:

$$jb_1 = jb_2 = j\omega C_1; \quad jb_0 = j\omega C_0 \quad (3.19)$$

Если известны удельные емкостные проводимости ЛЭП прямой, обратной и нулевой последовательности в См/км, полная проводимость линии прямой, обратной и нулевой последовательности определяется:

$$jb_1 = jb_2 = jb_{1\text{уд}}L; \quad jb_0 = jb_{0\text{уд}}L, \quad (3.20)$$

где L – длина ЛЭП, км.

Емкостные сопротивления ЛЭП токам прямой, обратной и нулевой последовательности определяются:

$$X_{1c} = X_{2c} = \frac{1}{jb_1}; \quad X_{0c} = \frac{1}{jb_0} \quad (3.21)$$

Поскольку емкостные сопротивления ЛЭП очень велики, при расчете емкостных токов можно пренебречь сопротивлениями примыкающей энергосистемы и линии.

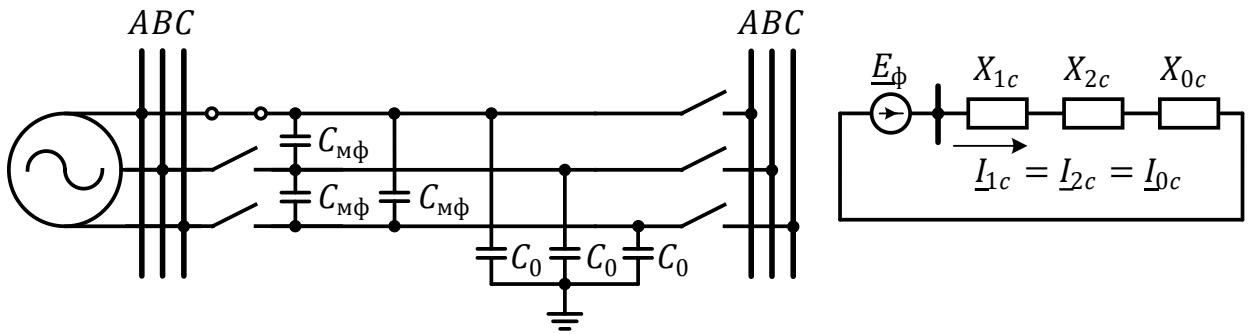


Рисунок 3.8. Принципиальная и комплексная схема замещения для случая опережающего включения одной фазы ЛЭП

При опережающем включении одной фазы (рисунок 3.8) емкостные токи прямой, обратной и нулевой последовательности определяются по выражениям:

$$I_{1c} = I_{2c} = \frac{U_{\phi}}{X_{1c} + X_{2c} + X_{0c}}, \quad (3.22)$$

$$3I_{0c} = 3 \cdot \frac{U_{\phi}}{X_{1c} + X_{2c} + X_{0c}}, \quad (3.23)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение в месте установки защиты.

При опережающем включении двух фаз (рисунок 3.9) емкостные токи прямой, обратной и нулевой последовательности определяются по выражениям:

$$I_{1c} = \frac{U_{\phi}}{X_{1c} + \frac{X_{2c} \cdot X_{0c}}{X_{2c} + X_{0c}}}, \quad (3.24)$$

$$I_{2c} = I_{1c} \cdot \frac{X_{0c}}{X_{2c} + X_{0c}}, \quad (3.25)$$

$$3I_{0c} = 3I_{1c} \cdot \frac{X_{2c}}{X_{2c} + X_{0c}} \quad (3.26)$$

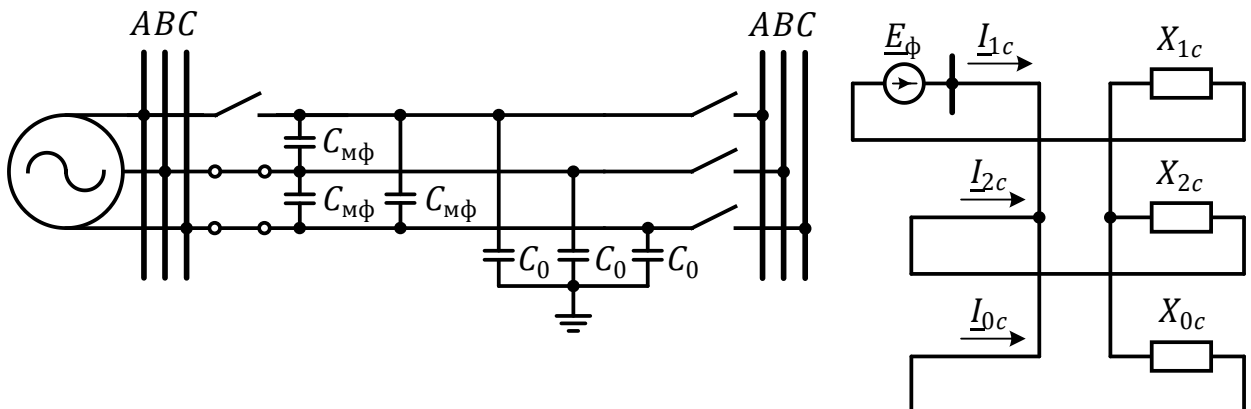


Рисунок 3.9. Принципиальная схема и комплексная схема замещения для случая опережающего включения двух фаз ЛЭП

При включении ЛЭП тремя фазами емкостный ток прямой последовательности определяется по выражению:

$$I_{1C} = \frac{U_{\phi}}{X_{1C}} = jb_1 U_{\phi} \quad (3.27)$$

3.3.3. Отстройка от неполнофазных режимов ЛЭП в цикле ОАПВ

3.3.3.1. Расчет тока срабатывания ступени ТЗНП по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на защищаемой ЛЭП производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0\text{ОАПВ}}, \quad (3.28)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше равным:

$$k_{\text{отс}} = 1,2.$$

Утроенный ток нулевой последовательности $3I_{0\text{ОАПВ}}$ может быть рассчитан по выражению (3.11) с учетом максимально возможной разности углов между эквивалентными ЭДС, которая соответствует перетоку мощности по защищаемой ЛЭП в неполнофазном режиме цикла ОАПВ.

3.3.3.2. Расчет тока срабатывания ступени ТЗНП по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на смежной ЛЭП производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}} \cdot 3I_{0\text{ОАПВ см}}, \quad (3.29)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше равным:

$$k_{\text{отс}} = 1,2;$$

$3I_{0\text{ОАПВ см}}$ – утроенный ток нулевой последовательности в цикле ОАПВ на смежной ЛЭП с двусторонним питанием, может быть рассчитан по выражению (3.11) с учетом максимально возможной разности углов между эквивалентными ЭДС, которая соответствует перетоку мощности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на смежной ЛЭП;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, определяется исходя из схемы замещения нулевой последовательности сети.

Коэффициент токораспределения $k_{\text{т}}$ для схемы замещения нулевой последовательности для случая продольной несимметрии (цикл ОАПВ на смежной ЛЭП) определяется аналогично определению $k_{\text{т}}$ для случая поперечной несимметрии (КЗ на землю на смежной ЛЭП).

3.3.4. Отстройка от длительных неполнофазных режимов смежных ЛЭП

Расчет тока срабатывания ступени ТЗНП по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенной смежной ЛЭП производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}} \cdot 3I_{0\text{С см}}, \quad (3.30)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{\text{отс}} = 1,2;$$

$3I_{0\text{С см}}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности односторонне включенной смежной ЛЭП в рассматриваемом режиме, рассчитывается по выражению (3.23) или (3.26);

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, определяется исходя из схемы замещения сети нулевой последовательности сети.

3.3.5. Отстройка от тока небаланса при внешних симметричных КЗ

Расчет тока срабатывания ступени ТЗНП по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при внешних трехфазных КЗ производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot I_{0\text{нб}}, \quad (3.31)$$

где $I_{0\text{нб}}$ – ток небаланса нулевой последовательности, обусловленный погрешностями ТТ, определяется по выражению:

$$I_{0\text{нб}} = k_{0\text{нб}} \cdot I_{\text{расч}}, \quad (3.32)$$

где $I_{\text{расч}}$ – максимальное значение фазного тока, проходящего в месте установки защиты при внешних трехфазных КЗ.

Коэффициент небаланса $k_{0\text{нб}}$ в выражении (3.32) принимается в зависимости от кратности тока $I_{\text{расч}}$:

- при кратности тока, не превышающей $(2-3) I_{\text{ном ТТ}}$ номинального первичного тока ТТ, $k_{0\text{нб}}$ принимается равным 0,05;
- при больших кратностях тока $k_{0\text{нб}}$ принимается равным 0,1.

Коэффициент $k_{\text{пер}}$ в выражении (3.31), учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимается:

$k_{\text{пер}} = 2$ – при выдержке времени рассматриваемой ступени меньшей или равной 0,1 с;

$k_{\text{пер}} = 1,5$ – при выдержке времени рассматриваемой ступени меньшей или равной 0,3 с;

$k_{\text{пер}} = 1$ – при выдержке времени рассматриваемой ступени большей или равной 0,5 с.

Коэффициент отстройки $k_{\text{отс}}$ в выражении (3.31) принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{\text{отс}} = 1,25.$$

3.3.6. Отстройка от тока небаланса в максимальных нагрузочных режимах и режимах качаний

3.3.6.1. Расчет тока срабатывания ступени ТЗНП по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} (I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}}), \quad (3.33)$$

где $I_{0\text{нб}}$ – ток небаланса нулевой последовательности, обусловленный погрешностями ТТ, определяется по выражению:

$$I_{0\text{нб}} = k_{0\text{нб}} I_{\text{нагр}}, \quad (3.34)$$

где $I_{\text{нагр}}$ – значение фазного тока в месте установки защиты, соответствующее длительно допустимому рабочему току по ЛЭП

в нагрузочном режиме, определяется в соответствии с Методическими указаниями [6];

$k_{0нб}$ – коэффициент небаланса, принимается равным 0,05;

$3I_{0н.р}$ – утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный наличием несимметрии в системе, при отсутствии несимметрии принимается равным 0;

$k_{в}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

Коэффициент отстройки $k_{отс}$ в выражении (3.33) принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,2-1,25.$$

3.3.6.2. Расчет тока срабатывания ступени ТЗНП по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в асинхронном режиме или режиме синхронных качаний производится по выражению:

$$3I_{0уст} \geq k_{отс} \cdot (I_{0нб} + 3I_{0н.р}), \quad (3.35)$$

где $I_{0нб}$ – ток небаланса нулевой последовательности в режиме качаний, обусловленный погрешностями ТТ, определяется по выражению:

$$I_{0нб} = k_{0нб} I_{кач}, \quad (3.36)$$

где $I_{кач}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты в асинхронном режиме или режиме синхронных качаний;

$3I_{0н.р}$ – утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный наличием несимметрии в системе, при отсутствии несимметрии принимается равным 0.

Коэффициент небаланса $k_{0нб}$ в выражении (3.36) принимается в зависимости от кратности тока $I_{кач}$:

– при кратности тока, не превышающей (2–3) $I_{ном ТТ}$ номинального первичного тока ТТ, $k_{0нб}$ принимается равным 0,05;

– при больших кратностях тока $k_{0нб}$ принимается равным 0,1.

Коэффициент отстройки $k_{отс}$ в выражении (3.36) принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,2-1,25.$$

Отстройка тока срабатывания $3I_{0уст}$ от тока небаланса нулевой последовательности в указанных режимах производится для ступеней ТЗНП, выдержка времени срабатывания которых меньше длительности цикла асинхронного режима или режима синхронных качаний.

3.3.7. Требования по обеспечению чувствительности ТЗНП

Оценка надежности работы ТЗНП ЛЭП при КЗ на землю в защищаемой зоне производится с помощью коэффициента чувствительности, который должен обеспечить требуемый запас с учетом погрешности ТТ, погрешности измерительных токовых органов защиты и погрешности расчета первичных величин, которая может быть обусловлена отличием действительных параметров защищаемой ЛЭП и прилегающей электрической сети от параметров схемы замещения математической модели.

Ниже приводятся значения коэффициентов чувствительности применительно к расчетным условиям выбора тока срабатывания четырехступенчатой ТЗНП одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

3.3.7.1. В соответствии с пунктом 11 Требований [7] при оценке выполнения нормативных требований к чувствительности резервных защит ЛЭП в качестве расчетного случая принимается металлическое КЗ на землю с величиной переходного сопротивления в месте КЗ, равной нулю.

3.3.7.2. В соответствии с пунктом 14 Требований [7] базовые значения коэффициентов чувствительности для измерительных органов ступеней ТЗНП, предназначенных для действия в пределах всей защищаемой ЛЭП, должны приниматься равными не менее:

- 1,5 – для токовых измерительных органов нулевой последовательности при отсутствии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5;

- 1,3 – для токовых измерительных органов нулевой последовательности при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5;

- 2,0 – для измерительных органов РНМ нулевой или обратной последовательности по мощности;

- 1,5 – для измерительных органов РНМ нулевой или обратной последовательности по току и напряжению.

3.3.7.3. В соответствии с пунктом 15 Требований [7] базовые значения коэффициентов чувствительности для измерительных органов ступеней ТЗНП, выполняющих функции дальнего резервирования, должны приниматься равными не менее:

- 1,2 – для токовых измерительных органов нулевой последовательности;

- 1,4 – для измерительных органов РНМ нулевой или обратной последовательности по мощности;

- 1,2 – для измерительных органов РНМ нулевой или обратной последовательности по току и напряжению.

3.3.7.4. В соответствии с пунктом 18 Требований [7] для ступеней ТЗНП предназначенных для действия в пределах всей защищаемой ЛЭП,

базовые значения коэффициентов чувствительности, указанные в пункте 3.3.7.2, допускается обеспечивать только при каскадном действии РЗ, если противоположный конец рассматриваемой ЛЭП подключен к шинам (ошиновке), оснащенным ДЗШ (ДЗО).

3.3.7.5. Для измерительных органов автоматически ускоряемой ненаправленной ступени ТЗНП, предназначенной для действия в пределах всей защищаемой ЛЭП, базовое значение коэффициента чувствительности в режиме постановки ЛЭП под напряжение принимается равным не менее:

- 1,5 – для токовых измерительных органов нулевой последовательности.

Допускается снижение базового значения коэффициента чувствительности до 1,3 в случае, если автоматически ускоряемая ступень ТЗНП реализована на одной из четырех ступеней ТЗНП защиты и отсутствует техническая возможность реализации АУ для более чувствительной ступени ТЗНП.

3.3.7.6. Для измерительных органов оперативно ускоряемой ступени ТЗНП, предназначенной для действия в пределах всей защищаемой ЛЭП, базовое значение коэффициента чувствительности в режиме транзита принимается равным не менее:

- 1,5 – для токовых измерительных органов нулевой последовательности;

- 2,0 – для измерительных органов направления мощности нулевой или обратной последовательности по мощности;

- 1,5 – для измерительных органов направления мощности нулевой или обратной последовательности по току и напряжению.

Допускается снижение базового значения коэффициента чувствительности для токовых измерительных органов нулевой последовательности до 1,3 в случае, если оперативно ускоряемая ступень ТЗНП реализована на одной из четырех ступеней ТЗНП защиты и отсутствует техническая возможность реализации ОУ для более чувствительной ступени ТЗНП.

3.3.7.7. Для измерительных органов телеускоряемой ступени ТЗНП, предназначенной для действия в пределах всей защищаемой ЛЭП, базовое значение коэффициента чувствительности в режиме транзита принимается равным не менее:

- 1,5 – для токовых измерительных органов нулевой последовательности;

- 2,0 – для измерительных органов направления мощности нулевой или обратной последовательности по мощности;

- 1,5 – для измерительных органов направления мощности нулевой или обратной последовательности по току и напряжению.

Допускается снижение базового значения коэффициента чувствительности для токовых измерительных органов нулевой

последовательности до 1,3 в случае, если телеускоряемая ступень ТЗНП реализована на одной из четырех ступеней ТЗНП защиты и отсутствует техническая возможность реализации ТУ для более чувствительной ступени ТЗНП.

4. Расчет и выбор параметров настройки РНМ нулевой последовательности

4.1. Применение ненаправленных и направленных ступеней ТЗНП

Применение направленной ТЗНП эффективно на ЛЭП с питанием с двух и более сторон. Направление мощности при КЗ на землю можно определить по углу между векторами тока и напряжения нулевой последовательности, который зависит от расположения места повреждения относительно места установки защиты. При выполнении какой-либо ступени ТЗНП направленной ее срабатывание произойдет с заданной выдержкой времени при одновременном срабатывании токового органа и РНМ. Согласование направленных ступеней ТЗНП по току срабатывания и выдержке времени производится для тех защит, для которых направление мощности нулевой последовательности при КЗ на землю одинаково.

В устройствах РЗ на электромеханической элементной базе применяются индукционные РНМ, которые реагируют на величину и направление мощности нулевой последовательности.

В устройствах РЗ ЛЭП на микроэлектронной и МП элементной базе применяются РНМ, которые реагируют на величину тока и напряжения нулевой последовательности и угол между ними.

В устройствах РЗ ЛЭП на МП элементной базе для определения направления при КЗ на землю могут применяться РНМ, реагирующие на другие электрические величины: токи и напряжения обратной последовательности, ток нейтрали силового трансформатора и т.д.

Ступени ТЗНП ЛЭП могут быть с направлением в защищаемую ЛЭП (прямонаправленные), ненаправленные и с направлением, обратным направлению в защищаемую ЛЭП (обратнонаправленные). Для каждой ступени ТЗНП направленность определяется в зависимости от функционального назначения ступени и обеспечения требований надежности, селективности и чувствительности.

В целях повышения надежности работы защиты следует рассмотреть возможность выполнения отдельных ступеней ТЗНП ненаправленными в следующих случаях:

- 1) первая ступень – если она отстроена от КЗ на землю на шинах ПС, где установлена рассматриваемая защита;
- 2) вторая ступень или последующие ступени – если они согласованы по току и времени срабатывания с ТЗНП присоединений, отходящих от шин ПС, где установлена рассматриваемая защита;
- 3) четвертая (или самая чувствительная ступень) – если выдержка времени срабатывания ступени согласована с выдержками времени самых чувствительных ступеней ТЗНП, отходящих от шин ПС, где установлена рассматриваемая защита.

Решение о возможности выполнения отдельных ступеней ТЗНП ненаправленными может быть принято по условию обеспечения селективности из сравнения токов срабатывания и выдержек времени защит, установленных на противоположных концах защищаемой ЛЭП:

- если ступени защит имеют равные выдержки времени, то ненаправленной может выполняться ступень защиты, ток срабатывания которой больше;

- если ступени защит имеют неравные выдержки времени, причем ступень защиты с большей выдержкой времени имеет ток срабатывания, равный (или больший) тока срабатывания соответствующей ступени защиты с меньшей выдержкой времени, то ненаправленной может выполняться ступень защиты с большей выдержкой времени;

- самая чувствительная ступень защиты может выполняться ненаправленной, если выдержка времени ее больше или равна выдержке времени самой чувствительной ступени защиты, установленной на противоположной стороне ЛЭП.

Для ЛЭП с ответвлениями, при наличии Т с заземленными нейтралью на ПС ответвлений, возможность выполнения ступеней ТЗНП ненаправленными принимается по условию согласования с ТЗНП присоединений, отходящих от шин ПС, где установлена рассматриваемая защита.

В устройствах РЗ ЛЭП предусматривается ускорение действия отдельных ступеней ТЗНП. Оперативно ускоряемые и телеускоряемые ступени ТЗНП выполняются с направлением в защищаемую ЛЭП.

В схемах ТУ с использованием прямонаправленной ступени ТЗНП с «полным охватом» защищаемой ЛЭП и передачей блокирующих или разрешающих сигналов необходимо применение обратнаправленной или ненаправленной ступени ТЗНП для надежной фиксации внешнего КЗ на землю.

В защите от неполнофазного режима ЛЭП для контроля протекания тока нулевой последовательности может использоваться ступень ТЗНП с наименьшим током срабатывания без контроля РНМ.

Вывод направленности ступеней ТЗНП может выполняться автоматически:

- при появлении неисправности в цепях напряжения;
- при включении ЛЭП под напряжение для автоматически ускоряемой ступени ТЗНП;

- при действии защиты на отключение в целях предотвращения отказа защиты при неполнофазном включении ЛЭП на повреждение или срыва пуска УРОВ при неполнофазном отключении поврежденной ЛЭП выключателями с пофазным приводом (в случае установки ТН на линии).

В устройствах РЗ ЛЭП 330 кВ и выше предусматривается автоматический вывод направленности ступеней ТЗНП в цикле ОАПВ на защищаемой ЛЭП.

4.2. Фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности при КЗ на землю в сети с заземленной нейтралью

Для несимметричного КЗ в сети с заземленной нейтралью можно записать уравнения для схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательности [8]:

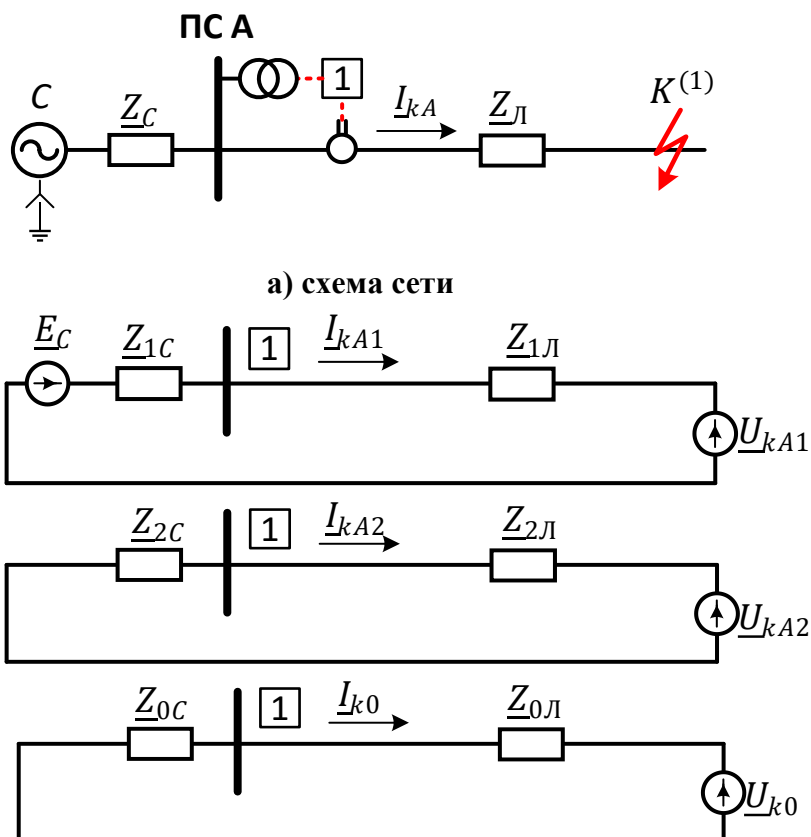
$$\begin{aligned} \underline{U}_{k1} &= \underline{E}_C - \underline{I}_{k1} \cdot \underline{Z}_{1\Sigma}; \\ \underline{U}_{k2} &= 0 - \underline{I}_{k2} \cdot \underline{Z}_{2\Sigma}; \\ \underline{U}_{k0} &= 0 - \underline{I}_{k0} \cdot \underline{Z}_{0\Sigma}, \end{aligned} \quad (4.1)$$

где $\underline{I}_{k1}, \underline{I}_{k2}, \underline{I}_{k0}, \underline{U}_{k1}, \underline{U}_{k2}, \underline{U}_{k0}$, – симметричные составляющие токов и напряжений в месте КЗ;

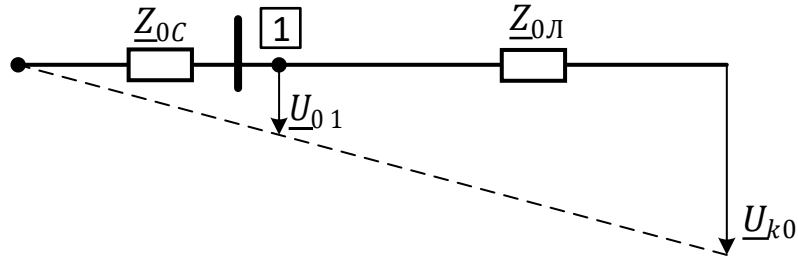
\underline{E}_C – ЭДС эквивалентных генераторов примыкающей энергосистемы;

$\underline{Z}_{1\Sigma}, \underline{Z}_{2\Sigma}, \underline{Z}_{0\Sigma}$ – результирующие сопротивления схем прямой, обратной и нулевой последовательности относительно точки КЗ.

Источник для токов нулевой и обратной последовательности располагается в месте КЗ, но за положительное направление симметричных составляющих токов всех последовательностей принимается направление к месту КЗ.



б) схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности



в) эпюра напряжений нулевой последовательности

Рисунок 4.1. Однофазное КЗ на землю в сети с заземленной нейтралью

Фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности и работу РНМ нулевой последовательности защиты 1 рассмотрим для случая металлического КЗ на землю фазы А в конце защищаемой ЛЭП (рисунок 4.1).

Напряжение поврежденной фазы А в месте КЗ равно нулю:

$$\underline{U}_{kA} = \underline{U}_{kA1} + \underline{U}_{kA2} + \underline{U}_{k0} = 0. \quad (4.2)$$

Симметричные составляющие токов поврежденной фазы А в месте КЗ (при отсутствии токов нагрузки в неповрежденных фазах В и С) равны:

$$\underline{I}_{kA1} = \underline{I}_{kA2} = \underline{I}_{k0} = \frac{1}{3} \underline{I}_{kA}. \quad (4.3)$$

На основании выражений (4.1), (4.2) и (4.3) можно записать:

$$\underline{E}_C - \underline{I}_{kA1} \cdot \underline{Z}_{1\Sigma} - \underline{I}_{kA2} \cdot \underline{Z}_{2\Sigma} - \underline{I}_{k0} \cdot \underline{Z}_{0\Sigma} = 0; \quad (4.4)$$

$$\underline{I}_{kA1} = \underline{I}_{kA2} = \underline{I}_{k0} = \frac{\underline{E}_C}{\underline{Z}_{1\Sigma} + \underline{Z}_{2\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma}}, \quad (4.5)$$

где результирующие сопротивления схем прямой, обратной и нулевой последовательности рассчитываются по выражениям:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{1\Sigma} &= \underline{Z}_{1C} + \underline{Z}_{1Л}; \\ \underline{Z}_{2\Sigma} &= \underline{Z}_{2C} + \underline{Z}_{2Л}; \\ \underline{Z}_{0\Sigma} &= \underline{Z}_{0C} + \underline{Z}_{0Л}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Напряжение обратной \underline{U}_{kA2} и нулевой последовательности \underline{U}_{k0} имеют наибольшее значение в месте КЗ:

$$\underline{U}_{kA2} = -\underline{I}_{kA2} \cdot \underline{Z}_{2\Sigma} \angle \varphi_{2\Sigma} = \underline{I}_{kA2} \cdot \underline{Z}_{2\Sigma} \angle (\varphi_{2\Sigma} + 180^\circ); \quad (4.7)$$

$$\underline{U}_{k0} = -\underline{I}_{k0} \cdot \underline{Z}_{0\Sigma} \angle \varphi_{0\Sigma} = \underline{I}_{k0} \cdot \underline{Z}_{0\Sigma} \angle (\varphi_{0\Sigma} + 180^\circ), \quad (4.8)$$

где $\angle \varphi_{2\Sigma}, \angle \varphi_{0\Sigma}$ – углы при результирующих сопротивлениях обратной и нулевой последовательности.

На ЛЭП с двусторонним питанием и различными углами эквивалентных сопротивлений нулевой последовательности примыкающих энергосистем, а также на протяженных воздушных и кабельных ЛЭП из-за значительной

емкостной проводимости угол тока нулевой последовательности \underline{I}_{01} в месте установки защиты 1 может несколько отличаться от угла тока \underline{I}_{k0} в месте КЗ.

В месте установки защиты 1 напряжение нулевой последовательности \underline{U}_{01} определяется как падение напряжения на сопротивлении примыкающей энергосистемы \underline{Z}_{0c} (рисунок 4.1 «в»):

$$\underline{U}_{01} = -\underline{I}_{01} \cdot \underline{Z}_{0c} = \underline{I}_{01} \cdot Z_{0c} \angle (\varphi_{0c} + 180^\circ). \quad (4.9)$$

Из выражения (4.9) следует, что при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП ток нулевой последовательности \underline{I}_{01} в месте установки защиты 1 отстает от напряжения \underline{U}_{01} на угол $\varphi_{0p} = \varphi_{0c} + 180^\circ$. Угол между током и напряжением нулевой последовательности определяется углами сопротивлений нулевой последовательности сетевых элементов (ЛЭП, АТ и Т с заземленными нейтралью) и для сети напряжением 110 кВ и выше составляет $\varphi_{0p} \approx (70 - 75)^\circ + 180^\circ = (250 - 255)^\circ$.

Таким образом, направление мощности при КЗ на землю можно определить по углу между током и напряжением нулевой последовательности $\varphi_{0p} = \varphi_{\underline{U}_{01}} - \varphi_{\underline{I}_{01}}$.

Для прямонаправленных ступеней ТЗНП характеристика направленности РНМ охватывает третий квадрант комплексной плоскости сопротивлений и представляет собой полуплоскость $\pm 90^\circ$ относительно угла максимальной чувствительности, равного $\varphi_{мч} = \varphi_{0p}$ (рисунок 4.2).

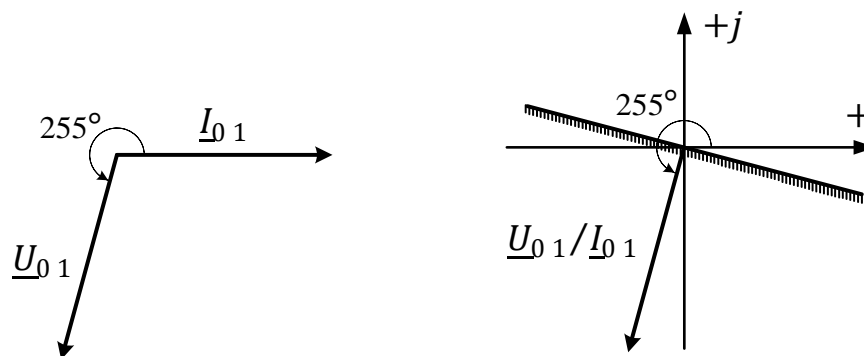


Рисунок 4.2. Фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП

Фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности в месте установки защиты согласно выражению (4.9) справедливы при любом виде КЗ на землю в направлении защищаемого элемента и не зависят от наличия или отсутствия переходного сопротивления в месте повреждения.

Работа РНМ, реагирующего на величину и направление мощности нулевой последовательности, при подключении реле на утроенное напряжение и утроенный ток нулевой последовательности обеспечена при выполнении следующего условия:

$$S_{0p} = 3U_{0p} \cdot 3I_{0p} \cos(\varphi_{0p} - \varphi_{мч}) \geq S_{0PM}, \quad (4.10)$$

где $3U_{0p}$, $3I_{0p}$, φ_{0p} – утроенное напряжение, ток нулевой последовательности и угол между ними в месте установки защиты;

$\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности РНМ;

S_{0PM} – минимальная мощность срабатывания РНМ, соответствующая углу $\varphi_{0p} = \varphi_{мч}$.

В устройствах РЗ отечественного производства на электромеханической базе индукционные РНМ типа РБМ-177, РБМ-178, РБМ-277, РБМ-278 подключают к измерительным ТН перевернутыми концами ($3U_0$ поворачивают на 180°) и получают на реле ток $3I_{0p}$, отстающий от напряжения $3U_{0p}$ на угол $\varphi_{0p} = (70 - 75)^\circ$, что соответствует углу максимальной чувствительности этих реле.

В устройствах РЗ отечественного производства на микроэлектронной и МП элементной базе РНМ имеет отдельные пусковые органы по току и напряжению нулевой последовательности, которые по схеме «И» работают с органом направления, угол максимальной чувствительности которого для прямонаправленных ступеней ТЗНП устанавливается или задается равным $\varphi_{мч} = (250 - 255)^\circ$.

В устройствах РЗ других производителей угол максимальной чувствительности, ширина зоны срабатывания РНМ задаются в соответствии с рекомендациями, приведенными в документации для конкретной защиты.

4.3. Разрешающее и блокирующее РНМ нулевой последовательности

Действие прямонаправленных ступеней ТЗНП может контролироваться РНМ, которое срабатывает при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП, и разрешает действие прямонаправленных ступеней защиты (разрешающее РНМ).

Действие прямонаправленных ступеней ТЗНП может контролироваться РНМ, которое срабатывает при КЗ на землю в направлении, обратном защищаемой ЛЭП, и блокирует действие прямонаправленных ступеней защиты (блокирующее РНМ). Таким образом, при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП блокирующее РНМ не работает и не запрещает действие прямонаправленных ступеней ТЗНП.

Блокирующее РНМ применяется в случае невозможности обеспечить требуемую чувствительность разрешающего РНМ по напряжению или мощности срабатывания (например, на протяженных ЛЭП, отходящих от мощных источников питания, при малых сопротивлениях нулевой последовательности системы, примыкающей к месту установки защиты).

В ряде устройств РЗ технические характеристики РНМ не позволяют обеспечить требуемую чувствительность разрешающего РНМ (ограниченный диапазон регулирования уставки по мощности или напряжению срабатывания, отсутствие возможности применения смещения в зону защищаемой ЛЭП).

В таких случаях ступени ТЗНП выполняются ненаправленными или направленными с использованием блокирующего РНМ.

В устройствах РЗ ЛЭП на электромеханической элементной базе применяются индукционные РНМ, которые в зависимости от схемы включения могут использоваться как разрешающие, так и блокирующие РНМ.

В устройствах РЗ ЛЭП отечественного производства на микроэлектронной и МП элементной базе применяются РНМ двустороннего действия с независимой регулировкой параметров настройки для разрешающего и блокирующего реле. Контроль направленности отдельных ступеней ТЗНП задается по выбору:

- с использованием разрешающего РНМ;
- с использованием разрешающего или блокирующего РНМ;
- с использованием блокирующего РНМ.

В некоторых МП устройствах РЗ параметры настройки блокирующего РНМ задаются или устанавливаются относительно параметров настройки разрешающего РНМ.

Для направленных ступеней ТЗНП, действующих без выдержки времени, рекомендуется использовать разрешающее РНМ, поскольку при КЗ на землю в направлении, обратном защищаемому, блокирующее РНМ может не успеть сработать и заблокировать прямонаправленную ступень.

Для оперативно ускоряемых (без выдержки времени) и телеускоряемых ступеней ТЗНП также рекомендуется использовать разрешающее РНМ для предотвращения излишней работы защиты при внешних КЗ на землю при появлении тока небаланса нулевой последовательности вследствие возможного насыщения ТТ.

Блокирующее РНМ рекомендуется использовать для чувствительных ступеней ТЗНП, действующих с выдержкой времени.

Ступени ТЗНП, контролируемые блокирующим РНМ, могут оставаться под контролем разрешающего РНМ, которое в пределах своей чувствительности дублирует работу блокирующего РНМ.

Особенности расчета и выбора уставок РНМ для устройств РЗ на электромеханической, микроэлектронной и МП элементной базе приведены в подразделах 4.8–4.10.

4.4. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

4.4.1. Общие указания по расчету

Параметры настройки разрешающего и блокирующего РНМ должны быть согласованы по чувствительности со ступенями ТЗНП, действие которых они контролируют.

Выбор параметров настройки РНМ производится с учетом технических данных и рекомендаций по расчету, приведенных в документации для конкретного устройства РЗ.

Расчетные условия по выбору параметров настройки РНМ нулевой последовательности приведены для РНМ, реагирующих на величину и направление мощности нулевой последовательности, и РНМ с отдельными пусковыми органами по току и напряжению нулевой последовательности.

4.4.2. Перечень расчетных условий для выбора параметров настройки РНМ

В таблице 4.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки РНМ нулевой последовательности защиты 1 ЛЭП Л-1 с учетом особенностей расчета параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП для каждого типа ЛЭП и конфигураций электрической сети, которые приведены на рисунках 5.1, 6.1, 7.1 и 8.1 и рассматриваются в разделах 5–8.

В таблице 4.1 расчетные условия приведены для следующих типов ЛЭП:

- 1) одиночная ЛЭП;
- 2) параллельные ЛЭП;
- 3) одиночная ЛЭП с ответвлениями;
- 4) параллельные ЛЭП с ответвлениями;
- 5) одиночная ЛЭП, работающая по схеме блока Т (АТ)-линия;
- 6) параллельные ЛЭП, работающие по схеме блока Т (АТ)-линия.

Таблица 4.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки РНМ нулевой последовательности

№ п/п	Тип ЛЭП	РНМ	Расчетные условия
1	1–6	Разрешающее, блокирующее	Отстройка РНМ от тока небаланса и напряжения небаланса нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме
2	1–6	Разрешающее	Отстройка РНМ от тока небаланса и напряжения небаланса нулевой последовательности в режиме качаний
3	1–6	Разрешающее	Обеспечение чувствительности РНМ при КЗ на землю в конце зоны действия прямонаправленной ступени ТЗНП, предназначенной для действия в пределах защищаемой ЛЭП в режиме транзита и при каскадном отключении повреждения с противоположной стороны ЛЭП
4	2, 4, 6	Разрешающее	Обеспечение чувствительности РНМ при КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП и каскадном отключении повреждения с противоположной стороны защищаемой ЛЭП в режиме работы параллельной ЛЭП
5	3, 4	Разрешающее	Обеспечение чувствительности РНМ при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при каскадном отключении повреждения с противоположной стороны защищаемой ЛЭП
6	1–6	Разрешающее	Обеспечение чувствительности РНМ при КЗ на землю в конце зоны действия прямонаправленной ступени ТЗНП, выполняющей функции дальнего резервирования

№ п/п	Тип ЛЭП	РНМ	Расчетные условия
7	1–6	Разрешающее	Расчет и выбор сопротивления смещения в зону защищаемой ЛЭП в случае недостаточной чувствительности РНМ по напряжению
8	1–6	Разрешающее	Обеспечение селективности РНМ со смещением в зону защищаемой ЛЭП при КЗ на землю в направлении, противоположном защищаемому
9	4, 6	Разрешающее	Обеспечение селективности РНМ при каскадном отключении КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП
10	2	Разрешающее	Обеспечение селективности РНМ при КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП со значительной емкостной проводимостью
11	1–6	Блокирующее	Обеспечение чувствительности РНМ при КЗ на землю в направлении, противоположном защищаемому, при утроенном токе нулевой последовательности в месте установки защиты, равном току срабатывания самой чувствительной прямонаправленной ступени ТЗНП
12	1–6	Разрешающее, блокирующее	Перевод параметров настройки РНМ во вторичные величины

4.5. Расчет параметров настройки разрешающего РНМ нулевой последовательности

4.5.1. Расчет параметров настройки разрешающего РНМ по отстройке от небалансов в нагрузочном режиме и режиме качаний

4.5.1.1. Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ пускового органа РНМ по току нулевой последовательности по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме (строка 1, таблица 4.1) производится по выражению:

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} (I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}}), \quad (4.11)$$

где $I_{0\text{нб}}$ – ток небаланса нулевой последовательности (первичный), обусловленный погрешностями ТТ, определяется по выражению:

$$I_{0\text{нб}} = k_{0\text{нб}} I_{\text{нагр}}, \quad (4.12)$$

где $I_{\text{нагр}}$ – значение первичного фазного тока в месте установки защиты, соответствующее длительно допустимому рабочему току по ЛЭП в нагрузочном режиме, определяется в соответствии с Методическими указаниями [6];

$k_{0\text{нб}}$ – коэффициент небаланса, принимается равным 0,05;

$3I_{0\text{н.р}}$ – утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный наличием несимметрии в системе (например, при несимметричной нагрузке), при отсутствии несимметрии принимается равным 0;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

Коэффициент отстройки $k_{\text{отс}}$ в выражении (4.11) принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{\text{отс}} = 1,25.$$

4.5.1.2. Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ пускового органа РНМ по току нулевой последовательности по отстройке от небаланса в асинхронном режиме или режиме качаний (строка 2 таблицы 4.1) производится по выражению:

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} \geq k_{\text{отс}} \cdot (I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}}), \quad (4.13)$$

где $I_{0\text{нб}}$ – ток небаланса нулевой последовательности (первичный) в режиме качаний, обусловленный погрешностями ТТ, определяется по выражению:

$$I_{0\text{нб}} = k_{0\text{нб}} I_{\text{кач}}, \quad (4.14)$$

где $I_{\text{кач}}$ – максимальное значение первичного фазного тока в месте установки защиты в асинхронном режиме или режиме синхронных качаний;

$3I_{0\text{н.р}}$ – утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный наличием несимметрии в системе, при отсутствии несимметрии принимается равным 0.

Коэффициент небаланса $k_{0\text{нб}}$ в выражении (4.14) принимается в зависимости от кратности тока $I_{\text{кач}}$:

– при кратности тока, не превышающей (2–3) $I_{\text{ном ТТ}}$ номинального первичного тока ТТ, $k_{0\text{нб}}$ принимается равным 0,05;

– при больших кратностях тока $k_{0\text{нб}}$ принимается равным 0,1.

Коэффициент отстройки $k_{\text{отс}}$ в выражении (4.13) принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{\text{отс}} = 1,25.$$

Отстройка тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ по данному расчетному условию не производится в случае, если ток срабатывания или выдержка времени действия ступеней ТЗНП, действие которых контролирует РНМ, отстроены от указанных режимов.

Если в разрешающем РНМ используется смещение в зону защищаемой ЛЭП в целях обеспечения требуемой чувствительности по напряжению срабатывания, в асинхронном режиме или режиме качаний в защите появляется дополнительная составляющая напряжения небаланса нулевой последовательности. В этом случае для предотвращения излишней работы РНМ ток срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ необходимо отстроить от небаланса в режиме качаний согласно выражению (4.13), если в защите не применяется загробление разрешающего РНМ в зависимости от величины тока качаний.

4.5.1.3. Расчет первичного напряжения срабатывания пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$

по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме (строка 1, таблица 4.1) производится по выражению:

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} (U_{\text{онб}} + 3U_{\text{он.р}}), \quad (4.15)$$

где $U_{\text{онб}}$ – напряжение небаланса (первичное) в нагрузочном режиме.

Напряжение небаланса в нагрузочном режиме зависит от класса точности вторичных обмоток ТН и может быть принято равным значению напряжения небаланса, соответствующему (1,5–2) В вторичных или фактическому напряжению небаланса, измеренному в защите на объекте;

$3U_{\text{он.р}}$ – утроенное напряжение нулевой последовательности, обусловленное несимметрией в системе, при отсутствии несимметрии принимается равным 0;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

Коэффициент отстройки $k_{\text{отс}}$ в выражении (4.15) принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{\text{отс}} = 1,25.$$

4.5.2. Расчет параметров настройки разрешающего РНМ по условию обеспечения чувствительности

Расчеты по обеспечению чувствительности разрешающего РНМ нулевой последовательности по мощности срабатывания и РНМ с отдельными пусковыми органами по току и напряжению нулевой последовательности производятся при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП в конце зоны действия ступеней ТЗНП, направленность которых контролирует РНМ. Расчеты по обеспечению чувствительности выполняются отдельно для прямонаправленной ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП и прямонаправленной ступени ТЗНП, которая выполняет функцию дальнего резервирования.

4.5.2.1. Чувствительность разрешающего РНМ обеспечивается при КЗ на землю в конце зоны срабатывания прямонаправленной ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП в режиме транзита и при каскадном отключении КЗ на землю с противоположной стороны ЛЭП (строка 3, таблица 4.1).

Чувствительность разрешающих РНМ, которые реагируют на величину и направление мощности нулевой последовательности проверяется во вторичных величинах по выражениям:

– для РНМ с углом максимальной чувствительности $\varphi_{\text{мч}} = 250^\circ$

$$k_{\text{ч}} = \frac{(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}}{S_{0 \text{ РМ втор}} \cdot n_{\text{ТТ}} \cdot n_{\text{ТН}}} \cos(\varphi_{0 \text{ р}} - \varphi_{\text{мч}}); \quad (4.16)$$

– для РНМ с углом максимальной чувствительности $\varphi_{\text{мч}} = 70^\circ$

$$k_{\text{ч}} = \frac{(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}}{S_{0 \text{ РМ втор}} \cdot n_{\text{ТТ}} \cdot n_{\text{ТН}}} \cos(\varphi_{0 \text{ р}} - \varphi_{\text{мч}} \pm 180^\circ), \quad (4.17)$$

где $(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}$ – первичное значение мощности нулевой последовательности в месте установки защиты при расчетном виде КЗ на землю в расчетном по чувствительности режиме при токе нулевой последовательности в месте установки защиты, меньшем или равном току срабатывания контролируемой ступени ТЗНП;

φ_{0p} – угол между напряжением $3\underline{U}_0$ и током $3\underline{I}_0$ в рассматриваемом режиме, определяется как $\varphi_{0p} = \varphi_{3\underline{U}_0} - \varphi_{3\underline{I}_0}$;

$n_{\text{ТТ}}, n_{\text{ТН}}$ – коэффициенты трансформации ТТ и ТН, определяются в соответствии с указаниями подраздела 4.7;

$S_{0 \text{ РМ втор}}$ – вторичная минимальная мощность срабатывания РНМ, определяется по техническим данным защиты (для индукционных РНМ в технических данных приводится вторичная мощность срабатывания).

Расчет тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ и напряжения срабатывания $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$ по условию обеспечения чувствительности разрешающего РНМ с отдельными пусковыми органами по току и напряжению нулевой последовательности производится в первичных величинах по выражениям:

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{3I_{0 \text{ мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (4.18)$$

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{3U_{0 \text{ мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (4.19)$$

где $3I_{0 \text{ мин}}, 3U_{0 \text{ мин}}$ – первичные минимальные значения тока и напряжения нулевой последовательности в месте установки защиты при расчетном виде КЗ на землю в расчетной точке и расчетном по чувствительности режиме при токе нулевой последовательности в месте установки защиты меньшем или равном току срабатывания контролируемой ступени ТЗНП;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности.

Следует отметить, что при малых значениях напряжения $3U_{0 \text{ мин}}$ на чувствительность и работу РНМ заметно влияет напряжение небаланса нулевой последовательности $U_{0\text{нб}}$. Поэтому при малых значениях $3U_{0 \text{ мин}}$, соизмеримых со значением $U_{0\text{нб}}$, целесообразно в расчетах по выражению (4.19) принимать значение $3U_{0 \text{ мин}}$ меньшим расчетного на величину небаланса.

Для РНМ с отдельными пусковыми органами по току и напряжению нулевой последовательности отдельно проверяется, что угол φ_{0p} между напряжением и током нулевой последовательности в расчетном по чувствительности режиме соответствует зоне направленности разрешающего РНМ.

4.5.2.2. Чувствительность разрешающего РНМ обеспечивается при КЗ на землю в конце зоны срабатывания прямонаправленной ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП, коэффициент чувствительности

в выражениях (4.16–4.19) принимается в соответствии с пунктом 3.3.7.2 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

Если чувствительность прямонаправленной ступени ТЗНП в соответствии с пунктом 18 Требований [7] обеспечивается только при каскадном действии устройств РЗ, допускается требуемую пунктом 3.3.7.2 чувствительность разрешающего РНМ обеспечивать также только при каскадном действии защит, если противоположный конец рассматриваемой ЛЭП подключен к шинам (ошиновке), оснащенным ДЗШ (ДЗО), а также при наличии защит, обеспечивающих каскадное отключение повреждения с противоположной стороны защищаемой ЛЭП.

Чувствительность РНМ, которое контролирует оперативно ускоряемую или телеускоренную ступень ТЗНП, обеспечивается в соответствии с пунктом 3.3.7.2 без учета каскадного действия устройств РЗ, за исключением случая, когда режим каскадного отключения КЗ с противоположной стороны ЛЭП является определяющим по чувствительности.

Для параллельных ЛЭП чувствительность РНМ дополнительно проверяется по выражениям (4.16–4.19) при каскадном отключении КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП в режиме работы параллельной ЛЭП (строка 4, таблица 4.1). В указанном расчетном режиме значение мощности или напряжения нулевой последовательности в месте установки защиты может оказаться минимальным.

Для ЛЭП при наличии ответвлений чувствительность РНМ дополнительно проверяется по выражениям (4.16–4.19) при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны (строка 5, таблица 4.1).

4.5.2.3. Чувствительность разрешающего РНМ проверяется при КЗ на землю в конце зоны срабатывания прямонаправленной ступени ТЗНП, выполняющей функции дальнего резервирования (строка 6, таблица 4.1) по выражениям (4.16–4.19), в которых коэффициент чувствительности принимается в соответствии с пунктом 3.3.7.3 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

Если в РНМ используется компенсация емкостного тока нулевой последовательности или другое различие в измерительных органах ТЗНП и РНМ, а также в целях обеспечения надежности срабатывания РНМ при токе в месте установки защиты, близком по значению к току срабатывания контролируемой ступени ТЗНП, рекомендуется:

- мощность срабатывания в выражениях (4.16) и (4.17) определять при токе нулевой последовательности в месте установке защиты равном $3I_{0\text{уст мин}}^N/k_n$;
- ток срабатывания $3I_{0\text{РНМ разр}}$ согласовать по чувствительности с прямонаправленной ступенью ТЗНП с наименьшим током срабатывания

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{3I_{0 \text{ уст мин}}^N}{k_H}, \quad (4.20)$$

где k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,1;

$3I_{0 \text{ уст мин}}^N$ – ток срабатывания прямонаправленной ступени ТЗНП с наименьшим током срабатывания.

4.5.2.4. Если напряжение срабатывания $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$ пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности, выбранное по условию отстройки в соответствии с пунктом 4.5.1.3, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности согласно пунктам 4.5.2.1 или 4.5.2.2, в разрешающем РНМ может применяться смещение в защищаемую зону посредством добавления составляющей напряжения нулевой последовательности, пропорциональной протекающему через защиту току $3I_0$, при наличии такой технической возможности в устройстве РЗ (строка 7, таблица 4.1).

При использовании смещения в защищаемую зону к РНМ подводится напряжение:

$$3\underline{U}_{0 \text{ см}} = 3\underline{U}_0 - 3I_0 \cdot \underline{Z}_{0 \text{ см}}, \quad (4.21)$$

где $3I_0$, $3\underline{U}_0$ – первичный ток и напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при расчетном виде КЗ на землю в расчетном по чувствительности режиме;

$\underline{Z}_{0 \text{ см}}$ – первичное значение сопротивления смещения нулевой последовательности.

При КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП напряжение в месте установки защиты $3\underline{U}_0$ и дополнительная составляющая напряжения $3I_0 \cdot \underline{Z}_{0 \text{ см}}$ в выражении (4.21) алгебраически суммируются, к РНМ подводится напряжение:

$$|3\underline{U}_{0 \text{ см}}| = |3\underline{U}_0| + |3I_0 \cdot \underline{Z}_{0 \text{ см}}|. \quad (4.22)$$

Чувствительность РНМ должна быть обеспечена при КЗ в конце зоны действия прямонаправленной ступени ТЗНП с наименьшим током срабатывания:

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{|3\underline{U}_0| + 3I_{0 \text{ уст мин}}^N \cdot |\underline{Z}_{0 \text{ см}}|}{k_{\text{ч}}}, \quad (4.23)$$

где $3\underline{U}_0$ – первичное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при величине тока нулевой последовательности, равном току срабатывания $3I_{0 \text{ уст мин}}^N$.

Первичное значение сопротивления смещения рассчитывается из обеспечения требуемой чувствительности по выражению:

$$|\underline{Z}_{0 \text{ см}}| \geq \frac{k_{\text{ч}} \cdot 3U_{0 \text{ РНМ разр}} - |3\underline{U}_0|}{3I_{0 \text{ уст мин}}^N}, \quad (4.24)$$

где k_q – коэффициент чувствительности, принимается в соответствии с пунктами 3.3.7.2 или 3.3.7.3 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

4.5.2.5. Если в целях обеспечения чувствительности разрешающего РНМ применяется смещение в зону срабатывания, необходимо выполнить проверку селективности разрешающего РНМ при КЗ на землю в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП (строка 8, таблица 4.1).

При КЗ на землю в обратном направлении напряжение в месте установки защиты $3\underline{U}_0$ и составляющая напряжения $3\underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{0\text{ см}}$ в соответствии с выражением (4.21) алгебраически вычитаются и к РНМ подводится напряжение:

$$|3\underline{U}_{0\text{ см}}| = |3\underline{U}_0| - |3\underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{0\text{ см}}|. \quad (4.25)$$

Если выражение (4.25) при выбранном значении $|\underline{Z}_{0\text{ см}}|$ будет положительным $|3\underline{U}_{0\text{ см}}| > 0$, в этом случае фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности будут соответствовать КЗ на землю в направлении, обратном защищаемому, и разрешающее РНМ в соответствии с характеристикой направленности работать не будет.

Если выражение (4.25) при выбранном значении $|\underline{Z}_{0\text{ см}}|$ будет отрицательным, фаза напряжения $3\underline{U}_{0\text{ см}}$, подводимого к РНМ, изменится на 180° по отношению к фазе тока нулевой последовательности, и разрешающее РНМ сработает при КЗ на землю в обратном направлении. Для предотвращения неселективного действия защиты в указанном случае необходимо ограничить величину $\underline{Z}_{0\text{ см}}$ так, чтобы величина напряжения, подводимого к РНМ, была надежно меньше напряжения срабатывания:

$$|3I_{0\text{ уст мин}}^N \cdot \underline{Z}_{0\text{ см}}| - |3\underline{U}_0| < \frac{3U_{0\text{ РНМ разр}}}{k_{\text{отс}}}, \quad (4.26)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2.

Первичное значение сопротивления смещения, при котором обеспечивается несрабатывание разрешающего РНМ в обратном направлении, рассчитывается по выражению:

$$|\underline{Z}_{0\text{ см}}| < \frac{\frac{3U_{0\text{ РНМ разр}}}{k_{\text{отс}}} + |3\underline{U}_0|}{3I_{0\text{ уст мин}}^N}. \quad (4.27)$$

Величина $|\underline{Z}_{0\text{ см}}|$ не должна превышать значения, равного сопротивлению нулевой последовательности защищаемой ЛЭП.

В качестве уставки $|\underline{Z}_{0\text{ см}}|$ выбирается меньшее значение, рассчитанное по выражениям (4.24) и (4.27).

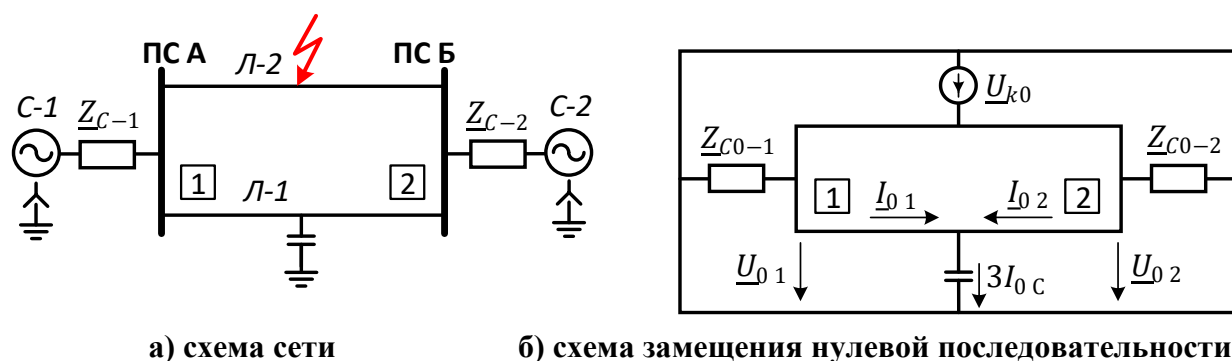
Если оба условия (4.24) и (4.27) не могут быть удовлетворены, то смещение в защищаемую зону срабатывания не может быть использовано. В этом случае следует использовать блокирующее РНМ.

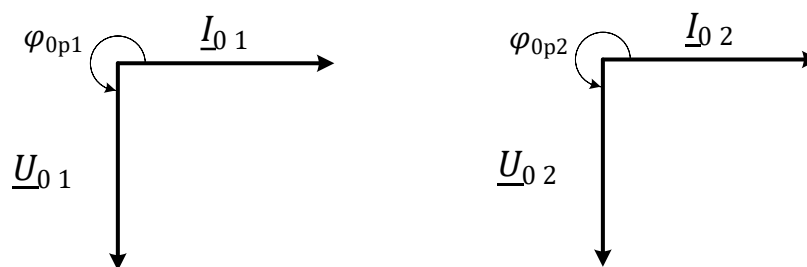
4.5.2.6. Для параллельных ЛЭП, работающих по схеме блока АТ – линия, дополнительно проверяется селективность разрешающего РНМ неповрежденной параллельной ЛЭП, которое может излишне сработать при каскадном отключении КЗ на землю на поврежденной параллельной ЛЭП (строка 9, таблица 4.1) в соответствии с указаниями подраздела 4.11.

4.5.2.7. Для параллельных ЛЭП при наличии ответвлений дополнительно проверяется селективность разрешающего РНМ неповрежденной параллельной ЛЭП, которое может излишне сработать при каскадном отключении КЗ на землю на поврежденной параллельной ЛЭП (строка 9, таблица 4.1) в соответствии с указаниями подраздела 4.12.

4.5.2.8. Для протяженных параллельных ВЛ, КВЛ или КЛ со значительной емкостной проводимостью в РНМ применяется компенсация емкостных токов нулевой последовательности для предотвращения излишней работы РНМ неповрежденной ЛЭП при внешнем КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП (строка 10, таблица 4.1).

На рисунке 4.3 («а», «б») представлены принципиальная схема сети с двумя параллельными ЛЭП и схема замещения нулевой последовательности при КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП Л-2. Место повреждения и параметры прилегающей сети могут быть таковы, что напряжения нулевой последовательности в месте установки защит по концам ЛЭП будут примерно равны $\underline{U}_{01} \approx \underline{U}_{02}$. В этом случае токи нулевой последовательности \underline{I}_{01} и \underline{I}_{02} , протекающие в защитах неповрежденной ЛЭП Л-1, будут иметь практически емкостный характер. На рисунке 4.3 «в» представлены фазовые соотношения между токами и напряжениями нулевой последовательности, которые подводятся к защитам на противоположных концах ЛЭП Л-1, из которых следует, что разрешающие РНМ с двух сторон ЛЭП определяют направление в сторону защищаемой ЛЭП, и защиты могут излишне подействовать на отключение.





в) фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности

Рисунок 4.3. Фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности в защитах неповрежденной ЛЭП Л-1 при внешнем КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-2

Для предотвращения неселективной работы защит параллельных ЛЭП в РНМ предусмотрена компенсация емкостного тока, соответствующего половине емкостной проводимости нулевой последовательности защищаемой ЛЭП. В этом случае к РНМ подводится ток нулевой последовательности с емкостной компенсацией:

$$3I_{0 \text{ комп}} = 3I_0 - jb_{0 \text{ комп}} \cdot 3U_0, \quad (4.28)$$

где $3I_0, 3U_0$ – первичный ток и напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты в рассматриваемом режиме;

$b_{0 \text{ комп}}$ – проводимость устройства компенсации емкостного тока линии, определяется по выражению:

$$b_{0 \text{ комп}} = \frac{b_{0 \text{ уд}} L}{2}, \quad (4.29)$$

где $b_{0 \text{ уд}}$ – первичное значение удельной проводимости нулевой последовательности защищаемой ЛЭП;

L – длина защищаемой ЛЭП.

При использовании компенсации емкостного тока проверку чувствительности РНМ следует производить с учетом выражения (4.28).

4.6. Расчет параметров настройки блокирующего РНМ нулевой последовательности

Блокирующие РНМ рекомендуется использовать для контроля чувствительных прямонаправленных ступеней ТЗНП с выдержкой времени.

4.6.1. Расчет параметров настройки блокирующего РНМ по отстройке от небалансов в нагрузочном режиме

4.6.1.1. Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ блок}}$ пускового органа РНМ по току нулевой последовательности по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме (строка 1, таблица 4.1) производится по выражению (4.11) в соответствии с указаниями пункта 4.5.1.1.

4.6.1.2. Расчет первичного напряжения срабатывания $3U_{0 \text{ РНМ блок}}$ пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме (строка 1, таблица 4.1)

производится по выражению (4.15) в соответствии с указаниями пункта 4.5.1.3.

4.6.2. Расчет параметров настройки блокирующего РНМ по условию обеспечения чувствительности

4.6.2.1. Расчеты по обеспечению чувствительности блокирующего РНМ, которое реагирует на величину и направление мощности нулевой последовательности, и блокирующего РНМ с отдельными пусковыми органами по току и напряжению нулевой последовательности производятся при КЗ на землю в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП при токе нулевой последовательности в месте установки защиты меньшем или равном току срабатывания самой чувствительной прямонаправленной ступени ТЗНП, направленность которой контролируется блокирующим РНМ (строка 11, таблица 4.1).

Чувствительность блокирующего РНМ, которое реагирует на величину и направление мощности нулевой последовательности, проверяется во вторичных величинах по выражениям:

- для РНМ с углом максимальной чувствительности $\varphi_{\text{мч}} = 250^\circ$:

$$k_{\text{ч}} = \frac{(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}}{S_{0 \text{ РНМ втор}} \cdot n_{\text{ТТ}} \cdot n_{\text{ТН}}} \cos(\varphi_{0 \text{ р}} - \varphi_{\text{мч}} \pm 180^\circ); \quad (4.30)$$

- для РНМ с углом максимальной чувствительности $\varphi_{\text{мч}} = 70^\circ$:

$$k_{\text{ч}} = \frac{(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}}{S_{0 \text{ РНМ втор}} \cdot n_{\text{ТТ}} \cdot n_{\text{ТН}}} \cos(\varphi_{0 \text{ р}} - \varphi_{\text{мч}}), \quad (4.31)$$

где $(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}$ – первичное значение мощности нулевой последовательности в месте установки защиты при расчетном виде КЗ на землю в расчетном по чувствительности режиме при токе нулевой последовательности в месте установки защиты, меньшем или равном току срабатывания контролируемой ступени ТЗНП;

$\varphi_{0 \text{ р}}$ – угол между током $3I_0$ и напряжением $3U_0$ в рассматриваемом режиме;

$n_{\text{ТТ}}, n_{\text{ТН}}$ – коэффициенты трансформации ТТ и ТН, определяются в соответствии с указаниями подраздела 4.7;

$S_{0 \text{ РНМ втор}}$ – минимальная мощность срабатывания РНМ, определяется по техническим данным защиты (для индукционных РНМ в технических данных приводится вторичная мощность срабатывания).

Расчет тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ блок}}$ и напряжения срабатывания $3U_{0 \text{ РНМ блок}}$ по условию обеспечения чувствительности РНМ с отдельными пусковыми органами по току и напряжению нулевой последовательности производится в первичных величинах по выражениям (4.18), (4.19), при этом дополнительно проверяется, что угол $\varphi_{0 \text{ р}}$ между напряжением и током

нулевой последовательности в расчетном по чувствительности режиме соответствует зоне направленности блокирующего РНМ.

Если в блокирующем РНМ используется компенсация емкостного тока нулевой последовательности или другое различие в измерительных органах ТЗНП и РНМ, а также в целях обеспечения надежности срабатывания РНМ при токе в месте установки защиты, близком по значению к току срабатывания контролируемой ступени ТЗНП, рекомендуется:

- мощность срабатывания $(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}$ в выражениях (4.30) и (4.31) определять при токе нулевой последовательности в месте установке защиты равном $3I_{0\text{уст мин}}^N / k_n$, где $k_n = 1,1$;

- ток срабатывания $3I_{0\text{РНМ блок}}$ РНМ необходимо согласовать по чувствительности с прямонаправленной ступенью ТЗНП с наименьшим током срабатывания по выражению (4.20).

Для параллельных ЛЭП, связанных взаимной индукцией, расчетным режимом для проверки чувствительности блокирующего РНМ при КЗ на землю на смежных присоединениях, отходящих от шин ПС, где установлена рассматриваемая защита, как правило, является режим с отключением и заземлением параллельной ЛЭП.

При использовании ускорения ступени ТЗНП от защиты параллельной ЛЭП с контролем срабатывания блокирующего РНМ параллельной ЛЭП расчетным режимом для проверки чувствительности блокирующего РНМ является каскадное отключение повреждения с противоположного конца параллельной ЛЭП.

4.6.2.2. Если блокирующее РНМ контролирует ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП, а также если блокирующее РНМ используется в схеме ускорения третьей ступени ТЗНП параллельной ЛЭП, коэффициенты чувствительности в выражениях (4.18), (4.19) или (4.30), (4.31) принимаются в соответствии с пунктом 3.3.7.2 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

4.6.2.3. Если блокирующее РНМ контролирует прямонаправленные ступени ТЗНП, которые выполняют функцию дальнего резервирования, коэффициенты чувствительности в выражениях (4.18), (4.19) или (4.30), (4.31) принимаются в соответствии с пунктом 3.3.7.3 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

4.6.2.4. Если в схеме ТУ с обменом разрешающими или блокирующими сигналами в качестве обратно направленной ступени ТЗНП применяется блокирующее РНМ, для селективного действия схемы ТУ следует обеспечить чувствительность блокирующего РНМ при КЗ на землю в направлении, обратном защищаемому, в конце зоны срабатывания телеускоренной прямонаправленной ступени ТЗНП защиты, установленной на противоположном конце ЛЭП.

При согласовании по чувствительности параметров настройки блокирующего РНМ и телеускоряемой ступени ТЗНП следует учесть

возможное различие в токах нулевой последовательности по концам защищаемой ЛЭП при внешних КЗ на землю:

- для ЛЭП с емкостной проводимостью;
- для ЛЭП с ответвлениями при наличии Т с заземленными нейтралью на ПС ответвлений;
- для ЛЭП с ответвлениями при наличии обходной связи между питающей ПС и ПС на ответвлении;
- для ЛЭП с многосторонним питанием.

На рисунке 4.4 («а», «б») показаны варианты возможного неблагоприятного распределения токов нулевой последовательности по концам защищаемой ЛЭП при внешнем КЗ на землю.

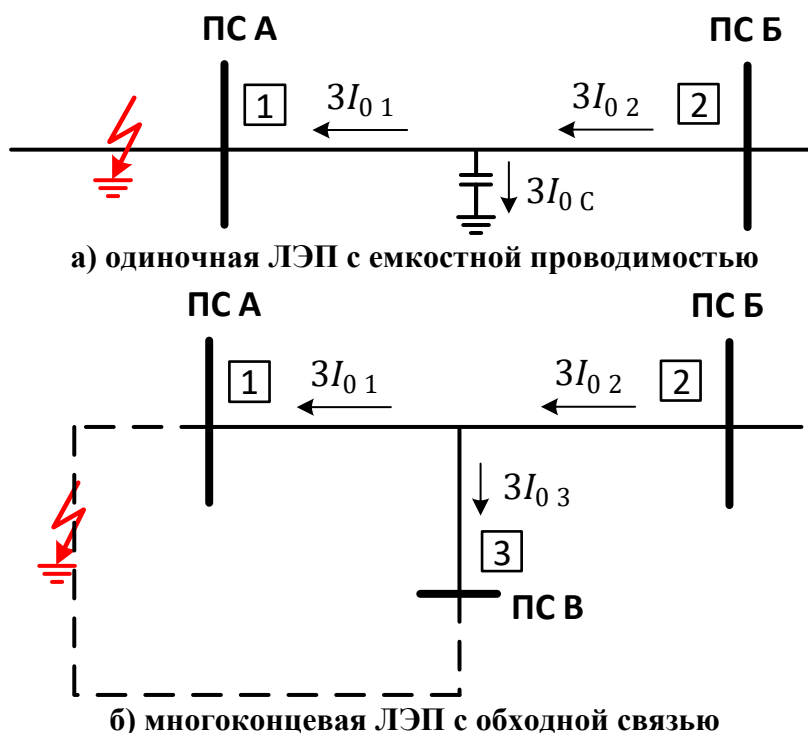


Рисунок 4.4. Распределение токов нулевой последовательности по концам защищаемой ЛЭП при внешних КЗ на землю

4.7. Перевод параметров настройки РНМ из первичных величин во вторичные

Вторичное значение тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ втор}}$ пускового органа РНМ по току нулевой последовательности рассчитывается из первичного значения $3I_{0 \text{ РНМ}}$ по выражению:

$$3I_{0 \text{ РНМ втор}} = \frac{3I_{0 \text{ РНМ}}}{n_{\text{ТТ}}}, \quad (4.32)$$

где $n_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации ТТ, определяется по выражению:

$$n_{\text{ТТ}} = \frac{I_{\text{НОМ перв ТТ}}}{I_{\text{НОМ втор ТТ}}}, \quad (4.33)$$

где $I_{\text{НОМ перв ТТ}}$, $I_{\text{НОМ втор ТТ}}$ – номинальный первичный и вторичный ток ТТ.

Вторичное значение напряжения срабатывания $3U_{0 \text{ РНМ втор}}$ пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности рассчитывается из первичного значения $3U_{0 \text{ РНМ}}$ по выражению:

$$3U_{0 \text{ РНМ втор}} = \frac{3U_{0 \text{ РНМ}}}{n_{\text{ТН}}}, \quad (4.34)$$

где $n_{ТН}$ – коэффициенты трансформации ТН, которые определяются:

- по выражению (3.4), если к РНМ подводится напряжение нулевой последовательности, полученное с помощью схемы «разомкнутого треугольника»;
- по выражению (3.6), если к РНМ подводится напряжение нулевой последовательности, вычисленное суммированием векторов фазных напряжений.

Вторичное значение сопротивления смещения $|Z_{0\text{ см втор}}|$ рассчитывается из первичного значения $|Z_{0\text{ см}}|$ по выражению:

$$|Z_{0\text{ см втор}}| = |Z_{0\text{ см}}| \cdot \frac{n_{ТТ}}{n_{ТН}}, \quad (4.35)$$

где $n_{ТТ}, n_{ТН}$ – коэффициенты трансформации ТТ и ТН.

В МП устройствах РЗ ЛЭП параметры настройки РНМ могут задаваться не в именованных, а в относительных единицах, отнесенных к номинальным или базисным значениям тока и напряжения.

Перевод выбранных параметров настройки РНМ из первичных величин во вторичные или относительные единицы следует производить с учетом рекомендаций, приведенных в документации для конкретного устройства РЗ.

4.8. Особенности расчета параметров настройки индукционных РНМ

Индукционные РНМ типа РБМ-177, РБМ-178, РБМ-277, РБМ-278 применяются в схемах направленных ТЗНП в устройствах РЗ ЛЭП 110 кВ и выше на электромеханической элементной базе.

РНМ данного типа реагируют на величину и направление мощности нулевой последовательности:

$$S_{0\text{ ср}} = 3U_{0\text{ р}} \cdot 3I_{0\text{ р}} \cos(\varphi_{0\text{ р}} - \varphi_{\text{мч}}), \quad (4.36)$$

где $3U_{0\text{ р}}, 3I_{0\text{ р}}, \varphi_{0\text{ р}}$ – утроенное напряжение, утроенный ток нулевой последовательности и угол между ними в месте установки защиты;

$\varphi_{\text{мч}}$ – угол максимальной чувствительности РНМ.

Чувствительность РНМ типа РБМ оценивается относительно минимальной мощности срабатывания $S_{0\text{ рм}}$, которая соответствует мощности срабатывания реле при угле $\varphi_{0\text{ р}} = \varphi_{\text{мч}} = 70^\circ$ и указывается в технических данных.

В таблице 4.2 представлены технические характеристики реле РБМ различных модификаций.

Таблица 4.2

Технические характеристики РНМ индукционного типа

Тип РНМ	Номинальный ток, А втор.	Угол максимальной чувствительности, град.	Мощность срабатывания, ВА втор.
РБМ-177/1 РБМ-277/1	5	70 ± 5	3
РБМ-177/2 РБМ-277/2	1		0,6
РБМ-178/1 РБМ-278/1	5		1
РБМ-178/2 РБМ-278/2	1		0,2

При углах между током и напряжением нулевой последовательности, отличных от угла $\varphi_{мч}$, мощность срабатывания реле $S_{0\text{ ср}}$ будет превышать минимальное значение $S_{0\text{ РМ}}$, указанное в паспортных данных. Используя выражение (4.36), можно записать выражение зависимости мощности срабатывания от угла $\varphi_{0\text{ р}}$:

$$S_{0\text{ ср}} = \frac{S_{0\text{ РМ}}}{\cos(\varphi_{0\text{ р}} - \varphi_{мч})}. \quad (4.37)$$

Например, для реле РБМ-177/1 можно записать:

$$S_{0\text{ ср}} = \frac{3}{\cos(\varphi_{0\text{ р}} - 70^\circ)}. \quad (4.38)$$

На рисунке 4.5 приведена угловая характеристика РБМ-177/1, график зависимости мощности срабатывания $S_{0\text{ ср}}$ от угла между током и напряжением нулевой последовательности.

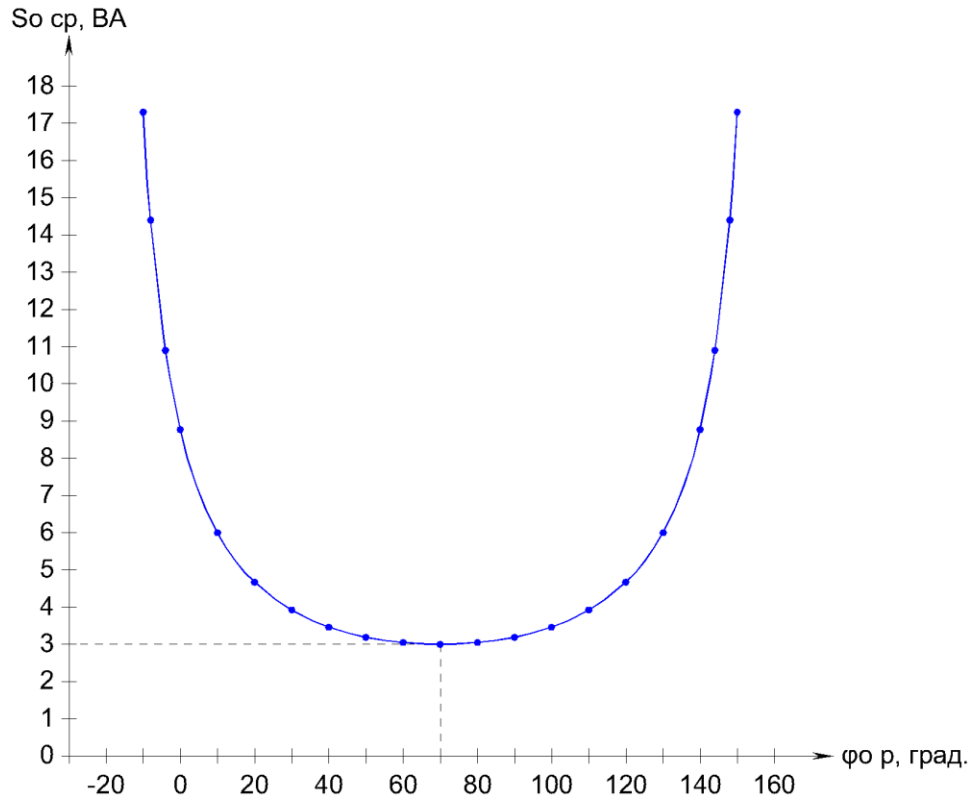


Рисунок 4.5. Угловая характеристика срабатывания РНМ типа РБМ-177/1

Как видно из графика на рисунке 4.5, мощность срабатывания реле $S_{0\text{ ср}}$ при углах $\varphi_{0р} \approx \varphi_{\text{мч}} \pm (20-30)^\circ$ изменяется незначительно ($S_{0\text{ ср}} \approx S_{0\text{ РМ}}$).

Если угол между током и напряжением нулевой последовательности находится в пределах указанного диапазона, проверку чувствительности РНМ данного типа допускается выполнять по выражению:

$$k_{\text{ч}} = \frac{(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}}{S_{0\text{ РМ втор}} \cdot n_{\text{ТТ}} \cdot n_{\text{ТН}}}, \quad (4.39)$$

где $(3U_0 \cdot 3I_0)_{\text{мин}}$ – первичное значение мощности нулевой последовательности в месте установки защиты при расчетном виде КЗ на землю в расчетном по чувствительности режиме;

$n_{\text{ТТ}}, n_{\text{ТН}}$ – коэффициенты трансформации ТТ и ТН, определяются в соответствии с указаниями подраздела 4.7.

Коэффициент чувствительности для разрешающего РНМ типа РБМ с учетом угла между током и напряжением нулевой последовательности рассчитывается по выражению (4.17) с учетом подключения реле по цепям тока или напряжения с обратной полярностью.

Коэффициент чувствительности для блокирующего РНМ типа РБМ рассчитывается по выражению (4.31) с учетом угла между током и напряжением нулевой последовательности.

Пример 4.1. Проверка чувствительности РНМ панели ЭПЗ-1636м

В модернизированной панели ЭПЗ-1636 установлено два индукционных РНМ [9]:

- встроенное индукционное РНМ в комплекте КЗ-10, минимальная мощность срабатывания которого составляет при угле $\varphi_{0p} \approx \varphi_{мч} = 70^\circ$ для кратковременного режима работы 0,3 ВА при номинальном токе 1А (1,5 ВА при номинальном токе 5А) или для длительного режима работы соответственно 0,9 ВА (4,5 ВА);

- отдельное выносное индукционное РНМ (РБМ-178 с кратковременным режимом работы или РБМ-177 с длительным режимом работы), которое в зависимости от схемы подключения по цепям тока или напряжения может использоваться как разрешающее или блокирующее РНМ.

Расчет выполнен для защиты 981 ВЛ 110 кВ Михайловская – Мшанка с отпайками, установленной со стороны ПС 500 кВ Михайловская.

Исходные данные для расчета:

- длина ЛЭП 53 км;
- сопротивление нулевой последовательности ЛЭП $Z_0 = 25,77 + j73,35$ Ом;
- коэффициент трансформации ТТ $n_{ТТ} = 750/1$;
- коэффициент трансформации ТН $n_{ТН} = 1100/\sqrt{3}$.

Параметры настройки ТЗНП:

- первая ступень: ненаправленная, $3I_{0уст}^I = 2100$ А, $T = 0$ с;
- вторая ступень: направленная, $3I_{0уст}^{II} = 510$ А, $T = 1,6$ с;
- третья ступень: направленная, $3I_{0уст}^{III} = 390$ А, $T = 3,3$ с;
- четвертая ступень: направленная, $3I_{0уст}^{IV} = 130$ А, $T = 7,0$ с.

Предварительно принимается, что направленность второй и третьей ступеней ТЗНП обеспечивается встроенным РНМ комплекта КЗ-10 (подключено как разрешающее РНМ), направленность четвертой ступени ТЗНП, выполняющей функции дальнего резервирования, обеспечивается выносным РНМ (подключено как блокирующее РНМ).

1) Расчет и выбор параметров настройки разрешающего РНМ

Проверка чувствительности разрешающего РНМ производится при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП при токе в месте установки защиты, равном $3I_{0уст}^{III}/k_n$, где $k_n = 1,1$.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100 СЕТЬ:

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 360 T=3.30 защита 981	УСТ	360	1.01	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_X 723 Z1д=9.07+j14.62 Z0д=16.36+j46.58		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154 3I0(B)=360 -62 3U0(B)=0.63 -154

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ТЗНП (80-299) ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2						
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ЭЛ/МЕХ Ктн=1100/1.73	РСП ФМЧ	0.30 70	1.5	ВИД-КЗ А0 (11.5 25.273) УЗЕЛ-КЗ 723		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154

Проверка чувствительности разрешающего РНМ производится по выражению (4.17):

$$k_{\text{ч}} = \frac{630 \cdot 360}{0,3 \cdot 1100 / \sqrt{3} \cdot 750 / 1} \cdot \cos(-154 + 62 - 70 + 180) = 1,5.$$

В соответствии с пунктом 3.3.7.2. для третьей ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП коэффициент чувствительности РНМ по мощности необходимо обеспечить равным 2.

Вывод: чувствительность встроенного РНМ при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП при токе, равном $3I_0 = 360$ А, ниже требуемой. Для контроля направленности третьей ступени ТЗНП необходимо использовать отдельное выносное РНМ, подключенное как блокирующее РНМ.

В этом случае проверка чувствительности разрешающего РНМ производится при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП при токе в месте установке защиты, меньшем или равном току срабатывания самой чувствительной прямонаправленной ступени: $3I_{0\text{уст}}^{II} / k_{\text{н}}$, где $k_{\text{н}} = 1,1$.

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ 460 Т=1.60 защита 981 ТЗНП (80-299) ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	460	1.00	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_X 723 Z1д=6.25+j10.07 Z0д=11.27+j32.09		3I0=460 -63 3U0=0.81 -154 3I0(В)=460 -63 3U0(В)=0.81 -154
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ЭЛ/МЕХ Ктт=750/1 Ктн=1100/1.73	РСП ФМЧ	0.30 70	2.47	ВИД-КЗ А0 (7.92 17.41) УЗЕЛ-КЗ 723		3I0=460 -63 3U0=0.81 -154

Вывод: чувствительность разрешающего РНМ, мощность которого 0,3 ВА, обеспечивается, $k_{\text{ч}} = 2,47$. Для термически стойкого реле, выдерживающего длительный режим работы, мощность срабатывания которого составляет 0,9 ВА, чувствительность не обеспечивается.

Для ЛЭП при наличии ответвлений чувствительность разрешающего РНМ дополнительно проверяется по выражениям (4.18), (4.19) в соответствии с пунктом 4.5.2.1 при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ЭЛ/МЕХ Ктн=1100/1.73	РСП	0.30	224.85	ВИД-КЗ А0		3I0=4729 -72
	ФМЧ	70		УЗЕЛ-КЗ 156		3U0=7.21 -162
	РСП	0.30	134.93	ВИД-КЗ АВ0		3I0=3663 -134
	ФМЧ	70		УЗЕЛ-КЗ 156		3U0=5.58 135
	РСП	0.30	648.16	ВИД-КЗ А0		3I0=8029 -75
	ФМЧ	70		УЗЕЛ-КЗ 164		3U0=12.23 -166
	РСП	0.30	449.41	ВИД-КЗ АВ0		3I0=6685 -137
	ФМЧ	70		УЗЕЛ-КЗ 164		3U0=10.19 133
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ЭЛ/МЕХ Ктн=1100/1.73	РСП	0.30	242.68	ВИД-КЗ А0	ОТКЛ 0	3I0=4893 -72
	ФМЧ	70		УЗЕЛ-КЗ 156	*723-299	3U0=7.51 -163
	РСП	0.30	148.04	ВИД-КЗ АВ0	ОТКЛ 0	3I0=3821 -134
	ФМЧ	70		УЗЕЛ-КЗ 156	*723-299	3U0=5.87 135
	РСП	0.30	671.25	ВИД-КЗ А0	ОТКЛ 0	3I0=8137 -75
	ФМЧ	70		УЗЕЛ-КЗ 164	*723-299	3U0=12.50 -166
	РСП	0.30	476.16	ВИД-КЗ АВ0	ОТКЛ 0	3I0=6854 -137
	ФМЧ	70		УЗЕЛ-КЗ 164	*723-299	3U0=10.52 133

Вывод: чувствительность разрешающего РНМ при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны обеспечивается.

2) Расчет и выбор параметров настройки блокирующего РНМ

В качестве блокирующего РНМ в защите используется выносное индукционное реле типа РБМ 177/2, мощность срабатывания которого в соответствии с таблицей 4.2 составляет 0,6 ВА для длительного режима работы при номинальном токе 1 А.

Проверка чувствительности блокирующего РНМ производится при КЗ на землю в направлении, обратном защищаемой ЛЭП, при токе нулевой последовательности в месте установки защиты, равном $3I_{0уст}^{IV}/k_n$, где $k_n = 1,1$.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА

ПС МИХАЙЛОВ 110-2

Защита 981

Тип ТЗНП

Степень 3

Ветвь 80-299

КТТ 750/1

Узел

КТН 1100 СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 4 СТУПЕНЬЮ 120 Т=7.00 защита 981 ТЗНП (80-299)- ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	-120	1.00	ВИД-КЗ А0		3I0=120 123
				УЗ-КЗ_Х 80		3U0=12.86 -165
				Z1д=2.42+j3.90		3I0(В)=120 123
				Z0д=4.36+j12.42		3U0(В)=12.86 - 165
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ЭЛ/МЕХ Ктн=1100/1.73	РСП	0.60	-5.39	ВИД-КЗ		3I0=120 123
	ФМЧ	70		А0(3.067 6.74)		3U0=12.87 -165
				УЗЕЛ-КЗ 80		

Проверка чувствительности блокирующего РНМ производится по выражению (4.31):

$$k_{\text{ч}} = \frac{12870 \cdot 120}{0,6 \cdot 1100 / \sqrt{3} \cdot 750 / 1} \cdot \cos(-165 - 123 - 70) = 5,4.$$

Дополнительно производится проверка чувствительности блокирующего РНМ при КЗ на землю в направлении, обратном защищаемой ЛЭП, при токе нулевой последовательности в месте установки защиты, равном $3I_{0уст}^{III}/k_H$, где $k_H = 1,1$.

В соответствии с пунктом 3.3.7.2 для третьей ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП коэффициент чувствительности РНМ по мощности необходимо обеспечить равным 2.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

СЕТЬ:2021 03

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 360 T=3.30 защита 981 ТЗНП (80-299) ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	-360	1.00	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_X 80 Z1д=0.214+j0.345 Z0д=0.39+j1.10		ZI0=360 115 ZU0=38.61 -173 ZI0(B)=360 115 ZU0(B)=38.61 - 173
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ЭЛ/МЕХ Ктн=1100/1.73	РСР ФМЧ	0.60 70	- 48.55	ВИД-КЗ А0(0.273 0.597) УЗЕЛ-КЗ 80		ZI0=360 115 ZU0=38.60 -173

Вывод: чувствительность блокирующего РНМ обеспечивается.

4.9. Особенности расчета параметров настройки РНМ в устройствах РЗ ЛЭП ШДЭ 2801 и ПДЭ 2002

В устройствах РЗ ЛЭП ШДЭ 2801 и ПДЭ 2002 на микроэлектронной элементной базе применяется РНМ двустороннего действия, которое реагирует на утроенный ток и напряжение нулевой последовательности и угол между ними. Отличительными особенностями РНМ в рассматриваемых устройствах РЗ по сравнению с РНМ индукционного типа является следующее:

- РНМ содержит отдельные пусковые органы по току и напряжению нулевой последовательности, которые работают совместно с органом направления;
- РНМ двустороннего действия содержит разрешающее и блокирующее реле с независимой регулировкой уставок по току и напряжению срабатывания;
- напряжение срабатывания и ток срабатывания практически не влияют друг на друга;
- в разрешающем РНМ предусмотрено смещение в защищаемую зону для повышения чувствительности пуска по напряжению;

- предусмотрено автоматическое загрузление разрешающего РНМ при введенном смещении для отстройки от небалансов при качаниях;
- в разрешающем и блокирующем РНМ панели ПДЭ 2002 предусмотрена компенсация емкостного тока нулевой последовательности.

На рисунке 4.6 («а», «б») представлены вольтамперные характеристики РНМ без использования смещения и со смещением в зону срабатывания.

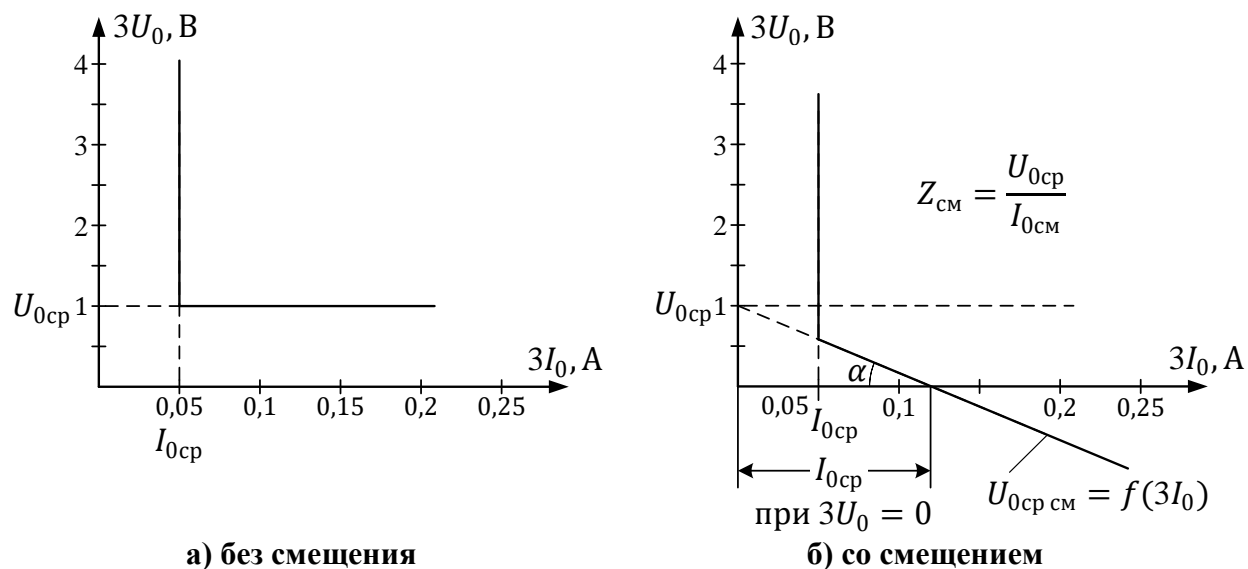


Рисунок 4.6. Вольтамперные характеристики РНМ в устройствах ШДЭ 2801 и ПДЭ 2002

Разрешающее РНМ панели ПДЭ 2002 имеет угол максимальной чувствительности, равный 255° , блокирующее РНМ имеет угол максимальной чувствительности, равный 75° .

Разрешающее РНМ панели ШДЭ 2801 имеет угол максимальной чувствительности, равный 250° , блокирующее РНМ имеет угол максимальной чувствительности, равный 70° .

Наличие дискретного регулирования уставок срабатывания пусковых органов определяет дополнительные условия расчета и выбора параметров настройки РНМ.

После определения расчетного значения первичного тока срабатывания пускового органа РНМ по току нулевой последовательности по выражениям (4.11) и (4.13) в соответствии с указаниями пунктов 4.5.1.1 и 4.5.1.2 и перевода параметров настройки РНМ из первичных величин во вторичные по выражению (4.32) в соответствии с указаниями подраздела 4.7, ток срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ втор}}$ выбирается как ближайшее большее значение из диапазона регулирования параметра.

Диапазон регулирования вторичного значения тока срабатывания разрешающего и блокирующего РНМ для панели ПДЭ 2002 составляет 0,03 (0,15)–0,12 (0,6) А ступенями по 0,006 А, для панели ШДЭ 2801 диапазон регулирования параметра составляет 0,04 (0,2)–0,18 (0,9) А ступенями

по 0,02 (0,1) А (в скобках указаны значения для номинального вторичного тока 5 А).

В РНМ панели ПДЭ 2002 предусмотрена компенсация емкостного тока ЛЭП, диапазон регулирования уставки вторичной емкостной проводимости нулевой последовательности составляет $(175-3500) \cdot 10^{-6}$ См ступенями по $175 \cdot 10^{-6}$ См. При использовании компенсации емкостного тока ЛЭП первичный утроенный ток нулевой последовательности, подводимый к разрешающему и блокирующему РНМ, определяется по выражению (4.28) с учетом первичного значения выбранной уставки емкостной проводимости согласно указаниям пункта 4.5.2.7.

После определения расчетного значения первичного напряжения срабатывания по выражению (4.15) в соответствии с указаниями пункта 4.5.1.3 и перевода параметров настройки РНМ из первичных величин во вторичные по выражению (4.34) в соответствии с указаниями подраздела 4.7, напряжение срабатывания выбирается как ближайшее большее значение из диапазона ступеней регулирования.

Диапазон регулирования вторичного значения напряжения срабатывания разрешающего и блокирующего РНМ панели ПДЭ 2002 составляет (1–5) В, ступенями по 0,2 В, панели ШДЭ 2802 – (0,5–2,25) В ступенями по 0,25 В. Диапазон регулирования напряжения срабатывания для разрешающего РНМ панели ШДЭ 2801 может быть увеличен до (1–4,5) В.

При использовании смещения в защищаемую зону первичное напряжение, подводимое к разрешающему РНМ панели ПДЭ 2002, определяется по выражению (4.21) с учетом выбранных первичных значений сопротивления смещения и компенсации емкостного тока ЛЭП. Указания по расчету и выбору сопротивления смещения приведены в пункте 4.5.2.3. В качестве уставки принимается ближайшее большее значение сопротивления смещения из диапазона регулирования. Вторичное значение сопротивления смещения регулируется в пределах диапазона (0–30) Ом ступенями по 5 Ом.

При использовании смещения в защищаемую зону первичное напряжение, подводимое к разрешающему РНМ панели ШДЭ 2802, определяется по выражению (4.21) с учетом расчетного первичного значения сопротивления смещения согласно (4.40).

В качестве уставки на панели ШДЭ 2802 выставляется вторичная величина тока смещения $3I_{0 \text{ см разр}}$, диапазон регулирования параметра составляет 0,05 (0,25) – 0,5 (2,5) А ступенями по 0,05 (0,25) А (в скобках указаны значения для номинального вторичного тока 5 А). Величина уставки по току смещения определяется исходя из расчетного значения сопротивления смещения по выражению:

$$3I_{0 \text{ см разр}} = 3U_{0 \text{ РНМ разр}} / Z_{0 \text{ см}} \quad (4.40)$$

В панели ПДЭ 2002 при использовании смещения в защищаемую зону в работу вводится токовое реле, при срабатывании которого обеспечивается загрубление разрешающего РНМ по току срабатывания для отстройки

от небаланса нулевой последовательности в асинхронных режимах и режимах качаний. Токовое реле реагирует на минимальный из трех фазных токов. Ток срабатывания отстраивается от тока неповрежденных фаз при КЗ на землю:

$$I_{уст} \geq k_{отс} \cdot I_{неп\ ф}, \quad (4.41)$$

где $I_{неп\ ф}$ – максимальный из токов неповрежденных фаз в месте установки защиты при близком однофазном КЗ на землю;

коэффициент отстройки $k_{отс}$ принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,3.$$

Вторичный ток срабатывания реле регулируется в пределах (1–2) А.

Степень заглубления плавно регулируется в диапазоне (1,1–4,0) о.е. и определяется по выражению:

$$k = k_{отс} \cdot \frac{(I_{0нб} + 3I_{0н.р})}{3I_{0\ РНМ\ разр}}, \quad (4.42)$$

где $I_{0нб}$ – ток небаланса нулевой последовательности в режиме качаний, обусловленный погрешностями ТТ, определяется по выражению (4.14) в соответствии с пунктом 4.5.1.2;

коэффициент отстройки $k_{отс}$ принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{отс} = 1,5.$$

Пример 4.2. Расчет параметров настройки РНМ панели ПДЭ 2002

Расчет выполнен для защиты 981 ВЛ 110 кВ Михайловская-Мшанка с отпайками, установленной со стороны ПС 500 кВ Михайловская.

Исходные данные для расчета соответствуют данным примера 4.1.

В соответствии с Методическими указаниями [6] значение первичного фазного тока в месте установки защиты в нагрузочном режиме принимается равным длительно допустимому рабочему току ЛЭП $I_{нагр} = 750$ А.

Компенсация емкостного тока для ВЛ 110 кВ не используется.

Предварительно принимается, что направленность второй и третьей ступени ТЗНП обеспечивается разрешающим РНМ, направленность четвертой ступени ТЗНП, выполняющей функции дальнего резервирования, обеспечивается блокирующим РНМ панели ПДЭ 2002.

1) Расчет и выбор параметров настройки разрешающего РНМ

Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0\ РНМ\ разр}$ пускового органа РНМ по току нулевой последовательности по условию отстройки от небаланса в нагрузочном режиме производится по выражению (4.11) в соответствии с указаниями пункта 4.5.1.1:

$$3I_{0\ РНМ\ разр} \geq \frac{1,25}{0,8} \cdot (0,05 \cdot 750 + 0) = 58,6 \text{ А.}$$

Вторичное значение тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ втор}}$ рассчитывается из первичного значения $3I_{0 \text{ РНМ}}$ по выражению (4.32):

$$3I_{0 \text{ РНМ втор}} = \frac{58,59}{750/1} = 0,078 \text{ А.}$$

В качестве уставки принимается ближайшее большее значение из диапазона регулирования параметра.

Принимается: $3I_{0 \text{ РМ разр втор}} = 0,078 \text{ А вторичных.}$

Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ по условию отстройки от небаланса в асинхронном режиме или режиме качаний по выражению (4.13) в соответствии с пунктом 4.5.1.2 не производится, так как выдержка времени срабатывания ступеней ТЗНП, действие которых контролирует РНМ, больше длительности цикла асинхронного режима или режима синхронных качаний.

Расчет вторичного напряжения срабатывания пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$ по условию отстройки от небаланса в нагрузочном режиме производится по выражению (4.15) в соответствии с пунктом 4.5.1.3 с учетом принятого значения напряжения небаланса 2 В вторичных:

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \geq \frac{1,25}{0,8} (2+0) = 3,12 \text{ В.}$$

В качестве уставки принимается ближайшее большее значение из диапазона регулирования параметра.

Принимается: $3U_{0 \text{ РМ разр}} = 3,2 \text{ В вторичных.}$

Параметры настройки РНМ не должны ограничивать зону действия направленных ступеней ТЗНП. Из этого следует, что ток срабатывания РНМ $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ не должен превышать ток срабатывания самой чувствительной прямонаправленной ступени ТЗНП.

Проверяется чувствительность разрешающего РНМ по току и напряжению срабатывания при однофазном КЗ на землю в конце зоны срабатывания прямонаправленной ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП в режиме транзита по выражениям (4.18), (4.19).

В соответствии с пунктом 3.3.7.2 для третьей ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП коэффициент чувствительности РНМ по мощности необходимо обеспечить равным 1,5:

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{360}{750/1 \cdot 1,5} = 0,32 \text{ А вторичных;}$$

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{630}{1100/\sqrt{3} \cdot 1,5} = 0,66 \text{ В вторичных.}$$

Принятое значение $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$ по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

СЕТЬ:2021 03

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 360 Т=3.30 защита 981 ТЗНП (80-299) ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	360	1.01	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 723 Z1д=9.07+j14.62 Z0д=16.36+j46.58		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154 3I0(B)=360 -62 3U0(B)=0.63 -154
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ПДЭ КТН=1100/1.73	ТСР УСР ФМЧ ЗК	0.078 3.20 255 0	5.99 0.30	ВИД-КЗ А0 (11.5 25.273) УЗЕЛ-КЗ 723		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154

Чувствительность разрешающего РНМ по напряжению срабатывания при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП при токе $3I_0$, равном $\frac{3I_{0уст}^{III}}{k_H}$, меньше требуемой. Для повышения чувствительности пуска по напряжению в разрешающем РНМ панели ПДЭ 2002 применяется смещение в зону срабатывания.

Расчет $Z_{0 см}$ по условию обеспечения требуемой чувствительности РНМ производится по выражению (4.24) в соответствии с пунктом 4.5.2.4. Расчет выполняется во вторичных величинах при КЗ на землю в расчетной точке, когда ток нулевой последовательности в месте установки защиты равен току $3I_{0уст}^{III}/k_H$, где $k_H = 1,1$.

$$|Z_{0 см}| \geq \frac{1,5 \cdot 3,2 \cdot 630 / 1100 / \sqrt{3}}{360 / 750 / 1} = 7,93 \text{ Ом.}$$

Вторичное значение сопротивления смещения регулируется в пределах диапазона (0–30) Ом ступенями по 5 Ом. Принимаем $Z_{0 см} = 10$ Ом вторичных, что соответствует 8,5 Ом первичных, и производим проверку чувствительности по напряжению в первичных величинах с учетом использования смещения в зону срабатывания по выражению (4.23):

$$3U_{0 РНМ разр} \leq \frac{630 + 360 \cdot 8,5}{1,5} = 2460 \text{ В.}$$

Вторичное значение напряжения срабатывания $3U_{0 РНМ втор}$ пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности рассчитывается по выражению (4.34):

$$3U_{0 РНМ разр} \leq \frac{2460}{1100 / \sqrt{3}} = 3,87 \text{ В;}$$

$$3,2 < 3,87.$$

Условие (4.23) выполняется, чувствительность разрешающего РНМ по напряжению срабатывания обеспечена.

Угол между напряжением и током нулевой последовательности равен $\varphi_{0p}=268^\circ$ и соответствует зоне направленности разрешающего РНМ ПДЭ 2002.

Для ЛЭП при наличии ответвлений чувствительность разрешающего РНМ дополнительно проверяется по выражениям (4.18), (4.19) в соответствии с пунктом 4.5.2.1 при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны:

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА

ПС МИХАЙЛОВ 110-2

Защита 981

Тип ТЗНП

Ступень 3

Ветвь 80-299

КТТ 750/1

Узел

КТН 1100 СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ПДЭ КТН=1100/1.73	ICP	0.078	78.35	ВИД-КЗ А0		3I0=4729 -72
	UCP	3.20	3.43	УЗЕЛ-КЗ 156		3U0=7.21 -162
	ФМЧ	255				
	ZK	0				
	ICP	0.078	60.69	ВИД-КЗ АВ0		3I0=3663 -134
	UCP	3.20	2.66	УЗЕЛ-КЗ 156		3U0=5.58 135
	ФМЧ	255				
	ZK	0				
	ICP	0.078	133.0	ВИД-КЗ А0		3I0=8029 -75
	UCP	3.20	2	УЗЕЛ-КЗ 164		3U0=12.23 -166
	ФМЧ	255	5.83			
	ZK	0				
	ICP	0.078	110.7	ВИД-КЗ АВ0		3I0=6685 -137
	UCP	3.20	7	УЗЕЛ-КЗ 164		3U0=10.19 133
	ФМЧ	255	4.85			
	ZK	0				
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ПДЭ КТН=1100/1.73	ICP	0.078	81.09	ВИД-КЗ А0	ОТКЛ 0 *723- 299	3I0=4893 -72
	UCP	3.20	3.58	УЗЕЛ-КЗ 156		3U0=7.51 -163
	ФМЧ	255				
	ZK	0				
	ICP	0.078	63.33	ВИД-КЗ АВ0	ОТКЛ 0 *723- 299	3I0=3821 -134
	UCP	3.20	2.80	УЗЕЛ-КЗ 156		3U0=5.87 135
	ФМЧ	255				
	ZK	0				
	ICP	0.078	134.8	ВИД-КЗ А0	ОТКЛ 0 *723- 299	3I0=8137 -75
	UCP	3.20	6	УЗЕЛ-КЗ 164		3U0=12.50 -166
	ФМЧ	255	5.95			
	ZK	0				
	ICP	0.078	113.5	ВИД-КЗ АВ0	ОТКЛ 0 *723- 299	3I0=6854 -137
	UCP	3.20	8	УЗЕЛ-КЗ 164		3U0=10.52 133
	ФМЧ	255	5.01			
	ZK	0				

Вывод: чувствительность разрешающего РНМ при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны обеспечивается без использования смещения.

Проверка селективности РНМ при введенном смещении при КЗ на землю в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП, производится по выражению (4.27) в соответствии с указаниями пункта 4.5.2.5. Расчет выполняется во вторичных величинах:

$$|Z_{0\text{ см}}| < \frac{3,2}{1,2} + 38610/1100/\sqrt{3} = 132 \text{ Ом};$$

$$10 \text{ Ом} < 132 \text{ Ом.}$$

Условие (4.27) выполняется при выбранном значении уставки $Z_{0 \text{ см}}$, несрабатывание разрешающего РНМ в обратном направлении обеспечивается.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

СЕТЬ:2021 03

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ (80-299) - с 3 СТУПЕНЬЮ 360 Т=3.30 защита 981 ТЗНП (80-299) - ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	360	1.00	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 80 Z1д=0.214+j0.345 Z0д=0.39+j1.10		ZI0=360 -65 ZU0=38.61 -173 ZI0 (В)=360 -65 ZU0 (В)=38.61 - 173
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ПДЭ Ктн=1100/1.73	ICP UCP ФМЧ ZK	0.078 3.20 255 10 (8.5)	-7.58 -21.61	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 80		ZI0=445 112 ZU0=47.68 -176
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ПДЭ Ктн=1100/1.73	ICP UCP ФМЧ ZK	0.078 3.200 255 10 (8.5)	-6.14 -17.50	ВИД-КЗ А0 А0(0.273 0.597) УЗЕЛ-КЗ 80		ZI0=360 115 ZU0=38.60 -173

При выбранном значении уставки $Z_{0 \text{ см}}$ изменение фазы напряжения нулевой последовательности по отношению к фазе тока нулевой последовательности не произошло. Направленность действия защиты не изменилась, таким образом, разрешающее РНМ не работает, и неселективного срабатывания не будет.

2) Расчет и выбор параметров настройки блокирующего РНМ

Ток срабатывания блокирующего РНМ принимается равным току срабатывания разрешающего РНМ $3I_{0 \text{ РМ блок}} = 0,078 \text{ А}$ вторичных.

Напряжение срабатывания РНМ принимается равным 3,2 В вторичных или 2032 В первичных.

Проверяется чувствительность блокирующего РНМ при КЗ на землю в расчетной точке в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП, когда утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты меньше или равен току срабатывания самой чувствительной ступени ТЗНП, направленность которой контролируется блокирующим РНМ:

$$3I_{0 \text{ РНМ блок}} \leq \frac{120}{750/1 \cdot 1,2} = 0,13 \text{ А вторичных;}$$

$$3U_{0 \text{ РНМ блок}} \leq \frac{12860}{1100/\sqrt{3} \cdot 1,2} = 16,8 \text{ В вторичных.}$$

Принятые параметры настройки РНМ удовлетворяет требованию чувствительности.

Угол между напряжением и током нулевой последовательности равен $\varphi_{0p}=72^\circ$ и соответствует зоне направленности блокирующего РНМ ПДЭ 2002.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ
КТН

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 4

СЕТЬ:2021 03

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 4 СТУПЕНЬЮ 120 Т=7.00 защита 981 ТЗНП (80-299) - ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	-120	1.00	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 80 Z1д=2.42+j3.90 Z0д=4.36+j12.42		3I0=120 123 3U0=12.86 -165 3I0(Б)=120 123 3U0(Б)=12.86 - 165
ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ПДЭ КТН=1100/1.73	ICP UCP ФМЧ ЗК	0.078 3.20 75 0	2.05 6.32	ВИД-КЗ А0(3.067 6.74) УЗЕЛ-КЗ 80		3I0=120 123 3U0=12.87 -165

Пример 4.3. Расчет параметров настройки РНМ панели ШДЭ 2801

Расчет выполнен для защиты 981 ВЛ 110 кВ Михайловская-Мшанка с отпайками, установленной со стороны ПС 500 кВ Михайловская.

Параметры ЛЭП и настройки ТЗНП те же, что и в примере 4.1.

1) Расчет и выбор параметров настройки разрешающего РНМ

Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ пускового органа РНМ по току нулевой последовательности по условию отстройки от небаланса в нагрузочном режиме производится по выражению (4.11) в соответствии с пунктом 4.5.1.1:

$$3I_{0 \text{ РНМ}} = \frac{1,25}{0,8} \cdot (0,05 \cdot 750 + 0) = 58,6 \text{ А.}$$

Вторичное значение тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ втор}}$ рассчитывается из первичного значения $3I_{0 \text{ РНМ}}$ по выражению (4.32):

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} = \frac{58,6}{750/1} = 0,078 \text{ А.}$$

В качестве уставки принимается ближайшее большее значение из диапазона регулирования параметра.

Принимается: $3I_{0 \text{ РНМ разр втор}} = 0,08 \text{ А}$ вторичных.

Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ по условию отстройки от небаланса в асинхронном режиме или режиме качаний по выражению (4.13) в соответствии с пунктом 4.5.1.2 не производится, так как выдержка времени срабатывания ступеней ТЗНП, действие которых контролирует РНМ, больше длительности цикла асинхронного режима или режима синхронных качаний.

Расчет вторичного напряжения срабатывания пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$ по условию отстройки от небаланса в нагрузочном режиме производится по выражению (4.15) в соответствии с пунктом 4.5.1.3 с учетом принятого значения напряжения небаланса 2 В вторичных:

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \geq \frac{1,25}{0,8} (2+0) = 3,12 \text{ В.}$$

В качестве уставки принимается максимальное значение из диапазона (0,5–2,25) В.

Принимается: $3U_{0 \text{ РНМ разр}} = 2,25 \text{ В}$ вторичных.

Параметры настройки РНМ не должны ограничивать зону действия направленных ступеней ТЗНП. Из этого следует, что ток срабатывания РНМ $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ не должен превышать ток срабатывания самой чувствительной прямонаправленной ступени ТЗНП.

Проверяется чувствительность разрешающего РНМ по току и напряжению срабатывания при однофазном КЗ на землю в конце зоны срабатывания прямонаправленной ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП в режиме транзита по выражениям (4.18), (4.19). В соответствии с пунктом 3.3.7.2. для третьей ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП коэффициент чувствительности РНМ по мощности необходимо обеспечить равным 1,5.

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{360}{750/1 \cdot 1,5} = 0,32 \text{ А вторичных;}$$

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{630}{1100/\sqrt{3} \cdot 1,5} = 0,66 \text{ В вторичных.}$$

Принятое значение $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$ по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100 СЕТЬ:

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 360 Т=3.30 защита 981 ТЗНП (80-299) ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	360	1.01	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_х 723 Z1д=9.07+j14.62 Z0д=16.36+j46.58		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154 3I0 (В)=360 -62 3U0 (В)=0.63 -154
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ЩДЭ КТН=1100/1.73	ICP УСР ФМЧ ЗК	0.080 2.25 250 0	5.70 0.42	ВИД-КЗ А0 (11.5 25.273) УЗЕЛ-КЗ 723		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154

Чувствительность разрешающего РНМ по напряжению срабатывания при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП при токе $3I_0$, равном $3I_{0уст}^{III}/k_H$, меньше требуемой. Для повышения чувствительности пуска по напряжению в разрешающем РНМ панели ШДЭ 2801 применяется смещение в зону срабатывания.

Расчет $Z_{0см}$ по условию обеспечения требуемой чувствительности РНМ производится по выражению (4.24) в соответствии с пунктом 4.5.2.4. Расчет выполняется во вторичных величинах при КЗ на землю в расчетной точке, когда ток нулевой последовательности в месте установки защиты равен току $3I_{0уст}^{III}/k_H$, где $k_H = 1,1$.

$$|Z_{0см}| \geq \frac{1,5 \cdot 2,25 - 630/1100/\sqrt{3}}{360/750/1} = 5 \text{ Ом.}$$

Принимается: $Z_{0см} = 5$ Ом вторичных.

Ток смещения определяется из выражения (4.40):

$$3I_{0см\text{ разр}} = \frac{2,25}{5} = 0,45 \text{ А вторичных.}$$

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100 СЕТЬ:

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РН=ШДЭ КТН=1100/1.73	ICP	0.080	5.66	ВИД-КЗ		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154
	UCP	2.25	1.55	A0 (11.5 25.273)		
	ФМЧ	250		УЗЕЛ-КЗ 723		
	JCM	0.40				
	ZK	5				

Так как рассчитанные и принятые значения сопротивления смещения равны, условие (4.24) выполняется, чувствительность РНМ при КЗ в конце зоны действия прямонаправленной ступени ТЗНП с наименьшим током срабатывания обеспечена.

Угол между напряжением и током нулевой последовательности равен $\varphi_{0p} = 268^\circ$ и соответствует зоне направленности разрешающего РНМ ШДЭ 2801.

Для ЛЭП при наличии ответвлений чувствительность РНМ дополнительно проверяется по выражениям (4.18), (4.19) в соответствии с пунктом 4.5.2.1 при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны:

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100 СЕТЬ:

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РН=ШДЭ КТН=1100/1.73	ICP	0.080	74.41	ВИД-КЗ A0		3I0=4729 -72 3U0=7.21 -162
	UCP	2.25	4.75	УЗЕЛ-КЗ 156		
	ФМЧ	250				
	ZK	0				

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.080 2.25 250 0	57.64 3.68	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 156		3I0=3663 -134 3U0=5.58 135
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.080 2.25 250 0	126.33 8.07	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 164		3I0=8029 -75 3U0=12.23 -166
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.080 2.25 250 0	105.20 6.72	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 164		3I0=6685 -137 3U0=10.19 133
ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ЩДЭ Kтн=1100/1.73	ICP UCP ФМЧ ZK	0.080 2.25 250 0	77.02 4.96	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 156	ОТКЛ 0 *723- 299	3I0=4893 -72 3U0=7.51 -163
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.080 2.25 250 0	60.15 3.87	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 156	ОТКЛ 0 *723- 299	3I0=3821 -134 3U0=5.87 135
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.080 2.25 250 0	128.09 8.25	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 164	ОТКЛ 0 *723- 299	3I0=8137 -75 3U0=12.50 -166
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.080 2.25 250 0	107.88 6.95	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 164	ОТКЛ 0 *723- 299	3I0=6854 -137 3U0=10.52 133

Вывод: чувствительность разрешающего РНМ при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны обеспечивается без использования смещения.

Проверка селективности РНМ при введенном смещении при КЗ на землю в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП производится по выражению (4.27) в соответствии с указаниями пункта 4.5.2.5. Расчет производится во вторичных величинах:

$$|Z_{0\text{ см}}| < \frac{\frac{2,25}{1,2} + 38610/1100/\sqrt{3}}{360/750/1} = 130 \text{ Ом};$$

$$5 \text{ Ом} < 130 \text{ Ом}.$$

Условие (4.27) выполняется при выбранном значении уставки $Z_{0\text{ см}}$, несрабатывание разрешающего РНМ в обратном направлении обеспечивается:

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
 Защита 981
 Ветвь 80-299
 Узел

Тип ТЗНП
 КТТ 750/1
 КТН 1100

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
 Ступень 3

СЕТЬ:2021 03

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ (80-299) - с 3 СТУПЕНЬЮ 360 Т=3.30 защита 981 ТЗНП (80-299) - ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	360	1.00	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_X 80 Z1д=0.214+j0.345 Z0д=0.39+j1.10		ZI0=360 -65 ZU0=38.61 -173 ZI0 (B)=360 -65 ZU0 (B)=38.61 - 173
ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ЩДЭ Ктн=1100/1.73	ICP UCP ФМЧ JCM ZK	0.080 2.25 250 0.40 5	-7.41 -31.91	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 80		ZI0=445 112 ZU0=47.68 -176
ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ЩДЭ Ктн=1100/1.73	ICP UCP ФМЧ JCM ZK	0.080 2.25 250 0.40 5	-6.00 -25.84	ВИД-КЗ А0 (0.273 0.597) УЗЕЛ-КЗ 80		ZI0=360 115 ZU0=38.60 -173

При выбранном значении уставки $Z_{0\text{ см}}$ изменение фазы напряжения нулевой последовательности по отношению к фазе тока нулевой последовательности не произошло. Направленность действия защиты не изменилась, таким образом, разрешающее реле не работает, и неселективного срабатывания не будет.

2) Расчет и выбор параметров настройки блокирующего РНМ

Ток срабатывания блокирующего РНМ принимается равным току срабатывания разрешающего РНМ $3I_{0\text{ РНМ блок}} = 0,08$ А вторичных.

Напряжение срабатывания РНМ принимается равным 2,25 В вторичных или 1429 В первичных.

Проверяется чувствительность блокирующего РНМ при КЗ на землю в расчетной точке в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП, когда утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты равен току срабатывания самой чувствительной ступени ТЗНП, направленность которой контролируется блокирующим РНМ:

$$3I_{0\text{ РНМ блок}} \leq \frac{120}{750/1 \cdot 1,2} = 0,13 \text{ А вторичных;}$$

$$3U_{0\text{ РНМ блок}} \leq \frac{12860}{1100/\sqrt{3} \cdot 1,2} = 16,8 \text{ В вторичных.}$$

Принятые параметры настройки РНМ удовлетворяют требованию чувствительности.

Угол между напряжением и током нулевой последовательности равен $\varphi_{0p}=72^\circ$ и соответствует зоне направленности блокирующего РНМ ШДЭ 2801.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100 СЕТЬ:

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 4

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 4 СТУПЕНЬЮ 120 Т=7.00 защита 981 ТЗНП (80-299) - ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	-120	1.00	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 80 Z1д=2.42+j3.90 Z0д=4.36+j12.42		ZI0=120 123 ZU0=12.86 -165 ZI0 (Б)=120 123 ZU0 (Б)=12.86 - 165
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ШДЭ КТН=1100/1.73	ICP UCP ФМЧ ZK	0.08 2.25 70 0	2.00 8.99	ВИД-КЗ А0 (3.067 6.74) УЗЕЛ-КЗ 80		ZI0=120 123 ZU0=12.87 -165

4.10. Особенности расчета параметров настройки РНМ в МП устройстве РЗ ЛЭП на примере шкафа ШЭ 2607

РНМ в шкафу ШЭ 2607 реагирует на утроенный ток и напряжение нулевой последовательности и угол между ними.

Разрешающее РНМ имеет возможность смещения в зону срабатывания. Вторичное значение сопротивления смещения $Z_{0\text{ см}}$ регулируется в пределах диапазона (0,0–100) Ом с шагом 0,1 Ом.

Угол сопротивления смещения определяется углом удельного полного сопротивления нулевой последовательности ЛЭП, которое задается в качестве параметра настройки. При использовании смещения в защищаемую зону первичное напряжение, подводимое к разрешающему РНМ в шкафу ШЭ 2607, определяется по выражению (4.21) с учетом расчетного значения первичного сопротивления смещения.

Сопротивление смещения в последних версиях ПО шкафов ШЭ 2607 задается значением коэффициента выноса, который связан с расчетным сопротивлением смещения формулой:

$$k_{\text{вын ТН}} = \frac{Z_{0\text{ см}}}{Z_{0\text{ уд ЛЭП}} \cdot L_{\text{ЛЭП}}}, \quad (4.43)$$

где $Z_{0\text{ см}}$ – расчетное первичное значение сопротивления смещения, определяется в соответствии с указаниями пункта 4.5.2.3;

$Z_{0\text{ уд ЛЭП}}$ – удельное первичное сопротивление нулевой последовательности ЛЭП, Ом/км;

$L_{\text{ЛЭП}}$ – длина защищаемой ЛЭП, км.

Диапазон регулирования уставки коэффициента выноса составляет (0,00–0,50) о.е. с шагом 0,01 о.е.

Разрешающее РНМ имеет угол максимальной чувствительности, равный 250° для шкафов серии ШЭ 2607 и 260° для шкафов серии ШЭ 2710.

Блокирующее РНМ имеет угол максимальной чувствительности, равный 70° для шкафов серии ШЭ 2607 и 80° для шкафов серии ШЭ 2710.

Минимальная ширина зон срабатывания для разрешающего и блокирующего РНМ обеспечивается не менее 160°.

После определения расчетного значения первичного тока срабатывания по выражениям (4.11) и (4.13) в соответствии с указаниями пункта 4.5.1.1 и 4.5.1.2 и перевода параметров настройки РНМ из первичных величин во вторичные по выражению (4.32) в соответствии с указаниями подраздела 4.7, ток срабатывания пускового органа РНМ по току нулевой последовательности выбирается как ближайшее большее значение из диапазона (0,04–0,5) $I_{ном}$ с шагом (0,01) $I_{ном}$ А.

После определения расчетного значения первичного напряжения срабатывания по выражению (4.15) в соответствии с указаниями пункта 4.5.1.3 перевод параметров настройки РНМ из первичных величин во вторичные производится по выражению (4.34) в соответствии с указаниями подраздела 4.7. Напряжение срабатывания пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности выбирается как ближайшее большее значение из диапазона (0,5–5,0) В с шагом 0,1 В.

В шкафах ШЭ 2607 измерительные органы напряжения РНМ нулевой последовательности могут быть включены на утроенное напряжение нулевой последовательности, полученное с помощью схемы «разомкнутого треугольника», либо могут реагировать на значение утроенного напряжения нулевой последовательности, вычисленного суммированием векторов фазных напряжений.

При использовании утроенного напряжения нулевой последовательности, вычисленного суммированием векторов фазных напряжений, вторичное значение напряжения нулевой последовательности, подводимое к РНМ, определяется по формуле:

$$\underline{U}_p = \frac{\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C}{n_{ТНУ}} = \sqrt{3} \cdot \frac{3\underline{U}_0}{n_{ТНУ}}, \quad (4.44)$$

где $n_{ТНУ}$ – коэффициент трансформации ТН, вторичные обмотки которого соединены в звезду, определяется по выражению (3.6).

Пример 4.4. Расчет и выбор параметров настройки РНМ ШЭ 2607

Расчет выполнен для защиты 981 ВЛ 110 кВ Михайловская-Мшанка с отпайками, установленной со стороны ПС 500 кВ Михайловская.

Параметры ЛЭП и параметры настройки ТЗНП те же, что и в примере 4.1. По цепям переменного напряжения для РНМ используется напряжение «разомкнутого треугольника».

1) Расчет и выбор параметров настройки разрешающего РНМ

Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ пускового органа РНМ по току нулевой последовательности по условию отстройки от небаланса в нагрузочном режиме производится по выражению (4.11) в соответствии с пунктом 4.5.1.1:

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} = \frac{1,25}{0,9} \cdot (0,05 \cdot 750 + 0) = 52,1 \text{ А.}$$

Вторичное значение тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ рассчитывается из первичного значения $3I_{0 \text{ РНМ}}$ по выражению (4.32):

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} = \frac{52,1}{750/1} = 0,069 \text{ А,}$$

Принимается: $3I_{0 \text{ РНМ разр втор}} = 0,07 \text{ А вторичных.}$

Расчет первичного тока срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ по условию отстройки от небаланса в асинхронном режиме или режиме качаний по выражению (4.13) в соответствии с пунктом 4.5.1.2 не производится, так как выдержка времени срабатывания ступеней ТЗНП, действие которых контролирует РНМ, больше длительности цикла асинхронного режима или режима синхронных качаний.

Расчет вторичного напряжения срабатывания пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$ по условию отстройки от небаланса в нагрузочном режиме производится по выражению (4.15) в соответствии с пунктом 4.5.1.3 с учетом принятого значения напряжения небаланса 2 В вторичных:

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \geq \frac{1,25}{0,9} (2+0) = 2,78 \text{ В.}$$

Принимается: $3U_{0 \text{ РНМ разр}} = 2,8 \text{ В вторичных.}$

Параметры настройки РНМ не должны ограничивать зону действия направленных ступеней ТЗНП. Из этого следует, что ток срабатывания $3I_{0 \text{ РНМ разр}}$ РНМ не должен превышать ток срабатывания самой чувствительной прямонаправленной ступени ТЗНП.

Проверяется чувствительность разрешающего РНМ по току и напряжению срабатывания при однофазном КЗ на землю в конце зоны срабатывания прямонаправленной ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП в режиме транзита по выражениям (4.18), (4.19). В соответствии с пунктом 3.3.7.2. для третьей ступени ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП коэффициент чувствительности РНМ по мощности необходимо обеспечить равным 1,5.

$$3I_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{360}{750/1 \cdot 1,5} = 0,32 \text{ А вторичных,}$$

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{630}{1100/\sqrt{3} \cdot 1,5} = 0,66 \text{ В вторичных.}$$

Принятое значение $3U_{0 \text{ РНМ разр}}$ по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА

ПС МИХАЙЛОВ 110-2

Защита 981

Тип ТЗНП

Степень 3

Ветвь 80-299

КТТ 750/1

Узел

КТН 1100 СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 3 СТУПЕНЬЮ 360 Т=3.30 защита 981 ТЗНП (80-299) ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	360	1.01	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ Х 723 Z1д=9.07+j14.62 Z0д=16.36+j46.58		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154 3I0 (В)=360 -62 3U0 (В)=0.63 -154
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ШЭ КТН=1100/1.73	УСР ФМЧ ЗК	0.07 2.8 250 0.0	6.52 0.34	ВИД-КЗ А0 (11.5 25.273) УЗЕЛ-КЗ 723		3I0=360 -62 3U0=0.63 -154

Чувствительность разрешающего РНМ по напряжению срабатывания при КЗ на землю в направлении защищаемой ЛЭП при токе $3I_0$, равном $\frac{3I_{0 \text{ уст}}^{III}}{k_H}$, меньше требуемой. Для повышения чувствительности пуска по напряжению в разрешающем РНМ панели ШЭ 2607 применяется смещение в зону срабатывания.

Расчет $Z_{0 \text{ см}}$ по условию обеспечения требуемой чувствительности РНМ производится по выражению (4.24) в соответствии с пунктом 4.5.2.4. Расчет выполняется во вторичных величинах при КЗ на землю в расчетной точке, когда ток нулевой последовательности в месте установки защиты равен току $3I_{0 \text{ уст}}^{III}/k_H$, где $k_H = 1,1$.

$$|Z_{0 \text{ см}}| \geq \frac{1,5 \cdot 2,8 \cdot 630 / 1100 / \sqrt{3}}{360 / 750 / 1} = 6,68 \text{ Ом.}$$

Вторичное значение сопротивления смещения регулируется в пределах диапазона (0,0–100,0) Ом с шагом 0,1 Ом. Принимаем $Z_{0 \text{ см}} = 6,8$ Ом вторичных, что соответствует 5,8 Ом первичных, и производим проверку в первичных величинах с учетом использования смещения в зону срабатывания по выражению (4.23):

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{630 + 360 \cdot 5,8}{1,5} = 1812 \text{ В.}$$

Вторичное значение напряжения срабатывания $3U_{0 \text{ РНМ втор}}$ пускового органа РНМ по напряжению нулевой последовательности рассчитывается по выражению (4.32):

$$3U_{0 \text{ РНМ разр}} \leq \frac{1812}{1100 / \sqrt{3}} = 2,85 \text{ В;}$$

$$2,8 \text{ В} < 2,85 \text{ В.}$$

Условие (4.23) выполняется, чувствительность разрешающего РНМ по напряжению срабатывания обеспечена.

Угол между напряжением и током нулевой последовательности равен $\varphi_{0p}=268^\circ$ и соответствует зоне направленности разрешающего РНМ ШЭ 2607.

Для последних версий шкафов ШЭ2607 величина сопротивления смещения определяется коэффициентом выноса по выражению (4.43):

$$k_{\text{вын ТН}} = \frac{5,8}{77,33} = 0,075 \text{ о.е.}$$

Принимаем: $k_{\text{вын ТН}} = 0,08 \text{ о.е.}$

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100 СЕТЬ:

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ШЭ КТН=1100/1.73	ICP	0.07	6.84	ВИД-КЗ		3I0=360 -62
	UCP	2.8	1.50	A0 (11.5 25.273)		3U0=0.63 -154
	ФМЧ	250		УЗЕЛ-КЗ 723		--Допол эл
	ZK	6.8 (5.8)				вел-- Z0=77.33 71

Для ЛЭП при наличии ответвлений чувствительность РНМ дополнительно проверяется по выражениям (4.18), (4.19) в соответствии с пунктом 4.5.2.1 при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны:

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100 СЕТЬ:

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ШЭ КТН=1100/1.73	ICP	0.07	85.04	ВИД-КЗ A0		3I0=4729 -72
	UCP	2.8	3.82	УЗЕЛ-КЗ 156		3U0=7.21 -162
	ФМЧ	250				
	ZK	0.0				
	ICP	0.07	65.88	ВИД-КЗ AB0		3I0=3663 -134
	UCP	2.8	2.96	УЗЕЛ-КЗ 156		3U0=5.58 135
	ФМЧ	250				
	ZK	0.0				
	ICP	0.07	144.38	ВИД-КЗ A0		3I0=8029 -75
	UCP	2.8	6.49	УЗЕЛ-КЗ 164		3U0=12.23 -166
	ФМЧ	250				
	ZK	0.0				
	ICP	0.07	120.23	ВИД-КЗ AB0		3I0=6685 -137
	UCP	2.8	5.40	УЗЕЛ-КЗ 164		3U0=10.19 133
	ФМЧ	250				
	ZK	0.0				
	ICP	0.07	88.02	ВИД-КЗ A0	ОТКЛ 0 *723-	3I0=4893 -72
	UCP	2.8	3.99	УЗЕЛ-КЗ 156	299	3U0=7.51 -163
	ФМЧ	250				
	ZK	0.0				

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.07 2.8 250 0.0	68.75 3.11	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 156	ОТКЛ 0 *723- 299	ЗИ0=3821 -134 ЗУ0=5.87 135
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.07 2.8 250 0.0	146.39 6.63	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 164	ОТКЛ 0 *723- 299	ЗИ0=8137 -75 ЗУ0=12.50 -166
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.07 2.8 250 0.0	123.29 5.58	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 164	ОТКЛ 0 *723- 299	ЗИ0=6854 -137 ЗУ0=10.52 133

Вывод: чувствительность разрешающего РНМ при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и при отключении ЛЭП с противоположной стороны обеспечивается без использования смещения.

Проверка селективности РНМ при введенном смещении при КЗ на землю в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП производится по выражению (4.27) в соответствии с указаниями пункта 4.5.2.5. Расчет выполняется во вторичных величинах:

$$|Z_{0\text{ см}}| < \frac{\frac{2,8}{1,2} + 38610/1100/\sqrt{3}}{360/750/1} = 131 \text{ Ом};$$

$$6,8 \text{ Ом} < 131 \text{ Ом}.$$

Условие выражения (4.27) выполняется, при выбранном значении уставки $Z_{0\text{ см}}$ несрабатывание разрешающего РНМ при КЗ на землю в обратном направлении обеспечивается.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 3

СЕТЬ:2021 03

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ (80-299) - с 3 СТУПЕНЬЮ 360 Т=3.30 защита 981 ТЗНП (80-299) - ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	360	1.00	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ Х 80 Z1д=0.214+j0.345 Z0д=0.39+j1.10		ЗИ0=360 -65 ЗУ0=38.61 -173 ЗИ0 (В)=360 -65 ЗУ0 (В)=38.61 - 173
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ШЭ Ктн=1100/1.73	ICP UCP ФМЧ ZK	0.07 2.8 250 6.8 (5.8)	-8.47 -25.31	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 80		ЗИ0=445 112 ЗУ0=47.68 -176
	ICP UCP ФМЧ ZK	0.07 2.8 250 6.8 (5.8)	-6.85 -20.49	ВИД-КЗ А0 (0.273 0.597) УЗЕЛ-КЗ 80		ЗИ0=360 115 ЗУ0=38.60 -173

При выбранном значении уставки $Z_{0\text{см}}$ изменение фазы напряжения нулевой последовательности по отношению к фазе тока нулевой последовательности не произошло. Направленность действия защиты не изменилось, таким образом, разрешающее РНМ не работает, и неселективного срабатывания не будет.

2) Расчет и выбор параметров настройки блокирующего РНМ

Ток срабатывания блокирующего РНМ принимается равным току срабатывания разрешающего РНМ $3I_{0\text{РНМ блок}} = 0,07$ А вторичных.

Напряжение срабатывания РНМ принимается равным 2,8 В вторичных или 1778 В первичных.

Проверяется чувствительность блокирующего РНМ при КЗ на землю в расчетной точке в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП, когда утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты равен току срабатывания самой чувствительной ступени ТЗНП, направленность которой контролируется блокирующим РНМ:

$$3I_{0\text{РНМ блок}} \leq \frac{120}{750/1 \cdot 1,2} = 0,13 \text{ А вторичных};$$

$$3U_{0\text{РНМ блок}} \leq \frac{12860}{1100/\sqrt{3} \cdot 1,2} = 16,8 \text{ В вторичных}.$$

Принятые параметры настройки удовлетворяет требованию чувствительности.

Угол между напряжением и током нулевой последовательности равен $\varphi_{0p} = 72^\circ$ и соответствует зоне направленности блокирующего РНМ ШЭ 2607.

ЭЛ МИХАЙЛОВ-МШАНКА
Защита 981
Ветвь 80-299
Узел

Тип ТЗНП
КТТ 750/1
КТН 1100

ПС МИХАЙЛОВ 110-2
Ступень 4

СЕТЬ:2021 03

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 4 СТУПЕНЬЮ 120 Т=7.00 защита 981 ТЗНП (80-299) - ЭЛ:МИХАЙЛОВ- МШАНКА ПС:МИХАЙЛОВ 110-2	УСТ	-120	1.00	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_X 80 Z1д=2.42+j3.90 Z0д=4.36+j12.42		3I0=120 123 3U0=12.86 -165 3I0 (B)=120 123 3U0 (B)=12.86 - 165
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РН=ШЭ КТН=1100/1.73	ТСР УСР ФМЧ ЗК	0.07 2.8 70 0.0	2.28 7.22	ВИД-КЗ А0 (3.067 6.74) УЗЕЛ-КЗ 80		3I0=120 123 3U0=12.87 -165

4.11. Особенности поведения РНМ параллельных ЛЭП, работающих по схеме АТ-линия

В настоящем разделе рассматриваются особенности поведения разрешающего РНМ нулевой последовательности параллельных ЛЭП, работающих по схеме блока АТ-линия, при подключении измерительных органов ТЗНП и РНМ к ТТ и ТН на стороне ВН АТ.

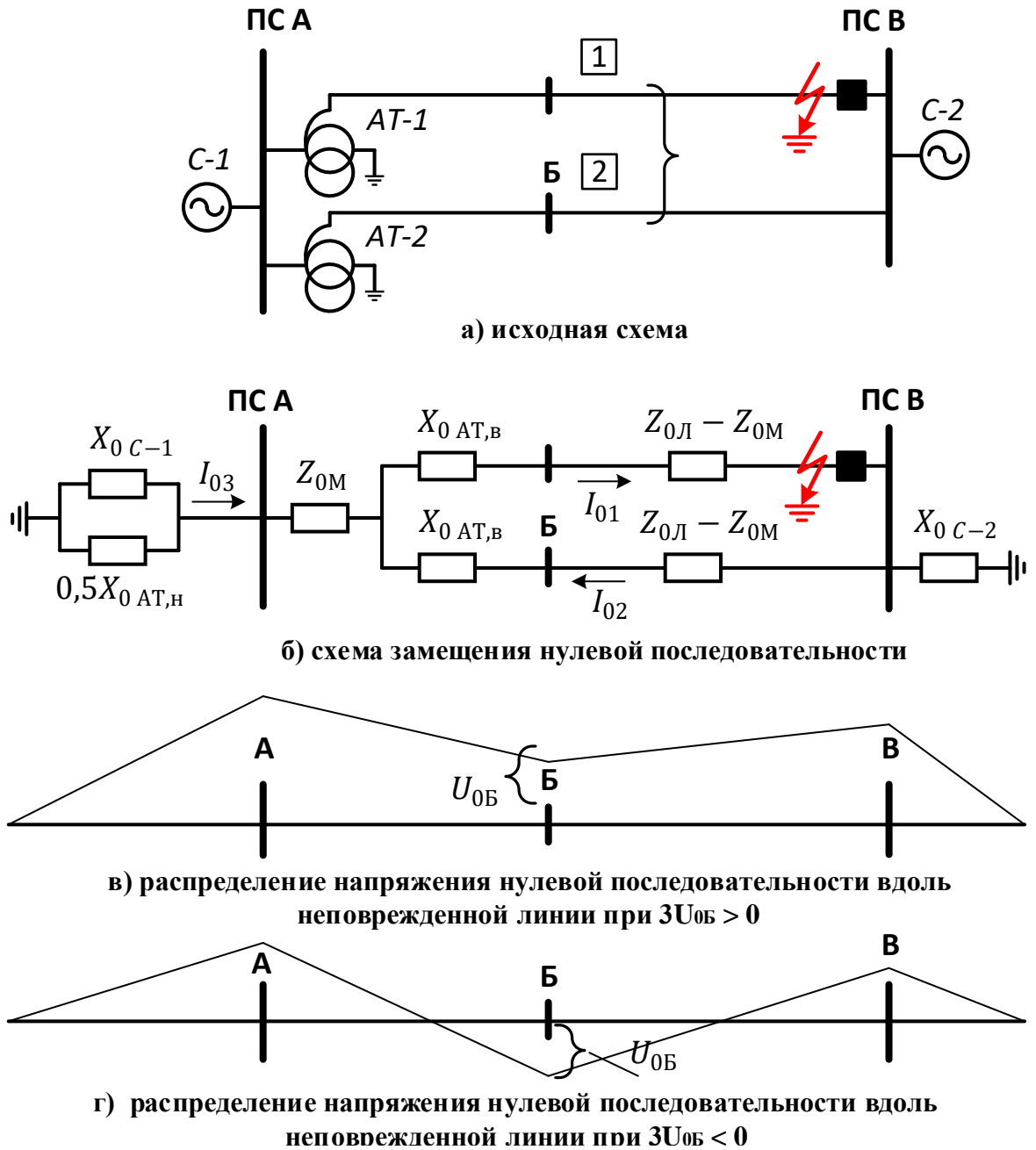


Рисунок 4.7. Каскадное отключение КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП, работающих по схеме блока АТ-линия

Исходная схема сети и схема замещения нулевой последовательности приведены на рисунке 4.7 («а», «б»).

При каскадном отключении КЗ на землю на одной из ЛЭП возможно излишнее срабатывание направленных ступеней ТЗНП неповрежденной параллельной ЛЭП вследствие возможного неправильного действия РНМ нулевой последовательности из-за влияния взаимоиндукции.

При выводе расчетных выражений для упрощения принимается, что равны сопротивления прямой и нулевой последовательности ЛЭП Л-1 и Л-2, а также равны сопротивления прямой и нулевой последовательности АТ-1 и АТ-2.

Утроенное напряжение нулевой последовательности $3U_{0Б}$ на шинах Б ПС А в месте установки защиты 2 ЛЭП Л-2 определяется по формуле:

$$3U_{0Б} = 3I_{03} \cdot \frac{X_{0C-1} \cdot 0,5 \cdot X_{0AT,Н}}{X_{0C-1} + 0,5 \cdot X_{0AT,Н}} - 3I_{02} \cdot X_{0AT,В}, \quad (4.45)$$

где $3I_{02}$ – утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты 2 неповрежденной ЛЭП Л-2;

$3I_{03}$ – суммарный утроенный ток нулевой последовательности от системы С-1 и заземленных нейтралей АТ-1 и АТ-2;

X_{0C-1} – сопротивление нулевой последовательности системы С-1;

$X_{0AT,В}$ и $X_{0AT,Н}$ – сопротивления схемы замещения нулевой последовательности АТ-1 и АТ-2 стороны ВН и НН, приведенные к напряжению стороны ВН (сопротивление стороны СН $X_{0AT,С}$, как правило, имеет малую величину и для упрощения принимается равным нулю).

В зависимости от соотношений величин, входящих в формулу (4.45), напряжение $3U_{0Б}$ может быть положительным или отрицательным. Напряжение нулевой последовательности $3U_{0Б}$ будет отрицательным, если соблюдается неравенство:

$$3I_{03} \cdot \frac{X_{0C-1} \cdot 0,5 \cdot X_{0AT,Н}}{X_{0C-1} + 0,5 \cdot X_{0AT,Н}} < 3I_{02} \cdot X_{0AT,В}. \quad (4.46)$$

При направлении тока $3I_{02}$ в защите 2 ЛЭП Л-2, как показано на рисунке 4.7 «б», в случае отрицательного значения $3U_{0Б}$ знак мощности нулевой последовательности будет такой же, как при КЗ на землю в прямом направлении в зоне действия направленных ступеней ТЗНП защиты 2. Это может привести к излишнему срабатыванию защиты 2 неповрежденной ЛЭП Л-2.

Утроенные токи нулевой последовательности $3I_{02}$ и $3I_{03}$ определяются из схемы замещения по рисунку 4.7 «б»:

$$3I_{02} = 3I_{01} \frac{\frac{X_{0C-1} \cdot 0,5 \cdot X_{0AT,Н}}{X_{0C-1} + 0,5 \cdot X_{0AT,Н}} + X_{0М}}{\frac{X_{0C-1} \cdot 0,5 \cdot X_{0AT,Н}}{X_{0C-1} + 0,5 \cdot X_{0AT,Н}} + X_{0AT,В} + X_{0Л} + X_{0C-2}}; \quad (4.47)$$

$$3I_{03} = 3I_{01} \frac{X_{0AT,B} + X_{0Л} + X_{0C-2} - X_{0M}}{X_{0C-1} \cdot 0,5 \cdot X_{0AT,H} + X_{0AT,B} + X_{0Л} + X_{0C-2}}. \quad (4.48)$$

В выражениях (4.47) и (4.48):

$3I_{01}$ – утроенный ток нулевой последовательности, проходящий по поврежденной ЛЭП Л-1;

$X_{0Л}$ – сопротивление нулевой последовательности ЛЭП;

X_{0M} – сопротивление взаимоиндукции между ЛЭП;

X_{0C-2} – сопротивление нулевой последовательности системы С-2.

Подставим выражения (4.47) и (4.48) в неравенство (4.46) и преобразуем, чтобы получить условие, при котором напряжение нулевой последовательности на шинах Б будет отрицательным:

$$\frac{X_{0C-2}}{X_{1Л}} < \frac{X_{0M}}{X_{1Л}} \cdot \left(2 \cdot \frac{X_{0AT,B}}{X_{0AT,H}} + \frac{X_{0AT,B}}{X_{0C-1}} + 1 \right) - \frac{X_{0Л}}{X_{1Л}}. \quad (4.49)$$

Для ЛЭП 220 кВ можно принять следующие соотношения:

$X_{0Л} \approx 3,5 X_{1Л}$ и $X_{0M} = 2 X_{1Л}$.

Тогда выражение (4.49) может быть записано в виде:

$$\frac{X_{0C-2}}{X_{1Л}} < 2 \cdot \left(2 \cdot \frac{X_{0AT,B}}{X_{0AT,H}} + \frac{X_{0AT,B}}{X_{0C-1}} \right) - 1,5. \quad (4.50)$$

Для АТ типа АТДЦТН-125000/220/110, АТДЦТН-200000/220/110 можно принять $0,5 \cdot X_{0AT,H} \approx X_{0AT,B}$, тогда неравенство (4.50) примет вид:

$$\frac{X_{0C-2}}{X_{1Л}} < \frac{2 \cdot X_{0AT,B}}{X_{0C-1}} + 0,5. \quad (4.51)$$

Для исключения излишнего срабатывания направленных ступеней ТЗНП неповрежденной параллельной ЛЭП вследствие неправильного действия РНМ нулевой последовательности рекомендуется подключать измерительные органы напряжения РНМ к ТН на стороне СН АТ блока.

В случае если ТН установлены на стороне ВН АТ блока, следует проверить направленность РНМ в рассматриваемом случае. Если выявлена возможность неправильного действия РНМ при КЗ на землю на параллельной ЛЭП в каскаде, необходимо согласовать по току и времени срабатывания соответствующие направленные ступени ТЗНП защиты 2 и защиты 1: например, вторую ступень ТЗНП защиты 2 с первой ступенью ТЗНП защиты 1, третью ступень ТЗНП защиты 2 со второй ступенью ТЗНП защиты 1 и т.д.

Пример 4.5. Проверка поведения РНМ параллельных ЛЭП при каскадном отключении КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП

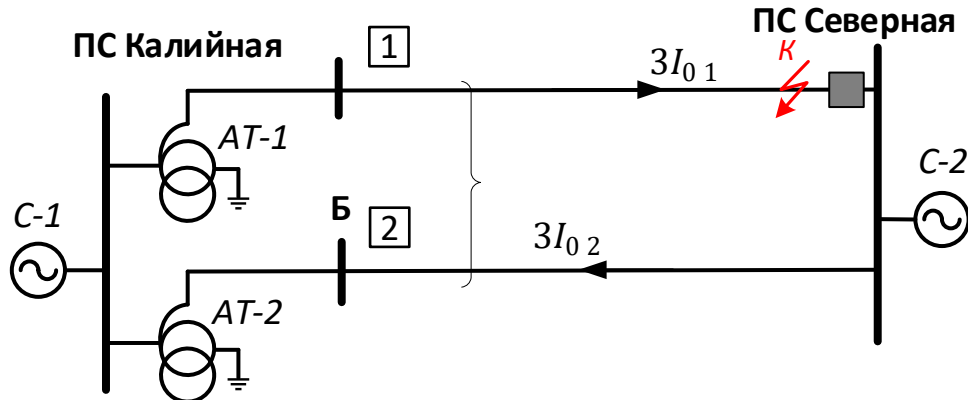


Рисунок 4.8. Схема сети

Параметры схемы замещения нулевой последовательности примыкающих энергосистем, АТ-1, АТ-2 220 кВ ПС 220 кВ Калийная и ВЛ 220 кВ Северная-Калийная 1,2 цепь:

АТ-1, АТ-2 типа АТДЦТН-125000/220/110,

$$X_{0\text{ АТ, В}} = 45,45 \text{ Ом,}$$

$$X_{0\text{ АТ, Н}} = 83,624 \text{ Ом,}$$

$$X_{1\text{ Л}} = 4,31 \text{ Ом,}$$

$$X_{0\text{ Л}} = 13,75 \text{ Ом,}$$

$$X_{0\text{ М}} = 6,481 \text{ Ом,}$$

$$X_{0\text{ С-1}} = 34,66 \text{ Ом,}$$

$$X_{0\text{ С-2}} = 2,628 \text{ Ом.}$$

Рассматривается случай подключения ТЗНП защиты 1 (2) к ТТ и ТН на стороне ВН АТ-1 (АТ-2).

Выполним проверку направленности РНМ защиты 2 ВЛ 220 кВ Северная-Калийная 2 цепь при каскадном отключении КЗ на землю в конце параллельной ВЛ 220 кВ Северная-Калийная 1 цепь по выражению (4.49):

$$\frac{2,628}{4,31} < \frac{6,481}{4,31} \cdot \left(2 \cdot \frac{45,45}{83,624} + \frac{45,45}{34,66} + 1 \right) - \frac{13,75}{4,31}; \quad 0,61 < 1,907.$$

Вывод: возможно срабатывание разрешающего РНМ защиты 2 при повреждении в направлении, обратном направлению в защищаемую ЛЭП.

Выполненный расчет подтверждает возможность излишней работы РНМ нулевой последовательности защиты 2, угол между напряжением и током нулевой последовательности равен $\varphi_{0\text{ р}} = 239^\circ$, что соответствует зоне направленности разрешающего РНМ:

ЭЛ СЕВЕРНАЯ-КАЛИЙНАЯ 2 220
 Защита 12212
 Ветвь 947-1221
 Узел

Тип ТЗНП
 КТТ 1000/5
 КТН 2200

ПС КАЛИЙНАЯ ВЫВ 220
 Ступень 4: **300 А - 5,7 сек**

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ЭЛ/МЕХ КТТ=1000/5 КТН=2200/1.73	PCP	1.50	1.95	ВИД-КЗ А0		ЗИ0=515 89
	ФМЧ	70		193-1216 УЗК=К		ЗУ0=1.47 -32
	PCP	1.50	2.44	ВИД-КЗ АВ0		ЗИ0=577 29
	ФМЧ	70		193-1216 УЗК=К		ЗУ0=1.64 -92

Ниже для сравнения приведены результаты расчета проверки чувствительности РНМ защиты 1 ВЛ 220 кВ Северная-Калийная 1 цепь при каскадном отключении КЗ на землю в конце защищаемой ВЛ. В этом случае угол между напряжением и током нулевой последовательности соответствует зоне направленности разрешающего РНМ, $\varphi_{0p}=270^\circ$:

ЭЛ СЕВЕРНАЯ-КАЛИЙНАЯ 1 220
 Защита 12182
 Ветвь 943-1218
 Узел

Тип ТЗНП
 КТТ 1000/5
 КТН 2200

ПС КАЛИЙНАЯ ВЫВ 220
 Ступень 4: **300 А - 5,7 сек**

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ PM=ЭЛ/МЕХ КТТ=1000/5 КТН=2200/1.73	PCP	1.50	356.72	ВИД-КЗ А0		ЗИ0=1560 -89
	ФМЧ	70		193-1216 УЗК=К		ЗУ0=92.74 -179
	PCP	1.50	447.44	ВИД-КЗ АВ0		ЗИ0=1747 -148
	ФМЧ	70		193-1216 УЗК=К		ЗУ0=103.87 121

Вывод: выявлена возможность неселективного действия разрешающего РНМ нулевой последовательности неповрежденной параллельной ЛЭП при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП.

Для исключения возможной неселективной работы ТЗНП ВЛ 220 кВ Северная-Калийная 2 цепь требуется выполнить согласование по току срабатывания и выдержке времени направленных ступеней ТЗНП защиты 2 с соответствующими ступенями ТЗНП защиты 1 в рассматриваемом режиме.

Аналогичное согласование требуется выполнить для направленных ступеней ТЗНП защиты 1.

В случае подключения РНМ защиты 2 к ТН на стороне СН АТ-2, излишнее срабатывание РНМ было бы исключено, так как угол между напряжением и током нулевой последовательности при КЗ на землю в рассматриваемом случае соответствует зоне направленности блокирующего РНМ, $\varphi_{0p}=90^\circ$:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ Узел 951 PM=ЭЛ/МЕХ КТТ=1000/5 КТН=1100/1.73	PCP	1.50	-25.88	ВИД-КЗ А0		ЗИ0=515 89
	ФМЧ	70		193-1216 УЗК=К		ЗУ0=10.34 -179
	PCP	1.50	-32.46	ВИД-КЗ АВ0		ЗИ0=577 29
	ФМЧ	70		193-1216 УЗК=К		ЗУ0=11.58 121

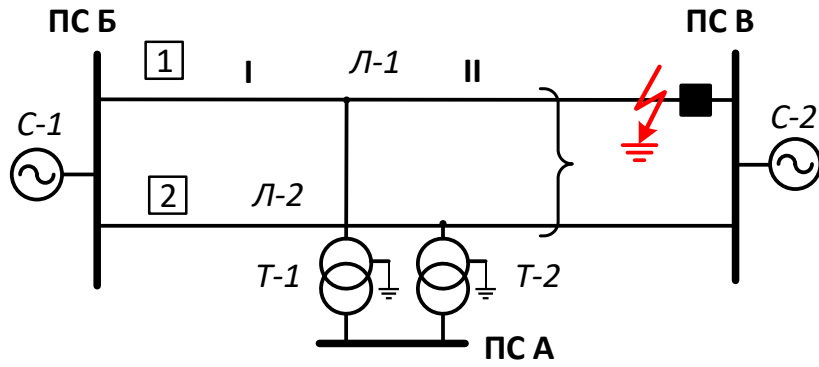
4.12. Особенности поведения РНМ параллельных ЛЭП с ответвлениями

При каскадном отключении КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП с ответвлениями, при наличии на ПС ответвлений Т с заземленными нейтральями, возможна неселективная работа разрешающего РНМ нулевой последовательности неповрежденной ЛЭП при КЗ на землю в обратном направлении (рисунок 4.9), аналогично рассмотренному в подразделе 4.11 примеру поведения РНМ нулевой последовательности параллельных ЛЭП, работающих по схеме блока АТ-линия.

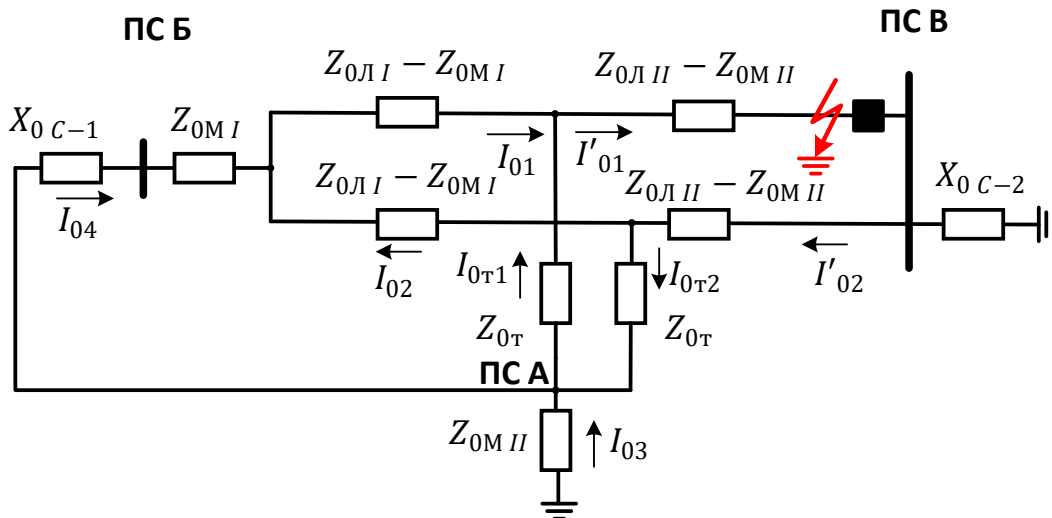
При выявлении возможности неселективной работы разрешающего РНМ защиты 2 неповрежденной параллельной ЛЭП Л-2 при каскадном КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-1 необходимо рассмотреть следующие мероприятия для исключения излишнего срабатывания направленных ступеней ТЗНП неповрежденной ЛЭП:

- выполнить отстройку тока срабатывания направленных ступеней ТЗНП защиты 2 от утроенного тока нулевой последовательности, протекающего через защиту в рассматриваемых случаях, или выполнить согласование по току срабатывания и выдержке времени с соответствующими ступенями ТЗНП защиты 1 во всех расчетных по согласованию режимах;

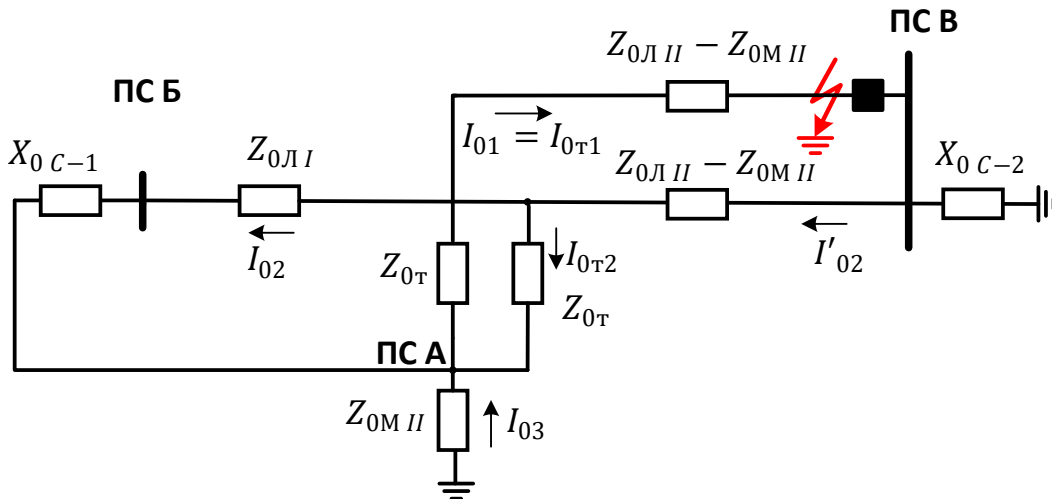
- для контроля прямонаправленных ступеней ТЗНП защиты 2 можно использовать блокирующее РНМ нулевой последовательности в том случае, если при каскадном отключении повреждения на ЛЭП Л-1 со стороны ПС В обеспечена требуемая чувствительность блокирующего РНМ и угол между напряжением и током нулевой последовательности будет соответствовать зоне работы блокирующего РНМ при КЗ на землю в любой точке ЛЭП Л-1.



а) исходная схема



б) схема замещения нулевой последовательности для случая отключения поврежденной ЛЭП с одного конца



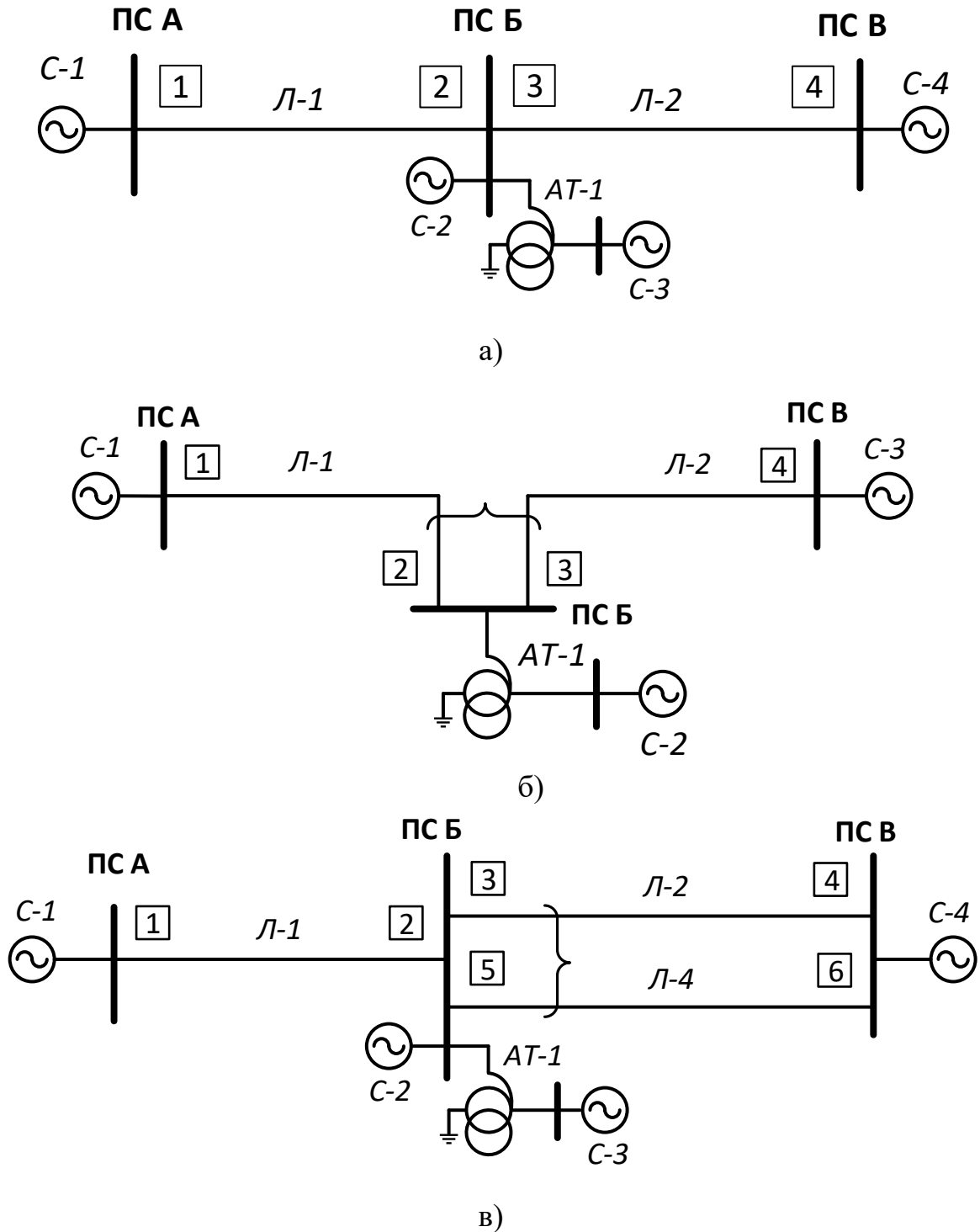
в) схема замещения нулевой последовательности для случая отключения поврежденной ЛЭП с двух концов

Рисунок 4.9. КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП с ответвлениями

5. Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП одиночной ЛЭП

5.1. Типовые схемы участков сети

Указания по расчету и выбору параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП одиночной ЛЭП напряжением 110 кВ и выше с двусторонним питанием приводятся для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 5.1).



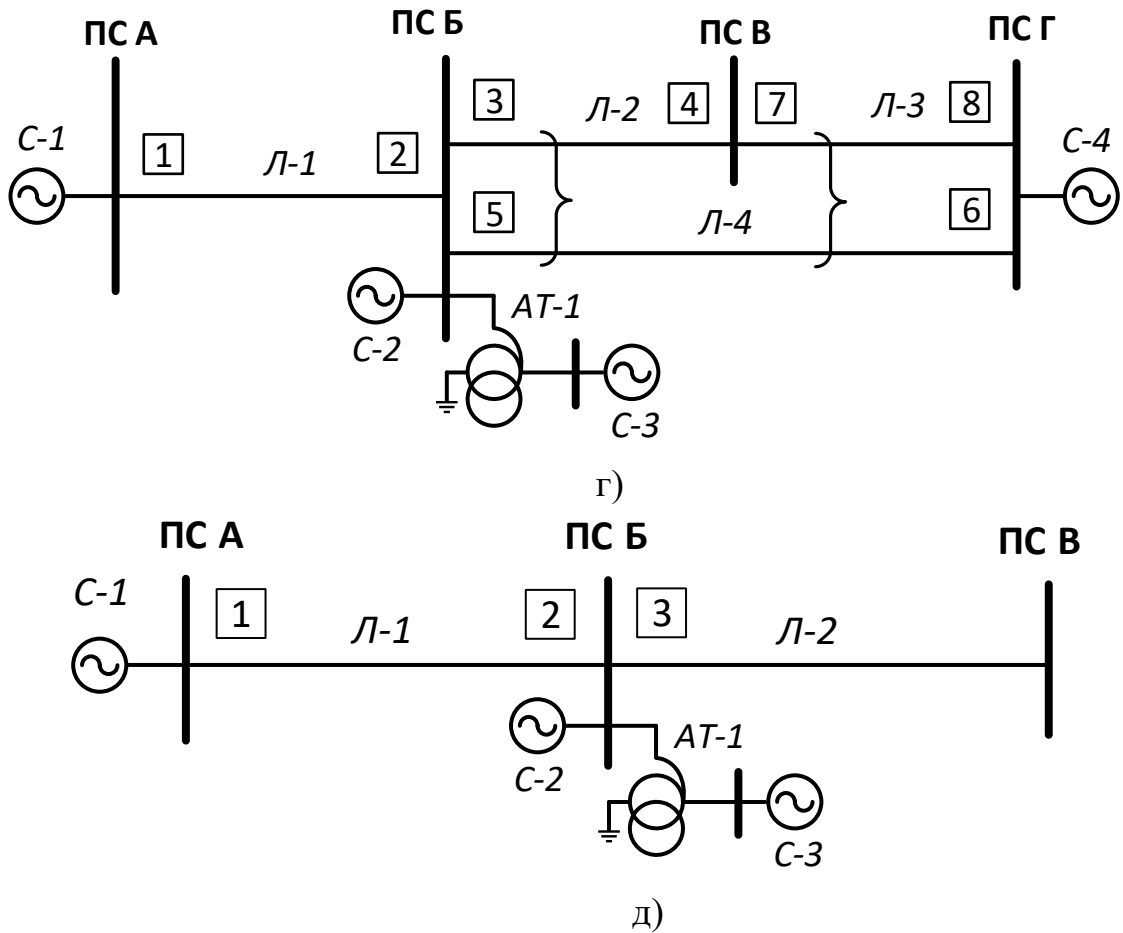


Рисунок 5.1. Примеры типовых схем участков сети с одиночными ЛЭП с двусторонним питанием

Приведенные примеры конфигураций электрической сети применимы также для одиночных ЛЭП с двусторонним питанием, отходящих от шин электрических станций.

5.2. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

5.2.1. Общие указания по расчету

Расчет и выбор параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП одиночной ЛЭП напряжением 110 кВ и выше с двусторонним питанием производится в соответствии со следующим функциональным назначением ступеней:

- первая ступень с неполным охватом защищаемой ЛЭП – действует без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени;
- вторая ступень с частичным или полным охватом защищаемой ЛЭП – действует с выдержкой времени;
- третья ступень с надежным охватом защищаемой ЛЭП во всех возможных ремонтных схемах сети – действует с выдержкой времени;
- четвертая ступень действует с выдержкой времени и обеспечивает резервирование защит своей ЛЭП и защит смежных сетевых элементов.

При выполнении расчетов необходимо учитывать указания, приведенные в разделах 3 и 4, а также материалы приложений А, Б и В.

Для обеспечения селективности и чувствительности параметров настройки ТЗНП одиночной ЛЭП при выполнении расчетов требуется учитывать конфигурацию смежной электрической сети, наличие индуктивной связи с другими ЛЭП, возможные ремонтные схемы сети, режимы заземления нейтралей силовых Т, наличие регулирования напряжения под нагрузкой силовых АТ и Т с заземленной нейтралью, замыкание нормально разомкнутых транзитов и т.д.

Для ЛЭП, отходящих от шин тепловых электростанций, необходимо дополнительно учитывать минимальный состав генерирующего оборудования, определенный по условиям работы оборудования или по условиям обеспечения надежного функционирования других устройств/функций РЗ.

Выбор параметров настройки производится с учетом алгоритмов функционирования и технических данных, приведенных в документации для конкретного устройства РЗ.

Устройства РЗ ЛЭП, параметры настройки ТЗНП которых выбраны с отступлением от требований селективности, необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] учесть в перечне вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

Устройства РЗ ЛЭП, параметры настройки ТЗНП которых не обеспечивают дальнейшее резервирование при КЗ на землю на смежных сетевых элементах, необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] учесть в перечне ЛЭП и оборудования, не обеспеченных дальнейшим резервированием устройствами РЗ.

5.2.2. Перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки ТЗНП

В таблице 5.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1, установленной со стороны ПС А, для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 5.1). Дополнительные указания по расчету параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП приведены в разделе 9.

Таблица 5.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки ТЗНП

№ п/п	Схема	Расчетные условия
1	1 степень защиты	
1.1	а, б, в, г, д	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б
1.2	а, б, в, г, д	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (для ненаправленной ступени)
1.3	б	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю вдоль смежных ЛЭП, имеющих участки взаимной индукции с ЛЭП Л-1
1.4	а, б, в, г, д	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в кратковременном неполнофазном режиме при одновременном включении фаз выключателя ЛЭП Л-1, замыкающего ЛЭП в транзит
1.5	а, б, в, г, д	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1
1.6	а, б, в, г, д	Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенным к ней ненагруженным АТ (Т с заземленной нейтралью)
1.7	а, б, в, г, д	Проверка чувствительности при КЗ на землю в начале ЛЭП Л-1
1.8	а, б, в, г, д	Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых 1 ступенями ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1
2	2 степень защиты	
2.1	а, б, д	Согласование с 1(2) степенью ТЗНП защиты 3
2.2	в, г	Согласование с 1(2) степенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
2.3	в	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В
2.4	г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Г
2.5	а, б, в, г, д	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1 ПС Б

№ п/п	Схема	Расчетные условия
2.6	а, б, в, г, д	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и на смежных ЛЭП, а также в длительном неполнофазном режиме на смежной ЛЭП
2.7	а, б, в, г, д	Проверка чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1
2.8	а, б, в, г, д	Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых 2 степенью ТЗНП защиты 1 и 1 степенью ТЗНП защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП Л-1
3	3 степень защиты	
3.1	а, б, в, г, д	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1
3.2	а, б, д	Согласование с 2 (3) степенью ТЗНП защиты 3
3.3	в	Согласование с 2 (3) степенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
3.4	г	Согласование с 2 (3) степенью ТЗНП защиты 3 (7) и защиты 5
3.5	а, б, в, г, д	Согласование с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
3.6	а, б, в, г, д	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и на смежных ЛЭП
3.7	а, б, в, г, д	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
3.8	а, б, в, г, д	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме
4	4 степень защиты	
4.1	а, б, в, г, д	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования
4.2	а, б, д	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 3
4.3	в	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
4.4	г	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 3 (7) и защиты 5
4.5	а, б, в, г, д	Согласование с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
4.6	а, б, в, г, д	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенных смежных ЛЭП
4.7	а, б, в, г, д	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
4.8	а, б, в, г, д	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме

Примечание. Под сокращением «ПС» следует также понимать электростанции.

5.3. Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП

5.3.1. Перечень параметров настройки первой ступени ТЗНП

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ТЗНП – обеспечение селективного отключения КЗ на землю на защищаемой ЛЭП.

5.3.1.1. Первая ступень ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 для типовых конфигураций электрической сети (рисунок 5.1) выполняется без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени.

5.3.1.2. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б (строка 1.1, таблица 5.1) производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}1}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0\text{1макс}}, \quad (5.1)$$

где $3I_{0\text{1макс}}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при металлических однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетной точке (К-1, рисунок 5.2) в расчетном по отстройке режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.1 в зависимости от типа устройства РЗ.

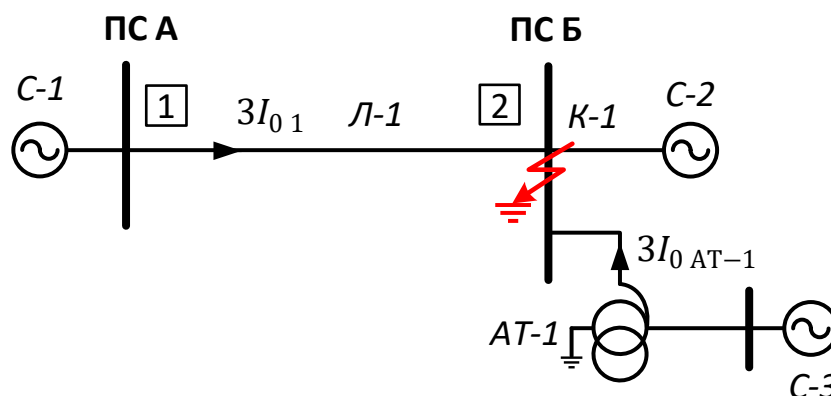


Рисунок 5.2. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б

Для ЛЭП со взаимной индукцией следует учитывать ремонтные схемы с отключением (отключением и заземлением) ЛЭП, связанных взаимной индукцией с защищаемой ЛЭП Л-1.

Расчетным может оказаться случай КЗ на землю в начале смежной ЛЭП при включении ее от устройства АПВ на устойчивое повреждение.

Если ЛЭП Л-1 выполняет АПВ шин ПС Б, следует учитывать режим опробования после работы ДЗШ (ДЗО), когда все присоединения ПС Б, кроме защищаемой ЛЭП, отключены. Допускается не учитывать режим опробования шин ПС Б, если это приводит к снижению чувствительности первой ступени защиты 1, при этом возможность неселективного действия защиты в соответствии с Методическими указаниями [10] следует учесть в перечне вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и

оборудования. Для обеспечения селективности действия защит в режиме опробования шин (ошиновки) ПС Б рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП защиты 1 с выдержкой времени, согласованной с временем отключения повреждения ДЗШ (ДЗО):

$$T_{уст1}^I \geq T_{ДЗШ(ДЗО)} + \Delta T, \quad (5.2)$$

где $T_{ДЗШ(ДЗО)}$ – время срабатывания ДЗШ (ДЗО) при АПВ или ручном опробовании шин (ошиновки) ПС Б;

ΔT – ступень селективности, рассчитывается с учетом типа согласуемых защит по выражению:

$$\Delta T \geq T_{отк\ выкл} + T_{возвр} + T_{погр} + T_{зап}, \quad (5.3)$$

где $T_{отк\ выкл}$ – время отключения выключателя (выключателей) ЛЭП Л-1 со стороны ПС Б;

$T_{возвр}$ – время возврата первой ступени ТЗНП, принимается по техническим данным устройства РЗ;

$T_{погр}$ – погрешность элемента выдержки времени защиты 1, принимается по техническим данным конкретного устройства РЗ;

$T_{зап}$ – время запаса, согласно пункту 4.3 Сборника распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем [11] принимается равным 0,1 с.

5.3.1.3. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (строка 1.2, таблица 5.1) производится по выражению (5.1), в котором в качестве $3I_{0\ 1\ макс}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетной точке (К-2, рисунок 5.3) в расчетном по отстройке режиме.

Для ЛЭП со взаимной индукцией следует учитывать ремонтные схемы с отключением (отключением и заземлением) ЛЭП, связанных взаимной индукцией с защищаемой ЛЭП Л-1.

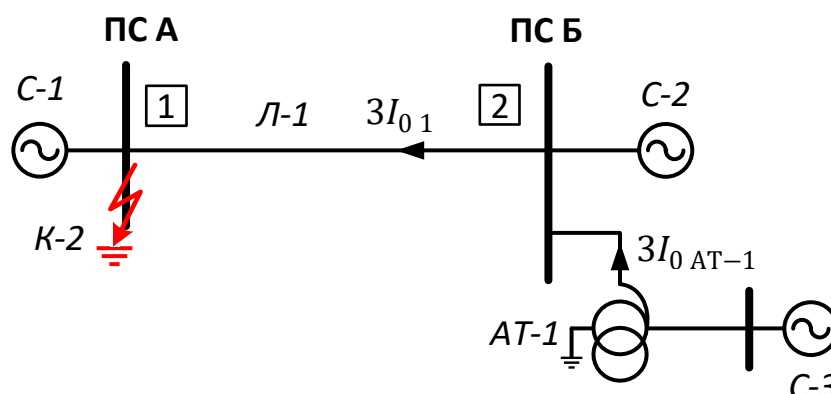


Рисунок 5.3. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности или потере эффективности, рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП прямонаправленной.

5.3.1.4. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схемы рисунка 5.1 «б» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю вдоль смежных ЛЭП, имеющих участки взаимоиндукции с ЛЭП Л-1 (строка 1.3, таблица 5.1), производится по выражению (5.1), в котором в качестве $3I_{0\ 1\max}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетной точке (К-3, рисунок 5.4) в расчетном по отстройке режиме.

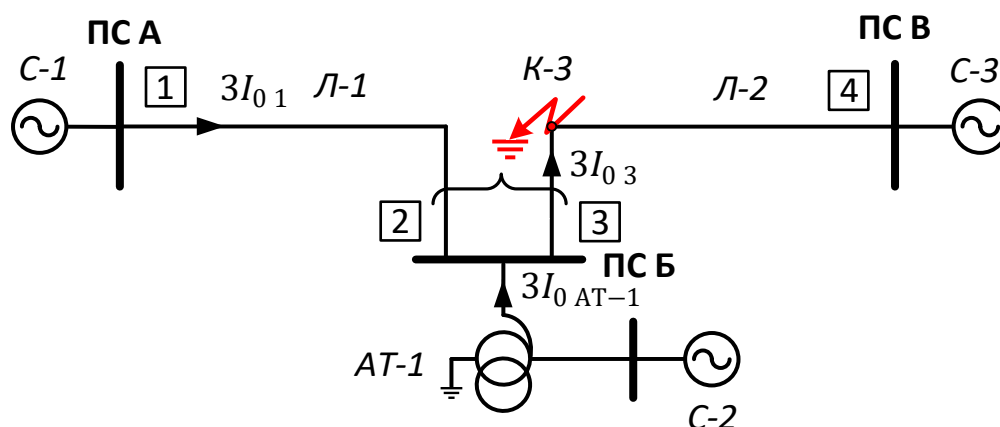


Рисунок 5.4. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю в конце участка взаимоиндукции со смежной ЛЭП

В общем случае точка К-3 находится при перемещении КЗ вдоль ЛЭП Л-2 от ПС Б до конца участка взаимоиндукции с ЛЭП Л-1. При выборе тока срабатывания $3I_{0\ уст1}^I$ по данному условию необходимо учитывать режим каскадного отключения КЗ со стороны ПС В или включение ЛЭП Л-2 от устройства АПВ на устойчивое КЗ.

При наличии ЛЭП, связанных взаимоиндукцией с ЛЭП Л-1 и Л-2, следует учитывать ремонтные схемы сети с отключением (отключением и заземлением) указанных ЛЭП.

5.3.1.5. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в кратковременном неполнофазном режиме, возникающем при одновременном включении фаз выключателя ЛЭП (строка 1.4, таблица 5.1), производится по выражению:

$$3I_{0\ уст1}^I \geq k_{отс} \cdot 3I_{0\ неп} , \quad (5.4)$$

где $3I_{0\ неп}$ — максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при одновременном включении фаз выключателя, замыкающего ЛЭП Л-1 в транзит, рассчитывается согласно пункту 3.3.2.1;

$k_{отс}$ — коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.1 в зависимости от типа устройства РЗ.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности или потере эффективности, рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП с выдержкой времени, большей времени разновременности включения фаз выключателя:

$$T_{уст1}^I \geq T_{в.разн}, \quad (5.5)$$

где $T_{в.разн}$ – время разновременности включения фаз выключателя.

Время разновременности $T_{в.разн}$ зависит от типа выключателя и его привода и может быть принято:

- 0,02 с для выключателей с трехфазным приводом;
- 0,2 с для масляных выключателей с пофазным электромагнитным приводом;
- 0,1 с для воздушных выключателей с пофазным приводом;
- 0,005 с для элегазовых выключателей с пофазным приводом.

Действительные значения времени разновременности включения фаз выключателя с пофазным приводом могут отличаться от указанных выше, в связи с чем они должны уточняться по техническим данным выключателя.

В случае выключателей с трехфазным приводом первая ступень ТЗНП без выдержки времени в устройствах РЗ на электромеханической элементной базе практически отстроена от рассматриваемого кратковременного неполнофазного режима собственным временем действия без дополнительного замедления.

5.3.1.6. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 (строка 1.5, таблица 5.1) производится по выражению:

$$3I_{0уст1}^I \geq k_{отс} \cdot 3I_{0 ОАПВ}, \quad (5.6)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.3.1;

$3I_{0 ОАПВ}$ – утроенный ток нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ, рассчитывается согласно пункту 3.3.3.1.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности ступени или потере эффективности, предусматривается вывод первой ступени ТЗНП из действия на время цикла ОАПВ на защищаемой ЛЭП.

Если первая ступень ТЗНП выводится из действия на время цикла ОАПВ на защищаемой ЛЭП, следует выполнить проверку отстройки $3I_{0уст1}^I$ от утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 в цикле ОАПВ на смежных ЛЭП по выражению:

$$3I_{0уст1}^I \geq k_{отс} \cdot k_T \cdot 3I_{0 ОАПВ см}, \quad (5.7)$$

где $3I_{0 ОАПВ см}$ – утроенный ток нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на смежной ЛЭП, рассчитывается согласно пункту 3.3.3.2;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.3.2.

Коэффициент токораспределения k_T для схемы замещения нулевой последовательности для случая продольной несимметрии (цикл ОАПВ на смежной ЛЭП) определяется исходя из схемы замещения нулевой последовательности аналогично определению k_T для случая поперечной несимметрии (КЗ на землю на смежной ЛЭП) согласно выражению (5.12).

Расчетным является значение k_T в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наибольший ток срабатывания согласно выражению (5.7).

Для ненаправленной первой ступени ТЗНП защиты 1 отстройка производится от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме на смежных ЛЭП, отходящих от ПС А и ПС Б.

Для прямонаправленной первой ступени ТЗНП защиты 1 отстройка производится от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме на смежных ЛЭП, отходящих от ПС Б.

5.3.1.7. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от БТН АТ (Т с заземленной нейтралью) (строка 1.6, таблица 5.1) производится согласно указаниям приложения Б, если возможен режим включения ненагруженного АТ (Т с заземленной нейтралью) под напряжение через ЛЭП Л-1.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности ступени или потере эффективности, рекомендуется использовать блокировку от БТН (при наличии технической возможности в устройстве РЗ).

5.3.1.8. Проверка чувствительности первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 (строка 1.7, таблица 5.1) производится при КЗ на землю в начале ЛЭП Л-1 по выражению:

$$k_{ч} = \frac{3I_{01}}{3I_{0уст1}^I}, \quad (5.8)$$

где $3I_{01}$ – значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты в нормальном и ремонтном режиме работы сети;

$3I_{0уст1}^I$ – принятое значение тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 по расчетным условиям пунктов 5.3.1.2–5.3.1.7;

$k_{ч}$ – коэффициент чувствительности.

Первая ступень считается эффективной, если коэффициент чувствительности при однофазном КЗ на землю в начале защищаемой ЛЭП в нормальном или ремонтных режимах работы сети составляет:

$k_{ч} \geq 1,1-1,2$ для устройств РЗ на МП элементной базе;

$k_{ч} \geq 1,2-1,3$ для устройств РЗ на электромеханической или микроэлектронной элементной базе.

Если принятая уставка $3I_{0уст1}^I$ неэффективна, рекомендуется использовать следующие меры по обеспечению чувствительности первой ступени ТЗНП:

- выполнить ступень прямонаправленной;

- выполнить ступень с выдержкой времени;
- выполнить блокировку ступени в цикле ОАПВ;
- использовать блокировку ступени от БТН при наличии технической возможности.

Первая ступень ТЗНП может быть выведена из действия в случае ее неэффективности в нормальном режиме сети.

5.3.1.9. Если принятая уставка тока срабатывания $3I_{0уст1}^I$ первой ступени ТЗНП защиты 1 удовлетворяет всем требованиям отстройки согласно пунктам 5.3.1.2–5.3.1.7 и обеспечивается ее эффективность, ступень выполняется ненаправленной, без выдержки времени и не блокируется в цикле ОАПВ.

5.3.1.10. Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых первыми ступенями ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1 (строка 1.8, таблица 5.1), для схем рисунка 5.1 производится по выражениям:

$$k_{ч1} = \frac{3I_{01}}{3I_{0уст1}^I}; \quad k_{ч2} = \frac{3I_{02}}{3I_{0уст2}^I}, \quad (5.9)$$

где $3I_{01}, 3I_{02}$ – значение утроенного тока нулевой последовательности в защите 1 и защите 2 при КЗ на землю на ЛЭП Л-1 в точке, соответствующей равной чувствительности ($k_{ч1} = k_{ч2}$) первых ступеней ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1;

$3I_{0уст1}^I$ – ток срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1, установленной на ПС А;

$3I_{0уст2}^I$ – ток срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 2, установленной на ПС Б.

Определение точки равной чувствительности первых ступеней ТЗНП с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1 удобно производить графически. Для этого необходимо выполнить построение графиков коэффициентов чувствительности $k_{ч1}$ и $k_{ч2}$ при перемещении точки КЗ вдоль ЛЭП. Пример графика приведен на рисунке 5.5.

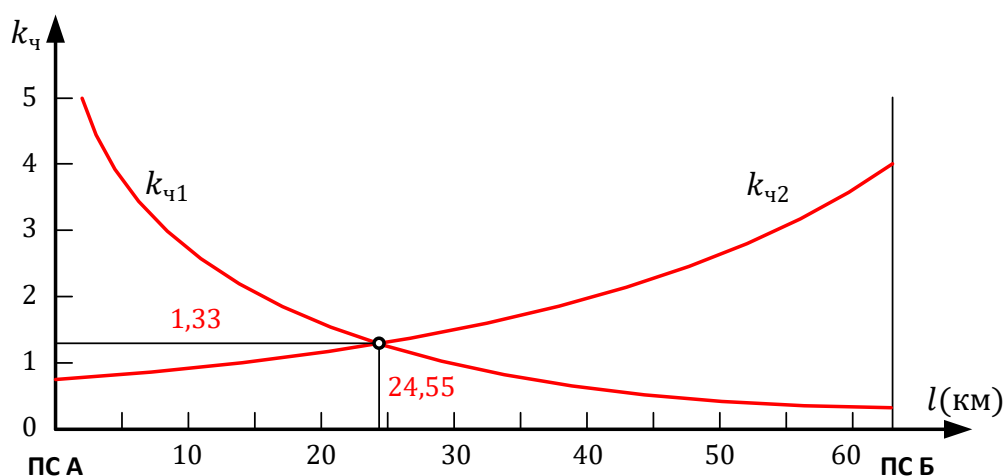


Рисунок 5.5. Определение точки равной чувствительности первых ступеней ТЗНП с двух сторон ЛЭП

Точка равной чувствительности соответствует точке пересечения графиков чувствительности первых ступеней ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1. На рисунке 5.5 – это точка с $k_q=1,33$ при КЗ на землю на расстоянии 24,55 км от шин ПС А.

Зоны охвата первыми ступенями ТЗНП с двух сторон рассматриваемой ЛЭП надежно перекрываются, если коэффициенты чувствительности в точке равной чувствительности имеют значение:

$k_q \geq 1,1-1,2$ для устройств РЗ на МП элементной базе;

$k_q \geq 1,2-1,3$ для устройств РЗ на электромеханической или микроэлектронной элементной базе.

Данная проверка выполняется для оценки возможности согласования ТЗНП смежных ЛЭП (смежных сетевых элементов) с первыми ступенями ТЗНП ЛЭП Л-1 в режиме каскадного отключения КЗ с противоположной стороны ЛЭП, если зоны охвата первых ступеней ТЗНП надежно перекрываются в расчетном по согласованию режиме.

5.3.2. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП

Требования, предъявляемые ко второй ступени ТЗНП, – обеспечение отключения КЗ на землю на большей части защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с ТЗНП смежных сетевых элементов при КЗ на землю.

Действие второй ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

5.3.2.1. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 («а», «б», «д») по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 2.1, таблица 5.1) производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}1}^{\text{II}} \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{01}, \quad (5.10)$$

где $3I_{01}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступенью ТЗНП защиты 3 (К-4, рисунок 5.6) в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.2.

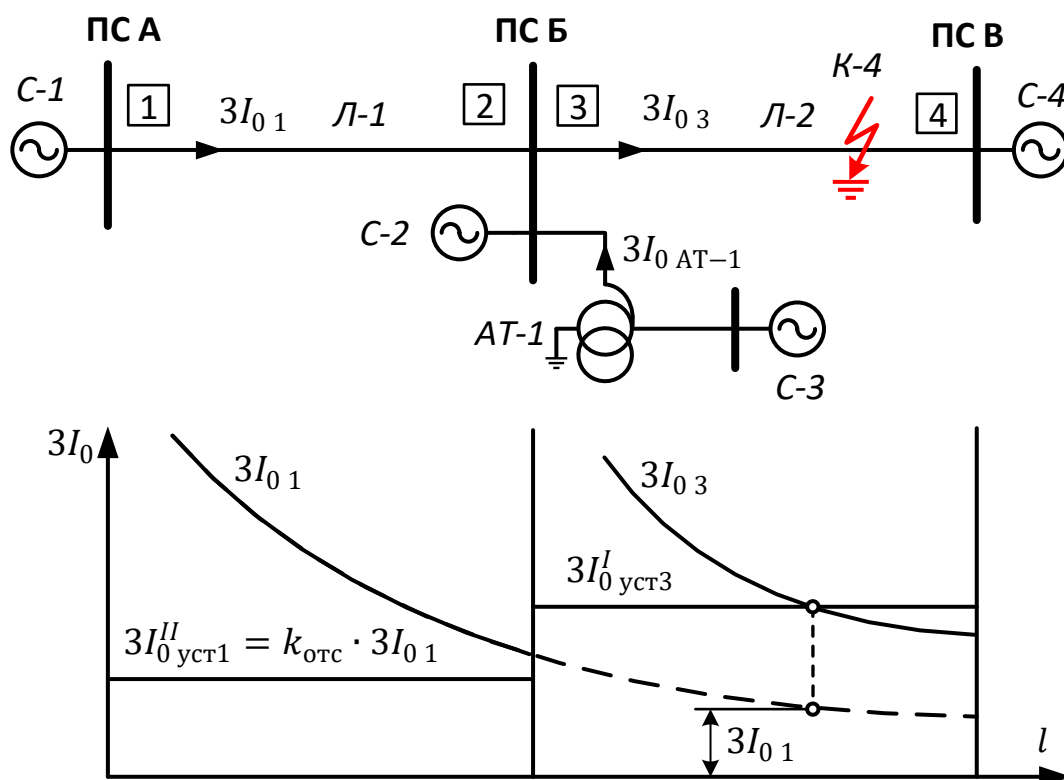


Рисунок 5.6. Определение тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 при КЗ на землю на ЛЭП Л-2

Конец зоны, защищаемой первой ступенью ТЗНП защиты 3, находится путем перемещения точки КЗ вдоль ЛЭП Л-2 от ПС Б вдоль ЛЭП Л-2 до точки К-4, где расчетный ток $3I_{03}$ равен току срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 3. Ток срабатывания второй ступени $3I_{0\text{уст}1}^{\text{II}}$ отстраивается от тока $3I_{01}$, протекающего в месте установки защиты 1 при КЗ на землю

в полученной точке К-4 с необходимым запасом, определяемым $k_{отс}$, как это показано на рисунке 5.6.

Если при перемещении точки КЗ на землю вдоль смежной ЛЭП Л-2 соотношение утроенных токов нулевой последовательности в месте установки защиты 1 и защиты 3 не изменяется, допускается расчет тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ производить с помощью коэффициента токораспределения по выражению:

$$3I_{0уст1}^{II} \geq k_{отс} \cdot k_T \cdot 3I_{0уст3}^n, \quad (5.11)$$

где $3I_{0уст3}^n$ – ток срабатывания ступени ТЗНП защиты 3, с которой производится согласование;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.2;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению утроенных токов нулевой последовательности в месте установки защиты 1 и защиты 3 при КЗ на землю в любой точке ЛЭП Л-2 или на шинах ПС В:

$$k_T = \frac{3I_{01}}{3I_{03}} \quad (5.12)$$

Расчетным является значение k_T в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наибольший ток срабатывания согласно выражению (5.11).

При определении тока срабатывания по выражениям (5.10) или (5.11) расчет производится при однофазном и двухфазном КЗ на землю, поскольку в сети сложной конфигурации утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты 1 и соответственно коэффициент токораспределения могут зависеть от вида КЗ.

Выражение (5.12) для определения коэффициента k_T применимо для сетей радиальной конфигурации и кольцевых сетей с одиночными ЛЭП без шунтирующих связей в схеме нулевой последовательности.

Для сетей радиальной конфигурации расчетным режимом, в котором коэффициент k_T имеет наибольшую величину, может оказаться режим каскадного отключения КЗ со стороны ПС В или режим одностороннего включения ЛЭП Л-2 от устройства АПВ на устойчивое КЗ.

Расчет тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ по условию согласования допускается производить в режиме каскадного отключения повреждения в тех случаях, когда в соответствии с пунктом 5.3.1.10 зоны, защищаемые первыми ступенями ТЗНП ЛЭП Л-2, надежно перекрываются в расчетном по согласованию режиме. При этом, если токовый орган второй ступени ТЗНП защиты 1 может сработать до начала каскадного отключения КЗ со стороны ПС В, при расчете тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ следует учесть коэффициент возврата:

$$3I_{0уст1}^{II} \geq \frac{k_{отс} \cdot k_T}{k_B} \cdot 3I_{0уст3}^n, \quad (5.13)$$

где $3I_{0уст3}^I$ – ток срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 3;
 $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.2;
 k_T – коэффициент токораспределения в расчетном по согласованию режиме;
 k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

Если при перемещении точки КЗ на землю вдоль смежной ЛЭП Л-2 соотношение утроенных токов нулевой последовательности в месте установки защиты 1 и защиты 3 изменяется (например, при наличии у поврежденной ЛЭП шунтирующих связей в схеме нулевой последовательности или участков индуктивной связи с другими ЛЭП), расчет тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ производится по выражению (5.10). При этом определяется максимальное значение тока $3I_{01}$ при перемещении точки КЗ на землю вдоль всей ЛЭП Л-2, поскольку из-за наличия индуктивной связи с другими ЛЭП ток $3I_{01}$ через защиту 1 при КЗ в конце ЛЭП Л-2 может оказаться большим, чем при КЗ в конце зоны первой ступени ТЗНП защиты 3, что следует учитывать в расчете.

Если в ряде ремонтных режимов первая ступень ТЗНП защиты 3 оказалась неэффективной, следует перейти на согласование со второй ступенью.

Расчет тока срабатывания ступени ТЗНП по условию согласования, выполняемый в специализированных программных комплексах, производится автоматическим выводом на грань срабатывания ступени ТЗНП защиты смежной ЛЭП (смежного сетевого элемента), с которой ведется согласование, и отстройкой от тока $3I_0$ в месте установки рассматриваемой защиты по выражению (5.10). При этом определяются токи $3I_0$ через согласуемые защиты, а также утроенное напряжение нулевой последовательности в месте установки согласуемых защит для возможности контроля направления мощности нулевой последовательности и проверки чувствительности РНМ, что важно при выборе направленных ступеней ТЗНП.

Автоматический вывод на грань срабатывания ступени ТЗНП защиты, с которой производится согласование, осуществляется перемещением точки КЗ на землю вдоль смежной ЛЭП или подключением в расчетной точке КЗ дополнительного сопротивления, соотношение прямой и нулевой последовательности которого соответствует параметрам смежной ЛЭП. При согласовании в режиме каскадного отключения повреждения вывод на грань срабатывания второй ступени ТЗНП осуществляется подключением в расчетной точке КЗ дополнительного активного сопротивления прямой последовательности.

Расчет тока срабатывания ступени ТЗНП ЛЭП по условию согласования, выполняемый в специализированных программных комплексах, производится по выражению (5.11) с помощью коэффициента токораспределения при КЗ на землю на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу смежной

ЛЭП, если ступень ТЗНП, с которой производится согласование по току срабатывания, охватывает смежную ЛЭП с коэффициентом чувствительности не менее 1,3 в расчетном по согласованию режиме. При этом для прямонаправленной рассматриваемой ступени ТЗНП следует выполнить проверку чувствительности РНМ нулевой последовательности в соответствии с указаниями раздела 4.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовать вторую ступень защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени со второй или третьей ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2.

5.3.2.2. Расчет тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 («в», «г») по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 2.2, таблица 5.1) производится по выражению (5.10), при этом определяется максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступенью ТЗНП защиты 3 и первой ступенью ТЗНП защиты 5 в расчетных по согласованию режимах. Необходимо учитывать, что из-за наличия индуктивной связи ток $3I_{01}$ через защиту 1 при КЗ на землю в конце смежных ЛЭП может быть большим, чем при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первыми ступенями ТЗНП смежных ЛЭП.

Расчетным может оказаться режим работы как обеих параллельных ЛЭП, так и одной из них.

Режим работы обеих параллельных ЛЭП может оказаться расчетным, если при КЗ на землю в конце зоны первой ступени ТЗНП защиты 3(5) ток нулевой последовательности в неповрежденной ЛЭП направлен от шин ПС Б в линию, как показано на рисунке 5.7. При направлении тока нулевой последовательности в неповрежденной ЛЭП к шинам ПС Б, расчетным будет режим работы одной из параллельных ЛЭП Л-2 или Л-4 для схемы рисунка 5.1 «в» и ЛЭП Л-2 и Л-3 или Л-4 для схемы рисунка 5.1 «г».

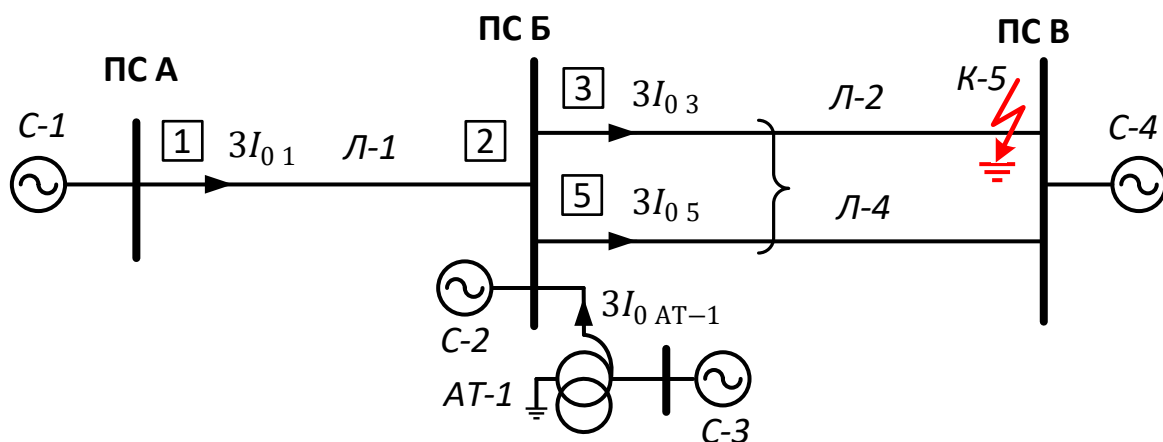


Рисунок 5.7. Вариант растекания тока нулевой последовательности при КЗ на землю при наличии параллельных ЛЭП на смежном участке сети

Расчет тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ по условию согласования с первыми степенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 допускается производить в режиме каскадного отключения повреждения с учетом соответствующих указаний пункта 5.3.2.1.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовать вторую степень защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени не с первой, а со второй или третьей степенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4, при этом следует учесть указания пунктов 5.3.2.3 и 5.3.2.4.

5.3.2.3. Расчет тока срабатывания второй степени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 5.1 «в» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В (строка 2.3, таблица 5.1) производится по выражению:

$$3I_{0уст1}^{II} \geq k_{отс} \cdot 3I_{01}, \quad (5.14)$$

где $3I_{01}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетной точке (К-6, рисунок 5.8) в расчетном по отстройке режиме;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.4 в зависимости от типа устройства РЗ.

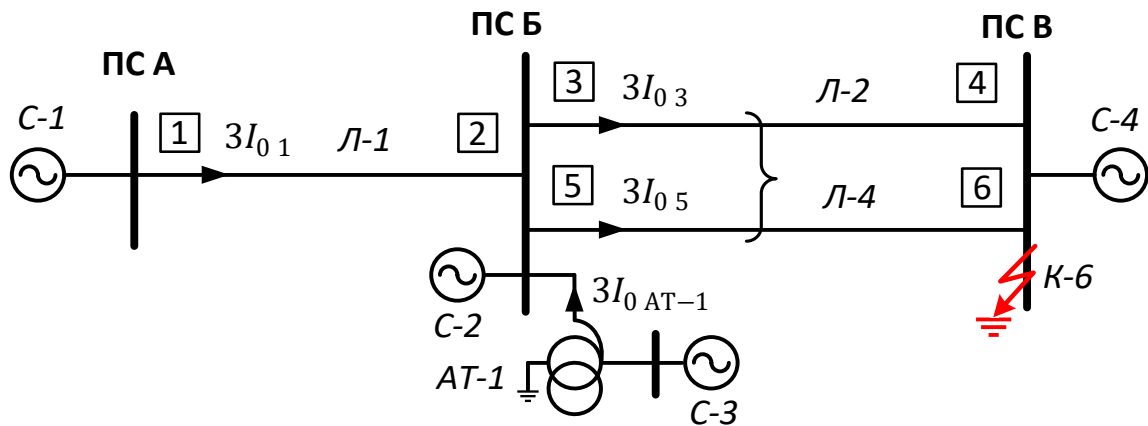


Рисунок 5.8. Определение тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты 1 при КЗ на землю на шинах ПС В

В целях повышения чувствительности второй степени ТЗНП защиты 1 условие отстройки при КЗ на землю на шинах ПС В можно заменить условием согласования со степенями ТЗНП защиты 3 и защиты 5, которые охватывают соответственно ЛЭП Л-2 и ЛЭП Л-4 с коэффициентом чувствительности не менее 1,3 в режиме работы обеих параллельных ЛЭП. В этом случае расчет тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ производится по выражению (5.10) при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой степенями ТЗНП защиты 3 и защиты 5, с которыми проводится согласование, или по выражению (5.11) с помощью коэффициентов токораспределения при КЗ на землю на шинах ПС В.

5.3.2.4. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 5.1 «г» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Г (строка 2.4 таблицы 5.1) производится по выражению (5.14), в котором в качестве $3I_{01}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетной точке (К-7, рисунок 5.9) в расчетном по отстройке режиме.

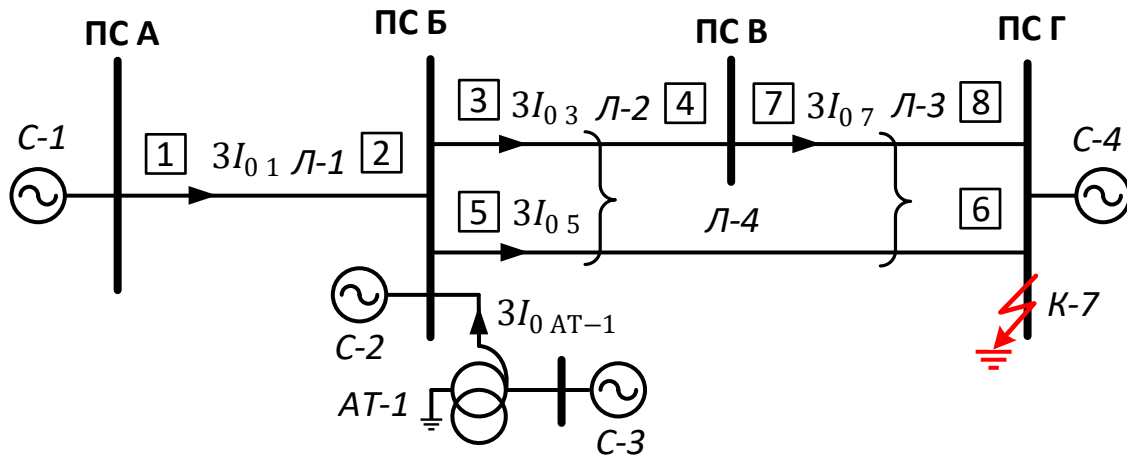


Рисунок 5.9. Определение тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты при КЗ на землю на шинах ПС Г

В целях повышения чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 условие отстройки при КЗ на землю на шинах ПС Г можно заменить условием согласования со ступенью ТЗНП защиты 3, которая охватывает смежную ЛЭП Л-3 с коэффициентом чувствительности не менее 1,3, и со ступенью ТЗНП защиты 5, которая охватывает ЛЭП Л-4 с коэффициентом чувствительности не менее 1,3, в режиме работы всех трех ЛЭП Л-2, Л-3, Л-4. В случае если ступень ТЗНП защиты 3, с которой выполнено согласование по току срабатывания и выдержке времени, не охватывает смежную ЛЭП Л-3 полностью, необходимо дополнительно выполнить согласование второй ступени ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени со ступенью ТЗНП защиты 7, которая охватывает ЛЭП Л-3 с коэффициентом чувствительности не менее 1,3 в режиме работы всех трех ЛЭП Л-2, Л-3, Л-4. Расчет тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ производится по выражению (5.10) при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой ступенями ТЗНП, с которыми проводится согласование, или по выражению (5.11) с помощью коэффициентов токораспределения при КЗ на землю на шинах ПС Г.

5.3.2.5. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1 ПС Б (строка 2.5, таблица 5.1), примыкающей к сети с заземленной нейтралью, производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}1}^{II} \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{01}, \quad (5.15)$$

где $3I_{01}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетной точке (К-8, рисунок 5.10) в расчетном по отстройке режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.5 в зависимости от типа устройства РЗ.

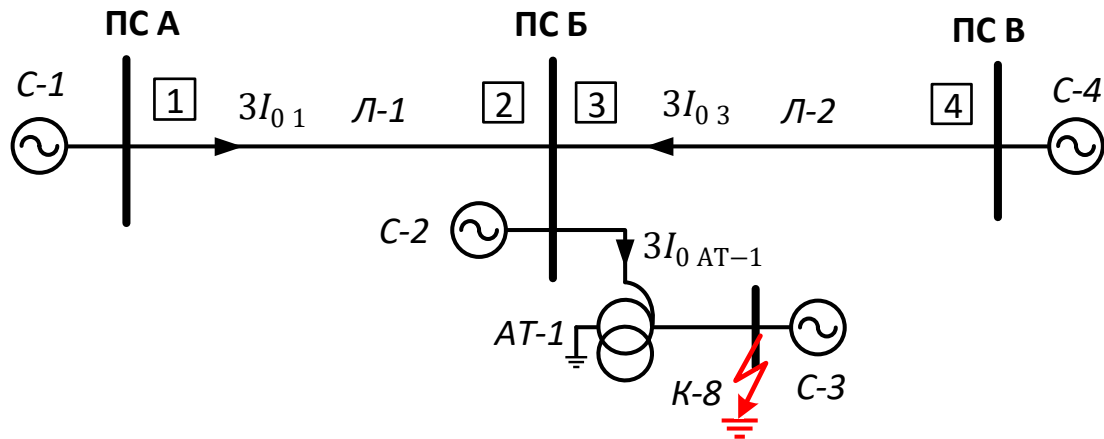


Рисунок 5.10. Определение тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты 1 при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1 ПС Б

При наличии на АТ-1 регулирования напряжения под нагрузкой следует учитывать минимальные возможные сопротивления АТ-1, рассчитанные при крайних или фактических положениях РПН.

В целях повышения чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 условие отстройки при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1 ПС Б можно заменить условием согласования с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения:

$$3I_{0\text{уст}1}^{II} \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{01}, \quad (5.16)$$

где $3I_{01}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой ступенью ТЗНП АТ-1, с которой производится согласование в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.6.

Согласование производится со ступенями ТЗНП АТ-1, направленными в сеть смежного напряжения, а также с ненаправленными ступенями ТЗНП АТ-1.

Расчет тока срабатывания $3I_{0\text{уст}1}^{II}$ по согласованию с ТЗНП АТ-1, установленной на стороне смежного напряжения АТ-1 и действующей при КЗ в сети смежного напряжения, производится с учетом коэффициента трансформации АТ-1 по выражению:

$$3I_{0\text{уст}1}^{II} \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}} \cdot \frac{3I_{0\text{уст смеж АТ-1}}^n}{n_{\text{АТ-1}}}, \quad (5.17)$$

где $3I_{0\text{уст смеж АТ-1}}^n$ – ток срабатывания ступени ТЗНП на стороне смежного напряжения АТ-1, с которой производится согласование;

$n_{\text{АТ-1}}$ – коэффициент трансформации АТ-1, равный отношению номинального напряжения АТ-1 стороны, где установлена ТЗНП ЛЭП и смежной стороны, где установлена ТЗНП АТ-1, с которой производится согласование;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.6;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению утроенных токов нулевой последовательности в месте установки защиты 1 и ТЗНП АТ-1 при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1:

$$k_{\text{т}} = \frac{3I_{01} \cdot n_{\text{АТ-1}}}{3I_{0\text{ смеж АТ-1}}} \quad (5.18)$$

Расчетным является значение коэффициента токораспределения в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наибольший ток срабатывания согласно выражению (5.17).

Если согласование с ТЗНП АТ-1 ПС Б приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия второй ступени ТЗНП защиты 1, допускается расчет тока срабатывания $3I_{0\text{уст1}}^{\text{II}}$ производить по согласованию с ТЗНП присоединений стороны смежного напряжения ПС Б («согласование через АТ»).

Если вторая ступень ТЗНП защиты 1 в целях обеспечения чувствительности и быстродействия не отстроена от КЗ на землю на шинах смежного напряжения ПС Б и не согласована с ТЗНП АТ-1 ПС Б, возможное неселективное действие защиты при КЗ на землю на шинах смежного напряжения ПС Б и отказе ДЗШ необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

5.3.2.6. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП (строка 2.6, таблица 5.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) согласно указаниям пункта 5.3.1.6, если выдержка времени срабатывания ступени меньше длительности цикла ОАПВ на указанных ЛЭП, а также в случае, если на смежных ЛЭП возможен длительный неполнофазный режим.

Для прямонаправленной второй ступени ТЗНП защиты 1 производится отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме на смежных ЛЭП, отходящих от ПС Б.

Для ненаправленной второй ступени ТЗНП защиты 1 производится отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме на смежных ЛЭП, отходящих от ПС А и ПС Б.

Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 приводит к снижению чувствительности

второй ступени ТЗНП, предусматривается вывод ее из действия на время цикла ОАПВ или выдержка времени срабатывания ступени отстраивается от длительности цикла ОАПВ ЛЭП Л-1 согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на смежных ЛЭП приводит к снижению чувствительности второй ступени ТЗНП, выдержку времени срабатывания ступени следует отстроить от длительности неполнофазного режима цикла ОАПВ на смежных ЛЭП согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

5.3.2.7. Проверка чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1 (строка 2.7, таблица 5.1) производится по выражению:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0\ 1\text{мин}}}{3I_{0\ \text{уст1}}^{\text{II}}}, \quad (5.19)$$

где $3I_{0\ 1\text{мин}}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при расчетном виде КЗ на землю в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности.

Допускается проверку чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 производить в режиме каскадного отключения повреждения при наличии защит ЛЭП Л-1, обеспечивающих отключение повреждения со стороны ПС Б или при условии обеспечения надежного перекрытия зон, защищаемых ступенями ТЗНП с противоположных сторон ЛЭП Л-1 в соответствии с пунктом 5.3.1.10 в расчетном по чувствительности режиме.

Требования по значению коэффициента чувствительности для второй ступени ТЗНП ЛЭП не регламентированы.

В целях уменьшения времени ликвидации повреждения в случае перехода однофазного КЗ на землю в двухфазное КЗ на землю, когда быстродействующая ступень ДЗ ЛЭП может быть выведена из действия устройством блокировки при качаниях, целесообразно выполнить проверку чувствительности второй ступени ТЗНП при всех видах КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП.

5.3.2.8. Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых второй ступеню ТЗНП защиты 1 и первой ступеню ТЗНП защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП Л-1 (строка 2.8, таблица 5.1), для схем рисунка 5.1 производится аналогично проверке обеспечения перекрытия зон, защищаемых первыми ступенями ТЗНП с двух сторон защищаемой ЛЭП в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.10.

В случае если зоны охвата указанных ступеней ТЗНП надежно перекрываются в расчетном по согласованию режиме, допускается возможность согласования ступеней ТЗНП смежных ЛЭП (или смежных сетевых элементов) со второй ступеню ТЗНП ЛЭП Л-1 в режиме каскадного отключения повреждения.

5.3.2.9. Выдержка времени второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени ТЗНП, с которой производилось согласование по току срабатывания.

Согласование выдержек времени производится по выражению:

$$T_{уст1}^{II} \geq T_{уст}^N + \Delta T + T_{УРОВ}, \quad (5.20)$$

где $T_{уст}^N$ – выдержка времени срабатывания ступени ТЗНП, с которой производится согласование, за расчетное значение принимается наибольшая из всех выдержек времени ступеней ТЗНП, с которыми производилось согласование по току срабатывания;

ΔT – ступень селективности;

$T_{УРОВ}$ – выдержка времени УРОВ выключателей смежных присоединений.

Выдержка времени УРОВ учитывается, если ток срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 выбран:

- по отстройке от КЗ в расчетной точке;
- по согласованию со ступенями ТЗНП смежных присоединений, действующими без выдержки времени;
- по согласованию со ступенями ТЗНП смежных ЛЭП, если ступень ТЗНП, предыдущая по отношению к той, с которой производится согласование по току срабатывания, охватывает защищаемый участок с коэффициентом чувствительности менее 1,3.

В расчете учитывается наибольшая выдержка времени УРОВ выключателей смежных присоединений.

Ступень селективности ΔT рассчитывается с учетом типа согласуемых защит по выражению:

$$\Delta T \geq T_{отк\ выкл} + T_{возвр} + T_{\Sigma погр} + T_{зап}, \quad (5.21)$$

где $T_{отк\ выкл}$ – полное время отключения выключателя смежного присоединения;

$T_{возвр}$ – время возврата измерительных органов рассматриваемой защиты, принимается по техническим данным конкретного устройства РЗ;

$T_{\Sigma погр}$ – суммарная погрешность элементов выдержек времени согласуемых защит, принимается по техническим данным устройств РЗ; при согласовании с защитой смежного присоединения, действующей без выдержки времени, учитывается погрешность только рассматриваемой защиты;

$T_{зап}$ – время запаса, согласно пункту 4.3 Сборника распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем [11] принимается равным 0,1 с.

Минимальное значение ΔT при временах отключения выключателей, не превышающих 0,08 с, ориентировочно принимается равным:

$\Delta T \geq 0,3$ с – при согласовании МП устройств РЗ;

$\Delta T \geq 0,4$ с – при согласовании устройств РЗ на микроэлектронной базе;

$\Delta T \geq 0,4-0,5$ с – при согласовании устройств РЗ на электромеханической базе.

При согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с ТЗНП смежной ЛЭП в режиме каскадного отключения повреждения дополнительно следует учесть выдержку времени срабатывания ступени ТЗНП и время отключения выключателя, обеспечивающих каскадное отключение.

При согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 с ТЗНП Т (АТ) согласование выдержек времени производится с учетом наличия нескольких последовательных выдержек времени, с которыми защита Т (АТ) действует на отключение выключателей.

5.3.2.10. Выдержка времени второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от длительности неполнофазного режима в цикле ОАПВ на защищаемой ЛЭП или смежных ЛЭП выбирается по выражению:

$$T_{уст1}^{II} \geq T_{БЗЛ} + T_{отк.выкл} + T_{ОАПВ} + T_{вкл.выкл} + T_{зап}, \quad (5.22)$$

где $T_{БЗЛ}$ – время действия быстродействующих защит ЛЭП той стороны ЛЭП, где включается в транзит отключенная фаза;

$T_{отк.выкл}$, $T_{вкл.выкл}$ – время отключения и время включения выключателя той стороны ЛЭП, где включается в транзит отключенная фаза;

$T_{ОАПВ}$ – выдержка времени таймера бестоковой паузы цикла ОАПВ той стороны ЛЭП, где включается в транзит отключенная фаза;

$T_{зап}$ – время запаса, принимается равным:

0,4 с – если хотя бы одно из устройств РЗ, выдержки времени которых учитываются при расчете, выполнено на электромеханической элементной базе;

0,2–0,3 с – если все устройства РЗ, выдержки времени которых учитываются при расчете, выполнены на микроэлектронной или МП элементной базе.

5.3.2.11. Для прямонаправленной второй ступени ТЗНП расчет и выбор параметров настройки РНМ производится в соответствии с указаниями раздела 4.

5.3.2.12. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее ненаправленной производится по всем расчетным условиям, указанным в строках 2.1–2.8 таблицы 5.1, при этом расчеты по условиям отстройки и согласования производятся с ТЗНП смежных присоединений с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1.

5.3.3. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ТЗНП

Требования, предъявляемые к третьей ступени ТЗНП, – обеспечение надежного отключения КЗ на землю по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие третьей ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

5.3.3.1. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП Л-1 (строка 3.1, таблица 5.1) производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}1}^{\text{III}} \leq \frac{3I_{0\text{1мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (5.23)$$

где $3I_{0\text{1мин}}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазных и двухфазных КЗ на землю в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.7.

Допускается обеспечивать чувствительность третьей ступени ТЗНП защиты 1 в режиме каскадного отключения повреждения с противоположной стороны защищаемой ЛЭП, если противоположный конец рассматриваемой линии подключен к шинам (ошиновке), оснащенным ДЗШ (ДЗО) и при условии наличия защит, обеспечивающих каскадное отключение повреждения с противоположной стороны ЛЭП.

При выводе из работы ДЗШ (ДЗО) допускается, при наличии СВ (ШСВ), обеспечивать чувствительность третьей ступени ТЗНП защиты 1 после отключения СВ (ШСВ) при условии ввода в работу делительной защиты, действующей на отключение СВ (ШСВ).

5.3.3.2. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 («а», «б», «д») по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 3.2, таблица 5.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.1.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 не со второй, а с третьей или четвертой ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2.

5.3.3.3. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 «в» по условию согласования со вторыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 3.3, таблица 5.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.2.

В случае если ступени ТЗНП защиты 3 и защиты 5, с которыми производится согласование, охватывают соответственно ЛЭП Л-2 и ЛЭП Л-4 с коэффициентом чувствительности менее 1,3 в режиме работы обеих параллельных ЛЭП, необходимо выполнить проверку отстройки тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В в указанном режиме согласно пункту 5.3.2.3.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4.

5.3.3.4. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 5.1 «г» по условию согласования со вторыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 3.4, таблица 5.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.2.

Согласование третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй ступенью ТЗНП защиты 7 ЛЭП Л-3 производится, если ступень ТЗНП защиты 3, с которой производится согласование, охватывает ЛЭП Л-3 с коэффициентом чувствительности менее 1,3 в режиме работы всех трех ЛЭП Л-2, Л-3, Л-4.

В случае если ступень ТЗНП защиты 3 (или защиты 7), с которой производится согласование, охватывает ЛЭП Л-3 с коэффициентом чувствительности менее 1,3, а ступень ТЗНП защиты 5, с которой производится согласование, охватывает ЛЭП Л-4 с коэффициентом чувствительности менее 1,3 в режиме работы всех трех ЛЭП Л-2, Л-3, Л-4, необходимо выполнить проверку отстройки тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Г в указанном режиме в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.4.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 (защиты 7 ЛЭП 3) и защиты 5 ЛЭП Л-4.

5.3.3.5. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 по согласованию с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 3.5, таблица 5.1), производится по выражению (5.16) или (5.17) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5.

Если согласование с ТЗНП АТ-1 ПС Б приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия третьей ступени ТЗНП защиты 1, расчет тока срабатывания допускается производить по согласованию с ТЗНП присоединений стороны смежного напряжения ПС Б

(«согласование через АТ»), при этом возможное неселективное действие защиты при КЗ на землю на шинах смежного напряжения ПС Б и отказе ДЗШ необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

5.3.3.6. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП (строка 3.6, таблица 5.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.6.

Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП приводит к снижению чувствительности третьей ступени ТЗНП, выдержку времени срабатывания ступени следует отстроить от длительности неполнофазного режима цикла ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

5.3.3.7. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ ПС А и ПС Б (строка 3.7, таблица 5.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.5, если третья ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

5.3.3.8. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме (строка 3.8 таблицы 5.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.6.2, если на защищаемой ЛЭП возможны указанные режимы и выдержка времени срабатывания третьей ступени меньше периода качаний.

В случае если третья ступень ТЗНП защиты 1 оперативно ускоряется, данное расчетное условие является обязательным.

5.3.3.9. Выдержка времени третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени ТЗНП, с которой производилось согласование по току срабатывания.

Согласование выдержек времени производится по выражению:

$$T_{уст1}^{III} \geq T_{уст}^N + \Delta T + T_{уров}, \quad (5.24)$$

где $T_{уст}^N$ – выдержка времени срабатывания ступени ТЗНП, с которой производится согласование, за расчетное значение принимается наибольшая из всех выдержек времени защит, с которыми производилось согласование по току срабатывания;

ΔT – ступень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

Выдержка времени УРОВ смежных присоединений учитывается, если ступень ТЗНП, предыдущая по отношению к той, с которой производится согласование, охватывает защищаемый участок с коэффициентом чувствительности менее 1,3. Допускается не учитывать выдержку времени УРОВ при наличии на предыдущем участке основной быстродействующей защиты.

При согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 с ТЗНП АТ-1 согласование выдержек времени производится с учетом наличия нескольких последовательных выдержек времени, с которыми защита АТ-1 действует на отключение выключателей.

5.3.3.10. В случае если третья ступень ТЗНП защиты 1 обеспечивает надежную защиту всей ЛЭП Л-1, то данная ступень может применяться в качестве ускоряемой ступени. Дополнительные указания по расчету и выбору параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП приведены в разделе 9.

5.3.3.11. Для прямонаправленной третьей ступени ТЗНП расчет и выбор параметров настройки РНМ нулевой последовательности производится в соответствии с указаниями раздела 4.

5.3.4. Расчет и выбор параметров настройки четвертой ступени ТЗНП

Основные требования, предъявляемые к четвертой ступени ТЗНП – обеспечение резервирования устройств РЗ своей ЛЭП и защит или выключателей смежных сетевых элементов (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие четвертой ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [7] при невозможности одновременного выполнения требований чувствительности и селективности параметров настройки ступени ТЗНП ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет отдается обеспечению чувствительности.

5.3.4.1. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования (строка 4.1, таблица 5.1) производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}1}^{IV} \leq \frac{3I_{0\text{1мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (5.25)$$

где $3I_{0\text{1мин}}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при расчетном виде КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.7.3.

Если чувствительность четвертой ступени ТЗНП к КЗ на землю в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, то допускается:

- не резервировать КЗ на землю на смежных ЛЭП 110 кВ и выше при наличии УРОВ и при условии обеспечения ближнего резервирования;
- обеспечивать дальнейшее резервирование без учета редких ремонтных схем и при каскадном действии защит смежных присоединений;
- предусматривать возможность неселективного действия четвертой ступени ТЗНП при КЗ на землю на смежных сетевых элементах, исправляемого действием АПВ и АВР;
- не согласовывать по чувствительности ступени ТЗНП, предназначенные для дальнего резервирования, если неотключение КЗ вследствие недостаточной чувствительности защиты последующего сетевого элемента может привести к тяжелым последствиям.

5.3.4.2. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 («а», «б», «д») по условию согласования с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 4.2, таблица 5.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП

защиты 1 со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 3 в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.1.

5.3.4.3. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 «в» по условию согласования с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 4.3, таблица 5.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени защиты 1 со вторыми (третьими) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.3.

5.3.4.4. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 5.1 «г» по согласованию с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 (защиты 7 ЛЭП Л-3) и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 4.4, таблица 5.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.4.

5.3.4.5. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 5.1 по согласованию с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 4.5, таблица 5.1), производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения, в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.5.

5.3.4.6. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по отстройке от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенной смежной ЛЭП (строка 4.6, таблица 5.1) производится, если реле тока УРОВ смежной ЛЭП отстроено от емкостного тока односторонне включенной ЛЭП, по выражению:

$$3I_{0\text{уст}1}^{IV} \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}} \cdot 3I_{0\text{с м}}, \quad (5.26)$$

где $3I_{0\text{с м}}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности односторонне включенной смежной ЛЭП в рассматриваемом режиме, рассчитывается согласно пункту 3.3.4;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.4;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, для случая продольной несимметрии (неполнофазный режим на смежной ЛЭП) определяется из схемы замещения нулевой последовательности аналогично определению $k_{\text{т}}$ для случая поперечной несимметрии (КЗ на землю на смежной ЛЭП) согласно выражению (5.12). Расчетным является значение $k_{\text{т}}$ в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наибольший ток срабатывания согласно (5.26).

Для прямонаправленной четвертой ступени ТЗНП защиты 1 производится отстройка в указанном режиме при односторонне включенных смежных ЛЭП со стороны ПС Б.

Для ненаправленной четвертой ступени ТЗНП защиты 1 производится отстройка при односторонне включенных смежных ЛЭП со стороны ПС Б и со стороны ПС А.

5.3.4.7. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ ПС А и ПС Б (строка 4.7, таблица 5.1) производится согласно пункту 3.3.5 в случае, если четвертая ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

5.3.4.8. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы (строка 4.8, таблица 5.1) производится согласно пункту 3.3.6.

5.3.4.9. Выдержка времени четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 5.1 принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени ТЗНП, с которой производилось согласование по току срабатывания.

Согласование выдержек времени производится по выражению:

$$T_{уст1}^{IV} \geq T_{уст}^N + \Delta T, \quad (5.26)$$

где $T_{уст}^N$ – время действия ступени защиты, с которой производится согласование, за расчетное значение принимается наибольшая из всех выдержек времени защит, с которыми производилось согласование по току срабатывания;

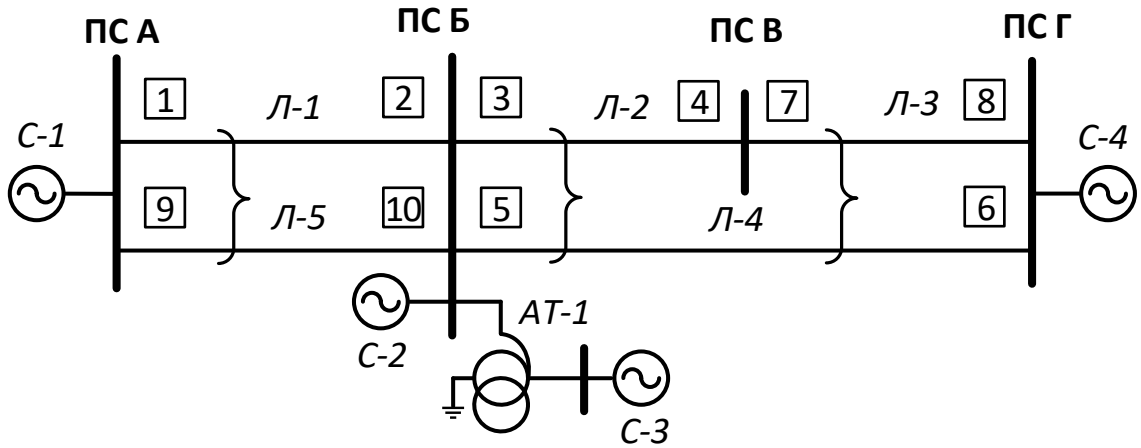
ΔT – ступень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

При согласовании четвертой ступени ТЗНП защиты 1 с ТЗНП Т (АТ) согласование выдержек времени производится с учетом наличия нескольких последовательных выдержек времени, с которыми защита Т (АТ) действует на отключение выключателей.

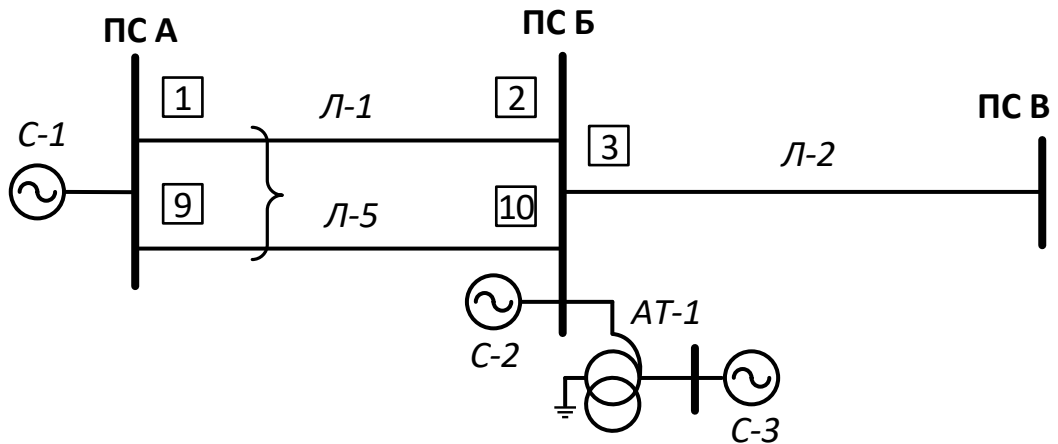
5.3.4.10. Решение о направленности четвертой ступени ТЗНП защиты 1 принимается с учетом обеспечения требований чувствительности и селективности в соответствии с рекомендациями раздела 4. Указания по расчету и выбору параметров настройки РНМ приведены в разделе 4.

5.3.4.11. Расчет и выбор параметров настройки четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее ненаправленной производится по всем расчетным условиям, указанным в строках 4.1–4.8 таблицы 5.1, при этом расчеты по условиям отстройки и согласования производятся с защитами смежных присоединений с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1.

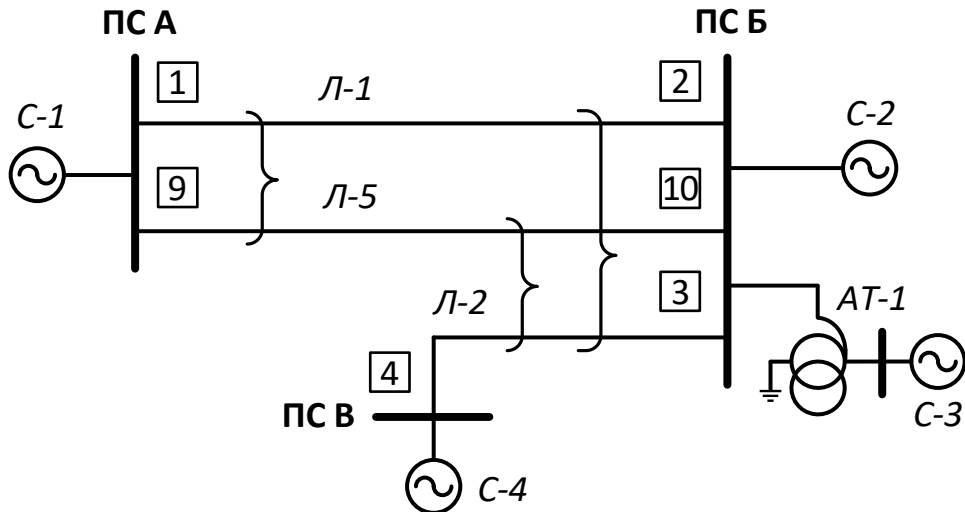
5.3.4.12. При выполнении четвертой ступени ТЗНП защиты 1 ненаправленной рекомендуется выполнить проверку чувствительности при КЗ на землю в зоне защит смежных присоединений, отходящих от шин ПС А (дальнее резервирование).



г)



д)



е)

Рисунок 6.1. Примеры типовых схем участков сети параллельных ЛЭП с двусторонним питанием

Приведенные примеры конфигураций электрической сети применимы также для параллельных ЛЭП с двусторонним питанием, отходящих от шин электрических станций.

6.2. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

6.2.1. Общие указания по расчету четырехступенчатой ТЗНП параллельных ЛЭП соответствуют общим указаниям по расчету ТЗНП одиночной ЛЭП с двусторонним питанием, приведенным в пункте 5.2.1.

Дополнительно при расчете и выборе параметров настройки ТЗНП параллельных ЛЭП следует учитывать особенности конфигурации сети и влияние взаимоиндукции между параллельными ЛЭП на распределение токов нулевой последовательности при КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП и на смежных участках сети.

С целью учета влияния взаимоиндукции следует рассматривать:

- ремонтные схемы сети при работе одной из параллельных ЛЭП с отключением и заземлением с двух сторон второй параллельной ЛЭП;
- ремонтные схемы сети с отключением и заземлением с двух сторон других ЛЭП, имеющих взаимоиндукцию с рассматриваемыми параллельными ЛЭП;
- ремонтные схемы сети при наличии на параллельных ЛЭП проходных ПС со схемой «мостик» с трансформаторами с заземленными нейтралью (рисунок 6.1 «б») и поочередным отключением и заземлением с двух сторон ЛЭП, отходящих от проходных ПС.

При расчете и выборе параметров настройки ТЗНП параллельных ЛЭП следует учитывать:

- особенности распределения тока нулевой последовательности в неповрежденной параллельной ЛЭП из-за влияния взаимоиндукции при каскадном отключении КЗ на землю на второй параллельной ЛЭП со стороны ПС, где установлена рассматриваемая защита;
- особенности распределения токов нулевой последовательности при КЗ на землю на смежном участке сети, состоящем из двух параллельных ЛЭП.

Расчет параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП параллельных ЛЭП в схемах сети, отличающихся от типовых схем рисунка 6.1 (при наличии более двух параллельных ЛЭП, связанных взаимоиндукцией, или в случае, когда ЛЭП, связанные взаимоиндукцией, на одном или обоих концах не имеют общей точки), производится исходя из указаний по расчету четырехступенчатой ТЗНП для случая двух параллельных ЛЭП.

6.2.2. Перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки ТЗНП

В таблице 6.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1, установленной со стороны ПС А, для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 6.1). Дополнительные указания по расчету параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП приведены в разделе 9.

Таблица 6.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки ТЗНП

№ п/п	Схема	Расчетные условия
1	1 степень защиты	
1.1	а, б, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б
1.2	а, б, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (для ненаправленной ступени)
1.3	а, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
1.4	б	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-6 со стороны ПС А
1.5	б	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д
1.6	е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю в конце участка сближения со смежной ЛЭП Л-2
1.7	а, б, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в кратковременном неполнофазном режиме при одновременном включении фаз выключателя ЛЭП Л-1, замыкающего ЛЭП в транзит
1.8	а, б, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1
1.9	а, б, в, г, д, е	Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенным к ней ненагруженным АТ (Т с заземленной нейтралью)
1.10	а, б, в, г, д, е	Проверка чувствительности при КЗ на землю в начале ЛЭП Л-1
1.11	а, б, в, г, д, е	Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых 1 ступенями ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1
2	2 степень защиты	
2.1	а, б, д, е	Согласование с 1 (2) ступенью ТЗНП защиты 3

№ п/п	Схема	Расчетные условия
2.2	в, г	Согласование с 1 (2) ступенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
2.3	а, в, г, д, е	Согласование с 1 (2) ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
2.4	б	Согласование с 1 (2) ступенью ТЗНП защиты 12 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-6 со стороны ПС А
2.5	б	Согласование с 1 (2) ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д
2.6	в	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В
2.7	г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Г
2.8	а, б, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1 ПС Б
2.9	а, б, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и на смежных ЛЭП, а также в длительном неполнофазном режиме на смежных ЛЭП
2.10	а, б, в, г, д, е	Проверка чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1
2.11	а, б, в, г, д, е	Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых 2 ступенью ТЗНП защиты 1 и 1 ступенью ТЗНП защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП Л-1
3	3 ступень защиты	
3.1	а, б, в, г, д, е	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1
3.2	а, б, д, е	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 3
3.3	в	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
3.4	г	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 3(7) и защиты 5
3.5	а, в, г, д, е	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
3.6	б	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 12 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-6 со стороны ПС А
3.7	б	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д

№ п/п	Схема	Расчетные условия
3.8	а, б, в, г, д, е	Согласование с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
3.9	а, б, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и на смежных ЛЭП
3.10	а, б, в, г, д, е	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазном КЗ на шинах смежного напряжении АТ (Т) ПС А и ПС Б
3.11	а, б, в, г, д, е	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме
4	4 степень защиты	
4.1	а, б, в, г, д, е	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования
4.2	а, б, д, е	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 3
4.3	в	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
4.4	г	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 3(7) и защиты 5
4.5	а, в, г, д, е	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
4.6	б	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 12 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-6 со стороны ПС А
4.7	б	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д
4.8	а, б, в, г, д, е	Согласование с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
4.9	а, б, в, г, д, е	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенных смежных ЛЭП
4.10	а, б, в, г, д, е	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
4.11	а, б, в, г, д, е	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы

Примечание. Под сокращением «ПС» следует также понимать и электростанции.

6.3. Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП

6.3.1. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ТЗНП

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ТЗНП, – обеспечение селективного отключения КЗ на землю на защищаемой ЛЭП.

6.3.1.1. Первая ступень ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 для типовых конфигураций электрической сети (рисунок 6.1 («а» – «е»)) выполняется без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени.

6.3.1.2. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б (строка 1.1, таблица 6.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.2 в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон (К-1, рисунок 6.2 «а»). Для схемы рисунка 6.1 «б» следует дополнительно учитывать наличие Т с заземленными нейтральными на ПС Д и ремонтные схемы с поочередным отключением и заземлением с двух сторон ЛЭП Л-5 и Л-6 (К-1, рисунок 6.2 «б»).

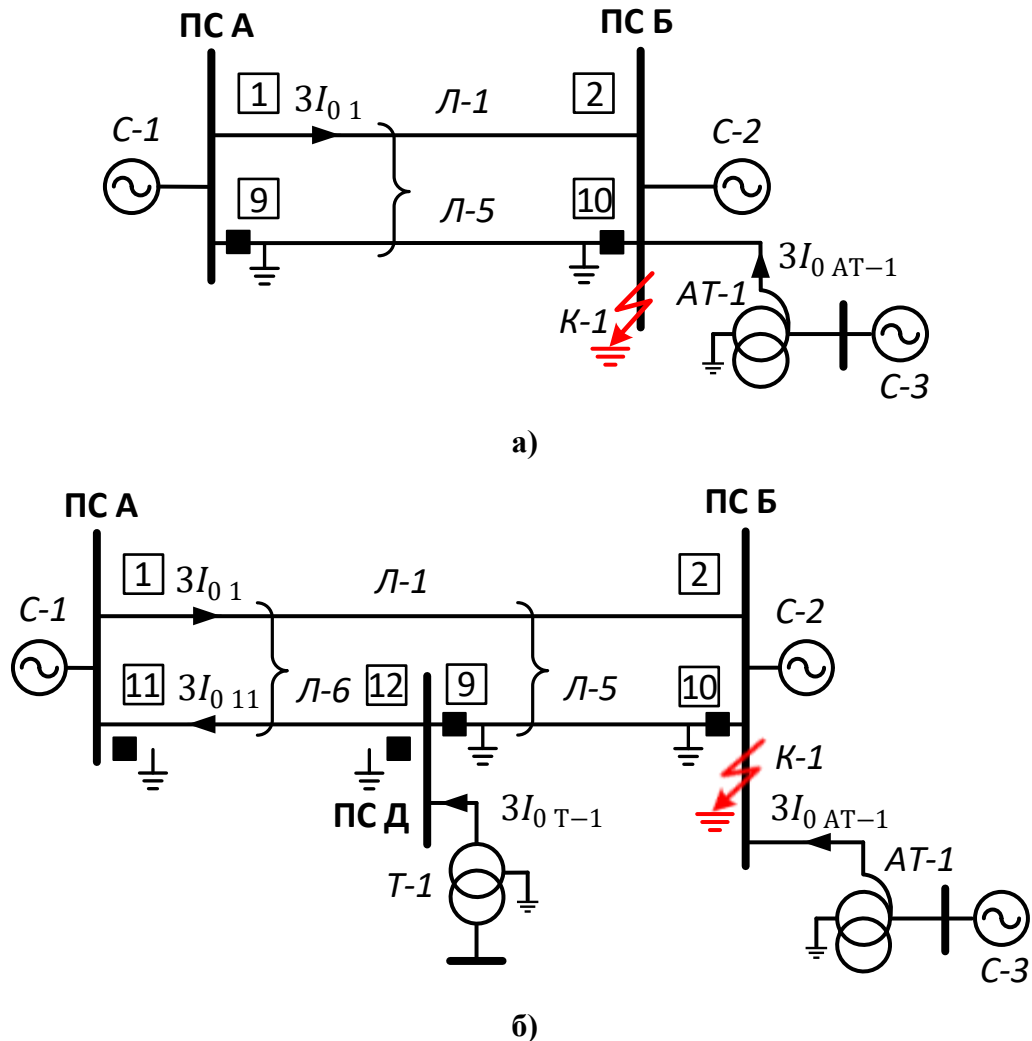


Рисунок 6.2. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б

6.3.1.3. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 («а», «в» – «е») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (строка 1.2, таблица 6.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.3, в режиме, когда ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон (К-2, рисунок 6.3 «а»). Для схемы рисунка 6.1 «б» следует дополнительно учитывать наличие Т с заземленными нейтралями на ПС Д и ремонтные схемы с поочередным отключением и заземлением с двух сторон ЛЭП Л-5 и Л-6 (К-2, рисунок 6.3 «б»).

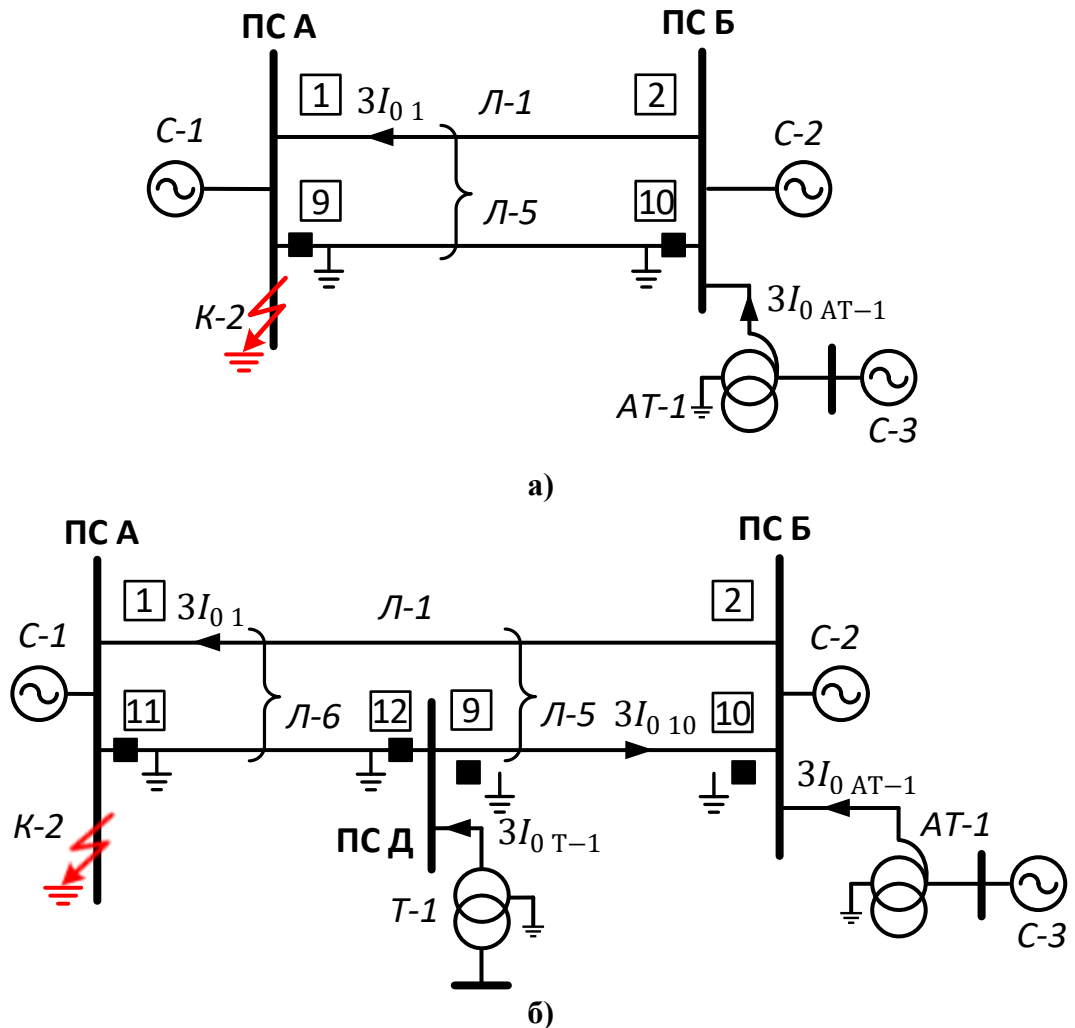


Рисунок 6.3. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А

Если данное расчетное условие приводит к значительному снижению чувствительности или потере эффективности, рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП защиты 1 прямонаправленной.

6.3.1.4. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 («а», «в» – «е») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на ЛЭП Л-5 со стороны ПС А (строка 1.3, таблица 6.1) производится

по выражению (5.1), в котором в качестве $3I_{01\text{макс}}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном КЗ на землю в расчетной точке (К-3, рисунок 6.4).

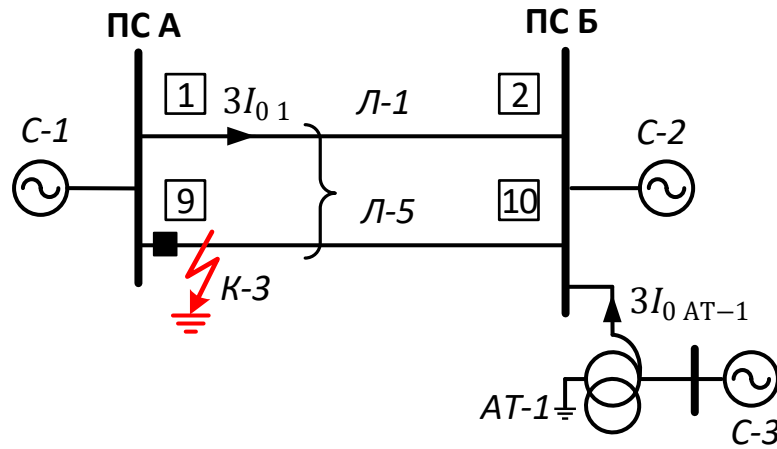
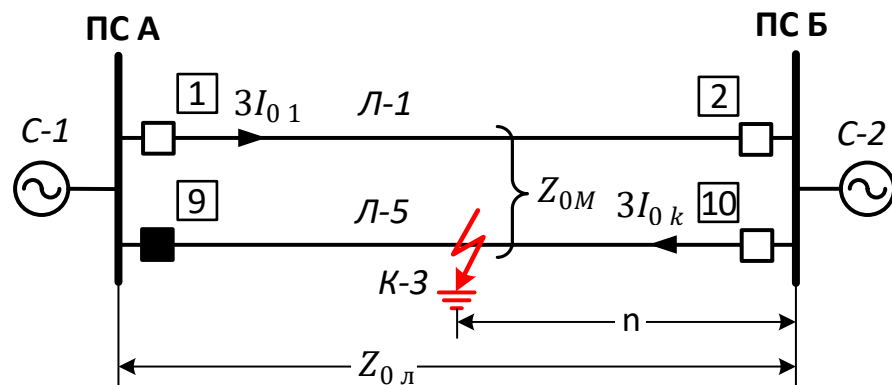
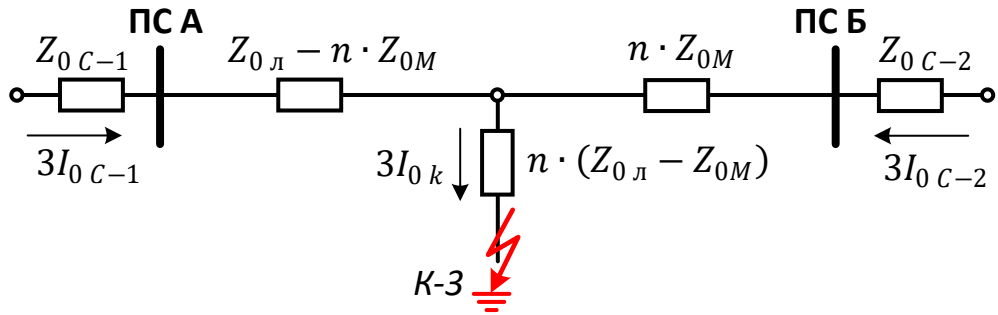


Рисунок 6.4. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А

При каскадном отключении КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП (рисунок 6.5 «а») из-за влияния взаимной индукции ток $3I_{01}$ в неповрежденной ЛЭП может как уменьшаться, так и возрастать по мере перемещения места повреждения к отключенному концу параллельной ЛЭП. Характер изменения тока $3I_{01}$ в неповрежденной ЛЭП определяется соотношением между эквивалентными сопротивлениями нулевой последовательности примыкающих энергосистем и сопротивлением взаимной индукции между параллельными ЛЭП.



а) схема сети



б) схема замещения нулевой последовательности

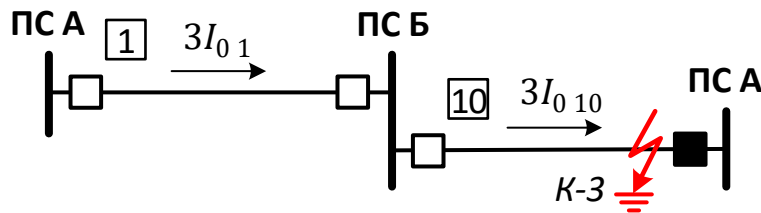
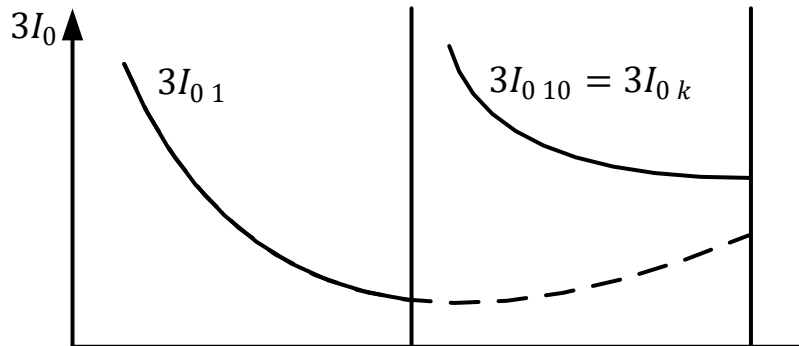
в) пример изменения токов $3I_0$ в неповрежденной и поврежденной ЛЭП

Рисунок 6.5. Каскадное отключение КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП

Утроенный ток нулевой последовательности $3I_{01}$ в неповрежденной ЛЭП определяется из схемы замещения нулевой последовательности (рисунок 6.5 «б»)) по выражению:

$$3I_{01} = k_T \cdot 3I_{0k} = \frac{n \cdot Z_{0M} + Z_{0C-2}}{Z_{0C-1} + Z_{0Л} + Z_{0C-2}} \cdot 3I_{0k}, \quad (6.1)$$

где $3I_{0k}$ — утроенный ток нулевой последовательности в поврежденной параллельной ЛЭП;

k_T — коэффициент токораспределения, равный отношению утроенных токов нулевой последовательности в неповрежденной и поврежденной параллельных ЛЭП;

n — относительная длина участка ЛЭП до места повреждения;

$Z_{0Л}$ — сопротивление нулевой последовательности ЛЭП;

Z_{0M} — сопротивление взаимной индукции между параллельными ЛЭП;

Z_{0C-1}, Z_{0C-2} — сопротивления нулевой последовательности примыкающих энергосистем.

По мере удаления места КЗ от шин ПС Б ток $3I_{0k}$ в поврежденной параллельной ЛЭП уменьшается, а коэффициент токораспределения возрастает (увеличивается относительная длина поврежденного участка ЛЭП). При значительной величине сопротивления взаимоиндукции Z_{0M} и относительно малой величине сопротивления системы Z_{0C-2} увеличение коэффициента токораспределения может преобладать над уменьшением тока $3I_{0k}$, вследствие чего ток $3I_{01}$ в неповрежденной ЛЭП будет возрастать (рисунок 6.5 «в»).

Расчетная точка К-3, где ток $3I_{01}$ принимает максимальное значение, в общем случае находится путем перемещения точки КЗ вдоль всей ЛЭП Л-5.

6.3.1.5. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схемы рисунка 6.1 «б» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на ЛЭП Л-6 со стороны ПС А (строка 1.4, таблица 6.1) производится по выражению (5.1), в котором в качестве $3I_{01\text{макс}}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном КЗ на землю в расчетной точке (К-4, рисунок 6.6), с учетом наличия Т с заземленными нейтралями на ПС Д.

Расчетная точка К-4, где ток $3I_{01}$ принимает максимальное значение, в общем случае находится путем перемещения точки КЗ вдоль всей ЛЭП Л-6.

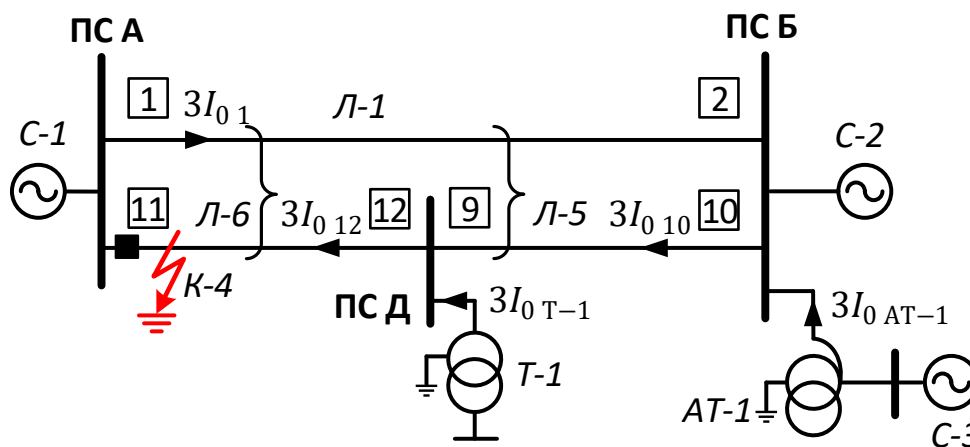


Рисунок 6.6. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-6 со стороны ПС А

6.3.1.6. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 «б» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д (строка 1.5, таблица 6.1) производится по выражению (5.1), в котором в качестве $3I_{01\text{макс}}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном КЗ на землю в расчетной точке (К-5, рисунок 6.7) с учетом наличия Т с заземленными нейтралями на ПС Д.

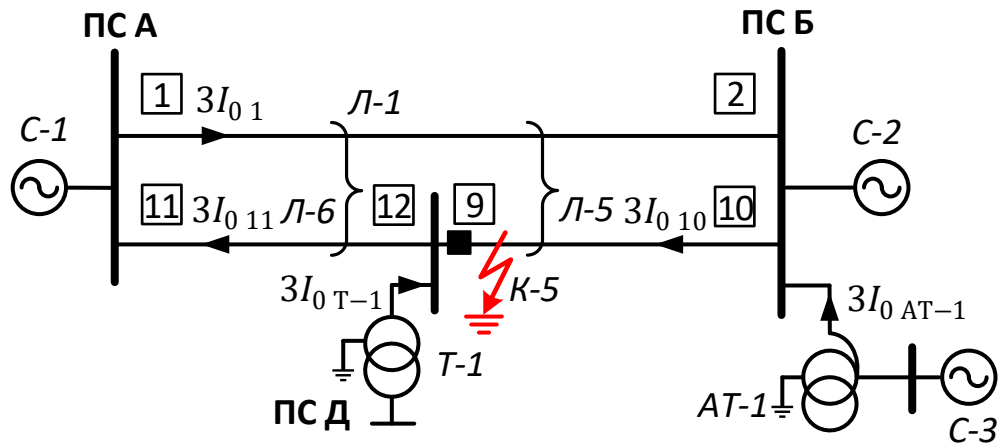


Рисунок 6.7. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д

Расчетная точка К-5, где ток $3I_{01}$ принимает максимальное значение, в общем случае находится путем перемещения точки КЗ вдоль всей ЛЭП Л-5.

6.3.1.7. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схемы рисунка 6.1 «е» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю вдоль смежных ЛЭП, имеющих участки взаимной индукции с ЛЭП Л-1 и Л-5 (строка 1.6, таблица 6.1), производится по выражению (5.1), в котором в качестве $3I_{01\text{макс}}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетной точке (К-6, рисунок 6.8) в режиме, когда ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон.

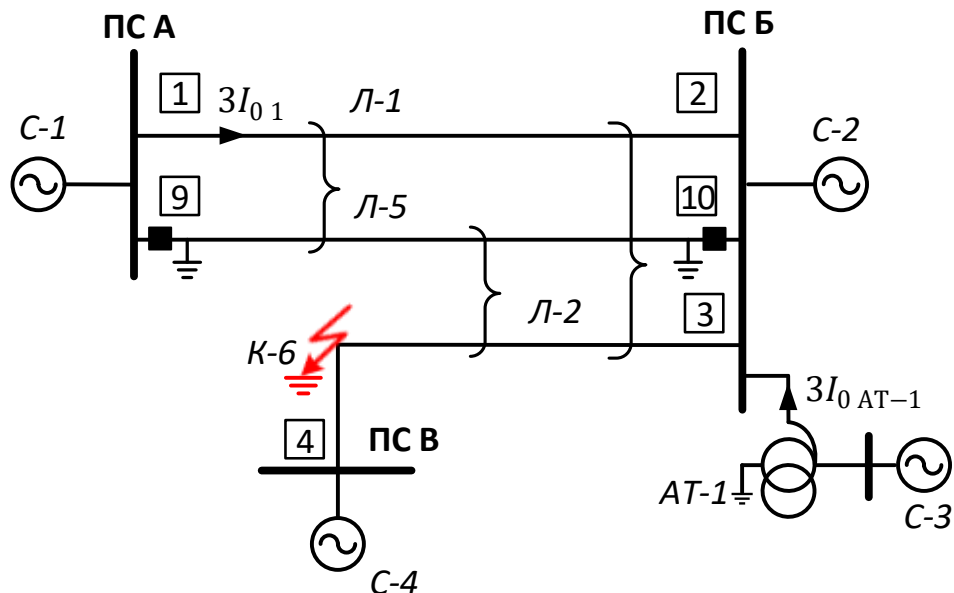


Рисунок 6.8. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю в конце участка взаимной индукции со смежной ЛЭП

Расчетная точка К-6 в общем случае находится путем перемещения точки КЗ вдоль ЛЭП Л-2 от ПС Б до конца участка взаимоиндукции с ЛЭП Л-1 и Л-5.

При выборе тока срабатывания $3I_{0уст1}^I$ по данному условию требуется учитывать режим каскадного отключения КЗ со стороны ПС В или включение ЛЭП Л-2 со стороны ПС Б от устройства АПВ на устойчивое КЗ.

6.3.1.8. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в кратковременном неполнофазном режиме, возникающем при неодновременном включении фаз выключателя (строка 1.7, таблица 6.1), производится по выражению (5.4) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.5.

6.3.1.9. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0ОАПВ}$ в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 (строка 1.8, таблица 6.1) производится по выражению (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.6.

6.3.1.10. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от БТН АТ (Т с заземленной нейтралью) (строка 1.9, таблица 6.1) производится согласно указаниям приложения Б, если возможен режим включения ненагруженного АТ (Т с заземленной нейтралью) под напряжение через ЛЭП Л-1.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности или потере эффективности ступени, рекомендуется использовать блокировку от БТН (при наличии технической возможности в устройстве РЗ).

6.3.1.11. Проверка чувствительности (эффективности) первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 (строка 1.10, таблица 6.1) производится по выражению (5.8) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.8.

6.3.1.12. Если принятая уставка тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 $3I_{0уст1}^I$ удовлетворяет всем требованиям отстройки согласно пунктам 6.3.1.2–6.3.1.10 и обеспечивается ее эффективность, ступень выполняется ненаправленной, без выдержки времени и не блокируется в цикле ОАПВ.

6.3.1.13. Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых первыми ступенями ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1 (строка 1.11, таблица 6.1), для схем рисунка 6.1 производится в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.10.

6.3.2. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП

Требования, предъявляемые ко второй ступени ТЗНП, – обеспечение отключения КЗ на землю на большей части защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с ТЗНП смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие второй ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

6.3.2.1. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 («а», «б», «д», «е») по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 2.1, таблица 6.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.1 в режиме, когда ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон (К-7, рисунок 6.9). Для схемы рисунка 6.1 «б» следует дополнительно учитывать наличие Т с заземленными нейтралями на ПС Д и ремонтные схемы с поочередным отключением и заземлением с двух сторон ЛЭП Л-5 и Л-6.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовать вторую ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени не с первой, а со второй или третьей ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2.

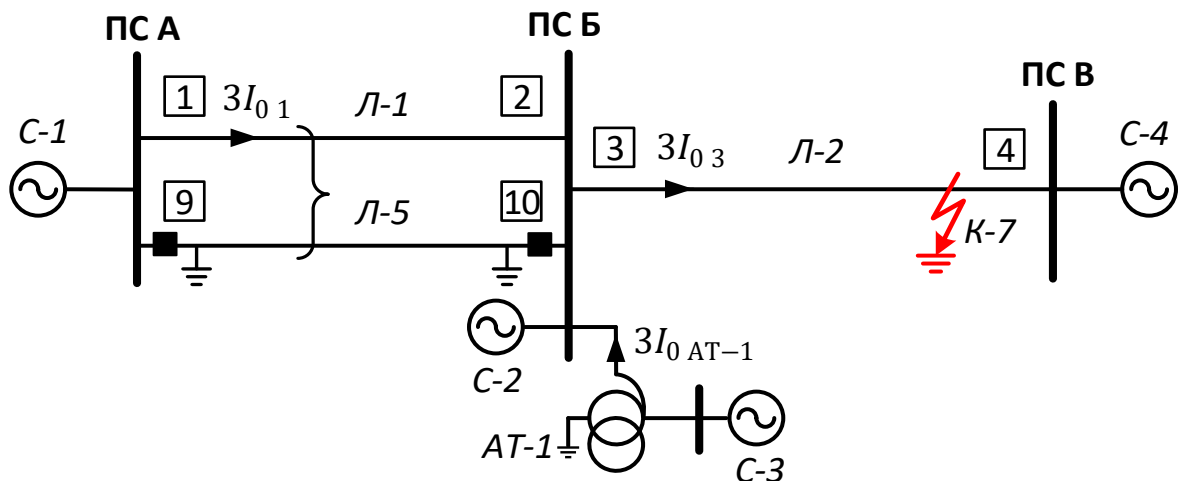


Рисунок 6.9. Определение тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 при КЗ на землю на ЛЭП Л-2

6.3.2.2. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1, («в», «г») по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 2.2, таблица 6.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.2 в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон (К-8, рисунок 6.10).

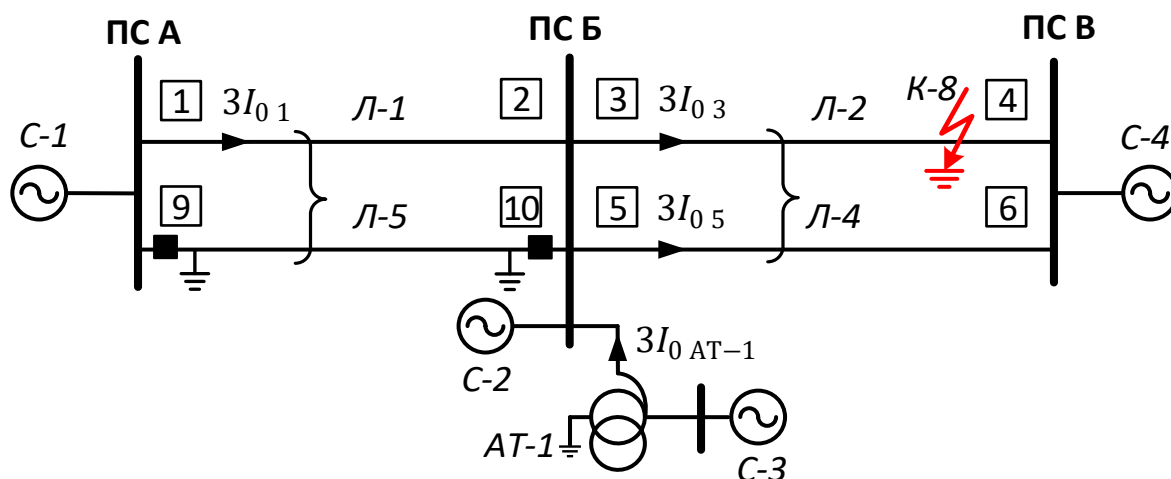


Рисунок 6.10. Определение тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 при КЗ на землю на ЛЭП Л-2 (Л-4)

Режим работы обеих параллельных ЛЭП Л-2 и Л-4 на смежном участке сети может оказаться расчетным, если при КЗ на землю в конце зоны первой ступени ТЗНП защиты 3(5) ток нулевой последовательности в ЛЭП Л-4 (Л-2) направлен от шин ПС Б в линию.

6.3.2.3. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 («а», «в» – «е») по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 2.3, таблица 6.1) производится при каскадном отключении однофазного КЗ на землю со стороны ПС А с учетом характера изменения тока $3I_{01}$ в рассматриваемой ЛЭП Л-1, а также в зависимости от зоны охвата ступени ТЗНП, с которой ведется согласование.

1) Если в режиме каскадного отключения повреждения первая ступень ТЗНП защиты 10 охватывает ЛЭП Л-5 с коэффициентом чувствительности не менее 1,3 (рисунок 6.11 («а», «б»)), расчет тока срабатывания $3I_{0уст1}^{II}$ второй ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 производится по выражению:

$$3I_{0уст1}^{II} \geq k_{отс} \cdot k_T \cdot 3I_{0уст10}^I, \quad (6.2)$$

где $3I_{0уст10}^I$ – ток срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 10;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.2;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению утроенных токов нулевой последовательности в месте установки защиты 1 и защиты 10 при каскадном отключении однофазного КЗ на землю на ЛЭП Л-5 со стороны ПС А:

$$k_T = \frac{3I_{01}}{3I_{010}}. \quad (6.3)$$

Расчетным является значение k_T в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наибольший ток срабатывания согласно (6.2).

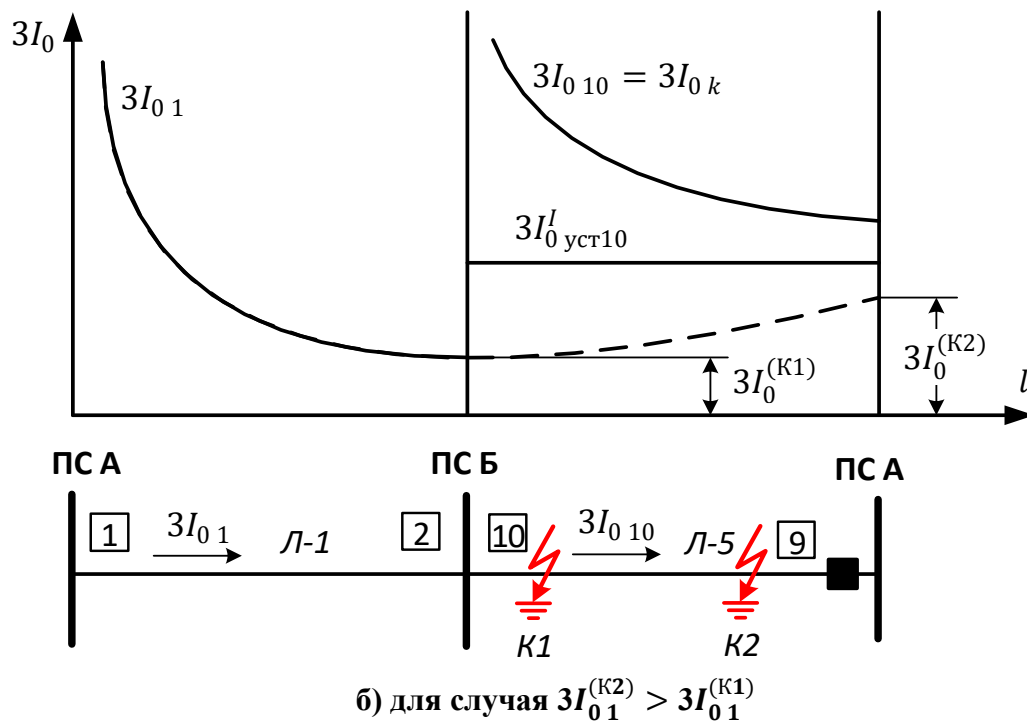
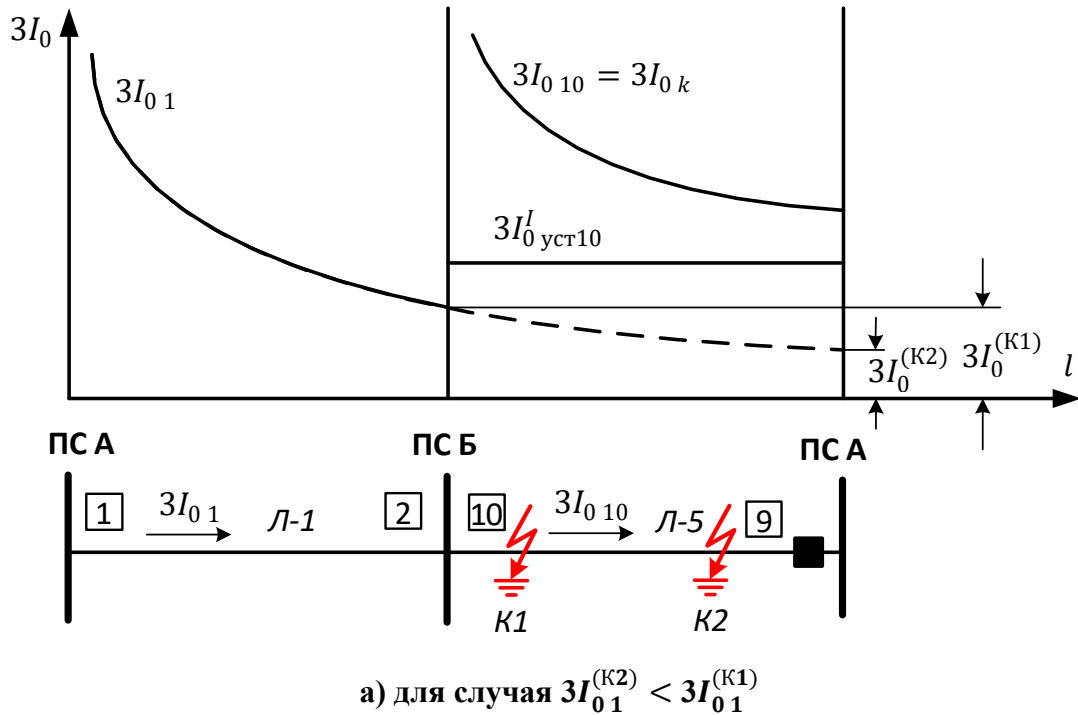


Рисунок 6.11. Изменение токов $3I_0$ параллельных ЛЭП при каскадном отключении КЗ на землю при полном охвате ЛЭП Л-5 защитой 10

2) Если в режиме каскадного отключения повреждения со стороны ПС А первая ступень ТЗНП защиты 10 охватывает только часть ЛЭП Л-5 (рисунок 6.12 («а», «б»)), а ток $3I_{01}$ через защиту 1 при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-5 больше, чем при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступенью ТЗНП защиты 10 ($3I_{01}^{(K2)} > 3I_{0\text{ расч}1}$), расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 производится по выражению:

Методические указания по расчету и выбору параметров настройки резервных токовых защит линий электропередачи 110 кВ и выше

$$3I_{0уст1}^{II} \geq k_{отс} \cdot 3I_{01}, \quad (6.4)$$

где $3I_{01}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при каскадном отключении однофазного КЗ на землю в конце ЛЭП Л-5 со стороны ПС А;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.3.

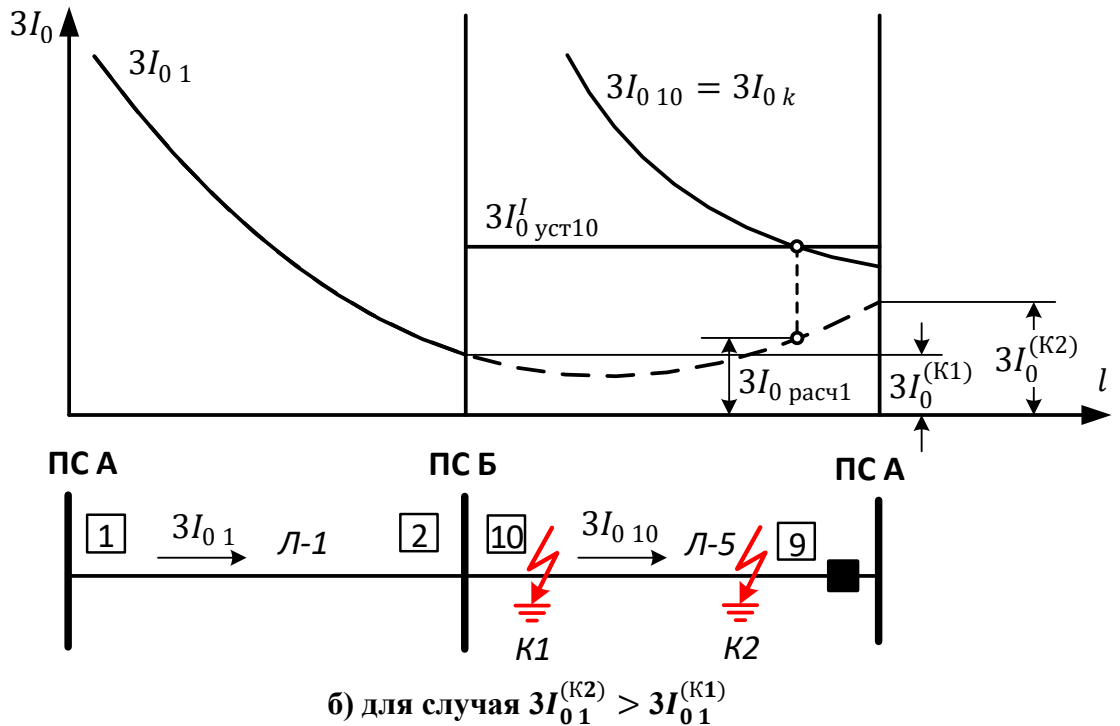
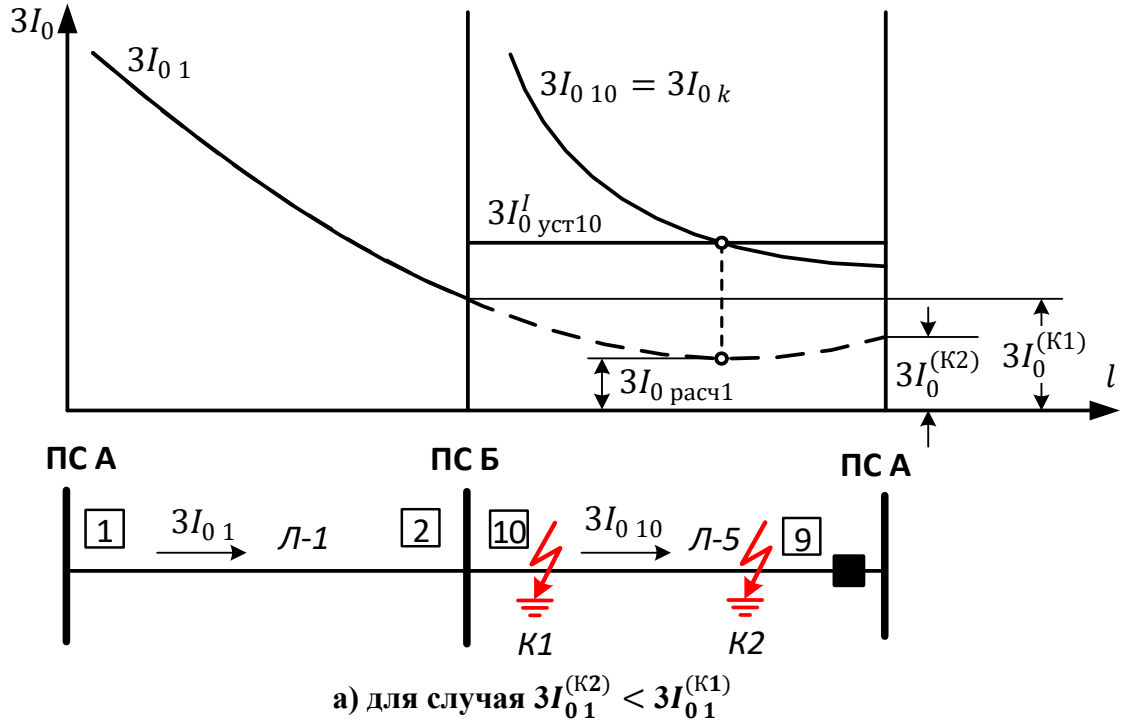


Рисунок 6.12. Изменение токов $3I_0$ параллельных ЛЭП при каскадном отключении КЗ на землю при неполном охвате ЛЭП Л-5 защитой 10

3) Если в режиме каскадного отключения повреждения со стороны ПС А первая ступень ТЗНП защиты 10 охватывает только часть ЛЭП Л-5 (рисунок 6.13), а ток $3I_{01}$ через защиту 1 при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-5 меньше, чем при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступенью ТЗНП защиты 10 ($3I_{01}^{(K2)} < 3I_{0 \text{ расч}1}$), расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 производится по выражению (6.4), где $3I_{01}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступенью защиты 10 ЛЭП Л-5 и $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.2.

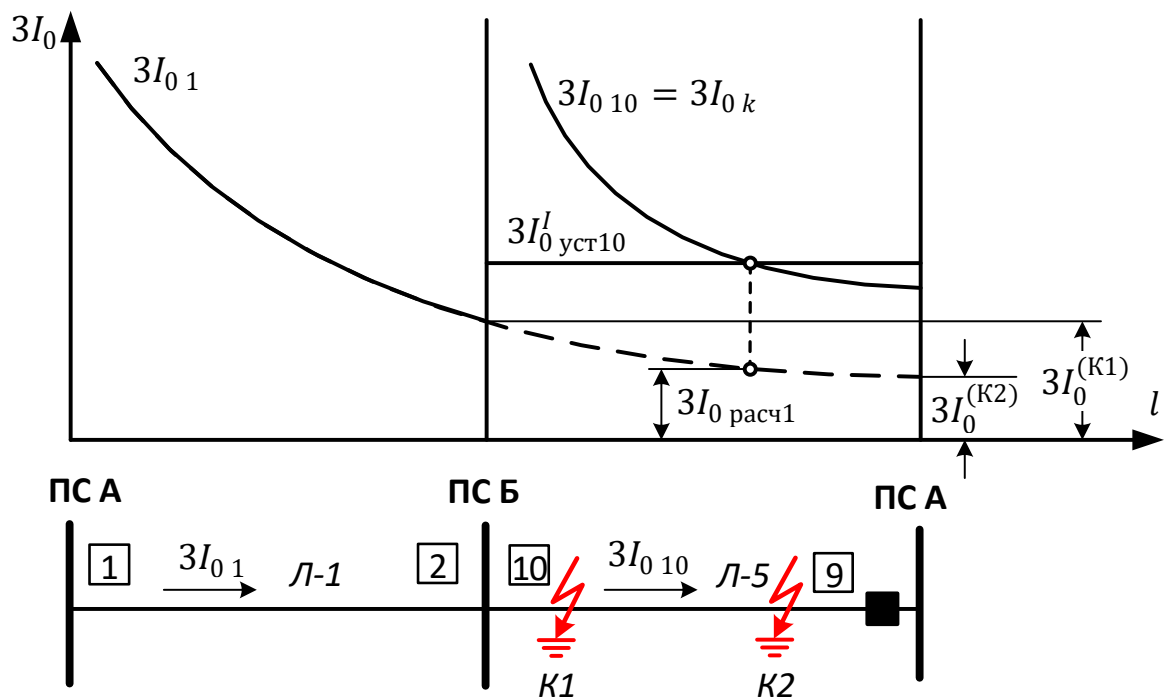


Рисунок 6.13. Изменение токов $3I_0$ параллельных ЛЭП при каскадном отключении КЗ на землю при неполном охвате ЛЭП Л-5 защитой 10 для случаев $3I_{01}^{(K2)} < 3I_{01}^{(K1)}$ и $3I_{01}^{(K2)} < 3I_{0 \text{ расч}1}$

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовать вторую ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5.

6.3.2.4. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 («а», «в» – «е») по условию согласования со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 может привести к неудовлетворительной чувствительности или увеличению времени действия ступени. Снижение выдержки времени и повышение чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 может быть достигнуто применением ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты 2 параллельной ЛЭП Л-1 с контролем срабатывания блокирующего РНМ нулевой последовательности (далее – ускорение от защиты параллельной

ЛЭП). В этом случае вторая ступень ТЗНП защиты 1 согласовывается по току срабатывания с третьей ступенью ТЗНП защиты 10 и временем ускорения от защиты параллельной ЛЭП с учетом режимов работы параллельных ЛЭП.

Условия применения данного вида ускорения ступени ТЗНП от защиты параллельной ЛЭП и дополнительные указания по расчету и выбору параметров настройки ускоряемой ступени ТЗНП приведены в подразделе 9.4 применительно для третьей ступени ТЗНП защиты 10 для схемы рисунка 6.14.

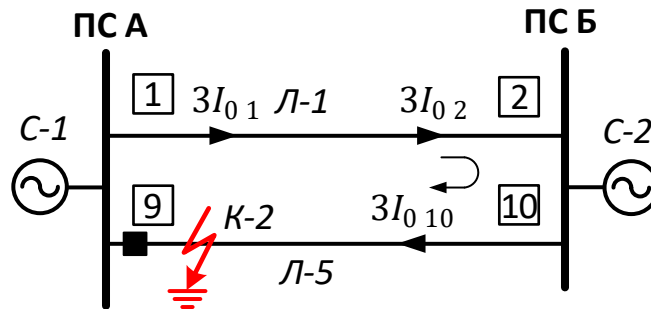


Рисунок 6.14. Условия для реализации ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 с контролем срабатывания блокирующего РНМ защиты 2 ЛЭП Л-1

1) Если первичная схема соединений на ПС А и ПС Б обеспечивает параллельную работу ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-10 в нормальной и ремонтных схемах сети (рассматриваемые ЛЭП с двух сторон зафиксированы одной системой (секцией) шин, на ПС А и ПС Б отсутствуют ШСВ (СВ) или отсутствуют ремонтные схемы, когда нарушается параллельная работа ЛЭП), расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 по условию согласования с третьей ступенью ТЗНП защиты 10 производится по выражению (6.2) при каскадном отключении однофазного КЗ на землю на ЛЭП Л-5 со стороны ПС А (рисунок 6.14).

Выдержка времени второй ступени ТЗНП защиты 1 согласуется с временем ускорения третьей ступени защиты 10 по выражению:

$$T_{уст1}^{II} \geq T_{уск10}^{III} + \Delta T + T_{уров}, \quad (6.5)$$

где $T_{уск10}^{III}$ – время ускорения третьей ступени ТЗНП от защиты параллельной ЛЭП, принимается в соответствии с указаниями подраздела 9.4;

ΔT – ступень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) согласно указаниям пункта 5.3.2.9;

$T_{уров}$ – выдержка времени УРОВ выключателя ЛЭП Л-5 на ПС Б.

Допускается в выражении (6.5) не учитывать время УРОВ при наличии на ЛЭП Л-5 основной быстродействующей защиты.

2) Если ЛЭП Л-1 и Л-5 зафиксированы за разными системами (секциями) шин, то при нарушении режима параллельной работы (например, при отключении ШСВ на ПС А или на ПС Б), создаются условия для неселективной работы ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП Л-1 при внешних КЗ на землю (К-2, рисунок 6.15 («а», «б»)) и излишнее отключение неповрежденной ЛЭП Л-5.

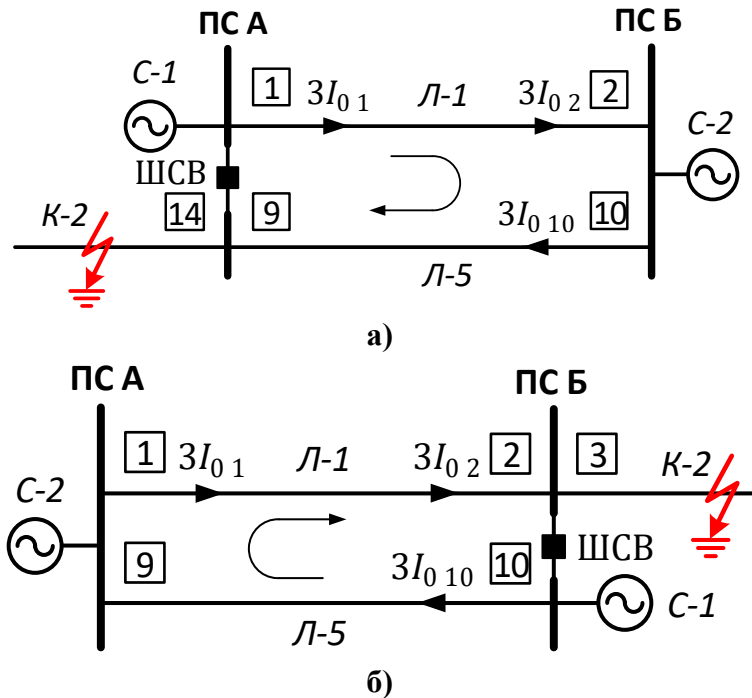


Рисунок 6.15. Условия для неселективной работы ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 при внешних КЗ при нарушении параллельной работы ЛЭП

В этом случае при нарушении режима параллельной работы ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-5 ускорение третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП должно быть выведено или обеспечена селективная работа ускорения при внешних КЗ на землю параметрами настройки ускоряемой ступени ТЗНП.

3) При нарушении режима параллельной работы ЛЭП и автоматическом выводе ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП вторая ступень ТЗНП защиты 1 в рассматриваемом режиме согласовывается по току срабатывания и выдержке времени с первой (второй) ступенями ТЗНП защиты 10 в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

4) Если при нарушении режима параллельной работы ЛЭП ускорение третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП выводится оперативно (например, при отключении ШСВ (СВ) на ПС А) или остается в работе (в случае обеспечения селективной работы ускорения при внешних КЗ на землю), в этом случае вторая ступень ТЗНП защиты 1 в рассматриваемом режиме согласовывается по току срабатывания с ускоряемой третьей ступенью ТЗНП защиты 10. Выдержка времени второй ступени ТЗНП защиты 1 согласовывается с временем ускорения третьей ступени защиты 10 по выражению (6.5).

6.3.2.5. Снижение выдержки времени и повышение чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 может быть достигнуто при наличии на параллельных ЛЭП Л-1 и Л-5 ПДНЗ со стороны ПС Б. В этом случае допускается согласовать время срабатывания

второй ступени ТЗНП защиты 1 с временем действия ПДНЗ. Согласование защит по времени производится с учетом того, что ПДНЗ при КЗ на землю в конце параллельной ЛЭП Л-5 действует только при наличии защиты, обеспечивающей каскадное отключение повреждения со стороны ПС А:

$$T_{уст1}^{II} \geq T_{ПДНЗ} + T_{уст}^N + T_{отк\ выкл} + \Delta T + T_{уров}, \quad (6.6)$$

где $T_{ПДНЗ}$ – выдержка времени ПДНЗ;

$T_{уст}^N, T_{отк\ выкл}$ – выдержка времени защиты и полное время отключения выключателя параллельной ЛЭП Л-5, обеспечивающие каскадное отключение КЗ на землю со стороны ПС А;

ΔT – степень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) согласно указаниям пункта 5.3.2.9;

$T_{уров}$ – выдержка времени УРОВ выключателя ЛЭП Л-5 на ПС Б.

Допускается в выражении (6.6) не учитывать время УРОВ при наличии на ЛЭП Л-5 другой основной быстродействующей защиты.

При нарушении режима параллельной работы ЛЭП Л-1 и Л-5, зафиксированных за разными системами (секциями) шин, например, при отключении ШСВ на ПС А или на ПС Б создаются условия для неселективной работы ПДНЗ при внешних КЗ на землю (рисунок 6.15 («а», «б»)), и защита должна быть выведена из работы.

При нарушении параллельной работы ЛЭП Л-1 и Л-5 и выводе из работы ПДНЗ следует выполнить согласование второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой (второй) ступенью ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

Возможное неселективное действие второй ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 при КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 и отказе ПДНЗ необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

6.3.2.6. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 6.1 «б» по условию согласования с первой (второй) ступенью ТЗНП защиты 12 параллельной ЛЭП Л-6 (строка 2.4, таблица 6.1) производится при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС А (К-4, рисунок 6.6) в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

6.3.2.7. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 6.1 «б» по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 2.5, таблица 6.1) производится при каскадном отключении КЗ на землю ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д (К-5, рисунок 6.7) в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

6.3.2.8. В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовать вторую ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени не с первой, а со второй или третьей

ступенью ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС Д (К-5, рисунок 6.7), а также при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС А (К-4, рисунок 6.6), если ступень ТЗНП, с которой проводится согласование, охватывает всю ЛЭП Л-5.

6.3.2.9. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 «в» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В (строка 2.6, таблица 6.1) производится по выражению (5.14) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.3 в режиме, когда ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон, а параллельные ЛЭП Л-2 и Л-4 на смежном участке сети находятся в работе (К-9, рисунок 6.16).

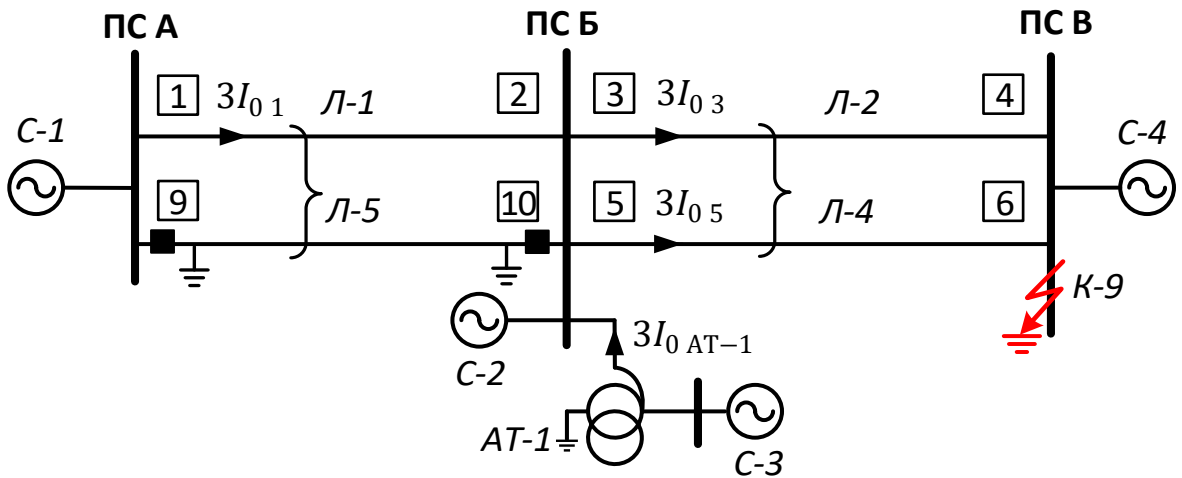


Рисунок 6.16. Определение тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты 1 при КЗ на землю на шинах ПС В

6.3.2.10. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 «г» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Г (строка 2.7, таблица 6.1) производится по выражению (5.14) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.4 в режиме, когда ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон, а ЛЭП Л-2, Л-4 и Л-3 на смежном участке сети находятся в работе (К-10, рисунок 6.17).

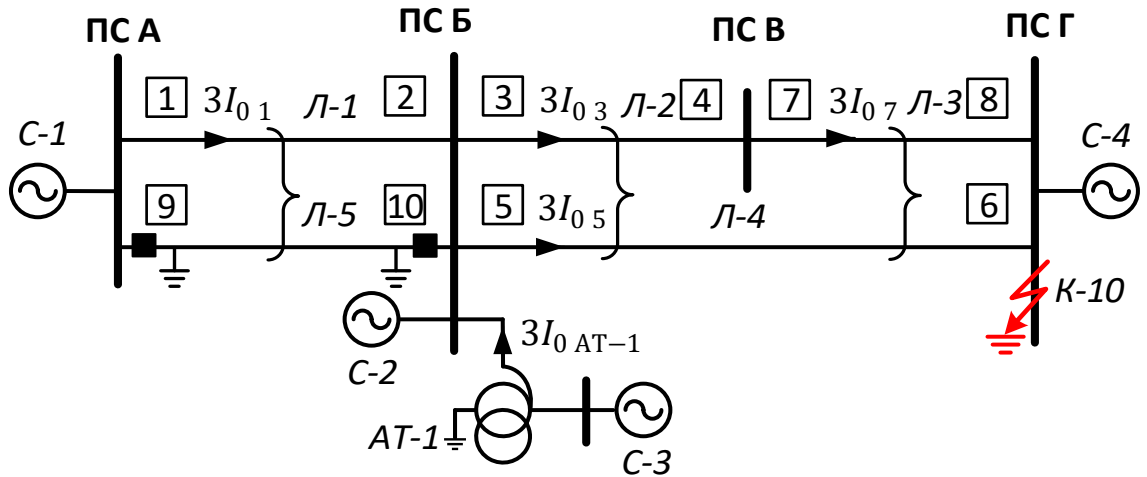


Рисунок 6.17. Определение тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты 1 при КЗ на землю на шинах ПС Г

6.3.2.11. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1 ПС Б (строка 2.8, таблица 6.1), примыкающей к сети с заземленной нейтралью, производится по выражению (5.15) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5 в режиме, когда ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон (К-11, рисунок 6.18).

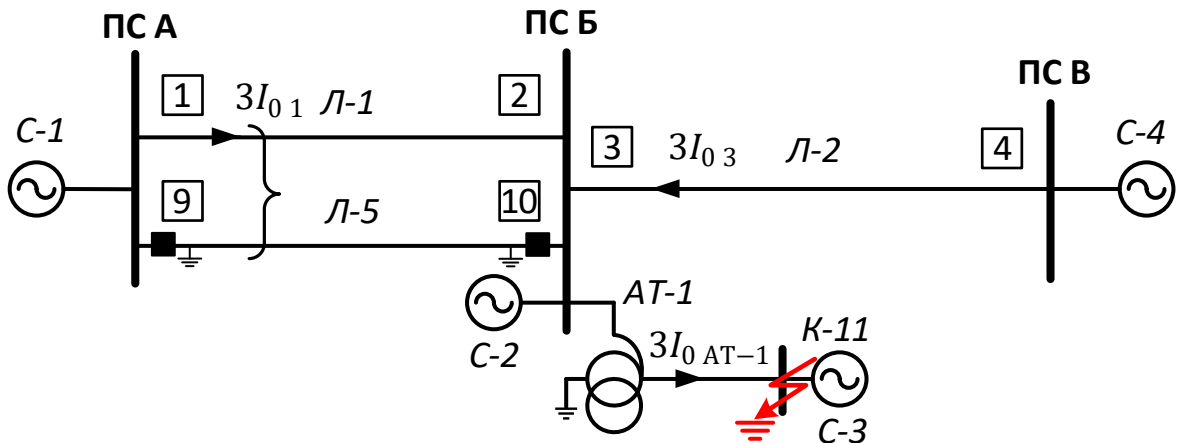


Рисунок 6.18. Определение тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты 1 при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1 ПС Б

6.3.2.12. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП (строка 2.9, таблица 6.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.6, если выдержка времени срабатывания ступени меньше длительности цикла ОАПВ на указанных ЛЭП, а также в случае, если на смежных ЛЭП возможен длительный неполнофазный режим.

6.3.2.13. Проверка чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1 (строка 2.9, таблица 6.1) производится по выражению (5.19) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.7.

6.3.2.14. Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых второй ступенью ТЗНП защиты 1 и первой ступенью ТЗНП защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП Л-1 (строка 2.11, таблица 6.1), для схем рисунка 6.1 производится в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.8.

6.3.2.15. Расчет выдержки времени второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 производится по выражению (5.20) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

6.3.2.16. Для прямонаправленной второй ступени ТЗНП расчет и выбор параметров настройки РНМ производится в соответствии с указаниями раздела 4.

6.3.2.17. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее ненаправленной производится по всем расчетным условиям, указанным в строках 2.1–2.11 таблицы 6.1, при этом расчеты по условиям отстройки и согласования производятся с ТЗНП смежных присоединений с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1.

6.3.3. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ТЗНП

Требования, предъявляемые к третьей ступени ТЗНП, – обеспечение надежного отключения КЗ на землю по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие третьей ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

6.3.3.1. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП Л-1 (строка 3.1, таблица 6.1) производится по выражению (5.23) в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.1.

6.3.3.2. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 («а», «б», «д», «е») по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 3.2, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.1.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2.

6.3.3.3. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 «в» по условию согласования со вторыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 3.3, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.2.

В случае, если ступени ТЗНП защиты 3 и защиты 5, с которыми производится согласование, охватывают соответственно ЛЭП Л-2 и ЛЭП Л-4 с коэффициентом чувствительности менее 1,3 в режиме работы обеих параллельных ЛЭП, необходимо выполнить проверку отстройки тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В в указанном режиме в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.8.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4.

6.3.3.4. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 6.1 «г» по условию согласования со вторыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 3.4, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первыми ступенями ТЗНП

защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.2.

Согласование третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй ступенью ТЗНП защиты 7 ЛЭП Л-3 производится, если ступень ТЗНП защиты 3, с которой производится согласование, охватывает ЛЭП Л-3 с коэффициентом чувствительности менее 1,3 в режиме работы всех трех ЛЭП Л-2, Л-3, Л-4.

В случае если ступени ТЗНП защиты 3 (или защиты 7), с которой производится согласование, охватывает ЛЭП Л-3 с коэффициентом чувствительности менее 1,3, а ступень ТЗНП защиты 5, с которой производится согласование, охватывает ЛЭП Л-4 с коэффициентом чувствительности менее 1,3 в режиме работы всех трех ЛЭП Л-2, Л-3, Л-4, необходимо выполнить проверку отстройки тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Г в указанном режиме в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.9.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 (защиты 7 ЛЭП 3) и защиты 5 ЛЭП Л-4.

6.3.3.5. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 («а», «в» – «е») по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 3.5, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС А в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовать третью ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5.

6.3.3.6. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 («а», «в» – «е») по условию согласования с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 10 может привести к неудовлетворительной чувствительности или значительному увеличению времени действия ступени. Снижение выдержки времени и повышение чувствительности третьей ступени ТЗНП защиты 1 может быть достигнуто применением ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 от защиты параллельной ЛЭП Л-1. В этом случае третья ступень ТЗНП защиты 1 согласуется по току срабатывания с третьей ступенью ТЗНП защиты 10 и временем ускорения от защиты параллельной ЛЭП в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.4 и подраздела 9.4.

6.3.3.7. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 «б» по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 12 (строка 3.6, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП

защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 12 при каскадном отключении КЗ на землю ЛЭП Л-6 со стороны ПС А в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

6.3.3.8. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 «б» по условию согласования со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 10 (строка 3.7, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

6.3.3.9. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 по согласованию с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 3.8, таблица 6.1), производится по выражению (5.16) или (5.17) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5 в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон.

6.3.3.10. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП (строка 3.9, таблица 6.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.6.

Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП приводит к снижению чувствительности третьей ступени ТЗНП, выдержку времени срабатывания ступени следует отстроить от длительности неполнофазного режима цикла ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 или смежных ЛЭП согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

6.3.3.11. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ ПС А и ПС Б (строка 3.10, таблица 6.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.5, если третья ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе, а также в случае, если третья ступень ТЗНП защиты 1 имеет ускорение от защиты параллельной ЛЭП.

6.3.3.12. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме (строка 3.11, таблица 6.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.6.2, если на защищаемой ЛЭП возможны указанные режимы и период качаний превышает выдержку времени срабатывания ступени.

В случае если применяется ускорение третьей ступени ТЗНП защиты 1 от защиты параллельной ЛЭП, данное расчетное условие является обязательным.

6.3.3.13. Выдержка времени третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени ТЗНП смежного элемента, с которой производилось согласование по току срабатывания.

Согласование выдержек времени производится по выражению (5.24) в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.9.

6.3.3.14. В случае если третья ступень ТЗНП защиты 1 обеспечивает надежную защиту всей ЛЭП Л-1, то данная ступень для схем рисунка 6.1 может применяться в качестве ускоряемой ступени.

Дополнительные указания по расчету и выбору параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП приведены в подразделе 9.4.

6.3.3.15. В случае если третья ступень ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 имеет ускорение от защиты параллельной ЛЭП, в дополнение к вышеприведенным расчетным условиям расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 и выдержки времени ускорения производится в соответствии с указаниями подраздела 9.4.

6.3.3.16. Для прямонаправленной третьей ступени ТЗНП расчет и выбор параметров настройки РНМ нулевой последовательности производится в соответствии с указаниями раздела 4.

6.3.4. Расчет и выбор параметров настройки четвертой ступени ТЗНП

Основные требования, предъявляемые к четвертой ступени ТЗНП, – обеспечение резервирования устройств РЗ своей ЛЭП и защит или выключателей смежных сетевых элементов (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие четвертой ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [7] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ТЗНП ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет отдается обеспечению чувствительности.

6.3.4.1. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условиям обеспечения чувствительности к КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования (строка 4.1, таблица 6.1) производится по выражению (5.25) в соответствии с указаниями пункта 5.3.4.1.

6.3.4.2. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 («а», «б», «д», «е») по условию согласования с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 4.2, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 3 в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.1.

6.3.4.3. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 «в» по условию согласования с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 4.3, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени защиты 1 со вторыми (третьими) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями пункта 6.3.3.3.

6.3.4.4. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 6.1 «г» по согласованию с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 (защиты 7 ЛЭП Л-3) и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 4.4, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй (третьей) ступенью защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями пункта 6.3.3.4.

6.3.4.5. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 («а», «в» – «е») по условию согласования с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 (строка 4.5, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1

со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС А в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

6.3.4.6. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 «б» по условию согласования с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 12 параллельной ЛЭП Л-6 (строка 4.6, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 12 при каскадном отключении КЗ на землю ЛЭП Л-6 со стороны ПС А в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

6.3.4.7. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 «б» по условию согласования третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 4.7, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю ЛЭП Л-5 со стороны ПС Д в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

6.3.4.8. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 6.1 по согласованию с ТЗНП АТ-1 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 4.8, таблица 6.1) производится в соответствии с указаниями пункта 6.3.3.9.

6.3.4.9. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по отстройке от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенной смежной ЛЭП (строка 4.9, таблица 6.1) производится по выражению (5.26), если реле тока УРОВ смежной ЛЭП отстроено от емкостного тока односторонне включенной ЛЭП в соответствии с указаниями пункта 5.3.4.6.

6.3.4.10. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ ПС А и ПС Б (строка 4.10, таблица 6.1) производится согласно пункту 3.3.5 в случае, если четвертая ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

6.3.4.11. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы (строка 4.11, таблица 6.1) производится согласно пункту 3.3.6.

6.3.4.12. Выдержка времени четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 6.1 принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени ТЗНП смежного элемента, с которой производилось согласование по току срабатывания.

Согласование выдержек времени производится по выражению (5.26) в соответствии с указаниями пункта 5.3.4.10.

При согласовании четвертой ступени ТЗНП защиты 1 с ТЗНП Т (АТ) согласование выдержек времени производится с учетом наличия нескольких последовательных выдержек времени, с которыми защита Т (АТ) действует на отключение выключателей.

6.3.4.13. Решение о направленности четвертой ступени ТЗНП защиты 1 принимается с учетом обеспечения требований чувствительности и селективности в соответствии с рекомендациями раздела 4. Указания по расчету и выбору параметров настройки РНМ нулевой последовательности приведены в разделе 4.

6.3.4.14. Расчет и выбор параметров настройки четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее ненаправленной производится по всем расчетным условиям, указанным в строках 4.1–4.11 таблицы 6.1, при этом расчеты по условиям отстройки и согласования производятся с защитами ТЗНП смежных присоединений с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1.

При выполнении четвертой ступени ТЗНП защиты 1 ненаправленной рекомендуется выполнить проверку чувствительности при КЗ на землю в зоне дальнего резервирования защит смежных присоединений, отходящих от шин ПС А.

7. Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП ЛЭП с ответвлениями

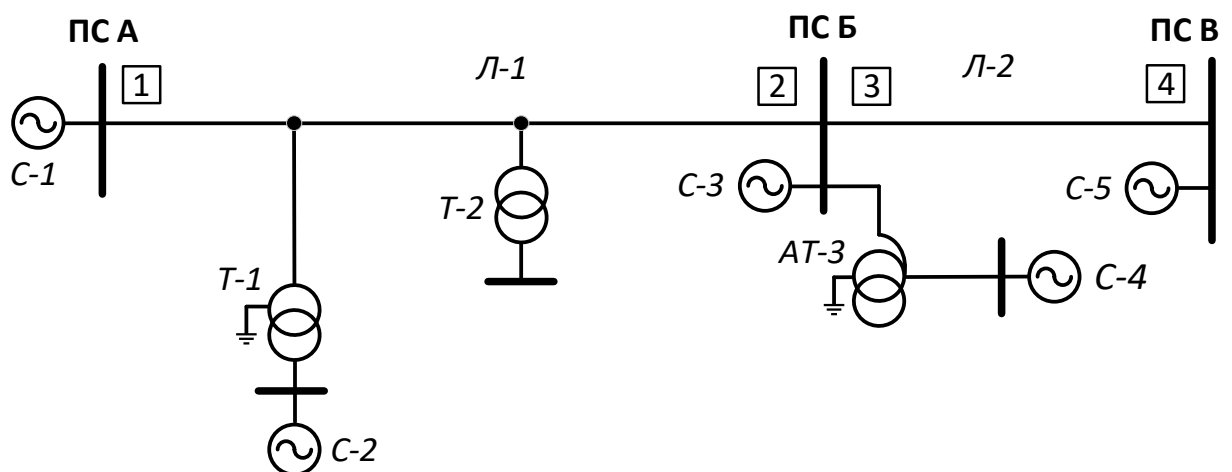
7.1. Типовые схемы участков сети

Указания по расчету и выбору параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП одиночных и параллельных ЛЭП с питанием с двух и более сторон при наличии ответвлений (отпаяк) приводятся для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 7.1).

Типовые схемы электрической сети при наличии на смежных участках ЛЭП с проходными ПС или ЛЭП с односторонним питанием в настоящем разделе не рассматриваются, расчет и выбор параметров настройки ТЗНП ЛЭП с учетом данных схем приведен в разделах 5 и 6 и аналогичен при наличии на ЛЭП ответвлений (отпаяк).

Если со стороны ПС на ответвлениях включены источники питания, мощностью соизмеримые с источниками со стороны основных питающих концов ЛЭП, такая ЛЭП считается ЛЭП с многосторонним питанием и ТЗНП устанавливается на всех питающих концах ЛЭП. В этом случае расчетные условия для выбора параметров настройки ТЗНП ЛЭП, установленной со стороны ПС на ответвлении при любой схеме электрических соединений ПС, за исключением блочной схемы Т (АТ) – линия, аналогичны рассмотренным в настоящем разделе.

При блочной схеме электрических соединений ПС на ответвлении, ТЗНП ЛЭП, как правило, подключается к ТН, установленным на стороне ВН (СН) Т (АТ) блока. В этом случае принципы выполнения и расчетные условия по выбору параметров настройки ТЗНП аналогичны ТЗНП ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия, указания по расчету приведены в разделе 8 настоящих Методических указаний.



а)

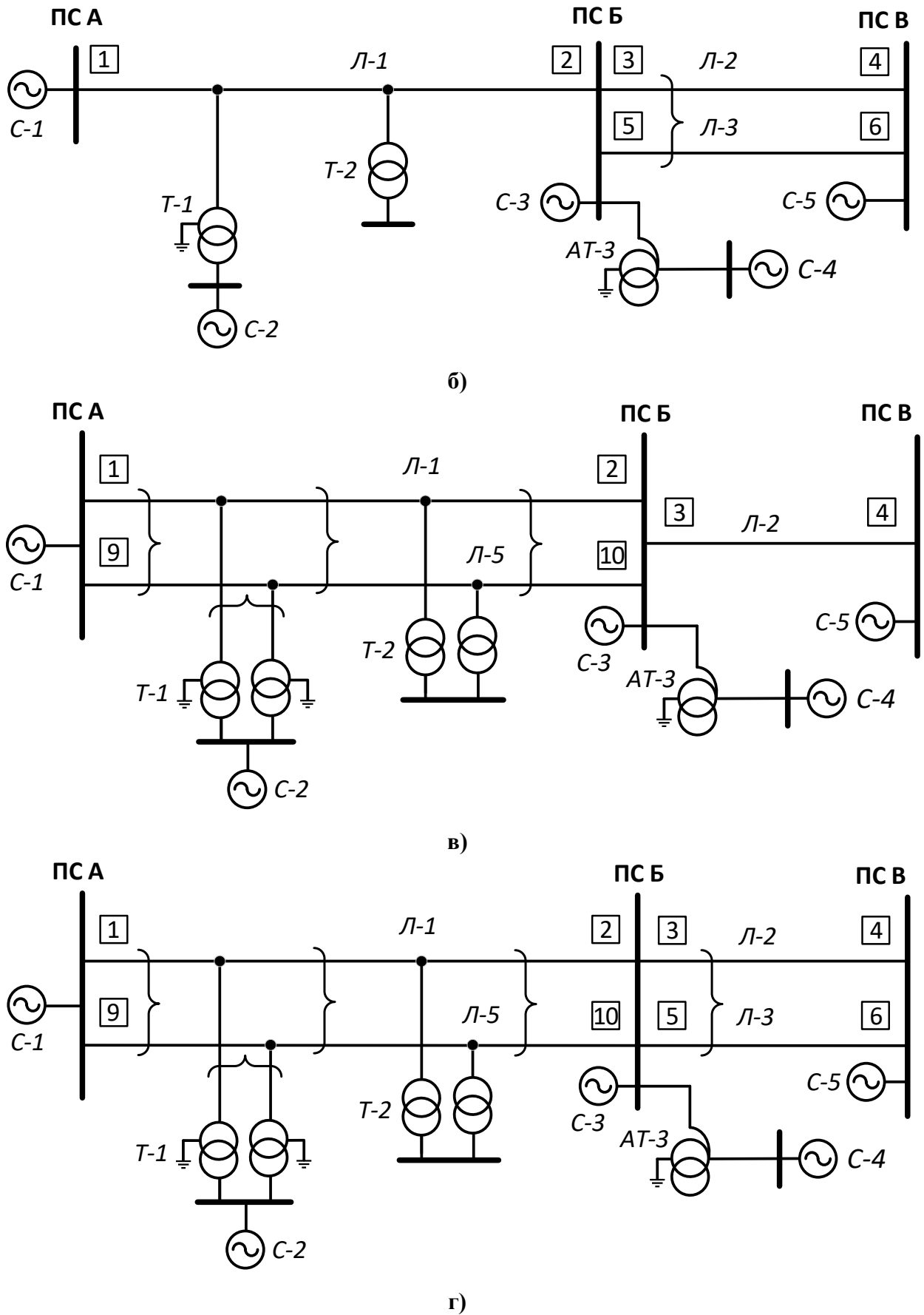


Рисунок 7.1. Примеры типовых схем участков сети с одиночными и параллельными ЛЭП с двусторонним питанием при наличии ответвлений (отпаяк)

Приведенные примеры конфигураций электрической сети применимы также для одиночных и параллельных ЛЭП с ответвлениями, отходящих от шин электрических станций.

К одной питающей ЛЭП могут присоединяться несколько ответвлений. Схемы первичных электрических соединений на ПС ответвлений могут быть как с выключателями на стороне ВН, так и упрощенные, без выключателя и с установкой короткозамыкателя на стороне ВН, который автоматически включается при срабатывании защит Т для искусственного создания КЗ и обеспечения работы устройств РЗ питающей ЛЭП.

Источниками питания со стороны НН (СН) Т на ответвлениях могут быть:

- электрические станции относительно небольшой мощности, питающие местную нагрузку;
- синхронные компенсаторы;
- двигательная нагрузка (мощные синхронные и асинхронные двигатели могут рассматриваться как источники в начальный момент КЗ);
- электрическая сеть, которая связывает питающую ЛЭП и Т на ответвлениях с другими источниками питания энергосистемы;
- малая генерация (газопоршневая электростанция, газотурбинная электростанция, солнечная электростанция, ветровая электростанция) может рассматриваться как источник в начальный момент КЗ в зависимости от удаленности от места КЗ и оснащенности оборудования устройствами РЗ;
- на тяговых ПС на ответвлениях источником питания может являться контактная сеть однофазного переменного тока электрифицированной железной дороги, поскольку на тяговых ПС трансформаторы работают, как правило, параллельно на стороне 27 кВ и связаны со смежными ПС через контактную сеть.

7.2. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

7.2.1. Общие указания по расчету и выбору параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП одиночных и параллельных ЛЭП с питанием с двух и более сторон при наличии ответвлений (отпаек) соответствуют указаниям по расчету ТЗНП одиночной ЛЭП с двусторонним питанием, приведенным в пункте 5.2.1, и указаниям по расчету ТЗНП параллельных ЛЭП с двусторонним питанием, приведенным в пункте 6.2.1.

Дополнительно необходимо учитывать следующие расчетные условия и указания по расчету.

7.2.1.1. Расчет параметров настройки ТЗНП ЛЭП с ответвлениями необходимо производить с учетом особенностей режимов работы ЛЭП с ответвлениями и режимов заземления нейтралей Т на ПС ответвлений.

1) Следует рассматривать реально возможный режим отключения наибольшего числа Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений при выполнении расчетов:

- по условию отстройки при КЗ на землю на шинах ПС Б, примыкающей к противоположному концу защищаемой ЛЭП (К-1, рисунок 7.2);

- по условию отстройки при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-3 ПС Б, примыкающей к противоположному концу защищаемой ЛЭП (К-2, рисунок 7.2);

- по условию отстройки при КЗ на землю на шинах ПС В, примыкающей к участку, смежному с защищаемой ЛЭП, при наличии на смежном участке параллельных ЛЭП (К-3, рисунок 7.2);

- по условию согласования с ТЗНП смежных присоединений, отходящих от шин противоположной ПС Б.

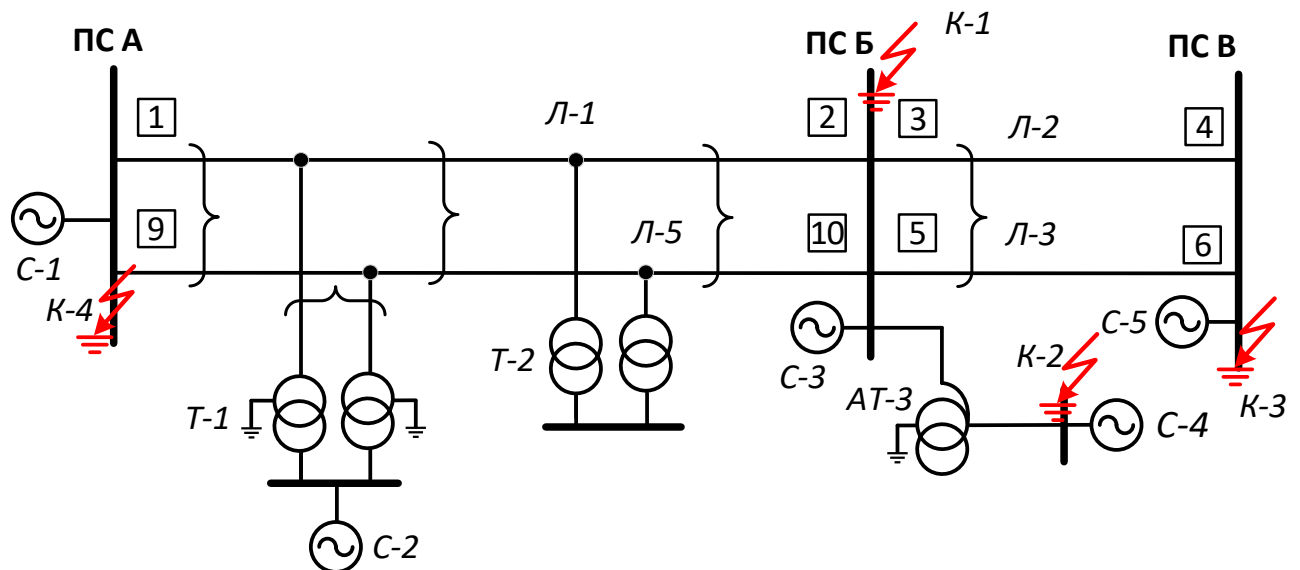


Рисунок 7.2. Особенности расчета параметров настройки ТЗНП ЛЭП при наличии ответвлений

2) Следует учитывать включение максимально возможного числа Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений при выполнении расчетов:

- по условию отстройки при КЗ на землю на шинах ПС А, где установлена рассматриваемая защита (К-4, рисунок 7.2);

- по условию согласования с ТЗНП смежных присоединений, отходящих от шин ПС А, где установлена рассматриваемая защита;

- по условию отстройки от БТН при включении ЛЭП под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными Т с заземленными нейтралями;

- по условию отстройки от кратковременного неполнофазного режима при одновременном включении фаз выключателя, подающего напряжение на защищаемую ЛЭП, и самозапуске двигателей нагрузки, питаемой от Т на ответвлениях.

Для указанных расчетных условий для параллельных ЛЭП с ответвлениями (рисунок 7.1 («в», «г»)) в случае параллельной работы Т на ответвлениях на стороне НН (СН), а также в случае наличия ремонтной перемычки на стороне ВН ПС ответвления, дополнительно следует рассматривать возможный режим, когда параллельная ЛЭП отключена, а подключенные к ней в нормальном режиме Т на ответвлениях, имеющие заземленные нейтрали, переведены на питание от защищаемой ЛЭП.

3) При выполнении расчетов по условию обеспечения чувствительности ТЗНП ЛЭП с ответвлениями следует учитывать:

- включение максимально возможного числа Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений;

- минимальный режим системы со стороны рассматриваемой защиты и максимальный режим системы с противоположной стороны ЛЭП при работе ЛЭП в режиме транзита.

Для указанных расчетных условий для параллельных ЛЭП с ответвлениями (рисунок 7.1 («в», «г»)) в случае параллельной работы Т на ответвлениях на стороне НН (СН), а также в случае наличия ремонтной перемычки на стороне ВН ПС ответвления, дополнительно следует рассматривать возможный режим, когда параллельная ЛЭП отключена, а подключенные к ней в нормальном режиме Т на ответвлениях, имеющие заземленные нейтрали, переведены на питание от защищаемой ЛЭП.

Режим заземления нейтралей Т, присоединенных к ответвлениям от защищаемой ЛЭП, следует принимать по обеспечению возможно большей чувствительности ТЗНП (заземлять нейтрали наименьшего числа Т). При отсутствии питания и раздельной работе Т на ответвлениях на стороне НН (СН) нейтрали Т целесообразно не заземлять, если это допустимо по условиям защиты изоляции нейтрали Т от перенапряжений.

Следует отметить, что параллельная работа Т на ответвлениях на стороне НН (СН) на параллельных ЛЭП является частным случаем, довольно редко применяемым на практике (за исключением тяговых ПС

переменного тока). Далее указания по выбору параметров настройки ТЗНП одиночных и параллельных ЛЭП с питанием с двух и более сторон при наличии ответвлений приводятся для чаще применяемых схем ПС на ответвлениях с раздельной работой систем (секций) шин на стороне НН (СН).

7.2.1.2. Расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП ЛЭП с ответвлениями необходимо производить с учетом различия в токах, протекающих на отдельных участках защищаемой ЛЭП при внешних повреждениях и при КЗ на защищаемой ЛЭП.

Коэффициент токораспределения k_T при выполнении расчетов следует принять:

- максимально возможный для расчета тока срабатывания по условию отстройки или согласования;
- минимально возможный для расчета тока срабатывания по условию обеспечения чувствительности.

Наличие Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений между местом установки ТЗНП и местом КЗ на землю приводит к уменьшению тока нулевой последовательности, протекающего в рассматриваемой защите.

7.2.1.3. Расчет параметров настройки ТЗНП параллельных ЛЭП с ответвлениями необходимо производить с учетом работы одной из параллельных ЛЭП в режиме, когда она отключена с одной из основных питающих сторон, а Т с заземленными нейтралями остались присоединены к ответвлениям данной ЛЭП.

7.2.1.4. Расчет параметров настройки ТЗНП параллельных ЛЭП с ответвлениями необходимо производить с учетом особенностей распределения тока нулевой последовательности при наличии мощных Т с заземленными нейтралями на ответвлении вблизи шин питающей ПС. При внешнем КЗ на землю (К-1, рисунок 7.3) или при КЗ на землю на параллельной ЛЭП (К-2, рисунок 7.3) утроенный ток нулевой последовательности от Т ответвления может быть направлен к шинам питающей ПС А, как показано на рисунке 7.3.

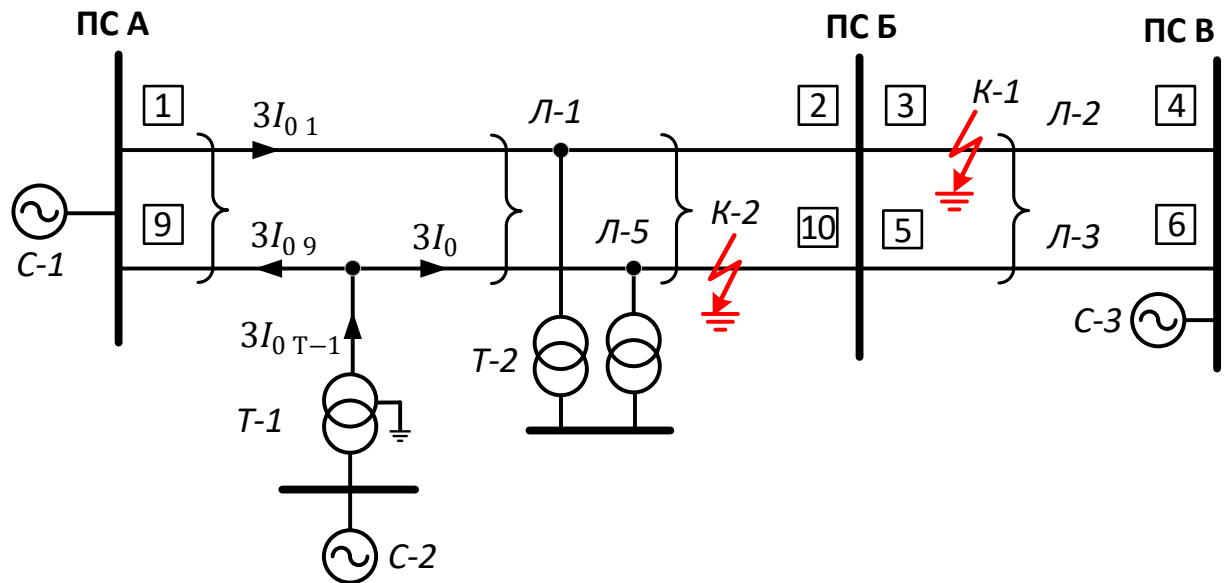


Рисунок 7.3. Особенности распределения тока нулевой последовательности в параллельных ЛЭП при наличии мощных Т с заземленными нейтралями на ответвлении вблизи шин питающей ПС

При таком распределении тока нулевой последовательности создаются условия для неселективной работы ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 от защиты параллельной ЛЭП Л-5. Для предотвращения неселективной работы ускорения от защиты параллельной ЛЭП необходимо выполнить отстройку тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б и на параллельной ЛЭП. Если данное расчетное условие приводит к существенному заглублению тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 и противоречит требованию по чувствительности, применение ускорения от защиты параллельной ЛЭП в рассматриваемом случае нецелесообразно.

7.2.1.5. Указания по замедлению действия первой ступени ТЗНП на отключение.

При КЗ вблизи шин ВН ПС на ответвлении (на ошиновке ВН, на выводах или в обмотке ВН Т) практически одновременно срабатывают основные защиты Т и быстродействующие защиты ЛЭП. При этом возможна ситуация, когда отключение ЛЭП от быстродействующих защит произойдет быстрее, чем основные защиты Т подействуют на отключение (на отключение выключателя или на включение короткозамыкателя на стороне ВН). Это может привести к подаче напряжения на оставшийся включенным поврежденный Т устройством АПВ ЛЭП.

Для предотвращения подобных случаев, если ток срабатывания первой ступени ТЗНП не отстроен от КЗ на землю на стороне ВН Т на ответвлении, целесообразно действие на отключение указанной ступени ТЗНП замедлять до 0,12 с при условии обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования.

7.2.2. Перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки ТЗНП

В таблице 7.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1, установленной со стороны ПС А, для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 7.1). Дополнительные указания по расчету параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП приведены в разделе 9.

Таблица 7.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки ТЗНП

№ п/п	Схема	Расчетные условия
1	1 степень защиты	
1.1	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б
1.2	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (для ненаправленной ступени)
1.3	в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
1.4	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в кратковременном неполнофазном режиме при одновременном включении фаз выключателя ЛЭП Л-1
1.5	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1
1.6	а, б, в, г	Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенным к ней ненагруженным Т-1 (АТ, Т с заземленными нейтралями)
1.7	а, б, в, г	Проверка чувствительности при КЗ на землю в начале ЛЭП Л-1
1.8	а, б, в, г	Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых 1 ступенями ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1
2	2 степень защиты	
2.1	а, в	Согласование с 1 (2) степенью ТЗНП защиты 3
2.2	б, г	Согласование с 1 (2) степенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
2.3	в, г	Согласование с 1 (2) степенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
2.4	б, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В
2.5	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-3 ПС Б

№ п/п	Схема	Расчетные условия
2.6	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и на смежных ЛЭП, а также в длительном неполнофазном режиме на смежной ЛЭП
2.7	а, б, в, г	Проверка чувствительности при КЗ на землю на каждом противоположном конце ЛЭП Л-1
2.8	а, б, в, г	Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых 2 ступенью ТЗНП защиты 1 и 1 ступенью ТЗНП защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП Л-1
3	3 ступень защиты	
3.1	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю на каждом противоположном конце ЛЭП Л-1
3.2	а, в	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 3
3.3	б, г	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
3.4	в, г	Согласование с 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
3.5	а, б, в, г	Согласование с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
3.6	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и на смежных ЛЭП
3.7	а, б, в, г	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения Т-1, Т-2 ПС на ответвлениях и шинах смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
3.8	а, б, в, г	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме
4	4 ступень защиты	
4.1	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю на каждом противоположном конце ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования
4.2	а, в	Согласование с 3 (4) ступенью ТЗНП защиты 3
4.3	б, г	Согласование с 3 (4) ступенью ТЗНП защиты 3 и защиты 5
4.4	в, г	Согласование с 3 ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
4.5	а, б, в, г	Согласование с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
4.6	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенных смежных ЛЭП

№ п/п	Схема	Расчетные условия
4.7	а, б, в, г	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения Т-1, Т-2 ПС на ответвлениях и шинах смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
4.8	а, б, в, г	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы

Примечание. Под сокращением «ПС» следует также понимать и электростанции.

7.3. Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП

7.3.1. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ТЗНП

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ТЗНП, – обеспечение селективного отключения КЗ на землю на защищаемой ЛЭП.

7.3.1.1. Первая ступень ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 для типовых конфигураций электрической сети (рисунок 7.1) выполняется без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени с учетом рекомендаций пункта 7.2.1.5 по замедлению действия первой ступени ТЗНП на отключение.

7.3.1.2. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 («а», «б») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б (строка 1.1, таблица 7.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.2 и подпункта «1» пункта 7.2.1.1.

7.3.1.3. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 («в», «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б (строка 1.1, таблица 7.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.2, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон. При наличии на ЛЭП Л-5 Т с заземленными нейтралью на ПС ответвлений следует дополнительно учитывать режим работы ЛЭП Л-5, когда она отключена со стороны ПС Б (К-1, рисунок 7.4).

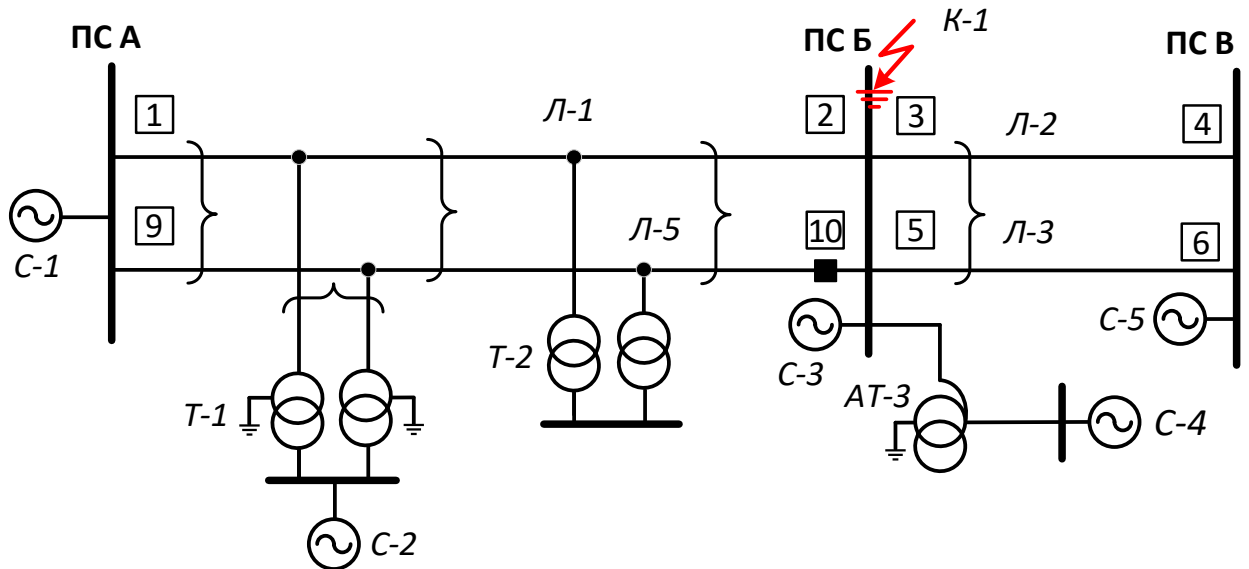


Рисунок 7.4. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б

7.3.1.4. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 («а», «б») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А

(строка 1.2, таблица 7.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.3 и подпункта 2 пункта 7.2.1.1.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности или потере эффективности, рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП прямонаправленной.

7.3.1.5. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 («в», «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (строка 1.2, таблица 7.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.3, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон. При наличии на ЛЭП Л-5 Т с заземленными нейтральями на ПС ответвлений следует дополнительно учитывать режим работы ЛЭП Л-5, когда она отключена со стороны ПС А (К-2, рисунок 7.5).

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности или потере эффективности, рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП прямонаправленной.

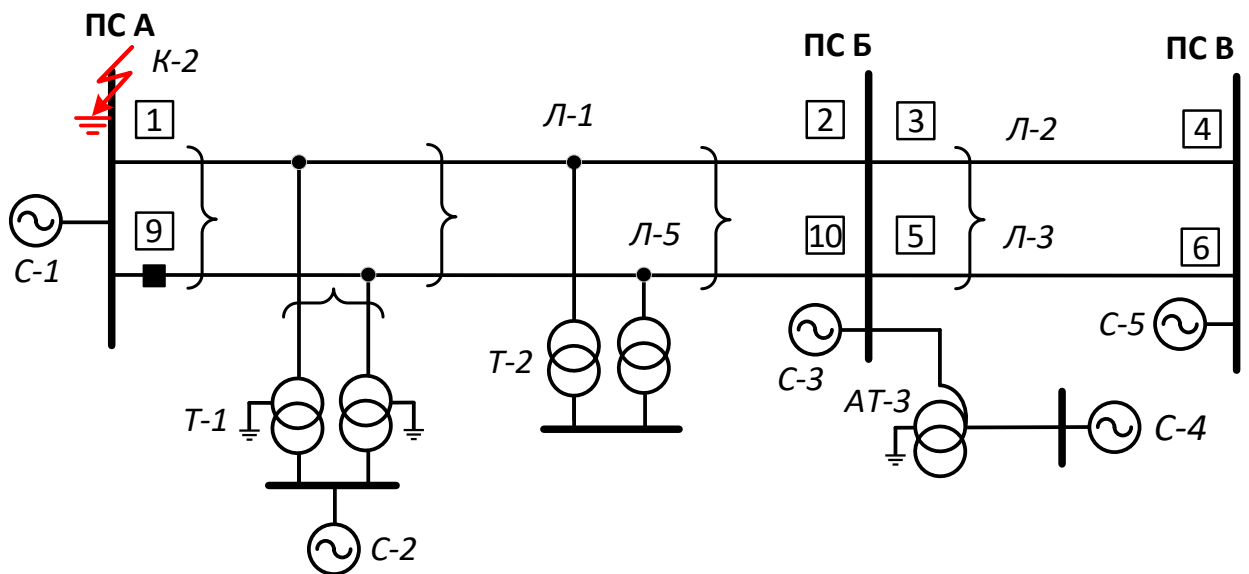


Рисунок 7.5. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А

7.3.1.6. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 («в», «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А (строка 1.3, таблица 7.1) производится по выражению (5.1), в котором в качестве $3I_{0\text{ макс}}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в расчетной точке (К-3, рисунок 7.6) в расчетном по отстройке режиме.

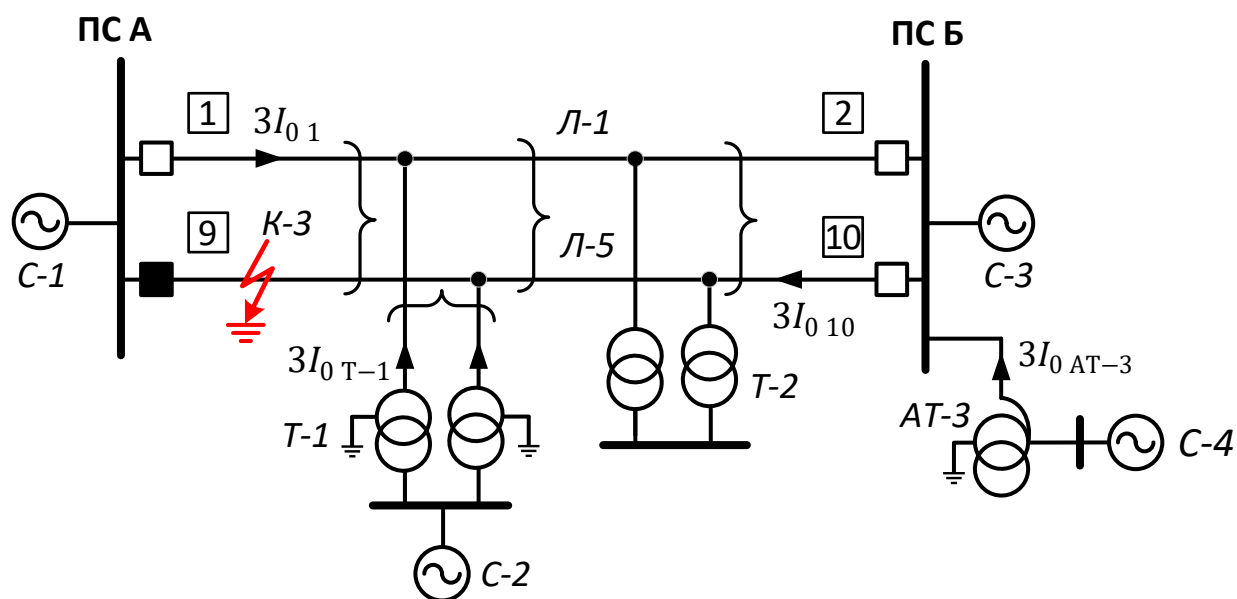


Рисунок 7.6. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А

Расчетная точка К-3, где ток $3I_{01}$ принимает максимальное значение, в общем случае находится путем перемещения точки КЗ вдоль всей ЛЭП Л-5.

При наличии других ЛЭП, связанных взаимоиндукцией с ЛЭП Л-1 и Л-5, следует учитывать ремонтные схемы сети с отключением (отключением и заземлением) указанных ЛЭП.

7.3.1.7. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в кратковременном неполнофазном режиме, возникающем при неодновременном включении фаз выключателя ЛЭП (строка 1.4, таблица 7.1), производится по выражению (5.4), в котором в качестве $3I_{0\text{неп}}$ принимается:

- максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при неодновременном включении фаз выключателя, замыкающего ЛЭП Л-1 в транзит, рассчитывается согласно пункту 3.3.2.1;

- максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при неодновременном включении фаз выключателя, подающего напряжение на защищаемую ЛЭП, и самозапуске двигателей нагрузки, питаемой от Т, присоединенных к ответвлениям от защищаемой линии, при работе хотя бы одного из этих Т с заземленной нейтралью, рассчитывается согласно пункту 3.3.2.2.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности или потере эффективности, рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП с выдержкой времени, большей времени разновременности включения фаз выключателя, в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.5.

7.3.1.8. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 (строка 1.5, таблица 7.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.6.

7.3.1.9. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от БТН АТ (Т с заземленной нейтралью) (строка 1.6, таблица 7.1) производится согласно указаниям приложения Б, если возможен режим включения ненагруженного АТ (Т с заземленной нейтралью) под напряжение через ЛЭП Л-1.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности ступени или потере эффективности, рекомендуется использовать блокировку от БТН (при наличии технической возможности в устройстве РЗ).

7.3.1.10. При наличии на ПС ответвлений выключателей на стороне ВН допускается дополнительно производить расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 по условию отстройки от КЗ на землю на шинах ВН ПС на ответвлениях. Это может быть целесообразно в тех случаях, когда на ЛЭП имеется несколько отпаечных ПС, и отключение КЗ на стороне ВН одной из них не должно приводить к обесточиванию других. Однако отстройка от КЗ на шинах ВН Т на ПС ответвлений может привести к существенному сокращению зоны охвата ЛЭП первой ступенью ТЗНП защиты 1. Возможность использования данного расчетного условия необходимо оценивать, исходя из конкретных схемно-режимных условий и состава устройств РЗ ЛЭП Л-1 и оборудования ПС на ответвлениях.

7.3.1.11. Проверка чувствительности первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 (строка 1.7, таблица 7.1) производится при КЗ на землю в начале ЛЭП Л-1 по выражению (5.8) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.8 и подпункта 3 пункта 7.2.1.1.

7.3.1.12. Если принятая уставка тока срабатывания $3I_{0уст1}^I$ первой ступени ТЗНП защиты 1 удовлетворяет всем требованиям отстройки согласно пунктам 7.3.1.2 – 7.3.1.10 и обеспечивается ее эффективность, ступень выполняется ненаправленной, без выдержки времени и не блокируется в цикле ОАПВ.

7.3.1.13. Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых первыми ступенями ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1 (строка 1.8, таблица 7.1), для схем рисунка 7.1 производится по выражениям (5.9) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.10. При этом построение графиков коэффициентов чувствительности $k_{ч1}$ и $k_{ч2}$ необходимо выполнить при перемещении точки КЗ вдоль ЛЭП и всех ответвлений (отпаек).

7.3.2. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП

Требования, предъявляемые ко второй ступени ТЗНП, – обеспечение отключения КЗ на землю на большей части защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с ТЗНП смежных сетевых элементов при КЗ на землю.

Действие второй ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

7.3.2.1. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 7.1 «а» по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 2.1, таблица 7.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.1 и подпункта 1 пункта 7.2.1.1.

7.3.2.2. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 7.1 «в» по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 2.1, таблица 7.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.1 и подпункта 1 пункта 7.2.1.1, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон. При наличии на ЛЭП Л-5 Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений следует дополнительно учитывать режим работы ЛЭП Л-5, когда она отключена со стороны ПС Б.

7.3.2.3. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 7.1 «б» по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-3 (строка 2.2, таблица 7.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.2 и подпункта 1 пункта 7.2.1.1.

7.3.2.4. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 7.1 «г» по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-3 (строка 2.2, таблица 7.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.2 и подпункта «1» пункта 7.2.1.1, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон. При наличии на ЛЭП Л-5 Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений следует дополнительно учитывать режим работы ЛЭП Л-5, когда она отключена со стороны ПС Б.

7.3.2.5. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («в», «г») по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 2.3, таблица 7.1) производится при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС А по выражению (6.2) или (6.4) в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3 (К-3, рисунок 7.6) и подпункта 1 пункта 7.2.1.1.

7.3.2.6. В целях снижения выдержки времени и повышения чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 для схем рисунка 7.1 («в», «г») при выполнении расчета по условию согласования с ТЗНП защиты 10 рекомендуется использовать ускорение третьей ступени

ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 от защиты 2 параллельной ЛЭП Л-1. В этом случае вторая ступень ТЗНП защиты 1 согласуется по току срабатывания с третьей ступенью ТЗНП защиты 10, а по времени согласуется с выдержкой времени ускорения с учетом режима работы параллельных ЛЭП в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.4.

Указания по условиям применения ускорения третьей ступени ТЗНП от защиты параллельной ЛЭП и расчету выдержки времени ускорения приведены в подразделе 9.4.

7.3.2.7. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 7.1 «б» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В (строка 2.4, таблица 7.1) производится по выражению (5.14) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.3 и подпункта «1» пункта 7.2.1.1.

7.3.2.8. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 7.1 «г» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В (строка 2.4, таблица 7.1) производится по выражению (5.14) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.3 и подпункта «1» пункта 7.2.1.1, в режиме, когда ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон, а параллельные ЛЭП Л-2 и Л-3 на смежном участке сети находятся в работе. При наличии на ЛЭП Л-5 Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений следует дополнительно учитывать режим работы ЛЭП Л-5, когда она отключена со стороны ПС Б.

7.3.2.9. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («а», «б») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-3 ПС Б (строка 2.5, таблица 7.1), примыкающей к сети с заземленной нейтралью, производится по выражению (5.15) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5 и подпункта 1 пункта 7.2.1.1.

7.3.2.10. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («в», «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-3 ПС Б (строка 2.5, таблица 7.1), примыкающей к сети с заземленной нейтралью, производится по выражению (5.15) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5 и подпункта 1 пункта 7.2.1.1, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон. При наличии на ЛЭП Л-5 Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений следует дополнительно учитывать режим работы ЛЭП Л-5, когда она отключена со стороны ПС Б.

7.3.2.11. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и

смежных ЛЭП (строка 2.6, таблица 7.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.6, если выдержка времени срабатывания ступени меньше длительности цикла ОАПВ на указанных ЛЭП, а также в случае, если на смежных ЛЭП возможен длительный неполнофазный режим.

7.3.2.12. Проверка чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 при КЗ на землю на каждом противоположном конце ЛЭП Л-1 (строка 2.7, таблица 7.1) производится по выражению (5.19) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.7 и подпункта 3 пункта 7.2.1.1.

7.3.2.13. Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых второй ступенью ТЗНП защиты 1 и первой ступенью ТЗНП защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП Л-1 (строка 2.8, таблица 7.1), для схем рисунка 7.1 производится аналогично проверке обеспечения перекрытия зон, защищаемых первыми ступенями ТЗНП с двух сторон защищаемой ЛЭП в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.10. При этом построение графиков коэффициентов чувствительности $k_{\text{ч1}}$ и $k_{\text{ч2}}$ необходимо выполнить при перемещении точки КЗ вдоль ЛЭП и всех ответвлений (отпаек).

7.3.2.14. Расчет выдержки времени второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 производится по выражению (5.20) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

7.3.2.15. Для прямонаправленной второй ступени ТЗНП расчет и выбор параметров настройки РНМ производится в соответствии с указаниями раздела 4.

7.3.2.16. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее ненаправленной производится по всем расчетным условиям, указанным в строках 2.1–2.8 таблицы 7.1, при этом расчеты по условиям отстройки и согласования производятся с ТЗНП смежных присоединений с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1.

7.3.3. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ТЗНП

Требования, предъявляемые к третьей ступени ТЗНП, – обеспечение надежного отключения КЗ на землю по всей длине и на каждом конце защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие третьей ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

7.3.3.1. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ на землю на каждом противоположном конце защищаемой ЛЭП Л-1 (строка 3.1, таблица 7.1) производится по выражению (5.23) в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.1 и подпункта 3 пункта 7.2.1.1.

При наличии на защищаемой ЛЭП ответвлений значительной длины зачастую затруднительно одновременно обеспечить требуемую чувствительность третьей ступени ТЗНП при КЗ в конце длинного ответвления и селективность с защитами смежных присоединений. В этом случае необходимо обеспечить требуемую чувствительность четвертой ступени ТЗНП при КЗ на каждом конце защищаемой ЛЭП.

Чувствительность третьей ступени ТЗНП к КЗ в конце длинного ответвления допускается обеспечить в режиме каскадного отключения ЛЭП с противоположной стороны при условии обеспечения:

- требуемой чувствительности третьей ступени ТЗНП с противоположной стороны ЛЭП без каскада;
- селективности защит прилегающей смежной сети с учетом каскадного действия защит с двух сторон ЛЭП при ликвидации КЗ в конце длинного ответвления.

В случае, когда на ПС ответвления имеется отделитель и короткозамыкатель, чувствительность третьей ступени ТЗНП защиты 1 должна быть обеспечена при однофазном КЗ на землю на стороне ВН ПС ответвления (включение короткозамыкателя) с учетом уменьшения утроенного тока нулевой последовательности, протекающего в месте установки защиты 1, из-за возможного одновременного трехфазного КЗ на стороне НН (СН) Т ответвления. Указания по расчету утроенного тока нулевой последовательности для данного случая повреждения приведены в приложении В.

7.3.3.2. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («а», «в») по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 3.2, таблица 7.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 в соответствии с указаниями пункта 7.3.2.1 для схемы рисунка 7.1 «а», пункта 7.3.2.2 для схемы рисунка 7.1 «в».

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 не со второй, а с третьей или четвертой ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2.

7.3.3.3. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («б», «г») по условию согласования со вторыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-3 (строка 3.3, таблица 7.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-3 в соответствии с указаниями пункта 7.3.2.3 для схемы рисунка 7.1 «б», пункта 7.3.2.4 для схемы рисунка 7.1 «г».

В случае если ступени ТЗНП защиты 3 и защиты 5, с которыми производится согласование, охватывают соответственно ЛЭП Л-2 и ЛЭП Л-3 с коэффициентом чувствительности менее 1,3 в режиме работы обеих параллельных ЛЭП, необходимо выполнить проверку отстройки тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В в указанном режиме согласно пункту 7.3.2.7 для схемы рисунка 7.1 «б», пункту 7.3.2.8 для схемы рисунка 7.1 «г».

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-3.

7.3.3.4. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («в», «г») по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 3.4, таблица 7.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС А по выражению (6.2) или (6.4) в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3 и подпункта 1 пункта 7.2.1.1.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 по току срабатывания и выдержке времени с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5.

7.3.3.5. В целях снижения выдержки времени и повышения чувствительности третьей ступени ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 для схем рисунка 7.1 («в», «г») при выполнении расчета по условию согласования с ТЗНП защиты 10 рекомендуется использовать ускорение третьей ступени ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 от защиты 2 параллельной ЛЭП Л-1. В этом случае третья ступень ТЗНП защиты 1 согласуется по току срабатывания с третьей ступенью ТЗНП защиты 10, а по времени согласуется с выдержкой времени ускорения с учетом режима работы параллельных ЛЭП в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.4.

Указания по условиям применения ускорения третьей ступени ТЗНП от защиты параллельной ЛЭП и указания по расчету и выбору выдержки времени ускорения приведены в подразделе 9.4.

7.3.3.6. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («а», «б») по условию согласования с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 3.5, таблица 7.1), производится по выражению (5.16) или (5.17) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5 и подпункта «1» пункта 7.2.1.1.

7.3.3.7. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («в», «г») по условию согласования с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 3.5, таблица 7.1), производится по выражению (5.16) или (5.17) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5 и подпункта «1» пункта 7.2.1.1 в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон. При наличии на ЛЭП Л-5 Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений следует дополнительно учитывать режим работы ЛЭП Л-5, когда она отключена со стороны ПС Б.

7.3.3.8. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП (строка 3.6, таблица 7.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.6.

7.3.3.9. Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП приводит к снижению чувствительности третьей ступени ТЗНП, выдержку времени срабатывания ступени следует отстроить от длительности неполнофазного режима цикла ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

7.3.3.10. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения Т-1, Т-2 ПС на ответвлениях и шинах смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б (строка 3.7, таблица 7.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.5, если третья ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

Для третьей ступени ТЗНП, выполненной с ускорением от защиты параллельной ЛЭП (схемы рисунка 7.1 («в», «г»)), необходимость учета этого условия вызвана возможностью срабатывания РНМ защит параллельных ЛЭП от токов и напряжений небаланса в рассматриваемых случаях КЗ.

7.3.3.11. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме (строка 3.8,

таблица 7.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.6.2, если на защищаемой ЛЭП возможны указанные режимы и период качаний превышает выдержку времени срабатывания ступени.

7.3.3.12. В случае если третья ступень ТЗНП защиты 1 оперативно ускоряется или имеет ускорение от защиты параллельной ЛЭП (схемы рисунка 7.1 «в», «г»), выполнение этого условия является обязательным.

7.3.3.13. Расчет выдержки времени третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 производится по выражению (5.24) в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.9.

7.3.3.14. В случае, если третья ступень ТЗНП защиты 1 обеспечивает надежную защиту всей ЛЭП Л-1, то данная ступень может применяться в качестве ускоряемой ступени. Дополнительные указания по расчету и выбору параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП приведены в разделе 9.

7.3.3.15. В случае если третья ступень ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 («в», «г») имеет ускорение от защиты параллельной ЛЭП, в дополнение к вышеприведенным расчетным условиям расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 и выдержки времени ускорения производится в соответствии с указаниями подраздела 9.4.

7.3.3.16. Для прямонаправленной третьей ступени ТЗНП защиты 1 расчет и выбор параметров настройки РНМ производится в соответствии с указаниями раздела 4.

7.3.4. Расчет и выбор параметров настройки четвертой ступени ТЗНП

Основные требования, предъявляемые к четвертой ступени ТЗНП, – обеспечение резервирования устройств РЗ своей ЛЭП и защит или выключателей смежных сетевых элементов (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие четвертой ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [7] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ТЗНП ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет отдается обеспечению чувствительности.

7.3.4.1. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ на землю на каждом противоположном конце защищаемой ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования (строка 4.1, таблица 7.1) производится по выражению (5.25) в соответствии с указаниями пункта 5.3.4.1 и подпункта 3 пункта 7.2.1.1.

Если чувствительность четвертой ступени ТЗНП к КЗ на землю в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, то допускается:

- не резервировать КЗ на землю на смежных ЛЭП 110 кВ и выше при наличии УРОВ и при условии обеспечения ближнего резервирования;
- обеспечивать дальнейшее резервирование без учета редких ремонтных схем и при каскадном действии защит смежных присоединений;
- предусматривать возможность неселективного действия четвертой ступени ТЗНП при КЗ на землю на смежных сетевых элементах, исправляемого действием АПВ и АВР;
- не согласовывать по чувствительности ступени ТЗНП, предназначенные для дальнего резервирования, если неотключение КЗ вследствие недостаточной чувствительности защиты последующего сетевого элемента может привести к тяжелым последствиям.

7.3.4.2. В целях уменьшения времени ликвидации КЗ на землю в зоне дальнего резервирования предпочтительным является согласование четвертой ступени ТЗНП защиты 1 с третьими ступенями ТЗНП смежных присоединений. Однако, если выполнение данного условия не позволяет обеспечить требуемую чувствительность, то необходимо выполнить согласование с четвертыми ступенями ТЗНП смежных элементов сети.

7.3.4.3. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («а», «в») по условию согласования с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 4.2, таблица 7.1) производится аналогично расчету

при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 3 в соответствии с указаниями пункта 7.3.3.2.

7.3.4.4. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («б», «г») по условию согласования с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-3 (строка 4.3, таблица 7.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 со вторыми (третьими) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-3 в соответствии с указаниями пункта 7.3.3.3.

7.3.4.5. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 («в», «г») по условию согласования с третьей ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 4.4, таблица 7.1) производится при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС А по выражению (6.2) или (6.4) в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3 и подпункта «1» пункта 7.2.1.1.

7.3.4.6. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 7.1 по условию согласования с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 4.5, таблица 7.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 с ТЗНП АТ-3 ПС Б в соответствии с указаниями пунктов 7.3.3.6, 7.3.3.7 и подпункта 1 пункта 7.2.1.1.

7.3.4.7. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по отстройке от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенной смежной ЛЭП (строка 4.6, таблица 7.1) производится, если реле тока УРОВ смежной ЛЭП отстроено от емкостного тока односторонне включенной ЛЭП, по выражению (5.26) в соответствии с указаниями пункта 5.3.4.6.

7.3.4.8. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения Т-1, Т-2 ПС на ответвлениях и шинах смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б (строка 4.7, таблица 7.1) производится согласно пункту 3.3.5 в случае, если четвертая ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

7.3.4.9. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы (строка 4.8, таблица 7.1) производится согласно пункту 3.3.6.

7.3.4.10. Расчет выдержки времени четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 7.1 производится по выражению (5.27) в соответствии с указаниями пункта 5.3.4.9.

7.3.4.11. Решение о направленности четвертой ступени ТЗНП защиты 1 принимается с учетом обеспечения требований чувствительности и селективности в соответствии с рекомендациями раздела 4. Указания по расчету и выбору параметров настройки РНМ приведены в разделе 4.

7.3.4.12. Расчет и выбор параметров настройки четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее ненаправленной производится по всем расчетным условиям, указанным в строках 4.1–4.8 таблицы 7.1, при этом расчеты по условиям отстройки и согласования производятся с защитами смежных присоединений с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1.

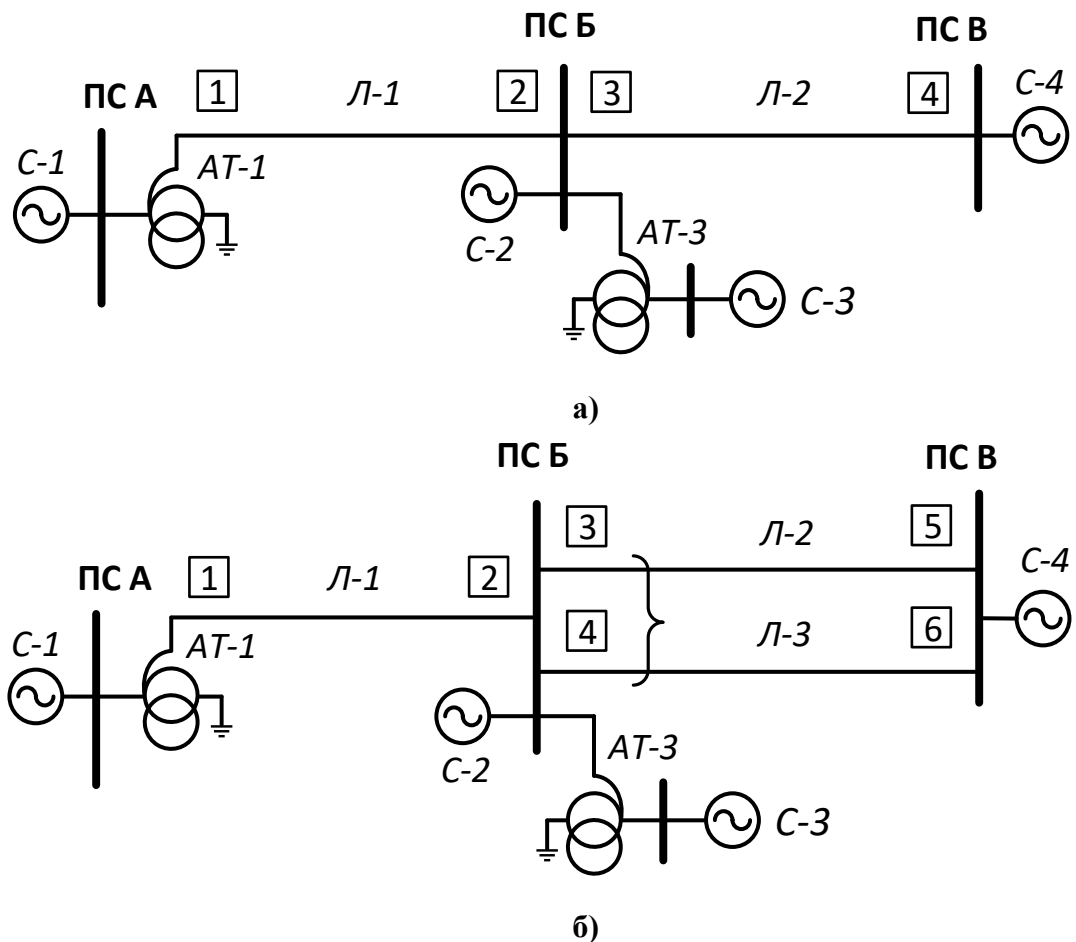
7.3.4.13. При выполнении четвертой ступени ТЗНП защиты 1 ненаправленной рекомендуется выполнить проверку чувствительности при КЗ на землю в зоне защит смежных присоединений, отходящих от шин ПС А (дальнее резервирование).

8. Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия

8.1. Типовые схемы участков сети

Указания по расчету и выбору параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП одиночных и параллельных ЛЭП напряжением 110 кВ и выше, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, приводятся для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 8.1).

Типовые схемы электрической сети при наличии на смежных участках сети ЛЭП с проходными ПС или ЛЭП с односторонним питанием в настоящем разделе не рассматриваются. Указания по расчету и выбору параметров настройки ТЗНП ЛЭП с учетом данных схем приведены в разделах 5, 6 и аналогичны для ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.



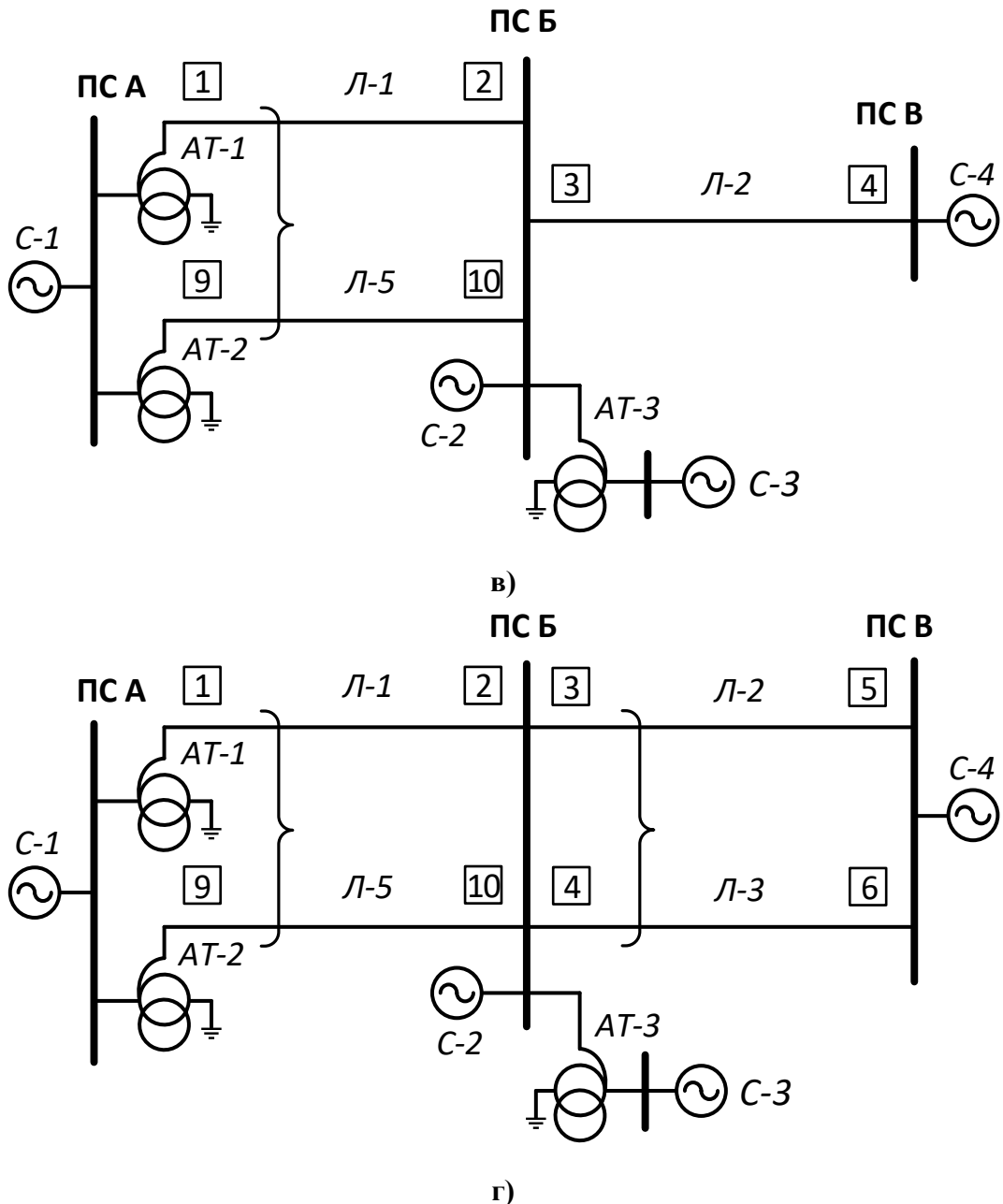


Рисунок 8.1. Примеры типовых схем участков сети с одиночными и параллельными ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия

Приведенные на рисунке 8.1 примеры типовых конфигураций электрической сети применимы также для ЛЭП, отходящих от шин электрических станций.

8.2. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

8.2.1. Общие указания по расчету

Общие указания по расчету и выбору параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия напряжением 110 кВ и выше с двусторонним питанием, соответствуют общим указаниям по расчету ТЗНП одиночной ЛЭП, приведенным в пункте 5.2.1.

При наличии ЛЭП, связанных взаимоиндукцией с рассматриваемой ЛЭП, следует учитывать общие указания по расчету ТЗНП параллельных ЛЭП, приведенные в пункте 6.2.1.

При наличии параллельной ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия следует учитывать поведение РНМ нулевой последовательности неповрежденной ЛЭП при каскадном КЗ на землю на рассматриваемой ЛЭП, указания приведены в подразделе 4.11.

В типовых схемах, приведенных на рисунке 8.1, на ПС А рассматриваются трехобмоточные АТ с группой соединения обмоток $Y_{0\text{АВТО}}/\Delta$, двухобмоточные АТ с группой соединения обмоток $Y_{0\text{АВТО}}$ (без Δ обмотки), трехобмоточные Т с группой соединения $Y_0/Y/\Delta$, двухобмоточные Т с группой соединения Y_0/Δ и Т с группой соединения обмоток Y_0/Y .

Для Т с группой соединения обмоток Y_0/Y и двухобмоточных АТ с группой соединения обмоток $Y_{0\text{АВТО}}$ сеть на стороне НН должна быть с глухозаземленной нейтралью для обеспечения протекания токов нулевой последовательности в защите 1.

При расчете и выборе параметров настройки ТЗНП ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, следует учитывать наличие/отсутствие выключателя на стороне ВН блока. При отсутствии выключателя на стороне ВН блока действие защиты выполняется на отключение выключателя стороны СН.

Следует учитывать, что при блочной схеме ПС измерительные ТТ устанавливаются на стороне ВН Т (АТ), измерительные ТН могут устанавливаться как на стороне ВН Т (АТ), так и на стороне СН АТ.

При наличии регулирования напряжения под нагрузкой сопротивление Т (АТ) блока рассчитывается с учетом положений РПН. Примеры расчета реактивных сопротивлений Т (АТ) при наличии РПН приведены в Приложении В к Методическим указаниям [3].

При расчете и выборе тока срабатывания ступеней ТЗНП по условию отстройки следует принять минимальные значения сопротивлений Т (АТ) блока, по условию обеспечения чувствительности следует принять максимальные значения сопротивлений Т (АТ) блока, рассчитанные при крайних положениях РПН. Если при этом невозможно одновременно выполнить условия отстройки и чувствительности, расчет тока срабатывания ступеней ТЗНП выполняют с учетом значений сопротивлений Т (АТ) блока, рассчитанных при возможных фактических положениях РПН.

8.2.2. Перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки ТЗНП

В таблице 8.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки четырехступенчатой ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1, установленной со стороны ПС А, для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 8.1). Дополнительные указания по расчету параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП приведены в разделе 9.

Таблица 8.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки ТЗНП

№ п/п	Схема	Расчетные условия
1	1 степень защиты	
1.1	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б
1.2	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (для ненаправленной ступени)
1.3	в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
1.4	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в кратковременном неполнофазном режиме при одновременном включении фаз выключателя ЛЭП Л-1
1.5	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1
1.6	а, б, в, г	Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными АТ (Т с заземленными нейтральями)
1.7	а, б, в, г	Проверка чувствительности к КЗ на землю в начале ЛЭП Л-1
1.8	а, б, в, г	Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых 1 ступенями ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1
2	2 степень защиты	
2.1	а, в	Согласование с 1 (2) ступенью ТЗНП защиты 3
2.2	в, г	Согласование с 1 (2) ступенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
2.3	б, г	Согласование с 1 (2) ступенью ТЗНП защиты 3 и защиты 4
2.4	б, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В
2.5	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-3 ПС Б

№ п/п	Схема	Расчетные условия
2.6	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и на смежных ЛЭП, а также в длительном неполнофазном режиме на смежных ЛЭП
2.7	а, б, в, г	Проверка чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1
2.8	а, б, в, г	Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых 2 степенью ТЗНП защиты 1 и 1 степенью ТЗНП защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП Л-1
3	3 степень защиты	
3.1	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1
3.2	а, в	Согласование со 2 (3) степенью ТЗНП защиты 3
3.3	в, г	Согласование со 2 (3) степенью ТЗНП защиты 10 при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
3.4	б, г	Согласование со 2 (3) степенью ТЗНП защиты 3 и защиты 4
3.5	а, б, в, г	Согласование с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
3.6	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и на смежных ЛЭП, а также в длительном неполнофазном режиме на смежных ЛЭП.
3.7	а, б, в, г	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на стороне смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
3.8	а, б, в, г	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме
4	4 степень защиты	
4.1	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования
4.2	а, в	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 3
4.3	б, г	Согласование с 3 (4) степенью ТЗНП защиты 3 и защиты 4
4.4	а, б, в, г	Согласование с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
4.5	а, б, в, г	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на стороне смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
4.6	а, б, в, г	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенных смежных ЛЭП
4.7	а, б	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы

Примечание. Под сокращением «ПС» следует также понимать и электростанции.

8.3. Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП

8.3.1. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ТЗНП

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ТЗНП, – обеспечение селективного отключения КЗ на землю на защищаемой ЛЭП.

8.3.1.1. Первая ступень ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 для типовых конфигураций электрической сети (рисунок 8.1) выполняется без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени.

8.3.1.2. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 («а», «б») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б (строка 1.1, таблица 8.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.2 (К-1, рисунок 8.2).

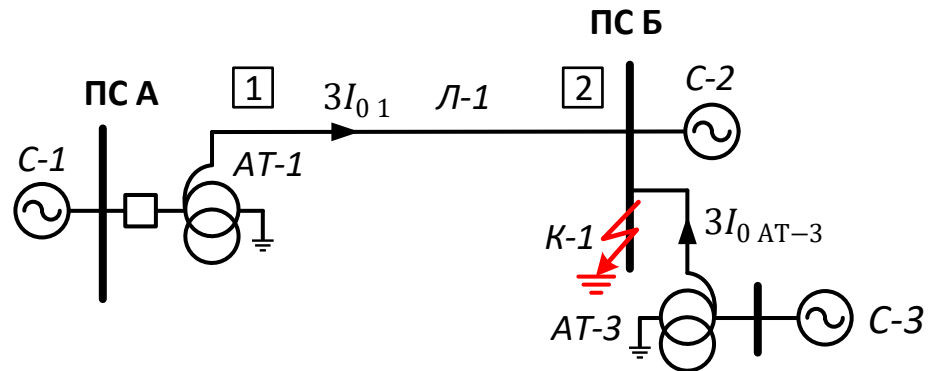


Рисунок 8.2. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б

8.3.1.3. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 («в», «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б (строка 1.1, таблица 8.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.2, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон (К-2, рисунок 8.3).

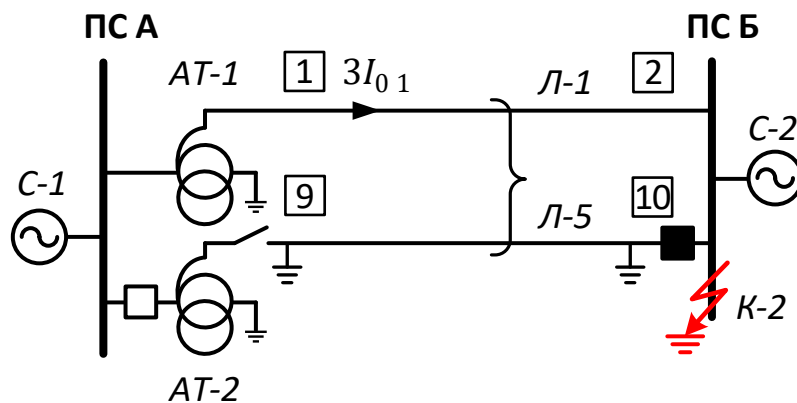


Рисунок 8.3. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС Б в режиме отключенной и заземленной параллельной ЛЭП

Отключение и заземление ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия, производится следующим образом:

1) При наличии выключателя на стороне ВН блока параллельная ЛЭП Л-5 отключается линейными выключателями и заземляется с двух сторон.

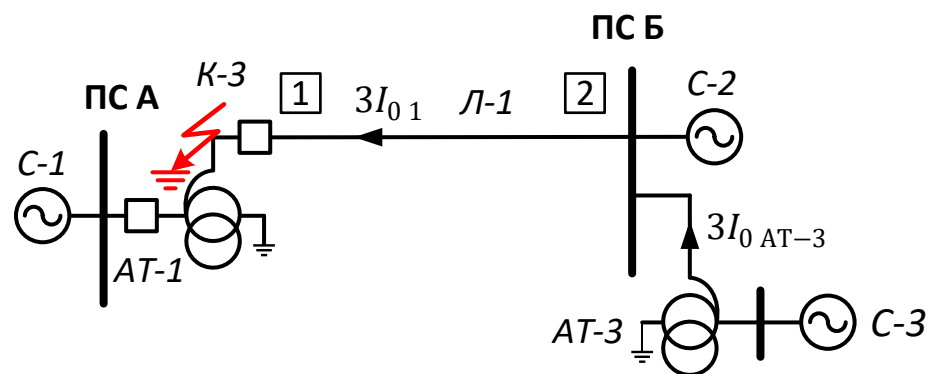
2) При отсутствии выключателя на стороне ВН блока ЛЭП Л-5 со стороны ПС А отключается линейным разъединителем на стороне ВН блока и заземляется, со стороны ПС Б отключается выключателем и заземляется. При этом АТ-2 может оставаться в работе, как показано на рисунке 8.3, если работа АТ-2 сторонами СН/НН допускается. Если работа АТ-2 сторонами СН/НН не допускается, АТ-2 отключается выключателем на стороне СН.

8.3.1.4. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 («а», «б») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (строка 1.2, таблица 8.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.3.

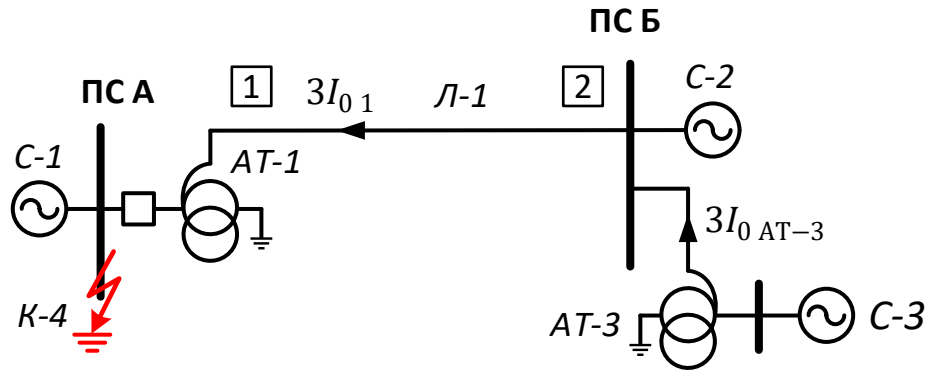
При наличии выключателя на стороне ВН блока отстройка от утроенного тока нулевой последовательности производится при КЗ на землю на шинах ВН ПС А (К-3, рисунок 8.4 «а»).

При отсутствии выключателя на стороне ВН блока целесообразно производить отстройку от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах СН ПС А (К-4, рисунок 8.4 «б»), поскольку в этом случае действие защиты выполняется на отключение выключателя стороны СН.

Если данное расчетное условие приводит к значительному снижению чувствительности или потере эффективности, рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП прямонаправленной.



а) при наличии выключателя на стороне ВН АТ-1



б) при отсутствии выключателя на стороне ВН АТ-1

Рисунок 8.4. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А

8.3.1.5. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 («в», «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС А (строка 1.2, таблица 8.1) производится по выражению (5.1) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.3, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон.

Если данное расчетное условие приводит к значительному снижению чувствительности или потере эффективности, рекомендуется выполнить первую ступень ТЗНП прямонаправленной (с использованием разрешающего сигнала РНМ).

8.3.1.6. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 («в», «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 (строка 1.3, таблица 8.1) производится по выражению (5.1), в котором в качестве $3I_{01\text{макс}}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в расчетной точке (К-5, рисунок 8.5).

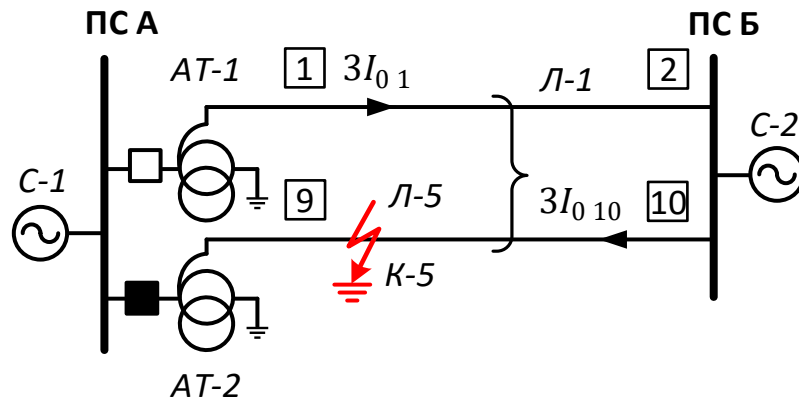


Рисунок 8.5. Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при каскадном отключении КЗ на землю на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А

При наличии выключателя на стороне ВН блока каскад образуется отключением выключателя на стороне ВН ПС А. При отсутствии выключателя на стороне ВН блока каскад образуется отключением выключателя на стороне СН ПС А, как показано на рисунке 8.5.

Расчетная точка К-5, где ток $3I_{01}$ в рассматриваемой защите принимает максимальное значение, в общем случае находится путем перемещения точки КЗ вдоль всей ЛЭП Л-5. Влияние взаимоиндукции на характер изменения тока в неповрежденной параллельной ЛЭП подробно рассмотрено в пункте 6.3.1.4.

8.3.1.7. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в кратковременном неполнофазном режиме, возникающем при неодновременном включении фаз выключателя ЛЭП (строка 1.4, таблица 8.1) производится по выражению (5.4) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.5.

8.3.1.8. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 (строка 1.5, таблица 8.1) производится по выражению (5.6) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.6.

8.3.1.9. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от БТН АТ (Т с заземленной нейтралью) (строка 1.6, таблица 8.1) производится согласно указаниям приложения Б, если возможен режим включения ненагруженного АТ (Т с заземленной нейтралью) под напряжение через ЛЭП Л-1.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности ступени или потере эффективности, рекомендуется использовать блокировку от БТН (при наличии технической возможности в устройстве РЗ).

8.3.1.10. Проверка чувствительности первой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 производится при КЗ на землю в начале ЛЭП Л-1 (строка 1.7, таблица 8.1) по выражению (5.8) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.8.

8.3.1.11. Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых первыми ступенями ТЗНП с двух сторон ЛЭП Л-1 (строка 1.8, таблица 8.1), для схем рисунка 8.1 производится по выражениям (5.9) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.10.

8.3.2. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП

Требования, предъявляемые ко второй ступени ТЗНП, – обеспечение отключения КЗ на землю на большей части защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с ТЗНП смежных сетевых элементов при КЗ на землю.

Действие второй ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

8.3.2.1. Расчет второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 8.1 «а» по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 2.1, таблица 8.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.1.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать вторую ступень ТЗНП защиты 1 не с первой, а со второй ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2.

8.3.2.2. Расчет второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 8.1 «в» по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 2.1, таблица 8.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.1, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать вторую ступень ТЗНП защиты 1 не с первой, а со второй ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2.

8.3.2.3. Расчет второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («в», «г») по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 2.2, таблица 8.1) при каскадном отключении однофазного КЗ на землю со стороны ПС А (К-5, рисунок 8.5) производится по выражениям (6.2) или (6.4) в зависимости от зоны охвата ступени ТЗНП, с которой проводится согласование, в соответствии с указаниями пункта 6.3.2.3.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать вторую ступень ТЗНП защиты 1 не с первой, а со второй или третьей ступенью ТЗНП защиты 10 смежной ЛЭП Л-5.

8.3.2.4. Расчет второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 8.1 «б» по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 4 ЛЭП Л-4 (строка 2.3, таблица 8.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.2.

8.3.2.5. Расчет второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 8.1 «г» по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 4 ЛЭП Л-4 (строка 2.3, таблица 8.1) производится по выражению (5.10) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.2, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон.

8.3.2.6. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 8.1 «б» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В (строка 2.4, таблица 8.1) производится по выражению (5.14) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.3.

8.3.2.7. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схемы рисунка 8.1 «г» по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах ПС В (строка 2.4, таблица 8.1) производится по выражению (5.14) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.3, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон.

8.3.2.8. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («а», «б») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1 ПС Б (строка 2.5, таблица 8.1), примыкающей к сети с глухозаземленной нейтралью, производится по выражению (5.15) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5.

8.3.2.9. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («в», «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1 ПС Б (строка 2.5, таблица 8.1), примыкающей к сети с глухозаземленной нейтралью, производится по выражению (5.15) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5, в режиме, когда параллельная ЛЭП Л-5 отключена и заземлена с двух сторон.

8.3.2.10. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 («а» – «г») по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП (строка 2.6, таблица 8.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.6, если выдержка времени срабатывания второй ступени меньше длительности цикла ОАПВ на указанных ЛЭП, а также в случае, если на смежных ЛЭП возможен длительный неполнофазный режим.

Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 приводит к снижению чувствительности второй ступени ТЗНП, предусматривается вывод ее из действия на время цикла ОАПВ или выдержка времени срабатывания ступени отстраивается от длительности цикла ОАПВ ЛЭП Л-1 согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на смежных ЛЭП приводит к снижению чувствительности второй ступени ТЗНП, выдержку времени срабатывания ступени следует отстроить от длительности неполнофазного режима цикла ОАПВ на смежных ЛЭП согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

8.3.2.11. Проверка чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 при КЗ на землю в конце ЛЭП Л-1 (строка 2.7, таблица 8.1) производится по выражению (5.19) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.7.

8.3.2.12. Проверка обеспечения перекрытия зон, защищаемых второй ступенью ТЗНП защиты 1 и первой ступенью ТЗНП защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП Л-1 (строка 2.8, таблица 8.1), для схем рисунка 8.1 производится аналогично проверке обеспечения перекрытия зон, защищаемых первыми ступенями ТЗНП с двух сторон защищаемой ЛЭП в соответствии с указаниями пункта 5.3.1.8.

8.3.2.13. Расчет выдержки времени второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 производится по выражению (5.20) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

8.3.2.14. Выдержка времени второй ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от неполнофазного режима в цикле ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 или смежных ЛЭП выбирается по выражению (5.22) в соответствии с указаниями, приведенными в пункте 5.3.2.10.

8.3.2.15. Для прямонаправленной второй ступени ТЗНП расчет и выбор параметров настройки РНМ производится в соответствии с указаниями раздела 4.

8.3.2.16. Расчет и выбор параметров настройки времени второй ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее ненаправленной производится по всем расчетным условиям, указанным в строках 2.1–2.8 таблицы 8.1, при этом расчеты по условиям отстройки и согласования производятся с ТЗНП смежных присоединений с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1.

8.3.3. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ТЗНП

Требования, предъявляемые к третьей ступени ТЗНП, – обеспечение надежного отключения КЗ на землю по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие третьей ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

8.3.3.1. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП Л-1 (строка 3.1, таблица 8.1) производится по выражению (5.23) в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.1.

8.3.3.2. Расчет третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («а», «в») по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 3.2, таблица 8.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 в соответствии с указаниями пункта 8.3.2.1 для схемы рисунка 8.1 «а», пункта 8.3.2.2 для схемы рисунка 8.1 «в».

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 не со второй, а с третьей ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2.

8.3.3.3. Расчет третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («в», «г») по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (строка 3.3, таблица 8.1) при каскадном отключении КЗ на землю со стороны ПС А производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первой ступенью ТЗНП защиты 10 смежной ЛЭП Л-5 в соответствии с указаниями пункта 8.3.2.3.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать третью ступень ТЗНП защиты 1 не со второй, а с третьей ступенью ТЗНП защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5.

8.3.3.4. Расчет третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («б», «г») по условию согласования со вторыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 4 ЛЭП Л-4 (строка 3.4, таблица 8.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени ТЗНП защиты 1 с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 4 ЛЭП Л-4 в соответствии с указаниями, приведенными в пункте 8.3.2.4 для схемы рисунка 8.1 «б» и в пункте 8.3.2.5 для схемы рисунка 8.1 «г».

8.3.3.5. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («а», «б») по условию согласования с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 3.5, таблица 8.1), производится по выражению (5.16) или (5.17) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.5.

Для схем рисунка 8.1 («в», «г») согласование производится в режиме, когда параллельная ЛЭП-5 отключена и заземлена с двух сторон.

Если согласование с ТЗНП АТ-3 ПС Б приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия третьей ступени ТЗНП защиты 1, расчет тока срабатывания допускается производить по согласованию с ТЗНП присоединений стороны смежного напряжения ПС Б, при этом возможное неселективное действие защиты при КЗ на землю на шинах смежного напряжения ПС Б и отказе ДЗШ необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

8.3.3.6. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП (строка 2.6, таблица 8.1) производится по выражениям (5.6) и (5.7) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.6.

Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП приводит к снижению чувствительности третьей ступени ТЗНП, выдержку времени срабатывания ступени следует отстроить от длительности цикла ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 и смежных ЛЭП согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

8.3.3.7. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазном КЗ на шинах смежного напряжения АТ ПС А и ПС Б (строка 3.7, таблица 8.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.5, если третья ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

8.3.3.8. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме (строка 3.8, таблица 8.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.6.2, если на защищаемой ЛЭП возможны указанные режимы и период качаний превышает выдержку времени срабатывания ступени.

8.3.3.9. Расчет выдержки времени третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 производится по выражению (5.24) в соответствии с указаниями пункта 5.3.3.9.

8.3.3.10. Выдержка времени третьей ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от длительности неполнофазного режима в цикле ОАПВ на защищаемой ЛЭП Л-1 или смежных ЛЭП выбирается в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.10.

8.3.3.11. Для прямонаправленной третьей ступени ТЗНП расчет и выбор параметров настройки РНМ производится в соответствии с указаниями раздела 4.

8.3.4. Расчет и выбор параметров настройки четвертой ступени ТЗНП

Основные требования, предъявляемые к четвертой ступени ТЗНП, – обеспечение резервирования устройств РЗ своей ЛЭП и защит или выключателей смежных сетевых элементов (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при КЗ на землю. Действие четвертой ступени ТЗНП выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [7] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ТЗНП ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет отдается обеспечению чувствительности.

8.3.4.1. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования (строка 4.1, таблица 8.1) производится по выражению (5.25) в соответствии с указаниями пунктов 5.3.4.1, 5.3.4.2, 5.3.4.3, 5.3.4.4.

8.3.4.2. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («а», «в») по условию согласования с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 3 смежной ЛЭП Л-2 (строка 4.2, таблица 8.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 3 в соответствии с указаниями пунктов 8.3.2.1 и 8.3.2.2.

8.3.4.3. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 («б», «г») по условию согласования с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 4 ЛЭП Л-3 (строка 4.3, таблица 8.1) производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени защиты 1 со вторыми (третьими) ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 4 ЛЭП Л-3 в соответствии с указаниями пунктов 8.3.2.4 и 8.3.2.5.

8.3.4.4. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее прямонаправленной для схем рисунка 8.1 по условию согласования с ТЗНП АТ-3 ПС Б, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения (строка 4.4, таблица 8.1), производится аналогично расчету при согласовании третьей ступени ТЗНП защиты 1 с ТЗНП АТ-3 ПС Б в соответствии с указаниями пункта 8.3.3.5.

8.3.4.5. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ ПС А и ПС Б (строка 4.5, таблица 8.1) производится согласно пункту 3.3.5 в случае, если четвертая ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку

времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

8.3.4.6. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по отстройке от утроенного тока нулевой последовательности при длительном неполнофазном режиме односторонне включенной смежной ЛЭП (строка 4.6, таблица 8.1) производится по выражению (5.26) в соответствии с указаниями пункта 5.3.4.7, если реле тока УРОВ смежной ЛЭП отстроено от емкостного тока односторонне включенной ЛЭП.

8.3.4.7. Расчет тока срабатывания четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы (строка 4.7, таблица 8.1) производится согласно пункту 3.3.6.

8.3.4.8. Расчет выдержки времени четвертой ступени ТЗНП защиты 1 для схем рисунка 8.1 производится по выражению (5.27) в соответствии с указаниями пункта 5.3.4.10.

8.3.4.9. Решение о направленности четвертой ступени ТЗНП защиты 1 принимается с учетом обеспечения требований чувствительности и селективности в соответствии с рекомендациями раздела 4. Указания по расчету и выбору параметров настройки РНМ нулевой последовательности приведены в разделе 4.

8.3.4.10. Расчет и выбор параметров настройки четвертой ступени ТЗНП защиты 1 при выполнении ее ненаправленной производится по всем расчетным условиям, указанным в подразделах 4.1–4.7 таблицы 8.1, при этом расчеты по условиям отстройки и согласования производятся с ТЗНП смежных присоединений с двух сторон защищаемой ЛЭП Л-1.

8.3.4.11. При выполнении четвертой ступени ТЗНП защиты 1 ненаправленной рекомендуется выполнить проверку чувствительности при КЗ на землю в зоне защит смежных присоединений, отходящих от шин ПС А (далее резервирование).

9. Расчет параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП

9.1. Расчет параметров настройки оперативно ускоряемой ступени ТЗНП

9.1.1. Общие требования к оперативно ускоряемой ступени ТЗНП

При выводе из работы основной быстродействующей защиты ЛЭП или ДЗШ (ДЗО) на ПС (электростанции), примыкающей к противоположному концу защищаемой ЛЭП, предусматривается ввод ОУ ступени ТЗНП с надежным охватом всей защищаемой линии.

В качестве оперативно ускоряемой ступени ТЗНП ЛЭП используется ступень, обеспечивающая требуемую для резервной защиты чувствительность при КЗ на землю в пределах сетевого элемента, на котором выводятся основные быстродействующие защиты. При наличии на ЛЭП (шинах) нескольких комплектов основных быстродействующих защит расчет и выбор параметров настройки оперативно ускоряемой ступени ТЗНП производится для случая одновременного вывода из работы всех комплектов основных быстродействующих защит ЛЭП (шин).

Как правило, оперативно ускоряется третья ступень ТЗНП. При недостаточной чувствительности третьей ступени допускается ввод ОУ четвертой ступени или отдельной, специально предназначенной для этих целей ускоряемой ступени ТЗНП.

Рекомендуется использовать ОУ прямонаправленной ступени ТЗНП в целях снижения риска отключения нескольких сетевых элементов при одном повреждении в сети.

Направленность оперативно ускоряемой ступени ТЗНП с выдержкой времени допускается обеспечивать с использованием как разрешающего РНМ, так и блокирующего РНМ.

Указания по расчету параметров настройки оперативно ускоряемой ступени ТЗНП приводятся ниже для одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

9.1.2. Расчет параметров настройки оперативно ускоряемой ступени ТЗНП

9.1.2.1. Расчет тока срабатывания $3I_{0\text{уст}}^{\text{ОУ}}$ оперативно ускоряемой прямонаправленной ступени ТЗНП по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}}^{\text{ОУ}} \leq \frac{3I_{0\text{кз мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (9.1)$$

где $3I_{0\text{кз мин}}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты при однофазных и двухфазных КЗ на землю в расчетной точке в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.7.6.

Для всех типов ЛЭП чувствительность оперативно ускоряемой ступени ТЗНП обеспечивается как в режиме транзита, так и в режиме одностороннего отключения КЗ на землю с противоположной стороны защищаемой ЛЭП.

Для ЛЭП с многосторонним питанием чувствительность обеспечивается при КЗ на землю на каждом конце ЛЭП, противоположном месту установки рассматриваемой защиты в режиме транзита и в режиме отключения повреждения с противоположных сторон защищаемой ЛЭП.

Для ЛЭП при наличии ответвлений чувствительность дополнительно обеспечивается при КЗ на землю на шинах ВН ПС ответвлений в режиме транзита и в режиме одностороннего отключения КЗ на землю с противоположной стороны защищаемой ЛЭП. При этом следует учитывать включение максимально возможного числа Т с заземленными нейтралями на ПС ответвлений.

Если на ПС ответвления имеется отделитель и короткозамыкатель, чувствительность оперативно ускоряемой ступени ТЗНП обеспечивается при однофазном КЗ на землю на стороне ВН ПС ответвления (включение короткозамыкателя) с учетом уменьшения утроенного тока нулевой последовательности, протекающего в месте установки защиты из-за возможного одновременного трехфазного КЗ на стороне НН (СН) Т ответвления. Указания по расчету утроенного тока нулевой последовательности в месте установки рассматриваемой защиты для данного случая сложного повреждения приведены в приложении В.

9.1.2.2. Расчет параметров настройки РНМ, которое контролирует оперативно ускоряемую направленную ступень ТЗНП, по условию обеспечения чувствительности производится в соответствии с требованиями пункта 3.3.7.6 и указаниями пунктов 4.5.2.2. и 4.6.2.2. соответственно для разрешающего и блокирующего РНМ.

9.1.2.3. Выдержка времени оперативно ускоряемой ступени ТЗНП выбирается исходя из следующих условий:

- сохранение устойчивости работы генерирующего оборудования;
- обеспечение селективной работы при внешних КЗ с ТЗНП смежных сетевых элементов;
- сокращение времени ликвидации КЗ.

Выдержка времени оперативно ускоряемой ступени ТЗНП принимается равной ступени селективности ΔT , рассчитываемой по выражению (5.21), при условии, что при этом обеспечивается отключение КЗ за время, требуемое для сохранения динамической устойчивости генерирующего оборудования.

В случае если определяющим условием при выборе выдержки времени УРОВ выключателя, на который действуют оперативно ускоряемые защиты, является условие обеспечения устойчивости работы генерирующего оборудования и нагрузки, выдержка времени оперативно ускоряемой ступени ТЗНП принимается равной выдержке времени УРОВ.

9.2. Расчет параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ТЗНП

9.2.1. Общие требования к автоматически ускоряемой ступени ТЗНП

АУ позволяет уменьшить время отключения КЗ при постановке ЛЭП под напряжение от ключа управления или устройства АПВ.

В качестве автоматически ускоряемой ступени ТЗНП используется ступень, надежно охватывающая всю защищаемую ЛЭП в режиме включения ЛЭП под напряжение со стороны ПС (электростанции), где установлена рассматриваемая защита.

Как правило, автоматически ускоряется третья ступень ТЗНП. При недостаточной чувствительности третьей ступени допускается ввод АУ четвертой ступени ТЗНП или отдельной, специально предназначенной для этих целей ускоряемой ступени ТЗНП.

Указания по расчету параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ТЗНП приводятся ниже для одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

9.2.2. Расчет параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ТЗНП

9.2.2.1. Расчет тока срабатывания $3I_{0уст}^{АУ}$ автоматически ускоряемой ступени ТЗНП по условию обеспечения чувствительности к КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП производится по выражению:

$$3I_{0уст}^{АУ} \leq \frac{3I_{0кз\ мин}}{k_{\text{ч}}}, \quad (9.2)$$

где $3I_{0кз\ мин}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты при однофазных и двухфазных КЗ на землю в режиме включения ЛЭП под напряжение со стороны ПС (электростанции), где установлена рассматриваемая защита;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.7.5.

Для ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП с многосторонним питанием расчет тока срабатывания автоматически ускоряемой ступени ТЗНП производится при КЗ на землю на каждом конце ЛЭП, противоположном месту установки рассматриваемой защиты.

При выполнении расчетов следует рассматривать минимальный режим системы со стороны ПС (электростанции), где установлена рассматриваемая защита.

9.2.2.2. Расчет тока срабатывания автоматически ускоряемой ступени ТЗНП, действующей без выдержки времени, по условию отстройки от утроенного емкостного тока нулевой последовательности $3I_{0с}$ в кратковременном неполнофазном режиме, возникающем при неодновременном включении фаз выключателя в режиме постановки

ЛЭП под напряжение производится по выражению (3.16) в соответствии с указаниями пункта 3.3.2.3.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности, рекомендуется выполнить автоматически ускоряемую ступень ТЗНП с выдержкой времени, большей времени разновременности включения фаз выключателя в соответствии с указаниями пункта 9.2.2.8.

9.2.2.3. Расчет тока срабатывания автоматически ускоряемой ступени ТЗНП, действующей без выдержки времени, по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0\text{неп}}$ при неодновременном включении фаз выключателя, подающего напряжение на ЛЭП с ответвлениями и самозапуске двигателей нагрузки, питаемой от всех Т, присоединенных к ответвлениям от защищаемой ЛЭП, и работе хотя бы одного из этих Т с заземленной нейтралью, производится по выражению (3.8) с учетом указаний пункта 3.3.2.2.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности, рекомендуется выполнить автоматически ускоряемую ступень ТЗНП с выдержкой времени, большей времени разновременности включения фаз выключателя в соответствии с указаниями пункта 9.2.2.8.

9.2.2.4. Расчет тока срабатывания автоматически ускоряемой ступени ТЗНП по условию отстройки от БТН АТ (Т с заземленной нейтралью) производится согласно приложению Б, если возможен режим включения ненагруженного АТ (Т с заземленной нейтралью) под напряжение через рассматриваемую ЛЭП.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности автоматически ускоряемой ступени ТЗНП, рекомендуется использовать блокировку от БТН (при наличии технической возможности в устройстве РЗ) или выполнить автоматически ускоряемую ступень ТЗНП с выдержкой времени, обеспечивающей отстройку ускоряемой ступени ТЗНП от БТН с учетом затухания тока намагничивания во времени, в соответствии с указаниями приложения Б.

9.2.2.5. Расчет тока срабатывания автоматически ускоряемой ступени ТЗНП по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0\text{неп}}$ при неодновременном включении фаз выключателя, замыкающего ЛЭП в транзит, производится по выражению (3.8) в соответствии с указаниями пункта 3.3.2.1.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности, рекомендуется выполнить автоматически ускоряемую ступень ТЗНП с выдержкой времени, большей времени разновременности включения фаз выключателя, замыкающего ЛЭП в транзит в соответствии с указаниями пункта 9.2.2.8.

Расчет по данному условию не выполняется, если выдержка времени ТАПВ выключателя, замыкающего ЛЭП в транзит, превышает время ввода в работу автоматически ускоряемой ступени ТЗНП.

9.2.2.6. Расчет тока срабатывания автоматически ускоряемой ступени ТЗНП по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при замыкании ЛЭП в транзит производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}}^{\text{AY}} = k_{\text{отс}} k_{\text{пер}} I_{0\text{нб}}, \quad (9.3)$$

где $I_{0\text{нб}}$ – ток небаланса нулевой последовательности в рассматриваемом режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,25 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше;

$k_{\text{пер}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимается равным:

2 – при выдержке времени до 0,1 с;

1,5 – при выдержке времени до 0,3 с;

1 – при выдержке времени выше 0,5–0,6 с.

Ток небаланса $I_{0\text{нб}}$ может быть определен по выражению:

$$I_{0\text{нб}} = k_{0\text{нб}} I_{\text{вкл макс}}, \quad (9.4)$$

где $I_{\text{вкл макс}}$ – максимальное значение первичного фазного тока в месте установки защиты в рассматриваемом режиме, определяется по выражению (10.11) с учетом указаний пункта 10.4.7.

Коэффициент небаланса $k_{0\text{нб}}$ в выражении (9.4) принимается в зависимости от кратности тока $I_{\text{вкл макс}}$:

– при кратности тока, не превышающей (2–3) $I_{\text{ном ТТ}}$ номинального первичного тока ТТ, $k_{0\text{нб}}$ принимается равным 0,05;

– при больших кратностях тока $k_{0\text{нб}}$ принимается равным 0,1.

Расчет по данному условию не выполняется, если выдержка времени ТАПВ выключателя, замыкающего ЛЭП в транзит, превышает время ввода в работу автоматически ускоряемой ступени ТЗНП.

9.2.2.7. Если принятая уставка $3I_{0\text{уст}}^{\text{AY}}$ удовлетворяет всем требованиям отстройки согласно пунктам 9.2.2.2–9.2.2.6, выдержка времени срабатывания T_{AY} автоматически ускоряемой ступени ТЗНП принимается равной:

– для ЛЭП 110–220 кВ $T_{\text{AY}} = 0,05–0,1$ с;

– для ЛЭП 330 кВ и выше без установленных линейных шунтирующих реакторов $T_{\text{AY}} = 0,05–0,1$ с;

– для ЛЭП 330 кВ и выше с установленными линейными шунтирующими реакторами $T_{\text{AY}} \geq 0,1$ с.

Увеличенная выдержка времени срабатывания T_{AY} для автоматически ускоряемой ступени ТЗНП ЛЭП 330 кВ и выше принимается по условию отстройки от переходных режимов включения протяженных ЛЭП с подключенными линейными шунтирующими реакторами.

9.2.2.8. Если принятая уставка $3I_{0\text{уст}}^{\text{AY}}$ не удовлетворяет условию отстройки согласно пунктам 9.2.2.2, 9.2.2.3, 9.2.2.5, выдержка времени срабатывания T_{AY} автоматически ускоряемой ступени ТЗНП принимается:

$$T_{АУ} = T_{разн} + \Delta t, \quad (9.5)$$

где $T_{разн}$ – время разновременности включения фаз выключателя (согласно техническим данным выключателя);

Δt – ступень надежности, принимается равной 0,1–0,2 с в зависимости от типа выключателя.

9.3. Расчет параметров настройки телеускоряемой ступени ТЗНП

9.3.1. Способы ТУ резервных токовых защит ЛЭП

ТУ резервных защит позволяет отключать КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП без выдержки времени, что необходимо для обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования.

Для выполнения быстродействующей защиты ЛЭП с абсолютной селективностью устройства РЗ, установленные по концам линии, обмениваются информацией с помощью передачи разрешающих или блокирующих сигналов ТУ.

При организации ТУ с помощью разрешающих сигналов в случае КЗ на землю на защищаемой ЛЭП в защитах на каждом конце линии происходит пуск прямонаправленной ступени ТЗНП с надежным охватом всей линии и формируется разрешающий сигнал, который передается к защите противоположного конца ЛЭП. Отключение КЗ осуществляется на каждой стороне ЛЭП только при получении разрешающего сигнала и наличии пуска прямонаправленной телеускоряемой ступени ТЗНП.

Для обеспечения селективного действия схемы ТУ в случае каскадного отключения внешнего КЗ на землю на параллельной ЛЭП или обходной связи в защитах на каждом конце ЛЭП может применяться ненаправленная или обратнаправленная ступень ТЗНП (или блокирующее РНМ нулевой последовательности) для фиксации внешнего повреждения и блокирования приема и передачи разрешающего сигнала в случае реверса тока.

При организации ТУ с помощью блокирующих сигналов в защитах на каждом конце ЛЭП может применяться ненаправленная или обратнаправленная ступень ТЗНП (или блокирующее РНМ нулевой последовательности), обеспечивающая пуск и передачу к защите противоположного конца линии блокирующего сигнала при внешних КЗ на землю, и прямонаправленная телеускоряемая ступень ТЗНП с полным охватом защищаемой ЛЭП для снятия пуска блокирующего сигнала при обнаружении повреждения в прямом направлении в защищаемой зоне. Отключение КЗ осуществляется на каждой стороне ЛЭП при отсутствии блокирующего сигнала и наличии пуска прямонаправленной телеускоряемой ступени ТЗНП.

Как правило, в качестве прямонаправленной телеускоряемой ступени ТЗНП используется третья ступень ТЗНП с надежным охватом защищаемой

ЛЭП или отдельная, специально предназначенная для этих целей ускоряемая ступень ТЗНП.

Указания по расчету параметров настройки телеускоряемых ступеней ТЗНП приводятся ниже для одиночных, параллельных ЛЭП и ЛЭП при наличии ответвлений.

9.3.2. Расчет параметров настройки телеускоряемых ступеней ТЗНП

9.3.2.1. Расчет тока срабатывания $3I_{0\text{уст прям}}^{\text{ТУ}}$ телеускоряемой прямонаправленной ступени ТЗНП по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП производится по выражению (9.1), где коэффициент чувствительности принимается согласно пункту 3.3.7.7.

Для всех типов ЛЭП указания по расчетным условиям выбора тока срабатывания телеускоряемой прямонаправленной ступени ТЗНП по условию обеспечения чувствительности соответствуют указаниям пункта 9.1.2.1 для оперативно ускоряемой прямонаправленной ступени ТЗНП.

9.3.2.2. Расчет параметров настройки разрешающего РНМ, которое контролирует телеускоряемую прямонаправленную ступень ТЗНП, по условию обеспечения чувствительности производится в соответствии с требованиями пункта 3.3.7.7 и указаниями пункта 4.5.2.2 для разрешающего РНМ.

9.3.2.3. Расчет параметров настройки блокирующего РНМ, которое используется в схемах ТУ, по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю в направлении, обратном защищаемой ЛЭП, в конце зоны срабатывания телеускоренной прямонаправленной ступени ТЗНП, установленной на противоположном конце ЛЭП, производится в соответствии с указаниями пункта 4.6.2.2.

9.3.2.4. Расчет тока срабатывания $3I_{0\text{уст обр}}^{\text{ТУ}}$ обратнонаправленной (или ненаправленной) ступени ТЗНП, которая используется в схемах ТУ, по условию согласования с прямонаправленной телеускоряемой ступенью ТЗНП, установленной на противоположном конце ЛЭП, производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст обр}}^{\text{ТУ}} \leq \frac{3I_{0\text{уст прям}}^{\text{ТУ}}}{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}}}, \quad (9.6)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным из диапазона 1,2–1,3 для всех устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению утроенных токов нулевой последовательности в месте установки защиты с прямонаправленной телеускоряемой ступенью ТЗНП и защиты с обратнонаправленной (или ненаправленной) ступенью ТЗНП при КЗ на землю в конце зоны срабатывания прямонаправленной ступени ТЗНП.

Для одиночных ЛЭП и параллельных ЛЭП без емкостной проводимости $k_T = 1$, для ЛЭП с многосторонним питанием и ЛЭП с ответвлениями при наличии Т с заземленными нейтральными на ПС ответвлений расчетным является k_T в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наименьший ток срабатывания согласно (9.6).

9.3.2.5. Расчет тока срабатывания $3I_{0уст}^{ТУ}$ прям телеускоряемой прямонаправленной ступени ТЗНП и тока срабатывания $3I_{0уст}^{ТУ}$ обратнаправленной (или ненаправленной) ступени ТЗНП по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме производится по выражению (3.33) в соответствии с указаниями пункта 3.3.6.1.

9.4. Расчет параметров настройки ступени ТЗНП, ускоряемой от защиты параллельной ЛЭП

9.4.1. Условия применения ускорения от защиты параллельной ЛЭП

Чувствительность и быстродействие ступеней ТЗНП параллельных ЛЭП могут быть повышены применением ускорения одной из ступеней ТЗНП с контролем срабатывания блокирующего РНМ нулевой последовательности защиты параллельной ЛЭП (далее – ускорение от защиты параллельной ЛЭП). Как правило, ускоряется прямонаправленная третья ступень ТЗНП с надежным охватом защищаемой ЛЭП или отдельная, специально предназначенная для этих целей ускоряемая ступень ТЗНП.

Условия применения данного вида ускорения приводятся на примере участка электрической сети из двух параллельных ЛЭП. Рассматриваются дополнительные расчетные условия для выбора параметров настройки третьей ступени ТЗНП защиты 10, установленной на ЛЭП Л-5 со стороны ПС Б, которая имеет ускорение от защиты 2 параллельной ЛЭП Л-1 (рисунок 9.1).

Расчетные условия для третьей ступени ТЗНП защиты 10 рассматриваются с целью дополнения пункта 6.3.2.4 раздела 6, в котором приводятся указания по расчету параметров настройки ступеней ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 по условию согласования с третьей ступенью ТЗНП защиты 10, ускоряемой от защиты параллельной ЛЭП.

9.4.1.1. Применение ускорения от защиты параллельной ЛЭП в случае, когда первичная схема соединений на ПС А и ПС Б обеспечивает параллельную работу ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-10 в нормальной и всех ремонтных схемах сети.

Если параллельные ЛЭП Л-1 и Л-5 с двух сторон линий зафиксированы за одной системой (секцией) шин, на ПС А и ПС Б отсутствуют ШСВ (СВ) или возможные ремонтные схемы, когда нарушается параллельная работа ЛЭП, в этом случае первичная схема соединений на ПС А и ПС Б обеспечивает

параллельную работу рассматриваемых ЛЭП в нормальной и всех ремонтных схемах сети.

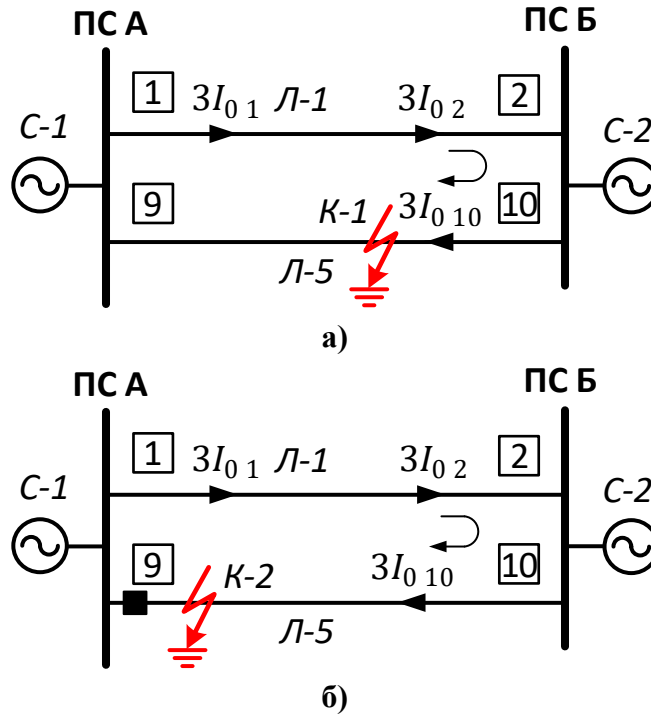


Рисунок 9.1. Условия для реализации ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 с контролем срабатывания блокирующего РНМ защиты 2 ЛЭП Л-1

В режиме параллельной работы ЛЭП Л-1 и Л-5 ускорение третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП реализуется только при КЗ на землю на защищаемой ЛЭП Л-5 и направлении токов нулевой последовательности, как показано на рисунке 9.1 («а», «б»):

- при КЗ на землю на ЛЭП-5 вблизи шин ПС Б (точка К-1);
- при КЗ на землю в любой точке ЛЭП Л-5 и каскадном отключении повреждения со стороны ПС А (точка К-2).

Поскольку ускорение третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП произойдет только при КЗ на землю на защищаемой ЛЭП, не требуется производить дополнительное согласование ускоряемой третьей ступени ТЗНП защиты 10 по току срабатывания со ступенями ТЗНП ЛЭП Л-1 и ТЗНП присоединений, отходящих от ПС А.

Выдержку времени ускорения третьей ступени ТЗНП $T_{\text{уск } 10}^{\text{III}}$ в рассматриваемом случае рекомендуется принять равной ступени селективности ΔT , рассчитанной по выражению (5.21) согласно указаниям пункта 5.3.2.9, для согласования по времени действия с быстродействующей защитой ЛЭП Л-5.

9.4.1.2. Применение ускорения от защиты параллельной ЛЭП в случае, когда первичная схема соединений на ПС А и ПС Б не обеспечивает параллельную работу ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-10.

Если ЛЭП Л-1 и Л-5 зафиксированы за разными системами (секциями) шин, то при отключении ШСВ на ПС А или на ПС Б создаются условия для неселективной работы ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП Л-1 при внешних КЗ на землю (К-3, рисунок 9.2 («а», «б»)) и излишнего отключения неповрежденной ЛЭП Л-5.

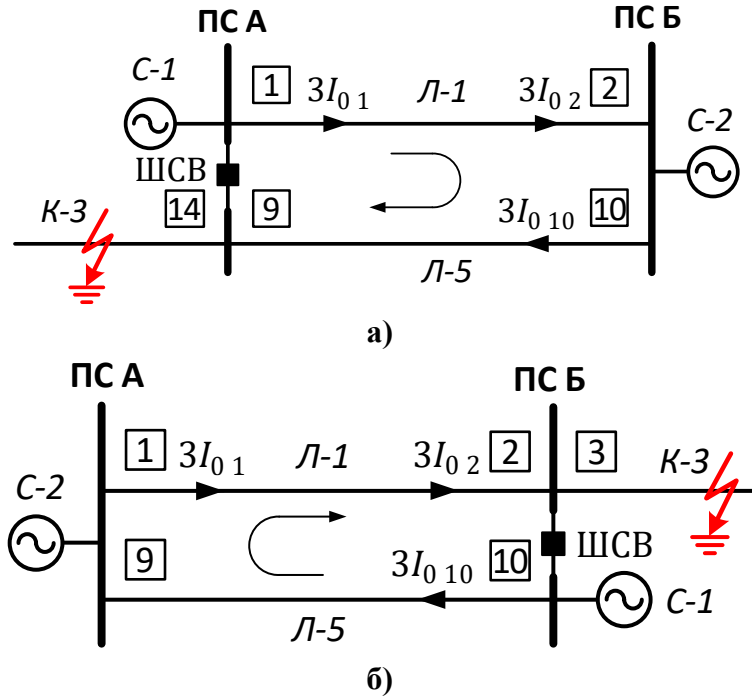


Рисунок 9.2. Условия для неселективной работы ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 при нарушенной параллельности ЛЭП

При нарушении режима параллельной работы ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-5 ускорение третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП должно быть выведено или обеспечена селективная работа ускоряемой ступени ТЗНП при внешних КЗ на землю в рассматриваемом режиме параметрами настройки ускоряемой ступени ТЗНП.

1) Если вывод ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 реализован автоматически с использованием контакта реле положения «Включено» ШСВ (СВ) ПС Б, то при внешних КЗ на землю на присоединениях, отходящих от ПС Б (К-3, рисунок 9.2 «б») не требуется производить дополнительное согласование ускоряемой третьей ступени ТЗНП защиты 10 по току срабатывания и выдержке времени с ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1, а также ТЗНП присоединений, отходящих от ПС А.

В этом случае выдержка времени ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 $T_{\text{уск } 10}^{\text{III}}$ принимается равной ступени селективности ΔT , которая рассчитывается по выражению (5.21) согласно указаниям пункта 5.3.2.9:

- для согласования по времени с быстродействующими защитами ЛЭП Л-1, ЛЭП Л-5 и ДЗШ (ДЗО) на ПС А и ПС Б;
- для предотвращения возможного неселективного действия ускорения при отключении внешнего КЗ на землю быстродействующими защитами смежных присоединений с действием на отключение ШСВ.

2) Если вывод ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 реализуется оперативно (например, при отключении ШСВ на ПС А), в этом случае для предотвращения неселективной работы ускорения при внешних КЗ на землю необходимо в рассматриваемых режимах нарушения параллельной работы ЛЭП выполнить согласование третьей ступени ТЗНП защиты 10 по току срабатывания с ТЗНП присоединений, отходящих от ПС А (для случая внешнего КЗ на землю К-3, рисунок 9.2 «а»), а также с ТЗНП защиты 1 ЛЭП Л-1 (для случая внешнего КЗ на землю К-3, рисунок 9.2 «б»).

В этом случае выдержка времени ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 рассчитывается по выражению:

$$T_{\text{уск } 10}^{III} \geq T_{\text{уст}}^N + \Delta T + T_{\text{УРОВ}}, \quad (9.7)$$

где $T_{\text{уст}}^N$ – время действия ступени ТЗНП, с которой производится согласование по току срабатывания в режимах нарушения параллельной работы ЛЭП Л-1 и Л-5;

ΔT – степень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) согласно указаниям пункта 5.3.2.9;

$T_{\text{УРОВ}}$ – выдержка времени УРОВ выключателей смежных присоединений.

3) Если при нарушении режима параллельной работы ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-5 обеспечивается селективная работа ускорения при внешних КЗ на землю параметрами настройки ускоряемой третьей ступени ТЗНП защиты 10 в нормальной схеме и возможных ремонтных схемах сети, то допускается оставить в работе данный вид ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 ЛЭП Л-5 от защиты параллельной ЛЭП Л-1.

В целях снижения выдержки времени ускорения $T_{\text{уск } 10}^{III}$ третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП допускается в выражении (9.7) не учитывать время УРОВ при наличии на смежных присоединениях основной быстродействующей защиты, а также если неселективная работа ускорения при внешнем КЗ на землю в случае отказа выключателя смежного присоединения не приводит к тяжелым последствиям (разрыв транзита, погашение ПС и т.д.). В этом случае возможное неселективное действие ускоряемой ступени ТЗНП необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

При подключении ТЗНП к выносным ТТ и возникновении КЗ на землю между линейным выключателем и ТТ (К-4, рисунок 9.3) также создаются

условия для неселективной работы ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 при КЗ на параллельной ЛЭП Л-1.

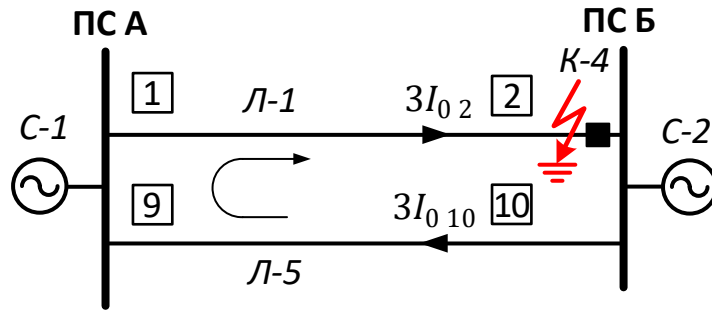


Рисунок 9.3. Условия для неселективной работы ускоряемой третьей ступени ТЗНП защиты 10 при КЗ на землю на ЛЭП Л-1 между выключателем и ТТ

Для предотвращения неселективного действия защиты в указанном случае в схеме ускорения третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защит параллельной ЛЭП используется контакт реле положения «Включено» выключателя параллельной ЛЭП.

При подключении ТЗНП к ТТ, встроенным во вводы линейного выключателя, вероятность возникновения КЗ между выключателем и ТТ практически равна нулю.

Если на ПС А или ПС Б допускается длительная раздельная работа систем (секций) шин без их объединения при отключении ШСВ (СВ), в этом случае ускорение третьей ступени ТЗНП от защиты параллельной ЛЭП не применяется.

При наличии на параллельных ЛЭП проходных ПС ускорение третьей ступени ТЗНП защиты 10 от защиты параллельной ЛЭП применять не рекомендуется, поскольку при КЗ на землю на ЛЭП Л-6 и каскадном отключении повреждения со стороны ПС А, действие ускорения приведет к погашению ПС Д (К-5, рисунок 9.4). Для данной схемы ускорение третьих ступеней ТЗНП от защиты параллельной ЛЭП применимо для защиты 1 и защиты 2 ЛЭП Л-1.

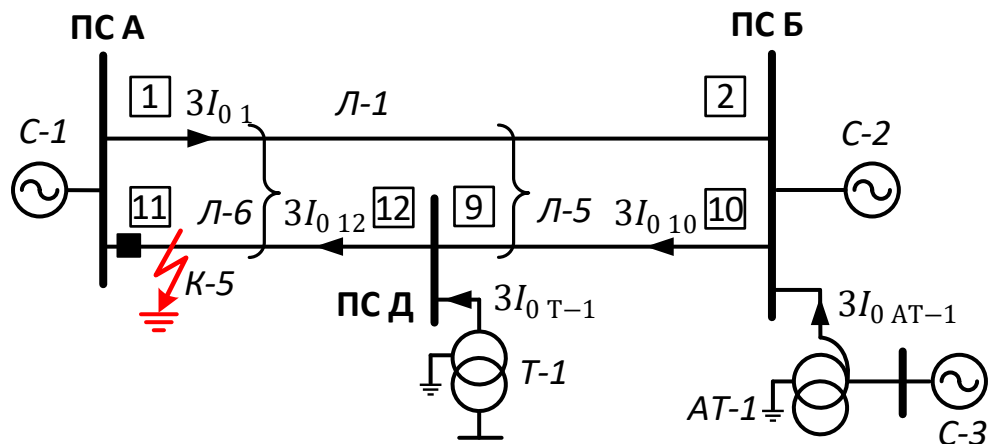


Рисунок 9.4. Условия для погашения потребителей ПС Д при работе ускоряемой третьей ступени ТЗНП защиты 10

10. Расчет и выбор параметров настройки МФТО ЛЭП

10.1. Назначение и измерительные органы МФТО

Для ликвидации близких КЗ, сопровождающихся значительными токами и снижением напряжения в сети, в устройствах РЗ ЛЭП 110 кВ и выше применяется МФТО.

Основное требование, предъявляемое к МФТО, – обеспечение селективного отключения междуфазных КЗ в начале защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

МФТО в устройствах РЗ ЛЭП 110 кВ и выше выполняется ненаправленной, что позволяет оставаться защите в работе при неисправностях в цепях напряжения, в отличие от ДЗ ЛЭП.

МФТО надежно работает при металлическом трехфазном КЗ в месте установки защиты при снижении напряжения до нуля, когда для обеспечения селективной работы направленной ступени ДЗ требуются специальные мероприятия.

МФТО обеспечивает отключение близких КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени, что важно для сохранения динамической устойчивости работы генерирующего оборудования, уменьшения объема повреждений как в месте КЗ, так и на оборудовании, по которому протекает ток КЗ.

При выводе ЛЭП в ремонт, когда она отключается линейным разъединителем, а выключатели линии остаются включенными (например, при полуторной схеме первичных соединений), МФТО может использоваться в качестве ТЗО ЛЭП.

Недостатком МФТО является зависимость зоны охвата защищаемой ЛЭП от режима работы сети.

В устройствах РЗ ЛЭП 110 кВ и выше на электромеханической и микроэлектронной элементной базе МФТО, как правило, включается на токи фаз А и С, вторичные цепи ТТ и токовых реле соединяются в неполную звезду (двухфазная, двухрелейная схема). При междуфазных КЗ и однофазных КЗ на землю на фазах А или С и токе, превышающем ток срабатывания МФТО хотя бы в одной из фаз, защита действует на отключение. При однофазном КЗ на землю на фазе В защита не работает, поэтому МФТО применяется в качестве резервной защиты ЛЭП от междуфазных КЗ.

На ЛЭП 330 кВ и выше с устройствами ОАПВ МФТО действует на отключение через избирательные органы ОАПВ.

В устройствах РЗ ЛЭП на МП элементной базе МФТО содержит три токовых измерительных органа, которые могут включаться на токи трех фаз или на разность фазных токов.

При включении МФТО на токи трех фаз или на разность фазных токов защита действует при всех видах КЗ.

В устройствах РЗ 330 кВ и выше с устройствами ОАПВ для обеспечения действия МФТО только при междуфазных КЗ реализован мажоритарный

принцип действия: для срабатывания защиты необходимо, чтобы ток не менее чем в двух фазах превысил ток срабатывания МФТО.

В МП устройствах РЗ ЛЭП 330 кВ и выше, в которых МФТО включается на фазные токи и не реализован мажоритарный принцип действия или защита действует на отключение трех фаз помимо избирателя поврежденной фазы, для исключения трехфазного отключения при близких однофазных КЗ на землю МФТО выполняется с задержкой на срабатывание (порядка 0,2 с) с тем, чтобы фазоселективные защиты успели подействовать на отключение раньше.

На коротких ЛЭП 110 кВ и выше с двусторонним питанием зачастую невозможно обеспечить одновременно селективность МФТО при внешних КЗ и чувствительность при трехфазных КЗ в начале защищаемой ЛЭП даже в нормальной схеме сети. В этом случае МФТО нормально выведена, но может автоматически вводиться в работу на ограниченное время при включении ЛЭП под напряжение [9].

В составе МП устройств РЗ ЛЭП, как правило, предусматривается несколько ступеней МФТО с различным функциональным назначением:

1) Ступень МФТО, которая постоянно введена в работу и обеспечивает селективное отключение междуфазных КЗ в начале защищаемой ЛЭП без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени на срабатывание.

2) Чувствительная ступень МФТО, которая автоматически вводится в работу на ограниченное время (0,5–1,0 с) при включении выключателя ЛЭП от устройства АПВ или от ключа управления.

В устройствах РЗ ЛЭП, в которых реализован контроль отсутствия напряжения на линии, чувствительная ступень МФТО автоматически вводится в работу только при включении ЛЭП под напряжение. Время, на которое чувствительная ступень МФТО вводится в работу, должно обеспечивать ее вывод из действия до замыкания ЛЭП в транзит.

В устройствах РЗ ЛЭП, в которых по техническим причинам не реализован контроль отсутствия напряжения на линии, чувствительная ступень МФТО автоматически вводится в работу на ограниченное время при включении выключателя ЛЭП от устройства АПВ или от ключа управления при включении ЛЭП под напряжение, а также при замыкании ЛЭП в транзит.

10.2. Общие указания по расчету

Общие указания по расчету и выбору параметров настройки постоянно введенной в работу ступени МФТО и чувствительной ступени МФТО, которая автоматически вводится в работу на ограниченное время, приводятся на примере защиты 1 одиночной ЛЭП Л-1 с ответвлениями с двусторонним питанием для одного из вариантов типовой конфигурации электрической сети (рисунок 10.1).

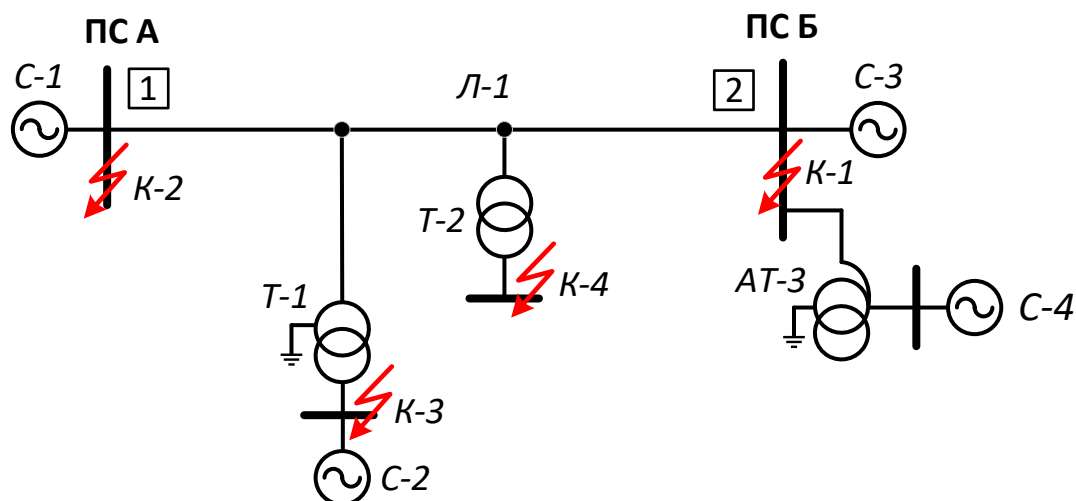


Рисунок 10.1. Расчетные условия по обеспечению селективной работы МФТО одиночной ЛЭП с ответвлениями при внешних КЗ

Приведенный на рисунке 10.1 пример типовой конфигурации участка электрической сети применим также для ЛЭП, отходящих от шин электрических станций.

Расчетные условия и выбор параметров настройки МФТО для других типов ЛЭП и конфигураций электрической сети, которые приведены на рисунках 5.1, 6.1, 7.1 и 8.1 и рассматриваются в разделах 5–8, аналогичны рассматриваемому примеру.

При выполнении расчетов необходимо учитывать следующие указания:

1) Расчетные выражения для выбора тока срабатывания ступеней МФТО приводятся в первичных величинах для защиты, включенной на фазные токи. В случае включения МФТО на разность фазных токов принятое фазное значение тока срабатывания необходимо умножить на $\sqrt{3}$.

2) При выполнении расчетов по условиям отстройки при КЗ вне защищаемой ЛЭП необходимо рассматривать виды КЗ, на которые реагируют измерительные органы МФТО в конкретном устройстве РЗ.

3) Расчет параметров настройки МФТО параллельных ЛЭП по условиям отстройки необходимо производить с учетом ремонтной схемы при отключении параллельной ЛЭП.

4) Расчет параметров настройки МФТО ЛЭП с ответвлениями по условию отстройки необходимо производить с учетом особенностей режимов их работы:

- со стороны ПС на ответвлениях все источники отключены либо отсутствуют;

- на части ПС на ответвлениях источники отключены, на других включено реально возможное количество источников;

- защищаемая ЛЭП работает в режиме, когда она отключена с одной из основных питающих сторон, противоположной месту установки рассматриваемой защиты;

– при расчете параметров настройки МФТО параллельных ЛЭП с ответвлениями в случае параллельной работы Т на ответвлениях на стороне НН (СН), а также в случае наличия ремонтной перемычки на стороне ВН ПС ответвления, необходимо рассматривать режим, когда параллельная ЛЭП отключена, а подключенные к ней в нормальном режиме Т на ответвлениях переведены на питание от защищаемой ЛЭП;

– если со стороны ПС на ответвлениях включены источники, мощностью соизмеримые с источниками со стороны основных питающих концов ЛЭП, такая линия считается с многосторонним питанием и МФТО может быть установлена на всех питающих концах. В этом случае расчетные условия для выбора параметров настройки МФТО, установленной со стороны ПС на ответвлении при любой схеме электрических соединений ПС, аналогичны рассмотренным в настоящем разделе.

5) Указания по замедлению действия МФТО на отключение.

На ЛЭП с ответвлениями при КЗ вблизи шин ВН ПС на ответвлении (на ошиновке ВН, на выводах или в обмотке ВН Т) практически одновременно срабатывают основные защиты Т и быстродействующие защиты ЛЭП. При этом возможна ситуация, когда отключение ЛЭП от быстродействующих защит произойдет быстрее, чем основные защиты Т подействуют на отключение (на отключение выключателя или на включение короткозамыкателя на стороне ВН). Это может привести к подаче напряжения на оставшийся включенным поврежденный Т устройством АПВ ЛЭП.

Для предотвращения подачи напряжения на оставшийся включенным поврежденный Т целесообразно действие на отключение всех быстродействующих защит ЛЭП, в том числе постоянно введенной в работу ступени МФТО, замедлять до 0,12 с (на время, обеспечивающее надежное срабатывание основной защиты Т) при условии обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования при ликвидации КЗ с указанным замедлением.

При этом возможное излишнее действие МФТО при КЗ вблизи шин ВН ПС на ответвлении необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

В случае если ток срабатывания МФТО отстроен от КЗ на стороне ВН Т на ответвлении, указанное замедление действия МФТО на отключение вводить не следует.

10.3. Перечень расчетных условий

В таблицах 10.1, 10.2 и 10.3 приведены перечни расчетных условий для выбора параметров настройки постоянно введенной в работу ступени МФТО и чувствительной ступени МФТО, которая автоматически вводится в работу на ограниченное время, в составе защиты 1 ЛЭП Л-1, установленной со стороны ПС А (рисунок 10.1):

- в таблице 10.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки МФТО, постоянно введенной в работу;
- в таблице 10.2 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки чувствительной ступени МФТО, которая автоматически вводится в работу при включении ЛЭП Л-1 под напряжение в устройствах РЗ ЛЭП, где реализован контроль отсутствия напряжения на ЛЭП;
- в таблице 10.3 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки чувствительной ступени МФТО, которая автоматически вводится в работу при включении выключателя ЛЭП Л-1 в устройствах РЗ ЛЭП, где не реализован контроль отсутствия напряжения на ЛЭП.

Таблица 10.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки ступени МФТО, постоянно введенной в работу

№ п/п	Расчетные условия
1	Отстройка от КЗ на шинах ПС Б и на шинах ПС А
2	Отстройка от КЗ на шинах СН (НН) ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1
3	Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенным к ней ненагруженным Т (АТ)
4	Отстройка от токов самозапуска электродвигателей нагрузки, питаемой от Т на ПС ответвлений ЛЭП Л-1
5	Отстройка от максимального тока включения при замыкании ЛЭП Л-1 в транзит
6	Отстройка от максимального тока при качаниях или асинхронном режиме
7	Отстройка от максимального тока нагрузочного режима работы энергосистемы
8	Проверка обеспечения чувствительности при трехфазных КЗ в начале ЛЭП Л-1

Таблица 10.2

Расчетные условия для выбора параметров настройки чувствительной ступени МФТО, которая автоматически вводится в работу при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с контролем отсутствия напряжения на ЛЭП Л-1

№ п/п	Расчетные условия
1	Обеспечение чувствительности при междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП (на каждом конце защищаемой ЛЭП при наличии ответвлений) при включении ЛЭП Л-1 под напряжение
2	Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенным к ней ненагруженным Т (АТ)

№ п/п	Расчетные условия
3	Отстройка от токов самозапуска электродвигателей нагрузки, питаемой от Т на ПС ответвлений ЛЭП Л-1
4	Отстройка от емкостного тока линии при включении ЛЭП Л-1 под напряжение

Таблица 10.3

Расчетные условия для выбора параметров настройки чувствительной ступени МФТО, которая автоматически вводится в работу при включении выключателя ЛЭП Л-1 без контроля отсутствия напряжения на ЛЭП Л-1

№ п/п	Расчетные условия
1	Обеспечение чувствительности при междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП (на каждом конце защищаемой ЛЭП при наличии ответвлений) при включении ЛЭП Л-1 под напряжение
2	Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными Т (АТ)
3	Отстройка от токов самозапуска электродвигателей нагрузки, питаемой от Т на ПС ответвлений ЛЭП Л-1
4	Отстройка от максимального тока включения при замыкании ЛЭП Л-1 в транзит
5	Отстройка от максимального тока нагрузочного режима работы энергосистемы

Примечание. Под сокращением «ПС» следует также понимать электростанции.

10.4. Расчет и выбор параметров настройки ступени МФТО, постоянно введенной в работу

10.4.1. Степень МФТО защиты 1 ЛЭП Л-1, постоянно введенная в работу, выполняется без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени.

10.4.2. Расчет тока срабатывания $I_{\text{МФТО}}$ постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от максимального тока при КЗ на шинах ПС Б и на шинах ПС А (строка 1, таблица 10.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МФТО}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}}, \quad (10.1)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при КЗ в расчетных точках (К-1 и К-2, рисунок 10.1) в расчетном по отстройке режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается в зависимости от типа устройства РЗ равным:

– для устройств РЗ ЛЭП 110–220 кВ на электромеханической, микроэлектронной и МП базе:

$$k_{\text{отс}} = 1,3;$$

– для устройств РЗ ЛЭП 330 кВ и выше на электромеханической базе с применением реле типа РТ-40, подключенных к ТТ с номинальным вторичным током 1 А:

$$k_{отс} = 1,4;$$

– для устройств РЗ ЛЭП 330 кВ и выше на микроэлектронной и МП базе:

$$k_{отс} = 1,3.$$

При выполнении расчетов рассматриваются виды КЗ, на которые реагирует защита в конкретном устройстве РЗ.

Как правило, расчетным видом повреждения является металлическое трехфазное КЗ. В некоторых случаях, например, на ЛЭП, отходящих от шин электрических станций, ток в поврежденной фазе ЛЭП при внешнем однофазном или двухфазном КЗ на землю может оказаться больше, чем при трехфазном КЗ.

При выполнении расчетов по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б следует учитывать максимальный режим системы со стороны рассматриваемой защиты и минимальный режим системы с противоположной стороны ЛЭП.

При выполнении расчетов по условию отстройки от КЗ на шинах ПС А следует учитывать минимальный режим системы со стороны рассматриваемой защиты и максимальный режим системы с противоположной стороны ЛЭП.

Если ЛЭП Л-1 выполняет АПВ шин ПС Б, следует учитывать режим опробования после работы ДЗШ (ДЗО), когда все присоединения ПС Б, кроме защищаемой ЛЭП, отключены.

Для ЛЭП без ответвлений допускается не учитывать режим опробования шин ПС Б, если это приводит к потере эффективности МФТО, при этом возможность неселективного действия защиты в указанном случае в соответствии с Методическими указаниями [10] следует учесть в перечне вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

10.4.3. Расчет тока срабатывания постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах НН (СН) ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1 (строка 2, таблица 10.1) производится по выражению:

$$I_{МФТО} \geq k_{отс} \cdot I_{кз макс}, \quad (10.2)$$

где $I_{кз макс}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты при металлическом трехфазном КЗ в расчетной точке в расчетном по отстройке режиме (К-3, К-4, рисунок 10.1);

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается в зависимости от типа устройства РЗ в соответствии с пунктом 10.4.2.

Указанные значения коэффициентов отстройки принимаются в случае, если Т (АТ) на ПС ответвлений, имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями,

которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН. Расчет реактивных сопротивлений $T(АТ)$ при наличии РПН производится в соответствии с Приложением В к Методическим указаниям [3], где приведены расчетные выражения и примеры расчета.

В случае если сопротивления $T(АТ)$ в схеме замещения соответствуют средним положениям РПН, значения коэффициентов отстройки требуют уточнения в зависимости от соотношения сопротивлений участка защищаемой ЛЭП и сопротивления $T(АТ)$ ПС на ответвлении.

При выполнении расчетов по рассматриваемому условию следует учитывать режим, когда ЛЭП с ответвлениями работает в режиме одностороннего питания.

10.4.4. Расчет тока срабатывания постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 ЛЭП с ответвлениями при наличии на ПС ответвлений выключателей на стороне ВН допускается производить по условию отстройки от КЗ на шинах ВН ПС на ответвлениях по выражению (10.2). Это может быть целесообразно при наличии на ЛЭП нескольких отпаечных ПС, и отключение КЗ на стороне ВН одной из них не должно приводить к обесточиванию других.

Отстройка тока срабатывания МФТО защиты 1 от КЗ на шинах ВН ПС ответвлений может привести к существенному сокращению зоны охвата ЛЭП. Возможность применения данного расчетного условия необходимо оценивать, исходя из конкретных схемно-режимных условий и состава устройств РЗ ЛЭП Л-1 и оборудования ПС на ответвлениях.

10.4.5. Расчет тока срабатывания постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от БТН $T(АТ)$ (строка 3, таблица 10.1) производится согласно указаниям приложения Б, если возможен режим включения ненагруженного $T(АТ)$ под напряжение через рассматриваемую ЛЭП Л-1.

10.4.6. Расчет тока срабатывания постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от токов самозапуска двигателей нагрузки, питаемой от всех $T(АТ)$, присоединенных к ответвлениям ЛЭП Л-1 при включении линии под напряжение от устройства АПВ (строка 4, таблица 10.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МФТО}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{нагр сз}}, \quad (10.3)$$

где $I_{\text{нагр сз}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты в рассматриваемом режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

Коэффициент возврата в выражении (10.3) следует учитывать в случае, если постоянно введенная ступень МФТО выполняется с выдержкой времени на срабатывание.

Режим самозапуска является более тяжелым режимом, чем нормальный пуск отдельных двигателей, и характеризуется значительным снижением напряжения и увеличением тока, что обусловлено одновременным разворотом большого числа двигателей, а также наличием подключенной нагрузки.

Характер протекания режима самозапуска зависит от длительности перерыва питания, типа двигателей (синхронные, асинхронные), количественного содержания двигательной нагрузки и состава потребителей энергорайона.

Расчет значения тока самозапуска $I_{\text{нагр сз}}$ производится с учетом рекомендаций [12]:

1) При отсутствии информации о подключенной двигательной нагрузке (или при отсутствии необходимости точного учета двигательной нагрузки):

– для бытовой нагрузки, имеющей в своем составе малую долю двигательной нагрузки

$$I_{\text{нагр сз}} = k_{\text{сз}} \cdot I_{\Sigma \text{нагр}}, \quad (10.4)$$

где $I_{\Sigma \text{нагр}}$ – ток, равный сумме фазных токов нагрузки, питающейся от Т на ответвлениях;

$k_{\text{сз}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока $I_{\Sigma \text{нагр}}$ в режиме самозапуска за счет одновременного пуска всех тех двигателей, которые затормозились при снижении напряжения во время КЗ, принимается равным 1,2–1,3 согласно [12];

– для обобщенной нагрузки (промышленная нагрузка, имеющая в своем составе значительное число электродвигателей напряжением 0,4 кВ, но практически не имеющая двигателей напряжением 3–10 кВ)

$$I_{\text{нагр сз}} = \frac{U_{\text{мин сз}}}{\sqrt{3} \cdot X_{\text{сз}}}, \quad (10.5)$$

где $U_{\text{мин сз}}$ – минимальное междуфазное напряжение в режиме самозапуска, может быть принято равным 0,8–0,9 от минимального рабочего напряжения в нагрузочном режиме;

$X_{\text{сз}}$ – эквивалентное сопротивление схемы прямой последовательности в режиме самозапуска, рассчитывается по выражению:

$$X_{\text{сз}} = X_{\text{с}} + X_{\text{Т экв}} + X_{\text{дв}}, \quad (10.6)$$

где $X_{\text{Т экв}}$ – сопротивление прямой последовательности, рассчитанное с помощью эквивалентирования участков ЛЭП Л-1 и Т ответвлений с подключенной двигательной нагрузкой;

$X_{\text{с}}$ – сопротивление прямой последовательности примыкающей энергосистемы;

$X_{дв}$ – эквивалентное сопротивление всех полностью заторможенных электродвигателей, участвующих в режиме самозапуска:

$$X_{дв} = \frac{X_{нагр}^* \cdot U_{ном дв}}{\sqrt{3} \cdot I_{\Sigma нагр ном}}, \quad (10.7)$$

где $X_{нагр}^*$ – относительное сопротивление обобщенной нагрузки при самозапуске принимается равным 0,35 о.е. согласно [8];

$U_{ном дв}$ – номинальное междуфазное напряжение электродвигателей;

$I_{\Sigma нагр ном}$ – ток, равный сумме номинальных токов электродвигателей, участвующих в самозапуске.

2) При наличии информации о подключении к Т ответвлений электродвигателей напряжением 3–10 кВ, ток самозапуска рассчитывается по выражению (10.5), где $X_{сз}$ рассчитывается по выражению (10.6), а сопротивление всех участвующих в самозапуске электродвигателей рассчитывается по выражению:

$$X_{дв} = \frac{U_{ном дв}}{\sqrt{3} \cdot I_{\Sigma пуск дв}}, \quad (10.8)$$

$I_{\Sigma пуск дв}$ – ток, равный сумме пусковых токов электродвигателей, участвующих в самозапуске;

$U_{ном дв}$ – номинальное междуфазное напряжение электродвигателей.

Для каждого электродвигателя пусковой ток определяется по выражению:

$$I_{пуск дв} = k_{пуск} \cdot I_{ном дв}, \quad (10.9)$$

$k_{пуск}$ – кратность пускового тока электродвигателя;

$I_{ном дв}$ – номинальный ток электродвигателя.

10.4.7. Расчет тока срабатывания постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от максимального тока включения при замыкании ЛЭП в транзит (строка 5, таблица 10.1) производится по выражению:

$$I_{МФТО} \geq k_{отс} \cdot I_{вкл макс}, \quad (10.10)$$

где $I_{вкл макс}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты в рассматриваемом режиме, определяется по выражению:

$$I_{вкл макс} = \frac{E_{с-1} - E_{с-2}}{Z_{1 с-1} + Z_{1 л} + Z_{1 с-2}}, \quad (10.11)$$

где $E_{с-1}$, $E_{с-2}$ – ЭДС эквивалентных генераторов примыкающих энергосистем (фазные значения);

$Z_{1 с-1}$, $Z_{2 с-1}$, $Z_{1 л}$ – сопротивления прямой последовательности примыкающих энергосистем и ЛЭП Л-1.

В выражении (10.11) должна быть учтена максимально возможная разность углов между эквивалентными ЭДС в режиме замыкания ЛЭП в транзит от устройства АПВ или при оперативном включении линии.

Для ЛЭП, где возможно несинхронное АПВ, разность углов между эквивалентными ЭДС принимается равной 180° .

Коэффициент отстройки в выражении (10.10) принимается в зависимости от типа устройства РЗ в соответствии с пунктом 10.4.2.

10.4.8. Расчет тока срабатывания постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от максимального тока в асинхронном режиме или режиме синхронных качаний, если они возможны на защищаемой ЛЭП Л-1 (строка 6, таблица 10.1), производится по выражению:

$$I_{\text{МФТО}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кач макс}}, \quad (10.12)$$

где $I_{\text{кач макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты в рассматриваемом режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2–1,3 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

10.4.9. Расчет тока срабатывания постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от максимального тока нагрузочного режима работы энергосистемы (строка 7, таблица 10.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МФТО}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{нагр макс}}, \quad (10.13)$$

где $I_{\text{нагр макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 в нагрузочном режиме, определяется в соответствии с Методическими указаниями [6];

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается 1,2 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

Коэффициент возврата в выражении (10.13) следует учитывать в случае, если постоянно введенная ступень МФТО выполняется с выдержкой времени на срабатывание.

10.4.10. Ток срабатывания постоянно введенной в работу ступени МФТО защиты 1 принимается максимальным из значений, рассчитанным согласно пунктам 10.4.2–10.4.9.

10.4.11. Проверка чувствительности постоянно введенной в работу ступени МФТО производится при металлическом трехфазном КЗ в начале ЛЭП Л-1 (строка 8, таблица 10.1) по выражению:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}}{I_{\text{МФТО}}}, \quad (10.14)$$

где $I_{\text{кз}}$ – фазный ток в месте установки защиты 1 при трехфазном КЗ в расчетной точке в нормальном режиме работы сети;

$I_{\text{МФТО}}$ – принятое значение тока срабатывания МФТО.

Постоянно введенная в работу ступень МФТО считается эффективной, если коэффициент чувствительности при трехфазном КЗ в начале защищаемой

ЛЭП в нормальной схеме сети составляет не менее 1,2 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

10.4.12. Если ток срабатывания $I_{\text{МФТО}}$ удовлетворяет всем требованиям отстройки согласно пунктам 10.4.2–10.4.9 и обеспечивается эффективность защиты, рассматриваемая ступень МФТО постоянно вводится в работу без выдержки времени на срабатывание.

Если отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными Т (АТ) (пункт 10.4.5) является определяющим условием при выборе тока срабатывания $I_{\text{МФТО}}$, допускается применение рассматриваемой ступени МФТО с выдержкой времени на срабатывание, обеспечивающей отстройку от БТН с учетом затухания его во времени.

10.5. Расчет и выбор параметров настройки ступени МФТО, которая вводится в работу при включении ЛЭП под напряжение с контролем отсутствия напряжения на включаемой ЛЭП

10.5.1. Чувствительная ступень МФТО защиты 1 ЛЭП Л-1 автоматически вводится в работу при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с контролем отсутствия напряжения на включаемой ЛЭП.

Основное требование, предъявляемое к чувствительной ступени МФТО, – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП в режиме опробования ЛЭП напряжением.

Время, на которое вводится чувствительная ступень МФТО, ориентировочно принимается равным 0,5–1 с, при этом необходимо обеспечить ее вывод из работы до замыкания ЛЭП Л-1 в транзит.

10.5.2. Расчет тока срабатывания $I_{\text{МФТО чув КОН}}$ чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию обеспечения чувствительности при двухфазных КЗ на каждом конце ЛЭП Л-1 при включении ЛЭП Л-1 под напряжение со стороны ПС А (строка 1, таблица 10.2) производится по выражению:

$$I_{\text{МФТО чув КОН}} \leq \frac{I_{\text{кз мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (10.15)$$

где $I_{\text{кз мин}}$ – минимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при двухфазном КЗ в расчетной точке в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,5.

При выполнении расчетов следует рассматривать минимальный режим энергосистемы со стороны ПС А.

10.5.3. Расчет тока срабатывания чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от БТН Т (АТ) (строка 2, таблица 10.2) производится согласно указаниям приложения Б, если возможен режим включения ненагруженного Т (АТ) под напряжение через рассматриваемую ЛЭП Л-1.

10.5.4. Расчет тока срабатывания чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от токов самозапуска двигателей нагрузки, питаемой от всех Т (АТ), присоединенных к ответвлениям ЛЭП Л-1, при включении линии под напряжение от устройства АПВ (строка 3, таблица 10.2) производится по выражению (10.3) в соответствии с указаниями пункта 10.4.6.

10.5.5. Расчет тока срабатывания чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от емкостного тока линии при включении ЛЭП Л-1 под напряжение (строка 4, таблица 10.2) производится по выражению:

$$I_{\text{МФТО чув КОН}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{емк}}, \quad (10.16)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, который учитывает необходимый запас на увеличение емкостного тока в переходном режиме включения ЛЭП под напряжение и принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше равным:

$$k_{\text{отс}} = 2,0 - 2,5;$$

$I_{\text{емк}}$ – емкостный ток ЛЭП, рассчитывается по выражению (3.27).

При наличии на ЛЭП 330 кВ и выше подключенных шунтирующих реакторов в выражении (10.16) учитывается нескомпенсированный емкостный ток ЛЭП.

10.5.6. Если ток срабатывания $I_{\text{МФТО чув КОН}}$ удовлетворяет всем требованиям отстройки согласно пунктам 10.5.3 – 10.5.5 и обеспечивается чувствительность согласно пункту 10.5.2, выдержка времени на срабатывание чувствительной ступени МФТО принимается равной:

- для ЛЭП 110 кВ и выше без ответвлений 0–0,05 с;
- для ЛЭП 110–220 кВ с ответвлениями 0,12–0,15 с.

Если при выполнении условия отстройки от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенными ненагруженными Т (АТ) (пункт 10.5.3) не выполняется требование по обеспечению чувствительности, отстройка от БТН обеспечивается выдержкой времени МФТО на срабатывание, с учетом затухания БТН во времени.

10.6. Расчет и выбор параметров настройки ступени МФТО, которая вводится в работу при включении выключателя ЛЭП без контроля отсутствия напряжения на ЛЭП

10.6.1. В устройствах РЗ ЛЭП, в которых по техническим причинам не реализован контроль отсутствия напряжения на линии, чувствительная ступень МФТО автоматически вводится в работу на ограниченное время при включении выключателя ЛЭП от устройства АПВ или от ключа управления при включении ЛЭП под напряжение, а также при замыкании ЛЭП в транзит.

Основное требование, предъявляемое к чувствительной ступени МФТО, – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП в режиме опробования ЛЭП напряжением.

Поскольку чувствительная ступень МФТО вводится в действие на ограниченное время (ориентировочно принимается равным 0,5 – 1 с), условия отстройки от тока в асинхронных режимах и режимах синхронных качаний не рассматриваются. Условия отстройки от тока при внешних КЗ на шинах ПС А, ПС Б и на шинах СН (НН) ПС на ответвлениях также не рассматриваются в целях обеспечения чувствительности ступени. Возможное излишнее действие защиты в указанных режимах необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10] внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

10.6.2. Расчет тока срабатывания $I_{\text{МФТО чув}}$ чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию обеспечения чувствительности при двухфазных КЗ на каждом конце ЛЭП Л-1 при включении ЛЭП Л-1 под напряжение со стороны ПС А (строка 1, таблица 10.3) производится по выражению (10.15) с учетом указаний пункта 10.5.2.

10.6.3. Расчет тока срабатывания $I_{\text{МФТО чув}}$ чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от БТН Т (АТ) (строка 2, таблица 10.3) производится согласно указаниям, приведенным в приложении Б, если возможен режим включения ненагруженного Т (АТ) под напряжение через рассматриваемую ЛЭП Л-1.

10.6.4. Расчет тока срабатывания $I_{\text{МФТО чув}}$ чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от токов самозапуска двигателей нагрузки, питаемой от всех Т (АТ) на ответвлениях ЛЭП Л-1, при включении ЛЭП Л-1 под напряжение от устройства АПВ (строка 3, таблица 10.3) производится по выражению (10.3) в соответствии с указаниями пункта 10.4.6.

10.6.5. Расчет тока срабатывания чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от максимального тока включения при замыкании ЛЭП Л-1 в транзит (строка 4, таблица 10.3) производится по выражению (10.10) в соответствии с указаниями пункта 10.4.7.

10.6.6. Расчет тока срабатывания чувствительной ступени МФТО защиты 1 по условию отстройки от максимального тока нагрузочного режима работы энергосистемы (строка 5, таблица 10.3) производится по выражению (10.13) в соответствии с указаниями пункта 10.4.9.

10.6.7. Если ток срабатывания $I_{\text{МФТО чув}}$ удовлетворяет всем требованиям отстройки согласно пунктам 10.6.3–10.6.6 и обеспечивается чувствительность согласно пункту 10.6.2, выдержка времени на срабатывание чувствительной ступени МФТО принимается равной:

- для ЛЭП 110 кВ и выше без ответвлений 0–0,05 с;
- для ЛЭП 110–220 кВ с ответвлениями 0,12–0,15 с.

Если при выполнении условия отстройки от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенными ненагруженными Т (АТ) (пункт 10.6.3) не выполняется требование по обеспечению чувствительности,

отстройка от БТН обеспечивается выдержкой времени МФТО на срабатывание, с учетом затухания БТН во времени.

11. Расчет параметров настройки токовых защит ШСВ (СВ)

11.1. Назначение и состав токовых защит ШСВ (СВ)

При наличии в первичной схеме распределительного устройства ПС или электростанции систем (секций) шин, работающих через ШСВ (СВ), необходимо обеспечить возможность сохранения в работе неповрежденной системы (секции) шин при повреждении на другой системе (секции) шин или отходящих от нее присоединениях. С этой целью токовые защиты ШСВ (СВ) должны действовать на отключение ШСВ (СВ):

- при КЗ на системе (секции) шин при отсутствии, отказе или выводе из действия ДЗШ;
- при КЗ на присоединениях, отходящих от системы (секции) шин, и отказах их выключателей, при отсутствии, отказе или выводе из работы УРОВ.

Исходя из условий применения токовых защит ШСВ (СВ), для расчета и выбора их параметров настройки используются различные расчетные условия.

Постоянно введенные в работу токовые защиты ШСВ (СВ) применяются:

- в случае отсутствия ДЗШ или УРОВ;
- с целью сокращения объема отключений в сети при отказе ДЗШ или отказе защит смежных присоединений;
- с целью повышения эффективности дальнего резервирования защит в смежной сети.

Если токовые защиты ШСВ (СВ) введены в работу постоянно, требуется обеспечить их селективность с резервными защитами отходящих от шин присоединений. Селективность и чувствительность резервных защит, установленных на противоположных концах отходящих от шин присоединений, обеспечивается с учетом деления сети защитами ШСВ (СВ).

Токовые защиты ШСВ (СВ), предназначенные для оперативного ввода, в случае вывода ДЗШ или УРОВ, должны обеспечивать требуемую чувствительность при всех видах КЗ на системе (секции) шин и действовать на отключение ШСВ (СВ) с минимально возможной выдержкой времени.

Как правило, на ШСВ (СВ) устанавливаются:

- двухступенчатая МТЗ;
- двухступенчатая или трехступенчатая ТЗНП.

При выполнении расчетов параметров настройки токовых защит ШСВ (СВ) допускается:

- не согласовывать выдержку времени срабатывания защит ШСВ (СВ) с резервными защитами смежных присоединений при оперативном вводе защит ШСВ (СВ) на время вывода из работы ДЗШ или УРОВ при наличии основных быстродействующих защит на всех смежных присоединениях;

– не выполнять согласование защит ШСВ (СВ) по току и времени срабатывания с резервными защитами смежных присоединений, если неселективное отключение ШСВ (СВ) при КЗ в смежной сети не приводит к прекращению электроснабжения потребителей или к разделению энергосистемы на изолированно работающие части;

– обеспечивать селективность токовых защит ШСВ (СВ) только в нормальной схеме сети, при этом необходимо учитывать минимальный состав генерирующего оборудования для тепловых электростанций, определенный по условиям работы оборудования или по условиям обеспечения надежного функционирования других устройств/функций РЗ.

11.2. Расчет и выбор параметров настройки МТЗ ШСВ (СВ)

11.2.1. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

В зависимости от типа применяемого устройства РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше токовые измерительные органы МТЗ ШСВ (СВ) могут включаться на токи двух или трех фаз. Защита может реагировать на фазные токи и/или разность фазных токов.

Расчетные выражения для выбора тока срабатывания ступеней МТЗ ШСВ (СВ) приводятся в первичных величинах для защиты, включенной на фазные токи.

При включении МТЗ на разность фазных токов принятое фазное значение тока срабатывания необходимо умножить на $\sqrt{3}$.

МТЗ ШСВ (СВ) может выполняться с пуском или без пуска по напряжению. Указания по применению пуска по напряжению приведены в пункте 11.2.6.

Указания по расчету и выбору параметров настройки двухступенчатой МТЗ ШСВ (СВ) приводятся для защиты 1, установленной на ПС А, для типовой схемы электрической сети (рисунок 11.1).

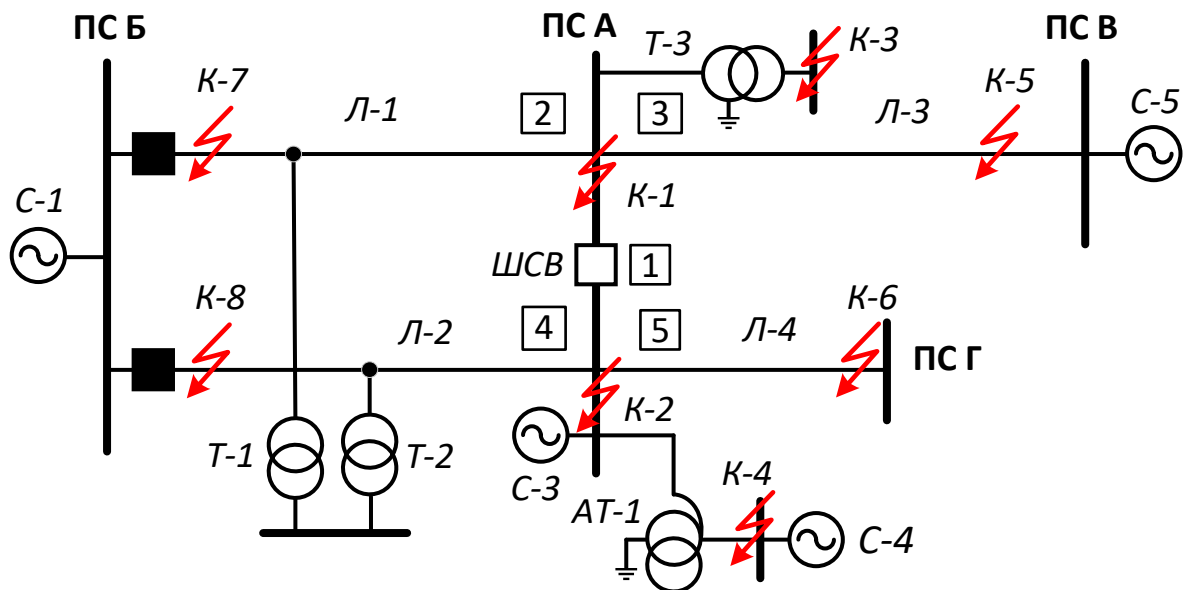


Рисунок 11.1. Типовая схема электрической сети

На ЛЭП Л-1, Л-2, Л-3 с двусторонним питанием в составе защиты 2, защиты 4 и защиты 3 установлены МФТО, ДЗ и ТЗНП.

На ЛЭП Л-4 с односторонним питанием в составе защиты 5 установлены МФТО, МТЗ и ТЗНП.

В таблице 11.1 приведен перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки двухступенчатой МТЗ ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу.

В таблице 11.2 приведен перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки двухступенчатой МТЗ ШСВ (СВ), предназначенной для оперативного ввода в работу.

Таблица 11.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки МТЗ ШСВ (СВ),
постоянно введенной в работу

№ п/п	Расчетные условия
1	1 степень защиты
1.1	Отстройка от КЗ на шинах смежного напряжения АТ-1, Т-3 ПС А
1.2	Согласование с 1 степенью ДЗ защиты 3, защиты 2 и защиты 4
1.3	Согласование с МФТО защиты 5
1.4	Согласование с 1 степенью ТЗНП защиты 3, защиты 2, защиты 4 и защиты 5
1.5	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными Т (АТ)
1.6	Отстройка от максимального тока при качаниях или асинхронном режиме
1.7	Отстройка от тока нагрузочных режимов работы энергосистем
1.8	Обеспечение чувствительности при двухфазном КЗ на шинах ПС А
2	2 степень защиты
2.1	Согласование со 2 (3) степенью ДЗ защиты 3, защиты 2 и защиты 4
2.2	Согласование с МТЗ защиты 5
2.3	Согласование со 2 (3) степенью ТЗНП защиты 3, защиты 2, защиты 4 и защиты 5
2.4	Согласование с ДЗ или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ АТ-1, Т-3 ПС А, действующими при КЗ в сети смежного напряжения
2.5	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными Т (АТ) при автоматическом или оперативном ускорении 2 степени МТЗ ШСВ (СВ)
2.6	Отстройка от тока нагрузочных режимов работы энергосистем
2.7	Обеспечение чувствительности при двухфазном КЗ на шинах ПС А и в зоне дальнего резервирования

Расчетные условия для выбора параметров настройки МТЗ ШСВ (СВ), предназначенной для оперативного ввода в работу

№ п/п	Расчетные условия
1	1 ступень защиты при выводе из работы ДЗШ или УРОВ
1.1	Обеспечение чувствительности при двухфазном КЗ на шинах ПС А
1.2	Отстройка от КЗ на шинах смежного напряжения АТ-1, Т-3 ПС А
1.3	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными Т (АТ)
1.4	Отстройка от максимального тока при качаниях или асинхронном режиме
1.5	Отстройка от максимального тока нагрузочного режима работы энергосистемы
2	2 ступень защиты при опробовании напряжением систем (секций) шин
2.1	Обеспечение чувствительности при двухфазном КЗ на шинах ПС А в режиме опробования напряжением систем (секций) шин ПС А
2.2	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными Т (АТ)

Примечание. Под сокращением «ПС» следует также понимать и электростанции.

11.2.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени МТЗ ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу

Основное требование, предъявляемое к первой ступени МТЗ ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу, – обеспечение чувствительности к междуфазным КЗ на шинах ПС А. Действие первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) на деление шин выполняется с минимально возможной выдержкой времени:

- при отсутствии ДЗШ на ПС А;
- при резервировании действия ДЗШ ПС А.

11.2.2.1. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от КЗ на шинах смежного напряжения АТ-1 и Т-3 ПС А (строка 1.1, таблица 11.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МТЗ } 1}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}}, \quad (11.1)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при металлическом КЗ на шинах смежного напряжения АТ-1 и Т-3 ПС А (К-4 и К-3, рисунок 11.1);

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,3 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше.

При выполнении расчетов по условиям отстройки необходимо рассматривать все виды КЗ, на которые реагируют измерительные органы МТЗ ШСВ (СВ) в конкретном устройстве РЗ.

Указанное значение коэффициента отстройки принимается, если АТ-1 и Т-3 ПС А, имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН. В случае если сопротивления АТ в схеме замещения соответствуют средним положениям РПН, значения коэффициентов отстройки требуют уточнения. Указания по расчету реактивных сопротивлений Т (АТ) при наличии РПН приведены в Приложении В к Методическим указаниям [3].

11.2.2.2. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с первой ступенью ДЗ от междуфазных КЗ защиты 3 ЛЭП Л-3 (строка 1.2, таблица 11.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МТЗ } 1}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}} , \quad (11.2)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при металлическом трехфазном КЗ в конце зоны, защищаемой первой ступенью ДЗ защиты 3 (К-5, рисунок 11.1), в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше.

Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с первой ступенью ДЗ защиты 3 от междуфазных КЗ производится с учетом возможного сокращения зоны действия ступени ДЗ в соответствии с пунктом 3.3.3 Методических указаний [3].

При выполнении расчетов по условию согласования в сети сложной конфигурации необходимо учитывать возможность каскадного действия защит, согласование в каскаде может стать определяющим условием.

11.2.2.3. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с первыми ступенями ДЗ от междуфазных КЗ защиты 2 ЛЭП Л-1 и защиты 4 ЛЭП Л-2 (строка 1.2, таблица 11.1) производится по выражению (11.2) в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.2. В качестве $I_{\text{кз макс}}$ принимается максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при металлическом трехфазном КЗ конце зоны, защищаемой первыми ступенями ДЗ защиты 2 и защиты 4 (соответственно К-7 и К-8, рисунок 11.1) в расчетных по согласованию режимах.

Расчетным режимом при согласовании первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) с первыми ступенями ДЗ ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-2, как правило, является режим каскадного отключения повреждения на одной из параллельных ЛЭП со стороны ПС Б.

11.2.2.4. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) защиты 1 по условию согласования с МФТО защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 1.3, таблица 11.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МТЗ } 1}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}} , \quad (11.3)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при металлическом трехфазном КЗ в конце зоны, защищаемой МФТО защиты 5 (К-6, рисунок 11.1), в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше.

Если при перемещении точки КЗ вдоль ЛЭП Л-4 соотношение фазных токов в месте установки защиты 1 и защиты 5 не изменяется, расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) защиты 1 по условию согласования с МФТО защиты 5 ЛЭП Л-4 может производиться с помощью коэффициента токораспределения по выражению:

$$I_{\text{МТЗ 1}}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}} \cdot I_{\text{МФТО 5}}, \quad (11.4)$$

где $I_{\text{МФТО 5}}$ – ток срабатывания МФТО защиты 5;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению фазных токов в месте установки защиты 1 и защиты 5 при металлическом трехфазном КЗ на шинах ПС Г, рассчитывается по выражению:

$$k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{кз 1}}}{I_{\text{кз 5}}}, \quad (11.5)$$

где $I_{\text{кз 1}}$, $I_{\text{кз 5}}$ – фазные значения токов в месте установки защиты 1 и защиты 5.

Расчетным является значение коэффициента токораспределения в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наибольшее значение тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) согласно (11.4).

11.2.2.5. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с первой ступеню ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-3 (строка 1.4, таблица 11.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МТЗ 1}}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}}, \quad (11.6)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при металлическом однофазном КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступеню ТЗНП защиты 3 (К-5, рисунок 11.1) в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше.

Конец зоны, защищаемой первой ступеню ТЗНП защиты 3, с которой выполняется согласование, находится путем перемещения точки КЗ вдоль ЛЭП Л-3 от ПС А до точки К-5, где расчетный ток $3I_{03}$ через защиту 3 равен току срабатывания первой ступени ТЗНП.

11.2.2.6. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 2 ЛЭП Л-1 и защиты 4 ЛЭП Л-2 (строка 1.4, таблица 11.1) производится по выражению (11.6) в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.5. В качестве $I_{\text{кз макс}}$ принимается максимальное значение фазного тока в месте установки

защиты 1 при металлическом однофазном КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первыми ступенями ТЗНП защиты 2 и защиты 4 (соответственно К-7 и К-8, рисунок 11.1) в расчетном по согласованию режиме.

Расчетным режимом при согласовании первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) с первыми ступенями ТЗНП ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-2, как правило, является режим каскадного отключения повреждения на одной из параллельных ЛЭП со стороны ПС Б.

11.2.2.7. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 1.4, таблица 11.1) производится по выражению (11.6) в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.5. В качестве $I_{\text{кз макс}}$ принимается максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при металлическом однофазном КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступенью ТЗНП защиты 5 (К-6, рисунок 11.1).

11.2.2.8. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенным к ней ненагруженным Т (АТ) (строка 1.5, таблица 11.1) производится по выражению (Б.5) согласно указаниям, приведенным в приложении Б.

Отстройку от БТН необходимо выполнять при опробовании от ШСВ (СВ) систем (секций) шин ПС А с учетом всех возможных подключенных ненагруженных Т (АТ), на которые может быть подано напряжение.

Для первой ступени МТЗ ШСВ (СВ), действующей с выдержкой времени, при расчете тока срабатывания по данному условию следует учесть затухание БТН во времени.

11.2.2.9. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от максимального тока в асинхронном режиме или режиме синхронных качаний (строка 1.6, таблица 11.1) производится, если указанные режимы возможны в смежной сети и выдержка времени срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) меньше периода качаний:

$$I_{\text{МТЗ } 1}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кач макс}}, \quad (11.7)$$

где $I_{\text{кач макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 в рассматриваемых режимах;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2–1,3 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше.

11.2.2.10. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока в нагрузочных режимах работы энергосистемы (строка 1.7, таблица 11.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МТЗ } 1}^I \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} I_{\text{нагр}}, \quad (11.8)$$

где $I_{\text{нагр}}$ – значение фазного тока в месте установки защиты 1, соответствующее длительно допустимому рабочему току через ШСВ (СВ)

в нагрузочном режиме, определяется в соответствии с Методическими указаниями [6];

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше;

$k_{в}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

11.2.2.11. Расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при металлическом двухфазном КЗ на шинах ПС А (строка 1.8, таблица 11.1) производится по выражению:

$$I_{МТЗ\ 1}^I \leq \frac{I_{кз\ мин\ 1}}{k_{ч}}, \quad (11.9)$$

где $I_{кз\ мин\ 1}$ – минимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при металлическом двухфазном КЗ на шинах ПС А (К-1, К-2, рисунок 11.1) в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{ч}$ – коэффициент чувствительности.

В соответствии с пунктом 14 Требований [7] коэффициент чувствительности для постоянно введенной в работу первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) должен иметь значение:

– $k_{ч} \geq 1,5$ при отсутствии дополнительной (второй) ступени МТЗ ШСВ (СВ), обеспечивающей $k_{ч} \geq 1,5$;

– $k_{ч} \geq 1,3$ при наличии дополнительной (второй) ступени МТЗ ШСВ (СВ), обеспечивающей $k_{ч} \geq 1,5$.

11.2.2.12. Ток срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) принимается максимальным из значений, рассчитанных согласно пунктам 11.2.2.1–11.2.2.10 при условии обеспечения чувствительности согласно пункту 11.2.2.11.

11.2.2.13. При невозможности одновременно обеспечить требование чувствительности согласно пункту 11.2.2.11 и требования отстройки и селективности согласно пунктам 11.2.2.1–11.2.2.10, возможны следующие варианты выбора тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ):

1) при наличии достаточного количества ступеней МТЗ в устройстве РЗ ШСВ (СВ) расчет тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) производится согласно пунктам 11.2.2.1–11.2.2.10 и обеспечивается чувствительность при КЗ на шинах ПС А в нормальной схеме сети согласно пункту 11.2.2.11. Чувствительность при КЗ на шинах ПС А в ремонтных схемах сети обеспечивает вторая ступень МТЗ ШСВ (СВ), действующая с большей выдержкой времени;

2) при отсутствии достаточного количества ступеней МТЗ в устройстве РЗ ШСВ (СВ) значение тока срабатывания первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) принимается по условию обеспечения требуемой чувствительности при КЗ на шинах ПС А в нормальном и возможных ремонтных режимах сети согласно пункту 11.2.2.11. Возможное излишнее действие защиты в режимах, рассматриваемых в пунктах 11.2.2.1–11.2.2.10,

необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10], внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования;

3) для обеспечения чувствительности первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) рекомендуется использовать пуск по напряжению при наличии технической возможности в устройстве РЗ. Указания по применению пуска по напряжению приведены в пункте 11.2.6.

11.2.2.14. Выдержка времени первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени защиты смежной ЛЭП, с которой производилось согласование по току срабатывания. Согласование выдержек времени производится по выражению:

$$T_{\text{МТЗ } 1}^I \geq T_{\text{уст}}^I + \Delta T, \quad (11.10)$$

где $T_{\text{уст}}^I$ – выдержка времени срабатывания ступени резервной защиты ЛЭП, с которой производилось согласование, за расчетное значение принимается наибольшая из всех выдержек времени ступеней защит, с которыми производилось согласование по току срабатывания;

ΔT – ступень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

Если выдержка времени $T_{\text{МТЗ } 1}^I$ первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с выдержками времени ступеней резервных защит смежных ЛЭП не обеспечивает требуемое быстродействие, допускается при наличии на всех смежных присоединениях основных быстродействующих защит принять значение $T_{\text{МТЗ } 1}^I$ равным ступени селективности ΔT , если неселективное отключение ШСВ (СВ) при КЗ на смежном присоединении и отказе быстродействующей защиты не приводит к прекращению электроснабжения потребителей или разделению энергосистемы на изолированно работающие части.

11.2.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени МТЗ ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу

Основное требование, предъявляемое ко второй ступени МТЗ ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу, – обеспечение чувствительности к междуфазным КЗ на шинах ПС А и междуфазным КЗ на присоединениях, отходящих от шин ПС А.

Действие второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) на деление шин выполняется с выдержкой времени:

- при резервировании действия ДЗШ ПС А;
- при резервировании защит и выключателей присоединений, отходящих от ПС А.

11.2.3.1. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования со второй (третьей) ступенью ДЗ от междуфазных КЗ защиты 3 ЛЭП-3 (строка 2.1, таблица 11.1) производится по выражению (11.2) аналогично расчету при согласовании первой ступени МТЗ ШСВ(СВ) с первой ступенью ДЗ защиты 3 в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.2.

11.2.3.2. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования со второй (третьей) ступенью ДЗ от междуфазных КЗ защиты 2 ЛЭП Л-1 и защиты 4 ЛЭП Л-2 (строка 2.1, таблица 11.1) производится по выражению (11.2) аналогично расчету при согласовании первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) с первой ступенью ДЗ защиты 2 и защиты 4 в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.3.

11.2.3.3. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с МТЗ защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 2.2, таблица 11.1) производится по выражению (11.3) аналогично расчету при согласовании первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) с МФТО защиты 5 в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.4.

11.2.3.4. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-3 (строка 2.3, таблица 11.1) производится по выражению (11.6) аналогично расчету при согласовании первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) с первой ступенью ТЗНП защиты 3 в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.5.

11.2.3.5. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 2 ЛЭП-1 и защиты 4 ЛЭП-2 (строка 2.3, таблица 11.1) производится по выражению (11.6) аналогично расчету при согласовании первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) с первой ступенью ТЗНП защиты 2 и защиты 4 в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.6.

11.2.3.6. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования со второй (третьей) ступенью ТЗНП защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 2.3, таблица 11.1) производится по выражению (11.6) аналогично

расчету при согласовании первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) с первой ступенью ТЗНП защиты 5 в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.7.

11.2.3.7. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию согласования с ДЗ или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ АТ-1, Т-3 ПС А, действующими при КЗ в сети смежного напряжения (строка 2.4, таблица 11.1), производится по выражению (11.1). В качестве $I_{\text{кз макс}}$ принимается максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при КЗ в конце зоны, защищаемой ступенью резервной защиты АТ-1, Т-3, с которой производится согласование по току срабатывания в расчетном по согласованию режиме. Коэффициент отстройки в выражении (11.1) принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше. Согласование с ДЗ АТ-1, Т-3 ПС А, действующими при КЗ в сети смежного напряжения, производится с учетом возможного сокращения зоны действия ступени ДЗ в соответствии с указаниями пункта 3.3.3 Методических указаний [3].

В ряде случаев не представляется возможным обеспечить дальнейшее резервирование трансформаторов (АТ) второй ступенью МТЗ ШСВ (СВ), так как не будет обеспечено условие отстройки ее от нагрузки (в соответствии с пунктом 11.2.3.9) или из-за ограничения по техническим данным защиты. В таких случаях можно не согласовывать вторую ступень МТЗ ШСВ (СВ) с защитами трансформаторов (АТ), а выполнить отстройку ее тока срабатывания от КЗ на шинах смежного напряжения трансформатора (АТ), по аналогии с пунктом 11.2.2.1 для первой ступени МТЗ ШСВ (СВ). Такая отстройка (вместо согласования) может снизить время срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ), что, в свою очередь, позволит снизить времена ступеней резервных защит ЛЭП и оборудования ПС А, согласованных с этой ступенью.

11.2.3.8. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении систем (секций) шин под напряжение через ШСВ (СВ) с присоединенными к ней ненагруженными Т (АТ) (строка 2.5, таблица 11.1) производится по выражению (Б.5) согласно указаниям, приведенным в приложении Б.

Отстройку от БТН необходимо выполнять при опробовании от ШСВ (СВ) систем (секций) шин ПС А с учетом всех возможных подключенных ненагруженных Т (АТ) на которые может быть подано напряжение.

Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по указанному расчетному условию производится, если ступень имеет автоматическое или оперативное ускорение.

Для автоматически или оперативно ускоряемой второй ступени МТЗ ШСВ (СВ), действующей с выдержкой времени, отличной от нуля, при расчете тока срабатывания по данному расчетному условию следует учесть затухание БТН во времени.

11.2.3.9. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока нагрузочного режима работы энергосистемы (строка 2.6, таблица 11.1) производится по выражению (11.8) в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.10.

11.2.3.10. Расчет тока срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при металлическом двухфазном КЗ на шинах ПС А и в зоне дальнего резервирования (строка 2.7, таблица 11.1) производится по выражению:

$$I_{\text{МТЗ } 1}^{\text{III}} \leq \frac{I_{\text{КЗ мин } 1}}{k_{\text{ч}}}, \quad (11.11)$$

где $I_{\text{КЗ мин } 1}$ – значение фазного тока в месте установки защиты 1 при двухфазном КЗ на шинах ПС А (К-1, К-2, рисунок 11.1) и в зоне дальнего резервирования.

Чувствительность при двухфазном КЗ на шинах ПС А обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5.$$

Чувствительность при двухфазных КЗ в зоне дальнего резервирования обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

Если чувствительность второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) при КЗ в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, то допускается:

- не резервировать КЗ на отходящих от шин ЛЭП 110 кВ и выше при наличии УРОВ и при условии обеспечения ближнего резервирования;
- обеспечивать дальнейшее резервирование без учета редких ремонтных схем и при каскадном действии защит отходящих присоединений;
- обеспечивать дальнейшее резервирование не защитами ШСВ (СВ), а защитами отходящих от шин ПС А АТ (Т), после их действия на деление шин ПС А, с последующим каскадным отключением повреждения резервными защитами ЛЭП и оборудования.

11.2.3.11. Ток срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) принимается максимальным из значений, рассчитанных по условиям пунктов 11.2.3.1–11.2.3.9 при условии выполнения пункта 11.2.3.10.

11.2.3.12. Выдержка времени срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) принимается на ступень селективности больше выдержки времени ступеней резервных защит ЛЭП и Т (АТ), с которыми выполнялось согласование по току срабатывания:

$$T_{\text{МТЗ } 1}^{\text{II}} \geq T_{\text{уст}}^{\text{N}} + \Delta T, \quad (11.12)$$

где $T_{\text{уст}}^{\text{N}}$ – выдержка времени срабатывания ступени резервной защиты, с которой производится согласование, за расчетное значение принимается

наибольшая из всех выдержек времени ступеней защит, с которыми производилось согласование;

ΔT – степень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

11.2.4. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени МТЗ ШСВ (СВ), предназначенной для оперативного ввода в работу

При выводе из работы ДЗШ или УРОВ может оперативно вводиться в действие первая ступень МТЗ ШСВ (СВ) или может быть выполнено ОУ постоянно введенной в работу ступени МТЗ ШСВ (СВ).

При оперативном вводе в работу первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) для ограничения числа возможных неселективных отключений ШСВ (СВ) при КЗ в смежной сети рекомендуется не совмещать вывод из работы ДЗШ и отключение питающих присоединений.

11.2.4.1. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при КЗ на шинах ПС А (строка 1.1, таблица 11.2) производится по выражению (11.9) в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.11.

Чувствительность при двухфазных КЗ на шинах обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5.$$

11.2.4.2. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от КЗ на шинах смежного напряжения АТ-1 и Т-3 ПС А (строка 1.2, таблица 11.2) производится по выражению (11.1) в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.1.

11.2.4.3. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенным ненагруженным Т (АТ) (строка 1.3, таблица 11.2) производится в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.8.

11.2.4.4. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от максимального тока при качаниях или асинхронном режиме (строка 1.4, таблица 11.2) производится по выражению (11.7) в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.9.

11.2.4.5. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока нагрузочного режима работы энергосистемы (строка 1.5, таблица 11.2) производится по выражению (11.8) в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.10.

11.2.4.6. Ток срабатывания оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) принимается максимальным из значений, рассчитанных по условиям пунктов 11.2.4.2–11.2.4.5 при условии обеспечения чувствительности согласно пункту 11.2.4.1.

11.2.4.7. При невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и отстройки, ток срабатывания оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) принимается по условию обеспечения чувствительности согласно пункту 11.2.4.1. Возможное излишнее действие защиты в режимах, рассматриваемых в пунктах 11.2.4.2–11.2.4.5, необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10], внести

в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

11.2.4.8. Выдержка времени срабатывания оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) принимается равной ступени селективности ΔT , рассчитываемой по выражению (5.21), при условии, что при этом обеспечивается отключение КЗ за время, требуемое для сохранения динамической устойчивости генерирующего оборудования при соответствующем виде КЗ.

Допускается выдержку времени оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) или выдержку времени оперативно ускоряемой ступени МТЗ ШСВ (СВ), действующих на деление шин, принимать менее принятой ступени селективности ΔT для согласования с выдержками времени оперативно ускоренных при выводе из работы ДЗШ ступеней резервных защит смежных присоединений при одновременном выполнении следующих условий:

- на ШСВ (СВ) предусмотрено АПВ;
- деление шин при действии оперативно вводимой первой ступени МТЗ ШСВ (СВ) или оперативно ускоряемой ступени МТЗ ШСВ (СВ) при КЗ на смежных присоединениях не приводит к прекращению электроснабжения потребителей или разделению энергосистемы на изолированно работающие части.

11.2.5. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени МТЗ ШСВ (СВ), предназначенной для оперативного ввода в работу в режиме опробования напряжением систем (секций) шин

При опробовании напряжением систем (секций) шин можно использовать:

- автоматическое (оперативное) ускорение постоянно введенной в работу ступени МТЗ ШСВ (СВ);
- автоматическое (оперативное) ускорение оперативно вводимой в работу ступени МТЗ ШСВ (СВ);
- оперативно вводимые ступени МТЗ, предназначенные только для режима опробования (с использованием групп уставок в МП устройствах РЗ).

11.2.5.1. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при двухфазном КЗ на шинах ПС А (строка 2.1, таблица 11.2) производится по выражению (11.9) в режиме опробования напряжением систем (секций) шин.

Чувствительность при двухфазных КЗ на шинах обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5.$$

11.2.5.2. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными

ненагруженными Т (АТ) (строка 2.2, таблица 11.2) выполняется в соответствии с указаниями пункта 11.2.2.8.

11.2.5.3. Выдержка времени срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ), оперативно вводимой при опробовании напряжением систем (секций) шин, принимается равной 0–0,15 с.

В случае если ток срабатывания оперативно вводимой второй ступени МТЗ ШСВ (СВ) не отстроен от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными Т (АТ), необходимо выполнить отстройку от БТН временем срабатывания данной ступени. В этом случае время срабатывания второй ступени МТЗ ШСВ (СВ), оперативно вводимой при опробовании напряжением систем (секций) шин, увеличивается до 0,4–0,5 с.

11.2.6. Указания по использованию пуска по напряжению МТЗ ШСВ (СВ)

В целях снижения возможных неселективных действий МТЗ ШСВ (СВ), при наличии технической возможности в устройстве РЗ, необходимо использовать пусковой орган по напряжению. В этом случае защита действует на отключение при условии одновременного пуска токового измерительного органа и пускового органа по напряжению.

Пусковой орган по напряжению состоит из трех реле минимального напряжения, включенных на междуфазное напряжение. Цепи напряжения защиты подключаются к ТН, установленному на системе (секции) шин ПС А. При выводе из работы ТН одной системы (секции) шин должен быть предусмотрен перевод цепей напряжения на ТН другой системы (секции) шин.

Чувствительность пускового органа по напряжению МТЗ ШСВ (СВ) допускается не проверять, поскольку рассматривается ступень МТЗ, предназначенная для защиты шин (при междуфазном КЗ на шинах значение междуфазного напряжения близко к нулю).

11.2.6.1. В случае если ток срабатывания ступени МТЗ ШСВ (СВ) не отстроен от тока нагрузочного режима работы энергосистем, расчет напряжения срабатывания производится по выражению:

$$U_{\text{МТЗ } 1} \leq \frac{U_{\text{мин}}}{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}}}, \quad (11.13)$$

где $U_{\text{мин}}$ – минимальное междуфазное напряжение в месте установки защиты 1 в таком нагрузочном режиме, в котором ток срабатывания ступени МТЗ ШСВ (СВ) не отстроен от тока нагрузочного режима;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

11.2.6.2. В случае, если ток срабатывания ступени МТЗ ШСВ (СВ) не отстроен от КЗ на шинах смежного напряжения ПС А, расчет напряжения срабатывания производится по выражению:

$$U_{\text{МТЗ } 1} \leq k_{\text{отс}} \cdot U_{\text{мин кз } 1}, \quad (11.14)$$

где $U_{\text{мин кз } 1}$ – минимальное значение междуфазного напряжения в месте установки защиты 1 при металлическом трехфазном КЗ на шинах смежного напряжения ПС А (К-3, К-4, рисунок 11.1);

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным:

$$k_{\text{отс}} = 0,85,$$

если Т (АТ), имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН;

$$k_{\text{отс}} = 0,7-0,8,$$

если Т (АТ), имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения сопротивлениями, которые соответствуют средним положениям РПН.

11.2.6.3. В случае если ток срабатывания ступени МТЗ ШСВ (СВ) не согласован по чувствительности со ступенями ДЗ от междуфазных КЗ ЛЭП, отходящих от шин ПС А, расчет напряжения срабатывания производится по выражению:

$$U_{\text{МТЗ } 1} \leq k_{\text{отс}} \cdot U_{\text{мин КЗ } 1}, \quad (11.15)$$

где $U_{\text{мин КЗ } 1}$ – минимальное значение междуфазного напряжения в месте установки защиты 1 при металлическом трехфазном КЗ в конце зоны срабатывания ступени ДЗ смежной ЛЭП, с которой отсутствует согласование по току срабатывания;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 0,85 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше.

11.2.6.4. Напряжение срабатывания пускового органа по напряжению МТЗ ШСВ (СВ) выбирается минимальным из значений, рассчитанных согласно пунктам 11.2.6.1–11.2.6.3.

11.3. Расчет и выбор параметров настройки ТЗНП ШСВ (СВ)

11.3.1. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

В устройствах РЗ ШСВ (СВ) на электромеханической или микроэлектронной элементной базе токовые измерительные органы ТЗНП включаются на утроенный ток нулевой последовательности, протекающий в нулевом проводе ТТ, соединенных по схеме полной звезды.

В МП устройствах РЗ ШСВ (СВ) ТЗНП реагирует на расчетный утроенный ток нулевой последовательности, вычисленный суммированием векторов фазных токов, либо на утроенный ток нулевой последовательности, протекающий в нулевом проводе ТТ, соединенных по схеме полной звезды.

Указания по расчету и выбору параметров настройки ТЗНП приводятся для защиты 1, установленной на ШСВ ПС А, для типовой схемы электрической сети (рисунок 11.1).

В таблице 11.3 приведен перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки трехступенчатой ТЗНП ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу.

В таблице 11.4 приведен перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки двухступенчатой ТЗНП ШСВ (СВ), предназначенной для оперативного ввода в работу.

Таблица 11.3

Расчетные условия для выбора параметров настройки трехступенчатой ТЗНП ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу

№ п/п	Расчетные условия
1	1 ступень защиты
1.1	Согласование с 1 ступенью ТЗНП защиты 3, защиты 2, защиты 4 и защиты 5
1.2	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1 ПС А
1.3	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ (Т с заземленными нейтралями)
1.4	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме
1.5	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП, отходящих от ПС А
1.6	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю на шинах ПС А
2	2 ступень защиты
2.1	Согласование со 2 (3) ступенью ТЗНП защиты 3, защиты 2, защиты 4 и защиты 5
2.2	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1 ПС А

№ п/п	Расчетные условия
2.3	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ (Т с заземленной нейтралью) при автоматическом или оперативном ускорении 2 ступени ТЗНП
2.4	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения ПС А
2.5	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме
2.6	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме
2.7	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП, отходящих от ПС А
2.8	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю на шинах ПС А и в зоне дальнего резервирования
3	3 ступень защиты
3.1	Согласование с 3 (4) ступенью ТЗНП защиты 3, защиты 2, защиты 4 и защиты 5
3.2	Согласование с ТЗНП АТ-1 ПС А, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения
3.3	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ (Т с заземленными нейтральями) при автоматическом или оперативном ускорении 3 ступени ТЗНП
3.4	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения ПС А
3.5	Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме
3.6	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП, отходящих от ПС А (при оперативном ускорении 3 ступени ТЗНП)
3.7	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю в зоне дальнего резервирования

Таблица 11.4

Расчетные условия для выбора параметров настройки двухступенчатой ТЗНП ШСВ (СВ), предназначенной для оперативного ввода в работу

№ п/п	Расчетные условия
1	1 ступень защиты при выводе ДЗШ, УРОВ
1.1	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю на шинах ПС А
1.2	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1 ПС А

№ п/п	Расчетные условия
1.3	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ (Т с заземленными нейтралями)
1.4	Отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП, отходящих от ПС А
2	2 ступень защиты при опробовании напряжением систем (секций) шин
2.1	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю на шинах ПС А в режиме опробования напряжением систем (секций) шин ПС А
2.2	Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ (Т с заземленными нейтралями)

Примечание. Под сокращением «ПС» следует также понимать и электростанции.

11.3.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу, – обеспечение чувствительности при КЗ на землю на системе (секции) шин. Действие первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) на деление систем (секций) шин выполняется с минимально возможной выдержкой времени:

- при отсутствии ДЗШ на ПС А;
- при резервировании действия ДЗШ ПС А.

11.3.2.1. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию согласования с первой ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-3 (строка 1.1, таблица 11.3) производится по выражению:

$$3I_{0\text{ТЗНП } 1}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0\text{ } 1}, \quad (11.16)$$

где $3I_{0\text{ } 1}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступенью ТЗНП защиты 3 (К-5, рисунок 11.1) в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше.

При выполнении расчетов по условию согласования в сети сложной конфигурации необходимо учитывать возможность каскадного действия защит, согласование в каскаде может стать определяющим условием.

11.3.2.2. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 2 ЛЭП Л-1, защиты 4 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 1.1, таблица 11.3) производится по выражению (11.16) в соответствии с указаниями пункта 11.3.2.1. В качестве $3I_{0\text{ } 1}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первыми ступенями ТЗНП

защиты 2, защиты 4 и защиты 5 (соответственно К-7, К-8 и К-6, рисунок 11.1) в расчетном по согласованию режиме.

Расчетным режимом при согласовании первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) с первыми ступенями ТЗНП ЛЭП Л-1 и ЛЭП Л-2, как правило, является режим каскадного отключения повреждения на одной из параллельных ЛЭП со стороны ПС Б.

11.3.2.3. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1, примыкающей к сети с заземленной нейтралью (строка 1.2, таблица 11.3), производится по выражению:

$$3I_{0\text{ТЗНП1}}^I \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{01}, \quad (11.17)$$

где $3I_{01}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1 (К-4, рисунок 11.1) в расчетном по отстройке режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным:

– для устройств РЗ ШСВ (СВ) 330 кВ и выше на электромеханической базе с применением реле типа РТ-40:

$$k_{\text{отс}} = 1,3;$$

– для остальных устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше:

$$k_{\text{отс}} = 1,2.$$

Указанные коэффициенты отстройки принимаются, если АТ-1, имеющий регулирование напряжения под нагрузкой, учтен в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

В случае если сопротивления АТ-1 в схеме замещения соответствуют средним положениям РПН, следует учесть указания пункта 3.3.1.5.

11.3.2.4. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ и Т с заземленными нейтралями (строка 1.3, таблица 11.3) производится по выражению (Б.6) согласно указаниям, приведенным в приложении Б.

Отстройку от БТН необходимо выполнять при опробовании от ШСВ (СВ) систем (секций) шин с учетом всех подключенных ненагруженных АТ (Т с заземленными нейтралями), на которые может быть подано напряжение.

Для первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ), действующей с выдержкой времени, при расчете тока срабатывания по данному условию следует учесть затухание БТН во времени.

Если данное расчетное условие приводит к снижению чувствительности первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ), рекомендуется использовать блокировку от БТН (при наличии технической возможности в устройстве РЗ).

11.3.2.5. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме (строка 1.4, таблица 11.3) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.6.2, если в смежной сети возможны указанные режимы и выдержка времени срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) меньше периода качаний.

11.3.2.6. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП, отходящих от ПС А (строка 1.5, таблица 11.3), производится по выражению (5.7) согласно указаниям пункта 5.3.1.6, если выдержка времени срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) меньше длительности цикла ОАПВ на указанных ЛЭП, а также в случае, если на смежных ЛЭП возможен длительный неполнофазный режим.

11.3.2.7. Расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю на шинах ПС А (строка 1.6, таблица 11.3) производится по выражению:

$$3I_{0\text{ТЗНП1}}^I \leq \frac{3I_{0\text{мин1}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (11.18)$$

где $3I_{0\text{мин1}}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю на шинах ПС А (К-1, К-2, рисунок 11.1) в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности.

В соответствии с пунктом 14 Требований [7] коэффициент чувствительности для постоянно введенной в работу первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) должен иметь значение:

$k_{\text{ч}} \geq 1,5$ при отсутствии резервной ступени ТЗНП ШСВ (СВ), обеспечивающей $k_{\text{ч}} \geq 1,5$;

$k_{\text{ч}} \geq 1,3$ при наличии резервной ступени ТЗНП ШСВ (СВ), обеспечивающей $k_{\text{ч}} \geq 1,5$.

11.3.2.8. Ток срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается максимальным из значений, рассчитанных согласно пунктам 11.3.2.1–11.3.2.6, – при условии обеспечения чувствительности согласно пункту 11.3.2.7.

11.3.2.9. При невозможности одновременно обеспечить требование чувствительности согласно пункту 11.3.2.7 и требования отстройки и селективности согласно пунктам 11.3.2.1–11.3.2.6 возможны следующие варианты выбора тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ):

1) при наличии достаточного количества ступеней ТЗНП в устройстве РЗ ШСВ (СВ) расчет тока срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) производится согласно пунктам 11.3.2.1–11.3.2.6 и обеспечивается чувствительность при КЗ на шинах ПС А в нормальной схеме сети согласно пункту 11.3.2.7. Чувствительность защиты при КЗ на землю на шинах ПС А

в ремонтных режимах обеспечивает вторая ступень ТЗНП ШСВ (СВ), действующая с большей выдержкой времени;

2) при отсутствии достаточного количества ступеней ТЗНП в устройстве РЗ ШСВ (СВ) ток срабатывания первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается по условию обеспечения требуемой чувствительности согласно пункту 11.3.2.7 в нормальном и возможных ремонтных режимах сети. Возможное излишнее действие защиты в режимах, рассматриваемых в пунктах 11.3.2.1–11.3.2.6, необходимо в соответствии с Методическими указаниями [10], внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

11.3.2.10. Выдержка времени первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступеней ТЗНП смежных ЛЭП, с которыми производилось согласование по току срабатывания. Согласование выдержек времени производится по выражению:

$$T_{\text{ТЗНП } 1}^I \geq T_{\text{уст}}^I + \Delta T, \quad (11.19)$$

где $T_{\text{уст}}^I$ – выдержка времени срабатывания первой ступени ТЗНП смежной ЛЭП, с которой производится согласование, за расчетное значение принимается наибольшая из всех выдержек времени ступеней ТЗНП, с которыми производилось согласование по току срабатывания;

ΔT – ступень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

Если выдержка времени $T_{\text{ТЗНП } 1}^I$ первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию согласования с выдержками времени первых ступеней ТЗНП смежных ЛЭП не обеспечивает требуемое быстроедействие, допускается при наличии на всех смежных присоединениях основных быстродействующих защит принять значение $T_{\text{ТЗНП } 1}^I$ равной ступени селективности ΔT , если неселективное отключение ШСВ (СВ) при КЗ на смежном присоединении и отказе быстродействующей защиты не приводит к прекращению электроснабжения потребителей или разделению энергосистемы на изолированно работающие части.

11.3.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу

Основное требование, предъявляемое ко второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу, – обеспечение чувствительности к КЗ на землю на системе (секции) шин ПС А и на присоединениях, отходящих от систем (секций) шин ПС А.

Действие второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) на деление систем (секций) шин выполняется с выдержкой времени:

- при резервировании действия ДЗШ ПС А;
- при резервировании защит и выключателей присоединений, отходящих от ПС А.

При выводе ДЗШ или УРОВ может предусматриваться ввод ОУ второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ).

11.3.3.1. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию согласования со второй ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-3 (строка 2.1, таблица 11.3) производится по выражению (11.16) аналогично расчету при согласовании первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) с первой ступенью ТЗНП защиты 3 в соответствии с указаниями пункта 11.3.2.1.

Если вторая ступень ТЗНП защиты 3 охватывает ЛЭП-3 с коэффициентом чувствительности не менее 1,3, расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 производится по выражению:

$$3I_{0\text{ТЗНП } 1}^{\text{II}} \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}} \cdot 3I_{0\text{ТЗНП } 3}^{\text{II}}, \quad (11.20)$$

где $3I_{0\text{ТЗНП}}^{\text{II}}$ – ток срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 3, с которой производится согласование;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.2;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению утроенных токов нулевой последовательности в месте установки защиты 1 и защиты 3 при КЗ на землю на шинах ПС В:

$$k_{\text{т}} = \frac{3I_{01}}{3I_{03}}. \quad (11.21)$$

Расчетным является значение $k_{\text{т}}$ в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наибольший ток срабатывания согласно (11.20).

В целях обеспечения чувствительности может оказаться целесообразным согласовать вторую ступень ТЗНП ШСВ (СВ) по току срабатывания и выдержке времени с третьей ступенью ТЗНП защиты 3.

11.3.3.2. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию согласования со вторыми ступенями ТЗНП защиты 2 ЛЭП Л-1, защиты 4 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 2.1, таблица 11.3) производится по выражению (11.16). В качестве $3I_{01}$ принимается максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой вторыми

ступенями ТЗНП защиты 2, защиты 4 и защиты 5 в расчетных по согласованию режимах.

Если вторая ступень ТЗНП защиты 2, защиты 4 и защиты 5 охватывает соответственно ЛЭП Л-1, ЛЭП Л-2, ЛЭП Л-5 с коэффициентом чувствительности не менее 1,3, расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 1 производится с помощью коэффициентов токораспределения по выражению (11.20).

В целях обеспечения чувствительности может оказаться целесообразным согласовать вторую ступень ТЗНП ШСВ (СВ) по току срабатывания и выдержке времени не со вторыми, а с третьими ступенями ТЗНП защиты 2 ЛЭП Л-1, защиты 4 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4.

11.3.3.3. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1, примыкающей к сети с заземленной нейтралью (строка 2.2, таблица 11.3), производится по выражению (11.17) в соответствии с указаниями пункта 11.3.2.3.

В целях обеспечения чувствительности условие отстройки при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1 можно заменить условием согласования с ТЗНП АТ-1 ПС А, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения АТ-1:

$$3I_{0\text{ТЗНП}1}^{II} \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{01}, \quad (11.22)$$

где $3I_{01}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой ступенью ТЗНП АТ-1 ПС А, с которой производится согласование в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше.

Согласование производится со ступенями ТЗНП АТ-1, направленными в сеть смежного напряжения, а также с ненаправленными ступенями ТЗНП АТ-1.

Расчет тока срабатывания $3I_{0\text{ТЗНП}1}^{II}$ по согласованию с ТЗНП АТ-1, установленной на стороне смежного напряжения АТ-1 и действующей при КЗ в сети смежного напряжения, производится с учетом коэффициента трансформации АТ-1 по выражению:

$$3I_{0\text{ТЗНП}1}^{II} \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}} \cdot \frac{3I_{0\text{ТЗНП смеж АТ-1}}^n}{n_{\text{АТ-1}}}, \quad (11.23)$$

где $3I_{0\text{ТЗНП смеж АТ-1}}^n$ – ток срабатывания ступени ТЗНП, установленной на стороне смежного напряжения АТ-1, с которой производится согласование;

$n_{\text{АТ-1}}$ – коэффициент трансформации АТ-1, равный отношению номинального напряжения АТ-1 стороны, где установлена ТЗНП ШСВ (СВ) и смежной стороны, где установлена ТЗНП АТ-1, с которой производится согласование;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ШСВ (СВ) 110 кВ и выше;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению утроенных токов нулевой последовательности в месте установки защиты 1 и ТЗНП АТ-1 при КЗ на землю на шинах смежного напряжения АТ-1:

$$k_T = \frac{3I_{01} \cdot n_{АТ-1}}{3I_{0 \text{ смеж АТ-1}}}. \quad (11.24)$$

Расчетным является значение k_T в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наибольший ток срабатывания согласно (11.23).

11.3.3.4. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными АТ и Т с заземленными нейтралями (строка 2.3, таблица 11.3) производится по выражению (Б.6) согласно указаниям, приведенным в приложении Б.

Отстройку от БТН необходимо выполнять при опробовании от ШСВ (СВ) систем (секций) шин ПС А с учетом всех подключенных ненагруженных АТ (Т с заземленными нейтралями), на которые может быть подано напряжение.

Для второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ), действующей с выдержкой времени, при расчете тока срабатывания по данному условию следует учесть затухание БТН во времени.

Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по указанному расчетному условию производится, если ступень имеет автоматическое или оперативное ускорение.

11.3.3.5. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ-1 и Т-3 ПС А (строка 2.4, таблица 11.3) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.5, если вторая ступень ТЗНП ШСВ (СВ) имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

11.3.3.6. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме (строка 2.5, таблица 11.3) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.6.2, если в смежной сети возможны указанные режимы и выдержка времени срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) меньше периода качаний.

11.3.3.7. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочном режиме (строка 2.6, таблица 11.3) производится согласно пункту 3.3.6.1.

11.3.3.8. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности

в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП, отходящих от ПС А (строка 2.7, таблица 11.3), производится по выражению (5.7) согласно пункту 5.3.1.6, если выдержка времени срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) меньше длительности цикла ОАПВ на указанных ЛЭП, а также в случае, если на ЛЭП возможен длительный неполнофазный режим.

Если отстройка от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ на ЛЭП, отходящих от ПС А, приводит к снижению чувствительности второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ), выдержку времени срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) следует отстроить от длительности неполнофазного режима цикла ОАПВ на смежных ЛЭП согласно указаниям пункта 5.3.2.10.

11.3.3.9. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю на шинах ПС А и присоединениях, отходящих от шин ПС А (строка 2.8, таблица 11.3), производится по выражению:

$$3I_{0\text{уст}1}^{II} \leq \frac{3I_{01}}{k_{\text{ч}}}, \quad (11.25)$$

где $3I_{01}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазных и двухфазных КЗ на землю в расчетной точке;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности.

Чувствительность при КЗ на землю на шинах ПС А обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5.$$

Чувствительность при КЗ на землю в зоне дальнего резервирования обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

Если чувствительность второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) при КЗ на землю в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, то резервирование защит присоединений, отходящих от систем (секций) шин ПС А, обеспечивает третья ступень ТЗНП ШСВ (СВ).

11.3.3.10. Ток срабатывания второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается максимальным из значений, рассчитанных согласно пунктам 11.3.3.1–11.3.3.8 при условии обеспечения чувствительности согласно пункту 11.3.3.9.

11.3.3.11. Выдержка времени второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) выбирается по условию согласования с выдержками времени ступеней ТЗНП ЛЭП и АТ, с которыми выполнялось согласование по току срабатывания по выражению:

$$T_{\text{ТЗНП}1}^{II} \geq T_{\text{уст}}^N + \Delta T, \quad (11.26)$$

где $T_{\text{уст}}^N$ – выдержка времени срабатывания ступени ТЗНП, с которой производилось согласование, за расчетное значение принимается наибольшая

из всех выдержек времени ступеней ТЗНП, с которыми производилось согласование по току срабатывания;

ΔT – степень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

11.3.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ), постоянно введенной в работу

Третья ступень предназначена для резервирования защит и выключателей присоединений, отходящих от систем (секций) шин ПС А. Действует на деление систем (секций) шин ПС А с выдержкой времени.

11.3.4.1. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию согласования с третьей (четвертой) ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-3 (строка 3.1, таблица 11.3) производится аналогично расчету при согласовании со второй ступенью ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-3 в соответствии с указаниями пункта 11.3.3.1.

11.3.4.2. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию согласования с третьими (четвертыми) ступенями ТЗНП защиты 2 ЛЭП Л-1, защиты 4 ЛЭП Л-2 и защиты 5 ЛЭП Л-4 (строка 3.1, таблица 11.3) производится аналогично расчету при согласовании со вторыми ступенями ТЗНП указанных ЛЭП в соответствии с указаниями пункта 11.3.3.2.

11.3.4.3. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию согласования с ТЗНП АТ-1 ПС А, действующей при КЗ на землю в сети смежного напряжения АТ-1 строка 3.2, таблица 11.3), производится по выражению (11.22) в соответствии с указаниями пункта 11.3.3.3.

11.3.4.4. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ и Т с заземленными нейтралью (строка 3.3, таблица 11.3) производится по выражению (Б.6) согласно указаниям, приведенным в приложении Б.

Отстройку от БТН необходимо выполнять при опробовании от ШСВ (СВ) систем (секций) шин ПС А с учетом всех возможных подключенных ненагруженных АТ и Т с заземленными нейтралью, на которые может быть подано напряжение.

Для третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ), действующей с выдержкой времени, при расчете тока срабатывания по данному условию следует учесть затухание БТН во времени.

Отстройка от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ (Т с заземленными нейтралью) выполняется в случае использования третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) в качестве автоматически или оперативно ускоряемой ступени.

11.3.4.5. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах смежного напряжения АТ-1 и Т-3 ПС А (строка 3.4, таблица 11.3) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.5, если третья ступень ТЗНП защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

11.3.4.6. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности

в нагрузочном режиме (строка 3.5, таблица 11.3) производится согласно пункту 3.3.6.1.

11.3.4.7. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП, отходящих от ПС А, (строка 3.6, таблица 11.3) производится по выражению (5.7) согласно пункту 5.3.1.6, если третья ступень ТЗНП ШСВ (СВ) используется в качестве оперативно ускоряемой ступени.

11.3.4.8. Расчет тока срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю в зоне дальнего резервирования (строка 3.7, таблица 11.3) производится по выражению:

$$3I_{0\text{ТЗНП}1}^{\text{III}} \leq \frac{3I_{01}}{k_{\text{ч}}}, \quad (11.27)$$

где $3I_{01}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в зоне дальнего резервирования;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности.

Чувствительность при КЗ в зоне дальнего резервирования обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности $k_{\text{ч}} \geq 1,2$.

Если чувствительность третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) при КЗ на землю в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, то допускается:

- не резервировать КЗ на отходящих от систем (секций) шин ЛЭП 110 кВ и выше при наличии УРОВ и при условии обеспечения ближнего резервирования;
- обеспечивать дальнейшее резервирование без учета редких ремонтных схем и при каскадном действии защит отходящих присоединений;
- обеспечивать дальнейшее резервирование не защитами ШСВ (СВ), а защитами отходящих от шин ПС А АТ (Т), после их действия на деление шин ПС А, с последующим каскадным отключением повреждения резервными защитами ЛЭП и оборудования.

11.3.4.9. Ток срабатывания третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается максимальным из значений, рассчитанных согласно пунктам 11.3.4.1–11.3.4.7 при условии обеспечения чувствительности согласно пункту 11.3.4.8.

11.3.4.10. Выдержка времени третьей ступени ТЗНП ШСВ (СВ) выбирается по условию согласования с выдержками времени ступеней ТЗНП ЛЭП и Т (АТ), с которыми выполнялось согласование по току срабатывания по выражению:

$$T_{\text{ТЗНП}1}^{\text{III}} \geq T_{\text{уст}}^{\text{N}} + \Delta T, \quad (11.28)$$

где $T_{уст}^N$ – выдержка времени срабатывания ступени ТЗНП, с которой производится согласование, за расчетное значение принимается наибольшая из всех выдержек времени ступеней защит, с которыми производилось согласование по току срабатывания;

ΔT – степень селективности, рассчитывается по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

11.3.5. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ), предназначенной для оперативного ввода в работу

При выводе из работы ДЗШ или УРОВ может оперативно вводиться в действие первая ступень ТЗНП ШСВ (СВ) или может быть выполнено ОУ постоянно введенной в работу ступени ТЗНП ШСВ (СВ).

При оперативном вводе в работу первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) для ограничения числа возможных неселективных отключений ШСВ (СВ) при КЗ на землю в смежной сети рекомендуется не совмещать вывод ДЗШ и отключение питающих присоединений.

11.3.5.1. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю на шинах ПС А (строка 1.1, таблица 11.4) производится по выражению (11.18) согласно пункту 11.3.2.7.

Чувствительность при КЗ на землю на шинах ПС А обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5.$$

11.3.5.2. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-1 ПС А, примыкающей к сети с заземленной нейтралью (строка 1.2, таблица 11.4), производится по выражению (11.17) в соответствии с указаниями пункта 11.3.2.3.

11.3.5.3. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ и Т с заземленными нейтральями (строка 1.3, таблица 11.4) производится в соответствии с указаниями пункта 11.3.2.4.

11.3.5.4. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ ЛЭП, отходящих от ПС А, (строка 1.4, таблица 11.4), производится по выражению (5.7) согласно указаниям пункта 5.3.1.6.

11.3.5.5. Ток срабатывания оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается максимальным из значений, рассчитанных согласно пунктам 11.3.5.2–11.3.5.4 при условии обеспечения чувствительности согласно пункту 11.3.5.1.

11.3.5.6. При невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и отстройки, ток срабатывания оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается по условию обеспечения чувствительности согласно пункту 11.3.5.1. Возможное излишнее действие защиты в режимах, рассматриваемых в пунктах 11.3.5.2 – 1.3.5.4, необходимо в соответствии с Методическими

указаниями [10], внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

11.3.5.7. Выдержка времени срабатывания оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается равной ступени селективности ΔT , рассчитываемой по выражению (5.21), при условии, что при этом обеспечивается отключение КЗ за время, требуемое для сохранения динамической устойчивости генерирующего оборудования.

Допускается выдержку времени оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) или выдержку времени оперативно ускоряемой ступени ТЗНП ШСВ (СВ), действующих на деление шин, принимать менее принятой ступени селективности ΔT для согласования с выдержками времени оперативно ускоренных при выводе из работы ДЗШ ступеней ТЗНП смежных присоединений при одновременном выполнении следующих условий:

- на ШСВ (СВ) предусмотрено АПВ;
- деление шин при действии оперативно вводимой первой ступени ТЗНП ШСВ (СВ) или ОУ ступени ТЗНП ШСВ (СВ) при КЗ на землю на смежных присоединениях не приводит к прекращению электроснабжения потребителей или разделению энергосистемы на изолированно работающие части.

11.3.6. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ), предназначенной для оперативного ввода в действие при опробовании напряжением систем (секций) шин

В зависимости от технической возможности устройства РЗ ШСВ (СВ) при опробовании напряжением систем (секций) шин можно использовать:

- автоматическое (оперативное) ускорение постоянно введенной ступени ТЗНП ШСВ (СВ);
- автоматическое (оперативное) ускорение оперативно вводимой в действие при выводе из работы ДЗШ ступени ТЗНП ШСВ (СВ);
- оперативно вводимые ступени ТЗНП (с использованием групп уставок в МП устройствах РЗ ШСВ (СВ)), предназначенные только для режима опробования.

11.3.6.1. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю на шинах ПС А в режиме опробования напряжением шин ПС А (строка 2.1, таблица 11.4) производится по выражению (11.18) согласно пункту 11.3.2.7.

Чувствительность при КЗ на землю на шинах ПС А обеспечивается в расчетном по чувствительности режиме с коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5.$$

11.3.6.2. Расчет тока срабатывания оперативно вводимой второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) по условию отстройки от БТН при включении через ШСВ (СВ) систем (секций) шин под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ и Т с заземленными нейтралями (строка 2.2, таблица 11.4) производится в соответствии с указаниями пункта 11.3.2.4.

11.3.6.3. Выдержка времени срабатывания оперативно вводимой второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) при опробовании напряжением систем (секций) шин принимается равной 0–0,15 с.

В случае если ток срабатывания оперативно вводимой второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) не отстроен от БТН согласно пункту 11.3.2.4, необходимо выполнить отстройку от БТН временем срабатывания данной ступени. В этом случае выдержка время срабатывания оперативно вводимой второй ступени ТЗНП ШСВ (СВ) принимается равной 0,4–0,5 с.

12. Расчет и выбор параметров настройки АМТЗ ЛЭП

12.1. Назначение и измерительные органы АМТЗ

В устройствах резервных защит ЛЭП 110 кВ и выше в соответствии с пунктом 43 Требований [13] должна предусматриваться АМТЗ, которая вводится в работу при выявлении неисправности цепей напряжения и блокировки защит ЛЭП, которые могут работать ложно и излишне при отсутствии повреждения в сети.

АМТЗ ЛЭП вводится в работу со стороны ПС, где отсутствует возможность обеспечить селективную и чувствительную защиту ЛЭП от всех видов КЗ другими устройствами РЗ.

Основное требование, предъявляемое к АМТЗ, – отключение всех видов КЗ на защищаемой ЛЭП с выдержкой времени, обеспечивающей устойчивость работы генерирующего оборудования и нагрузки.

В соответствии с пунктом 7 Функциональных требований [14, 15] АМТЗ должна иметь в своем составе не менее двух ступеней токовых защит, одна из которых реагирует на фазный ток, другая – на утроенный ток нулевой последовательности.

В некоторых МП устройствах РЗ ЛЭП 110 кВ и выше содержится две и более ступеней АМТЗ.

12.2. Общие указания по расчету

Расчет и выбор параметров настройки АМТЗ ЛЭП 110 кВ и выше с двусторонним питанием производится с учетом располагаемого количества ступеней АМТЗ в устройстве РЗ и их функциональным назначением.

1) Если в устройстве РЗ ЛЭП 110 кВ и выше АМТЗ содержит две ступени, реагирующих на фазный ток, и две ступени, реагирующих на утроенный ток нулевой последовательности, функциональное назначение ступеней следующее:

- первая ступень, реагирующая на фазный ток, охватывает часть защищаемой ЛЭП при междуфазных КЗ, действует на отключение без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени;

- первая ступень, реагирующая на утроенный ток нулевой последовательности, охватывает часть защищаемой ЛЭП при КЗ на землю, действует на отключение без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени;

- вторая ступень, реагирующая на фазный ток, надежно охватывает всю защищаемую ЛЭП при междуфазных КЗ, действует на отключение с выдержкой времени;

- вторая ступень, реагирующая на утроенный ток нулевой последовательности, надежно охватывает всю защищаемую ЛЭП при КЗ на землю, действует на отключение с выдержкой времени.

2) Если в устройстве РЗ ЛЭП 110 кВ и выше АМТЗ содержит одну ступень, реагирующую на фазный ток, и одну ступень, реагирующую

на утроенный ток нулевой последовательности, функциональное назначение ступеней соответствует указанному выше назначению для вторых ступеней АМТЗ.

Функциональное назначение и расчетные условия для выбора параметров настройки первой ступени АМТЗ, реагирующей на фазные токи, полностью соответствуют функциональному назначению и расчетным условиям выбора параметров настройки МФТО всех типов ЛЭП 110 кВ и выше и приведены в разделе 10.

Функциональное назначение и расчетные условия для выбора параметров настройки первой ступени АМТЗ, реагирующей на утроенный ток нулевой последовательности, соответствуют функциональному назначению и расчетным условиям выбора параметров настройки первой ступени ТЗНП для всех типов ЛЭП 110 кВ и выше и приведены в разделах 5–8. При этом следует учитывать, что АМТЗ выполняется ненаправленной и необходимо обеспечить селективность первой ступени по условию отстройки при КЗ на землю на шинах ПС, где установлена рассматриваемая защита.

В устройствах РЗ ЛЭП 330 кВ и выше, оснащенных ОАПВ, в случае однофазных КЗ на защищаемой ЛЭП АМТЗ действует на отключение трех фаз, поэтому условие отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в цикле ОАПВ для АМТЗ, реагирующей на утроенный ток нулевой последовательности, не является расчетным.

В настоящем разделе рассматриваются расчетные условия для выбора параметров настройки второй ступени АМТЗ с надежным охватом защищаемой ЛЭП.

Расчетные выражения для выбора тока срабатывания ступеней АМТЗ приводятся в первичных величинах.

Поскольку основное требование, предъявляемое к АМТЗ, – отключение всех видов КЗ на защищаемой ЛЭП с выдержкой времени, обеспечивающей динамическую устойчивость работы генерирующего оборудования, селективность второй ступени АМТЗ при внешних КЗ обеспечивается при условии выполнения требований по чувствительности и быстродействию.

При наличии в устройстве РЗ большего количества ступеней АМТЗ, третьей и более старшие ступени не используются. Требование обеспечения чувствительности при КЗ в зоне дальнего резервирования к АМТЗ не предъявляется.

При выполнении расчетов необходимо учитывать общие указания по расчету параметров настройки МФТО и ТЗНП для всех типов ЛЭП, приведенные в соответствующих разделах настоящих Методических указаний.

12.3. Перечень расчетных условий

Расчетные условия для выбора параметров настройки АМТЗ в составе защиты 1 ЛЭП Л-1, установленной со стороны ПС А, приводятся на примере

одионочной ЛЭП с ответвлением с двусторонним питанием для одного из вариантов типовой конфигурации электрической сети (рисунок 12.1).

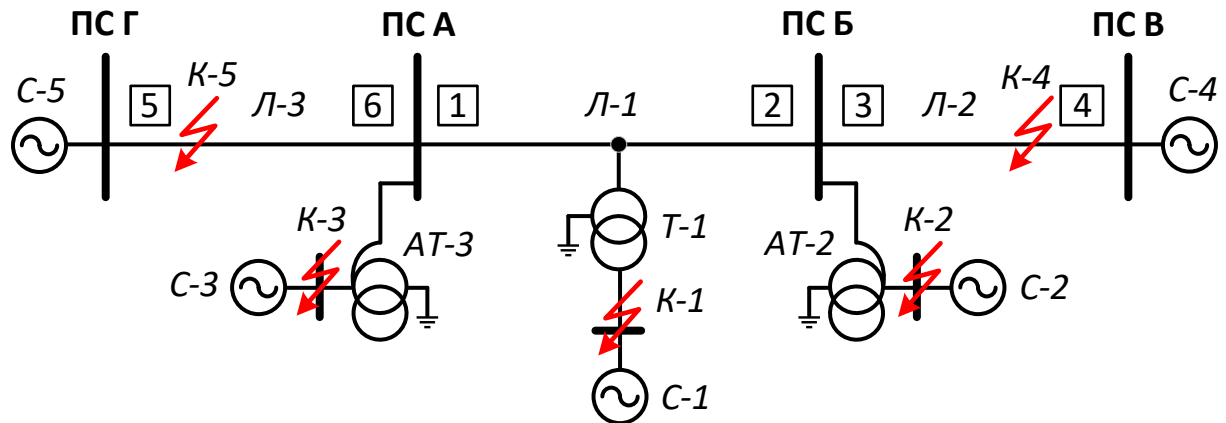


Рисунок 12.1. Расчетные условия по обеспечению селективной работы при внешних КЗ АМТЗ одионочной ЛЭП с ответвлением

Расчетные условия и выбор параметров настройки АМТЗ для других типов ЛЭП и конфигураций электрической сети, которые приведены на рисунках 5.1, 6.1, 7.1 и 8.1 и рассматриваются в разделах 5–8, аналогичны настоящему примеру.

Перечень расчетных условий для выбора параметров настройки второй ступени АМТЗ с надежным охватом защищаемой ЛЭП приведен с учетом вида повреждений, на которые реагируют измерительные органы защиты:

- в таблице 12.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки АМТЗ, включенной на фазные токи;
- в таблице 12.2 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки АМТЗ, включенной на утроенный ток нулевой последовательности.

Таблица 12.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки второй ступени АМТЗ, включенной на фазные токи

№ п/п	Ступень защиты	Расчетные условия
1	2 ступень	Обеспечение чувствительности при КЗ на каждом противоположном конце ЛЭП Л-1
2		Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными Т (АТ)
3		Отстройка от токов самозапуска двигателей нагрузки, питаемой от Т на ПС ответвления ЛЭП Л-1
4		Отстройка от максимального тока при качаниях или асинхронном режиме
5		Отстройка от длительно допустимого рабочего тока ЛЭП в нагрузочных режимах работы энергосистемы

6		Отстройка от КЗ на шинах СН (НН) ПС на ответвлении ЛЭП Л-1
7		Отстройка от КЗ на шинах смежного напряжения ПС А и ПС Б
8		Согласование с 1 ступенью ДЗ ЛЭП, отходящих от шин ПС А и ПС Б
9		Согласование с 1 ступенью ТЗНП ЛЭП, отходящих от шин ПС А и ПС Б

Таблица 12.2

Расчетные условия для выбора параметров настройки второй ступени АМТЗ, включенной на утроенный ток нулевой последовательности

№ п/п	Степень защиты	Расчетные условия
1	2 ступень	Обеспечение чувствительности при КЗ на землю на каждом противоположном конце ЛЭП Л-1
2		Отстройка от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенным к ней ненагруженным Т-1 с заземленной нейтралью (АТ, Т с заземленными нейтралями)
3		Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах СН (НН) ПС на ответвлении и на шинах смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
4		Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме
5		Отстройка от тока небаланса нулевой последовательности в нагрузочных режимах работы энергосистемы
6		Отстройка от КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ (Т) ПС А и ПС Б
7		Согласование с 1 ступенью ТЗНП ЛЭП, отходящих от шин ПС А и ПС Б

Примечание. Под сокращением «ПС» следует также понимать электростанции.

12.4. Расчет и выбор параметров настройки АМТЗ

12.4.1. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени АМТЗ, включенной на фазные токи

12.4.1.1. Расчет тока срабатывания $I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}}$ второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию обеспечения чувствительности при КЗ на каждом конце защищаемой ЛЭП Л-1 (строка 1, таблица 12.1) производится по выражению:

$$I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}} \leq \frac{I_{\text{КЗ мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (12.1)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ – минимальное значение фазного тока в месте установки защиты при КЗ в расчетной точке в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,5 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

При наличии быстродействующих защит (быстродействующих ступеней защит на противоположной питающей стороне) ЛЭП, обеспечивающих каскад в расчетном по чувствительности режиме, в качестве расчетного по условию обеспечения чувствительности второй ступени АМТЗ при КЗ на каждом конце защищаемой ЛЭП должен приниматься режим каскадного отключения повреждения.

Чувствительность АМТЗ, включенной на фазные токи, необходимо обеспечить:

- при всех видах КЗ при отсутствии ступени, включенной на утроенный ток нулевой последовательности;
- при двухфазных КЗ при наличии ступени, включенной на утроенный ток нулевой последовательности.

12.4.1.2. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от БТН Т (АТ) (строка 2, таблица 12.1) производится согласно указаниям приложения Б, если возможен режим включения ненагруженного Т (АТ) под напряжение через ЛЭП Л-1.

Для второй ступени АМТЗ, действующей с выдержкой времени, при расчете тока срабатывания по данному условию следует учесть затухание БТН во времени.

Если отстройка от БТН Т (АТ) приводит к снижению чувствительности второй ступени АМТЗ, целесообразно изменить порядок опробования ЛЭП Л-1 и опробовать ее от ПС Б. В этом случае данное расчетное условие допускается не учитывать.

12.4.1.3. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ по условию отстройки от токов самозапуска двигателей нагрузки, питаемой от всех Т, присоединенных к ответвлениям ЛЭП Л-1, при включении линии под напряжение от устройства АПВ (строка 3, таблица 12.1) производится по выражению:

$$I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{нагр сз}}, \quad (12.2)$$

где $I_{\text{нагр сз}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты в рассматриваемом режиме, определяется согласно пункту 10.4.6;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

Если отстройка от токов самозапуска двигателей нагрузки, питаемой от всех Т, присоединенных к ответвлениям ЛЭП Л-1, приводит к снижению чувствительности второй ступени АМТЗ, целесообразно изменить порядок опробования ЛЭП Л-1 от АПВ и опробовать ее от ПС Б. В этом случае данное расчетное условие допускается не учитывать.

12.4.1.4. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от максимального тока в асинхронном режиме или

режиме синхронных качаний (строка 4, таблица 12.1) производится, если указанные режимы возможны на защищаемой ЛЭП Л-1 и выдержка времени срабатывания второй ступени АМТЗ меньше периода качаний:

$$I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кач макс}}, \quad (12.3)$$

где $I_{\text{кач макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 в рассматриваемом режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2–1,3 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

12.4.1.5. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от тока в нагрузочных режимах работы энергосистемы (строка 5, таблица 12.1) производится по выражению:

$$I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} I_{\text{нагр}}, \quad (12.4)$$

где $I_{\text{нагр}}$ – значение фазного тока в месте установки защиты 1, соответствующее длительно допустимому рабочему току по защищаемой ЛЭП в нагрузочном режиме, определяется в соответствии с Методическими указаниями [6];

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

12.4.1.6. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах НН (СН) ПС на ответвлении ЛЭП Л-1 (строка 6, таблица 12.1) производится по выражению:

$$I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}}, \quad (12.5)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при КЗ в расчетной точке (К-1, рисунок 12.1) в расчетном по отстройке режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,3 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

Указанное значение коэффициента отстройки принимается, если Т (АТ) ПС на ответвлениях, имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН. В случае если сопротивления АТ в схеме замещения соответствуют средним положениям РПН, значения коэффициентов отстройки требуют уточнения. Указания по расчету реактивных сопротивлений Т (АТ) при наличии РПН и примеры расчета приведены в Приложении В к Методическим указаниям [3].

При выполнении расчетов следует учитывать режим работы, когда ЛЭП Л-1 отключена с одной из питающих сторон, противоположной месту установки рассматриваемой защиты.

Расчет тока срабатывания $I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}}$ по указанному условию отстройки производится при всех видах КЗ, на которые реагирует защита, в случае двухфазных КЗ необходимо учитывать схему соединения обмоток Т-1.

12.4.1.7. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах смежного напряжения АТ-3 ПС А и АТ-2 ПС Б (строка 7, таблица 12.1) производится по выражению:

$$I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}}, \quad (12.6)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при КЗ в расчетных точках (К-2 и К-3, рисунок 12.1) в расчетном по отстройке режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,3 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

Указанное значение коэффициента отстройки принимается, если АТ-3 ПС А и АТ-2 ПС Б, имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН. В случае если сопротивления АТ в схеме замещения соответствуют средним положениям РПН, значения коэффициентов отстройки требуют уточнения. Указания по расчету реактивных сопротивлений Т (АТ) при наличии РПН и примеры расчета приведены в Приложении В к Методическим указаниям [3].

Расчет тока срабатывания $I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}}$ по указанному условию отстройки производится при всех видах КЗ, на которые реагирует защита.

12.4.1.8. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию согласования с первыми ступенями ДЗ защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 6 ЛЭП Л-3 (строка 8, таблица 12.1) производится по выражению:

$$I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}}, \quad (12.7)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при КЗ в конце зоны действия первой ступени ДЗ защиты 3 и первой ступени ДЗ защиты 6 (К-4 и К-5, рисунок 12.1) в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

Согласование со ступенями ДЗ производится с учетом возможного сокращения зоны действия ступени ДЗ согласно пункту 3.3.3 Методических указаний [3].

Расчет тока срабатывания $I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}}$ по условию согласования с первыми ступенями ДЗ защиты 3 и защиты 6 от междуфазных КЗ производится при металлических трехфазных КЗ.

Расчет тока срабатывания $I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}}$ по условию согласования с первыми ступенями ДЗ защиты 3 и защиты 6 от КЗ на землю производится при металлических однофазных КЗ на землю. Согласование с первыми

ступенями ДЗ от КЗ на землю производится в случае отсутствия или неэффективности первых ступеней ТЗНП защиты 3 и защиты 6 в расчетных по согласованию режимах.

12.4.1.9. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 6 ЛЭП Л-3 (строка 9, таблица 12.1) производится по выражению:

$$I_{\text{АМТЗ } 1}^{\text{II}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз макс}}, \quad (12.8)$$

где $I_{\text{кз макс}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны действия первой ступени ТЗНП защиты 3 и первой ступени ТЗНП защиты 6 (К-4 и К-5, рисунок 12.1) в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

12.4.1.10. При невозможности одновременно обеспечить требование чувствительности и селективности, ток срабатывания второй ступени АМТЗ принимается по условию обеспечения чувствительности согласно пункту 12.4.1.1.

12.4.1.11. Выдержка времени второй ступени АМТЗ защиты 1, включенной на фазные токи, выбирается исходя из следующих условий:

- сохранение динамической устойчивости работы генерирующего оборудования;
- обеспечение отстройки от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными Т (АТ) с учетом затухания БТН за время действия АМТЗ;
- обеспечение селективной работы АМТЗ при внешних КЗ с быстродействующими защитами смежных сетевых элементов;
- обеспечение селективной работы резервных защит смежных присоединений при КЗ на защищаемой ЛЭП.

В соответствии с пунктом 24 Требований [7] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению быстродействия устройств РЗ при КЗ на защищаемой ЛЭП в целях сохранения динамической устойчивости работы генерирующего оборудования и требований по обеспечению селективности действия защит при внешних КЗ приоритет отдается требованию обеспечения быстродействия.

Минимальная выдержка времени второй ступени АМТЗ защиты 1 может быть принята равной ступени селективности ΔT по согласованию с быстродействующими защитами смежных присоединений, расчет ΔT производится по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

В случае если определяющим условием при выборе выдержки времени УРОВ выключателя, на который действует АМТЗ, является условие обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования при

ликвидации КЗ вблизи места установки рассматриваемой защиты, выдержка времени второй ступени АМТЗ принимается равной выдержке времени УРОВ.

12.4.2. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени АМТЗ, включенной на утроенный ток нулевой последовательности

12.4.2.1. Расчет тока срабатывания $3I_{0\text{ АМТЗ } 1}^{\text{II}}$ второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю на каждом конце защищаемой ЛЭП Л-1 (строка 1, таблица 12.2) производится по выражению:

$$3I_{0\text{ АМТЗ } 1}^{\text{II}} \leq \frac{3I_{0\text{ КЗ мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (12.9)$$

где $3I_{0\text{ КЗ мин}}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты при однофазных и двухфазных КЗ на землю в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,5 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

При наличии быстродействующих защит (быстродействующих ступеней защит на противоположной питающей стороне) ЛЭП, обеспечивающих каскад в расчетном по чувствительности режиме, в качестве расчетного по условию обеспечения чувствительности второй ступени АМТЗ при КЗ на каждом конце защищаемой ЛЭП должен приниматься режим каскадного отключения повреждения.

12.4.2.2. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенным к ней ненагруженным АТ (Т с заземленной нейтралью) (строка 2, таблица 12.2) производится по выражению (Б.6) согласно указаниям, приведенным в приложении Б.

Для второй ступени АМТЗ, действующей с выдержкой времени, при расчете тока срабатывания по данному условию следует учесть затухание БТН во времени.

Если отстройка от БТН Т (АТ) приводит к снижению чувствительности второй ступени АМТЗ, целесообразно изменить порядок опробования ЛЭП Л-1 и опробовать ее от ПС Б. В этом случае данное расчетное условие допускается не учитывать.

12.4.2.3. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при трехфазных КЗ на шинах СН (НН) ПС на ответвлении и шинах смежного напряжения АТ-3 ПС А и АТ-2 ПС Б (строка 3, таблица 12.2) производится в соответствии с указаниями пункта 3.3.5, если вторая ступень АМТЗ защиты 1 имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на поврежденном элементе.

12.4.2.4. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при качаниях или асинхронном режиме (строка 4, таблица 12.2) производится

в соответствии с указаниями пункта 3.3.6.2, если на защищаемой ЛЭП возможны указанные режимы и выдержка времени срабатывания второй ступени АМТЗ меньше периода качаний.

12.4.2.5. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности в максимальном нагрузочном режиме (строка 5, таблица 12.2) производится от длительно допустимого рабочего тока по защищаемой ЛЭП согласно пункту 3.3.6.

12.4.2.6. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности при КЗ на землю на стороне смежного напряжения АТ-2 ПС Б и АТ-3 ПС А (строка 6, таблица 12.2), примыкающей к сети с заземленной нейтралью, производится по выражению:

$$3I_{0 \text{ АМТЗ } 1}^{II} \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ КЗ макс}} , \quad (12.10)$$

где $3I_{0 \text{ КЗ макс}}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при однофазном и двухфазном КЗ на землю в расчетных точках (К-2 и К-3, рисунок 12.1) в расчетном по отстройке режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.1.5.

12.4.2.7. Расчет тока срабатывания второй ступени АМТЗ защиты 1 по условию согласования с первыми ступенями ТЗНП защиты 3 ЛЭП Л-2 и защиты 6 ЛЭП Л-3 (строка 7, таблица 12.2) производится по выражению:

$$3I_{0 \text{ АМТЗ } 1}^{II} \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ КЗ макс}} , \quad (12.11)$$

где $3I_{0 \text{ КЗ макс}}$ – максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты 1 при КЗ на землю в конце зоны, защищаемой первой ступенью ТЗНП защиты 3 и первой ступенью ТЗНП защиты 6 (К-4 и К-5, рисунок 12.1) в расчетном по согласованию режиме;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,1 для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше.

В случае отсутствия или неэффективности первых ступеней ТЗНП защиты 3 и защиты 6 в расчетных по согласованию режимах, допускается согласовать вторую ступень АМТЗ с первыми ступенями ДЗ от КЗ на землю защиты 3 и защиты 6. Согласование со ступенями ДЗ производится с учетом возможного сокращения зоны действия ступени ДЗ согласно пункту 3.3.3 Методических указаний [3].

12.4.2.8. При невозможности одновременно обеспечить требование чувствительности и селективности, ток срабатывания второй ступени АМТЗ принимается по условию обеспечения чувствительности согласно пункту 12.4.2.1.

12.4.2.9. Выдержка времени второй ступени АМТЗ защиты 1, включенной на утроенный ток нулевой последовательности, выбирается исходя из следующих условий:

- сохранение динамической устойчивости работы генерирующего оборудования;
- обеспечение отстройки от БТН при включении ЛЭП Л-1 под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными АТ (Т с заземленной нейтралью) с учетом затухания БТН за время действия АМТЗ;
- обеспечение селективной работы АМТЗ при внешних КЗ на землю с быстродействующими защитами смежных сетевых элементов;
- обеспечение селективной работы ТЗНП смежных присоединений при КЗ на землю на защищаемой ЛЭП.

В соответствии с пунктом 24 Требований [7] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению быстродействия устройств РЗ при КЗ на землю на защищаемой ЛЭП в целях сохранения динамической устойчивости работы генерирующего оборудования и требований по обеспечению селективности действия защит при внешних КЗ приоритет отдается требованию обеспечения быстродействия.

Минимальная выдержка времени второй ступени АМТЗ защиты 1, включенной на утроенный ток нулевой последовательности, может быть принята равной ступени селективности ΔT по согласованию с быстродействующими защитами смежных присоединений при условии, что при этом обеспечивается отключение КЗ на защищаемой ЛЭП за время, требуемое для сохранения динамической устойчивости работы генерирующего оборудования. Степень селективности рассчитывается по выражению (5.21) в соответствии с указаниями пункта 5.3.2.9.

В случае если определяющим условием при выборе выдержки времени УРОВ выключателя, на который действует АМТЗ, является условие обеспечения динамической устойчивости работы генерирующего оборудования, выдержка времени второй ступени АМТЗ принимается равной выдержке времени УРОВ.

13. Расчет и выбор параметров настройки ТЗО ЛЭП

13.1. Назначение и измерительные органы ТЗО

В соответствии с пунктом 10 Функциональных требований [14 15] в устройствах РЗ ЛЭП 110 кВ и выше, подключенных к распределительному устройству более чем через один выключатель, предусматривается ТЗО, которая должна иметь в своем составе:

- токовый орган с контролем фазных токов;
- токовый орган с контролем утроенного тока нулевой последовательности.

При выводе ЛЭП в ремонт, когда она отключается линейным разъединителем, а выключатели ЛЭП остаются включенными, для защиты ошиновки ЛЭП предусматривается ТЗО. Измерительные органы ТЗО включаются на сумму токов ТТ выключателей.

Основное требование, предъявляемое к ТЗО, – обеспечение отключения всех видов КЗ на ошиновке защищаемой ЛЭП без выдержки времени или с минимальной выдержкой времени.

ТЗО в устройствах РЗ ЛЭП 110 кВ и выше выполняется ненаправленной, что позволяет оставаться защите в работе при отсутствии напряжения или неисправностях в цепях напряжения.

13.2. Расчет и выбор параметров настройки ТЗО

13.2.1. Расчет тока срабатывания ТЗО, включенной на фазные токи, по условию обеспечения чувствительности при КЗ на ошиновке защищаемой ЛЭП производится по выражению:

$$I_{\text{ТЗО}} \leq \frac{I_{\text{КЗ мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (13.1)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ – минимальное значение фазного тока в месте установки защиты при КЗ в расчетной точке в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,5.

Чувствительность ТЗО, включенной на фазные токи, обеспечивается:

- при всех видах КЗ при отсутствии в защите токового органа, включенного на утроенный ток нулевой последовательности;
- при двухфазных КЗ при наличии в защите токового органа, включенного на утроенный ток нулевой последовательности.

13.2.2. Расчет тока срабатывания ТЗО, включенной на фазные токи, по условию отстройки от тока небаланса при внешнем КЗ производится по выражению:

$$I_{\text{ТЗО}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб}}, \quad (13.2)$$

где $I_{\text{нб}}$ – ток небаланса, обусловленный погрешностями ТТ в режиме КЗ, определяется по выражению:

$$I_{\text{нб}} = k_{\text{одн}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{макс КЗ}}, \quad (13.3)$$

где $k_{\text{одн}}$ – коэффициент однотипности, принимается равным 1;
 ε – полная погрешность ТТ в режиме КЗ, принимается равной 0,1;
 $k_{\text{пер}}$ – коэффициент переходного режима, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимается:

$k_{\text{пер}} = 2$ при выдержке времени рассматриваемой ступени меньшей или равной 0,1 с;

$k_{\text{пер}} = 1,5$ при выдержке времени рассматриваемой ступени меньшей или равной 0,3 с;

$k_{\text{пер}} = 1$ при выдержке времени рассматриваемой ступени большей или равной 0,5 с.

$I_{\text{макс кз}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты при внешнем КЗ вблизи места установки защиты.

Коэффициент отстройки $k_{\text{отс}}$ в выражении (13.2) принимается для всех типов устройств РЗ ЛЭП 110 кВ и выше:

$$k_{\text{отс}} = 1,25.$$

13.2.3. Расчет тока срабатывания ТЗО, включенной на утроенный ток нулевой последовательности, по условию обеспечения чувствительности при КЗ на землю на ошиновке защищаемой ЛЭП производится по выражению:

$$3I_{0 \text{ ТЗО}} \leq \frac{3I_{0 \text{ мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (13.4)$$

где $3I_{0 \text{ мин}}$ – минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности в месте установки защиты при КЗ на землю в расчетной точке в расчетном по чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,5.

13.2.4. Расчет тока срабатывания ТЗО, включенной на утроенный ток нулевой последовательности, по условию отстройки от тока небаланса нулевой последовательности при внешних КЗ вблизи места установки защиты производится по выражению (3.31) согласно указаниям пункта 3.3.5.

13.2.5. Если ток срабатывания $I_{\text{ТЗО}}$ удовлетворяет требованию отстройки согласно пункту 13.2.2, и ток срабатывания $3I_{0 \text{ ТЗО}}$ удовлетворяет требованию отстройки согласно пункту 13.2.4 и обеспечивается чувствительность защиты, ТЗО вводится в работу без выдержки времени или с минимальной выдержкой времени на срабатывание.

Если условие отстройки от тока небаланса при внешних КЗ является определяющим условием при выборе тока срабатывания ТЗО, рекомендуется использовать блокировку при внешних КЗ (при наличии технической возможности в устройстве РЗ), или выполнить ТЗО с выдержкой времени, равной ступени селективности ΔT по согласованию с быстродействующими защитами смежных присоединений при условии, что при этом обеспечивается отключение КЗ за время, требуемое для сохранения динамической устойчивости работы генерирующего оборудования при соответствующем виде КЗ.

14. Применение ТЗНП ЛЭП двойной чувствительности

14.1. Назначение и принцип действия ТЗНП двойной чувствительности

При наличии достаточного количества ступеней ТЗНП в устройствах РЗ параллельных ЛЭП возможна реализация автоматического очувствления отдельных ступеней ТЗНП в режиме работы параллельных ЛЭП (ТЗНП двойной чувствительности) с целью повышения чувствительности, улучшения условий согласования и уменьшения выдержек времени ступеней ТЗНП как на самих параллельных ЛЭП, так и в смежной сети.

Целесообразность реализации ТЗНП двойной чувствительности для одной или нескольких ступеней ТЗНП параллельных ЛЭП определяется расчетом.

Ступени ТЗНП с чувствительными уставками по току срабатывания автоматически вводятся в работу на время существования КЗ на землю в режиме, когда обе параллельные ЛЭП включены в транзит. При этом ступени ТЗНП с грубыми уставками по току срабатывания остаются в работе. Для контроля включенного состояния параллельной ЛЭП используется срабатывание токового измерительного органа самой чувствительной ступени ТЗНП параллельной ЛЭП.

При отключении одной из параллельных ЛЭП в работе остаются только ступени ТЗНП с грубыми уставками по току срабатывания.

Расчет параметров настройки ступеней ТЗНП с грубыми уставками по току срабатывания производится в соответствии с указаниями раздела 6 с учетом ремонтных схем с отключением параллельной ЛЭП.

Расчет параметров настройки ступеней ТЗНП с чувствительными уставками по току срабатывания производится в соответствии с указаниями раздела 6 без учета ремонтных схем с отключением параллельной ЛЭП.

Расчет параметров настройки ускоряемых ступеней ТЗНП двойной чувствительности производится в соответствии с указаниями раздела 9.

Расчет параметров настройки РНМ при реализации ТЗНП двойной чувствительности производится в соответствии с указаниями раздела 4.

Согласование ТЗНП смежных присоединений с ТЗНП параллельных ЛЭП, где реализована ТЗНП двойной чувствительности, производится с учетом режима работы параллельных ЛЭП.

Пример расчета параметров настройки ТЗНП двойной чувствительности для двух параллельных ВЛ 110 кВ приведен в подразделе 14.2.

14.2. Пример расчета параметров настройки ТЗНП двойной чувствительности

Расчет выполнен для защиты 2432 ВЛ 110 кВ Н-Златоуст–Златоуст 1 цепь, установленной со стороны ПС 110 кВ Н-Златоуст.

Схема участка сети с параметрами настройки ТЗНП и номерами рассматриваемых защит приведена на рисунке 14.1.

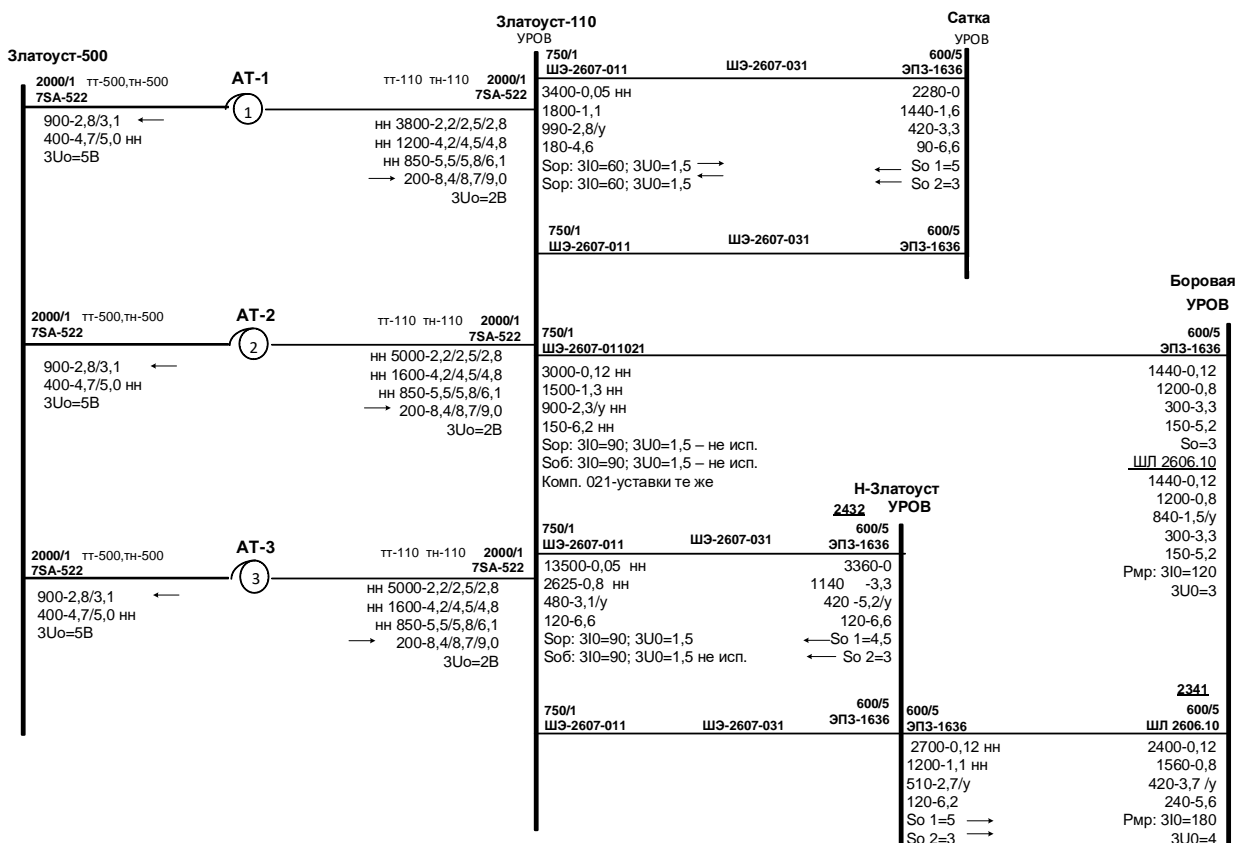


Рисунок 14.1. Схема участка сети с параметрами настройки ТЗНП

Приведены результаты расчета параметров настройки второй ступени ТЗНП защиты 2432 по условию согласования с первой ступенью ТЗНП АТ-1 ПС 500 кВ Златоуст, установленной на стороне 500 кВ, в нормальной и ремонтных схемах сети, и выполнена проверка чувствительности второй ступени ТЗНП защиты 2432 при КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП:

ВЛ-110кВ Н.ЗЛАТОУСТ - ЗЛАТОУСТ 1цепь

Защита 2432 Тип ТЗНП Ступень 2
 Ветвь 245-1229 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ: Пример 1

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ АТ-1 ПС Златоуст 900 Т=2.80 защита 7351 ТЗНП П/Р 1 Норм. схема	УСТ	421	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 205 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки по Kт=0.098		3I0=507 -87 3U0=35.90 -178 3I0 (Б)=1193 -90 3U0 (Б)=348.37 179
П/Р 2 Отключена и заземл. ВЛ 110 Златоуст-Боровая	УСТ	536	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 205 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки по Kт=0.109	ЭЛ 235	3I0=638 -87 3U0=28.90 -178 3I0 (Б)=1193 -90 3U0 (Б)=348.37 179
П/Р 3 Отключена и заземлена парал. ВЛ-2	УСТ	917	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 205 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки по Kт=0.213	ЭЛ 244	3I0=1106 -89 3U0=38.15 -179 3I0 (Б)=1195 -90 3U0 (Б)=348.14 179
П/Р 4 Доп. к П/Р 3	УСТ	1130	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 205 Защ Б работает	ЭЛ 244 ЭЛ 235	3I0=1364 -86 3U0=36.55 -179 3I0 (Б)=1195 -90

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
Отключена и заземл. ВЛ 110 Златоуст-Боровая				Икз>Исз - расчет уст-ки по Кт=0.263		3U0 (В)=347.77 179
ЧУВСТВИ-НОСТЬ к КЗ в конце ВЛ в норм. схеме	УСТ	1140	0.51	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 214		3I0=585 -83 3U0=40.35 -175
	УСТ	1140	0.61	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 214		3I0=694 96 3U0=47.91 4
ЧУВСТВИ-НОСТЬ к КЗ в конце ВЛ при отключении паралл. ВЛ-2	УСТ	1140	0.96	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 214	ОТКЛ 245- 1234	3I0=1099 -83 3U0=38.94 -174
	УСТ	1140	1.14	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 214	ОТКЛ 245- 1234	3I0=1304 96 3U0=46.22 5
ЧУВСТВИ-НОСТЬ В каскаде у шин ПС Златоуст, при отключении паралл. ВЛ-2	УСТ	1140	2.11	ВИД-КЗ А0 214-1229 УЗК=К	ОТКЛ 245- 1234	3I0=2407 -71 3U0=48.89 -170
	УСТ	1140	2.10	ВИД-КЗ ВС0 214-1229 УЗК=К	ОТКЛ 245- 1234	3I0=2398 105 3U0=48.70 7

По условию согласования с первой ступенью ТЗНП АТ-1 в ремонтной схеме сети с отключением параллельной ЛЭП первичный ток срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 2432 принимается равным 1140 А (грубая уставка).

Чувствительность второй ступени ТЗНП защиты 2432 с током срабатывания, равным 1140 А, при КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП обеспечивается только в режиме каскадного отключения повреждения со стороны ПС Златоуст.

По условию согласования с первой ступенью ТЗНП АТ-1 в ремонтной схеме сети без отключения параллельной ЛЭП первичный ток срабатывания второй ступени ТЗНП защиты 2432 может быть принят равным 540 А (чувствительная уставка).

Производится проверочный расчет параметров настройки третьей ступени ТЗНП защиты 2341 ВЛ 110 кВ Боровая – Н-Златоуст, установленной со стороны ПС 110 кВ Боровая, по условию согласования со второй ступенью ТЗНП ВЛ 110 кВ Н-Златоуст – Златоуст 1 цепь:

ВЛ-110кВ БОРОВАЯ – Н-ЗЛАТОУСТ

Защита 2341 Тип ТЗНП Ступень 3

Ветвь 240-1242 КТТ

Узел

КТН СЕТЬ:Пример 1

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ <u>Н-Златоуст-Златоуст-1</u> 1140 Т=3.30 защита 2432 ТЗНП П/Р 1 Норм. схема	УСТ	142	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 243/245 214-1229, 0.098 (Логн_лин=0.966)		3I0=129 -61 3U0=13.03 -167 3I0 (В)=1140 -84 3U0 (В)=43.93 -176
П/Р 2 Отключена и заземлена ВЛ-110 Боровая-Златоуст	УСТ	545	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 243/245 214-1229, 0.072 (Логн_лин=0.975)	ЭЛ 235	3I0=495 -67 3U0=13.55 -166 3I0 (В)=1140 -82 3U0 (В)=40.22 -176
ЧУВСТВИ-НОСТЬ к КЗ в конце ВЛ в норм. схеме	УСТ	545	1.16	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 245		3I0=630 -73 3U0=46.04 -177

Методические указания по расчету и выбору параметров настройки резервных токовых защит линий электропередачи 110 кВ и выше

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
	УСТ	545	1.05	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 245		3I0=573 107 3U0=37.91 4

Ток срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 2341 по условию согласования со второй ступенью ТЗНП ВЛ 110 кВ Н-Златоуст – Златоуст 1 цепь необходимо принять равным 545 А, при этом не обеспечивается требуемая чувствительность третьей ступени ТЗНП при КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП.

Для улучшения условий согласования третьей ступени ТЗНП защиты 2341 ВЛ 110 кВ Боровая – Н-Златоуст на параллельных ВЛ 110 кВ Н-Златоуст – Златоуст 1, 2 цепь устанавливается вторая ступень ТЗНП двойной чувствительности с грубой уставкой 1140 А и чувствительной уставкой 540 А.

Схема участка сети с принятыми параметрами настройки ТЗНП приведена на рисунке 14.2.

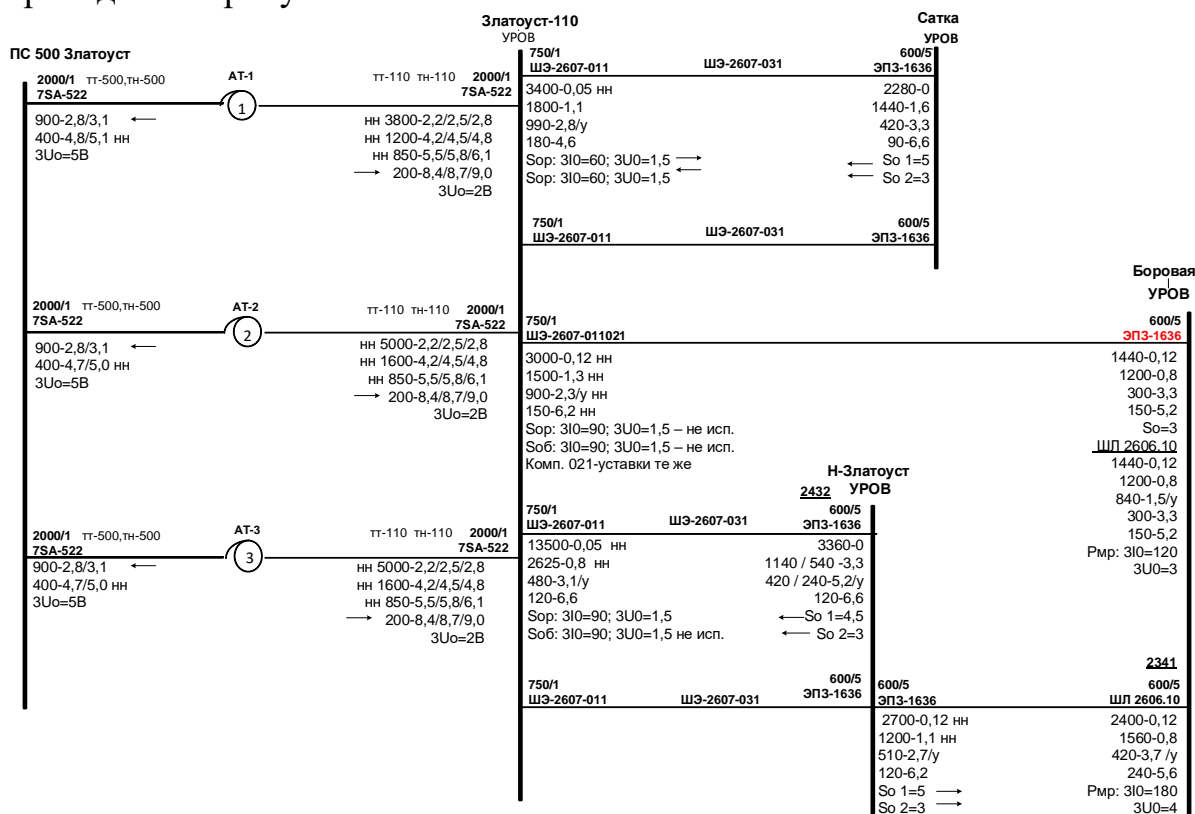


Рисунок 14.2. Схема участка сети с принятыми параметрами настройки ТЗНП

Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ТЗНП защиты 2341 ВЛ 110 кВ Боровая – Н-Златоуст по условию согласования производится:

- с грубой уставкой второй ступени ТЗНП ВЛ 110 кВ Н-Златоуст – Златоуст 1 цепь с учетом отключения параллельной ВЛ 110 кВ Н-Златоуст – Златоуст 2 цепь;

– с чувствительной уставкой второй ступени ТЗНП ВЛ 110 кВ Н-Златоуст – Златоуст 1 цепь без учета отключения параллельной ВЛ 110 кВ Н-Златоуст – Златоуст 2 цепь:

ВЛ-110кВ БОРОВАЯ – Н-ЗЛАТОУСТ

Защита 2341 Тип ТЗНП Ступень 3
 Ветвь 240-1242 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ: Пример 1

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ Н-Златоуст-Златоуст-1 1140 Т=3.30 защита 2432 ТЗНП П/Р 1 Согласование с грубой уставкой: отключена ВЛ-110 Н-Златоуст-Златоуст-2 цепь	УСТ	64	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 243/245 214-1229,0.020 (Lотн_лин=0.993)	ОТКЛ 245-1234	ЗИ0=59 -53 ЗU0=13.40 -168 ЗИ0(В)=1140 -83 ЗU0(В)=39.89 -175
П/Р 2 Доп. к П/Р 1 отключена и заземлена ВЛ-110 Боровая-Златоуст	УСТ	403	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 214 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки по Кт=0.322	ОТКЛ 245-1234 ЭЛ 235	ЗИ0=453 -68 ЗU0=13.17 -167 ЗИ0(В)=1408 -79 ЗU0(В)=35.48 -175
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ Н-Златоуст-Златоуст-1 540 Т=3.30 защита 2432 ТЗНП П/Р 1 Согласование с чувствительной уставкой: включена ВЛ-110 Н-Златоуст-Златоуст-2 цепь	УСТ	77	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 214 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки по Кт=0.129		ЗИ0=75 -60 ЗU0=13.70 -168 ЗИ0(В)=585 -83 ЗU0(В)=40.35 -175
П/Р 2 Доп. к П/Р 1 отключена и заземлена ВЛ-110 Боровая-Златоуст	УСТ	390	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 214 Защ Б работает Ikз>Iсз - расчет уст-ки по Кт=0.657	ЭЛ 235	ЗИ0=487 -68 ЗU0=13.74 -167 ЗИ0(В)=742 -80 ЗU0(В)=37.37 -175
ЧУВСТВИ-НОСТЬ к КЗ в конце ВЛ в норм. схеме	УСТ	420	1.5	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 245		ЗИ0=630 -73 ЗU0=46.04 -177
	УСТ	420	1.36	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 245		ЗИ0=573 107 ЗU0=37.91 4

Как видно из приведенного расчета, ток срабатывания третьей ступени ТЗНП защиты 2341 ВЛ 110 кВ Боровая – Н-Златоуст может остаться без изменения равным 420 А, требуемая чувствительность третьей ступени ТЗНП при КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП обеспечивается.

Вывод: при реализации второй ступени ТЗНП двойной чувствительности на параллельных ВЛ 110 кВ Н-Златоуст – Златоуст 1, 2 цепь

улучшаются условия согласования третьей ступени ТЗНП ВЛ 110 кВ Боровая – Н-Златоуст.

Приложение А

Учет положений РПН Т (АТ) при расчетах ТЗНП ЛЭП

При расчетах и выборе параметров настройки ТЗНП ЛЭП по условию отстройки от КЗ на шинах смежного напряжения Т (АТ) необходимо учитывать наличие РПН Т (АТ) ПС, примыкающей к противоположному концу ЛЭП, и ПС на ответвлениях ЛЭП.

Указания по расчету реактивных сопротивлений Т (АТ) при наличии РПН приведены в Приложении В к Методическим указаниям [3]. Там же дан пример расчета реактивных сопротивлений АТ 220 кВ при наличии РПН на стороне СН.

А.1 Пример расчета и выбора тока срабатывания ступеней ТЗНП ВЛ 220 кВ по условию отстройки от КЗ на шинах СН ПС 220 кВ Ямская АТЗ(4)

Паспортные данные АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская (рисунок А.1) приведены в таблице А.1. АТЗ(4) имеет РПН на стороне СН.

Диапазон регулирования напряжения составляет $\Delta U, \% = \pm 12 \%$.

Количество ступеней регулирования составляет ± 6 положений.

Результаты расчета реактивных сопротивлений с учетом положений РПН сведены в таблицах А.2 и А.3.

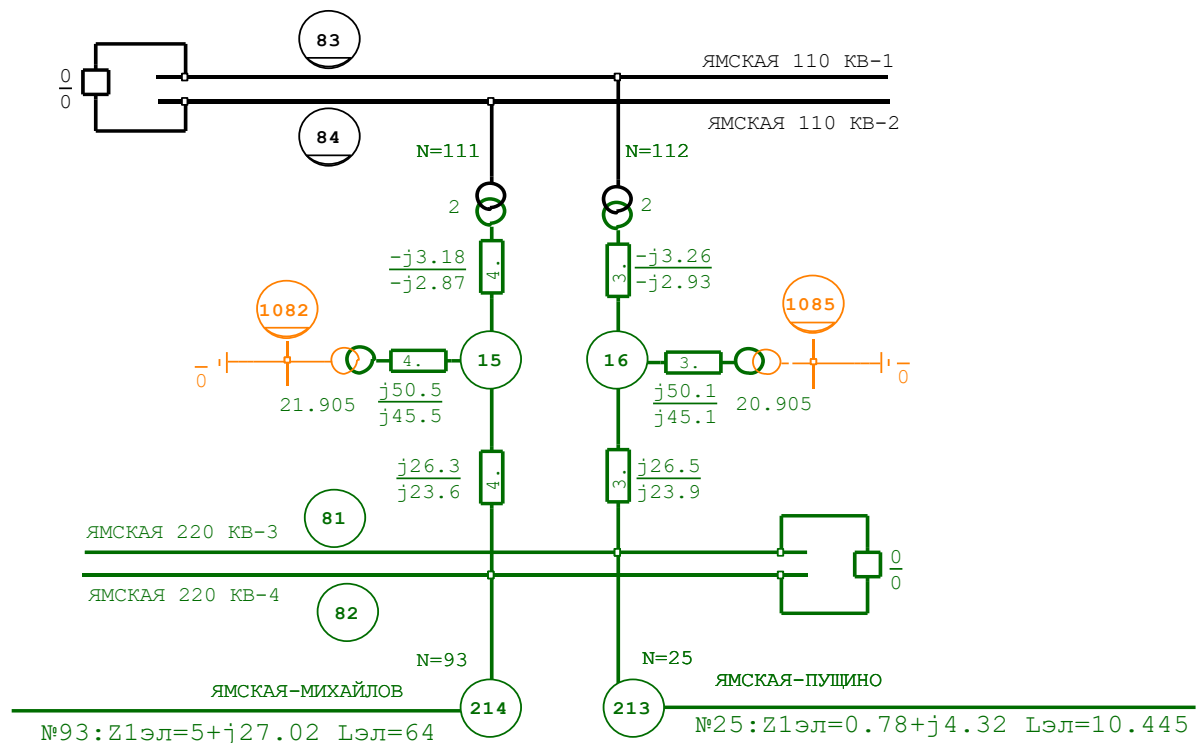


Рисунок А.1. Схема замещения АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская и ЛЭП 220 кВ

Таблица А.1

Паспортные данные АТЗ/АТ4 ПС 220 кВ Ямская

S _{ном} , МВА	U _{ном ВН} , кВ	U _{ном СН}		Напряжение КЗ, %		
		положение РПН	кВ	U _{к вн}	U _{к вс}	U _{к сн}
250	230	1 (макс U)	135,52	36,21/36,3	6,74/6,75	24,34/24,57
		7 (ном U)	121	36,21/36,3	11/10,91	22,13/22,38
		13 (мин U)	106,48	36,21/36,3	20,61/20,32	23,58/23,87

Таблица А.2

Результаты расчета реактивных сопротивлений АТЗ

Положение РПН	U _{ном СН} , кВ	Напряжение КЗ, %			Сопротивления АТЗ, приведенные к стороне ВН, Ом		
		U _{к, вн}	U _{к, вс}	U _{к, сн}	X _в	X _с	X _н
1 (+U _{макс})	135,52	36,21	6,74	24,34	19,69	-5,43	56,93
2	133,1	36,21	7,45	23,97	20,83	-5,07	55,79
3	130,68	36,21	8,16	23,60	21,97	-4,7	54,65
4	128,26	36,21	8,87	23,24	23,11	-4,34	53,51
5	125,84	36,21	9,58	22,87	24,25	-3,98	52,37
6	123,42	36,21	10,29	22,5	25,39	-3,62	51,23
7 (U _{ном})	121	36,21	11	22,13	26,53	-3,26	50,09
8	118,58	36,21	12,60	22,37	27,97	-1,31	48,65
9	116,16	36,21	14,20	22,61	29,41	0,64	47,21
10	113,74	36,21	15,81	22,86	30,85	2,59	45,77
11	111,32	36,21	17,41	23,1	32,29	4,54	44,33
12	108,9	36,21	19,01	23,34	33,73	6,49	42,89
13 (-U _{мин})	106,48	36,21	20,61	23,58	35,17	8,44	41,45

Таблица А.3

Результаты расчета реактивных сопротивлений АТ4

Положение РПН	U _{ном СН} , кВ	Напряжение КЗ, %			Сопротивления АТ4, приведенные к стороне ВН, Ом		
		U _{к, вн}	U _{к, вс}	U _{к, сн}	X _в	X _с	X _н
1 (+U _{макс})	135,52	36,3	6,75	24,57	19,55	-5,27	57,26
2	133,1	36,3	7,44	24,21	20,67	-4,92	56,14
3	130,68	36,3	8,14	23,84	21,79	-4,57	55,02
4	128,26	36,3	8,83	23,48	22,91	-4,23	53,90
5	125,84	36,3	9,52	23,11	24,03	-3,88	52,78
6	123,42	36,3	10,22	22,75	25,15	-3,53	51,66
7 (U _{ном})	121	36,3	10,91	22,38	26,27	-3,18	50,54
8	118,58	36,3	12,48	22,63	27,67	-1,26	49,14
9	116,16	36,3	14,05	22,88	29,06	0,66	47,75
10	113,74	36,3	15,62	22,13	30,46	2,58	46,35
11	111,32	36,3	17,18	23,37	31,86	4,50	44,95
12	108,9	36,3	18,75	23,62	33,25	6,43	43,56
13 (-U _{мин})	106,48	36,3	20,32	23,87	34,65	8,35	42,16

Методические указания по расчету и выбору параметров настройки резервных токовых защит
линий электропередачи 110 кВ и выше

А.1.1. Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ВЛ 220 кВ Ямская – Пушкино со стороны ПС 220 кВ Пушкино по условию отстройки при КЗ на землю на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская

На схеме замещения (рисунок А.1) реактивные сопротивления АТЗ (4) ПС 220 кВ Ямская соответствуют средним положениям РПН, при этом сопротивления нулевой последовательности АТЗ (4) указаны равными $X_0 = 0,9 \cdot X_1$. Значения реактивных сопротивлений АТЗ (4) в зависимости от положения РПН меняются в подрежимах. Ниже в таблицах приведены результаты расчетов. Для сравнения приведены результаты расчета для случая равенства сопротивлений прямой и нулевой последовательности АТЗ (4) $X_0 = X_1$.

Параметры ВЛ 220 кВ, отходящих от ПС 220 кВ Ямская, также приведены на схеме замещения.

ЭЛ	ЯМСКАЯ-ПУЩИНО	ПС	ПУЩИНО 220-2
Защита	251	Тип	ТЗНП
Ветвь	102-210	КТТ	1000/5
Узел		КТН	2200
		Ступень	2

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
Среднее (номинальное) положение РПН						
ОТСТРОЙКА КЗ Ямская 110 кВ	УСТ	2357	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84 КЗ на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская	Норм схема	3I0=1813 -86 3U0=60.77 -180
Без учета положений РПН	УСТ	2638	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	Норм схема	3I0=2029 93 3U0=68.00 -1
	УСТ	2574	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	3I0=1983 -82 3U0=64.48 -177
	УСТ	2963	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	3I0=2282 95 3U0=74.21 0
Регулирование +2 ступени	УСТ	2498	1.26	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	3I0=1983 -82 3U0=64.48 -177
	УСТ	2876	1.26	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	3I0=2282 95 3U0=74.21 0
Регулирование +6 ступеней	УСТ	2737	1.38	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	3I0=1983 -82 3U0=64.48 -177
	УСТ	3149	1.38	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	3I0=2282 95 3U0=74.21 0
Регулирование на +2 ступени ($121+2 \cdot 2\% = 125,84$ кВ) $X_0 = 0,9X_1$						
ОТСТРОЙКА	УСТ	2491	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 ИЗМ 3 16-81 X1=24,25 X0=21,83 ИЗМ 3 16-83 X1=-3,98 X0=-3,588 ИЗМ 3 16-1085 X1=52,37 X0=47,13 ИЗМ 4 15-82	3I0=2076 -82 3U0=67.02 -177

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
					X1=24,03 X0=21,63 ИЗМ 4 15-84 X1=-3,88 X0=-3,49 ИЗМ 4 15-1082 X1=52,78 X0=47,5	
	УСТ	2860	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 ИЗМ 3 16-81 X1=24,25 X0=21,83 ИЗМ 3 16-83 X1=-3,98 X0=-3,588 ИЗМ 3 16-1085 X1=52,37 X0=47,13 ИЗМ 4 15-82 X1=24,03 X0=21,63 ИЗМ 4 15-84 X1=-3,88 X0=-3,49 ИЗМ 4 15-1082 X1=52,78 X0=47,5	3I0=2383 95 3U0=76.94 0
Регулирование на полный диапазон (121+6*2%=135,52 кВ) X0=0,9X1						
ОТСТРОЙКА	УСТ	2737	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 X0=17,72 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 X0=-4,88 ИЗМ 3 16-1085 X1=56,93 X0=51,24 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 X0=17,6 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 X0=-4,74 ИЗМ 4 15-1082 X1=57,26 X0=51,53	3I0=2281 -82 3U0=72.62 -177
	УСТ	3126	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 X0=17,72 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 X0=-4,88 ИЗМ 3 16-1085 X1=56,93 X0=51,24 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 X0=17,6 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 X0=-4,74 ИЗМ 4 15-1082 X1=57,26 X0=51,53	3I0=2605 96 3U0=82.95 1
Регулирование на полный диапазон (121+6*2%=135,52 кВ) X0=X1						
	УСТ	2764	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 X0=19,69	3I0=2303 -82 3U0=73.51 -177

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
					ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 X0=-5,43 ИЗМ 3 16-1085 X1=56,93 X0=56,93 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 X0=19,55 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 X0=-5,27 ИЗМ 4 15-1082 X1=57,26 X0=57,26	
	УСТ	3124	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93 ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 X0=19,69 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 X0=-5,43 ИЗМ 3 16-1085 X1=56,93 X0=56,93 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 X0=19,55 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 X0=-5,27 ИЗМ 4 15-1082 X1=57,26 X0=57,26	3I0=2603 96 3U0=83.08 0

Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ВЛ 220 кВ Ямская – Пущино со стороны ПС 220 кВ Пущино по условию отстройки при КЗ на землю на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская выполнен для двух положений переключателей РПН и соответствующих им значений сопротивлений АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская.

Если при регулировании напряжения АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская допускаются крайние положения переключателей РПН, селективность второй ступени ТЗНП ВЛ 220 кВ Ямская – Пущино с учетом минимальных реактивных сопротивлений АТЗ(4) обеспечивается уставкой срабатывания:

$$3I_{0уст1}^{II} \geq 3126 \text{ А.}$$

Если при регулировании напряжения фактическое положение РПН АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская отличается от среднего положения не более чем на две ступени регулирования, селективность второй ступени ТЗНП обеспечивается уставкой срабатывания:

$$3I_{0уст1}^{II} \geq 2860 \text{ А.}$$

В случае если АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская учтены в схеме замещения сопротивлениями, которые соответствуют средним положениям РПН, а фактическое положение РПН АТЗ(4) при регулировании напряжения может принимать крайние положения, коэффициент отстройки следует принять равным $k_{отс} = 1,38$.

Если фактическое положение РПН отличается от среднего положения не более чем на две ступени регулирования, коэффициент отстройки следует принять равным $k_{отс} = 1,26$.

А.1.2. Отстройка тока срабатывания второй ступени ТЗНП ВЛ 220 кВ Ямская – Михайловская от КЗ на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская

ЭЛ ЯМСКАЯ-МИХАЙЛОВ

ПС МИХАЙЛОВ 220-2

Защита 931

Тип ТЗНП

Ступень 2

Ветвь 78-214

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
Среднее (номинальное) положение РПН						
ОТСТРОЙКА КЗ Ямская 110 кВ	УСТ	1239	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84 КЗ на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская	Нормальная схема	3I0=953 -74 3U0=4.12 -168
Без учета положений РПН	УСТ	1386	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	Нормальная схема	3I0=1066 104 3U0=4.61 11
	УСТ	1739	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 Откл. ВЛ 220 кВ Пушино	3I0=1340 -74 3U0=5.56 -168
	УСТ	1909	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25	3I0=1471 104 3U0=6.10 10
Регулирование +2 ступени	УСТ	1662	1.24	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 Откл. ВЛ 220 кВ Пушино	3I0=1340 -74 3U0=5.57 -168
	УСТ	1824	1.24	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25	3I0=1471 104 3U0=6.11 10
Регулирование +6 ступеней	УСТ	1769	1.32	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 Откл. ВЛ 220 кВ Пушино	3I0=1340 -74 3U0=5.57 -168
	УСТ	1941	1.32	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25	3I0=1471 104 3U0=6.11 10
Регулирование на +2 ступени ($121+2*2\%=125,84$ кВ) $X0=0,9X1$						
ОТСТРОЙКА	УСТ	1665	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 ИЗМ 3 16-81 X1=24,25 X0=21,83 ИЗМ 3 16-83 X1=-3,98 X0=-3,588 ИЗМ 3 16-1085 X1=52,37 X0=47,13 ИЗМ 4 15-82 X1=24,03 X0=21,63 ИЗМ 4 15-84 X1=-3,88 X0=-3,49 ИЗМ 4 15-1082 X1=52,78 X0=47,5	3I0=1388 -74 3U0=5.76 -168
	УСТ	1820	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 ИЗМ 3 16-81 X1=24,25 X0=21,83	3I0=1517 104 3U0=6.29 10

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
					ИЗМ 3 16-83 X1=-3,98 X0=-3,588 ИЗМ 3 16-1085 X1=52,37 X0=47,13 ИЗМ 4 15-82 X1=24,03 X0=21,63 ИЗМ 4 15-84 X1=-3,88 X0=-3,49 ИЗМ 4 15-1082 X1=52,78 X0=47,5	
Регулирование на полный диапазон (121+6*2%=135,52 кВ) X0=0,9X1						
	УСТ	1789	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 X0=17,72 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 X0=-4,88 ИЗМ 3 16-1085 X1=56,93 X0=51,24 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 X0=17,6 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 X0=-4,74 ИЗМ 4 15-1082 X1=57,26 X0=51,53	3I0=1491 -74 3U0=6.18 -168
	УСТ	1937	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 X0=17,72 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 X0=-4,88 ИЗМ 3 16-1085 X1=56,93 X0=51,24 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 X0=17,6 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 X0=-4,74 ИЗМ 4 15-1082 X1=57,26 X0=51,53	3I0=1614 105 3U0=6.69 10
Регулирование на полный диапазон (121+6*2%=135,52 кВ) X0=X1						
	УСТ	1819	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 X0=19,69 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 X0=-5,43 ИЗМ 3 16-1085 X1=56,93 X0=56,93 ИЗМ 4 15-82	3I0=1516 -74 3U0=6.28 -168

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
					X1=19,55 X0=19,55 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 X0=-5,27 ИЗМ 4 15-1082 X1=57,26 X0=57,26	
	УСТ	<u>1947</u>	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25 ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 X0=19,69 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 X0=-5,43 ИЗМ 3 16-1085 X1=56,93 X0=56,93 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 X0=19,55 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 X0=-5,27 ИЗМ 4 15-1082 X1=57,26 X0=57,261	3I0=1622 104 3U0=6.73 10

Расчет тока срабатывания второй ступени ТЗНП ВЛ 220 кВ Ямская – Михайловская со стороны ПС 220 кВ Михайловская по условию отстройки от КЗ на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская выполнен для двух положений переключателей РПН и соответствующих им значений сопротивлений АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская.

Если при регулировании напряжения АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская допускаются крайние положения переключателей РПН, селективность второй ступени ТЗНП ВЛ 220 кВ Ямская – Михайловская с учетом минимальных реактивных сопротивлений АТЗ(4) обеспечивается уставкой срабатывания:

$$3I_{0уст1}^{II} \geq 1947 \text{ А.}$$

Если при регулировании напряжения фактическое положение РПН АТЗ(4) отличается от среднего положения не более чем на две ступени регулирования, селективность второй ступени ТЗНП обеспечивается уставкой срабатывания:

$$3I_{0уст1}^{II} \geq 1820 \text{ А.}$$

В случае если АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская учтены в схеме замещения сопротивлениями, которые соответствуют средним положениям РПН, а фактическое положение РПН АТЗ(4) при регулировании напряжения может принимать крайние положения, коэффициент отстройки следует принять равным $k_{отс} = 1,32$.

Если фактическое положение РПН отличается от среднего положения не более чем на две ступени регулирования напряжения, коэффициент отстройки следует принять равным $k_{отс} = 1,24$.

Приложение Б

Отстройка токовых защит ЛЭП от БТН Т и АТ

Б.1 Общие указания по расчету

Переходный процесс, проявляющийся в резком увеличении намагничивающего тока ненагруженного силового АТ (Т) или трансформаторного комплекса (совокупности соединенных друг с другом Т (АТ) при включении Т (АТ) под напряжение или при восстановлении напряжения после отключения внешнего КЗ), называется броском тока намагничивания (БТН).

При включении ЛЭП под напряжение с присоединенными (или к шинам ПС на противоположной стороне ЛЭП) ненагруженными силовыми АТ (Т) в фазах линии и нулевом проводе ТТ защиты (при наличии Т с заземленной нейтралью) могут протекать БТН, форма и значения которых зависят от различных факторов.

Резервные токовые защиты ЛЭП, реагирующие на фазные токи (разность фазных токов) и симметричные составляющие токов, должны быть отстроены от БТН Т (АТ), включаемых под напряжение при включении ЛЭП.

Параметры, характеризующие величину и форму БТН, зависят от момента коммутации при включении АТ (Т) под напряжение. При практических расчетах для целей РЗ пользуются предельными характеристиками БТН, возникающими при наиболее неблагоприятных условиях.

В связи с возможной разновременностью включения фаз выключателя ЛЭП необходимо рассматривать три вида включения:

- трехфазное включение (одновременное включение всех трех фаз);
- двухфазное включение (одновременное включение двух фаз с некоторым запаздыванием включения третьей фазы), при этом до включения третьей фазы в нулевом проводе ТТ протекает периодический несинусоидальный ток;
- однофазное включение (включение одной фазы с некоторым запаздыванием включения двух других фаз), при этом до включения двух других фаз в нейтрали Т и в нулевом проводе ТТ протекает аperiodический (однополярный) ток.

Необходимо отметить, что протекание тока в нулевом проводе ТТ при включении ЛЭП под напряжение с присоединенными ненагруженными АТ (Т с заземленной нейтралью) может быть обусловлено не только возможной разновременностью включения фаз выключателя ЛЭП. Наибольший БТН в нулевом проводе ТТ имеет место при включении ненагруженного АТ (Т с заземленной нейтралью) в момент прохождения вынужденной слагающей тока намагничивания в одной из его фаз через максимум, так как это сопровождается появлением в данной фазе аperiodической составляющей тока наибольшей величины,

при этом влиянием токов намагничивания двух других фаз можно пренебречь ввиду их малой величины.

Условие отстройки от БТН Т (АТ) необходимо учитывать при расчете тока срабатывания ступеней токовых защит ЛЭП, действующих без выдержки времени (МФТО, первые ступени ТЗНП без выдержки времени, автоматически ускоряемые ступени ТЗНП при включении ЛЭП под напряжение), а также ступеней токовых защит ЛЭП, действующих с выдержкой времени с учетом затухания БТН во времени.

Расчетным для определения тока срабатывания ступеней токовых защит ЛЭП по условию отстройки от БТН Т (АТ) может оказаться один из трех указанных видов включения.

Ток двухфазного включения можно выразить через расчетное значение БТН при однофазном включении, при этом нейтрали всех включаемых под напряжение Т учитываются как заземленные вне зависимости от их фактического состояния.

Б.2 Расчет тока срабатывания по условию отстройки от БТН

Расчет тока срабатывания защиты, включенной на фазный ток или утроенный ток нулевой последовательности, действующей без выдержки времени, по условию отстройки от БТН производится на основании выражения:

$$I_{уст} = i_{\max(t=0)} \cdot k_d, \quad (Б.1)$$

где $I_{уст}$ – первичный ток срабатывания токового органа защиты;

k_d – коэффициент действующего значения БТН;

$i_{\max(t=0)}$ – максимальное амплитудное значение БТН в начальный момент времени.

Учет всех факторов при расчете БТН может быть произведен путем точного решения системы дифференциальных уравнений, описывающей процесс включения ЛЭП под напряжение с присоединенными к ней ненагруженными силовыми Т (АТ).

Необходимо отметить, что при включении под напряжение ненагруженного Т (АТ) в действительности не происходит полного насыщения ярм магнитопровода, поэтому при расчетах тока срабатывания резервных токовых защит ЛЭП по рассматриваемому условию создается значительный расчетный запас (порядка 30 %).

Если токовая защита ЛЭП действует с выдержкой времени, то необходимо учитывать затухание БТН во времени:

$$i_{\max(t)} = i_{\max(t=0)} \cdot k_{зат(t)}, \quad (Б.2)$$

где $k_{зат(t)}$ – коэффициент затухания БТН, который зависит от выдержки времени срабатывания токовой защиты и эквивалентной постоянной времени контура включения.

Учитывая указанный расчетный запас, расчет тока срабатывания защиты, действующей с выдержкой времени, производится по выражению:

$$I_{уст} = I_{нам(t)}^{(k)} = i_{\max(t=0)} \cdot k_{зат(t)} \cdot k_d, \quad (Б.3)$$

где $i_{\max(t=0)}$ – максимальное амплитудное значение БТН в начальный момент времени.

После выполнения некоторых преобразований может быть получено следующее выражение для расчета БТН при различных видах включения:

$$I_{нам(t)}^{(k)} = \frac{C_6^{(k)} \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot X_{расч}}, \quad (Б.4)$$

где $C_6^{(k)}$ – коэффициент броска, учитывающий вид включения и изменение действующего значения БТН с учетом затухания его во времени, а также сорт стали, из которой изготовлен магнитопровод Т (АТ);

$U_{ном}$ – номинальное напряжение ЛЭП;

$X_{расч} = X_{C-1} + X_{Т экв}^{(k)}$ – реактивное сопротивление контура включения;

X_{C-1} – реактивное эквивалентное сопротивление прямой последовательности энергосистемы, примыкающей к ПС, со стороны которой ЛЭП включается под напряжение;

$X_{Т экв}^{(k)}$ – реактивное эквивалентное сопротивление прямой последовательности ЛЭП с присоединенными ненагруженными Т (АТ).

Для токовых защит ЛЭП с временем действия большим 0,1 с, принципиально требовалось бы в выражении (Б.4) учитывать коэффициент возврата токового реле, однако он не вводится в связи с имеющимися расчетными запасами, упомянутыми выше.

Расчет тока срабатывания защиты, включенной на фазный ток, по условию отстройки от БТН Т (АТ) производится по выражению:

$$I_{уст} = \frac{C_6^{(k)} \cdot U_{ном}}{\sqrt{3}(X_{C-1} + X_{Т экв}^{(k)})}. \quad (Б.5)$$

Расчет тока срабатывания защиты, включенной на утроенный ток нулевой последовательности по условию отстройки от БТН АТ (Т с заземленными нейтралями) производится по выражению:

$$3I_{0 уст} = \frac{C_6^{(k)} \cdot U_{ном}}{\sqrt{3}(X_{C-1} + X_{Т экв}^{(1)})}. \quad (Б.6)$$

В целях упрощения при однофазном включении значения сопротивлений X_{C-1} и $X_{Т экв}^{(k)}$ принимаются равными реактивным сопротивлениям прямой последовательности элементов схемы замещения, а не сопротивлению контура включения «провод – земля», что создает дополнительный расчетный запас.

При определении значения коэффициента $C_0^{(k)}$ учитываются постоянная времени контура включения, тип стали магнитопроводов Т (АТ), номинальное напряжение сети и на какие токи реагирует защита, параметры срабатывания которой определяются.

В таблице Б.1 приведены ориентировочные значения $C_0^{(k)}$ в зависимости от перечисленных факторов и указаны виды включения, которые следует рассматривать при выборе параметров срабатывания токовой защиты ЛЭП, а также указано расчетное значение сопротивления Т и какие из присоединенных к ЛЭП ненагруженных Т (АТ) должны учитываться (в зависимости от режима заземления их нейтралей и вида включения).

Таблица Б.1

Значения коэффициента $C_6^{(k)}$ и расчетные виды включения для отстройки токовых защит ЛЭП от БТН

Тип реле. Подключение токовых измерительных органов защиты	Вид включения	В расчете учитываются	Эквивалентное сопротивление $X_{T \text{ экв}}^{(k)}$	Значение коэффициента $C_6^{(k)}$			
				Холоднокатаная сталь		Горячекатаная сталь	
				$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$		$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	
				110	220	110	220
РТ-40 Включено на фазные токи (разность фазных токов)	Однофазное	Все АТ и Т с заземленными нейтралями	$X_{T \text{ экв}}^{(1)}$	0,84	0,92	0,6	0,66
	Трехфазное	Все АТ и Т	$X_{T \text{ экв}}^{(3)}$	0,84	0,92	0,6	0,66
	Двухфазное	Все АТ и Т	$X_{T \text{ экв}}^{(1)}$	0,68	0,74	0,46	0,5
РНТ-565 Включено на фазные токи (разность фазных токов)	Однофазное	Все АТ и Т с заземленными нейтралями	$X_{T \text{ экв}}^{(1)}$	0,26	0,28	0,2	0,215
	Трехфазное	Все АТ и Т	$X_{T \text{ экв}}^{(3)}$	0,26	0,28	0,2	0,215
РТ-40 Включено на утроенный ток нулевой последовательности	Однофазное	Все АТ и Т с заземленными нейтралями	$X_{T \text{ экв}}^{(1)}$	0,84	0,92	0,6	0,66
РНТ-565 Включено на утроенный ток нулевой последовательности	Двухфазное	Все АТ и Т с заземленными нейтралями	$X_{T \text{ экв}}^{(1)}$	0,6	0,65	0,48	0,52

Значения $X_T^{(k)}$ при трехфазном и однофазном включении может быть вычислено по приближенным расчетным выражениям, приведенным в таблице Б.2.

Таблица Б.2

Расчетные выражения для определения сопротивления Т (АТ) при включении под напряжение

Включаемый элемент	Мощность, S _{ном} , МВА	Расчетное выражение для определения сопротивления	
		$X_T^{(3)}$, %	$X_T^{(1)}$, %
Трансформатор	6,3–60	$12,7 + U_k$	$\frac{12,7 + U_k}{1,35}$
	80	$21,4 + U_k$	$\frac{21,4 + U_k}{1,35}$
Автотрансформатор	125	$25,7 + U_k$	$\frac{25,7 + U_k}{1,3}$
	200	$35 + U_k$	$\frac{35 + U_k}{1,28}$

Примечание. U_k , % – напряжение КЗ АТ (Т), при наличии РПН принимается для среднего положения РПН.

Для трехобмоточных Т и АТ значение U_k , % соответствует наибольшему из паспортных значений напряжений КЗ между обмоткой, со стороны которой производится включение, и одной из двух других обмоток. Для АТ значение U_k , % должно быть приведено к проходной мощности АТ.

Реактивное сопротивление Т (АТ) $X_T^{(k)}$ в именованных единицах рассчитывается по выражению:

$$X_T^{(k)} = \frac{X_{T\%}^{(k)} \cdot U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}}, \text{ Ом} \quad (\text{Б.7})$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение Т (АТ), кВ;

$S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность Т (АТ), МВА;

$X_{T\%}^{(k)}$ – сопротивление Т (АТ) в %, определяемое с помощью расчетных выражений таблицы Б.2.

При включении ЛЭП под напряжение с присоединенным одним Т (АТ) эквивалентное сопротивление рассчитывается по выражению:

$$X_{T\text{экр}}^{(k)} = X_{\text{л-1}} + X_T^{(k)}, \quad (\text{Б.8})$$

где $X_{\text{л-1}}$ – сопротивление прямой последовательности участка линии от питающей ПС до шин ПС, на которой установлен рассматриваемый Т (АТ);

$X_T^{(k)}$ – сопротивление Т (АТ) при включении $X_T^{(1)}$ или $X_T^{(3)}$;

$X_T^{(1)}$, $X_T^{(3)}$ – сопротивления Т (АТ) в условиях насыщения магнитопровода, соответственно, при однофазном и трехфазном включении.

При выполнении расчетов для случая двухфазного включения в выражении (Б.8) используется значение $X_T^{(1)}$.

При включении ЛЭП под напряжение с несколькими присоединенными Т (АТ) эквивалентное сопротивление $X_{T \text{ экв}}^{(k)}$ рассчитывается с помощью эквивалентирования участков ЛЭП и подключенных Т (АТ) с учетом типа рассматриваемой токовой защиты ЛЭП.

Например, для схемы на рисунке Б.1 при включении ЛЭП 1-2 под напряжение со стороны ПС 1 при расчете тока срабатывания защиты, включенной на фазные токи, $X_{T \text{ экв}}^{(3)}$ определяется по выражению:

$$X_{T \text{ экв}}^{(3)} = [(X_{T-1} + X_{Л-1} + X_{Л-4}) \parallel (X_{T-2} + X_{Л-2}) + X_{Л-5}] \parallel \dots \parallel [X_{T-3} + X_{Л-3}] + X_{Л-6} \quad (\text{Б.9})$$

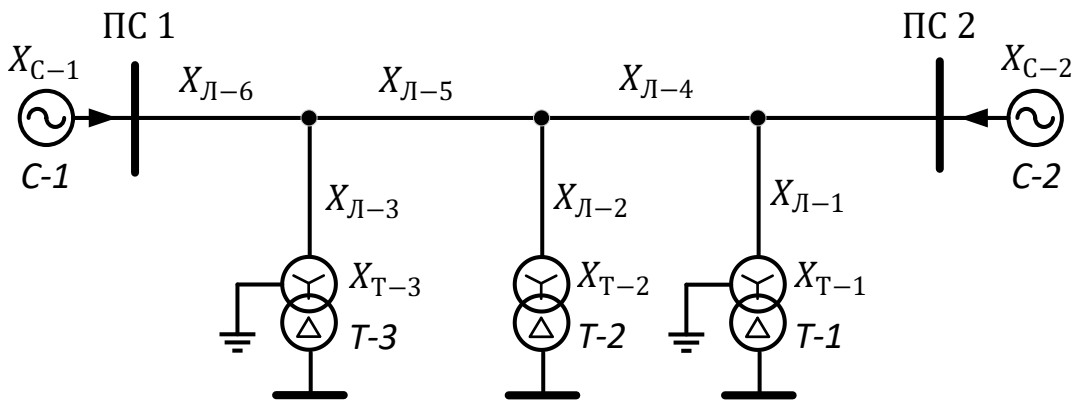


Рисунок Б.1. Схема сети для определения $X_{T \text{ экв}}^{(k)}$

При расчете тока срабатывания ступеней ТЗНП при определении $X_{T \text{ экв}}^{(1)}$ учитываются только АТ и Т с заземленными нейтральными:

$$X_{T \text{ экв}}^{(1)} = [X_{T-1} + X_{Л-1} + X_{Л-4} + X_{Л-5}] \parallel [X_{T-3} + X_{Л-3}] + X_{Л-6} \quad (\text{Б.10})$$

Как показали исследования, коэффициент броска $C_6^{(k)}$ зависит от соотношения времени действия защиты и эквивалентной постоянной времени контура включения $t_{с.з.}/\tau$. Значения $C_6^{(k)}$ можно определить по кривым, приведенным на рисунке Б.2, для расчетных видов включения под напряжение Т (АТ), магнитопроводы которых изготовлены из холоднокатаной и горячекатаной стали.

При питании от рассматриваемой ЛЭП Т (АТ) с магнитопроводами, изготовленными как из горячекатаной, так и из холоднокатаной стали, коэффициенты $C_6^{(k)}$ следует определять с запасом по кривым 1 рисунка Б.2 в предположении, что магнитопроводы всех Т (АТ) изготовлены из холоднокатаной стали.

Значение времени t , входящее в отношение t/τ , должно приниматься равным времени срабатывания защиты.

Значение эквивалентной постоянной времени контура включения τ рассчитывается с учетом действительных значений активных и индуктивных сопротивлений элементов сети по выражению:

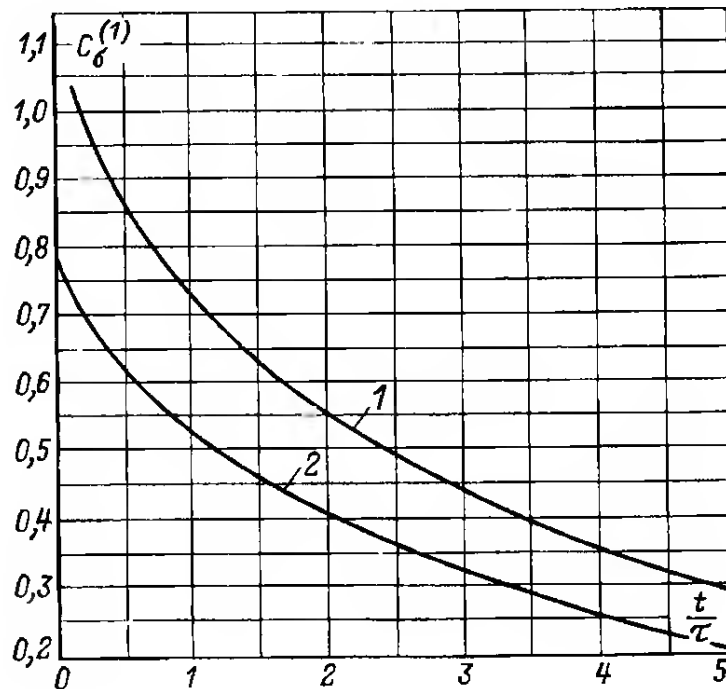
$$\tau = \frac{x_{C-1} + X_{T_{\text{ЭКВ}}}^{(k)}}{\omega(r_{C-1} + r_{T_{\text{ЭКВ}}})} = \frac{x_{\text{расч}}}{\omega r_{\text{расч}}}, \quad (\text{Б.11})$$

где x_{C-1} и $X_{T_{\text{ЭКВ}}}^{(k)}$ - то же, что в выражении (Б.4);

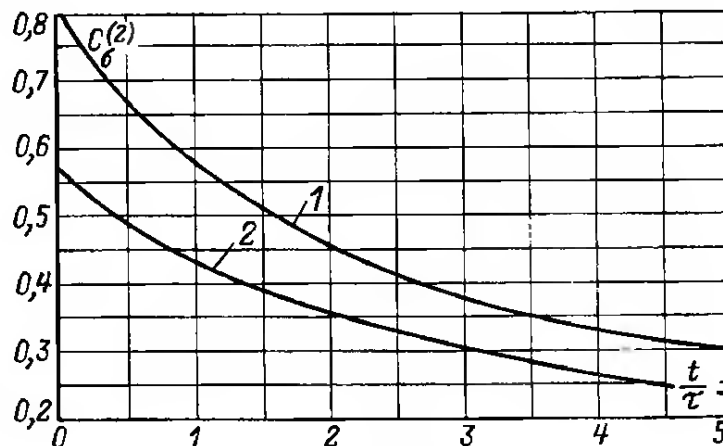
$r_{T_{\text{ЭКВ}}}$ - эквивалентное активное сопротивление прямой последовательности ЛЭП и Т (АТ), рассчитываемое по схеме замещения, аналогично расчету $X_{T_{\text{ЭКВ}}}^{(k)}$;

r_{C-1} - активное сопротивление примыкающей энергосистемы;

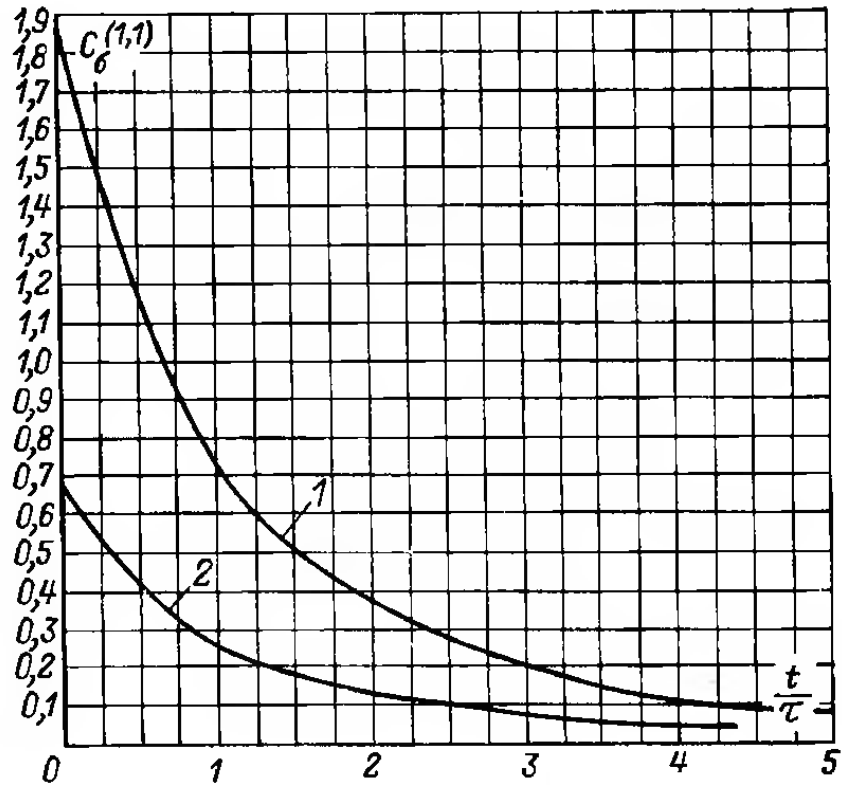
ω - угловая номинальная частота, 314 с^{-1} .



а) однофазное включение трехфазных трехстержневых Т (АТ)



б) двухфазное включение Т (АТ)



в) одновременное включение двух фаз группы однофазных Т (АТ)

Рисунок Б.2. Зависимость коэффициента $C_6^{(k)}$ от отношения t/τ (используется реле тока РТ-40)

Примечание. Кривые 1 даны для холоднокатаной стали; кривые 2 – для горячекатаной стали.

Для практических расчетов для всех типов реле допускается воспользоваться выражением:

$$I_{\text{нам}}(t>0) = I_{\text{нам}}(t=0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (\text{Б.12})$$

где $I_{\text{нам}}(t=0)$ – действующее значение тока намагничивания, достигающего наибольшего значения в момент времени, равный половине периода номинальной частоты после включения АТ (Т) под напряжение, определяется по выражению:

$$I_{\text{нам}}(t=0) = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}(x_{C-1} + X_{\text{Т экв}}^{(k)})} \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{\tau}}) \quad (\text{Б.13})$$

Следует отметить, что в таблице Б.1 и на рисунке Б.2 значения $C_6^{(k)}$ и графики зависимости $C_6^{(k)}$ от отношения t/τ приведены для электромеханических реле тока типа РТ-40. Применять данные указания для отстройки аналогичных защит в составе устройств РЗ на микроэлектронной и МП базе можно весьма приближенно.

В устройствах РЗ на электромеханической элементной базе для отстройки ступеней ТЗНП от БТН применяются реле

с быстронасыщающимся промежуточным трансформатором (например, типа РНТ) в тех случаях, когда при выборе тока срабатывания ступеней ТЗНП по данному расчетному условию не обеспечивается чувствительность ступени.

В устройствах РЗ на микроэлектронной элементной базе для этой цели используется блокировка от БТН, принцип действия которой основан на увеличении тока срабатывания (торможении) по наличию апериодической составляющей и второй гармонической составляющей тока.

В МП устройствах РЗ для исключения работы ступеней ТЗНП при БТН применяется блокировка по процентному содержанию второй гармонической составляющей тока относительно уровня тока первой гармоники, значение данного параметра рекомендуется принять равным 10–15 % (если иное значение не указано в рекомендациях для конкретного устройства РЗ).

Приложение В

Оценка снижения чувствительности ТЗНП ЛЭП с ответвлениями при однофазном КЗ на землю на стороне ВН ПС ответвления и одновременном трехфазном КЗ на стороне НН (СН) Т ответвления

Чувствительность ТЗНП ЛЭП с ответвлениями при наличии на ПС ответвления отделителя и короткозамыкателя необходимо обеспечивать при однофазном КЗ на землю на стороне ВН ПС ответвления (включение короткозамыкателя) с учетом уменьшения утроенного тока нулевой последовательности, протекающего в месте установки защиты, при возможном одновременном трехфазном КЗ на стороне НН (СН) Т ответвления.

Случай одновременного однофазного КЗ на землю на стороне ВН ПС ответвления и двухфазного КЗ на стороне НН (СН) Т ответвления не рассматривался, поскольку это повреждение не является расчетным для проверки чувствительности ТЗНП ЛЭП [16].

Расчетные выражения приводятся с учетом следующих принятых условий и допущений:

- сопротивления нулевой и прямой последовательности Т приняты равными и приведены к напряжению стороны ВН Т ответвления;
- трехобмоточные Т имеют питание только со стороны ВН;
- токи нулевой последовательности в месте установки ТЗНП ЛЭП при однофазном КЗ на землю на стороне ВН ПС ответвления и одновременном трехфазном КЗ на стороне НН (СН) Т ответвления пропорциональны токам нулевой последовательности в месте КЗ на землю.

Случай, когда Т на ПС ответвления работает параллельно с другим Т, не рассматривался, так как до включения короткозамыкателя произойдет отключение выключателя поврежденного Т на стороне НН (СН).

В.1 Двухобмоточный Т со схемой соединения обмоток Y/Δ

В.1.1. Нейтраль Т заземлена

При однофазном КЗ на землю на защищаемой ЛЭП (включение короткозамыкателя) ток нулевой последовательности в месте КЗ равен:

$$I_{0к}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{X_{1э} + X_{2э} + X_{0\Sigma}} = \frac{U_{\phi}}{2X_{1э} + \frac{X_{0э}X_{0Т}}{X_{0э} + X_{0Т}}}, \quad (\text{В.1})$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение сети;

$X_{1э} = X_{2э}$ – эквивалентные сопротивления прямой и обратной последовательностей системы и защищаемой ЛЭП (включая ответвление) до места однофазного КЗ на землю;

$X_{0э}$ – эквивалентное сопротивление нулевой последовательности системы и защищаемой ЛЭП (включая ответвление) до места однофазного КЗ на землю;

$X_{0Т}$ – сопротивление нулевой последовательности Т;

$X_{0\Sigma}$ – результирующее сопротивление нулевой последовательности по отношению к точке КЗ, рассчитывается по выражению:

$$X_{0\Sigma} = \frac{X_{0Э}X_{0Т}}{X_{0Э} + X_{0Т}}. \quad (\text{В.2})$$

Для случая однофазного КЗ на землю и одновременного трехфазного КЗ на стороне НН Т расчет производится с использованием принципа наложения двух режимов:

- трехфазное КЗ на стороне НН Т – режим (3);
- однофазное КЗ на землю на выводах ВН Т в схеме с одновременным трехфазным КЗ – режим (1,3).

Ток нулевой последовательности в месте КЗ на землю в режиме (1,3) рассчитывается по выражению:

$$I_{0к}^{(1,3)} = \frac{U_{к.расч}^{(3)}}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} = \frac{I_{к}^{(3)}X_{1Т}}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}, \quad (\text{В.3})$$

где $U_{к.расч}^{(3)}$ – напряжение в месте однофазного КЗ на землю (в месте установки короткозамыкателя), определяется по режиму (3);

$X_{1Т}$ – сопротивление прямой последовательности Т;

$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma}$ – результирующие сопротивления прямой и обратной последовательностей по отношению к точке однофазного КЗ на землю:

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = \frac{X_{1Э}X_{1Т}}{X_{1Э} + X_{1Т}}; \quad (\text{В.4})$$

$I_{к}^{(3)}$ – ток в месте КЗ в режиме (3), рассчитывается по выражению:

$$I_{к}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{X_{1Э} + X_{1Т}}. \quad (\text{В.5})$$

С учетом (В.2), (В.4) и (В.5) выражение (В.3) примет вид:

$$I_{0к}^{(1,3)} = \frac{U_{\phi}X_{1Т}}{(X_{1Э} + X_{1Т}) \left(2 \frac{X_{1Э}X_{1Т}}{X_{1Э} + X_{1Т}} + \frac{X_{0Э}X_{0Т}}{X_{0Э} + X_{0Т}} \right)}. \quad (\text{В.6})$$

Для двухобмоточного Т в соответствии с принятым выше допущением имеем:

$$X_{1Т} = X_{0Т} = X_{Т}; \quad (\text{В.7})$$

$$I_{0к}^{(1,3)} = \frac{U_{\phi}X_{Т}}{(X_{1Э} + X_{Т}) \left(2 \frac{X_{1Э}X_{Т}}{X_{1Э} + X_{Т}} + \frac{X_{0Э}X_{Т}}{X_{0Э} + X_{Т}} \right)} = \frac{U_{\phi}}{2X_{1Э} + X_{0Э} \frac{X_{1Э} + X_{Т}}{X_{0Э} + X_{Т}}}. \quad (\text{В.8})$$

Отношение токов нулевой последовательности в месте однофазного КЗ на землю в режиме (1,3) и однофазном КЗ на землю на защищаемой ЛЭП (включение короткозамыкателя), равное отношению токов нулевой последовательности в месте установки ТЗНП ЛЭП при указанных повреждениях, находится исходя из выражений (В.8) и (В.1):

$$\frac{I_{0к}^{(1,3)}}{I_{0к}^{(1)}} = \frac{U_{\phi} \left(2X_{1э} + \frac{X_{0э}X_{Т}}{X_{0э} + X_{Т}} \right)}{U_{\phi} \left(2X_{1э} + X_{0э} \frac{X_{1э} + X_{Т}}{X_{0э} + X_{Т}} \right)} = 1 - \frac{\frac{X_{0э}}{X_{1э}}}{3 \frac{X_{0э}}{X_{1э}} + 2 \frac{X_{Т}}{X_{1э}} + \frac{X_{0э}}{X_{1э}} \frac{X_{Т}}{X_{1э}}}. \quad (\text{В.9})$$

В.1.2. Нейтраль Т изолирована

Соответствующее расчетное выражение для отношения токов при рассматриваемых повреждениях получается из выражений (В.8) и (В.1) с учетом того, что нейтраль Т разземлена, то есть при $X_{0\Sigma} = X_{0э}$:

$$\frac{I_{0к}^{(1,3)}}{I_{0к}^{(1)}} = \frac{U_{\phi} X_{Т} (2X_{1э} + X_{0э})}{U_{\phi} (X_{1э} + X_{Т}) \left(2 \frac{X_{1э}X_{Т}}{X_{1э} + X_{Т}} + X_{0э} \right)} = 1 - \frac{\frac{X_{0э}}{X_{1э}} \frac{X_{1э}}{X_{Т}}}{2 + \frac{X_{0э}}{X_{1э}} \left(1 + \frac{X_{1э}}{X_{Т}} \right)}. \quad (\text{В.10})$$

В.2 Трехобмоточный Т со схемой соединения обмоток Y/Y/Δ

Для трехобмоточного Т со схемой соединения обмоток Y/Y/Δ в трехлучевой схеме замещения сопротивления равны: прямой и обратной последовательностей

$$X_{1Т} = X_{2Т} = \Sigma X; \quad (\text{В.11})$$

нулевой последовательности

$$X_{0Т} = X_{В.Т} + X_{Н.Т}, \quad (\text{В.12})$$

где ΣX – сумма сопротивлений прямой (обратной) последовательности обмоток Т между местом КЗ и выводами ВН;

$X_{В.Т}$, $X_{Н.Т}$ – сопротивления прямой (обратной) последовательности обмоток соответственно ВН и НН Т.

В.2.1. Нейтраль Т заземлена

В.2.1.1. При однофазном КЗ на землю на стороне ВН Т и одновременном трехфазном КЗ на стороне НН Т $X_{1Т} = X_{В.Т} + X_{Н.Т} = X_{0Т}$, то есть и для этого случая расчетным является выражение (В.9), приведенное выше для двухобмоточного Т, в котором $X_{Т} = X_{1Т} = X_{0Т}$.

В.2.1.2. При однофазном КЗ на землю на стороне ВН Т и одновременном трехфазном КЗ на на стороне СН Т расчетное выражение для отношения токов $I_{0к}^{(1,3)}$ и $I_{0к}^{(1)}$ можно получить из выражений (В.1) и (В.6):

$$\frac{I_{0к}^{(1,3)}}{I_{0к}^{(1)}} = \frac{U_{\phi} X_{1Т} \left(2X_{1э} + \frac{X_{0э}X_{0Т}}{X_{0э} + X_{0Т}} \right)}{U_{\phi} (X_{1э} + X_{1Т}) \left(2 \frac{X_{1э}X_{1Т}}{X_{1э} + X_{1Т}} + \frac{X_{0э}X_{0Т}}{X_{0э} + X_{0Т}} \right)} =$$

$$= 1 - \frac{\frac{X_{0T}}{X_{1T}}}{2 + 2 \frac{X_{0T}}{X_{13}} \frac{1}{\frac{X_{03}}{X_{13}}} + \left(1 + \frac{X_{1T}}{X_{13}}\right) \frac{X_{0T}}{X_{1T}}}. \quad (\text{B.13})$$

В общем случае $X_{0T} = nX_{1T}$ (n – положительное число) и выражение (B.13) приобретает вид:

$$\frac{I_{0к}^{(1,3)}}{I_{0к}^{(1)}} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{2}{n} + 1\right) + 2 \frac{X_{1T}}{X_{13}} \frac{1}{\frac{X_{03}}{X_{13}}} + \frac{X_{1T}}{X_{13}}}. \quad (\text{B.14})$$

В.2.2. Нейтраль Т изолирована

При трехфазном КЗ на стороне НН и СН Т сохраняются те же расчетные условия, что и для двухобмоточного Т, и отношение токов $I_{0к}^{(1,3)}$ и $I_{0к}^{(1)}$ вычисляется по выражению (B.10), в котором $X_T = X_{1T}$.

Библиография

1. Информационное письмо службы РЗА ЦДУ ЕЭС от 28.06.1971 № 27 «О предотвращении ложных действий токовых отсечек защит линий 330–750 кВ».
2. Информационное письмо службы РЗА ЦДУ ЕЭС от 13.06.1968 № 14 «О предотвращении ложных действий токовых защит нулевой последовательности линий 220 – 500 кВ».
3. Методические указания по расчету и выбору параметров настройки дистанционных защит линий электропередачи 110 кВ и выше (утверждены распоряжением АО «СО ЕЭС» от 17.08.2021 № 89р).
4. Авербух А.М. Примеры расчетов неполнофазных режимов и коротких замыканий. – 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979.
5. Резервные защиты линий электропередачи напряжением 110–220 кВ. Рекомендации по выбору уставок. ЭКРА.650323.066 (Редакция от 03.06.2022). – Чебоксары: ООО НПП «ЭКРА», 2022.
6. Методические указания по обеспечению отстройки устройств релейной защиты от нагрузочных режимов работы энергосистем (утверждены распоряжением АО «СО ЕЭС» от 02.04.2019 № 46р).
7. Требования к релейной защите и автоматике различных видов и ее функционированию в составе энергосистемы (утверждены приказом Минэнерго России от 10.07.2020 № 546).
8. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Учебник для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. М.: Энергия, 1970.
9. Удрис А.П. Релейная защита воздушных линий 110–220 кВ типа ЭПЗ-1636. М.: Энергоатомиздат, 1988.
10. Методические указания по формированию перечней допущенной неправильной работы устройств релейной защиты и вынужденных отступлений от требований обеспечения дальнего резервирования функций релейной защиты линий электропередачи и оборудования (утверждены распоряжением АО «СО ЕЭС» от 04.06.2020 № 64р).
11. Сборник распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем. Электротехническая часть. – 5-е изд., перераб. и доп. М.: ОАО ОРГРЭС, 2002.
12. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985.
13. Требования к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше

устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики, а также к принципам функционирования устройств и комплексов релейной защиты и автоматики (утверждены приказом Минэнерго России от 13.02.2019 № 101).

14. ГОСТ Р 58886-2020 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Дистанционная и токовые защиты линий электропередачи и оборудования классом напряжения 330 кВ и выше. Функциональные требования» (утвержден приказом Росстандарта от 27.08.2020 № 568-ст).

15. ГОСТ Р 58887-2020 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Дистанционная и токовые защиты линий электропередачи и оборудования классом напряжения 110–220 кВ. Функциональные требования» (утвержден приказом Росстандарта от 27.08.2020 № 569-ст).

16. Чернин А.Б. Оценка действия релейной защиты линий 110–220 кВ, питающих трансформаторы с короткозамыкателями. Сборник ОРГРЭС «Релейная защита и автоматика энергосистем». М.: Энергия, 1966.