



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

Приложение 1
к распоряжению АО «СО ЕЭС»
от _____ № _____

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

Введены в действие с:	___.___.2021
Листов:	_____

Москва 2021

Содержание

1.	Область применения	5
2.	Термины и сокращения	5
3.	Общие указания по расчету параметров настройки ДЗ ЛЭП.....	7
3.1.	Функциональное назначение ступеней.....	7
3.2.	Характеристики срабатывания	9
3.3.	Селективность и чувствительность ДЗ ЛЭП в режимах КЗ	14
3.4.	Отстройка от нагрузочных режимов работы энергосистем	42
3.5.	Перечень исходных данных и рекомендуемая последовательность расчета.....	50
4.	Расчет и выбор параметров настройки ДЗ одиночной ЛЭП	51
4.1.	Типовые схемы участков сети	51
4.2.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий.....	52
4.3.	Расчет параметров настройки ДЗ с круговыми характеристиками	54
4.4.	Расчет параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками.....	70
5.	Расчет и выбор параметров настройки ДЗ параллельных ЛЭП.....	82
5.1.	Типовые схемы участков сети	82
5.2.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий.....	83
5.3.	Расчет параметров настройки ДЗ с круговыми характеристиками	85
5.4.	Расчет параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками.....	91
6.	Расчет и выбор параметров настройки ДЗ ЛЭП при наличии ответвлений.....	95
6.1.	Типовые схемы участков сети	95
6.2.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий.....	97
6.3.	Расчет параметров настройки ДЗ с круговыми характеристиками	102
6.4.	Расчет параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками.....	118
7.	Расчет и выбор параметров настройки ДЗ ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия	125
7.1.	Типовые схемы участков сети	125
7.2.	Общие указания по расчету и перечень расчетных условий.....	127
7.3.	Расчет параметров настройки ДЗ с круговыми характеристиками	131

7.4.	Расчет параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками.....	141
8.	Пусковые органы, токовый контроль и проверка чувствительности по току точной работы ДЗ ЛЭП.....	148
8.1.	Расчет параметров настройки пусковых органов ДЗ	148
8.2.	Проверка чувствительности по току точной работы	157
8.3.	Токовый контроль ступеней ДЗ.....	158
9.	Расчет параметров настройки устройств БК.....	159
9.1.	Назначение и принципы выполнения устройств БК	159
9.2.	Расчет параметров настройки устройств БК с пуском по напряжению обратной последовательности и току нулевой последовательности (КРБ-121, КРБ-123, КРБ-125)	160
9.3.	Расчет параметров настройки устройств БК с пуском по току обратной и току нулевой последовательности (КРБ-122, КРБ-124, КРБ-126)....	167
9.4.	Расчет параметров настройки устройств БК с пуском по приращению токов прямой и обратной последовательности.....	186
9.5.	Расчет параметров настройки устройств БК с контролем скорости изменения сопротивления	192
10.	Расчет параметров настройки ускоряемых ступеней ДЗ.....	203
10.1.	Расчет параметров настройки оперативно ускоряемых ступеней ДЗ .	203
10.2.	Расчет параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ДЗ	205
10.3.	Расчет параметров настройки телеускоряемых ступеней ДЗ.....	206
11.	Выбор параметров настройки ступеней ДЗ для специальных условий применения	210
11.1.	Запрет АПВ на кабельном участке кабельно-воздушной ЛЭП.....	210
11.2.	Резервирование ДЗШ.....	210
11.3.	Резервирование защит Т (АТ) ответвительных ПС.....	211
11.4.	Ступень ДЗ, направленная в шины, обеспечивающая дальнейшее резервирование	211
11.5.	Дистанционная защита ЛЭП при изменении ее топологии (включение ремонтной перемычки).....	212
	Приложение А	213
	Приложение Б	258
	Приложение В.....	261
	Приложение Г	271

Приложение Д.....	279
Приложение Е.....	289
Библиография	294

1. Область применения

1.1. Настоящие Методические указания устанавливают общие требования по расчету и выбору параметров настройки дистанционной защиты в устройствах релейной защиты воздушных, кабельных, кабельно-воздушных линий электропередачи номинальным напряжением 110 кВ и выше с питанием с двух и более сторон.

1.2. Настоящие Методические указания определяют особенности расчета параметров настройки дистанционной защиты от всех видов КЗ одиночных и параллельных линий электропередачи, линий электропередачи при наличии ответвлений и линий электропередачи, работающих по схеме блока трансформатор (автотрансформатор) – линия для типовых конфигураций электрической сети.

1.3. Настоящие Методические указания учитывают требования действующей нормативно-технической документации, отечественные 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 57114-2016 «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 04.10.2016 № 1302-ст, а также следующие сокращения:

АВР	– автоматический ввод резерва;
АПВ	– автоматическое повторное включение;
АТ	– автотрансформатор;
АУ	– автоматическое ускорение;
БК	– блокировка при качаниях;
БТН	– бросок тока намагничивания;
ВЛ	– воздушная линия;
ВН	– высшее напряжение;
ДО	– дистанционный орган;
ДЗ	– дистанционная защита;
ДЗШ	– дифференциальная токовая защита шин;
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;
ПС	– подстанция;
РЗ	– релейная защита;
РПН	– устройство регулирования напряжения под нагрузкой силовых трансформаторов (автотрансформаторов);
РРС	– реле реактивного сопротивления;
СВ	– секционный выключатель;
СН	– среднее напряжение;
Т	– трансформатор;
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 ДЗ ЛЭП

3.1. Функциональное назначение ступеней

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

ДЗ является защитой относительной селективности и включает несколько ступеней с различным охватом защищаемой ЛЭП и соответствующими выдержками времени.

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

Ступени ДЗ, действующие в пределах защищаемой ЛЭП, при наличии технической возможности целесообразно выполнять от всех видов КЗ.

В разделах 4–7¹ приведены рекомендации по расчету и выбору параметров настройки трехступенчатой ДЗ 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, действует при междуфазных КЗ и КЗ на землю. Применение первой ступени ДЗ от всех видов КЗ особенно эффективно в тех случаях, когда первая ступень токовой защиты нулевой последовательности не используется (например, на коротких ЛЭП) или нечувствительна в ряде ремонтных схем прилегающей сети.

Вторая ступень предназначена для обеспечения надежной защиты всей ЛЭП, действует при междуфазных КЗ с выдержкой времени.

Третья ступень предназначена для обеспечения резервных функций при КЗ на защищаемой ЛЭП или на смежных участках сети в случае отказа выключателя или защиты смежных сетевых элементов, действует при междуфазных КЗ с выдержкой времени.

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

Например:

– ступень, охватывающая защищаемую ЛЭП с коэффициентом чувствительности меньше требуемого, имеющая выдержку времени меньшую, чем ступень, охватывающая защищаемую ЛЭП с нормативным коэффициентом чувствительности, предназначенная для отключения КЗ на

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

большой части защищаемой ЛЭП с наименьшей выдержкой времени и для согласования с резервными защитами смежных сетевых элементов;

– степень с выдержкой времени большей, чем выдержки времени резервных защит смежных сетевых элементов, обеспечивающая функцию дальнего резервирования;

– степень для защиты ЛЭП с изменяемой конфигурацией (при включении ремонтной перемычки на последующей ЛЭП или на отпайке).

В устройствах РЗ ЛЭП предусматривается ускорение действия отдельных ступеней ДЗ. Указания по расчету и выбору параметров настройки ускоряемых ступеней ДЗ приведены в разделе 10.

В качестве автоматически или оперативно ускоряемой ступени ДЗ может применяться вторая (третья) ступень или отдельная ступень, обеспечивающая надежную защиту всей ЛЭП.

В качестве телеускоренной ступени может применяться первая ступень ДЗ с неполным охватом, вторая или отдельная ступень ДЗ, обеспечивающая надежную защиту всей ЛЭП, специально предназначенная для этой цели. При наличии технической возможности отдельная телеускоряемая ступень ДЗ выполняется от всех видов КЗ.

При определении необходимого количества ступеней в составе ДЗ ЛЭП необходимо учитывать, что в схемах ТУ с использованием ступени с «полным охватом» и передачей блокирующих или разрешающих сигналов необходимо применение обратноподключенной ступени, параметры настройки которой должны быть согласованы по чувствительности с прямоподключенной телеускоряемой ступенью ДЗ на противоположном конце ЛЭП для исключения излишней работы защиты при внешних КЗ, а также при каскадном отключении КЗ на параллельной линии или обходной связи.

При наличии достаточного количества ступеней ДЗ в МП устройстве РЗ в дополнение к ступеням, обеспечивающим надежную защиту ЛЭП и резервирование защит смежных сетевых элементов, могут использоваться ступени ДЗ для специальных условий их применения.

В случаях, рассмотренных в разделе 11, отдельные ступени ДЗ могут применяться для обеспечения запрета АПВ при КЗ на кабельных участках кабельно-воздушных ЛЭП, для резервирования защит Т (АТ), шин, использоваться в основной защите ЛЭП и т.д.

3.2. Характеристики срабатывания

ДЗ ЛЭП от междуфазных КЗ на электромеханической или микроэлектронной элементной базе или ДЗ от всех видов КЗ в составе МП устройств РЗ ЛЭП выполняется с применением круговых или полигональных характеристик срабатывания.

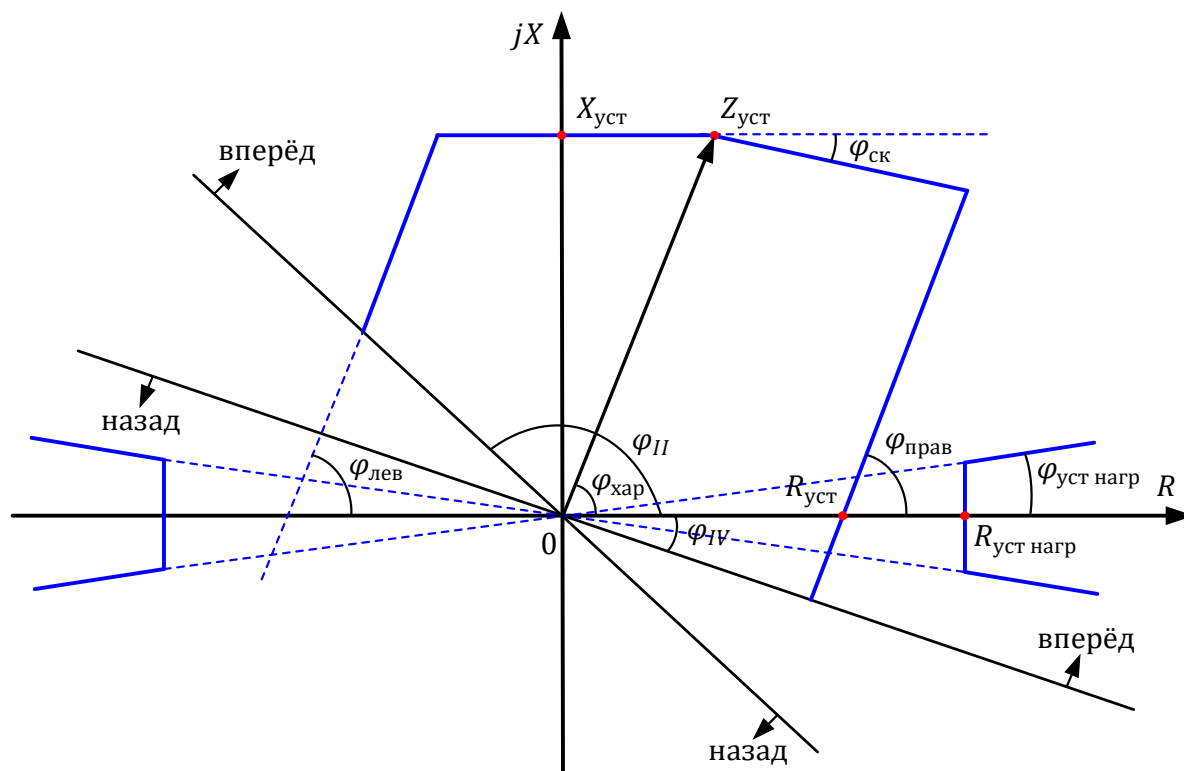


Рисунок 3.1. Пример направленной полигональной характеристики срабатывания

Каждая из ступеней ДЗ ЛЭП может быть направленной вперед (в линию), направленной назад (в шины) или ненаправленной.

Параметры, определяющие границы полигональной характеристики, задаются для каждой ступени ДЗ (рисунок 3.1):

$Z_{уст}$ или $X_{уст}$ – полное или реактивное сопротивление срабатывания;

$R_{уст}$ – активное сопротивление срабатывания;

$\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики, по которому задается параметр $Z_{уст}$;

$\varphi_{прав}$ – угол наклона правой боковой стороны характеристики;

$\varphi_{лев}$ – угол наклона левой боковой стороны характеристики;

$\varphi_{ск}$ – угол наклона (скоса) верхней границы характеристики;

φ_{II} – угол ограничения характеристики во втором квадранте комплексной плоскости;

φ_{IV} – угол ограничения характеристики в четвертом квадранте комплексной плоскости;

$R_{уст нагр}$ и $\varphi_{уст нагр}$ – активное сопротивление и угол выреза нагрузки.

Полигональные характеристики имеют независимое регулирование параметров настройки по полному или реактивному и активному сопротивлению срабатывания, что позволяет обеспечить более высокую чувствительность при КЗ через переходные сопротивления по сравнению с ДЗ с круговыми характеристиками.

Производители МП устройств РЗ рекомендуют придерживаться определенной величины соотношения $R_{уст}/X_{уст}$ при выборе параметров настройки полигональных характеристик в зависимости от длины и типа ЛЭП (таблица 3.1).

В случае коротких ЛЭП с двусторонним питанием при большом значении величины $R_{уст}/X_{уст}$ возможно излишнее действие первой ступени ДЗ при внешних КЗ через переходное сопротивление. Подпитка от стороннего источника приводит к увеличению активной составляющей дистанционного замера и одновременно к изменению его угла, что может вызвать отрицательную погрешность в измерении реактивного сопротивления (излишний охват). Для коротких кабельных и воздушных ЛЭП не рекомендуется принимать величину соотношения $R_{уст}/X_{уст}$ свыше указанных значений.

Для длинных ЛЭП требуется обеспечить такое соотношение $R_{уст}/X_{уст}$, которое обеспечит чувствительность ДЗ при КЗ через переходное сопротивление на защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования.

Таблица 3.1

Типичные значения отношения $R_{уст}/X_{уст}$ для различных ЛЭП

Воздушная / кабельная линия	Отношение $R_{уст}/X_{уст}$
Короткие КЛ < 3 км	3 – 5
Длинные КЛ > 3 км	2 – 3
Короткие ВЛ < 10 км	2 – 5
ВЛ < 100 км	1 – 2
ВЛ (100 – 200) км	0,5 – 1
Длинные ВЛ > 200 км	≤ 0,5

В случае независимого задания параметра $R_{уст}$ для правой и левой боковых сторон полигональной характеристики рекомендуются следующие соотношения:

- для первой ступени $R_{уст\ лев} = (0,75 – 1,0)R_{уст\ прав}$;
- для второй ступени $R_{уст\ лев} = (0,5 – 1,0)R_{уст\ прав}$;
- для третьей ступени $R_{уст\ лев} = (0,25 – 0,75)R_{уст\ прав}$.

Ступени ДЗ от всех видов КЗ, могут иметь независимое регулирование сопротивлений срабатывания $Z_{уст}$ или $X_{уст}$ и $R_{уст}$ для ДЗ от междуфазных КЗ и ДЗ от КЗ на землю.

Угол наклона полигональной характеристики $\varphi_{\text{хар}}$ для ступеней ДЗ от всех видов КЗ в случае однородной ЛЭП рекомендуется задавать равным характеристическому углу линии $\varphi_{\text{л}}$, что обеспечивает чувствительность и требуемый охват при металлических КЗ на защищаемой ЛЭП:

$$\varphi_{\text{хар}} = \varphi_{\text{л}} = \arctg\left(\frac{X_{1\text{л}}}{R_{1\text{л}}}\right), \quad (3.1)$$

где $R_{1\text{л}}$ и $X_{1\text{л}}$ – активное и реактивное сопротивление прямой последовательности ЛЭП.

Для неоднородных ЛЭП, имеющих участки с различными удельными сопротивлениями, а также для ЛЭП при наличии емкостной проводимости угол $\varphi_{\text{хар}}$ принимается равным углу эквивалентного сопротивления прямой последовательности, рассчитанного при металлическом трехфазном КЗ в конце защищаемой ЛЭП.

Для ряда МП устройств РЗ угол наклона полигональной характеристики задается не в явном виде, а рассчитывается устройством по заданным удельным параметрам линии прямой последовательности.

Углы наклона правой и левой боковых сторон полигональных характеристик могут определяться углом наклона характеристики или иметь независимое регулирование, что позволяет обеспечить отстройку от нагрузочных режимов или чувствительность при КЗ через переходные сопротивления.

Направленность полигональных характеристик обеспечивается органом направления, который представляет собой два отрезка, исходящих из начала координат и расположенных во втором и четвертом квадрантах комплексной плоскости.

Угол ограничения нижней правой стороны характеристики в четвертом квадранте выбирается по условию обеспечения чувствительности при КЗ через переходное сопротивление в начале защищаемой ЛЭП.

Угол ограничения нижней левой стороны характеристики во втором квадранте выбирается по условию обеспечения чувствительности при КЗ через переходное сопротивление на защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования.

Для ряда МП устройств РЗ углы ограничения направленной характеристики во втором и четвертом квадрантах комплексной плоскости имеют фиксированное значение и не регулируются. Для этих устройств при выборе параметров настройки возможно лишь оценить чувствительность защиты в указанных случаях.

Характеристика срабатывания автоматически ускоряемой ступени ДЗ может быть ненаправленной или иметь смещение в третий и четвертый квадрант комплексной плоскости для обеспечения чувствительности при близких трехфазных КЗ при включении ЛЭП под напряжение.

Для предотвращения неселективной работы первой ступени ДЗ при внешних КЗ через переходное сопротивление предусматривается наклон

(скос) верхней части полигональной характеристики. В некоторых МП устройствах РЗ предусмотрены алгоритмы, предотвращающие расширение зоны охвата первых ступеней ДЗ и не требующие задания специальных параметров настройки.

Для обеспечения отстройки характеристик срабатывания ДЗ от нагрузочных режимов работы энергосистем предусматривается вырез полигональной характеристики в области нагрузки. Вырез нагрузки может быть реализован в характеристике измерительного или пускового ДЗ, в характеристике фазового селектора на дистанционном принципе или может быть задан как отдельная функция.

В ДЗ ЛЭП на микроэлектронной элементной базе ДЗ выполняются с применением полигональных характеристик срабатывания в виде треугольника и четырехугольника.

В ДЗ ЛЭП на электромеханической элементной базе применяются ДЗ с круговыми характеристиками срабатывания. В некоторых МП ДЗ ЛЭП также возможен выбор круговой характеристики срабатывания.

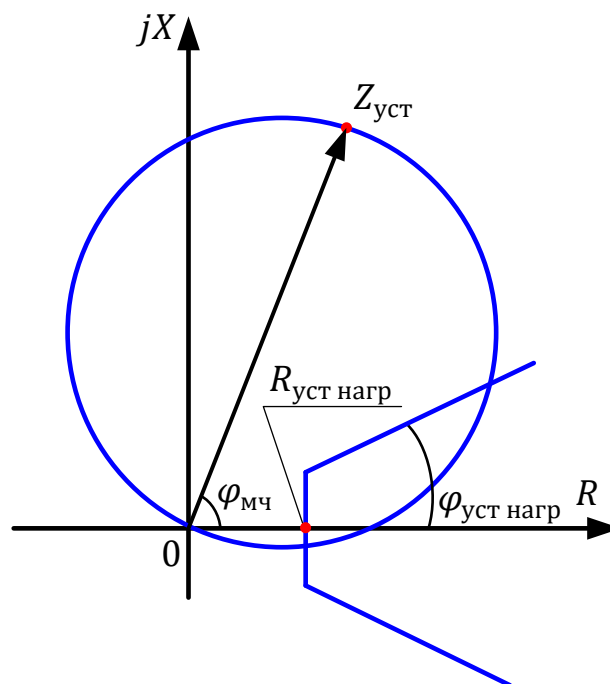


Рисунок 3.2. Пример направленной круговой характеристики с вырезом в области нагрузки

Параметры, определяющие границы круговой характеристики, задаются для каждой ступени ДЗ (рисунок 3.2):

$Z_{уст}$ – полное сопротивление срабатывания;

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

$R_{уст\ нагр}$ и $\varphi_{уст\ нагр}$ – активное сопротивление и угол выреза нагрузки, применяется в МП устройствах РЗ.

Круговая характеристика может быть направленной вперед (в линию), назад (в шины) или быть ненаправленной, в этом случае характеристика срабатывания представляет собой окружность с центром в начале координат.

Круговые характеристики могут иметь смещение в первый или третий квадрант комплексной плоскости, которое, как правило, регулируется в долях от величины уставки $Z_{уст}$.

Для однородных ЛЭП угол максимальной чувствительности $\varphi_{мч}$ круговой характеристики для ступеней ДЗ от всех видов КЗ рекомендуется задавать равным характеристическому углу линии $\varphi_{л}$, что обеспечивает чувствительность и требуемый охват при металлических КЗ на защищаемой ЛЭП:

$$\varphi_{мч} = \varphi_{л} = \arctg\left(\frac{X_{1л}}{R_{1л}}\right), \quad (3.2)$$

где $R_{1л}$ и $X_{1л}$ – активное и реактивное сопротивление прямой последовательности защищаемой ЛЭП.

Для неоднородных линий, имеющих участки с различными удельными сопротивлениями, а также ЛЭП, для которых учтена емкостная проводимость, угол максимальной чувствительности принимается равным углу эквивалентного сопротивления линии прямой последовательности, рассчитанного при металлическом трехфазном КЗ в конце защищаемой ЛЭП.

Для ряда дистанционных защит имеется возможность выполнить характеристику срабатывания в виде эллипса или линзы, что позволяет обеспечить лучшую отстройку от нагрузочных режимов работы энергосистем (рисунок 3.3).

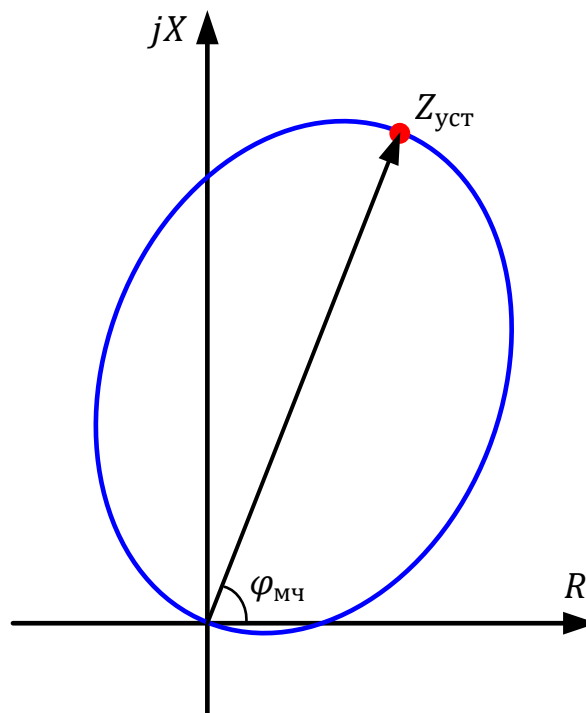


Рисунок 3.3. Пример направленной характеристики в виде эллипса

3.3. Селективность и чувствительность ДЗ ЛЭП в режимах КЗ

3.3.1. Учет погрешностей

Расчет и выбор параметров настройки ДЗ ЛЭП по условиям обеспечения селективности и чувствительности в режимах КЗ требуется выполнять с учетом возможного сокращения или расширения зоны охвата ступеней ДЗ из-за погрешностей измерительных ТТ и ТН, погрешностей расчета первичных величин и релейной аппаратуры (рисунок 3.4).

В выражениях для расчета сопротивлений срабатывания с помощью коэффициентов δ , α и β учитывают:

- коэффициент δ – погрешность, вызванную неточностью расчета первичных электрических величин (влияет как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения защищаемой зоны), и необходимый запас. Значение коэффициента принимают равным $\delta = 0,1$;
- коэффициенты α и β – погрешности ТТ, ТН и релейной аппаратуры.

Погрешности ТТ действуют в сторону уменьшения защищаемой зоны, а погрешности ТН и защиты – в сторону увеличения или уменьшения защищаемой зоны. Значения коэффициентов принимают равными: $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,05$.

Приведенные ориентировочные значения коэффициентов α и β даны при условии работы ТТ и ТН с погрешностями, не превышающими значений, которые установлены действующими стандартами на измерительные трансформаторы для устройств РЗ.

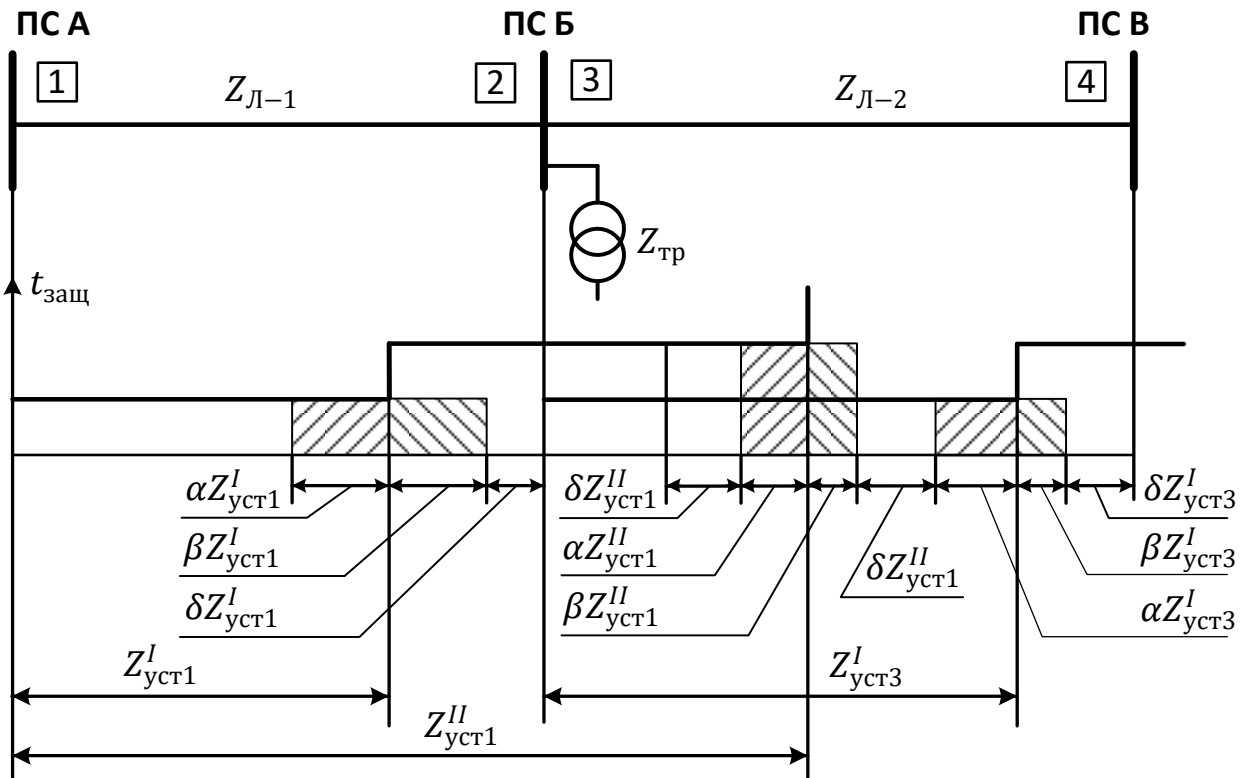


Рисунок 3.4. Погрешности работы ДЗ

3.3.2. Расчет сопротивления срабатывания ДО с круговыми и полигональными характеристиками по условию отстройки при внешних КЗ

Отстройка характеристик срабатывания ДО от замеров при КЗ вне зоны действия ступени ДЗ (например, начало смежного участка сети, конец зоны ступени ДЗ смежной ЛЭП и т.д.) производится с необходимым запасом, определяемым коэффициентом отстройки.

Коэффициент отстройки $k_{отс}$ имеет значение меньше единицы и учитывает погрешность ТТ и ТН, релейной аппаратуры, а также погрешность, которая обусловлена возможным отличием действительных параметров защищаемой ЛЭП и прилегающей электрической сети от параметров схемы замещения математической модели:

$$k_{отс} = \frac{1}{(1 + \beta + \delta)} \quad (3.3)$$

Значения коэффициентов β и δ , указанные в пункте 3.3.1, могут быть уточнены по техническим данным ТТ и ТН, рекомендациям производителей устройств РЗ и в зависимости от рассматриваемых расчетных условий.

3.3.2.1. Отстройка ДО с круговыми характеристиками

Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст}$ ДО с направленной круговой характеристикой, проходящей через начало координат, по условию отстройки (рисунок 3.5) производится по выражению:

$$Z_{уст} \leq k_{отс} \cdot |Z_p| \cdot d; \quad (3.4)$$

$$d = \frac{1}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}, \quad (3.5)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного полного сопротивления;
 $\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности круговой характеристики;
 d – параметр, который учитывает возможное отличие угла $\varphi_{мч}$ направленной круговой характеристики и угла φ_p расчетного сопротивления.

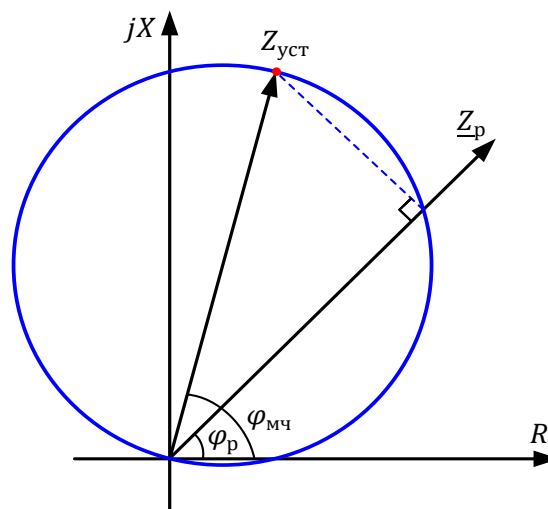


Рисунок 3.5. Отстройка ДО с направленной круговой характеристикой, проходящей через начало координат

Отстройку характеристики срабатывания ДО от замеров при внешних КЗ для всей совокупности расчетных условий удобно производить графическим способом. Отстройка осуществляется от зоны неопределенности вокруг конца вектора замера Z_p в виде окружности, радиус которой определяется по выражению:

$$r_{\text{окр}} = |Z_p| \cdot (1 - k_{\text{отс}}), \quad (3.6)$$

где $k_{\text{отс}}$ – требуемый коэффициент отстройки.

На рисунке 3.6 приведен пример отстройки круговой характеристики от замеров при внешних КЗ для случая, когда $\varphi_{\text{МЧ}}=65^\circ$, $\varphi_{\text{Л}}=79^\circ$.

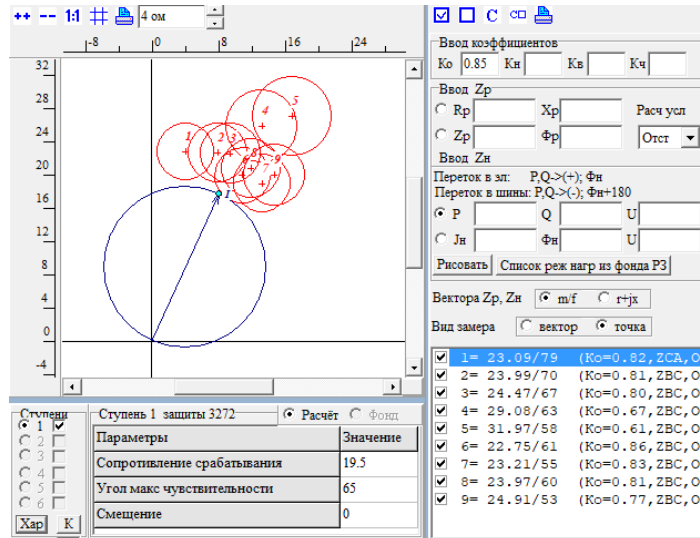


Рисунок 3.6. Графический выбор параметров настройки ДО с круговой характеристикой

Для отстройки круговых характеристик от замеров при внешних КЗ через переходные сопротивления можно использовать изменение вида характеристики (эллипс, линза) и/или изменение угла наклона характеристики при наличии технической возможности (рисунок 3.7).

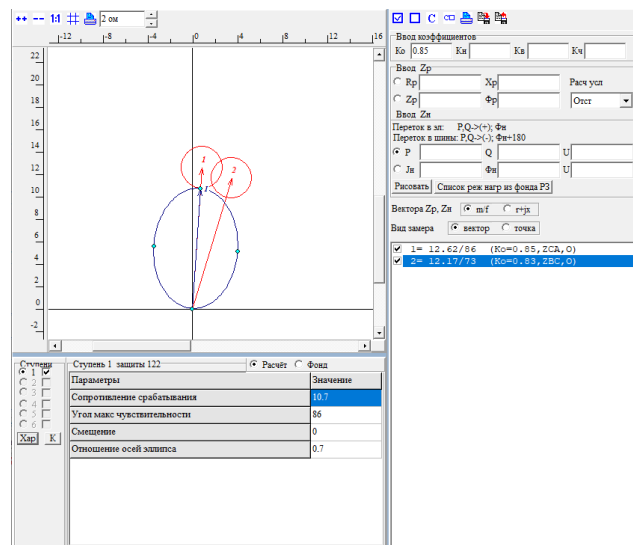


Рисунок 3.7. Графический выбор параметров настройки ДО с характеристикой в виде эллипса

3.3.2.2. Отстройка ДО с полигональными характеристиками

Расчет сопротивления срабатывания ДО с полигональной характеристикой по условию отстройки от замера, когда вектор \underline{Z}_p пересекает верхнюю грань характеристики (рисунок 3.8), производится по выражениям:

- реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{уст} \leq k_{отс} \cdot |\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p \quad (3.7)$$

- полное сопротивление срабатывания

$$Z_{уст} \leq k_{отс} \cdot |\underline{Z}_p| \cdot d; \quad (3.8)$$

$$d = \frac{\sin\varphi_p}{\sin\varphi_{хар}}, \quad (3.9)$$

где $|\underline{Z}_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного полного сопротивления;

$\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики,

d – параметр, который учитывает возможное отличие угла наклона полигональной характеристики и угла расчетного сопротивления \underline{Z}_p .

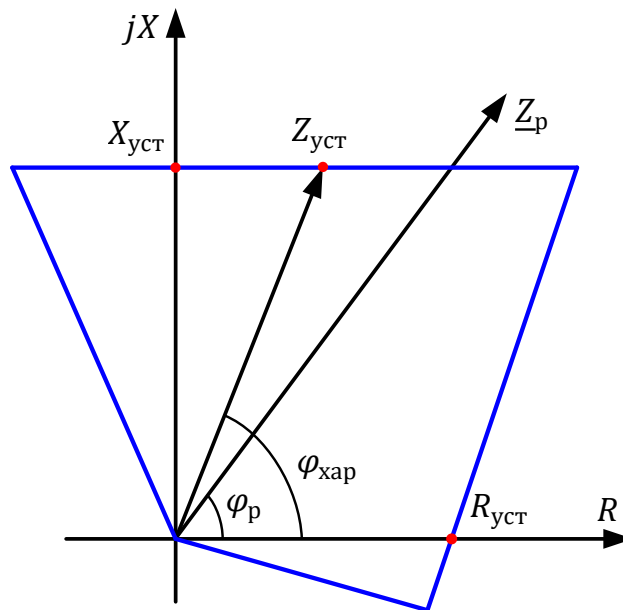


Рисунок 3.8. Отстройка ДО с полигональной характеристикой

Влияние переходного сопротивления в месте КЗ на дистанционные замеры, влияние целого ряда других факторов, которые требуют учета при расчете и выборе параметров настройки ДЗ от всех видов КЗ, подробно рассмотрены в приложении А.

При внешних КЗ через переходные сопротивления дополнительным влияющим фактором является доаварийный переток мощности по ЛЭП. В этом случае для отстройки можно использовать угол наклона (скоса) $\varphi_{ск}$ верхней границы характеристики (рисунок 3.9), а также отстройку с помощью активного сопротивления срабатывания $R_{уст}$ и/или изменения угла наклона правой боковой стороны характеристики (рисунок 3.10). При использовании

$\varphi_{\text{ск}}$ обеспечивается требуемый охват линии при металлических КЗ и отстройка от внешних КЗ через переходное сопротивление.

Угол скоса используется, как правило, для первой ступени ДЗ и при выбранной уставке $X_{\text{уст}}^I$ определяется по выражению:

$$\varphi_{\text{ск}} = \arcsin \frac{(1 - k_{\text{отс}}) \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}}{\sqrt{(R_p - R^I)^2 + (X_p - X_{\text{уст}}^I)^2}} - \arctg \frac{X_p - X_{\text{уст}}^I}{R_p - R^I}, \quad (3.10)$$

где R_p, X_p – активная и реактивная составляющие расчетного сопротивления \underline{Z}_p ;

$X_{\text{уст}}^I$ – реактивное сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ;

R^I – активное сопротивление прямой последовательности участка ЛЭП, соответствующее концу зоны срабатывания $X_{\text{уст}}^I$ первой ступени ДЗ.

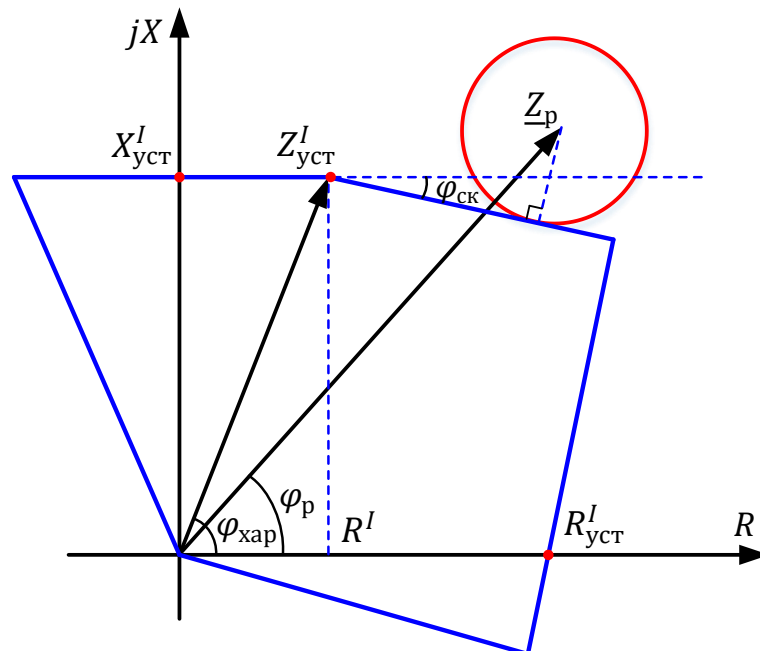


Рисунок 3.9. Отстройка углом скоса верхней грани характеристики

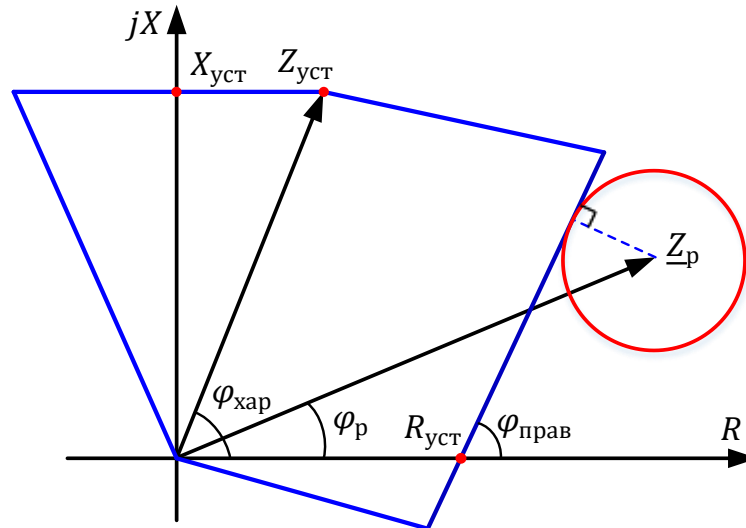


Рисунок 3.10. Отстройка уставкой активного сопротивления и углом наклона правой боковой стороны характеристики

Если при внешних КЗ через переходное сопротивление вектор \underline{Z}_p пересекает правую боковую сторону характеристики (рисунок 3.10), отстройка производится уставкой по активному сопротивлению $R_{уст}$ при заданном угле наклона $\varphi_{прав}$ по выражению:

$$R_{уст} \leq |\underline{Z}_p| \cdot \frac{\sin(\varphi_{прав} - \varphi_p) - (1 - k_{отс})}{\sin \varphi_{прав}}, \quad (3.11)$$

где $|\underline{Z}_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{прав}$ – угол наклона правой боковой стороны характеристики.

Графические построения и вывод выражений (3.10) и (3.11) приведены в приложении Б.

Отстройку полигональной характеристики от замеров при внешних КЗ для всей совокупности заданных расчетных условий удобно проводить графическим способом (рисунок 3.11). Отстройка осуществляется от зоны неопределенности вокруг конца вектора замера \underline{Z}_p в виде окружности, радиус которой определяется по выражению (3.6).

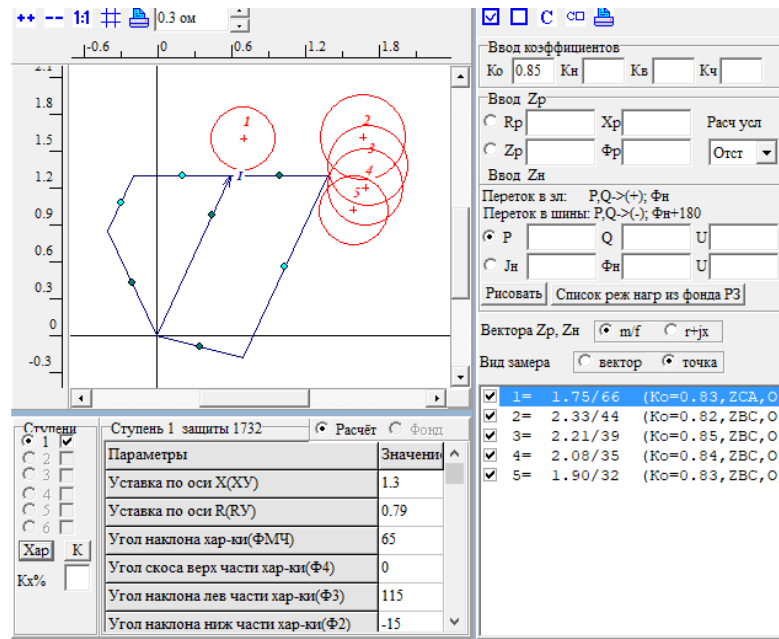


Рисунок 3.11. Графический выбор параметров настройки ДО с полигональной характеристикой

Для обеспечения отстройки полигональной характеристики от замера Z_r достаточно выполнения одного из условий:

- отстройка $Z_{уст}$ ($X_{уст}$) по выражениям (3.7) – (3.10);
- отстройка $R_{уст}$ по выражению (3.11).

Ниже приводятся рекомендации по значениям коэффициентов отстройки применительно к расчетным условиям выбора сопротивлений срабатывания трехступенчатой ДЗ одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

3.3.2.3. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени ДЗ по условию отстройки от замеров при КЗ на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу ЛЭП.

Для одиночных, параллельных ЛЭП и ЛЭП при наличии ответвлений коэффициент отстройки принимается:

– для защит с круговыми характеристиками

$$k_{отс} = 0,85;$$

– для защит с полигональными характеристиками

$$k_{отс} = 0,8-0,85.$$

Для ДЗ с полигональными характеристиками минимальное значение коэффициента отстройки принимается в случае коротких ЛЭП (ориентировочные длины ЛЭП разных типов приведены в таблице 3.1) при соотношении выбранных уставок:

$$\frac{R_{уст}}{X_{уст}} \geq 1 \text{ или } \frac{R_{уст}}{Z_{уст}} \geq 1 \quad (3.12)$$

Для ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, при подключении ДЗ к ТН на стороне НН (СН) Т (АТ) блока указанные значения коэффициентов отстройки принимаются, если Т (АТ) блока, имеющий регулирование напряжения под нагрузкой, учтен в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

Рекомендуется выполнить сравнительные расчеты сопротивления срабатывания ступени ДЗ по условию отстройки с учетом сопротивлений Т (АТ) блока при крайних (фактических) и средних положениях РПН и при необходимости скорректировать значение коэффициента отстройки для обеспечения селективности при внешних КЗ.

Указания по расчету реактивных сопротивлений Т (АТ) при наличии РПН приведены в приложении В.

3.3.2.4. Расчет сопротивления срабатывания ступеней ДЗ ЛЭП при наличии ответвлений по условию отстройки от замеров при КЗ на шинах НН (СН) Т (АТ) ПС на ответвлениях.

Коэффициент отстройки принимается:

– для защит с круговыми и полигональными характеристиками

$$k_{отс} = 0,85,$$

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;

– для защит с круговыми и полигональными характеристиками

$$k_{отс} = 0,7-0,8,$$

если Т (АТ) ПС на ответвлениях, имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения сопротивлениями, которые соответствуют средним положениям РПН.

Значения $k_{отс}$ для случая, когда сопротивления Т (АТ) соответствуют средним положениям РПН, даны ориентировочные и требуют уточнения в каждом конкретном случае в зависимости от соотношения сопротивлений участка защищаемой ЛЭП и сопротивления Т (АТ) ПС на ответвлении.

3.3.2.5. Расчет сопротивления срабатывания ступеней ДЗ ЛЭП по условию отстройки от замеров при междуфазных КЗ на шинах смежного напряжения Т (АТ) ПС, примыкающей к противоположному концу ЛЭП

Для одиночных, параллельных ЛЭП и ЛЭП при наличии ответвлений коэффициент отстройки принимается:

– для защит с круговыми и полигональными характеристиками

$$k_{отс} = 0,85,$$

если Т (АТ), имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН;

– для защит с круговыми и полигональными характеристиками

$$k_{отс} = 0,7-0,8,$$

если Т (АТ), имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения сопротивлениями, которые соответствуют средним положениям РПН.

Значения $k_{отс}$ для случая, когда сопротивления Т (АТ) соответствуют средним положениям РПН, даны ориентировочные и требуют уточнения в каждом конкретном случае в зависимости от схемы прилегающей сети, соотношения сопротивлений защищаемой ЛЭП и эквивалентного сопротивления Т (АТ) ПС, примыкающей к противоположному концу ЛЭП.

В приложении В приведены примеры расчета сопротивления срабатывания ступени ДЗ ЛЭП по условию отстройки от замеров при междуфазных КЗ на шинах смежного напряжения Т (АТ) ПС, примыкающей к противоположному концу ЛЭП с учетом положения РПН Т (АТ).

Для ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, при подключении ДЗ к ТН на стороне НН (СН) Т (АТ) блока указанные значения коэффициентов отстройки принимаются в случае, если Т (АТ) блока, имеющий регулирование напряжения под нагрузкой, учтен в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

3.3.2.6. Расчет сопротивления срабатывания ступеней ДЗ ЛЭП по условию отстройки от замеров при междуфазных КЗ на шинах ПС, примыкающей к участку, смежному с защищаемой ЛЭП, при наличии на смежном участке параллельных ЛЭП

Для одиночных, параллельных ЛЭП и ЛЭП при наличии ответвлений коэффициент отстройки принимается:

– для защит с круговыми характеристиками

$$k_{отс} = 0,85;$$

– для защит с полигональными характеристиками

$$k_{отс} = 0,8-0,85.$$

Для ДЗ с полигональными характеристиками минимальное значение коэффициента отстройки принимается в случае коротких ЛЭП при соотношении выбранных уставок $R_{уст}/X_{уст} \geq 1$.

Для ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, при подключении ДЗ к ТН на стороне НН (СН) Т (АТ) блока указанные значения коэффициентов отстройки принимаются в случае, если Т (АТ) блока, имеющий регулирование напряжения под нагрузкой, учтен в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

3.3.2.7. Расчет сопротивления срабатывания ступеней ДЗ ЛЭП по условию согласования с ДЗ смежной ЛЭП (отстройка от конца зоны действия ступени ДЗ смежной ЛЭП).

Для одиночных, параллельных ЛЭП и ЛЭП при наличии ответвлений коэффициент отстройки принимается:

– при согласовании ступеней ДЗ с однотипными характеристиками

$$k_{отс} = 0,85;$$

– при согласовании ступеней ДЗ с разнотипными характеристиками

$$k_{отс} = 0,8.$$

Для ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, при подключении ДЗ к ТН на стороне НН (СН) Т (АТ) блока указанные значения коэффициентов отстройки принимаются в случае, если Т (АТ) блока, имеющий регулирование напряжения под нагрузкой, учтен в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

3.3.2.8. Расчет сопротивления срабатывания ступеней ДЗ ЛЭП по условию согласования с ДЗ Т (АТ) ПС, примыкающей к противоположному концу защищаемой ЛЭП, или ПС на ответвлениях

Для одиночных, параллельных ЛЭП и ЛЭП при наличии ответвлений коэффициент отстройки принимается:

– при согласовании ДЗ с однотипными характеристиками

$$k_{отс} = 0,85;$$

– при согласовании ДЗ с разнотипными характеристиками

$$k_{отс} = 0,8,$$

если Т (АТ), имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН.

Если сопротивления Т (АТ) в схеме замещения соответствуют средним положениям РПН, коэффициент отстройки принимается:

– при согласовании ступеней ДЗ с однотипными характеристиками

$$k_{отс} = 0,8;$$

- при согласовании ступеней ДЗ с разнотипными характеристиками $k_{отс} = 0,7$.

Значения $k_{отс}$ для случая, когда сопротивления Т (АТ) соответствуют средним положениям РПН, даны ориентировочные и требуют уточнения в каждом конкретном случае в зависимости от схемы прилегающей сети, соотношения сопротивлений защищаемой ЛЭП или участка защищаемой ЛЭП и эквивалентного сопротивления Т (АТ).

Для ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, при подключении ДЗ к ТН на стороне НН (СН) Т (АТ) блока указанные значения коэффициентов отстройки принимаются в случае, если Т (АТ) блока, имеющий регулирование напряжения под нагрузкой, учтен в схеме замещения минимальными расчетными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям переключателей РПН.

3.3.2.9. При существенном различии характеристических углов линий смежных ЛЭП (например, воздушная и кабельная линия), при наличии на смежных участках сети ДЗ с разнотипными характеристиками срабатывания существует повышенный риск неселективной работы защит, особенно в случае КЗ через переходное сопротивление.

Для уменьшения вероятности неселективного действия ДЗ смежных сетевых элементов с разнотипными характеристиками срабатывания рекомендуется:

- при согласовании полигональной характеристики с круговой согласование по параметру R проводить с вписанной полигональной характеристикой в круговую характеристику ступени ДЗ, с которой проводится согласование;
- при согласовании круговой характеристики с полигональной согласование проводить с вписанной круговой характеристикой в полигональную характеристику ступени ДЗ, с которой проводится согласование.

В этом случае коэффициенты отстройки допускается принимать как при согласовании ДЗ с однотипными характеристиками.

3.3.3. Коэффициент сокращения зоны ДЗ смежных сетевых элементов

Согласование ДЗ ЛЭП с ДЗ смежных сетевых элементов проводится методом поиска конца зоны действия ступени, с которой производится согласование. При этом необходимо учитывать возможное сокращение зоны защиты, с которой ведется согласование, из-за погрешностей ТТ и ТН и релейной аппаратуры.

Возможное сокращение зоны ДЗ с круговыми и полигональными характеристиками учитывается коэффициентом сокращения:

$$k_{сокp} = (1 - \alpha) \quad (3.13)$$

Значение коэффициента α принимается с учетом класса точности ТТ и ТН и допускаемой погрешности характеристики срабатывания ДЗ относительно заданных параметров настройки по техническим данным конкретного устройства РЗ.

Для ТТ класса точности 10Р и ТН класса точности 3Р ориентировочное значение α принимается равным 0,1.

3.3.4. Согласование ДЗ ЛЭП с токовыми защитами сетевых элементов предыдущих участков сети

В качестве токовых защит, с которыми производится согласование ступеней ДЗ ЛЭП от междуфазных КЗ, могут рассматриваться резервные токовые защиты от междуфазных КЗ смежных ЛЭП, Т (АТ) или присоединений стороны смежного напряжения Т (АТ) ПС, примыкающей к противоположному концу защищаемой ЛЭП, и ПС на ответвлениях.

Расчет сопротивления срабатывания ступени ДЗ по согласованию с резервной токовой защитой сетевого элемента предыдущего участка сети производится методом поиска конца зоны, надежно охватываемой токовой защитой, с которой производится согласование, и отстройкой от полученного расчетного сопротивления по выражению:

$$Z_{уст}^N \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{1л} + \frac{Z_{расч}}{k_T} \right| \cdot d, \quad (3.14)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки;

$Z_{уст}^N$ – сопротивление срабатывания N -ной согласуемой ступени защиты;

$Z_{1л}$ – сопротивление прямой последовательности участка сети между местом установки ДЗ ЛЭП и защиты, с которой производится согласование;

$Z_{расч}$ – сопротивление зоны, надежно (с коэффициентом надежности k_n равным 1,1) охватываемой токовой защитой, с которой производится согласование в расчетных для согласования условиях при металлическом КЗ;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению тока, протекающего в месте установки ДЗ ЛЭП, к току в месте установки защиты, с которой производится согласование в расчетных для согласования условиях при металлическом КЗ;

d – параметр, который учитывает возможное отличие угла расчетного сопротивления от угла максимальной чувствительности круговой характеристики или угла наклона полигональной характеристики рассматриваемой ступени ДЗ ЛЭП, определяется по выражениям (3.5) или (3.9) соответственно.

Коэффициент отстройки определяется по выражению (3.3), ниже приводятся рекомендации по значениям $k_{отс}$ применительно к расчетным условиям выбора сопротивлений срабатывания ДЗ ЛЭП по условию согласования с резервными токовыми защитами сетевых элементов предыдущего участка сети.

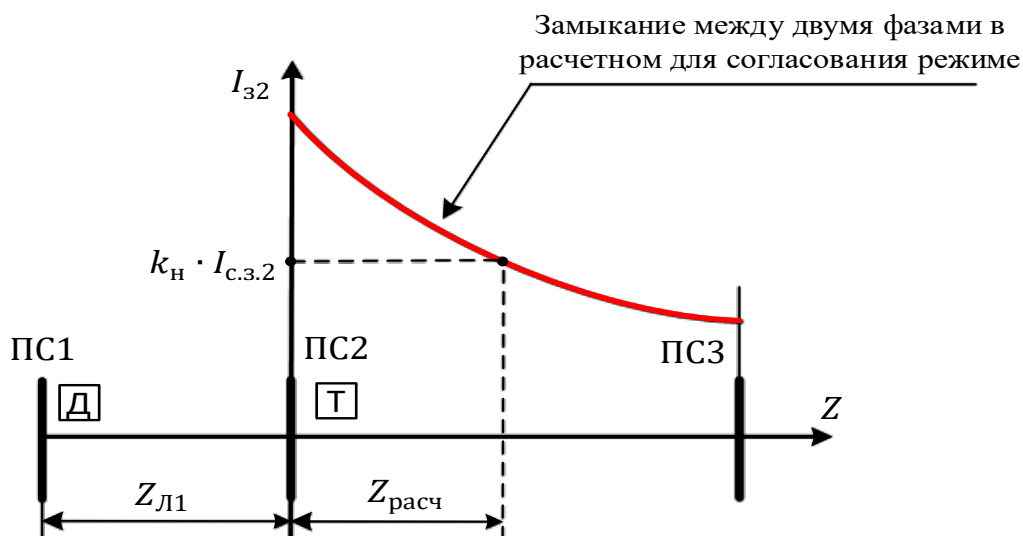
При выполнении защиты сетевого элемента предыдущего участка сети комбинированной защитой по току и напряжению ДЗ ЛЭП должна быть согласована отдельно с токовым органом и органом напряжения комбинированной защиты. За сопротивление срабатывания принимается значение, удовлетворяющее всем расчетным условиям, меньшее из полученных значений.

При согласовании ДЗ ЛЭП с МТЗ или токовым органом комбинированной защиты по току и напряжению смежной ЛЭП расчетным видом повреждения является двухфазное КЗ, поскольку при этом виде повреждения ток меньше, чем при трехфазном КЗ, а, следовательно, меньше и сопротивление зоны, надежно отхватываемой токовой защитой.

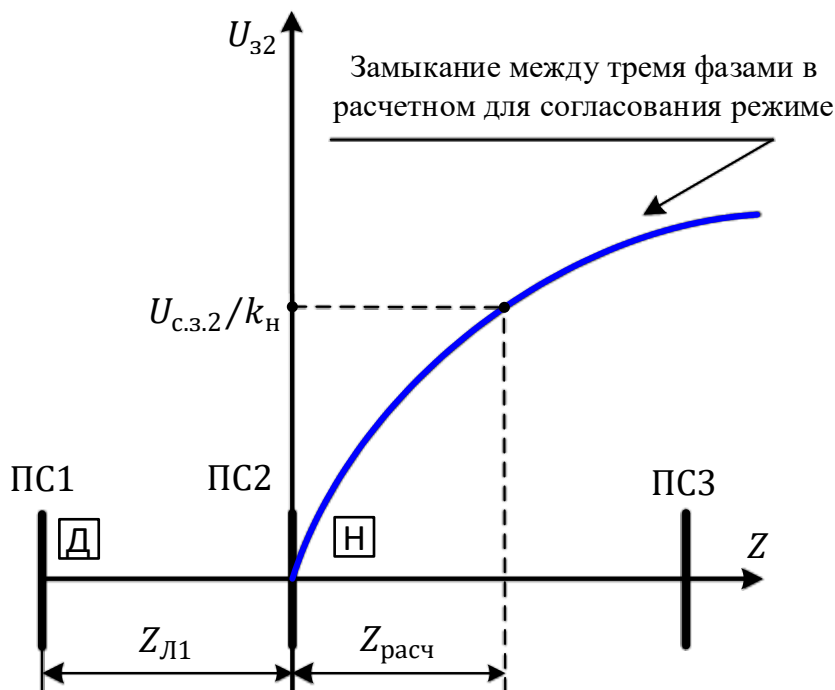
При согласовании ДЗ ЛЭП с органом напряжения комбинированной защиты по току и напряжению смежной ЛЭП за расчетный вид повреждения может быть принято любое металлическое междуфазное КЗ, поскольку сопротивление зоны, надежно охватываемой органом напряжения, не изменится.

Согласование ДЗ ЛЭП с МТЗ или комбинированной защитой по току и напряжению Т ПС противоположного конца ЛЭП (ПС на ответвлениях ЛЭП) при подключении резервной защиты к ТТ (ТН), установленным на стороне ВН Т, производится при трехфазных и двухфазных КЗ, в случае двухфазных КЗ необходимо учитывать схему соединения обмоток силовых Т Y/Δ .

Сопротивление $Z_{расч}$, входящее в выражение (3.14), может быть определено графически по кривой изменения тока при согласовании с МТЗ (токовым органом комбинированной защиты по току и напряжению) – рисунок 3.12 «а» или по кривой изменения напряжения при согласовании с органом напряжения комбинированной защиты по току и напряжению – рисунок 3.12 «б» в месте установки защиты, с которой производится согласование.



а) согласование с МТЗ или токовым органом комбинированной защиты по току и напряжению



б) согласование с органом напряжения комбинированной защиты по току и напряжению

Рисунок 3.12. Графическое определение $Z_{расч}$ при согласовании ДЗ с защитами тока и напряжения

Обозначения:

- Д — дистанционная защита;
- Т — максимальная токовая защита или токовый орган комбинированной защиты по току и напряжению;
- Н — орган напряжения комбинированной защиты по току и напряжению;
- $I_{з2}, U_{з2}$ — ток и напряжение в месте установки защиты, с которой производится согласование;
- $I_{с.з.2}, U_{с.з.2}$ — ток и напряжение срабатывания (уставки) защиты, с которой производится согласование;
- k_H — коэффициент надежности.

Ниже приводятся рекомендации по значениям коэффициента отстройки при согласовании ступеней ДЗ с токовыми защитами сетевых элементов предыдущих участков сети для одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

3.3.4.1. При согласовании ступени ДЗ ЛЭП с резервной токовой защитой или комбинированной защитой по току и напряжению смежной ЛЭП коэффициент отстройки принимается:

– для ДЗ одиночных, параллельных ЛЭП и ЛЭП при наличии ответвлений

$$k_{отс} = 0,85;$$

– для ДЗ ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, при подключении ДЗ к ТН на стороне НН (СН) Т (АТ) блока

$$k_{отс} = 0,85,$$

если Т (АТ) блока, имеющий регулирование напряжения под нагрузкой, учтен в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН;

$$k_{отс} = 0,7-0,8,$$

если Т (АТ) блока, имеющий регулирование напряжения под нагрузкой, учтен в схеме замещения расчетными сопротивлениями, которые соответствуют средним положениям РПН.

Рекомендуется выполнить сравнительные расчеты сопротивления срабатывания ступени ДЗ по условию согласования с учетом сопротивлений Т (АТ) блока при крайних (фактических) и средних положениях РПН и при необходимости скорректировать значение коэффициента отстройки для обеспечения селективности при внешних КЗ.

3.3.4.2. При согласовании ступени ДЗ ЛЭП с резервными токовыми защитами или комбинированными защитами по току и напряжению Т (АТ) или присоединений стороны смежного напряжения Т (АТ) ПС противоположного конца ЛЭП (ПС на ответвлениях ЛЭП) коэффициент отстройки принимается:

$$k_{отс} = 0,85,$$

если Т (АТ), имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения минимальными сопротивлениями, которые соответствуют крайним или возможным фактическим положениям РПН;

$$k_{отс} = 0,7-0,8,$$

если Т (АТ), имеющие регулирование напряжения под нагрузкой, учтены в схеме замещения сопротивлениями, которые соответствуют средним положениям РПН.

3.3.5. Проверка чувствительности ДО с круговыми и полигональными характеристиками

Оценка надежности работы ДО при КЗ в защищаемой зоне производится с помощью коэффициента чувствительности, который должен обеспечить требуемый запас охвата дистанционного замера характеристикой срабатывания. При этом следует учитывать погрешность ТТ и ТН, погрешность из-за неточности расчета первичных электрических величин и допусковое отклонение характеристики срабатывания ДО относительно заданных параметров настройки согласно техническим данным для конкретного устройства РЗ.

Надежная работа защиты обеспечивается в определенном диапазоне токов КЗ, рекомендации по проверке чувствительности ступеней ДЗ по току точной работы приведены в пункте 8.2.

3.3.5.1. Проверка чувствительности ДО с круговыми и полигональными характеристиками при КЗ в защищаемой зоне

Чувствительность ДО с направленной круговой характеристикой, проходящей через начало координат (рисунок 3.13), традиционно определяется как отношение сопротивления срабатывания $Z_{ср}$ к модулю расчетного сопротивления, при этом в качестве $Z_{ср}$ принимается расстояние от начала координат до точки на границе характеристики срабатывания при угле, равном углу расчетного сопротивления φ_p .

Коэффициент чувствительности определяется по выражению:

$$k_{чз} = \frac{Z_{ср}}{|Z_p|} = \frac{Z_{уст} \cdot \cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}{|Z_p|}, \quad (3.15)$$

где $k_{чз}$ – коэффициент чувствительности по полному сопротивлению;

$Z_{уст}$ – полное сопротивление срабатывания ступени ДЗ;

$|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности круговой характеристики.

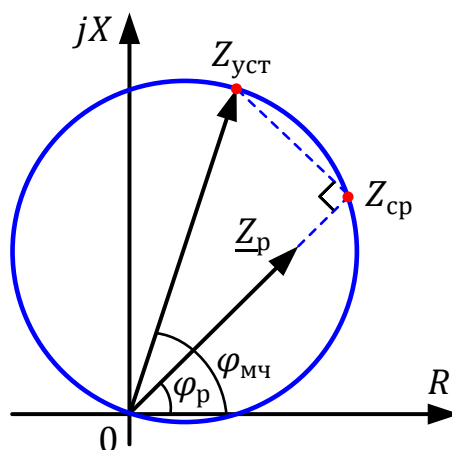


Рисунок 3.13. Проверка чувствительности ДО с направленной круговой характеристикой, проходящей через начало координат

ДО с направленной круговой характеристикой со смещением в первый квадрант комплексной плоскости (рисунок 3.14) имеет две точки пересечения прямой по направлению вектора Z_p с характеристикой срабатывания. В этом случае для проверки чувствительности ДО можно использовать несколько способов.

1) Проверка чувствительности по отношению к началу координат

В качестве сопротивления срабатывания $Z_{ср}$ так же, как в случае круговой характеристики без смещения, принимается расстояние от начала координат до точки на границе характеристики при угле, равном углу расчетного сопротивления φ_p .

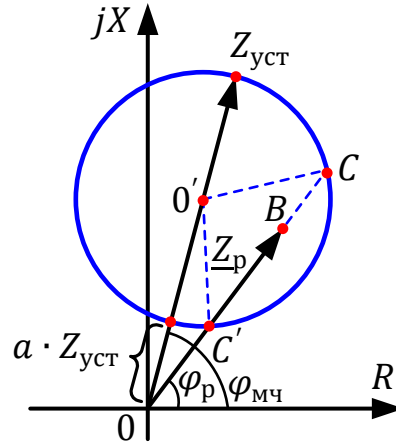


Рисунок 3.14. Определение чувствительности ДО с круговой характеристикой со смещением по отношению к началу координат

Коэффициент чувствительности для верхней точки C пересечения рассматриваемой прямой с границей характеристики срабатывания определяется как отношение сопротивления срабатывания $Z_{ср}$ к модулю расчетного сопротивления \underline{Z}_p :

$$k_{ч} = \frac{Z_{ср}}{|\underline{Z}_p|} = \frac{OC}{|\underline{Z}_p|} \quad (3.16)$$

Коэффициент чувствительности для нижней точки C' пересечения рассматриваемой прямой с границей характеристики определяется как отношение модуля расчетного сопротивления \underline{Z}_p к сопротивлению срабатывания $Z_{ср}$:

$$k_{ч} = \frac{|\underline{Z}_p|}{Z_{ср}} = \frac{|\underline{Z}_p|}{OC'} \quad (3.17)$$

Для треугольника $OO'C$ можно записать:

$$OC^2 + OO'^2 - 2 \cdot OC \cdot OO' \cos(\varphi_{мч} - \varphi_p) = O'C^2 \quad (3.18)$$

Радиус окружности $O'C$ определяется по выражению:

$$O'C = \frac{Z_{уст}}{2} \cdot (1 - a), \quad (3.19)$$

где a – смещение круговой характеристики в о.е. от $Z_{уст}$.

Отрезок OO' определяется по выражению:

$$OO' = \frac{Z_{уст}}{2} \cdot (1 + a) \quad (3.20)$$

Выражение (3.18) можно представить в виде:

$$OC^2 - 2 \cdot OC \cdot OO' \cos(\varphi_{мч} - \varphi_p) + OO'^2 - O'C^2 = 0 \quad (3.21)$$

После подстановки выражений (3.19) и (3.20) можно записать выражение для определения OC :

$$OC = \frac{Z_{уст}}{2} \left[(1 + a) \cos(\varphi_{мч} - \varphi_p) \pm \sqrt{(1 + a)^2 \cos^2(\varphi_{мч} - \varphi_p) - 4a} \right] \quad (3.22)$$

Значение OC со знаком «+» перед радикалом соответствует верхней точке C пересечения прямой по направлению вектора \underline{Z}_p с характеристикой срабатывания. Коэффициент чувствительности в этом случае определяется по выражению:

$$k_{ч} = \frac{Z_{уст} \cdot \left[(1 + a) \cos(\varphi_{мч} - \varphi_p) + \sqrt{(1 + a)^2 \cos^2(\varphi_{мч} - \varphi_p) - 4a} \right]}{2 \cdot |\underline{Z}_p|} \quad (3.23)$$

Значение OC со знаком «-» перед радикалом соответствует нижней точке C' пересечения прямой по направлению вектора \underline{Z}_p с характеристикой срабатывания. Коэффициент чувствительности в этом случае определяется по выражению:

$$k_{ч} = \frac{2 \cdot |\underline{Z}_p|}{Z_{уст} \cdot \left[(1 + a) \cos(\varphi_{мч} - \varphi_p) - \sqrt{(1 + a)^2 \cos^2(\varphi_{мч} - \varphi_p) - 4a} \right]} \quad (3.24)$$

Расчетный коэффициент чувствительности принимается равным минимальному значению, рассчитанному по выражению (3.23) или (3.24).

Если конец вектора \underline{Z}_p находится в центре окружности O' , в этом случае $\underline{Z}_p = OO'$, коэффициент чувствительности с учетом (3.20) определяется по выражениям:

$$k_{ч} = \frac{2}{1 + a} \quad (3.25)$$

или

$$k_{ч} = \frac{1 + a}{2a} \quad (3.26)$$

2) Проверка чувствительности по отношению к центру круговой характеристики

Следует отметить, что определение коэффициента чувствительности по выражениям (3.23) и (3.24) не отражает того факта, что для измерительного ДО, выполненного по схеме сравнения, наилучшие условия срабатывания соответствуют нахождению конца вектора \underline{Z}_p в центре O' круговой характеристики.

В связи с этим чувствительность целесообразно определять не по отношению к началу координат, а по отношению к центру O' круговой характеристики (рисунок 3.15).

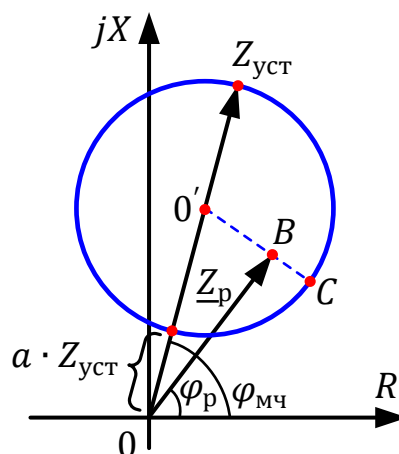


Рисунок 3.15. Определение чувствительности ДО с круговой характеристикой со смещением по отношению к центру круговой характеристики

В этом случае коэффициент чувствительности определяется как отношение радиуса окружности $O'C$ к расстоянию от центра окружности до конца вектора Z_p :

$$k_{\text{ч}} = \frac{O'C}{O'B} \quad (3.27)$$

Радиус окружности $O'C$ определяется по выражению (3.19).

Для треугольника $OO'B$ можно записать:

$$|Z_p|^2 + OO'^2 - 2 \cdot |Z_p| \cdot OO' \cos(\varphi_{\text{мч}} - \varphi_p) = O'B^2 \quad (3.28)$$

Отрезок OO' определяется по выражению (3.20), после подстановки можно найти отрезок $O'B$ по выражению:

$$O'B = \sqrt{|Z_p|^2 + \left(\frac{Z_{\text{уст}}}{2} \cdot (1 + a)\right)^2 - |Z_p| \cdot Z_{\text{уст}}(1 + a) \cos(\varphi_{\text{мч}} - \varphi_p)} \quad (3.29)$$

Коэффициент чувствительности определяется по выражению:

$$k_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{уст}} \cdot (1 - a)}{2 \cdot \sqrt{|Z_p|^2 + \left(\frac{Z_{\text{уст}}}{2} \cdot (1 + a)\right)^2 - |Z_p| \cdot Z_{\text{уст}}(1 + a) \cos(\varphi_{\text{мч}} - \varphi_p)}} \quad (3.30)$$

3) Проверка чувствительности графическим способом

На рисунке 3.16 представлен графический способ проверки чувствительности. Минимальное расстояние от конца вектора Z_p до характеристики срабатывания, определенное по прямой, соединяющей центр окружности O' и точку на границе характеристики срабатывания, должно обеспечить запас по чувствительности, определяемый коэффициентом $k_{\text{ч}}$.

Зона неопределенности вокруг конца вектора \underline{Z}_p , обусловленная погрешностями, идеализированно представляется в виде окружности, радиус которой определяется по выражению:

$$r = |\underline{Z}_p| \cdot (k_{\text{ч}} - 1), \quad (3.31)$$

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

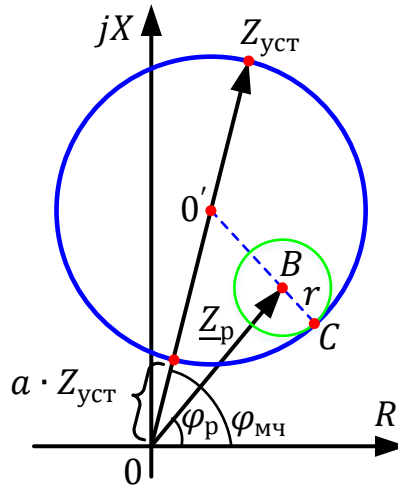


Рисунок 3.16. Графический метод проверки чувствительности ДО с круговой характеристикой

Расчетный коэффициент чувствительности может быть определен по выражению:

$$k_{\text{ч}} = 1 + \frac{r}{|\underline{Z}_p|} = 1 + \frac{BC}{|\underline{Z}_p|} = \frac{O'C - O'B}{|\underline{Z}_p|}, \quad (3.32)$$

где радиус окружности $O'C$ определяется по выражению (3.19), расстояние от центра окружности до конца вектора \underline{Z}_p $O'B$ определяется по выражению (3.29).

Если конец вектора \underline{Z}_p находится в центре окружности O' , в этом случае $\underline{Z}_p = OO'$, подставив выражение (3.20) для OO' , можно определить коэффициент чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = 1 + \frac{O'C}{|\underline{Z}_p|} = 1 + \frac{1 - a}{1 + a} = \frac{2}{1 + a} \quad (3.33)$$

4) Проверка зацепления круговых характеристик при наличии смещения

Смещение круговой характеристики в первый квадрант комплексной плоскости может применяться для третьей ступени ДЗ в целях отстройки от нагрузочных режимов работы энергосистем. В этом случае зоны, охватываемые второй и третьей ступенями, должны перекрываться для обеспечения отключения КЗ на защищаемой ЛЭП. Проверка зацепления характеристик производится с учетом возможного отклонения сопротивления срабатывания относительно заданных параметров настройки и с учетом необходимого запаса.

При одинаковых углах максимальной чувствительности характеристик второй и третьей ступеней ДЗ $\varphi_{мч}^{II} = \varphi_{мч}^{III}$ (рисунок 3.17) надежное зацепление характеристик обеспечивается, если удовлетворяется неравенство:

$$Z_{уст}^{II} - a^{III} \cdot Z_{уст}^{III} \geq k_c \cdot (r^{II} + r^{III}), \quad (3.34)$$

где $Z_{уст}^{II}$, $Z_{уст}^{III}$ – сопротивление срабатывания второй и третьей ступеней;
 a^{III} – смещение характеристики третьей ступени в о.е. от $Z_{уст}^{III}$;

k_c – коэффициент, учитывающий возможное сокращение характеристик срабатывания и необходимый запас, принимается равным 0,1-0,2;

r^{II} , r^{III} – радиусы характеристик срабатывания второй и третьей ступеней ДЗ соответственно рассчитываются по выражениям:

$$r^{II} = \frac{Z_{уст}^{II}}{2} \cdot (1 + a^{II}); \quad r^{III} = \frac{Z_{уст}^{III}}{2} \cdot (1 - a^{III}), \quad (3.35)$$

где a^{II} – смещение характеристики второй ступени в о.е. от $Z_{уст}^{II}$.

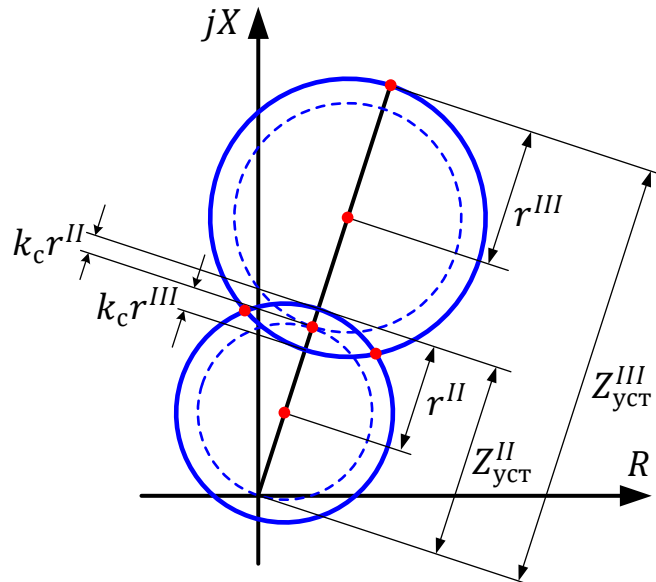


Рисунок 3.17. Проверка зацепления ДО с круговыми характеристиками при наличии смещения

При различных углах максимальной чувствительности второй и третьей ступеней $\varphi_{мч}^{II} \neq \varphi_{мч}^{III}$ выражение (3.34) использовать некорректно, проверку зацепления характеристик в этом случае следует выполнить графическим способом.

Рекомендуется выполнить проверку чувствительности второй ступени ДЗ при металлическом КЗ в точке, в которой уже не гарантируется срабатывание третьей ступени, а также при КЗ через переходное сопротивление вблизи точек пересечения характеристик.

3.3.5.2. Проверка чувствительности ДО с полигональной характеристикой срабатывания

Проверка чувствительности ДО с полигональной характеристикой (рисунок 3.18) при КЗ в защищаемой зоне производится отдельно по полному или реактивному и активному сопротивлениям срабатывания по следующим выражениям:

$$k_{\text{ч}Z} = \frac{Z_{\text{уст}}}{OB} = \frac{Z_{\text{уст}} \cdot \sin \varphi_{\text{хар}}}{|\underline{Z}_p| \cdot \sin \varphi_p}, \quad (3.36)$$

$$k_{\text{ч}X} = \frac{X_{\text{уст}}}{OA} = \frac{X_{\text{уст}}}{|\underline{Z}_p| \cdot \sin \varphi_p}, \quad (3.37)$$

$$k_{\text{ч}R} = \frac{R_{\text{уст}}}{OC} = \frac{R_{\text{уст}} \cdot \sin \varphi_{\text{прав}}}{|\underline{Z}_p| \cdot \sin(\varphi_{\text{прав}} - \varphi_p)}, \quad (3.38)$$

где $k_{\text{ч}Z}$ – коэффициент чувствительности по полному сопротивлению;
 $k_{\text{ч}X}$ – коэффициент чувствительности по реактивному сопротивлению;
 $k_{\text{ч}R}$ – коэффициент чувствительности по активному сопротивлению;
 $Z_{\text{уст}}$ – полное сопротивление срабатывания ступени ДЗ;
 $X_{\text{уст}}$ – реактивное сопротивление срабатывания ступени ДЗ;
 $R_{\text{уст}}$ – активное сопротивление срабатывания ступени ДЗ;
 $\varphi_{\text{хар}}$ – угол наклона полигональной характеристики;
 $\varphi_{\text{прав}}$ – угол наклона правой боковой грани характеристики;
 $|\underline{Z}_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления.

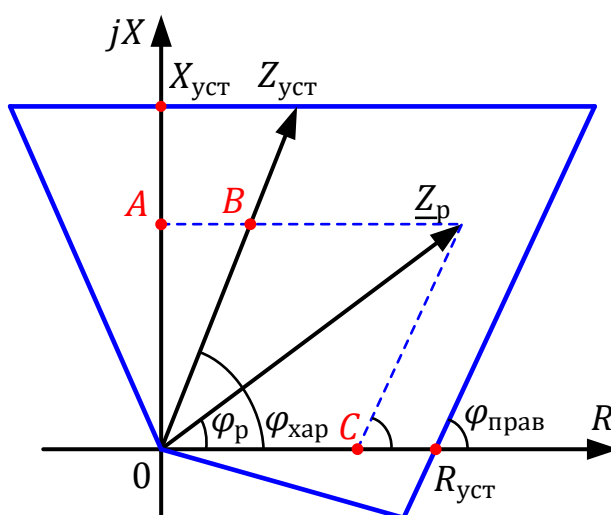


Рисунок 3.18. Проверка чувствительности ДО с полигональной характеристикой

Надежная работа ДО с полигональной характеристикой обеспечивается, если оба коэффициента чувствительности $k_{\text{ч}Z}$ или $k_{\text{ч}X}$ и $k_{\text{ч}R}$ больше требуемых значений.

Проверка чувствительности по активному сопротивлению срабатывания также может быть выполнена из определения минимального расстояния r от конца вектора \underline{Z}_p до правой боковой стороны характеристики срабатывания (рисунок 3.19):

$$r = |\underline{Z}_p| \cdot (k_{\text{ч}} - 1), \quad (3.39)$$

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

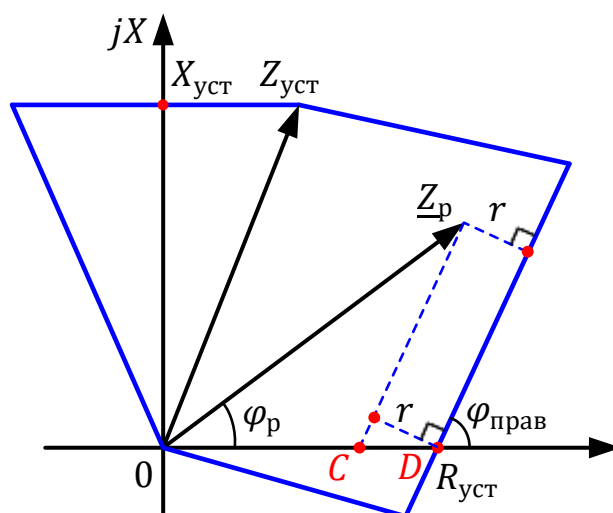


Рисунок 3.19. Обеспечение чувствительности по активному сопротивлению срабатывания $R_{\text{уст}}$

Из геометрических построений следует:

$$CD = \frac{|\underline{Z}_p| \cdot (k_{\text{ч}} - 1)}{\sin \varphi_{\text{прав}}} \quad (3.40)$$

Из выражения (3.38) можно определить:

$$OC = \frac{|\underline{Z}_p| \cdot \sin(\varphi_{\text{прав}} - \varphi_p)}{\sin \varphi_{\text{прав}}} \quad (3.41)$$

Выражение для расчета активного сопротивления срабатывания по условию обеспечения чувствительности можно получить из выражений (3.40) и (3.41):

$$R_{\text{уст}} \geq |\underline{Z}_p| \cdot \frac{\sin(\varphi_{\text{прав}} - \varphi_p) + (k_{\text{ч}} - 1)}{\sin \varphi_{\text{прав}}} \quad (3.42)$$

Проверку чувствительности также удобно проводить графическим способом (рисунок 3.20). Зона неопределенности вокруг конца вектора \underline{Z}_p , обусловленная погрешностями, идеализированно представляется в виде окружности, радиус r которой определяется по выражению (3.39) и обеспечивает требуемое по условию обеспечения чувствительности минимальное расстояние от конца вектора \underline{Z}_p до границ характеристики срабатывания.

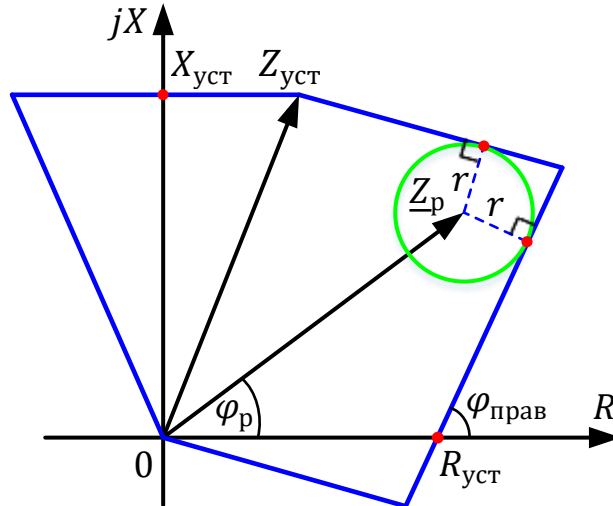


Рисунок 3.20. Графический метод проверки чувствительности ДО с полигональной характеристикой

Углы ограничения характеристики во втором и четвертом квадрантах комплексной плоскости (рисунок 3.21) определяются исходя из обеспечения чувствительности при КЗ через переходные сопротивления:

- угол φ_{IV} при КЗ в начале защищаемой ЛЭП;
- угол φ_{II} при КЗ в конце защищаемой ЛЭП или зоне дальнего резервирования.

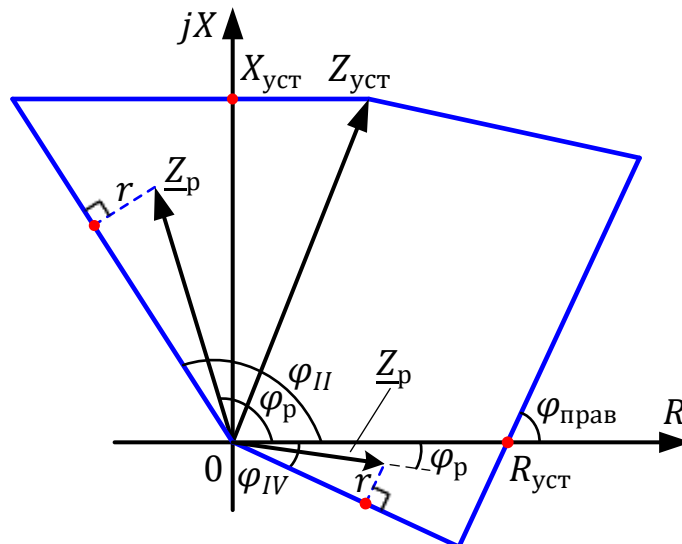


Рисунок 3.21. Определение углов ограничения характеристики во втором и четвертом квадранте

При расчетах следует учитывать доаварийные нагрузочные режимы:

- при выборе угла φ_{IV} нагрузочные режимы с прямым перетоком мощности по защищаемой ЛЭП, когда замер Z_p может оказаться в четвертом квадранте комплексной плоскости;

– при выборе угла φ_{II} нагрузочные режимы со встречным перетоком мощности по защищаемой ЛЭП, когда замер \underline{Z}_p может оказаться во втором квадранте комплексной плоскости.

Минимальное расстояние r от конца вектора \underline{Z}_p до характеристики срабатывания определяется по выражению:

$$r = |\underline{Z}_p| \cdot (k_{\text{ч}} - 1), \quad (3.43)$$

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

Углы ограничения полигональной характеристики можно определить графическим способом или по выражениям:

$$\varphi_{II} \geq \arcsin(k_{\text{ч}} - 1) + \varphi_p, \quad (3.44)$$

$$\varphi_{IV} \geq \arcsin(k_{\text{ч}} - 1) - \varphi_p, \quad (3.45)$$

где φ_p – угол расчетного сопротивления \underline{Z}_p , положительное или отрицательное значение угла определяется в зависимости от положения замера на комплексной плоскости. Если \underline{Z}_p находится в первом квадранте и значение $\varphi_p \geq \arcsin(k_{\text{ч}} - 1)$, значение угла φ_{IV} принимается любым из располагаемого диапазона регулирования параметра.

На рисунке 3.22 приведена сравнительная проверка чувствительности ДО с круговой и полигональной характеристикой с одинаковым сопротивлением срабатывания $Z_{\text{уст}}$ для случая КЗ через переходное сопротивление в зоне дальнего резервирования при встречном перетоке мощности по защищаемой ЛЭП. В этом случае дистанционный замер может находиться во втором квадранте комплексной плоскости.

Для обеспечения чувствительности ДО с полигональной характеристикой может потребоваться активное сопротивление срабатывания $R_{\text{уст}2}$ большее, чем $R_{\text{уст}1}$, равное $Z_{\text{уст}}/2$, и угол ограничения характеристики во втором квадранте, превышающий обычно принимаемое значение 115° .

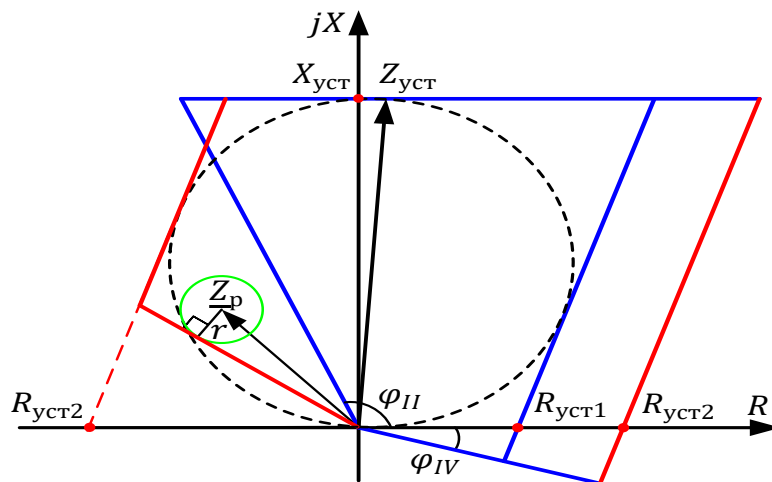


Рисунок 3.22. Сравнительная проверка чувствительности ДО с полигональной и круговой характеристикой при КЗ в зоне дальнего резервирования

3.3.5.3. Нормативные требования по обеспечению чувствительности ДЗ ЛЭП

В соответствии с пунктом 11 Требований [1] при оценке выполнения нормативных требований к чувствительности резервных защит ЛЭП в качестве расчетного случая принимается металлическое КЗ.

Расчет и выбор сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ ЛЭП по чувствительности к металлическим КЗ в зоне следует производить с учетом базовых значений коэффициентов чувствительности.

В соответствии с пунктом 14 Требований [1] базовые значения коэффициентов чувствительности для ступеней ДЗ, предназначенных для действия в пределах всей защищаемой ЛЭП, должны приниматься равными не менее:

- 1,5 – для пусковых измерительных органов любого типа;
- 1,5 – для ДО по сопротивлению срабатывания при отсутствии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5;
- 1,25 – для ДО по сопротивлению срабатывания при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

В соответствии с пунктом 15 Требований [1] базовые значения коэффициентов чувствительности для ступеней ДЗ, выполняющих функции дальнего резервирования, должны приниматься равными не менее:

- 1,2 – для ДО по сопротивлению срабатывания.

3.3.5.4. Указания по проверке чувствительности трехступенчатой ДЗ ЛЭП

Чувствительность ДО ступеней ДЗ ЛЭП при металлических КЗ необходимо обеспечить в соответствии с нормативными требованиями по чувствительности, указанными в пункте 3.3.5.3.

Наличие переходного сопротивления в месте КЗ может оказать существенное влияние на чувствительность ДО защиты.

Рекомендации по расчету переходных сопротивлений при междуфазных КЗ и при КЗ на землю приведены в приложении Г.

Проверку чувствительности быстродействующих ступеней ДЗ (ступеней ДЗ без выдержки времени, телеускоряемых ступеней ДЗ) рекомендуется производить при металлических КЗ и при КЗ через переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также при доаварийных перетоках мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

Проверку чувствительности ступеней ДЗ с выдержками времени рекомендуется производить при металлических КЗ и при КЗ через переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах сети с учетом изменения модулей и углов ЭДС генераторов в процессе аварийного режима.

Рекомендации по значениям коэффициентов чувствительности приводятся ниже применительно к расчетным условиям выбора сопротивлений срабатывания трехступенчатой ДЗ одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

1) Проверка чувствительности ДО первой ступени ДЗ с неполным охватом защищаемой ЛЭП

Для обеспечения надежного перекрытия зон действия первых ступеней ДЗ с двух сторон защищаемой ЛЭП рекомендуется обеспечить зону охвата ДО первых ступеней с круговыми и полигональными характеристиками не менее (0,65–0,75) от полного сопротивления линии при металлических КЗ.

Проверка чувствительности первой ступени ДЗ от всех видов КЗ с полигональной характеристикой выполняется при КЗ через переходные сопротивления в начале защищаемой ЛЭП и в конце зоны охвата по сопротивлению срабатывания $Z_{уст}$ или $X_{уст}$ при соответствующих видах повреждений. Если полигональная характеристика имеет наклон (скос) верхней грани, зона охвата определяется с учетом скоса (рисунок 3.23).

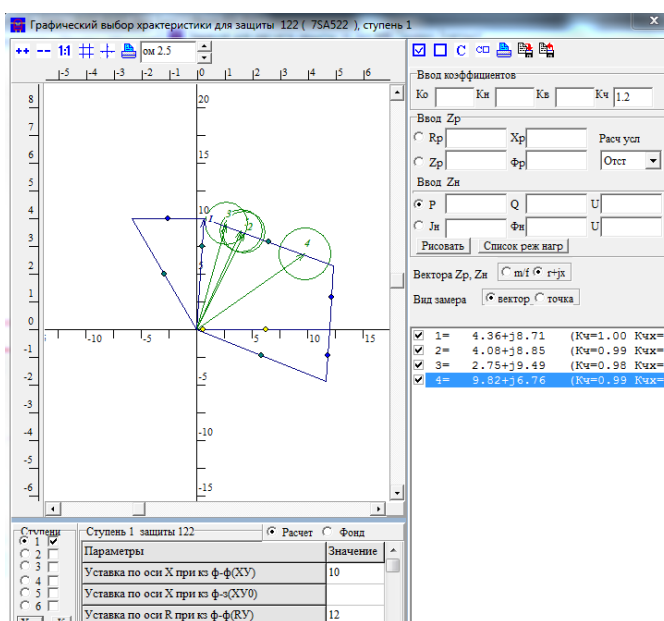


Рисунок 3.23. Проверка обеспечения чувствительности при КЗ в конце зоны охвата по сопротивлению $Z_{уст}$ или $X_{уст}$

Рекомендуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности для ДО с полигональными характеристиками срабатывания.

По активному сопротивлению срабатывания $k_{чR}(k_{ч})$ и углу ограничения характеристики в четвертом квадранте $k_{ч}$:

– 1,25-1,5 при КЗ в начале ЛЭП.

По активному сопротивлению срабатывания $k_{чR}(k_{ч})$:

– 1,1-1,2 при КЗ в конце зоны срабатывания, определяемой уставками $Z_{уст}$ или $X_{уст}$ в режиме транзита;

– 1,2-1,5 при КЗ в конце зоны срабатывания, определяемой уставками $Z_{уст}$ или $X_{уст}$ и каскадном отключении повреждения с противоположной стороны ЛЭП.

2) Проверка чувствительности ДО второй ступени ДЗ с охватом всей защищаемой ЛЭП

Проверка чувствительности ДО второй ступени ДЗ производится при междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП. Для ЛЭП при наличии ответвлений проверка чувствительности производится при междуфазных КЗ на каждом конце ЛЭП, противоположному месту установки рассматриваемой защиты.

При металлических КЗ требуется обеспечить базовые значения коэффициентов чувствительности k_{qZ} или k_{qX} и $k_{qR}(k_q)$ соответственно для ДО с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания:

– 1,25 (в случае, если ДО третьей ступени обеспечивает коэффициент чувствительности 1,5 при КЗ в конце ЛЭП или на каждом конце ЛЭП с ответвлениями);

– 1,5 (в случае, если ДО третьей ступени не обеспечивает коэффициент чувствительности 1,5 при КЗ в конце ЛЭП или на каждом конце ЛЭП с ответвлениями).

При КЗ через переходные сопротивления рекомендуется обеспечить следующие значения коэффициентов чувствительности k_{qZ} или k_{qX} и $k_{qR}(k_q)$ соответственно для ДО с круговыми и полигональными характеристиками:

– 1,1-1,2 при КЗ в конце ЛЭП в режиме транзита;

– 1,2-1,5 при КЗ в конце ЛЭП и одностороннем отключении повреждения с противоположной стороны ЛЭП.

3) Проверка чувствительности ДО третьей ступени ДЗ, выполняющей функции резервирования защит своей ЛЭП и защит смежных сетевых элементов

Проверка чувствительности ДО третьей ступени ДЗ производится при металлическом междуфазном КЗ и междуфазных КЗ через переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП и в конце зоны резервирования.

При металлических КЗ требуется обеспечить базовые значения коэффициентов чувствительности k_{qZ} или k_{qX} и $k_{qR}(k_q)$ соответственно для ДО с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания:

– 1,5 – при КЗ в конце защищаемой ЛЭП;

– 1,2 – при КЗ в конце зоны резервирования.

При КЗ через переходные сопротивления рекомендуется обеспечить следующие значения коэффициентов чувствительности k_{qZ} или k_{qX} и $k_{qR}(k_q)$ соответственно для ДО с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания:

– 1,2-1,5 – при КЗ в конце защищаемой ЛЭП;

– 1,1-1,2 – при КЗ в конце зоны резервирования.

3.4. Отстройка от нагрузочных режимов работы энергосистем

Отстройка характеристик срабатывания ДЗ ЛЭП от замеров в полнофазных нагрузочных режимах работы энергосистем производится в целях исключения ложной работы защиты при отсутствии повреждения.

Соппротивление, измеряемое ДО в нагрузочных режимах, рассчитывается с учетом схем подключения защиты по цепям переменного тока и напряжения.

В случае подключения ДЗ к ТТ и ТН в месте установки защиты расчет выполняется по выражениям:

$$|Z_{\text{нагр}}| = \frac{|U_{\text{нагр}}|}{\sqrt{3} \cdot |I_{\text{нагр}}|}, \quad (3.46)$$

$$|Z_{\text{нагр}}| = \frac{|U_{\text{нагр}}|^2}{\sqrt{P_{\text{нагр}}^2 + Q_{\text{нагр}}^2}}, \quad (3.47)$$

$$\varphi_{\text{нагр}} = \arctg\left(\frac{Q_{\text{нагр}}}{P_{\text{нагр}}}\right), \quad (3.48)$$

где $|Z_{\text{нагр}}|$ и $\varphi_{\text{нагр}}$ – модуль и угол расчетного сопротивления в нагрузочном режиме;

$U_{\text{нагр}}$ – междуфазное напряжение в месте установки защиты в нагрузочном режиме;

$I_{\text{нагр}}$, $P_{\text{нагр}}$ и $Q_{\text{нагр}}$ – фазный ток, активная и реактивная мощность в месте установки защиты в нагрузочном режиме.

Отстройка характеристик срабатывания ДЗ ЛЭП производится от нагрузочных режимов, указанных в пункте 6 Методических указаний [8], при этом следует учитывать условие возврата ДО в послеаварийных нагрузочных режимах после отключения внешнего КЗ.

Для ЛЭП при наличии ответвлений следует учитывать режим самозапуска двигателей нагрузки ПС, питающихся от защищаемой ЛЭП, при успешном АПВ со стороны, где установлена рассматриваемая защита.

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 промышленного энергорайона.

Сопротивление в режиме самозапуска двигательной нагрузки может быть рассчитано по выражению:

$$|Z_{\text{нагр сз}}| = \frac{|U_{\text{мин сз}}|}{\sqrt{3} \cdot k_{\text{сз}} \cdot |I_{\Sigma \text{ нагр}}|} \quad (3.49)$$

Угол расчетного сопротивления в режиме самозапуска может быть определен исходя из предположения, что подключенная нагрузка на ПС ответвлений осталась равной номинальной:

$$\varphi_{\text{нагр сз}} = \arccos \left(\frac{P_{\Sigma \text{ нагр}}}{\sqrt{3} \cdot |U_{\text{мин сз}}| \cdot k_{\text{сз}} \cdot |I_{\Sigma \text{ нагр}}|} \right), \quad (3.50)$$

где $|Z_{\text{нагр сз}}|$ и $\varphi_{\text{нагр сз}}$ – модуль и угол расчетного сопротивления в режиме самозапуска;

$U_{\text{мин сз}}$ – минимальное междуфазное напряжение в месте установки защиты в режиме самозапуска, ориентировочно может быть принято равным 0,8-0,9 от минимального рабочего напряжения;

$I_{\Sigma \text{ нагр}}$ – ток, равный сумме фазных токов нагрузки ПС, питающихся от защищаемой ЛЭП;

$P_{\Sigma \text{ нагр}}$ – суммарная активная мощность нагрузки ПС ответвлений, рассчитанная при $\cos \varphi_{\text{нагр}}$, равном 0,8-0,85;

$k_{\text{сз}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение фазного тока в режиме самозапуска, ориентировочно принимается равным 1,5-2,0.

Расчет сопротивления срабатывания $Z_{\text{уст}}$ ДО с направленной круговой характеристикой, проходящей через начало координат, по условию отстройки от замеров в нагрузочных режимах производится по выражению:

$$Z_{\text{уст}} \leq \frac{|Z_{\text{нагр}}|}{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}} \cdot \cos(\varphi_{\text{мч}} - \varphi_{\text{нагр}})}, \quad (3.51)$$

где $|Z_{\text{нагр}}|$ и $\varphi_{\text{нагр}}$ – модуль и угол расчетного сопротивления в нагрузочном режиме;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, учитывает погрешность ТТ и ТН и релейной аппаратуры, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата измерительного ДО, принимается по техническим данным конкретного устройства РЗ;

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

Определяющими по условию отстройки являются нагрузочные режимы с минимальным значением $|Z_{\text{нагр}}|$, а также режимы с максимальным значением угла расчетного сопротивления $\varphi_{\text{нагр}}$.

Расчет сопротивления срабатывания $Z_{\text{уст}}$ ДО с направленной круговой характеристикой, проходящей через начало координат, по отстройке от замеров в режимах самозапуска двигательной нагрузки производится по выражению (3.51).

Для отстройки от замеров в нагрузочных режимах работы энергосистем со значительным перетоком активной мощности по защищаемой ЛЭП можно использовать изменение вида круговой характеристики (эллипс, линза), а также смещение круговой характеристики в первый квадрант комплексной плоскости (при наличии технической возможности).

Расчет реактивного или полного сопротивления срабатывания ДО с полигональной характеристикой по условию отстройки от замеров в нагрузочных режимах со значительным перетоком реактивной мощности по защищаемой ЛЭП, когда вектор $\underline{Z}_{\text{нагр}}$ пересекает верхнюю границу характеристики, производится по выражениям:

- реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{\text{уст}} \leq \frac{|\underline{Z}_{\text{нагр}}| \cdot \sin\varphi_{\text{нагр}}}{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}}}; \quad (3.52)$$

- полное сопротивление срабатывания

$$Z_{\text{уст}} \leq \frac{|\underline{Z}_{\text{нагр}}|}{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot \frac{\sin\varphi_{\text{нагр}}}{\sin\varphi_{\text{хар}}}, \quad (3.53)$$

где $|\underline{Z}_{\text{нагр}}|$ и $\varphi_{\text{нагр}}$ – модуль и угол расчетного сопротивления в нагрузочном режиме;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, учитывает погрешность ТТ и ТН и релейной аппаратуры, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным конкретного устройства РЗ;

$\varphi_{\text{хар}}$ – угол наклона полигональной характеристики.

Определяющими по условию отстройки являются нагрузочные режимы с минимальным значением расчетного сопротивления $|\underline{Z}_{\text{нагр}}|$, а также режимы с максимальным значением угла расчетного сопротивления $\varphi_{\text{нагр}}$.

Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{\text{уст}}$ ДО с полигональной характеристикой по условию отстройки от замеров в нагрузочных режимах, когда вектор $\underline{Z}_{\text{нагр мин}}$ пересекает правую боковую сторону характеристики, производится по выражению:

$$R_{\text{уст}} \leq \frac{|\underline{Z}_{\text{нагр мин}}|}{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}}} (\cos\varphi_{\text{нагр}} - \sin\varphi_{\text{нагр}} \operatorname{ctg}\varphi_{\text{прав}}), \quad (3.54)$$

где $|\underline{Z}_{\text{нагр}}|$ и $\varphi_{\text{нагр}}$ – модуль и угол расчетного сопротивления в нагрузочном режиме;

$\varphi_{\text{прав}}$ – угол наклона правой боковой стороны характеристики.

Расчет сопротивлений срабатывания ДО с полигональной характеристикой по условию отстройки от замеров $\underline{Z}_{\text{нагр сз}}$ в режиме самозапуска производится аналогично по выражениям (3.52–3.54).

Для отстройки от замеров в нагрузочных режимах со значительным перетоком активной мощности используется вырез нагрузки (при наличии указанного параметра настройки).

Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{уст\ нагр}$, которое определяет вырез в области нагрузочных режимов (рисунок 3.24), производится по выражению:

$$R_{уст\ нагр} \leq \frac{|Z_{нагр}|}{k_H \cdot k_B} \cdot \cos \varphi_{нагр} \quad (3.55)$$

Уставка по углу выреза нагрузки определяется по выражению:

$$\varphi_{уст\ нагр} \geq \varphi_{нагр\ макс} \pm \varphi_{зап}, \quad (3.56)$$

где $\varphi_{нагр\ макс}$ – максимальный угол расчетного сопротивления в нагрузочном режиме;

$\varphi_{зап}$ – угол, учитывающий погрешности измерений и необходимый запас, рассчитывается по выражению:

$$\varphi_{зап} = \arcsin \left(1 - \frac{1}{k_H \cdot k_B} \right), \quad (3.57)$$

где k_H – коэффициент надежности, учитывает погрешность ТТ и ТН и релейной аппаратуры, принимается равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным конкретного устройства РЗ.

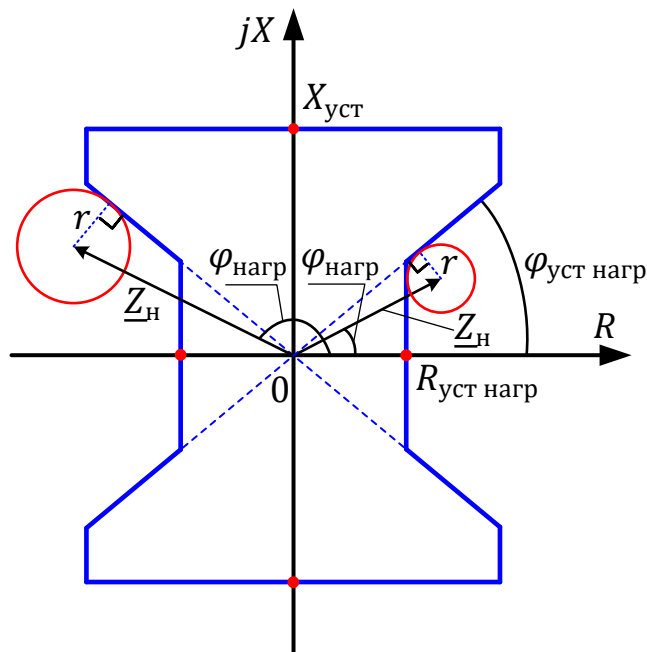


Рисунок 3.24. Отстройка от нагрузочных режимов

Отстройку характеристики срабатывания ДО от замеров в нагрузочных режимах удобно проводить графическим способом (рисунок 3.24). Отстройка

осуществляется от зоны неопределенности вокруг конца вектора $\underline{Z}_{\text{нагр}}$ в виде окружности, радиус которой определяется по выражению:

$$r_{\text{окр}} = |\underline{Z}_{\text{нагр}}| \left(1 - \frac{1}{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}}} \right), \quad (3.58)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата измерительного ДО, принимается по техническим данным конкретного устройства РЗ.

На рисунках 3.25–3.30 представлены примеры характеристик срабатывания ДО и способы отстройки от области нагрузочных режимов.

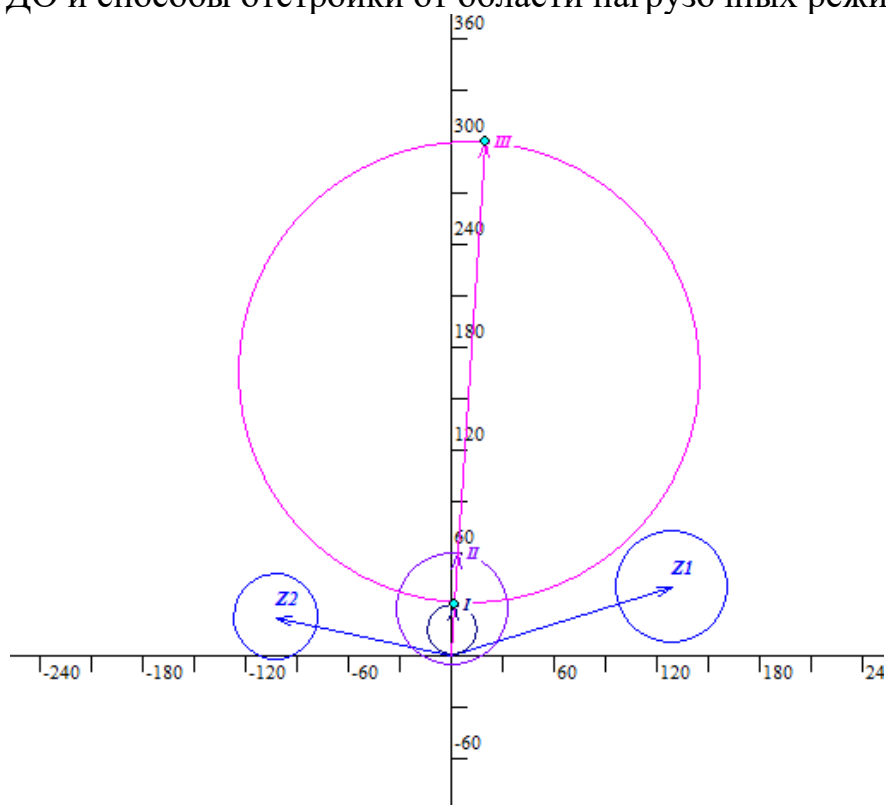


Рисунок 3.25. Отстройка смещением круговой характеристики в первый квадрант

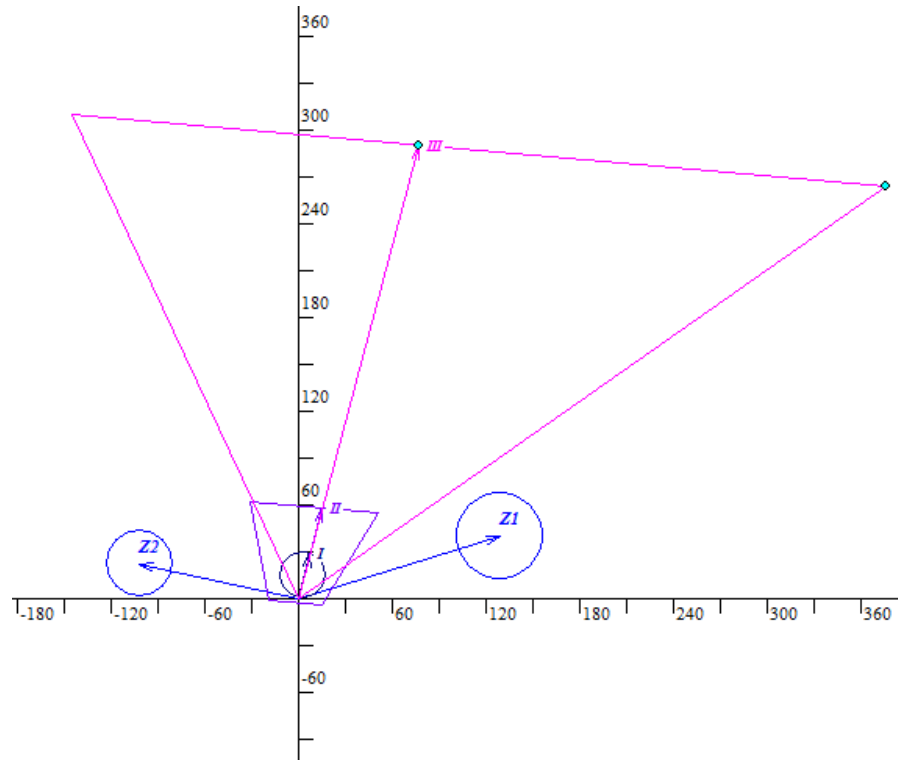


Рисунок 3.26. Отстройка углом наклона правой боковой стороны характеристики

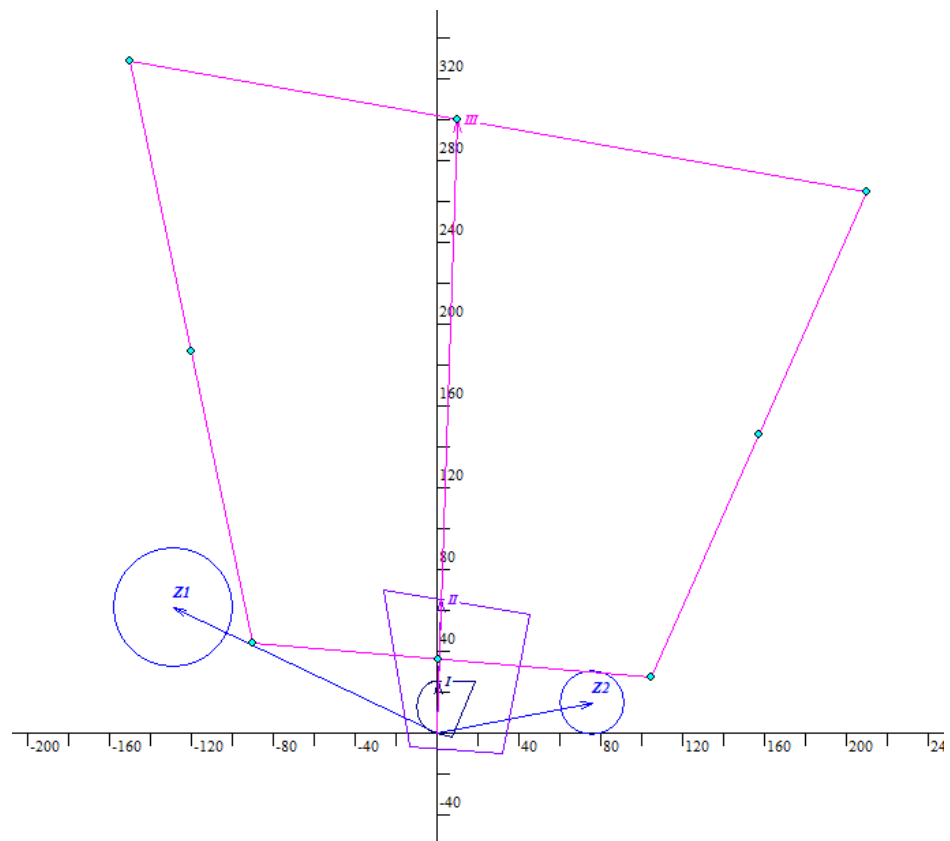


Рисунок 3.27. Отстройка смещением характеристики в первый квадрант и изменением координат характеристических точек

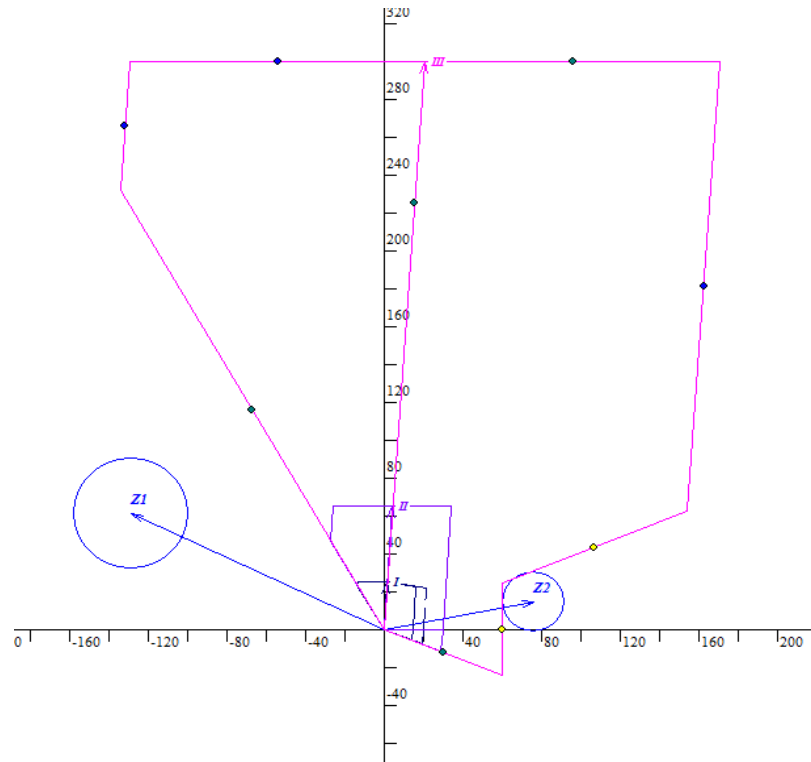


Рисунок 3.28. Отстройка с применением выреза нагрузки

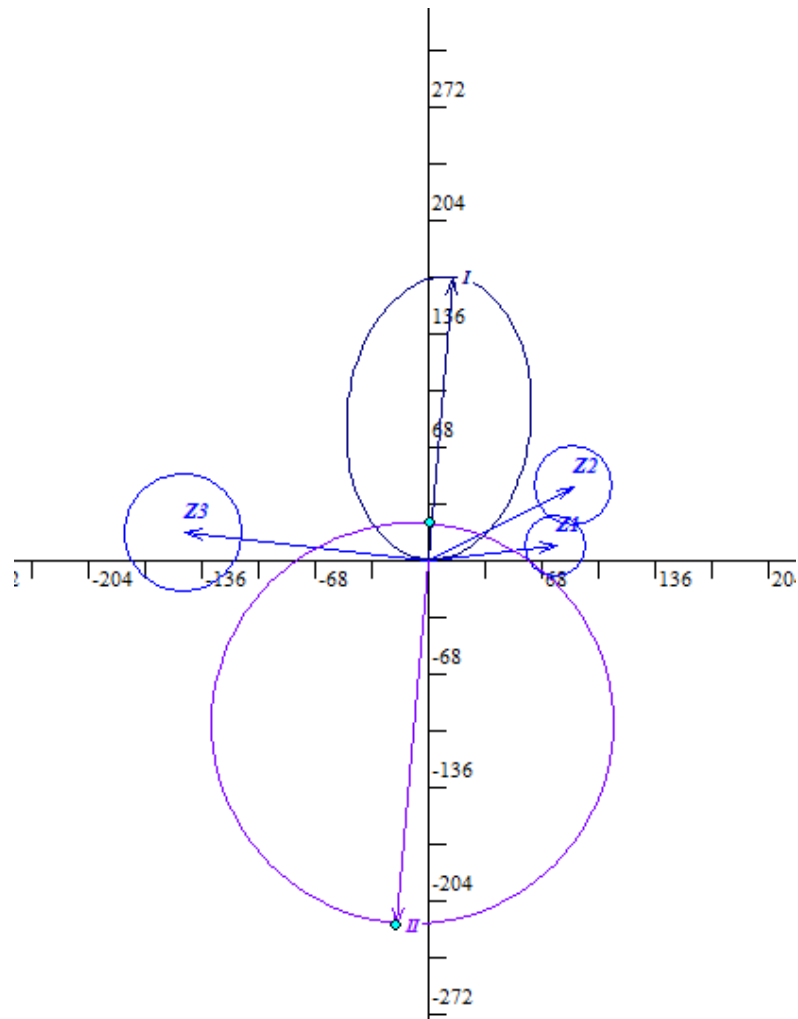


Рисунок 3.29. Отстройка с применением характеристики в виде эллипса

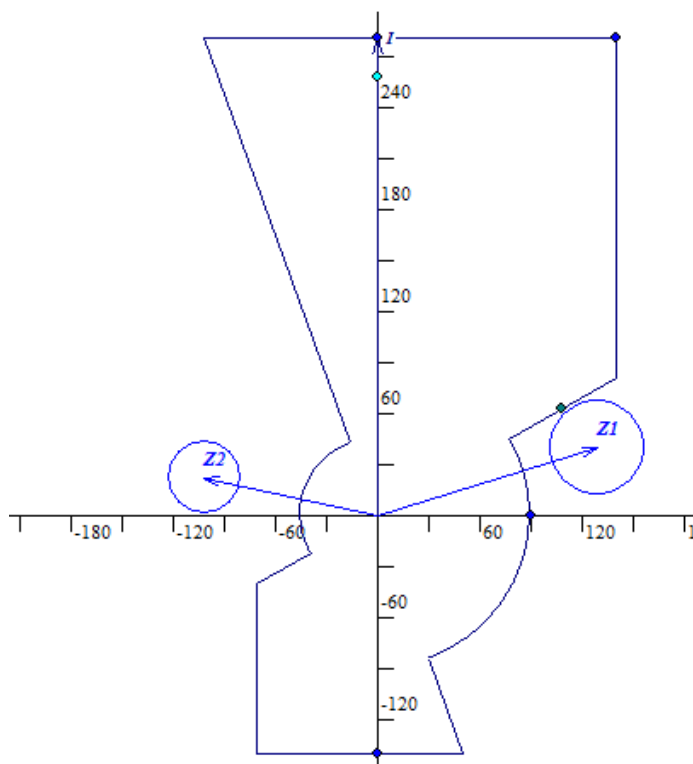


Рисунок 3.30. Отстройка с применением выреза нагрузки

Технические данные ДЗ ЛЭП на электромеханической и микроэлектронной элементной базе зачастую ограничивают возможность отстройки характеристик срабатывания от режимов нагрузки, а именно:

- зависимость величины смещения характеристик в первый-второй или третий-четвертый квадранты комплексной плоскости от уставки сопротивления срабатывания ступени (ДЗ-503, ПЗ-5, ПЭ-2105, ЭПЗ-1636, ПДЭ-2001, ШДЭ-2801);
- требование надежного зацепления круговых и полигональных характеристик ступеней ДЗ при наличии смещения в первый квадрант (ДЗ-503, ПЗ-5, ПЭ-2105, ПДЭ-2001);
- дискретные диапазоны регулирования величины смещения характеристик, координат характеристических точек полигональных характеристик (ПДЭ-2001, ШДЭ-2801), соотношения осей эллипса (ПЗ-5, ПЭ-2105) и др.

Устройства РЗ ЛЭП, в которых параметры настройки ДЗ вынужденно не могут обеспечить несрабатывание в некоторых нагрузочных режимах работы энергосистем, необходимо в соответствии с Методическими указаниями [9] внести в перечень вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

Применительно к линиям, оснащенным устройствами ОАПВ, требуется отстройка измерительных ДО ступеней ДЗ, действие которых разрешается в цикле ОАПВ, от замеров в неполнофазных нагрузочных режимах.

В рамках настоящих Методических указаний вопросы фазной селективности ДЗ ЛЭП и расчетные условия выбора параметров настройки

дистанционных фазоселективных органов устройств РЗ ЛЭП не рассматриваются.

3.5. Перечень исходных данных и рекомендуемая последовательность расчета

3.5.1. Перечень исходных данных, необходимых для расчета и выбора параметров настройки ДЗ ЛЭП.

3.5.1.1. Перечень ремонтных схем прилегающей сети, которые требуется учитывать в расчете.

3.5.1.2. Параметры максимальных нагрузочных режимов для отстройки характеристик срабатывания ДЗ.

3.5.1.3. Параметры нагрузочных режимов в нормальной схеме и в одиночных ремонтных схемах прилегающей сети для расчета параметров настройки ДЗ в режимах КЗ с учетом доаварийных нагрузочных режимов.

3.5.1.4. Параметры асинхронных режимов для выбора уставок БК.

3.5.1.5. Допустимое время отключения КЗ по условию обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования для расчета выдержки времени оперативно ускоряемых ступеней ДЗ и первых ступеней ДЗ, выполняемых с выдержкой времени.

3.5.1.6. Схемы подключения ДЗ по цепям переменного тока и напряжения.

3.5.1.7. Технические данные ТТ и ТН.

3.5.2. Рекомендуемая последовательность расчета ДЗ ЛЭП.

3.5.2.1. Расчет коэффициента (коэффициентов) компенсации тока нулевой последовательности для ступеней ДЗ от КЗ на землю.

3.5.2.2. Расчет сопротивлений дуги при междуфазных КЗ и переходных сопротивлениях при КЗ на землю.

3.5.2.3. Расчет параметров настройки ДЗ по всем расчетным условиям с учетом конфигурации прилегающей сети.

3.5.2.4. Расчет параметров настройки ступеней ДЗ, используемых для реализации АУ, ОУ, ТУ.

3.5.2.5. Расчет параметров настройки дополнительных ступеней ДЗ (при необходимости).

3.5.2.6. Расчет параметров настройки пусковых органов ДЗ.

3.5.2.7. Отстройка характеристик ДО от максимальных нагрузочных режимов работы энергосистем.

3.5.2.8. Проверка чувствительности по току точной работы.

3.5.2.9. Расчет уставок токового контроля (при необходимости).

3.5.2.10. Расчет параметров настройки устройства БК.

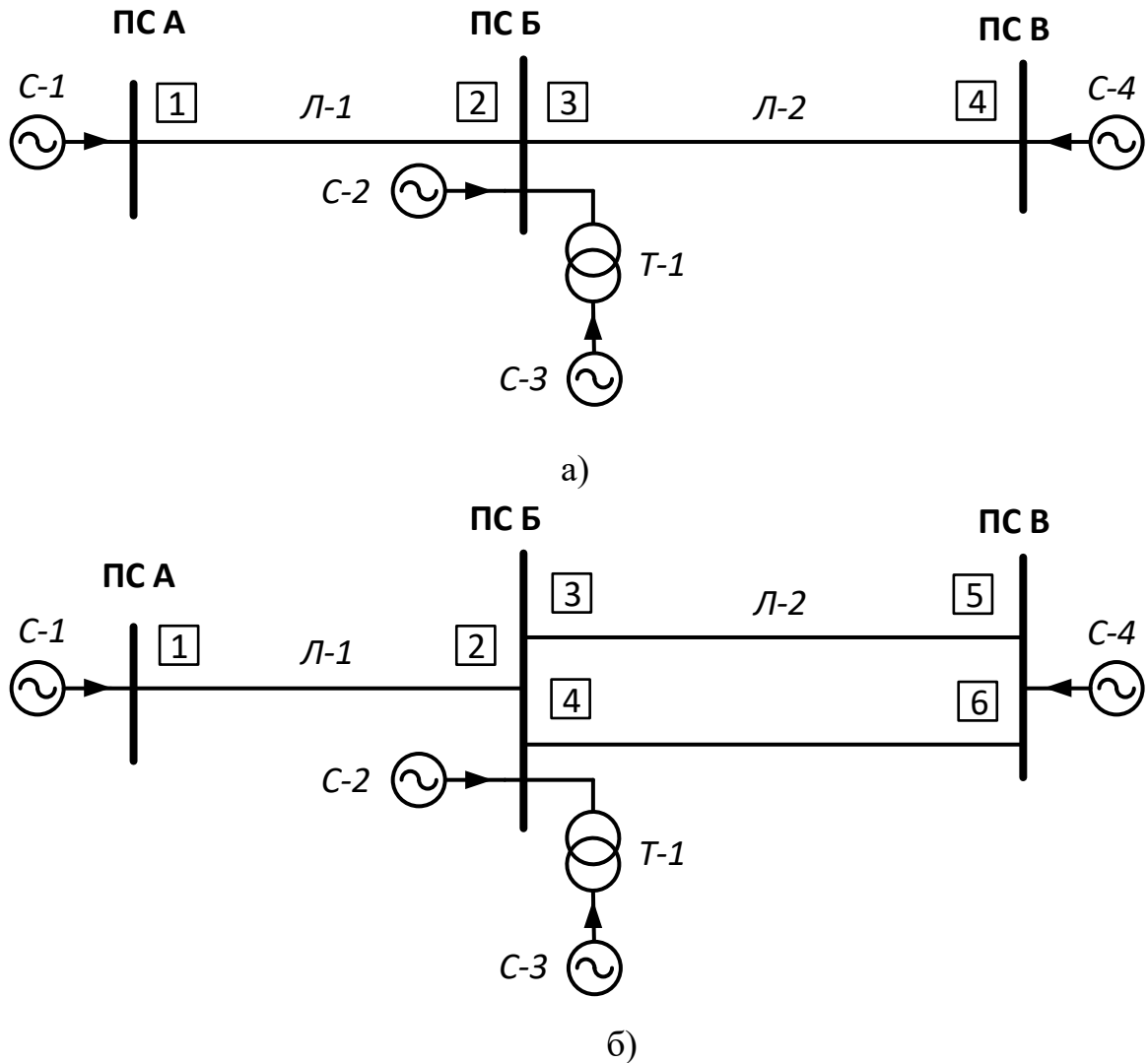
3.5.2.11. Формирование перечня допущенной неправильной работы устройств РЗ, перечня вынужденных отступлений от требований обеспечения дальнего резервирования функций РЗ ЛЭП и оборудования, таблиц минимального количества находящихся в работе генераторов тепловых

станций по условиям функционирования устройств РЗ в части ДЗ ЛЭП (при необходимости).

4. Расчет и выбор параметров настройки ДЗ одиночной ЛЭП

4.1. Типовые схемы участков сети

Указания по расчету и выбору параметров настройки трехступенчатой ДЗ одиночной ЛЭП напряжением 110 кВ и выше с двусторонним питанием приводятся для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 4.1).



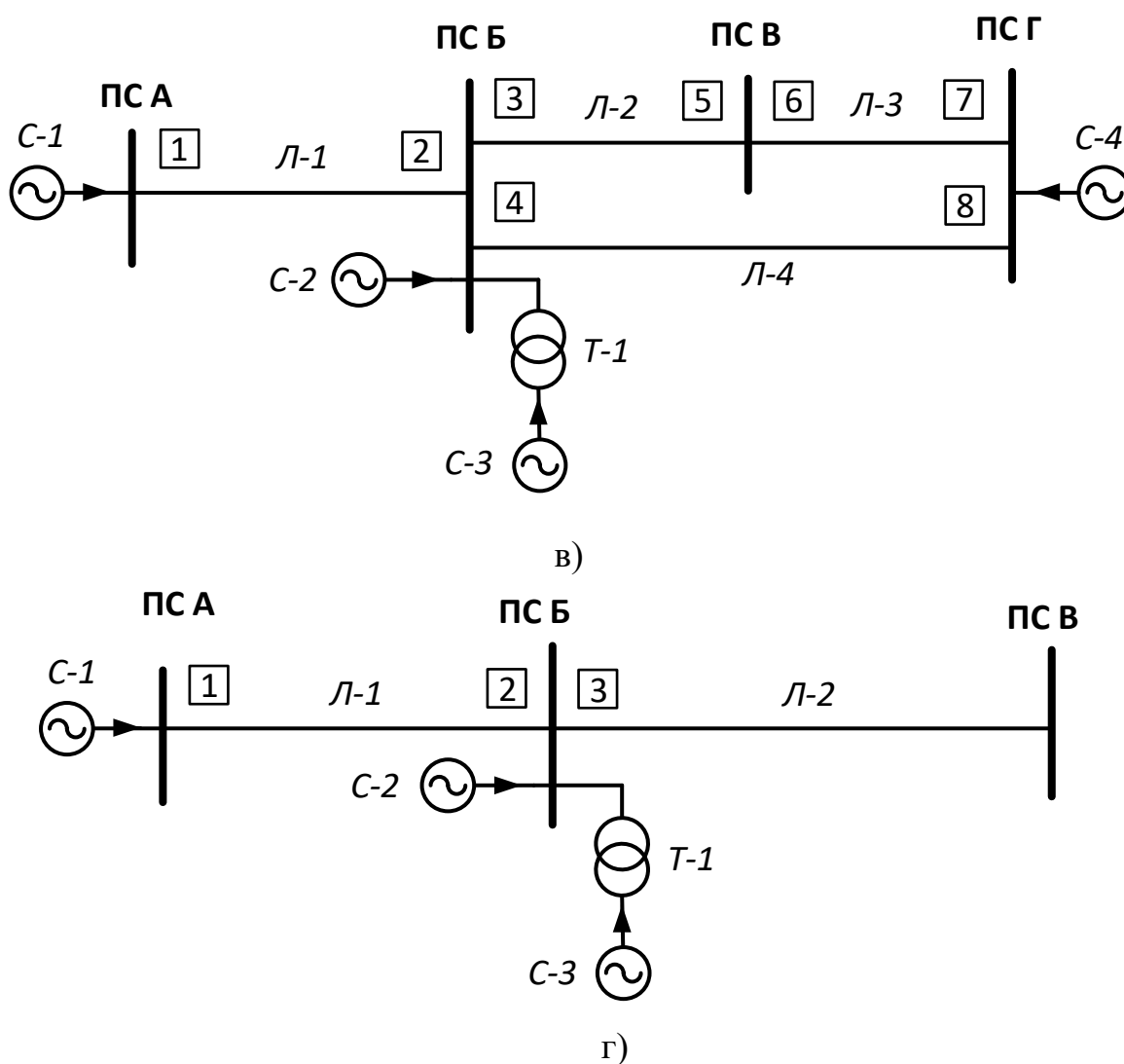


Рисунок 4.1. Примеры типовых схем участков сети с одиночными ЛЭП с двусторонним питанием

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

4.2. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

4.2.1. Общие указания по расчету

Расчет и выбор параметров настройки трехступенчатой ДЗ 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 при междуфазных КЗ и однофазных КЗ на землю (при наличии ДО от КЗ на землю согласно техническим данным защиты);
- вторая ступень с полным охватом защищаемой ЛЭП действует с выдержкой времени при междуфазных КЗ;

– третья ступень действует с выдержкой времени при междуфазных КЗ и обеспечивает резервирование защит своей ЛЭП и защит смежных сетевых элементов.

Расчет дистанционных замеров для выбора сопротивлений срабатывания ступеней от междуфазных КЗ выполняется традиционно с использованием напряжений между поврежденными фазами и разности токов поврежденных фаз в месте установки защиты.

Расчет дистанционных замеров для выбора сопротивлений срабатывания ступеней от КЗ на землю выполняется по выражениям, приведенным производителем конкретного устройства РЗ, с использованием напряжений и токов в месте установки защиты.

При выполнении расчетов необходимо учитывать указания раздела 3, а также материалы приложения А, где приведены общие принципы дистанционных измерений, перечислены факторы, влияющие на дистанционные замеры и зону охвата ступеней ДЗ при всех видах КЗ, описаны способы компенсации тока нулевой последовательности при КЗ на землю и даны рекомендации по выбору уставок коэффициентов компенсации.

Для обеспечения селективности и чувствительности параметров настройки ДЗ ЛЭП требуется учитывать конфигурацию смежной электрической сети, возможные ремонтные схемы, замыкание нормально разомкнутых транзитов и т.д.

Для ЛЭП, отходящих от шин тепловых электростанций, необходимо дополнительно учитывать минимальный состав генерирующего оборудования.

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

4.2.2. Перечень расчетных условий для расчета и выбора параметров настройки ДЗ

В таблице 4.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки трехступенчатой ДЗ 1 ЛЭП Л-1 с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 4.1, а–г).

Таблица 4.1

Перечень расчетных условий для выбора параметров настройки ДЗ

№ пункта	Степень защиты	Схема	Расчетные условия	
1.1	1 степень (степень без выдержки времени)	а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах ПС Б, примыкающей к противоположному концу ЛЭП	
1.2			Проверка зоны охвата ЛЭП при металлических КЗ	
1.3			Обеспечение чувствительности при КЗ через переходное сопротивление в начале ЛЭП Л-1 и в конце зоны охвата 1 степени (для защит с полигональной характеристикой срабатывания)	
2.1	2 степень	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ в конце ЛЭП Л-1	
2.2			а, в, г	Согласование с 1 (2) степенью защиты 3
			в	Согласование с 1 (2) степенью защиты 4
2.3			б	Отстройка от КЗ на шинах ПС В
2.4			в	Отстройка от КЗ на шинах ПС Г
2.5			а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б
3.1	3 степень	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ в конце ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования	
3.2			а, г	Согласование с 2 (3) степенью защиты 3
3.3			б, в	Согласование с 2 (3) степенью защиты 3 и защиты 4
3.4			в	Согласование с 2 (3) степенью защиты 6
3.5			а, б, в, г	Согласование с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б
3.6			а, б, в, г	Отстройка от нагрузочных режимов работы энергосистем

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

4.3. Расчет параметров настройки ДЗ с круговыми характеристиками

4.3.1. Перечень параметров настройки ДЗ ЛЭП с круговыми характеристиками срабатывания, которые требуется определить в процессе расчета, приведен в таблице 4.2.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания первой ступени ДЗ приводятся с учетом того, что ступень может иметь общее сопротивление срабатывания ДО от всех видов КЗ ($Z_{уст}^I$) или может иметь независимое регулирование сопротивления срабатывания ДО от междуфазных КЗ ($Z_{устф\phi}^I$) и ДО от КЗ на землю ($Z_{устфз}^I$).

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания вторых и третьих ступеней ДЗ приводятся для ДО от междуфазных КЗ.

Таблица 4.2

Перечень параметров ДЗ с круговыми характеристиками

№ п/п	Ступень защиты	Обозначение параметра	Наименование параметра
1	1 ступень	$Z_{уст1}^I$	Общее сопротивление срабатывания ДО первой ступени от всех видов КЗ
		$Z_{уст1ф\phi}^I$	Сопротивление срабатывания ДО первой ступени от междуфазных КЗ
		$Z_{уст1фз}^I$	Сопротивление срабатывания ДО первой ступени от КЗ на землю
2	2 ступень	$Z_{уст1ф\phi}^{II}$	Сопротивление срабатывания ДО второй ступени от междуфазных КЗ
3	3 ступень	$Z_{уст1ф\phi}^{III}$	Сопротивление срабатывания ДО третьей ступени от междуфазных КЗ

4.3.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ДЗ от всех видов КЗ

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ДЗ – обеспечение селективного отключения всех видов КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

4.3.2.1. Первая ступень защиты 1 для схем (рисунок 4.1, а–г) выполняется без выдержки времени.

4.3.2.2. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б (пункт 1.1, таблица 4.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1}^I \leq k_{отс} \cdot \frac{|Z_p|}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}, \quad (4.1)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности круговой характеристики;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.3.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и при междуфазных КЗ через переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом доаварийном перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с

учетом доаварийных перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1фз}^I$ рассматриваются результаты расчета при однофазных КЗ на землю (при принятых в расчете уставках коэффициентов компенсации тока нулевой последовательности) при металлическом КЗ и при КЗ через переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке доаварийном мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом доаварийных перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

Для ЛЭП со взаимоиндукцией следует учитывать ремонтные схемы сети, в которых выбирались уставки коэффициентов компенсации тока нулевой последовательности.

Если в защите 1, согласно техническим данным, используется общая уставка $Z_{уст1}^I$, требуется совместное рассмотрение результатов расчета по условию отстройки при междуфазных КЗ и однофазных КЗ на землю.

При выборе сопротивления срабатывания круговой характеристики с углом максимальной чувствительности, отличным от характеристического угла защищаемой ЛЭП ($\varphi_{мч} \neq \varphi_{л}$), учет доаварийных перетоков мощности по защищаемой ЛЭП при отстройке от внешних КЗ через переходные сопротивления обязателен.

Указания по расчету переходных сопротивлений, учету доаварийной нагрузки при расчетах аварийных режимов для выбора параметров настройки ДЗ приведены в приложениях А, Г.

Выбор сопротивления срабатывания для всей совокупности заданных расчетных условий рекомендуется производить графическим способом.

На рисунке 4.2 приведен пример отстройки круговой характеристики от замеров при металлическом междуфазном КЗ (замер 1) и при КЗ через переходное сопротивление при прямом перетоке мощности по ЛЭП (замер 2).

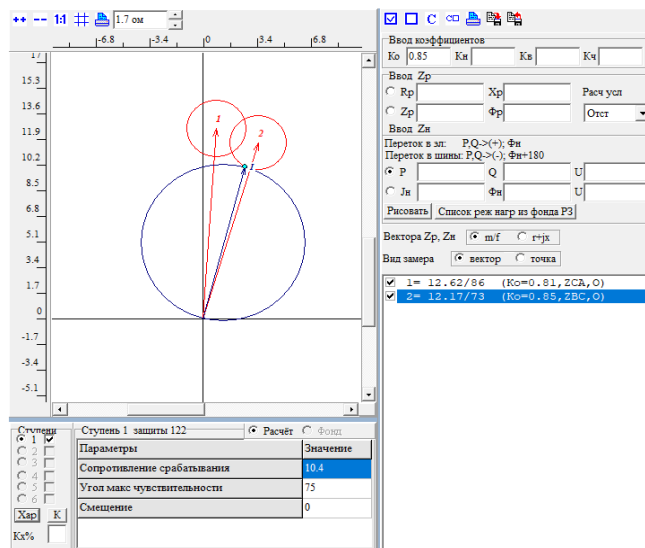


Рисунок 4.2. Графический выбор параметров настройки ступени ДЗ с круговой характеристикой

4.3.2.3. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию обеспечения перекрытия зон первых ступеней ДЗ с двух сторон защищаемой ЛЭП (пункт 1.2, таблица 4.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1}^I \geq k_{охв} \cdot |Z_p|, \quad (4.2)$$

где $k_{охв}$ – коэффициент охвата, рекомендуемое значение 0,65-0,75;

Z_p – расчетное сопротивление, определяемое при КЗ в конце защищаемой ЛЭП.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1фз}^I$ рассматриваются результаты расчета металлических однофазных КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети при принятых в расчете коэффициентах компенсации тока нулевой последовательности. В случае, если при однофазных КЗ на землю обеспечение охвата согласно выражению (4.2) не выполняется для защиты 1, рекомендуется по возможности обеспечить охват Л-1 первой ступенью защиты 2 с противоположной стороны ЛЭП в той же расчетной точке КЗ при тех же расчетных условиях.

Если в защите 1 используется общая уставка $Z_{уст1}^I$, требуется совместное рассмотрение результатов расчета по условию охвата при междуфазных КЗ и КЗ на землю.

Если расчетное сопротивление срабатывания первой ступени по условию пункта 4.3.2.2 не удовлетворяет условию пункта 4.3.2.3, рекомендуется обеспечить требуемый охват ЛЭП при металлических КЗ, а для отстройки от внешних КЗ через переходные сопротивления использовать изменение вида круговой характеристики (эллипс, линза) или угла максимальной чувствительности при наличии технической возможности регулирования параметров.

4.3.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Требования, предъявляемые ко второй ступени ДЗ – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие второй ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

4.3.3.1. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по обеспечению чувствительности к КЗ в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 4.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \geq k_{чZ} \cdot \frac{|Z_p|}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}, \quad (4.3)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$k_{чZ}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.5.4.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{II}$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети с учетом доаварийных перетоков мощности по ЛЭП Л-1, характерных для рассматриваемых схем.

Проверку чувствительности удобно выполнять графическим способом для всей совокупности заданных расчетных условий (рисунок 4.3), коэффициент чувствительности при графическом выборе принимается согласно пункту 3.3.5.4.

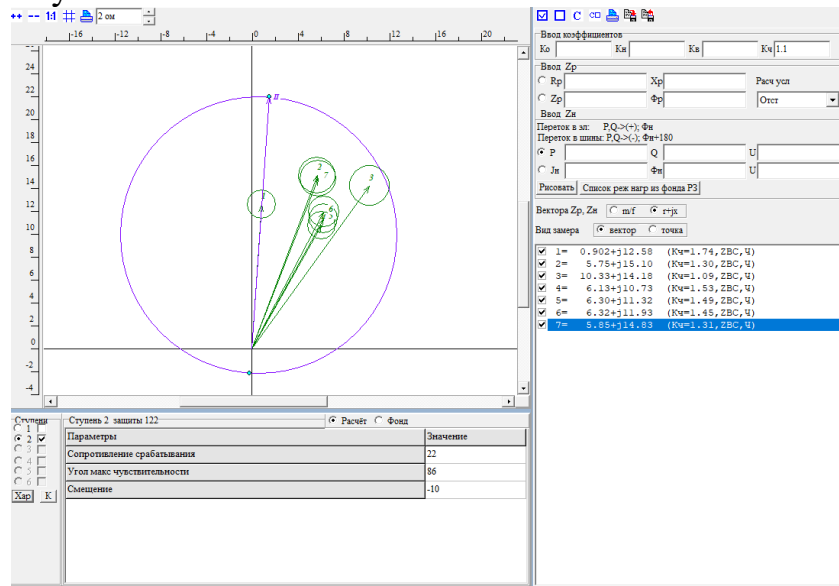


Рисунок 4.3. Выбор круговой характеристики второй ступени ДЗ по чувствительности к междуфазным КЗ в конце ЛЭП

4.3.3.2. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по условию согласования с дистанционными и/или резервными токовыми защитами смежных присоединений от междуфазных КЗ требуется проводить методом поиска конца зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование с учетом возможного сокращения ее зоны, и отстройки от полученного расчетного замера по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot |Z_p| \cdot d, \quad (4.4)$$

где $|Z_p|$ – модуль расчетного сопротивления;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пунктам 3.3.2.7, 3.3.2.8 и/или пунктам 3.3.4.1, 3.3.4.2;

d – параметр, который учитывает различие угла $\varphi_{мч}$ характеристики второй ступени защиты 1 и угла \underline{Z}_p , определяется по выражению:

$$d = \frac{1}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)} \quad (4.5)$$

Расчетные выражения по условиям согласования или отстройки с использованием параметров схемы замещения элементов электрической сети приводятся далее для пояснения принципов расчета и справедливы для случая однородных ЛЭП без емкостной проводимости при равных углах максимальной чувствительности круговых характеристик согласуемых защит.

При согласовании ДЗ с разнотипными характеристиками срабатывания необходимо учитывать пункт 3.3.2.9, при согласовании ступеней ДЗ с резервными токовыми защитами от междуфазных КЗ необходимо учитывать пункты 3.3.4.1 и 3.3.4.2.

Расчет сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ с выдержками времени по условиям отстройки или согласования производится при металлических КЗ без учета изменения модулей и углов ЭДС генераторов в процессе аварийного режима.

4.3.3.3. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а», «в», «г») по согласованию с первой ступенью защиты 3(4) смежных ЛЭП (пункт 2.2, таблица 4.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| \underline{Z}_{л-1} + \frac{1 - \alpha}{k_T} \cdot Z_{уст3(4)}^I \right| \cdot d, \quad (4.6)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.7;
 α – коэффициент, учитывающий сокращение зоны ступени ДЗ, с которой производится согласование, принимается согласно пункту 3.3.1;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в защите 1 к первичному току в защите, с которой проводится согласование;

$Z_{уст3}^I$ – сопротивление срабатывания первой ступени защиты 3(4) от междуфазных КЗ;

d – определяется согласно (4.5) в случае круговой характеристики.

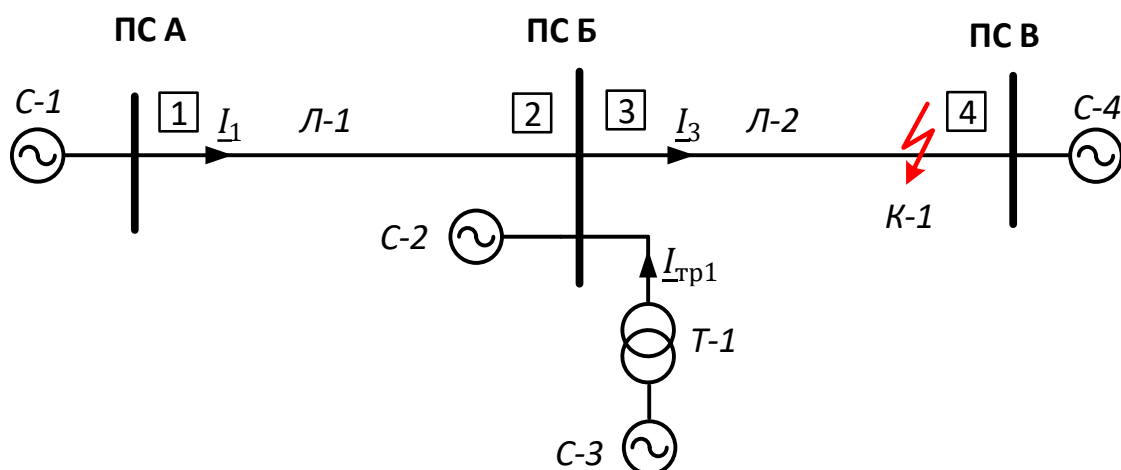


Рисунок 4.4. Определение коэффициента токораспределения при КЗ в точке К-1

Коэффициент токораспределения при согласовании защиты 1 с защитой 3 (К-1, рисунок 4.4) определяется по выражению:

$$k_T = \frac{I_1}{I_3} \quad (4.7)$$

Расчетным является значение коэффициента k_T в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наименьшее сопротивление срабатывания согласно выражению (4.6).

Согласование с первой ступенью защиты 3(4) смежных ЛЭП допускается проводить в режиме каскадного отключения КЗ защитой противоположного конца ЛЭП со стороны ПС В (ПС Г), если согласование с учетом величины k_T до начала каскадного отключения из-за наличия влияния обходных связей приводит к значительному заглублению сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1. В этом случае должен быть учтен коэффициент возврата ДО второй ступени защиты 1, поскольку он может сработать до начала каскадного отключения.

Согласование в каскаде производится по выражению:

$$Z_{уст1\phi}^{II} \leq \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot \left| Z_{Л-1} + \frac{1-\alpha}{k_T} \cdot Z_{уст3(4)}^I \right| \cdot d, \quad (4.8)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.7; k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты;

k_T – коэффициент токораспределения, определяется согласно (4.7).

Необходимо отметить, что в кольцевых сетях сложной конфигурации при согласовании ДЗ также требуется учитывать возможность каскадного действия защит и согласование в каскаде может стать определяющим условием.

Если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1, выбранное по согласованию с первой ступенью защиты 3(4), не удовлетворяет требованию чувствительности пункта 4.3.3.1, согласование следует производить со второй ступенью защиты 3(4).

Для схемы (рисунок 4.1 «в») при выполнении автоматизированного расчета сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по согласованию со второй ступенью защиты 3 ЛЭП Л-2 необходимо использовать метод поиска конца зоны действия ступени при движении точки КЗ как по Л-2, так и по Л-3.

4.3.3.4. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а», «в», «г») по согласованию с резервной токовой защитой от междуфазных КЗ защиты 3(4) при выполнении последней с помощью токовой отсечки, отсечки по напряжению или комбинированной отсечки по току и напряжению (пункт 2.2, таблица 4.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{Л-1} + \frac{Z_{расч}}{k_T} \right| \cdot d, \quad (4.9)$$

где $Z_{расч}$ – сопротивление участка смежной ЛЭП, надежно (с коэффициентом надежности $k_n=1,1$) охватываемой токовой защитой, с которой производится согласование при металлическом междуфазном КЗ;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в защите 1 к току в защите, с которой проводится согласование;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.4.1;

d – определяется согласно (4.5) в случае круговой характеристики.

Общие указания по согласованию ДЗ ЛЭП с резервными токовыми защитами смежных сетевых элементов приведены в пункте 3.3.4.

4.3.3.5. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схемы (рисунок 4.1 «б») по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах ПС В (пункт 2.3, таблица 4.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{Л-1} + \frac{1}{k_T} \cdot 0,5 \cdot Z_{Л-2} \right| \cdot d, \quad (4.10)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.6;

k_T – коэффициент токораспределения;

d – определяется согласно (4.5) в случае круговой характеристики.

Расчетное выражение (4.10) приведено для случая равенства сопротивлений прямой последовательности параллельных ЛЭП Л-2.

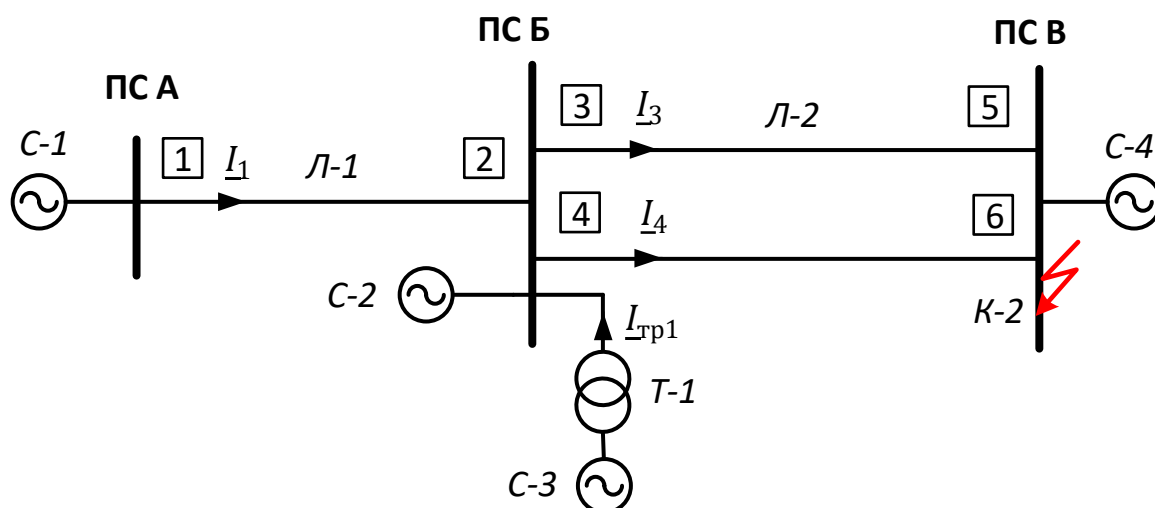


Рисунок 4.5. Определение коэффициента токораспределения при КЗ в точке К-2

Коэффициент токораспределения при отстройке от КЗ на шинах ПС В (К-2, рисунок 4.5) определяется при включенных параллельных ЛЭП Л-2 по выражению:

$$k_T = \frac{I_I}{I_3 + I_4} \quad (4.11)$$

Если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1, выбранное по условию отстройки, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности пункта 4.3.3.1, в этом случае выбор сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 выполняется по согласованию со второй ступенью защиты 3(4) ЛЭП Л-2 аналогично выражению (4.6).

Если вторая ступень защиты 3(4) ЛЭП Л-2 имеет большую выдержку времени и согласование с ней приводит к значительному увеличению времени действия второй ступени защиты 1, в этом случае сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1 необходимо принять по условию обеспечения чувствительности к КЗ в конце защищаемой ЛЭП и обеспечить:

1) согласование с первыми ступенями защит 3 и 4 при каскадном отключении повреждения на ЛЭП Л-2 со стороны ПС В при наличии в работе быстродействующей защиты шин ПС В и защит ЛЭП Л-2, обеспечивающих каскадное отключение КЗ без выдержки времени со стороны ПС В;

2) при наличии СВ (ШСВ) на ПС В отстройку от КЗ на шинах ПС В после отключения СВ (ШСВ) при условии ввода в работу делительной защиты, действующей на отключение СВ (ШСВ) при выводе из работы быстродействующей защиты шин на ПС В;

3) согласование с резервными защитами от междуфазных КЗ ЛЭП, отходящих от ПС В.

При согласовании в режиме каскада должен быть учтен коэффициент возврата ДО второй ступени защиты 1, поскольку он может сработать до начала каскадного отключения. Согласование производится по выражению (4.8) с учетом коэффициента токораспределения, равного

отношению тока в защите 1 к току в защите, с которой проводится согласование в каскаде.

Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС В с учетом отключения СВ (ШСВ) производится по выражению:

$$Z_{уст1фф}^{II} \leq \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot \left| \underline{Z}_{Л-1} + \frac{\underline{Z}_{Л-2}}{k_T} \right| \cdot d, \quad (4.12)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.6;
 k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты;

k_T – коэффициент токораспределения, равен отношению тока, протекающего в месте установки защиты 1, к току в месте установки защиты, с которой производится согласование в режиме каскада;

d – определяется согласно (4.5) в случае круговой характеристики.

4.3.3.6. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схемы (рисунок 4.1 «в»)) по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах ПС Г (пункт 2.4, таблица 4.1), производится по выражению:

$$Z_{уст1фф}^{II} \leq k_{отс} \cdot |\underline{Z}_p| \cdot d, \quad (4.13)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.6;
 d – определяется согласно (4.5) в случае круговой характеристики.

Расчетное сопротивление \underline{Z}_p определяется по выражению:

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_{Л-1} + \frac{I_3 + I_4}{I_1} \cdot \frac{(\underline{Z}_{Л-2} + \underline{Z}_{Л-3}) \cdot \underline{Z}_{Л-4}}{\underline{Z}_{Л-2} + \underline{Z}_{Л-3} + \underline{Z}_{Л-4}}, \quad (4.14)$$

где I_1 , I_3 , I_4 – значения токов через защиты 1, 3, 4 соответственно.

Если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1, выбранное по условию отстройки, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 4.3.3.1), выбор сопротивления срабатывания выполняется по согласованию со второй ступенью защиты 3(4) смежных ЛЭП, дополнительно необходимо обеспечить согласование второй ступени защиты 1 с первой или второй ступенью защиты 6.

Если вторая ступень защиты 4 или защиты 6 имеет большую выдержку времени и согласование с ней приводит к значительному увеличению времени действия второй ступени защиты 1, в этом случае сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1 необходимо принять по условию обеспечения чувствительности к КЗ в конце защищаемой ЛЭП и обеспечить:

1) согласование с первой ступенью защит 6(4) при каскадном отключении повреждения на ЛЭП Л-3(4) со стороны ПС Г при наличии в работе быстродействующей защиты шин ПС Г и защит ЛЭП Л-3(4), обеспечивающих каскадное отключение КЗ без выдержки времени со стороны ПС Г;

2) при наличии СВ (ШСВ) на ПС Г отстройку от КЗ на шинах ПС Г после отключения СВ (ШСВ) при условии ввода в работу делительной защиты, действующей на отключение СВ (ШСВ) при выводе из работы быстродействующей защиты шин на ПС Г;

3) согласование с резервными защитами от междуфазных КЗ ЛЭП, отходящих от ПС Г.

При согласовании в режиме каскада должен быть учтен коэффициент возврата ДО второй ступени защиты 1, поскольку он может сработать до начала каскадного отключения.

Согласование с первой или второй ступенью защиты 6 в режиме без каскада производится по выражению:

$$Z_{уст1фф}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{Л-1} + \frac{Z_{Л-2}}{k_T} + \frac{1-\alpha}{k_T} \cdot Z_{уст6}^{I(II)} \right| \cdot d \quad (4.15)$$

Согласование с первой ступенью защиты 6 при каскадном отключении повреждения на ЛЭП Л-3 производится по выражению:

$$Z_{уст1фф}^{II} \leq \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot \left| Z_{Л-1} + \frac{Z_{Л-2}}{k_T} + \frac{1-\alpha}{k_T} \cdot Z_{уст6}^I \right| \cdot d \quad (4.16)$$

4.3.3.7. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б (пункт 2.5, таблица 4.1), производится по выражению:

$$Z_{уст1фф}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{Л-1} + \frac{Z_{Т-1}}{k_T} \right| \cdot d, \quad (4.17)$$

где $Z_{Т-1}$ – эквивалентное сопротивление параллельно работающих Т (АТ) Т-1;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в защите 1 к первичному току в рассматриваемом участке;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.5;

d – определяется согласно (4.5) в случае круговой характеристики.

При наличии на Т (АТ) регулирования напряжения под нагрузкой при расчете $Z_{уст1фф}^{II}$ следует учитывать минимальные возможные сопротивления $Z_{Т-1}$, рассчитанные при крайних или фактических положениях РПН.

В случае отстройки от КЗ на стороне СН (НН) трехобмоточных Т и АТ с многосторонним питанием необходимо рассматривать режим отключения подпитки со стороны НН (СН). В случае отстройки от КЗ на стороне ВН (НН) трехобмоточных Т и АТ с многосторонним питанием необходимо рассматривать режим отключения подпитки со стороны НН (ВН).

Рассматриваются результаты расчета сопротивлений при металлических междуфазных КЗ в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке мощности по ЛЭП без учета изменения модулей и углов ЭДС генераторов в процессе аварийного режима.

Если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1, выбранное по условию отстройки, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 4.3.3.1), расчет сопротивления срабатывания производится по согласованию с резервными защитами Т (АТ) ПС Б от междуфазных КЗ.

Если согласование с резервными защитами Т (АТ) ПС Б приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия второй ступени защиты 1, расчет сопротивления срабатывания производится по согласованию с резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны смежного напряжения ПС Б.

Согласование второй ступени защиты 1 с резервными токовыми защитами Т (АТ) от междуфазных КЗ или резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны смежного напряжения ПС Б производится методом поиска конца зоны действия ступени защиты, с которой проводится согласование, и отстройкой от полученного замера \underline{Z}_p по выражению (4.4).

Согласование второй ступени защиты 1 с ДЗ Т (АТ) производится с учетом схем подключения последней к ТТ и ТН, а также направленности отдельных ступеней.

На рисунке 4.6 приведен один из вариантов схемы подключения ДЗ АТ ПС Б к ТТ и ТН, установленным на стороне СН, и расчетная схема замещения.

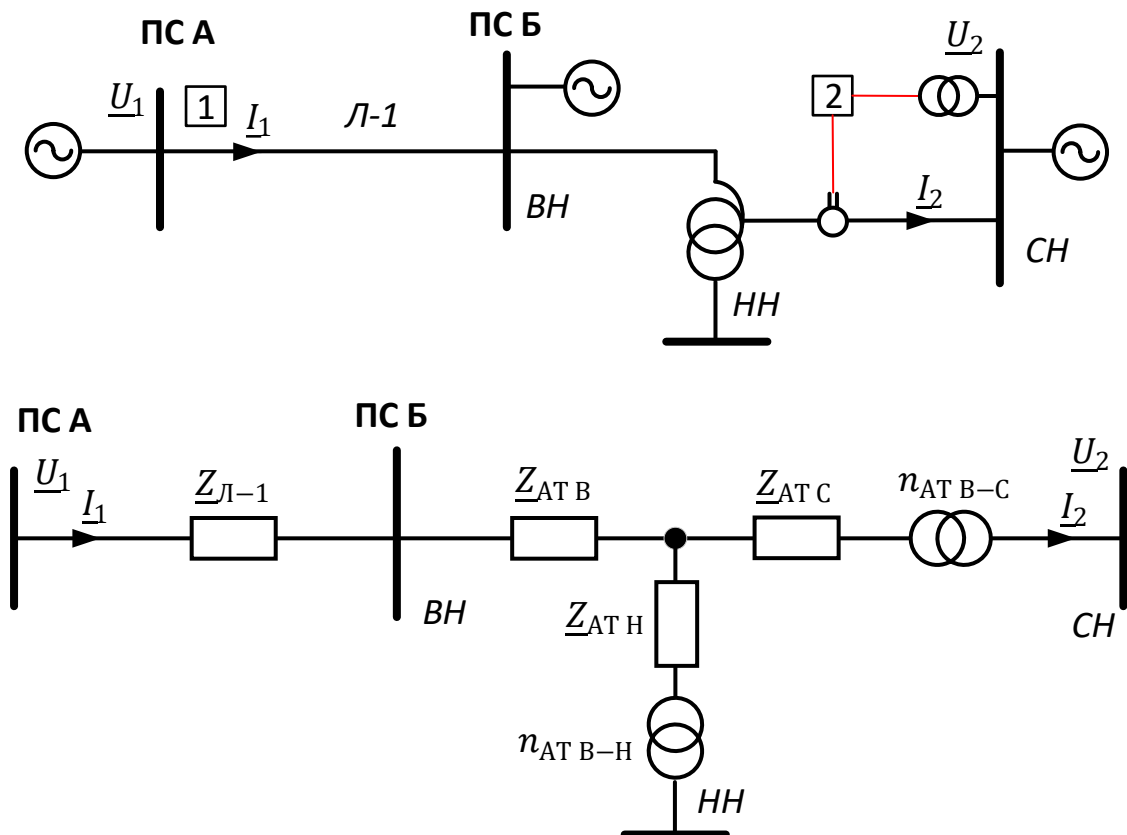


Рисунок 4.6. Схема подключения ДЗ АТ к ТТ и ТН

Для данной схемы расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по согласованию со ступенью ДЗ АТ, направленной в шины СН, производится по выражению:

$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left[Z_{л-1} + \frac{1}{k_T} (Z_{АТ В} + Z_{АТ С}) + \frac{n_{АТ В-С}^2 (1 - \alpha)}{k_T} Z_{уст В} \right] \cdot d, \quad (4.18)$$

где $n_{АТ В-С}$ – коэффициент трансформации АТ;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в защите 1 к первичному току в защите, с которой проводится согласование;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.8;

d – определяется согласно (4.5) в случае круговой характеристики.

В приложении Д приведены расчетные выражения для согласования ДЗ ЛЭП с ДЗ трехобмоточного Т (АТ) для различных вариантов схем подключения защиты к ТТ и ТН.

При согласовании ДЗ с разнотипными характеристиками необходимо учитывать пункт 3.3.2.9, при согласовании ступеней ДЗ с резервными токовыми защитами Т (АТ) от междуфазных КЗ необходимо учитывать пункт 3.3.4.2.

4.3.3.8. Выдержка времени второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г»)) принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени защиты смежного элемента, с которой производилось согласование по сопротивлению срабатывания.

Согласование выдержек времени производится по выражению:

$$T_{уст1}^{II} \geq T_{уст}^N + \Delta T + T_{УРОВ}, \quad (4.19)$$

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.

Выдержка времени УРОВ смежных присоединений учитывается, если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1 выбрано:

- по согласованию с защитами смежных присоединений, действующими без выдержки времени;
- по отстройке от КЗ в расчетной точке.

В расчете учитывается наибольшая выдержка времени УРОВ выключателей смежных сетевых элементов.

В случае выполнения отстройки от КЗ на шинах ПС В(Г) после отключения СВ (ШСВ) на ПС В(Г) для схем (рисунок 4.1, «б», «в»)) выдержка времени второй ступени защиты 1 принимается на ступень селективности больше выдержки времени ступени защиты, действующей на отключение СВ (ШСВ) аналогично выражению (4.19) без учета выдержки времени УРОВ.

Ступень селективности ΔT рассчитывается с учетом типа согласуемых защит по выражению:

$$\Delta T \geq T_{отк\ выкл} + T_{возвр} + T_{\Sigma погр} + T_{зап}, \quad (4.20)$$

где $T_{\text{отк выкл}}$ – полное время отключения выключателя смежного присоединения;

$T_{\text{возвр}}$ – время возврата измерительных (пусковых) органов защиты, с которой производится согласование, принимается по техническим данным конкретного устройства РЗ;

$T_{\Sigma\text{погр}}$ – суммарная погрешность элементов выдержек времени согласуемых защит, принимается по техническим данным устройств РЗ, при согласовании с защитой смежного присоединения без выдержки времени учитывается погрешность выдержки времени только рассматриваемой защиты;

$T_{\text{зап}}$ – время запаса, согласно пункту 4.3 Сборника распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем [7] 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 степени защиты 1 с резервными защитами Т (АТ) согласование выдержек времени производится с учетом наличия нескольких последовательных выдержек времени, с которыми защита Т (АТ) действует на отключение выключателей.

В ДЗ отечественного производства ступень ДЗ с выдержкой времени, не превышающей 1,5 с, заводится под действие БК, обеспечивающей ее пуск на заданное время по факту обнаружения несимметрии трехфазной системы токов и напряжений, с последующим выводом из действия. В целях обеспечения действия ДЗ при изменении вида повреждения (например, при переходе однофазного КЗ в двухфазное КЗ на землю), первая и, как правило, вторая ступени ДЗ имеют вторую (медленнодействующую) выдержку времени, отстроенную от цикла качаний или цикла асинхронного режима по времени. Схемой устройства БК обеспечивается длительный ввод в работу ступени ДЗ со второй (медленнодействующей) выдержкой времени.

Для исключения неселективного действия ДЗ при КЗ на смежных ЛЭП в случае изменения вида повреждения необходимо, соответственно, согласовывать быстродействующие и медленнодействующие выдержки времени согласуемых по чувствительности ступеней ДЗ.

Если согласование с медленнодействующей выдержкой времени ступени ДЗ смежной ЛЭП приводит к значительному увеличению выдержки времени срабатывания, в этом случае медленнодействующая выдержка второй ступени рассматриваемой защиты 1 отстраивается от цикла качаний по времени и дополнительно проводится согласование сопротивления срабатывания защиты 1 с МФТО смежной ЛЭП согласно пункту 3.3.4.1.

При невыполнении условия согласования или при отсутствии (неэффективности) МФТО на смежной ЛЭП возможность неселективного действия защит необходимо в соответствии с Методическими указаниями [9] учесть в перечне вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

4.3.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основные требования, предъявляемые к третьей ступени ДЗ, – 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 междуфазных КЗ. Действие третьей ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [1] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ДЗ ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет должен быть отдан требованию обеспечения чувствительности.

4.3.4.1. Расчет сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности к междуфазным КЗ в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 4.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{III} \geq k_{чз} \cdot \frac{|Z_p|}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}, \quad (4.21)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$k_{чз}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.5.4.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ, а также при КЗ через переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП и зоне дальнего резервирования с учетом изменения модулей и углов ЭДС генераторов и возможным увеличением переходного сопротивления дуги в процессе аварийного режима.

Если чувствительность третьей ступени ДЗ к междуфазным КЗ в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, то в соответствии с Правилами устройства электроустановок [2] допускается:

- не резервировать КЗ на стороне НН Т (АТ) ПС Б;
- не резервировать КЗ 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 третьей ступени ДЗ при КЗ на смежных сетевых элементах, исправляемого действием АПВ и АВР;
- не согласовывать по чувствительности ступени ДЗ, предназначенные для дальнего резервирования, если неотключение КЗ вследствие недостаточной чувствительности защиты последующего сетевого элемента может привести к тяжелым последствиям.

Устройства РЗ ЛЭП, параметры настройки ДЗ которых выбраны с отступлением от требований селективности, необходимо в соответствии с Методическими указаниями [9] учесть в перечне вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

Устройства РЗ ЛЭП, параметры настройки ДЗ которых не обеспечивают дальнейшее резервирование при КЗ на смежных сетевых элементах, необходимо в соответствии с Методическими указаниями [9] учесть в перечне ЛЭП и оборудования, не обеспеченных дальним резервированием устройствами РЗ.

4.3.4.2. Расчет сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по согласованию со второй (третьей) ступенями защит 3(4) смежных ЛЭП (пункты 3.2–3.3, таблица 4.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени защиты 1 с первой (второй) ступенями защиты 3(4).

В целях уменьшения времени ликвидации КЗ в зоне дальнего резервирования предпочтительным является согласование третьей ступени защиты 1 со второй ступенью защиты 3(4). Однако, если выполнение данного условия не позволяет обеспечить требуемую чувствительность, то необходимо выполнить согласование с третьей ступенью защиты 3(4).

В сети сложной конфигурации в случае, если конец зоны ступени защиты смежной ЛЭП, с которой проводится согласование, находится за пределами ЛЭП, согласование защит рекомендуется проводить с учетом каскадного отключения противоположного конца последующей смежной ЛЭП.

При согласовании защит с разнотипными характеристиками срабатывания необходимо учитывать рекомендации пункта 3.3.2.9.

4.3.4.3. Расчет сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 для схемы (рисунок 4.1 «в») по согласованию со второй или третьей ступенью защиты 6 (пункт 3.4, таблица 4.1) производится в случае, если выбранное сопротивление срабатывания третьей ступени защиты 1 не отстроено от КЗ на шинах ПС Г.

4.3.4.4. Расчет сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по согласованию с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б производится в том случае, если рассчитанное по предыдущим условиям

сопротивление срабатывания третьей ступени защиты 1 не отстроено от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б (пункт 3.5, таблица 4.1).

Если согласование с резервными защитами Т (АТ) ПС Б приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия третьей ступени защиты 1, расчет сопротивления срабатывания производится по согласованию с резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны смежного напряжения ПС Б.

4.3.4.5. Выдержка времени третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени защиты смежного элемента, с которой производилось согласование по сопротивлению срабатывания.

Согласование выдержек времени производится по выражению:

$$T_{уст1}^{III} \geq T_{уст}^N + \Delta T, \quad (4.22)$$

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 сопротивлению срабатывания;

ΔT – ступень селективности, рассчитывается по выражению (4.20).

При согласовании третьей ступени защиты 1 с резервными защитами Т (АТ) согласование выдержек времени производится с учетом наличия нескольких последовательных выдержек времени, с которыми защита Т (АТ) действует на отключение.

4.3.4.6. Расчет параметров настройки круговых характеристик защиты 1 по отстройке от нагрузочных режимов работы энергосистемы (пункт 3.6, таблица 4.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.4.

Если для отстройки от нагрузки выполняется смещение характеристики третьей ступени защиты 1 в первый квадрант, необходимо выполнить проверку надежного зацепления характеристик второй и третьей ступеней защиты 1 в соответствии с пунктом 3.3.5.1.

4.4. Расчет параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками

4.4.1. Перечень параметров настройки ДЗ ЛЭП с полигональными характеристиками срабатывания, которые требуется определить в процессе расчета, приведен в таблице 4.3.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания первой ступени ДЗ приводятся с учетом того, что ступень может иметь общую уставку полного (реактивного) сопротивления срабатывания ДЗ от всех видов КЗ $Z_{уст1}^I (X_{уст1}^I)$ или может иметь независимое регулирование полного (реактивного) сопротивления срабатывания ДЗ от междуфазных КЗ $Z_{уст1ф\phi}^I (X_{уст1ф\phi}^I)$ и ДЗ на землю $Z_{уст1фз}^I (X_{уст1фз}^I)$.

Параметры настройки $R_{уст1ф\phi}^I$ и $R_{уст1фз}^I$, определяющие положение боковых сторон полигональной характеристики, как правило, имеют независимое регулирование для ДО от междуфазных КЗ и ДО от КЗ на землю.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания вторых и третьих ступеней ДЗ приводятся для ДО от междуфазных КЗ.

Таблица 4.3

Перечень параметров ДЗ с полигональными характеристиками

№ п/п	Степень защиты	Обозначение параметра	Наименование параметра
1	1 степень	$Z_{уст1}^I (X_{уст1}^I)$	Общее полное (реактивное) сопротивление срабатывания ДО первой ступени от всех видов КЗ
		$Z_{уст1ф\phi}^I (X_{уст1ф\phi}^I)$	Полное (реактивное) сопротивление ДО первой ступени от междуфазных КЗ
		$Z_{уст1фз}^I (X_{уст1фз}^I)$	Полное (реактивное) сопротивление срабатывания ДО первой ступени от КЗ на землю
		$R_{уст1ф\phi}^I$	Активное сопротивление ДО первой ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1фз}^I$	Активное сопротивление ДО первой ступени от КЗ на землю
2	2 степень	$Z_{уст1ф\phi}^{II} (X_{уст1ф\phi}^{II})$	Полное (реактивное) сопротивление ДО второй ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1ф\phi}^{II}$	Активное сопротивление ДО второй ступени от междуфазных КЗ
3	3 степень	$Z_{уст1ф\phi}^{III} (X_{уст1ф\phi}^{III})$	Сопротивление срабатывания ДО третьей ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1ф\phi}^{III}$	Активное сопротивление ДО третьей ступени от междуфазных КЗ

4.4.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ДЗ от всех видов КЗ

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ДЗ – обеспечение селективного отключения всех видов КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

4.4.2.1. Первая ступень защиты 1 ЛЭП Л-1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») выполняется без выдержки времени.

4.4.2.2. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б (пункт 1.1, таблица 4.1) производится по выражениям:

– полное сопротивление срабатывания

$$Z_{уст1}^I \leq k_{отс} \cdot \frac{|\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p}{\sin\varphi_{хар}}; \quad (4.23)$$

– реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{уст1}^I \leq k_{отс} \cdot |\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p, \quad (4.24)$$

где $|\underline{Z}_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.3.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I$ ($X_{уст1ф\phi}^I$) рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и при междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах сети с учетом перетоков мощности по ЛЭП Л-1, характерных для рассматриваемых схем.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1фз}^I$ ($X_{уст1фз}^I$) рассматриваются результаты расчета однофазных КЗ на землю (при принятых в расчете коэффициентах компенсации тока нулевой последовательности) при металлических КЗ и через расчетные переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

Для ЛЭП с взаимоиндукцией следует учитывать ремонтные схемы сети, в которых выбирались уставки коэффициентов компенсации тока нулевой последовательности.

Если в защите 1 используется общая уставка $Z_{уст1}^I$ ($X_{уст1}^I$), требуется совместное рассмотрение результатов расчета по условию отстройки при междуфазных КЗ и однофазных КЗ на землю.

4.4.2.3. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию обеспечения перекрытия зон первых ступеней ДЗ с двух

сторон защищаемой ЛЭП (пункт 1.2, таблица 4.1) производится по выражениям:

– полное сопротивление срабатывания

$$Z_{уст1}^I \geq k_{охв} \cdot |Z_p|; \quad (4.25)$$

– реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{уст1}^I \geq k_{охв} \cdot |Z_p| \cdot \sin\varphi_p, \quad (4.26)$$

где $k_{охв}$ – коэффициент охвата, рекомендуемое значение 0,65-0,75.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I (X_{уст1ф\phi}^I)$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1фз}^I (X_{уст1фз}^I)$ рассматриваются результаты расчета при металлических однофазных КЗ на землю в конце защищаемой ЛЭП (при принятых в расчете коэффициентах компенсации тока нулевой последовательности). В случае, если условия (4.25), (4.26) не выполняются для защиты 1, рекомендуется по возможности обеспечить охват Л-1 защитой 2 с противоположной стороны ЛЭП в той же расчетной точке КЗ при тех же расчетных условиях.

Если согласно техническим данным в защите 1 используется общая уставка $Z_{уст1}^I (X_{уст1}^I)$, требуется совместное рассмотрение результатов расчета по условию охвата при междуфазных КЗ и однофазных КЗ на землю.

4.4.2.4. Если расчетное сопротивление срабатывания первой ступени защиты 1 по условию пункта 4.4.2.3 не удовлетворяет условию пункта 4.4.2.2, рекомендуется обеспечить требуемый охват при металлических КЗ, а для отстройки от внешних КЗ через переходные сопротивления применить угол наклона (скоса) верхней грани характеристики (при наличии параметра).

Угол наклона (скоса) $\varphi_{ск}$ верхней грани характеристики определяется при принятой уставке сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I (X_{уст1}^I)$ по выражению (3.10) или графически (рисунок 4.7).

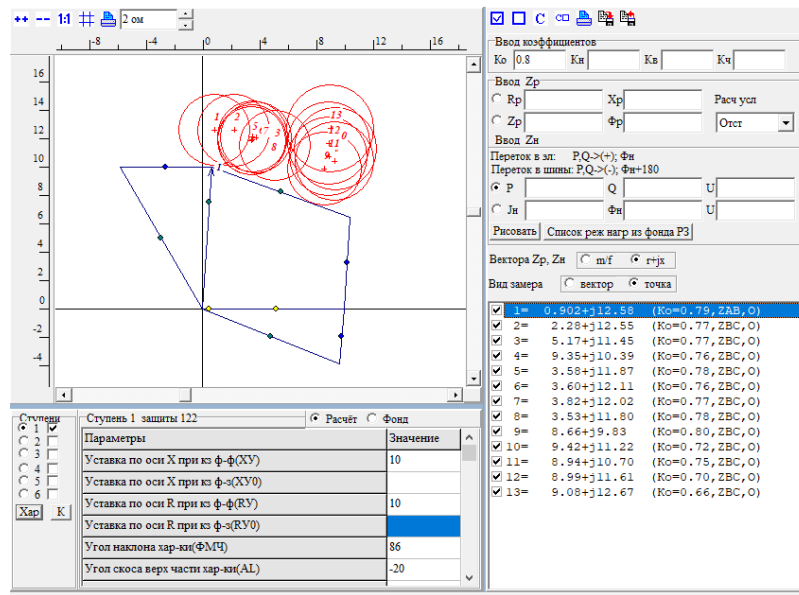


Рисунок 4.7. Выбор угла наклона (скоса) верхней грани характеристики

Коэффициент отстройки $k_{отс}$ при аналитическом или графическом выборе параметров настройки принимается согласно пункту 3.3.2.3.

Если угол $\varphi_{ск}$ задается общим для ДО от междуфазных КЗ и ДО от КЗ на землю, требуется совместное рассмотрение результатов расчета по условию отстройки при междуфазных КЗ и однофазных КЗ на землю, в качестве уставки принимается большее расчетное значение угла.

4.4.2.5. Если согласно техническим данным защиты 1 угол наклона (скоса) верхней грани характеристики отсутствует или полученное расчетное значение угла превышает диапазон регулирования, необходимо для расчетных режимов, где не выполняется условие пункта 4.4.2.2 или получены неудовлетворительные результаты по пункту 4.4.2.4, выполнить отстройку с помощью уставки активного сопротивления $R_{уст1}^I$ по выражению:

$$R_{уст1}^I \leq |Z_p| \cdot \frac{\sin(\varphi_{прав} - \varphi_p) - (1 - k_{отс})}{\sin \varphi_{прав}}, \quad (4.27)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.3;

$\varphi_{прав}$ – угол наклона правой боковой грани характеристики.

Для выбора сопротивления срабатывания $R_{уст1ф}^I$ рассматриваются результаты расчета при междуфазных КЗ через переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах прилегающей сети при нулевом перетоке мощности по ЛЭП и при перетоках мощности, характерных для рассматриваемых схем.

Для выбора сопротивления срабатывания $R_{уст1фз}^I$ рассматриваются результаты расчета при однофазных КЗ на землю (при принятых в расчете коэффициентах компенсации тока нулевой последовательности) через переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах прилегающей

сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП и при перетоках мощности, характерных для рассматриваемых схем.

4.4.2.6. Расчет сопротивления срабатывания $R_{уст1}^I$ первой ступени защиты 1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ через переходное сопротивление (пункт 1.3, таблица 4.1) производится по выражению:

$$R_{уст1}^I \geq |Z_p| \cdot \frac{\sin(\varphi_{прав} - \varphi_p) + (k_q - 1)}{\sin \varphi_{прав}}, \quad (4.28)$$

где k_q – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.5.4.

Проверка чувствительности выполняется при КЗ через переходные сопротивления в начале защищаемой ЛЭП (рисунок 4.8) и при КЗ в конце зоны охвата с учетом принятого угла наклона (скоса) верхней грани характеристики (рисунок 4.9).

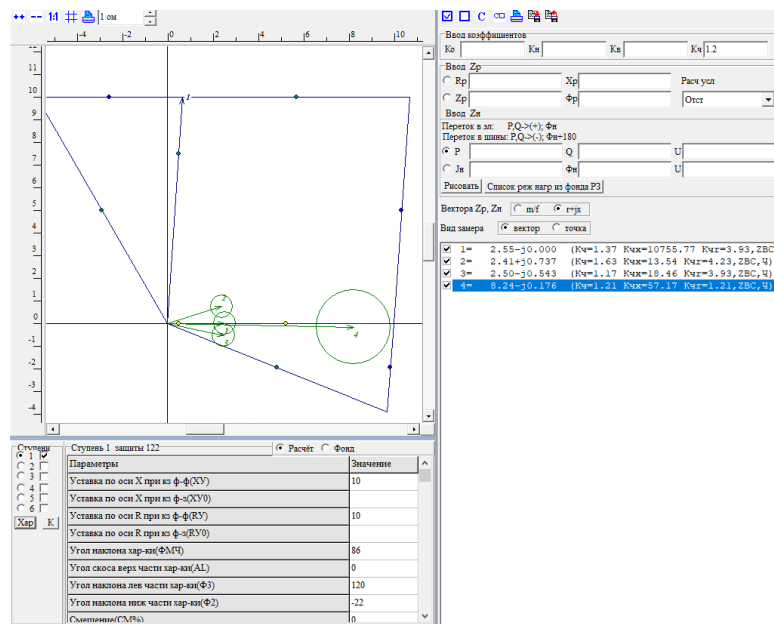


Рисунок 4.8. Обеспечение чувствительности при КЗ в начале ЛЭП

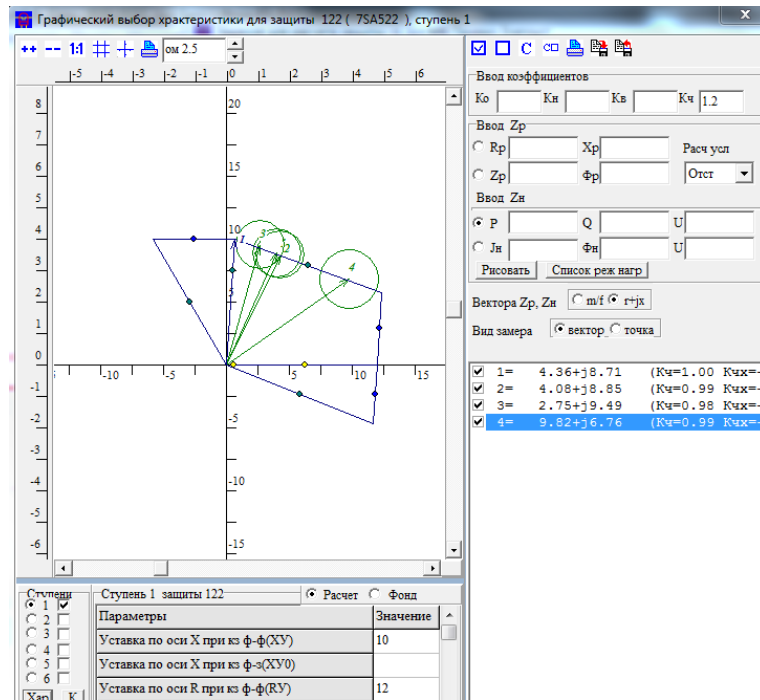


Рисунок 4.9. Обеспечение чувствительности при КЗ в конце зоны охвата

Для выбора сопротивления срабатывания $R_{уст1ф\phi}^I$ рассматриваются результаты расчета при междуфазных КЗ через переходные сопротивления, для выбора сопротивления срабатывания $R_{уст1фз}^I$ рассматриваются результаты расчета при однофазных КЗ на землю через переходные сопротивления (при принятых в расчете коэффициентах компенсации тока нулевой последовательности).

Определяющим по чувствительности, как правило, является минимальный режим (ремонтные схемы) примыкающей энергосистемы со стороны ПС, где установлена рассматриваемая защита.

4.4.2.7. Если отстройка от внешних КЗ через переходные сопротивления обеспечивается уставкой активного сопротивления $R_{уст1}^I$ по выражению (4.27), то это условие является определяющим по сравнению с условием обеспечения чувствительности по выражению (4.28).

4.4.2.8. Расчет угла φ_{IV} полигональной характеристики производится по условию обеспечения чувствительности при КЗ через переходные сопротивления в начале защищаемой ЛЭП.

При КЗ через переходное сопротивление в начале защищаемой ЛЭП при отсутствии перетока мощности и подпитки от источника с противоположной стороны ЛЭП дистанционный замер носит активный характер и равен переходному сопротивлению в месте КЗ.

При прямом перетоке мощности от шин ПС А, где установлена защита 1, и подпитке от источника с противоположной стороны ЛЭП дистанционный

замер может попасть в четвертый квадрант комплексной плоскости. Этот режим, как правило, является определяющим при выборе уставки угла φ_{IV} .

На рисунке 4.8 представлены замеры при междуфазном КЗ через переходное сопротивление в начале защищаемой ЛЭП:

- при отсутствии перетока мощности в нормальной схеме сети (замер 1);
- при обратном перетоке мощности в нормальной схеме сети (замер 2);
- при прямом перетоке мощности в нормальной схеме сети (замер 3);
- при отсутствии перетока мощности в ремонтной схеме сети со стороны ПС А (замер 4).

Если угол φ_{IV} регулируется, то его значение определяется исходя из значения угла φ_p расчетного сопротивления \underline{Z}_p по выражению (3.45).

Если угол φ_{IV} не регулируется, рекомендуется выполнить проверку чувствительности при КЗ в начале ЛЭП через переходное сопротивление графическим способом (рисунок 4.10).

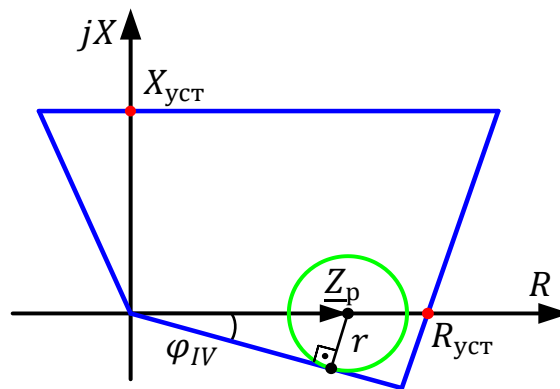


Рисунок 4.10. Проверка чувствительности при КЗ в начале ЛЭП через переходное сопротивление

Зона неопределенности вокруг конца вектора \underline{Z}_p , обусловленная погрешностями, представляется в виде окружности, радиус r которой определяется по выражению:

$$r = |\underline{Z}_p| \cdot (k_q - 1), \quad (4.29)$$

где k_q – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.5.4.

4.4.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Требования, предъявляемые ко второй ступени ДЗ – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие второй ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

4.4.3.1. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при металлических междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 4.1) производится по выражениям:

- полное сопротивление срабатывания

$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \geq k_{чZ} \cdot \frac{|\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p}{\sin\varphi_{хар}}; \quad (4.30)$$

- реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{уст1\phi\phi}^{II} \geq k_{чX} \cdot |\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p, \quad (4.31)$$

где $|\underline{Z}_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики;

$k_{чZ}, k_{чX}$ – коэффициенты чувствительности, принимаются согласно пункту 3.3.5.4.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1\phi\phi}^{II}$ ($X_{уст1\phi\phi}^{II}$) рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и междуфазных КЗ через переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети с учетом перетоков мощности по ЛЭП Л-1, характерных для рассматриваемых схем.

4.4.3.2. Расчет активного сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при междуфазных КЗ через переходное сопротивление в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 4.1) производится по выражению:

$$R_{уст1}^{II} \geq |\underline{Z}_p| \cdot \frac{\sin(\varphi_{прав} - \varphi_p) + (k_{ч} - 1)}{\sin\varphi_{прав}}, \quad (4.32)$$

где $\varphi_{прав}$ – угол наклона правой боковой стороны характеристики;

$k_{ч}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.5.4.

Для выбора сопротивления срабатывания $R_{уст1}^{II}$ рассматриваются результаты расчета при междуфазных КЗ через переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети с учетом перетоков мощности по защищаемой ЛЭП Л-1, характерных для рассматриваемых схем.

Рекомендуется использовать графический выбор параметров настройки полигональной характеристики (рисунок 4.11).

Коэффициенты чувствительности $k_{чZ}, k_{чX}, k_{ч}$ при графическом выборе параметров настройки принимаются согласно пункту 3.3.5.4.

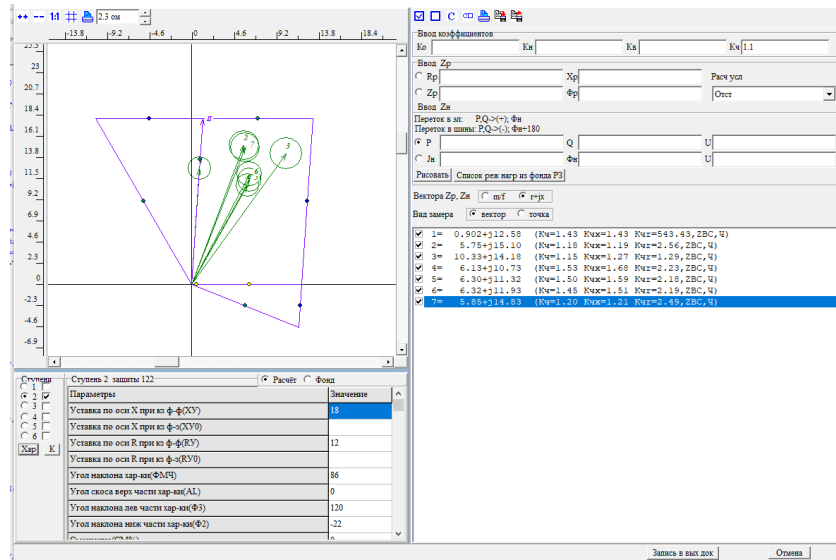


Рисунок 4.11. Выбор полигональной характеристики срабатывания второй ступени по чувствительности к междуфазным КЗ в конце ЛЭП

4.4.3.3. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по условию согласования с дистанционными и/или резервными токовыми защитами смежных присоединений от междуфазных КЗ проводится поиском конца зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование с учетом сокращения ее зоны, и отстройкой от полученного замера по выражению:

$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot |Z_p| \cdot d, \quad (4.33)$$

где $|Z_p|$ – модуль расчетного сопротивления;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пунктам 3.3.2.7, 3.3.2.8 и/или пунктам 3.3.4.1, 3.3.4.2;

d – параметр, который при согласовании защит учитывает возможное различие угла наклона полигональной характеристики второй ступени защиты 1 и угла расчетного сопротивления Z_p , определяется по выражению:

$$d = \frac{\sin\varphi_p}{\sin\varphi_{хар}} \quad (4.34)$$

4.4.3.4. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1\phi\phi}^{II}$ и выдержек времени второй ступени защиты 1 с полигональной характеристикой для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по условиям обеспечения селективности при междуфазных КЗ на смежных участках сети производится по всем расчетным условиям (пункты 2.2–2.5, таблица 4.1) и выполняется аналогично расчетам при выборе параметров настройки второй ступени защиты 1 с круговой характеристикой срабатывания согласно указаниям, приведенным в пунктах 4.3.3.2–4.3.3.8, при этом в выражениях для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1\phi\phi}^{II}$ параметр d следует определять согласно выражению (4.34).

При согласовании ДЗ с разнотипными характеристиками срабатывания необходимо учитывать рекомендации пункта 3.3.2.9.

4.4.3.5. Расчет реактивного сопротивления срабатывания второй ступени защиты $X_{уст1ф\phi}^{II}$ производится на основании принятой уставки сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{II}$ по выражению:

$$X_{уст1ф\phi}^{II} = Z_{уст1ф\phi}^{II} \cdot \sin\varphi_{хар}, \quad (4.35)$$

где $\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики.

4.4.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основные требования, предъявляемые к третьей ступени ДЗ, – обеспечение резервирования устройств РЗ своей ЛЭП и защит или выключателей смежных элементов (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие третьей ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [1] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ДЗ ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет должен быть отдан требованию обеспечения чувствительности.

4.4.4.1. Расчет сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности к металлическим междуфазным КЗ в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования производится по выражениям:

– полное сопротивление срабатывания

$$Z_{уст1ф\phi}^{III} \geq k_{чЗ} \cdot \frac{|Z_p| \cdot \sin\varphi_p}{\sin\varphi_{хар}}; \quad (4.36)$$

– реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{уст1ф\phi}^{III} \geq k_{чХ} \cdot |Z_p| \cdot \sin\varphi_p, \quad (4.37)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики;

$k_{чЗ}$, $k_{чХ}$ – коэффициенты чувствительности, принимаются согласно пункту 3.3.5.4.

Если обеспечение чувствительности третьей ступени защиты 1 к междуфазным КЗ через переходные сопротивления в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, чувствительность обеспечивается с учетом указаний пункта 4.3.4.1.

4.4.4.2. Расчет активного сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при междуфазных КЗ через переходное сопротивление в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 4.1) производится по выражению:

$$R_{уст1}^{III} \geq |Z_p| \cdot \frac{\sin(\varphi_{прав} - \varphi_p) + (k_{\text{ч}} - 1)}{\sin \varphi_{прав}}, \quad (4.38)$$

где $\varphi_{\text{прав}}$ – угол наклона правой боковой стороны полигональной характеристики;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.5.4.

Для выбора $R_{уст1}^{III}$ рассматриваются результаты расчета при междуфазных КЗ через переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП и зоне дальнего резервирования с учетом изменения модулей и углов ЭДС генераторов и возможного увеличения сопротивления дуги в месте КЗ в процессе аварийного режима.

4.4.4.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{III}$ и выдержек времени третьей ступени защиты 1 с полигональной характеристикой для схем (рисунок 4.1, «а» – «г») по условиям обеспечения селективности при междуфазных КЗ на смежных участках сети производится по всем расчетным условиям (пункты 3.2–3.5, таблица 4.1) и выполняется аналогично расчетам при выборе сопротивления срабатывания третьей ступени $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{III}$ защиты 1 с круговой характеристикой согласно указаниям, приведенным в пунктах 4.3.4.2–4.3.4.5, при этом в выражениях для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{III}$ параметр d следует определять согласно выражению (4.34).

4.4.4.4. Расчет реактивного сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 $X_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{III}$ производится на основании принятой уставки сопротивления срабатывания $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{III}$ по выражению:

$$X_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{III} = Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{III} \cdot \sin \varphi_{\text{хар}}, \quad (4.39)$$

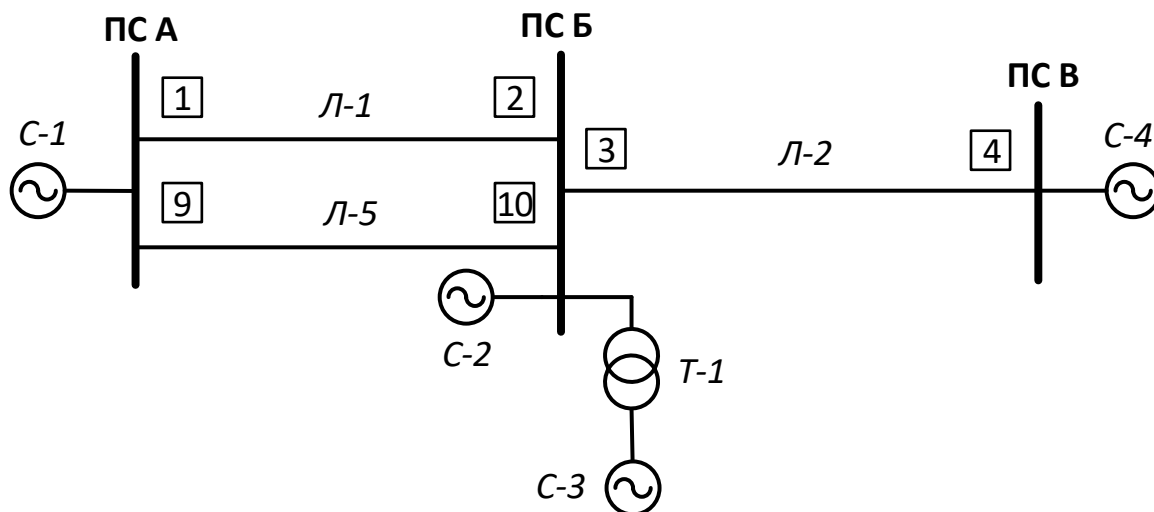
где $\varphi_{\text{хар}}$ – угол наклона полигональной характеристики.

4.4.4.5. Выбор параметров настройки полигональных характеристик защиты 1 по отстройке от нагрузочных режимов работы энергосистем (пункт 3.6, таблица 4.1) производится в соответствии с пунктом 3.4.

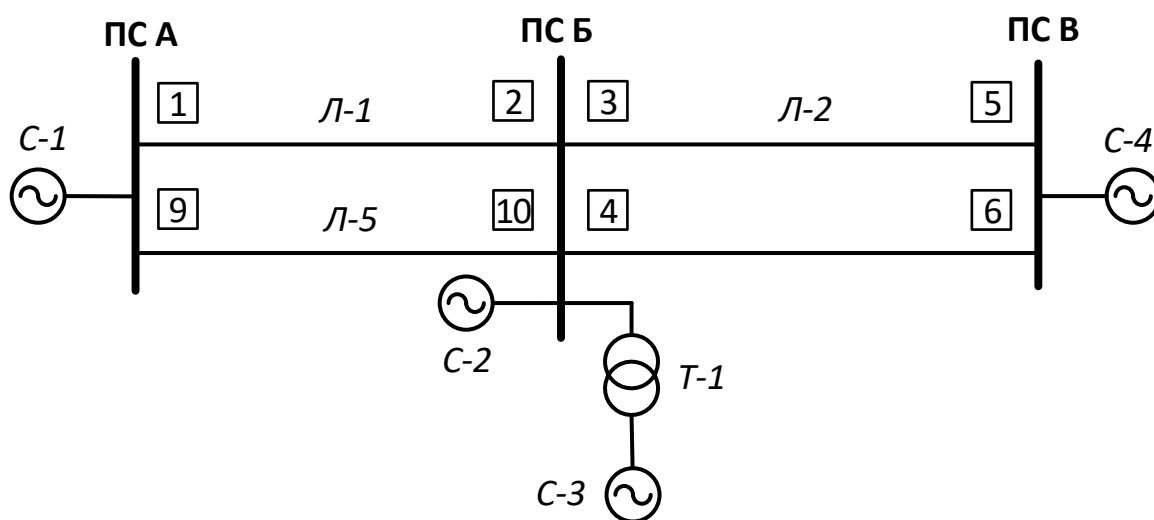
5. Расчет и выбор параметров настройки ДЗ параллельных ЛЭП

5.1. Типовые схемы участков сети

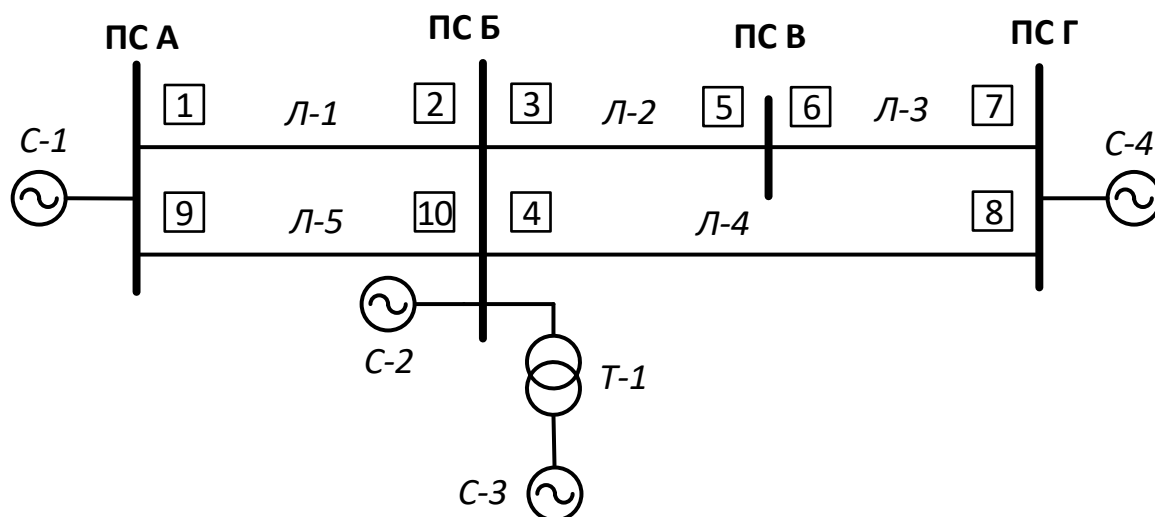
Указания по расчету и выбору параметров настройки трехступенчатой ДЗ параллельных ЛЭП напряжением 110 кВ и выше с двусторонним питанием приводятся для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 5.1).



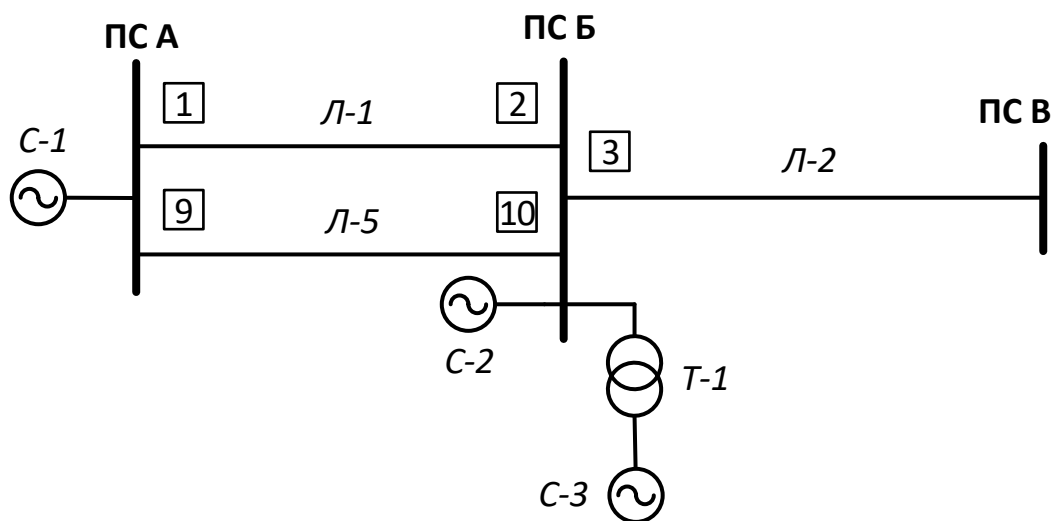
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5.1. 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.

5.2. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

5.2.1. Общие указания по расчету трехступенчатой ДЗ параллельных ЛЭП соответствуют общим указаниям по расчету ДЗ одиночной ЛЭП с двусторонним питанием, приведенным в пункте 4.2.1.

5.2.2. Перечень расчетных условий для выбора параметров настройки трехступенчатой ДЗ параллельных ЛЭП с двусторонним питанием приведен в таблице 5.1 применительно к защите 1 ЛЭП Л-1 с круговыми и

полигональными характеристиками срабатывания для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 5.1, «а» – «г»).

Таблица 5.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки ДЗ

№ пункта	Степень защиты	Схема	Расчетные условия
1.1	1 степень (степень без выдержки времени)	а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах ПС Б, примыкающей к противоположному концу ЛЭП.
1.2			Проверка зоны охвата ЛЭП при металлических КЗ
1.3			Обеспечение чувствительности при КЗ через переходное сопротивление в начале ЛЭП и в конце зоны охвата 1 степени (для защит с полигональной характеристикой срабатывания)
2.1	2 степень	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ в конце ЛЭП Л-1
2.2		а, в, г	Согласование с 1 (2) степенью защиты 3
		в	Согласование с 1 (2) степенью защиты 4
2.3		б	Отстройка от КЗ на шинах ПС В
2.4		в	Отстройка от КЗ на шинах ПС Г
2.5		а, б, в, г	Согласование с 1 (2) степенью защиты 10 при каскадном отключении повреждения на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
2.6		а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б
3.1	3 степень	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ в конце ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования
3.2		а, г	Согласование с 2(3) степенью защиты 3
3.3		б, в	Согласование с 2(3) степенью защиты 3 и защиты 4
3.4		в	Согласование с 2(3) степенью защиты 6
3.5		а, б, в, г	Согласование с 2(3) степенью защиты 10 при каскадном отключении повреждения на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
3.6		а, б, в, г	Согласование с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б
3.7		а, б, в, г	Отстройка от нагрузочных режимов работы энергосистем

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

5.3. Расчет параметров настройки ДЗ с круговыми характеристиками

5.3.1. Перечень параметров настройки ДЗ ЛЭП с круговыми характеристиками срабатывания

В таблице 5.2 приведен перечень параметров настройки ДЗ ЛЭП с круговыми характеристиками срабатывания, которые следует определить в процессе расчета.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания первой степени ДЗ приводятся с учетом того, что степень может иметь общее сопротивление срабатывания ДО от всех видов КЗ ($Z_{уст}^I$) или может иметь независимое регулирование для ДО от междуфазных КЗ ($Z_{устф\phi}^I$) и ДО от КЗ на землю ($Z_{устфз}^I$). Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания вторых и третьих степеней ДЗ приводятся для ДО от междуфазных КЗ.

Таблица 5.2

Перечень параметров ДЗ с круговыми характеристиками

№ п/п	Степень защиты	Обозначение параметра	Наименование параметра
1	1 степень	$Z_{уст1}^I$	Общее сопротивление срабатывания ДО первой степени от всех видов КЗ
		$Z_{уст1\phi\phi}^I$	Сопротивление срабатывания ДО первой степени от междуфазных КЗ
		$Z_{уст1фз}^I$	Сопротивление срабатывания ДО первой степени от КЗ на землю
2	2 степень	$Z_{уст1\phi\phi}^{II}$	Сопротивление срабатывания ДО второй степени от междуфазных КЗ
3	3 степень	$Z_{уст1\phi\phi}^{III}$	Сопротивление срабатывания ДО третьей степени от междуфазных КЗ

5.3.2. Расчет и выбор параметров настройки первой степени ДЗ от всех видов КЗ

Основное требование, предъявляемое к первой степени ДЗ, – обеспечение селективного отключения всех видов КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

5.3.2.1. Первая степень защиты 1 для типовых конфигураций электрической сети (рисунок 5.1, «а» – «г») выполняется без выдержки времени.

5.3.2.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ первой степени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б (пункт 1.1, таблица 5.1) производится по выражению (4.1) в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ первой степени защиты 1 одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.2.2.

5.3.2.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ первой ступени защиты 1 по условию обеспечения перекрытия зон первых ступеней ДЗ с двух сторон защищаемой ЛЭП (пункт 1.2, таблица 5.1) производится по выражению (4.2) в соответствии с пунктом 4.3.2.3.

5.3.2.4. Если расчетное сопротивление срабатывания $Z_{уст1}^I$ первой ступени по условию отстройки при внешних КЗ через расчетные переходные сопротивления не удовлетворяет условию пункта 5.3.2.3, необходимо обеспечить требуемый охват ЛЭП при металлических КЗ, а для отстройки от внешних КЗ через переходные сопротивления использовать изменение вида круговой характеристики (эллипс, линза) при наличии возможности регулирования параметра.

5.3.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Требования, предъявляемые ко второй ступени ДЗ, – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов. Действие второй ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

5.3.3.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по обеспечению чувствительности к КЗ в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 5.1) производится по выражению (4.3) в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.3.1.

5.3.3.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 по условию согласования с дистанционными и/или резервными токовыми защитами смежных присоединений от междуфазных КЗ производится методом поиска конца зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование с учетом возможного сокращения ее зоны, и отстройкой от полученного замера \underline{Z}_p по выражению (4.4) в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.3.2.

5.3.3.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а», «в», «г») по согласованию с первой ступенью защиты 3(4) смежных ЛЭП (пункт 2.2, таблица 5.1) производится по выражению (4.6) в режиме отключенной параллельной ЛЭП Л-5 в соответствии с пунктом 4.3.3.3.

Расчетным является значение коэффициента k_T в такой реально возможной ремонтной схеме сети, которой соответствует наименьшее сопротивление срабатывания согласно выражению (4.6).

5.3.3.4. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а», «в», «г») по согласованию с резервной токовой защитой от междуфазных КЗ защиты 3(4) при выполнении последней

с помощью токовой отсечки, отсечки по напряжению или комбинированной защиты по току и напряжению (пункт 2.2, таблица 5.1) производится по выражению (4.9) в режиме отключенной параллельной ЛЭП Л-5 в соответствии с пунктом 4.3.3.4.

5.3.3.5. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схемы (рисунок 5.1 «б») по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах ПС В (пункт 2.3, таблица 5.1), производится по выражению (4.10) в режиме отключенной параллельной ЛЭП Л-5 в соответствии с пунктом 4.3.3.5.

5.3.3.6. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схемы (рисунок 5.1 «в») по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах ПС Г (пункт 2.4, таблица 5.1) производится по выражению (4.13) в режиме отключенной параллельной ЛЭП Л-5 в соответствии с пунктом 4.3.3.6.

5.3.3.7. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по согласованию с первой ступенью защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 (пункт 2.5, таблица 5.1) производится при каскадном ее отключении со стороны ПС А по выражению:

$$Z_{уст1фф}^{II} \leq k_{отс} \cdot |Z_p| \cdot d = k_{отс} \cdot \left| Z_{Л-1} + \frac{1-\alpha}{k_T} \cdot Z_{уст10}^I \right| \cdot d, \quad (5.1)$$

где $|Z_p|$ – модуль расчетного сопротивления;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.7;

α – коэффициент, учитывающий сокращение зоны ступени ДЗ, с которой производится согласование, определяется согласно пункту 3.3.1;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в защите 1 к первичному току в защите, с которой проводится согласование в режиме каскада;

$Z_{уст10}^I$ – сопротивление срабатывания первой ступени защиты 10 от междуфазных КЗ;

d – определяется согласно (4.5) в случае круговой характеристики.

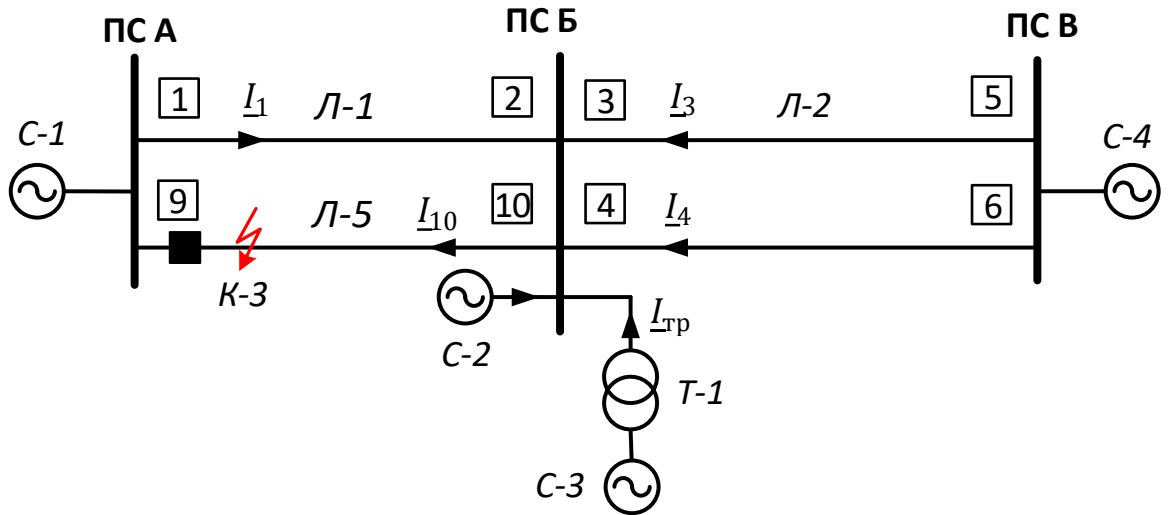


Рисунок 5.2. Определение коэффициента токораспределения при КЗ в точке К-3

Коэффициент токораспределения при согласовании защиты 1 с защитой 10 (рисунок 5.2) определяется по выражению:

$$k_T = \frac{I_1}{I_{10}} \quad (5.2)$$

5.3.3.8. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г»)) по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б (пункт 2.6, таблица 5.1) производится по выражению (4.17) в режиме отключенной параллельной ЛЭП Л-5 в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{II}$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.3.7.

5.3.3.9. Расчет выдержки времени второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г»)) производится по выражению (4.19) в соответствии с пунктом 4.3.3.8.

5.3.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основные требования, предъявляемые к третьей ступени ДЗ, – обеспечение резервирования устройств РЗ своей ЛЭП и защит или выключателей смежных элементов (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие третьей ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [1] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ДЗ ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет должен быть отдан требованию обеспечения чувствительности.

5.3.4.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности к междуфазным КЗ в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 5.1) производится по выражению (4.21).

Если обеспечение чувствительности третьей ступени защиты 1 к междуфазным КЗ через переходные сопротивления в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, чувствительность обеспечивается в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.4.1.

5.3.4.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по согласованию со второй (третьей) ступенью защиты 3(4) смежных ЛЭП (пункты 3.2–3.3, таблица 5.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени защиты 1 с первой (второй) ступенью защиты 3(4). Указания по расчету $Z_{уст1фф}^{III}$ для параллельных ЛЭП соответствуют указаниям по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ одиночной ЛЭП, приведенным в пункте 4.3.4.2.

5.3.4.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схемы (рисунок 5.1 «в») по согласованию со второй или третьей ступенью защиты 6 (пункт 3.4, таблица 5.1) производится в случае, если рассчитанное по предыдущим условиям сопротивление срабатывания третьей ступени защиты 1 не отстроено от КЗ на шинах ПС Г.

5.3.4.4. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по согласованию со второй (третьей) ступенью защиты 10 параллельной ЛЭП Л-5 при ее каскадном отключении со стороны ПС А (пункт 3.5, таблица 5.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени защиты 1 с первой ступенью защиты 10.

5.3.4.5. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по согласованию с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б (пункт 3.6, таблица 5.1) производится в случае, если рассчитанное по предыдущим условиям сопротивление срабатывания третьей ступени защиты 1 не отстроено от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б.

Указания по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ параллельных ЛЭП по условию согласования с резервными защитами Т (АТ) ПС Б соответствуют указаниям, приведенным в пункте 4.3.3.7 для одиночной ЛЭП.

Если согласование с резервными защитами Т (АТ) ПС Б приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия третьей ступени защиты 1, расчет сопротивления срабатывания

производится по согласованию с резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны смежного напряжения ПС Б.

5.3.4.6. Выдержка времени третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени защиты смежного элемента, с которой производилось согласование по сопротивлению срабатывания. Указания для расчета выдержки времени третьей ступени защиты 1 для параллельных ЛЭП соответствуют указаниям для одиночной ЛЭП, приведенным в пункте 4.3.4.5.

5.3.4.7. Выбор параметров настройки круговых характеристик защиты 1 по отстройке от нагрузочных режимов работы энергосистемы (пункт 3.7, таблица 5.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.4.

Если для отстройки от нагрузочных режимов выполняется смещение характеристики третьей ступени защиты 1 в первый квадрант комплексной плоскости, необходимо выполнить проверку надежного зацепления характеристик второй и третьей ступеней защиты 1 согласно пункту 3.3.5.1.

5.4. Расчет параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками

5.4.1. Перечень параметров настройки ДЗ ЛЭП с полигональными характеристиками

В таблице 5.3 приведен перечень параметров настройки ДЗ ЛЭП с полигональными характеристиками срабатывания, которые следует определить в процессе расчета.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания первой ступени ДЗ приводятся с учетом того, что ступень может иметь общую уставку полного (реактивного) сопротивления срабатывания от всех видов КЗ $Z_{уст1}^I (X_{уст1}^I)$ или может иметь независимое регулирование уставки полного (реактивного) сопротивления срабатывания для ДО от междуфазных КЗ $Z_{уст1фф}^I (X_{уст1фф}^I)$ и ДО от КЗ на землю $Z_{уст1фз}^I (X_{уст1фз}^I)$.

Параметры настройки $R_{уст1фф}^I$ и $R_{уст1фз}^I$, определяющие положение боковых сторон полигональной характеристики, как правило, имеют независимое регулирование для ДО от междуфазных КЗ и ДО от КЗ на землю.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания вторых и третьих ступеней ДЗ приводятся для ДО от междуфазных КЗ.

Таблица 5.3

Перечень параметров ДЗ с полигональными характеристиками

№ п/п	Ступень защиты	Обозначение параметра	Наименование параметра
1	1 ступень	$Z_{уст1}^I (X_{уст1}^I)$	Общее полное (реактивное) сопротивление срабатывания ДО первой ступени от всех видов КЗ
		$Z_{уст1фф}^I (X_{уст1фф}^I)$	Полное (реактивное) сопротивление ДО первой ступени от междуфазных КЗ
		$Z_{уст1фз}^I (X_{уст1фз}^I)$	Полное (реактивное) сопротивление срабатывания ДО первой ступени от КЗ на землю
		$R_{уст1фф}^I$	Активное сопротивление ДО первой ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1фз}^I$	Активное сопротивление ДО первой ступени от КЗ на землю
2	2 ступень	$Z_{уст1фф}^{II} (X_{уст1фф}^{II})$	Полное (реактивное) сопротивление ДО второй ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1фф}^{II}$	Активное сопротивление ДО второй ступени от междуфазных КЗ
3	3 ступень	$Z_{уст1фф}^{III} (X_{уст1фф}^{III})$	Сопротивление срабатывания ДО третьей ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1фф}^{III}$	Активное сопротивление ДО третьей ступени от междуфазных КЗ

Методические указания по расчету и выбору параметров настройки дистанционных защит линий электропередачи 110 кВ и выше

5.4.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ДЗ от всех видов КЗ

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ДЗ, – обеспечение селективного отключения всех видов КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

5.4.2.1. Первая ступень защиты 1 ЛЭП Л-1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») выполняется без выдержки времени.

5.4.2.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$ первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б (пункт 1.1, таблица 5.1) производится по выражениям (4.23) и (4.24) в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$ первой ступени защиты 1 одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.4.2.2.

5.4.2.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$ первой ступени защиты 1 по условию обеспечения перекрытия зон первых ступеней ДЗ с двух сторон защищаемой ЛЭП (пункт 1.2, таблица 5.1) производится по выражениям (4.25) и (4.26) в соответствии с пунктом 4.4.2.3.

5.4.2.4. Если расчетное сопротивление срабатывания $Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$ первой ступени защиты 1 по условию отстройки при внешних КЗ через расчетные переходные сопротивления не удовлетворяет условию пункта 5.4.2.3, необходимо обеспечить требуемый охват ЛЭП при металлических КЗ, а для отстройки от внешних КЗ через переходные сопротивления необходимо применить угол наклона (скоса) $\varphi_{ск}$ верхней грани характеристики срабатывания (при наличии параметра согласно техническим данным защиты). Указания по выбору угла $\varphi_{ск}$ приведены в пункте 4.4.2.4.

5.4.2.5. Если согласно техническим данным защиты 1 угол наклона (скоса) верхней грани характеристики отсутствует или полученное значение угла $\varphi_{ск}$ превышает диапазон регулирования данного параметра, необходимо для расчетных режимов, где не выполняется условие пункта 5.4.2.2 или получены неудовлетворительные результаты по пункту 5.4.2.4, выполнить отстройку характеристики срабатывания первой ступени защиты 1 от расчетных сопротивлений Z_p при КЗ через переходное сопротивление на шинах ПС Б уставкой активного сопротивления $R_{уст1}^I$ по выражению (4.27) в соответствии с пунктом 4.4.2.5.

5.4.2.6. Расчет сопротивления срабатывания $R_{уст1}^I$ первой ступени защиты 1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ через переходное сопротивление (пункт 1.3, таблица 5.1) производится по выражению (4.28) в соответствии с пунктами 4.4.2.6, 4.4.2.7.

5.4.2.7. Выбор угла φ_{IV} ограничения полигональной характеристики в четвертом квадранте комплексной плоскости выполняется в соответствии с пунктом 4.4.2.8.

5.4.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Требования, предъявляемые ко второй ступени ДЗ, – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие второй ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

5.4.3.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}(X_{уст1фф}^{II})$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при металлических междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 5.1) производится по выражениям (4.30) и (4.31) в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}(X_{уст1фф}^{II})$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.4.3.1.

5.4.3.2. Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{уст1}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при междуфазных КЗ через переходное сопротивление в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 5.1) производится по выражению (4.32) в соответствии с пунктом 4.4.3.2.

5.4.3.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ и выдержек времени второй ступени защиты 1 с полигональной характеристикой для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по условиям обеспечения селективности при междуфазных КЗ на смежных участках сети производится по всем расчетным условиям (пункты 2.2–2.6, таблица 5.1) и выполняется аналогично расчетам при выборе параметров настройки второй ступени защиты 1 с круговой характеристикой согласно пунктам 5.3.3.2–5.3.3.9, при этом в выражениях для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ параметр d , который при согласовании защит учитывает возможное различие угла наклона полигональной характеристики второй ступени защиты 1 и угла расчетного сопротивления Z_p следует определять согласно выражению (4.34).

При согласовании защит с разнотипными характеристиками срабатывания необходимо учитывать рекомендации пункта 3.3.2.9.

5.4.3.4. Расчет реактивного сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 $X_{уст1фф}^{II}$ производится на основании принятого значения уставки полного сопротивления $Z_{уст1фф}^{II}$ по выражению (4.35).

5.4.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основные требования, предъявляемые к третьей ступени ДЗ, – 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

междуфазных КЗ. Действие третьей ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [1] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ДЗ ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет должен быть отдан требованию обеспечения чувствительности.

5.4.4.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}(X_{уст1ф\phi}^{III})$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности к металлическим междуфазным КЗ в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 5.1) производится по выражениям (4.36) и (4.37).

Если обеспечение чувствительности третьей ступени защиты 1 к междуфазным КЗ в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или техническим данным защиты, чувствительность обеспечивается в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.4.1.

5.4.4.2. Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{уст1}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при междуфазных КЗ через переходное сопротивление в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 4.1, таблица 5.1) производится по выражению (4.38) в соответствии с пунктом 4.4.4.2.

5.4.4.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ и выдержки времени третьей ступени защиты 1 с полигональной характеристикой для схем (рисунок 5.1, «а» – «г») по условиям обеспечения селективности при междуфазных КЗ на смежных участках сети производится по всем расчетным условиям (пункты 3.2–3.6, таблица 5.1) и выполняется аналогично расчетам при выборе параметров настройки третьей ступени защиты 1 с круговой характеристикой согласно пунктов 5.3.4.2–5.3.4.6. В выражениях для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ параметр d следует определять согласно выражению (4.34).

При согласовании защит с разнотипными характеристиками срабатывания необходимо учитывать рекомендации пункта 3.3.2.9.

5.4.4.4. Расчет реактивного сопротивления срабатывания $X_{уст1ф\phi}^{III}$ третьей ступени защиты 1 производится на основании принятого значения уставки полного сопротивления $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ по выражению (4.39).

5.4.4.5. Выбор параметров настройки полигональных характеристик защиты 1 по отстройке от нагрузочных режимов работы энергосистем (пункт 3.7, таблица 5.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.4.

6. Расчет и выбор параметров настройки ДЗ ЛЭП при наличии ответвлений

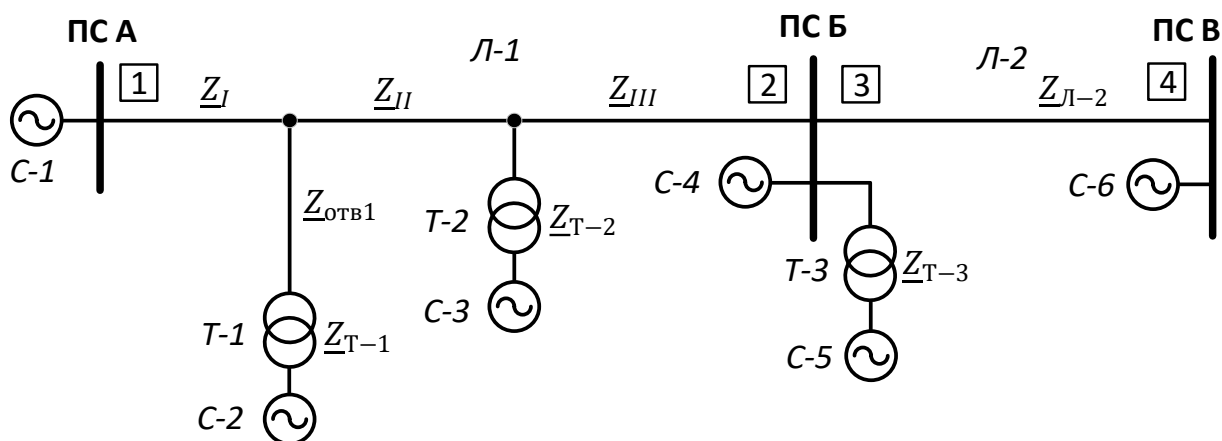
6.1. Типовые схемы участков сети

Указания по расчету и выбору параметров настройки трехступенчатой ДЗ одиночных и параллельных ЛЭП с питанием с двух и более сторон при наличии ответвлений (отпаяк) приводятся для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 6.1).

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 ДЗ устанавливается на всех питающих концах. В этом случае расчетные условия для выбора параметров настройки ДЗ, установленной со стороны ПС на ответвлении при любой схеме электрических соединений ПС, за исключением блочной схемы Т (АТ) – линия, аналогичны рассмотренным в данном разделе.

При блочной схеме электрических соединений ПС на ответвлении ДЗ может подключаться к ТН, установленным на стороне НН (СН) Т (АТ) блока. В этом случае принципы выполнения и расчетные условия по выбору параметров настройки ДЗ аналогичны ДЗ ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия, указания по расчету приведены в разделе 7.

Типовые схемы электрической сети при наличии на смежных участках ЛЭП с проходными ПС или ЛЭП с односторонним питанием в данном разделе не рассматриваются. Указания по расчету и выбору параметров настройки ДЗ ЛЭП с учетом данных схем приведены в разделах 4, 5 и аналогичны при наличии на ЛЭП ответвлений (отпаяк).



а)

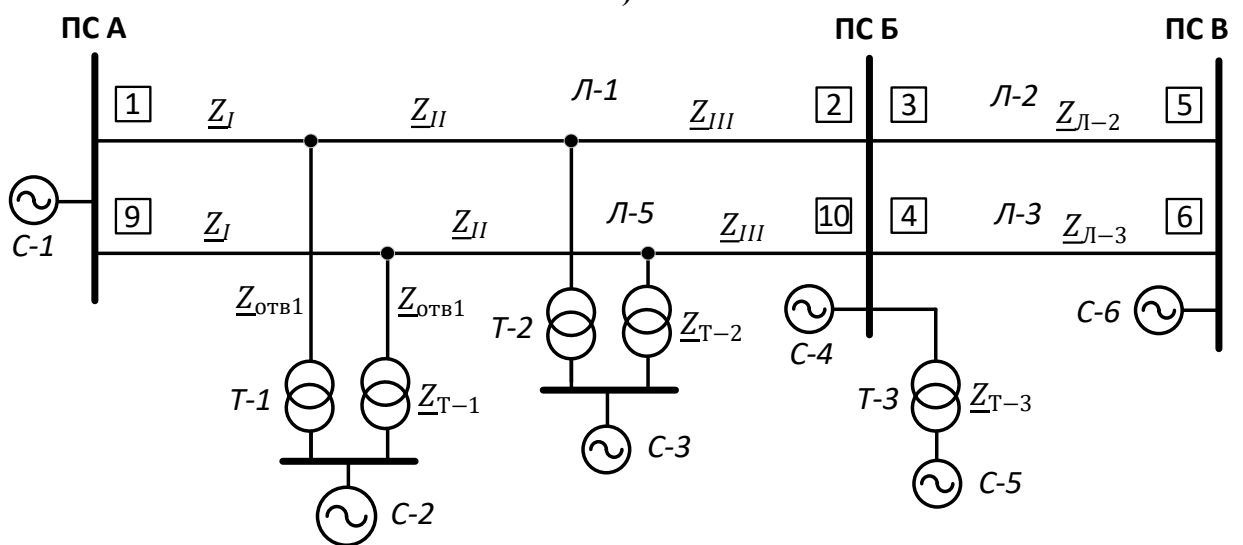
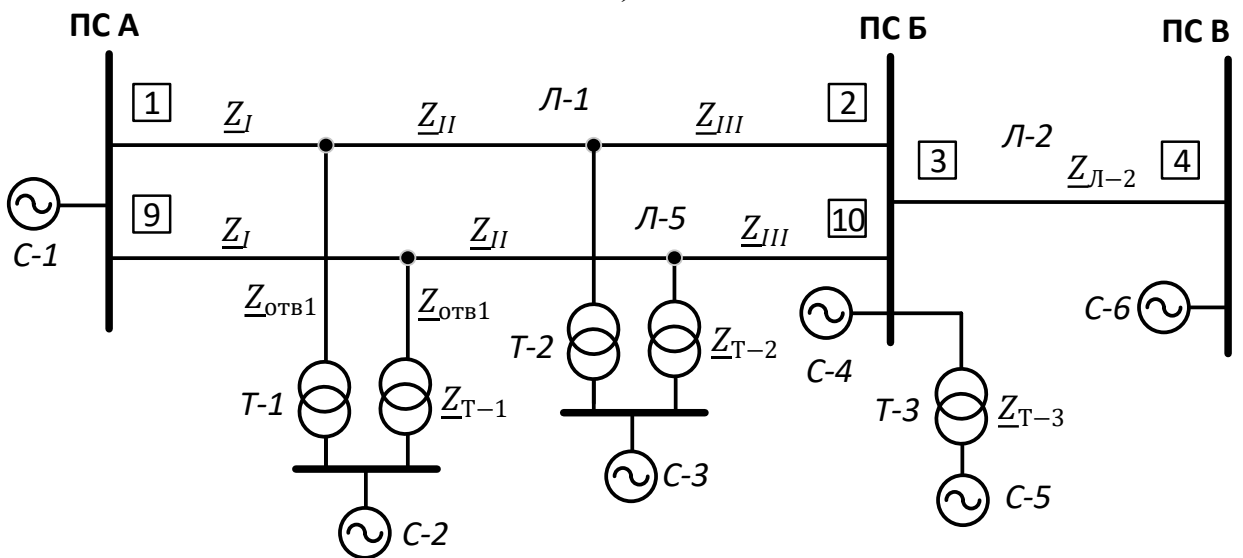
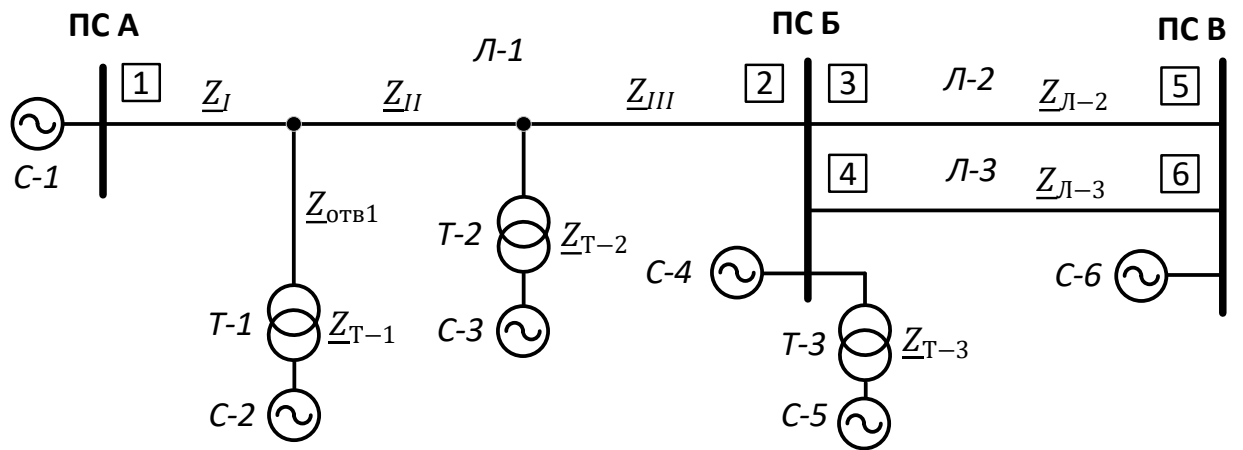


Рисунок 6.1. Примеры типовых схем участков сети с одиночными и параллельными ЛЭП с двусторонним питанием при наличии ответвлений (отпаек)

Приведенные на рисунке 6.1 примеры типовых 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 установкой короткозамыкателя на стороне ВН, который автоматически включается при действии устройств РЗ Т (АТ) для искусственного создания КЗ и обеспечения работы устройств РЗ питающей ЛЭП.

Источниками со стороны НН (СН) Т (АТ) ПС 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 (АТ) ПС на ответвлении с другими источниками 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;
- на тяговых ПС на ответвлениях источником может являться контактная сеть однофазного переменного тока электрифицированной железной дороги, поскольку на тяговых ПС Т работают, как правило, параллельно на стороне 27 кВ и связаны со смежными ПС через контактную сеть.

В качестве не двигательной нагрузки на ПС ответвлений могут рассматриваться бытовые и промышленные токоприемники, которые целесообразно учитывать в виде шунтов обобщенных нагрузок, величина сопротивления которых может быть приближенно определена в зависимости от мощности Т (АТ), установленных на ПС ответвления, а также типового состава потребителей промышленного района.

6.2. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

6.2.1. Общие указания по расчету и выбору параметров настройки трехступенчатой ДЗ одиночных и параллельных ЛЭП с питанием с двух и более сторон при наличии ответвлений (отпаек) соответствуют указаниям, приведенным для одиночной ЛЭП с двусторонним питанием в пункте 4.2.1.

Дополнительно необходимо учитывать следующие расчетные условия и указания по расчету.

6.2.1.1. Расчет параметров настройки ДЗ ЛЭП с ответвлениями необходимо производить с учетом особенностей режимов их работы.

По условиям отстройки и согласования:

- 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 ДЗ параллельных ЛЭП с ответвлениями (рисунок 6.1, «в», «г») в случае параллельной работы Т ПС на ответвлениях на стороне НН (СН), а также в случае наличия ремонтной перемычки на стороне ВН ПС ответвления, должен рассматриваться режим, когда параллельная ЛЭП отключена, а подключенные к ней в нормальном режиме Т на ответвлениях переведены на питание от защищаемой ЛЭП.

По условию обеспечения чувствительности:

- со стороны ПС на ответвлениях включено максимально возможное количество источников;
- защищаемая ЛЭП включена в транзит при минимальном режиме системы со стороны рассматриваемой защиты и максимальном режиме системы, примыкающей с противоположной стороны ЛЭП.

Следует отметить, что параллельная работа Т ПС 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 ДЗ 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).

6.2.1.2. Расчет сопротивления срабатывания ступеней ДЗ 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 выбора сопротивления срабатывания по условию отстройки или согласования;
- минимально возможный для выбора сопротивления срабатывания по условию обеспечения чувствительности.

Наличие промежуточного источника со стороны ПС на ответвлении между местом установки ДЗ и местом КЗ (промежуточная подпитка) приводит к увеличению сопротивления, измеряемого ДЗ защиты.

Отсутствие промежуточного источника питания со стороны ПС на ответвлении в некоторых случаях может привести к уменьшению измеряемого

сопротивления из-за эффекта «отрицательной подпитки» при наличии обходной связи между двумя концами линии, как показано на рисунке 6.2.

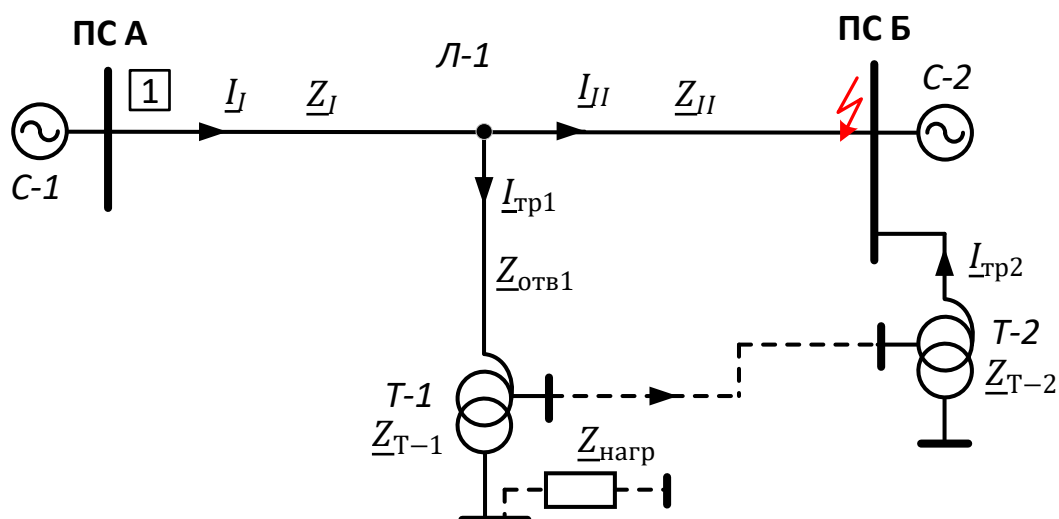


Рисунок 6.2. Эффект «отрицательной подпитки» при КЗ на ЛЭП с ответвлением

Аналогичное распределение токов при КЗ в конце ЛЭП может иметь место при отсутствии источника питания и подключении шунта неведомательной нагрузки $Z_{\text{нагр}}$ со стороны ПС на ответвлении. В этом случае эффект «отрицательной подпитки» также приводит к уменьшению сопротивления, измеряемого ДО защиты, что необходимо учитывать при выборе сопротивления срабатывания ступеней ДЗ по условию селективности. Влияние подключения шунта нагрузки на распределение токов сказывается сильнее при удаленных КЗ при сохранении остаточного напряжения на шинах ПС на ответвлении.

6.2.1.3. Расчет сопротивления срабатывания ДО от междуфазных КЗ по условию отстройки или обеспечению чувствительности при КЗ на шинах НН Т (АТ) ПС на ответвлениях производится при трехфазных и двухфазных КЗ, в случае двухфазных КЗ необходимо учитывать влияние схемы соединения обмоток силовых Т Y/Δ на дистанционные замеры.

6.2.1.4. Расчет сопротивления срабатывания ДО от КЗ на землю необходимо производить с учетом возможных режимов заземления нейтралей Т ПС на ответвлениях.

6.2.1.5. Расчет сопротивления срабатывания ступеней ДЗ без выдержки времени по условию отстройки от БТН силовых Т ПС на ответвлениях при включении ЛЭП под напряжение необходимо производить в соответствии с указаниями пункта 10.2 и приложения Е.

6.2.1.6. При наличии РПН Т (АТ) ПС на ответвлениях расчет сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ по условию отстройки при КЗ на шинах НН (СН) Т (АТ) необходимо производить в соответствии с пунктом 3.3.2.5. При расчетах по данному условию требуется рассматривать

КЗ за наиболее мощными Т, расположенными ближе к месту установки рассматриваемой защиты.

Отстройка первой и второй ступеней ДЗ от замеров при КЗ на шинах НН (СН) Т (АТ) ПС на ответвлениях может привести к сокращению зоны срабатывания этих ступеней по сравнению с соответствующими ступенями ДЗ ЛЭП без ответвлений.

6.2.1.7. Рекомендации по замедлению действия первой ступени ДЗ на отключение

При КЗ вблизи шин ВН ПС на ответвлении (на ошиновке ВН, на выводах или в обмотке ВН Т (АТ)) 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 (АТ) подействуют на отключение (на отключение выключателя или на включение короткозамыкателя на стороне ВН). Это может привести к подаче напряжения на оставшийся включенным поврежденный Т (АТ) устройством АПВ ЛЭП.

Для предотвращения подобных случаев, если сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ не отстроено от КЗ на стороне ВН Т ПС на ответвлении, целесообразно действие на отключение указанной ступени замедлять до 0,12 с при условии обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования.

Недостатком такого решения является возможный отказ первой ступени ДЗ при близких трехфазных КЗ из-за недостаточной длительности импульса срабатывания ДО защиты по «контуру памяти».

В целях обеспечения надежного отключения близких трехфазных КЗ:

- для устройств РЗ на электромеханической элементной базе рекомендуется использовать МФТО, если она эффективна при трехфазных КЗ в начале ЛЭП в нормальной схеме и минимальном режиме работы примыкающей энергосистемы, или выполнить подхват первой ступени ДЗ от третьей ступени ДЗ, при этом характеристика срабатывания третьей ступени ДЗ должна иметь смещение в третий квадрант комплексной плоскости сопротивлений;

- для МП устройств РЗ выполнить подхват первой ступени ДЗ от второй ненаправленной ступени ДЗ.

6.2.2. Перечень расчетных условий для выбора параметров настройки ДЗ одиночной и параллельных ЛЭП с питанием с двух и более сторон при наличии ответвлений (отпаек).

В таблице 6.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки трехступенчатой ДЗ 1 ЛЭП Л-1 с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 6.1, «а» – «г»).

Расчетные условия для выбора параметров настройки ДЗ

№ пункта	Степень защиты	Схема	Расчетные условия
1.1	1 степень (степень без выдержки времени)	а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах ПС Б, примыкающей к противоположному концу ЛЭП Л-1
1.2			Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1
1.3			Проверка зоны охвата ЛЭП при металлических КЗ
1.4			Обеспечение чувствительности при КЗ через переходное сопротивление в начале ЛЭП Л-1 и в конце зоны охвата 1 степени ДЗ (для ДЗ с полигональной характеристикой)
2.1	2 степень	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ на каждом противоположном конце ЛЭП Л-1
2.2		а, в	Согласование с 1 (2) степенью защиты 3
		в, г	Согласование с 1 (2) степенью защиты 10 при каскадном отключении повреждения на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
2.3		б, г	Отстройка от КЗ на шинах ПС В
2.4		а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б
2.5		а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1
2.6		а, б, в, г	Отстройка от БТН Т ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1
3.1	3 степень	а, б, в, г	Обеспечение чувствительности при КЗ на каждом конце ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования
3.2		а, в	Согласование с 2 (3) степенью защиты 3
3.3		б, г	Согласование с 2 (3) степенью защиты 3 и защиты 4
3.4		в, г	Согласование с 2 (3) степенью защиты 10 при каскадном отключении повреждения на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А
3.5		а, б, в, г	Согласование с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б
3.6		а, б, в, г	Согласование с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1
3.7		а, б, в, г	Отстройка от нагрузочных режимов работы энергосистем
3.8		а, б, в, г	Отстройка от БТН Т (АТ) ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1

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

6.3. Расчет параметров настройки ДЗ с круговыми характеристиками

6.3.1. Перечень параметров настройки ДЗ ЛЭП с круговыми характеристиками срабатывания, которые требуется определить в процессе расчета, приведен в таблице 6.2.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания первой ступени ДЗ приводятся с учетом того, что ступень может иметь общее сопротивление срабатывания ДО от всех видов КЗ ($Z_{уст}^I$) или может иметь независимое регулирование сопротивления срабатывания ДО от междуфазных КЗ ($Z_{устф\phi}^I$) и ДО от КЗ на землю ($Z_{устфз}^I$).

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания вторых и третьих ступеней ДЗ приводятся для ДО от междуфазных КЗ.

Таблица 6.2

Перечень параметров ДЗ с круговыми характеристиками

№ п/п	Ступень защиты	Обозначение параметра	Наименование параметра
1	1 ступень	$Z_{уст1}^I$	Общее сопротивление срабатывания ДО первой ступени от всех видов КЗ
		$Z_{уст1\phi\phi}^I$	Сопротивление срабатывания ДО первой ступени от междуфазных КЗ
		$Z_{уст1фз}^I$	Сопротивление срабатывания ДО первой ступени от КЗ на землю
2	2 ступень	$Z_{уст1\phi\phi}^{II}$	Сопротивление срабатывания ДО второй ступени от междуфазных КЗ
3	3 ступень	$Z_{уст1\phi\phi}^{III}$	Сопротивление срабатывания ДО третьей ступени от междуфазных КЗ

6.3.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ДЗ от всех видов КЗ

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ДЗ, – обеспечение селективного отключения всех видов КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

6.3.2.1. Первая ступень защиты 1 для типовых конфигураций электрической сети (рисунок 6.1, «а» – «г») выполняется без выдержки времени с учетом пункта 6.2.1.7 по замедлению действия первой ступени ДЗ на отключение.

6.3.2.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б (пункт 1.1, таблица 6.1) производится по выражению (6.1) в соответствии с указаниями по расчету

сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.2.2, и указаниями пунктов 6.2.1.1, 6.2.1.2.

Дополнительно при расчете сопротивления срабатывания $Z_{уст1фз}^I$ ДО от КЗ на землю необходимо учитывать пункт 6.2.1.4 и рекомендации приложения А по расчету коэффициентов компенсации для ЛЭП с ответвлениями.

$$Z_{уст1}^I \leq k_{отс} \cdot \frac{|Z_p|}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}, \quad (6.1)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности круговой характеристики;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.3.

Для ЛЭП без учета емкостной проводимости расчетное сопротивление Z_p при металлических междуфазных КЗ на шинах ПС Б (рисунок 6.3) определяется по выражению:

$$Z_p = Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ТII}} + \frac{Z_{III}}{k_{ТIII}}, \quad (6.2)$$

где Z_I, Z_{II}, Z_{III} – сопротивления прямой последовательности участков ЛЭП Л-1;

$k_{ТII}, k_{ТIII}$ – коэффициенты токораспределения.

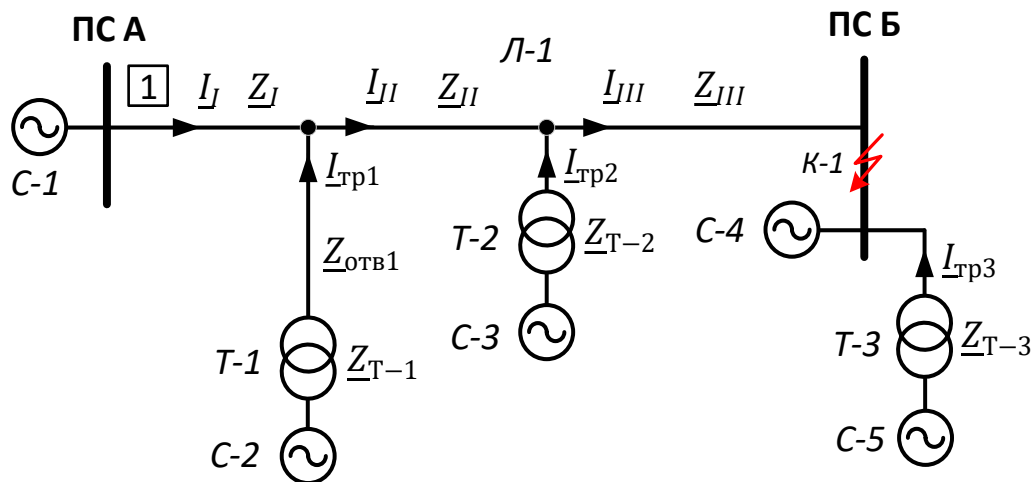


Рисунок 6.3. Определение коэффициентов токораспределения при КЗ в точке К-1

Коэффициенты токораспределения при КЗ на шинах ПС Б определяются по выражениям:

$$k_{ТII} = \frac{I_I}{I_{II}}, \quad k_{ТIII} = \frac{I_I}{I_{III}} \quad (6.3)$$

При наличии параллельной ЛЭП (рисунок 6.1, «в», «г»)) определение коэффициентов токораспределения при междуфазных КЗ на шинах ПС Б также производится по выражениям (6.3).

Расчетными являются такие значения коэффициентов $k_{ТII}, k_{ТIII}$, которым соответствует наименьшее сопротивление срабатывания согласно выражению (6.1).

6.3.2.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах НН (СН) Т (АТ) ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1 (пункт 1.2, таблица 6.1) производится по выражению (6.1) в соответствии с пунктами 6.2.1.1, 6.2.1.2, 6.2.1.3, 6.2.1.6.

Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фз}^I$ ДО от КЗ на землю по данному расчетному условию не производится, если обмотка Т (АТ) на стороне НН (СН) собрана в Δ или Y без заземленной нейтрали.

Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^I$ ДО от междуфазных КЗ по условию отстройки от КЗ на шинах НН Т (АТ) ПС на ответвлениях производится при трехфазных и двухфазных КЗ, при двухфазных КЗ необходимо учитывать влияние схемы соединения обмоток силовых Т Y/ Δ на дистанционные замеры.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^I$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и при междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом доаварийном перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом доаварийных перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

Для ЛЭП без учета емкостной проводимости сопротивления \underline{Z}_p при металлических трехфазных КЗ на шинах НН (СН) Т (АТ) ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1 рассчитываются по выражениям:

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_J + \frac{\underline{Z}_{отв\ 1} + \underline{Z}_{Т-1}}{k_{Т\ Т-1}}; \quad (6.4)$$

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_J + \frac{\underline{Z}_{JI}}{k_{Т\ II}} + \frac{\underline{Z}_{Т-2}}{k_{Т\ Т-2}}, \quad (6.5)$$

где $\underline{Z}_{отв\ 1}$ – сопротивление первого ответвления;

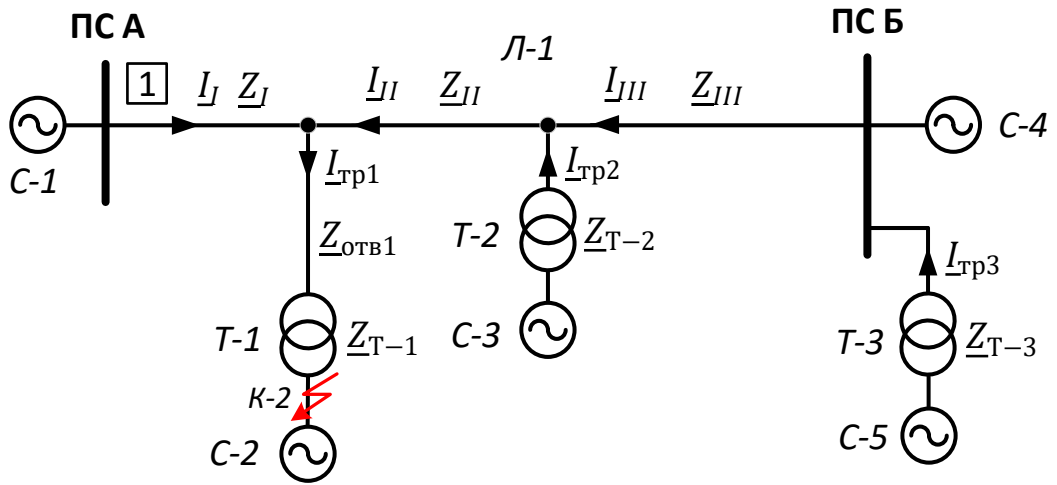
$\underline{Z}_{Т-1}, \underline{Z}_{Т-2}$ – сопротивления Т (АТ) Т-1, Т-2;

$k_{Т\ II}, k_{Т\ Т-1}, k_{Т\ Т-2}$ – коэффициенты токораспределения.

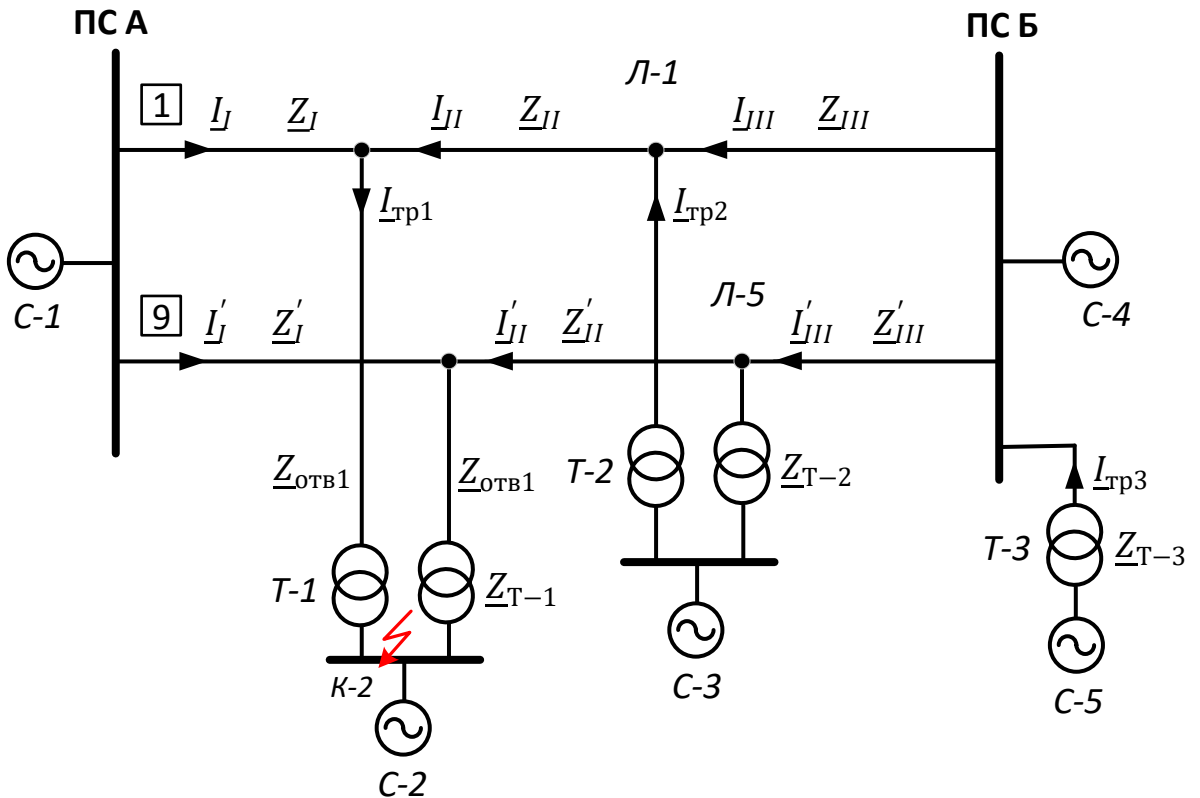
При наличии на Т (АТ) Т-1, Т-2 регулирования напряжения под нагрузкой при расчете \underline{Z}_p следует учитывать минимальные значения сопротивлений $\underline{Z}_{Т-1}, \underline{Z}_{Т-2}$, рассчитанные при крайних (фактических) положениях переключателей РПН.

Коэффициент токораспределения при междуфазных КЗ на шинах НН (СН) первой ответвительной ПС ЛЭП Л-1 (К-2, рисунок 6.4) определяется по выражению:

$$k_{T\ T-1} = \frac{I_I}{I_{Tр\ 1}} \tag{6.6}$$



для схем «а» и «б»



для схем «в» и «г»

Рисунок 6.4. Определение коэффициентов токораспределения при КЗ в точке К-2

Коэффициенты токораспределения при междуфазных КЗ на шинах НН (СН) второй ответвительной ПС ЛЭП Л-1 (К-3, рисунок 6.5) определяются по выражениям:

$$k_{T\ II} = \frac{I_I}{I_{II}}, \quad k_{T\ T-2} = \frac{I_I}{I_{Tр\ 2}} \tag{6.7}$$

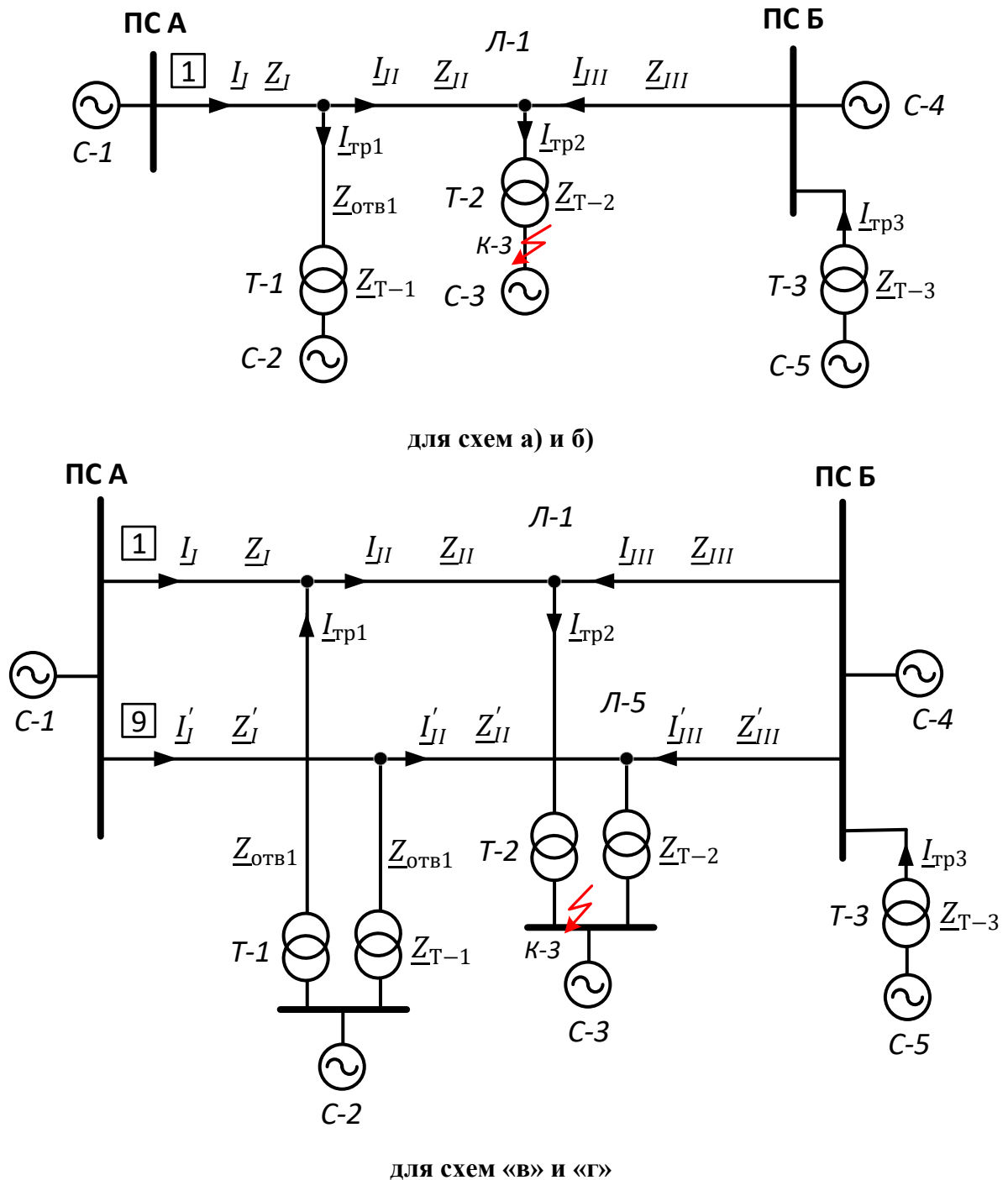


Рисунок 6.5. Определение коэффициентов токораспределения при КЗ в точке К-3

Расчетным является такое значение коэффициента токораспределения, которому соответствует наименьшее значение сопротивления срабатывания согласно выражению (6.1).

При наличии на ПС ответвлений выключателей на стороне ВН Т (АТ) допускается производить расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ 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 ПС

на ответвлениях вместо отстройки от КЗ на шинах СН (НН) приводит к существенному сокращению зоны охвата ЛЭП первой ступенью защиты 1. Возможность использования данного условия необходимо оценивать, исходя из конкретных схемно-режимных условий и состава устройств РЗ ЛЭП Л-1 и оборудования ПС на ответвлениях.

6.3.2.4. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ первой ступени защиты 1 по условию обеспечения перекрытия зон первых ступеней ДЗ с двух сторон защищаемой ЛЭП (пункт 1.3, таблица 6.1) производится по выражению (4.2) в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.2.3.

6.3.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Требования, предъявляемые ко второй ступени ДЗ, – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине и на каждом конце защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие второй ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

6.3.3.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по обеспечению чувствительности к КЗ на каждом конце ЛЭП Л-1, противоположному месту установки защиты 1 (пункт 2.1, таблица 6.1) производится по выражению (4.3) в соответствии с пунктами 4.3.3.1, 6.2.1.1, 6.2.1.2.

При наличии на защищаемой ЛЭП ответвлений значительной длины зачастую затруднительно одновременно обеспечить требуемую чувствительность второй ступени ДЗ при КЗ в конце длинного ответвления и селективность с защитами смежных присоединений. В этом случае необходимо обеспечить требуемую чувствительность третьей ступени ДЗ при КЗ на каждом конце защищаемой ЛЭП в соответствии с пунктом 3.3.5.4. Чувствительность второй ступени ДЗ к КЗ в конце длинного ответвления допускается обеспечить в режиме каскадного отключения ЛЭП с противоположной стороны при условии обеспечения:

- требуемой чувствительности второй ступени ДЗ 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.

6.3.3.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 по условию согласования с дистанционными и/или резервными токовыми защитами смежных присоединений от междуфазных КЗ требуется проводить методом поиска конца зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование с учетом возможного сокращения ее зоны, и отстройкой от полученного расчетного замера по выражению:

$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot |Z_p| \cdot d, \quad (6.8)$$

где $|Z_p|$ – модуль расчетного сопротивления;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.7 и/или пункту 3.3.4.1;

d – параметр, который учитывает возможное различие угла максимальной чувствительности круговой характеристики второй ступени защиты 1 и угла расчетного сопротивления Z_p , определяется по выражению:

$$d = \frac{1}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)} \quad (6.9)$$

Расчетные выражения по условиям согласования или отстройки с использованием параметров схемы замещения элементов электрической сети приводятся далее для пояснения принципов расчета и справедливы для частного случая однородных ЛЭП без емкостной проводимости при равных углах максимальной чувствительности круговых характеристик согласуемых защит.

При согласовании ДЗ смежных сетевых элементов с разнотипными характеристиками срабатывания необходимо учитывать пункт 3.3.2.9.

При согласовании ДЗ с резервными токовыми защитами смежных сетевых элементов от междуфазных КЗ необходимо учитывать пункты 3.3.4.1 и 3.3.4.2.

6.3.3.3. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а», «в») по согласованию с первой ступенью защиты 3 (пункт 2.2, таблица 6.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_I + \frac{Z_{JI}}{k_{TII}} + \frac{Z_{JII}}{k_{TIII}} + \frac{1 - \alpha}{k_{TIV}} \cdot Z_{уст3}^I \right| \cdot d, \quad (6.10)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.7;

α – коэффициент, учитывающий сокращение зоны ступени ДЗ, с которой производится согласование, определяется согласно пункту 3.3.1;

$Z_{уст3}^I$ – сопротивление срабатывания ДО первой ступени от междуфазных КЗ защиты 3;

$k_{TII}, k_{TIII}, k_{TIV}$ – коэффициенты токораспределения;

d – определяется согласно выражению (6.9) в случае круговой характеристики.

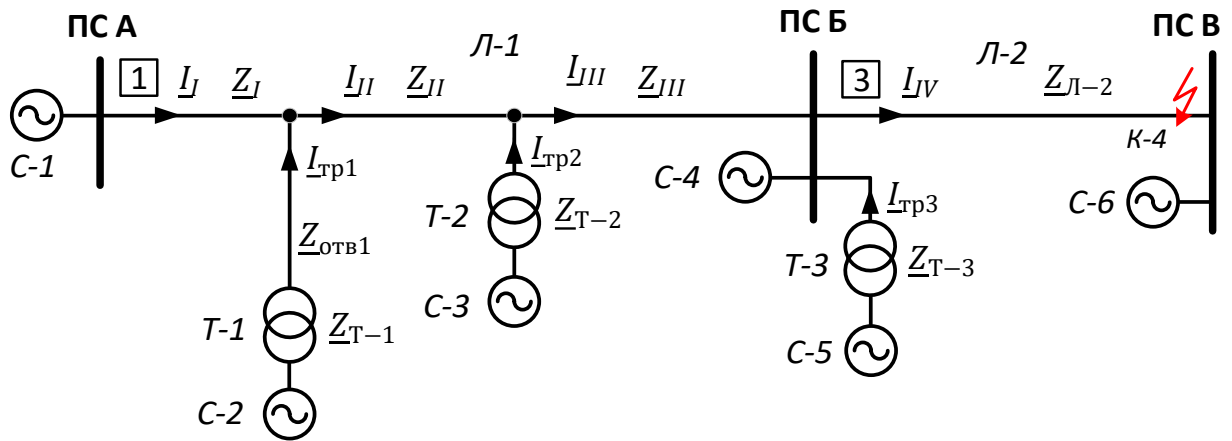
Коэффициенты токораспределения при согласовании с первой ступенью защиты 3 (К-4, рисунок 6.6) k_{TII}, k_{TIII} определяются согласно выражению (6.3), коэффициент токораспределения k_{TIV} определяется по выражению:

$$k_{TIV} = \frac{I_I}{I_{IV}} \quad (6.11)$$

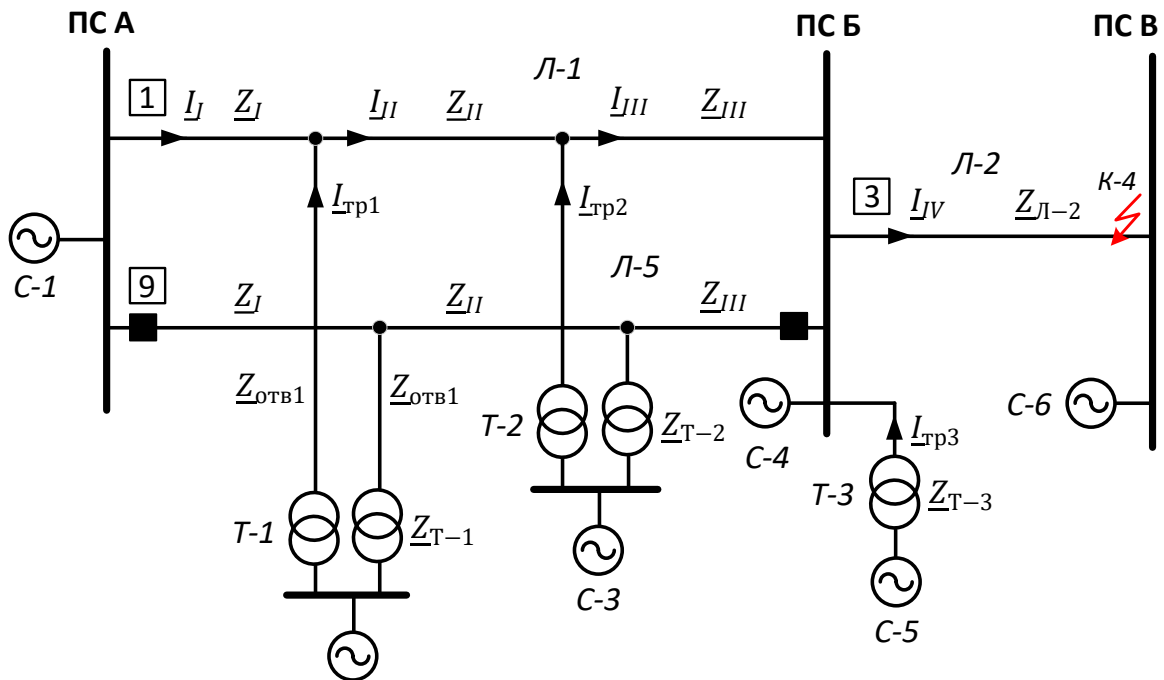
Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а», «в») по согласованию с первой ступенью защиты 3 в режиме

каскадного отключения КЗ со стороны ПС В необходимо производить с учетом коэффициента возврата ДО второй степени защиты 1 в соответствии с пунктом 4.3.3.3.

Согласование с первой ступенью защиты 3 (К-4, рисунок 6.6) для схемы «в» производится при отключенной параллельной ЛЭП Л-5.



для схемы «а»



для схемы «в»

Рисунок 6.6. Определение коэффициентов токораспределения при КЗ в точке К-4

Если сопротивление срабатывания второй степени защиты 1, выбранное по согласованию с первой ступенью защиты 3, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 6.3.3.1), согласование следует производить со второй ступенью защиты 3.

6.3.3.4. Расчет сопротивления срабатывания второй степени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «в», «г») по согласованию с первой ступенью

защиты 10 при каскадном отключении повреждения на параллельной ЛЭП Л-5 со стороны ПС А (пункт 2.2, таблица 6.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| \underline{Z}_I + \frac{\underline{Z}_{II}}{k_{TII}} + \frac{\underline{Z}_{III}}{k_{TIII}} + \frac{1-\alpha}{k'_{TIII}} \cdot Z_{уст10}^I \right| \cdot d \quad (6.12)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.7;
 α – коэффициент, учитывающий сокращение зоны ступени ДЗ, с которой производится согласование, определяется согласно пункту 3.3.1;

$Z_{уст10}^I$ – сопротивление срабатывания ДО первой ступени от междупазных КЗ защиты 10;

$k_{TII}, k_{TIII}, k'_{TIII}$ – коэффициенты токораспределения;

d – определяется согласно выражению (6.9) в случае круговой характеристики.

Коэффициенты токораспределения при согласовании с первой ступенью защиты 10 (К-5, рисунок 6.7) определяются по выражениям:

$$k_{TII} = \frac{I}{I_{II}}, \quad k_{TIII} = \frac{I}{I_{III}}, \quad k'_{TIII} = \frac{I}{I'_{III}} \quad (6.13)$$

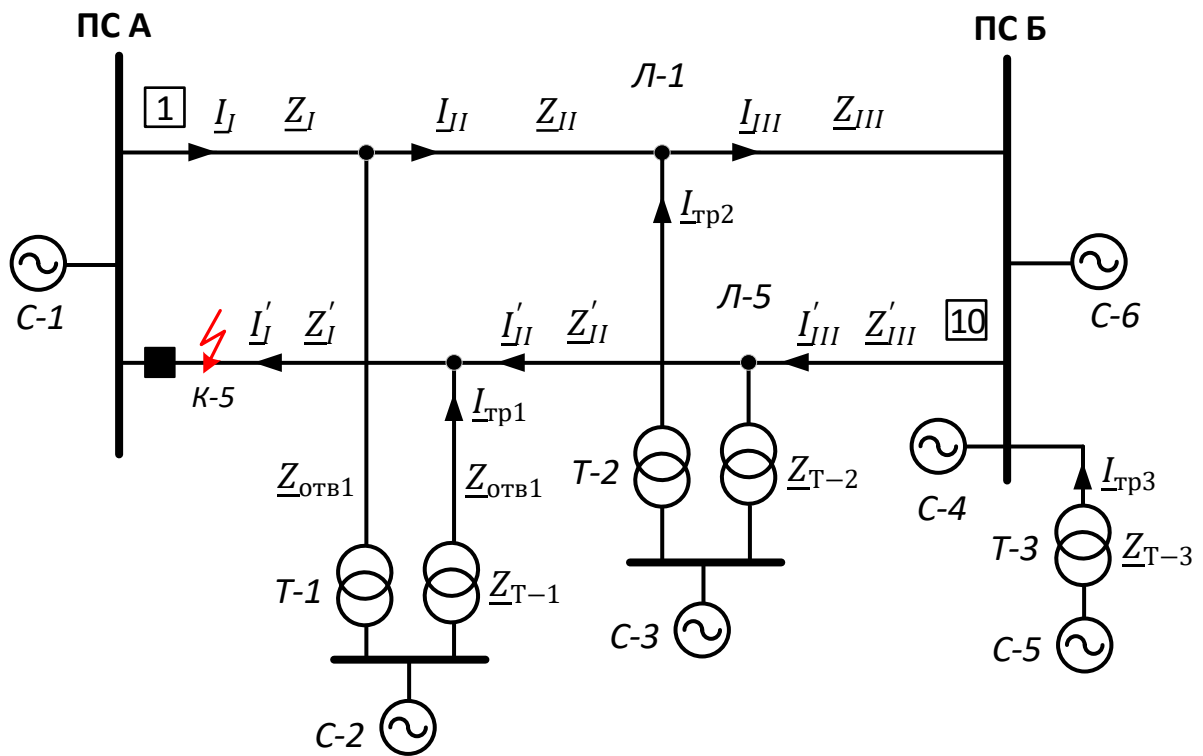


Рисунок 6.7. Определение коэффициентов токораспределения для КЗ в точке К-5

Если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1, выбранное по согласованию с первой ступенью защиты 10, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 6.3.3.1), согласование следует производить со второй ступенью защиты 10.

6.3.3.5. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схемы (рисунок 6.1, «б», «г») по условию отстройки от

междуфазных КЗ на шинах ПС В (пункт 2.3, таблица 6.1), производится по выражению:

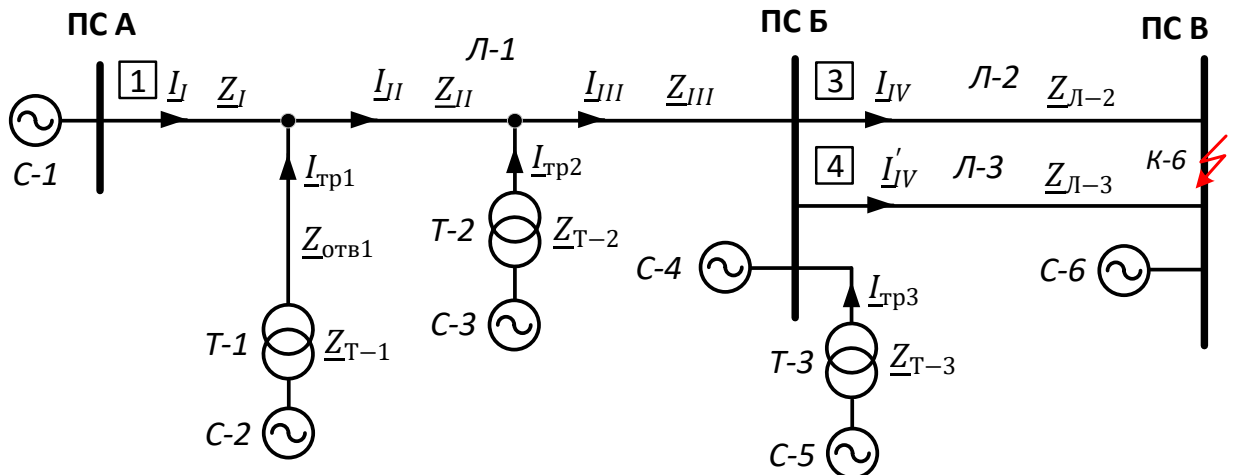
$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{TII}} + \frac{Z_{III}}{k_{TIII}} + \frac{Z_{Л-2} \cdot Z_{Л-3}}{(Z_{Л-2} + Z_{Л-3})} \right| \cdot d, \quad (6.14)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.6;
 $Z_{Л-2}, Z_{Л-3}$ – сопротивления ЛЭП Л-2 и Л-3;
 $k_{TII}, k_{TIII}, k_{TIV}$ – коэффициенты токораспределения;
 d – определяется согласно выражению (6.9) в случае круговой характеристики.

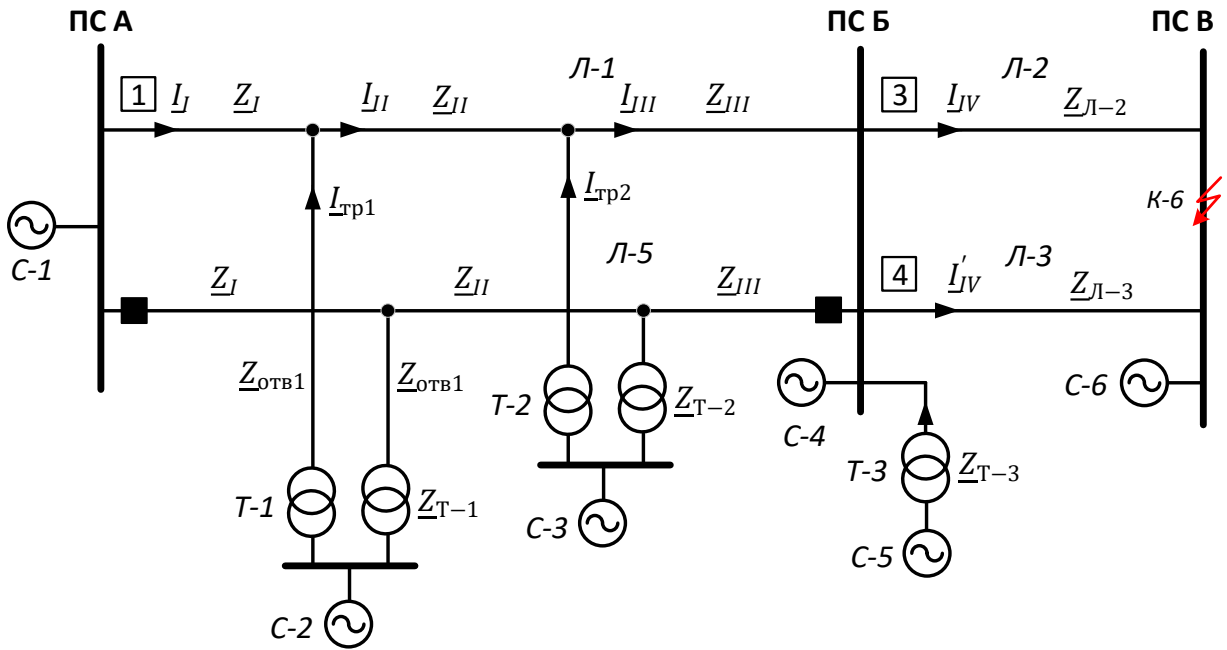
Коэффициенты токораспределения k_{TII}, k_{TIII} при отстройке от КЗ на шинах ПС В (К-6, рисунок 6.8) определяются по выражению (6.3).

Коэффициент токораспределения k_{TIV} при отстройке от КЗ на шинах ПС В (К-6, рисунок 6.8) определяется при включенных параллельных ЛЭП Л-2, Л-3 по выражению:

$$k_{TIV} = \frac{I_I}{I_{IV} + I'_{IV}} \quad (6.15)$$



для схемы «б»



для схемы «Г»

Рисунок 6.8. Определение коэффициентов токораспределения при КЗ в точке К-6

Отстройка от КЗ на шинах ПС В (К-6, рисунок 6.8) для схемы «Г» производится при отключенной параллельной ЛЭП Л-5 и включенных ЛЭП Л-2 и Л-3.

Если сопротивление срабатывания $Z_{уст1\phi}^{II}$ второй ступени защиты 1, выбранное по условию отстройки от КЗ на шинах ПС В, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 6.3.3.1), в этом случае выбор сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 выполняется в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.3.5.

6.3.3.6. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схемы (рисунок 6.1, а – г) по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б (пункт 2.4, таблица 6.1), производится по выражению:

$$Z_{уст1\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{TII}} + \frac{Z_{III}}{k_{TIII}} + \frac{Z_{T-3}}{k_{TT-3}} \right| \cdot d, \quad (6.16)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.5; Z_{T-3} – эквивалентное сопротивление параллельно работающим Т (АТ) Т-3;

k_{TII} , k_{TIII} , k_{TT-3} – коэффициенты токораспределения;

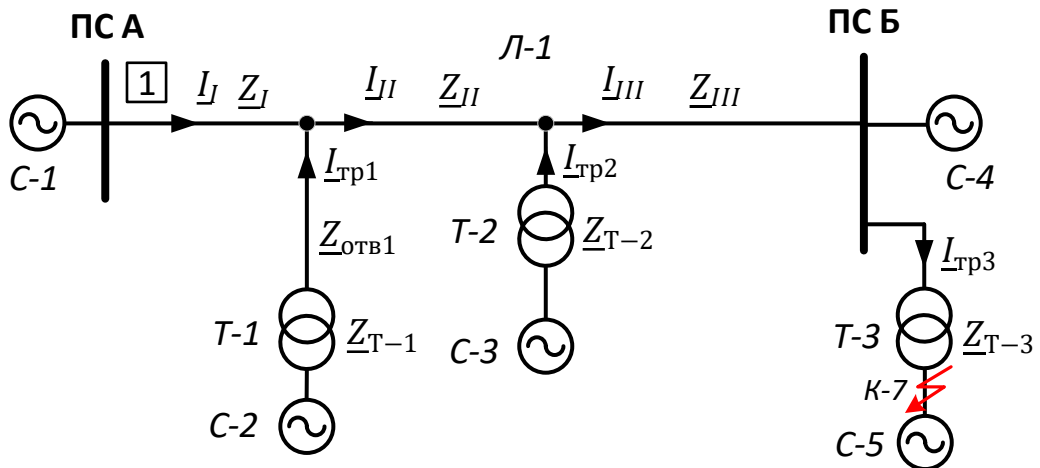
d – определяется согласно (6.9) в случае круговой характеристики.

При наличии на Т (АТ) Т-3 регулирования напряжения под нагрузкой при расчете $Z_{уст1\phi}^{II}$ следует учитывать минимальные возможные значения Z_{T-3} , рассчитанные при крайних положениях переключателей РПН.

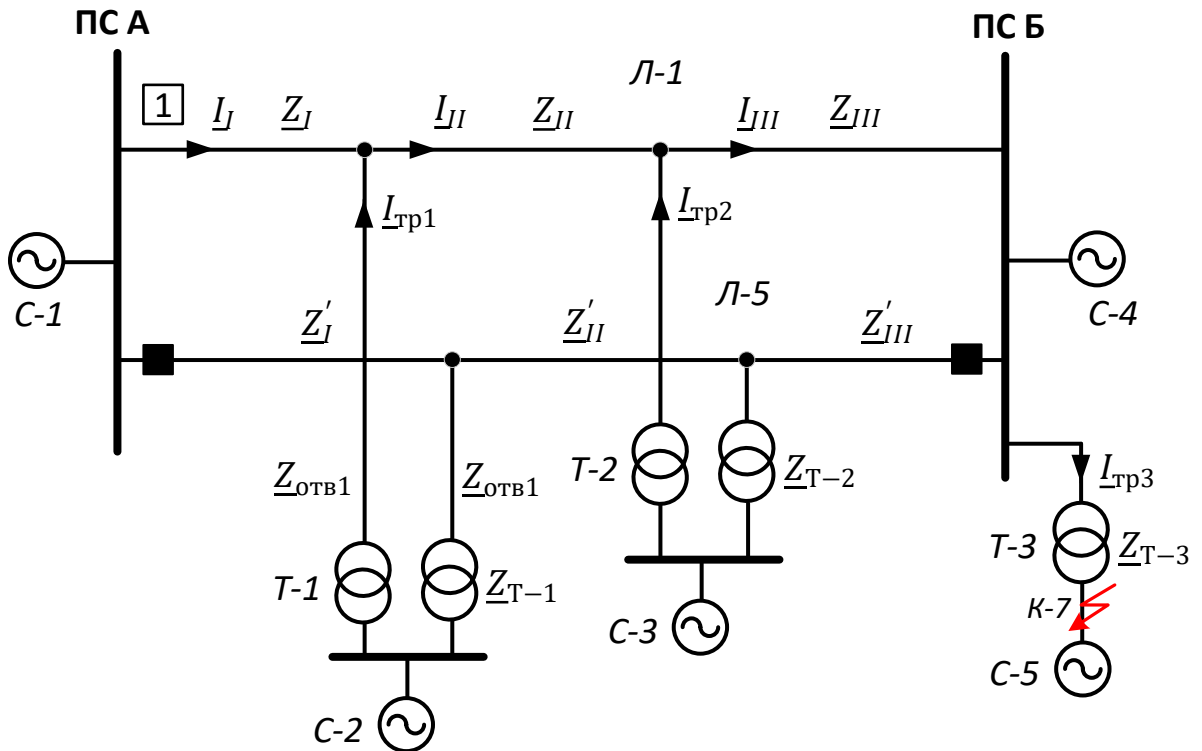
Коэффициенты токораспределения k_{TII} , k_{TIII} при отстройке от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б (К-7, рисунок 6.9) определяются по выражению (6.3).

Коэффициент токораспределения $k_{TТ-3}$ при отстройке от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б (К-7, рисунок 6.9) определяется по выражению:

$$k_{TТ-3} = \frac{I_I}{I_{Tр3}} \quad (6.17)$$



для схем «а» и «б»



для схем «в» и «г»

Рисунок 6.9. Определение коэффициентов токораспределения при КЗ в точке К-7

Отстройка от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б (К-7, рисунок 6.9) для схем «в», «г» производится при отключенной ЛЭП Л-5.

Если сопротивление срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1, выбранное по условию отстройки, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 6.3.3.1), в этом случае расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 выполняется по согласованию с резервными защитами Т (АТ) ПС Б от междуфазных КЗ в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.3.7.

6.3.3.7. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах НН (СН) ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1 (пункт 2.5, таблица 6.1) производится в соответствии с расчетом сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I$ первой ступени защиты 1, указания по расчету приведены в пункте 6.3.2.3.

Если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1, выбранное по условию отстройки от КЗ на шинах НН (СН) ПС на ответвлениях, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 6.3.3.1), в этом случае расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 выполняется по согласованию с резервными защитами от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС на ответвлениях. Указания по расчету соответствуют указаниям по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ одиночной ЛЭП, приведенным в пункте 4.3.3.7.

6.3.3.8. Расчет выдержки времени второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») производится по выражению (4.19) в соответствии с пунктом 4.3.3.8.

В случае выполнения ответвительных ПС на стороне ВН по схеме отделитель – короткозамыкатель (без установки выключателя) допускается при согласовании по времени второй ступени защиты 1 с защитами от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС на ответвлении, действующими на включение короткозамыкателя на стороне ВН, принимать степень селективности $\Delta T = 0$ с.

В целях предотвращения подачи напряжения на поврежденный Т (АТ) устройством АПВ ЛЭП целесообразно степень селективности принять равной $\Delta T = 0,12$ с аналогично рекомендациям по замедлению действия первой ступени ДЗ на отключение, приведенным в пункте 6.2.1.7.

6.3.3.9. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по условию отстройки от БТН Т (АТ) ПС ответвлений (пункт 2.6, таблица 6.1) производится при использовании АУ данной ступени. Указания по расчету параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ДЗ приведены в пункте 10.2 и приложении Е.

6.3.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основные требования, предъявляемые к третьей ступени ДЗ, – обеспечение резервирования устройств РЗ своей ЛЭП и защит или выключателей смежных элементов (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие третьей ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [1] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ДЗ ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет должен быть отдан требованию обеспечения чувствительности.

6.3.4.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности к междуфазным КЗ на каждом конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 6.1) производится по выражению (4.21) с учетом указаний по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ одиночной ЛЭП, приведенных в пункте 4.3.4.1.

Если чувствительность третьей ступени к междуфазным КЗ в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, в соответствии с Правилами устройства электроустановок [2] допускается:

- не резервировать КЗ на стороне смежного напряжения Т (АТ) ПС Б и ПС на ответвлениях;
- не резервировать КЗ на смежных ЛЭП 110 кВ и выше при наличии УРОВ и при условии обеспечения ближнего резервирования на смежных ЛЭП;
- обеспечивать дальнейшее резервирование без учета редких ремонтных схем и при каскадном действии защит смежных присоединений;
- предусматривать возможность неселективного действия третьей ступени ДЗ при КЗ на смежных элементах, исправляемого действием АПВ и АВР;
- не согласовывать по чувствительности ступени ДЗ, предназначенные для дальнего резервирования, если неотключение КЗ вследствие недостаточной чувствительности защиты последующего элемента может привести к тяжелым последствиям.

Устройства РЗ ЛЭП, параметры настройки ДЗ которых выбраны с отступлением от требований селективности, необходимо в соответствии с Методическими указаниями [9] учесть в перечне вынужденных отступлений от требований селективности устройств РЗ ЛЭП и оборудования.

Устройства РЗ ЛЭП, параметры настройки ДЗ которых не обеспечивают дальнейшее резервирование при КЗ на смежных сетевых элементах, необходимо в

соответствии с Методическими указаниями [9] учесть в перечне ЛЭП и оборудования, не обеспеченных дальним резервированием устройствами РЗ.

6.3.4.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по условию согласования со второй (третьей) ступенью защит 3(4) смежных ЛЭП (пункты 3.2, 3.3, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени защиты 1 с первой (второй) ступенью защиты 3(4) с учетом пункта 6.3.3.3.

Общие указания по расчету и выбору сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ для ЛЭП с ответвлениями по условию согласования с ДЗ смежных ЛЭП соответствуют пункту 4.3.4.2.

6.3.4.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «в», «г») по условию согласования со второй (третьей) ступенью защиты 10 при каскадном отключении параллельной ЛЭП со стороны ПС А (пункт 3.4, таблица 6.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени защиты 1 с первой ступенью защиты 10 с учетом указаний, приведенных в пункте 6.3.3.4.

6.3.4.4. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ третьей ступени защиты 1 по согласованию с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б (пункт 3.5, таблица 6.1) производится в случае, если рассчитанное по предыдущим условиям сопротивление срабатывания третьей ступени защиты 1 не отстроено от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б.

Указания по согласованию ДЗ ЛЭП при наличии ответвлений с резервными защитами от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б соответствуют пункту 4.3.3.7.

Если согласование с резервными защитами Т (АТ) ПС Б приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия третьей ступени защиты 1, расчет сопротивления срабатывания производится по согласованию с резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны смежного напряжения ПС Б.

6.3.4.5. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ третьей ступени защиты 1 по согласованию с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС на ответвлениях (пункт 3.6, таблица 6.1) производится в случае, если рассчитанное по предыдущим условиям сопротивление срабатывания третьей ступени защиты 1 не отстроено от КЗ на шинах НН (СН) ПС на ответвлениях.

Указания по согласованию ДЗ ЛЭП при наличии ответвлений с резервными защитами от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС на ответвлениях соответствуют пункту 4.3.3.7.

Если согласование с резервными защитами Т (АТ) ПС на ответвлениях приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия третьей ступени защиты 1, выбор сопротивления срабатывания производится по согласованию с резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны НН (СН) ПС на ответвлениях.

6.3.4.6. Расчет выдержки времени третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») производится в соответствии с указаниями по расчету ДЗ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.4.5.

6.3.4.7. Расчет сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 по условию отстройки от БТН Т (АТ) ПС ответвлений (пункт 3.8, таблица 6.1) производится только при использовании АУ данной ступени защиты. Указания по расчету параметров настройки автоматически ускоряемых ступеней ДЗ приведены в пункте 10.2 и приложении Е.

6.3.4.8. Расчет параметров настройки круговых характеристик защиты 1 по отстройке от нагрузочных режимов работы энергосистем (пункт 3.7, таблица 6.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.4.

Если для отстройки от нагрузочных режимов выполняется смещение характеристики третьей ступени в первый квадрант комплексной плоскости, необходимо выполнить проверку надежного зацепления характеристик второй и третьей ступеней ДЗ в соответствии с пунктом 3.3.5.1

6.4. Расчет параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками

6.4.1. Перечень параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками срабатывания, которые требуется определить в процессе расчета, приведен в таблице 6.3.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания первой степени ДЗ с полигональной характеристикой приводятся с учетом того, что степень может иметь общую уставку полного (реактивного) сопротивления срабатывания от всех видов КЗ $Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$ или может иметь независимое регулирование уставки полного (реактивного) сопротивления срабатывания ДО от междуфазных КЗ $Z_{уст1\text{фф}}^I(X_{уст1\text{фф}}^I)$ и ДО от КЗ на землю $Z_{уст1\text{фз}}^I(X_{уст1\text{фз}}^I)$.

Параметры настройки $R_{уст1\text{фф}}^I$ и $R_{уст1\text{фз}}^I$, определяющие положение боковых сторон полигональной характеристики, как правило, имеют независимое регулирование для ДО от междуфазных КЗ и ДО от КЗ на землю.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания вторых и третьих ступеней ДЗ с полигональными характеристиками приводятся для ДО от междуфазных КЗ.

Таблица 6.3

Перечень параметров ДЗ с полигональными характеристиками

№ п/п	Степень защиты	Обозначение параметра	Наименование параметра
1	1 степень	$Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$	Общее полное (реактивное) сопротивление срабатывания ДО первой степени от всех видов КЗ
		$Z_{уст1\text{фф}}^I(X_{уст1\text{фф}}^I)$	Полное (реактивное) сопротивление ДО первой степени от междуфазных КЗ
		$Z_{уст1\text{фз}}^I(X_{уст1\text{фз}}^I)$	Полное (реактивное) сопротивление срабатывания ДО первой степени от КЗ на землю
		$R_{уст1\text{фф}}^I$	Активное сопротивление ДО первой степени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1\text{фз}}^I$	Активное сопротивление ДО первой степени от КЗ на землю
2	2 степень	$Z_{уст1\text{фф}}^{II}(X_{уст1\text{фф}}^{II})$	Полное (реактивное) сопротивление ДО второй степени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1\text{фф}}^{II}$	Активное сопротивление ДО второй степени от междуфазных КЗ
3	3 степень	$Z_{уст1\text{фф}}^{III}(X_{уст1\text{фф}}^{III})$	Сопротивление срабатывания ДО третьей степени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1\text{фф}}^{III}$	Активное сопротивление ДО третьей степени от междуфазных КЗ

6.4.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ДЗ от всех видов КЗ

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ДЗ, – обеспечение селективного отключения всех видов КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

6.4.2.1. Первая ступень защиты 1 ЛЭП Л-1 для типовых конфигураций электрической сети (рисунок 6.1, «а» – «г») выполняется без выдержки времени с учетом рекомендаций по замедлению действия первой ступени ДЗ на отключение, приведенных в пункте 6.2.1.7.

6.4.2.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$ первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б (пункт 1.1, таблица 6.1) производится по выражениям (4.23), (4.24), (6.1), (6.2) в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$ одиночной ЛЭП, приведенными в пунктах 4.4.2.2, и указаниями пунктов 6.2.1.1, 6.2.1.2.

Дополнительно при расчете сопротивления срабатывания $Z_{уст1фз}^I$ ДО от КЗ на землю необходимо учитывать пункт 6.2.1.4 и приложение А.

6.4.2.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1}^I(X_{уст1}^I)$ первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах НН (СН) Т ПС на ответвлениях ЛЭП Л-1 (пункт 1.2, таблица 6.1) производится по выражениям (4.23), (4.24) в соответствии с указаниями пунктов 6.2.1.1, 6.2.1.2, 6.2.1.3, 6.2.1.6.

Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фз}^I(X_{уст1фз}^I)$ ДО от КЗ на землю по данному расчетному условию не производится, если обмотка силового Т ПС на ответвлении на стороне НН собрана в Δ или Y без заземленной нейтрали.

Расчет сопротивления срабатывания ДО от междуфазных КЗ $Z_{уст1фф}^I(X_{уст1фф}^I)$ по условию отстройки от КЗ на шинах НН Т ПС на ответвлениях производится при трехфазных и двухфазных КЗ, при двухфазных КЗ необходимо учитывать влияние схемы соединения обмоток силовых Т Y/ Δ на замеры ДО, что особенно важно при выборе параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками срабатывания.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^I(X_{уст1фф}^I)$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и при междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

Для ЛЭП без учета емкостной проводимости расчетные сопротивления Z_p при трехфазных КЗ на шинах НН (СН) Т (АТ) ПС на ответвлениях

определяются по выражениям (6.4) и (6.5) с учетом коэффициентов токораспределения, определяемых по выражениям (6.6) и (6.7).

Выбор параметров настройки ступени ДЗ с полигональной характеристикой по условию отстройки от КЗ на шинах НН (СН) Т (АТ) ПС на ответвлениях рекомендуется проводить графическим способом.

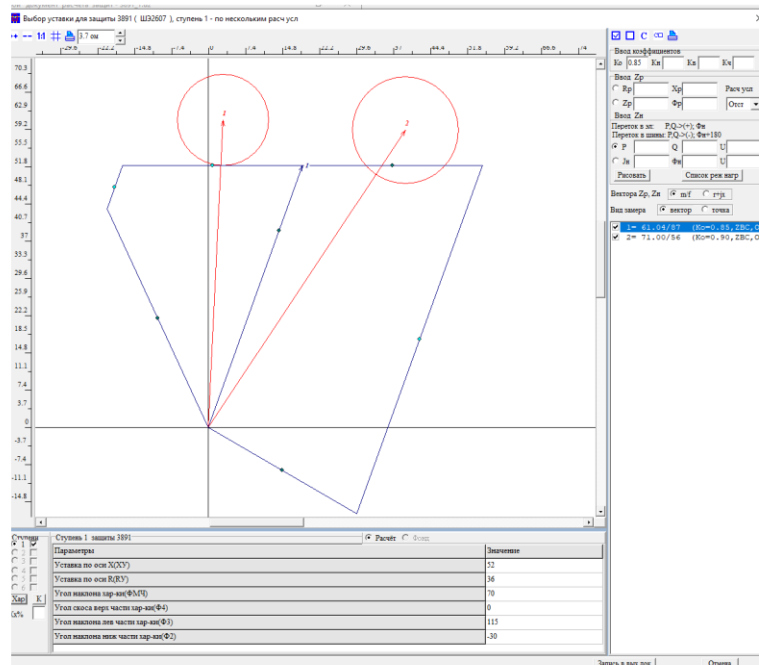


Рисунок 6.10. Графический выбор параметров настройки ступени ДЗ по условию отстройки от КЗ на стороне НН Т

На рисунке 6.10 приведен пример отстройки характеристики ДЗ от замеров при трехфазном КЗ (замер 1) и при двухфазном КЗ (замер 2) на шинах НН Т со схемой соединения обмоток Y/Δ-11 при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП. Для отстройки от замера при двухфазном КЗ (замер 2) требуется уменьшение сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I (X_{уст1ф\phi}^I)$ или применение угла наклона (скоса) $\varphi_{ск}$ верхней грани характеристики срабатывания. Указания по выбору угла $\varphi_{ск}$ приведены в пункте 4.4.2.4.

6.4.2.4. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I (X_{уст1ф\phi}^I)$ первой ступени защиты 1 по условию обеспечения перекрытия зон первых ступеней ДЗ с двух сторон защищаемой ЛЭП (пункт 1.3, таблица 6.1) производится по выражениям (4.25) и (4.26) в соответствии с пунктом 4.4.2.3.

6.4.2.5. Если сопротивление срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I (X_{уст1ф\phi}^I)$ первой ступени защиты 1 по условию отстройки при внешних КЗ через расчетные переходные сопротивления не удовлетворяет условию пункта 6.4.2.4, необходимо обеспечить требуемый охват ЛЭП при металлических КЗ, а для отстройки от внешних КЗ через переходные сопротивления применить угол наклона (скоса) $\varphi_{ск}$ верхней грани характеристики (при наличии параметра).

6.4.2.6. Если согласно техническим данным защиты 1 угол наклона (скоса) верхней грани характеристики отсутствует или полученное значение

угла $\varphi_{СК}$ превышает диапазон регулирования данного параметра, необходимо для расчетных режимов, где не выполняется условие пункта 6.4.2.2 или получены неудовлетворительные результаты по пункту 6.4.2.5, выполнить отстройку характеристики срабатывания первой ступени защиты 1 при КЗ через переходное сопротивление на шинах ПС Б уставкой активного сопротивления $R_{уст1}^I$ по выражению (4.27) в соответствии с пунктом 4.4.2.5.

6.4.2.7. Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{уст1}^I$ первой ступени защиты 1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ через переходное сопротивление (пункт 1.4, таблица 6.1) производится по выражению (4.28) в соответствии с пунктами 4.4.2.6, 4.4.2.7.

6.4.2.8. Выбор угла φ_{IV} ограничения полигональной характеристики срабатывания в четвертом квадранте комплексной плоскости первой ступени защиты 1 выполняется в соответствии с пунктом 4.4.2.8.

6.4.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Требования, предъявляемые ко второй ступени ДЗ, – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине и на каждом конце защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие второй ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

6.4.3.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{II}$ ($X_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{II}$) второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при металлических междуфазных КЗ на каждом конце ЛЭП Л-1, противоположном месту установки защиты 1 (пункт 2.1, таблица 6.1), производится по выражениям (4.30) и (4.31) в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{II}$ ($X_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{II}$) одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.4.3.1.

При наличии на защищаемой ЛЭП ответвлений значительной длины зачастую затруднительно одновременно обеспечить чувствительность второй ступени ДЗ к повреждениям в конце длинного ответвления и селективность с защитами смежных сетевых элементов. В этом случае чувствительность второй ступени ДЗ при КЗ в конце длинного ответвления допускается обеспечивать в соответствии с пунктом 6.3.3.1.

6.4.3.2. Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{уст1}^{II}$ второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при междуфазных КЗ через переходное сопротивление на каждом конце ЛЭП Л-1, противоположном месту установки защиты 1 (пункт 2.1, таблица 6.1) производится по выражению (4.32) в соответствии с пунктом 4.4.3.2.

6.4.3.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1\text{ф}\text{ф}}^{II}$ второй ступени защиты 1 по условию согласования с резервными защитами смежных

присоединений от междуфазных КЗ проводится поиском конца зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование, и отстройкой от расчетного замера по выражению:

$$Z_{уст1фф}^{II} \leq k_{отс} \cdot |Z_p| \cdot d, \quad (6.18)$$

где $|Z_p|$ – модуль расчетного сопротивления;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пунктам 3.3.2.7, 3.3.2.8 и/или 3.3.4.1, 3.3.4.2;

d – параметр, который при согласовании защит учитывает возможное различие угла наклона $\varphi_{хар}$ полигональной характеристики второй ступени защиты 1 и угла расчетного сопротивления Z_p :

$$d = \frac{\sin \varphi_p}{\sin \varphi_{хар}} \quad (6.19)$$

При согласовании ДЗ смежных сетевых элементов с разнотипными характеристиками срабатывания необходимо учитывать пункт 3.3.2.9.

6.4.3.4. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ и выдержек времени второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по условиям обеспечения селективности при междуфазных КЗ на смежных участках сети производится по всем расчетным условиям (пункты 2.2–2.5, таблица 6.1) и выполняется аналогично расчету параметров настройки второй ступени защиты 1 с круговой характеристикой согласно пунктам 6.3.3.2–6.3.3.8, при этом в выражениях для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ параметр d следует определять согласно выражению (6.19).

Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ ($X_{уст1фф}^{II}$) ДО от междуфазных КЗ по условию отстройки от КЗ на шинах НН Т (АТ) ПС на ответвлениях производится при трехфазных и двухфазных КЗ, при двухфазных КЗ необходимо учитывать влияние схемы соединения обмоток силовых Т У/Δ на дистанционные замеры.

6.4.3.5. Расчет реактивного сопротивления срабатывания $X_{уст1фф}^{II}$ второй ступени защиты 1 производится на основании принятого значения уставки полного сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{II}$ по выражению (4.35).

6.4.3.6. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по условию отстройки от БТН Т (АТ) ПС ответвлений (пункт 2.6, таблица 6.1) производится только при использовании АУ данной ступени защиты. Указания по расчету параметров настройки автоматически ускоряемых ступеней ДЗ приведены в пункте 10.2 и приложении Е.

6.4.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основные требования, предъявляемые к третьей ступени ДЗ, – обеспечение резервирования действия защит своей ЛЭП и защит или выключателей смежных элементов при междуфазных КЗ (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие третьей ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [1] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ДЗ ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет должен быть отдан требованию обеспечения чувствительности.

6.4.4.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}(X_{уст1ф\phi}^{III})$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности к металлическим междуфазным КЗ на каждом конце защищаемой ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 6.1) производится по выражениям (4.36) и (4.37).

Если обеспечение чувствительности третьей ступени защиты 1 к междуфазным КЗ через переходные сопротивления в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, чувствительность обеспечивается в соответствии с пунктом 6.3.4.1.

6.4.4.2. Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{уст1}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по условию обеспечения чувствительности при междуфазных КЗ через переходное сопротивление на каждом конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 6.1) производится по выражению (4.38).

6.4.4.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ и выдержки времени третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 6.1, «а» – «г») по условиям обеспечения селективности при междуфазных КЗ на смежных участках сети производится по всем расчетным условиям (пункты 3.2–3.6, таблица 6.1) и выполняется аналогично расчету параметров настройки третьей ступени защиты 1 с круговой характеристикой согласно пунктам 6.3.4.2–6.3.4.6. В выражениях для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ параметр d следует определять согласно выражению (6.19).

6.4.4.4. Расчет реактивного сопротивления срабатывания $X_{уст1ф\phi}^{III}$ третьей ступени защиты 1 производится на основании принятого значения уставки полного сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ по выражению (4.39).

6.4.4.5. Расчет параметров настройки полигональных характеристик защиты 1 по отстройке от нагрузочных режимов работы энергосистем (пункт 3.7, таблица 6.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.4.

6.4.4.6. Расчет сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 по условию отстройки от БТН Т (АТ) ПС ответвлений (пункт 3.8, таблица 6.1) производится только при использовании АУ данной ступени защиты. Указания по расчету параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ДЗ приведены в пункте 10.2 и приложении Е.

7. Расчет и выбор параметров настройки ДЗ ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия

7.1. Типовые схемы участков сети

Указания по расчету и выбору параметров настройки трехступенчатой ДЗ ЛЭП напряжением 110 кВ и выше, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия при подключении защиты к ТН, установленным на стороне НН (СН) Т (АТ) блока, 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. Указания по расчету и выбору параметров настройки ДЗ ЛЭП с учетом данных схем приведены в разделах 4, 5 и аналогичны для ЛЭП, работающей по схеме блока.

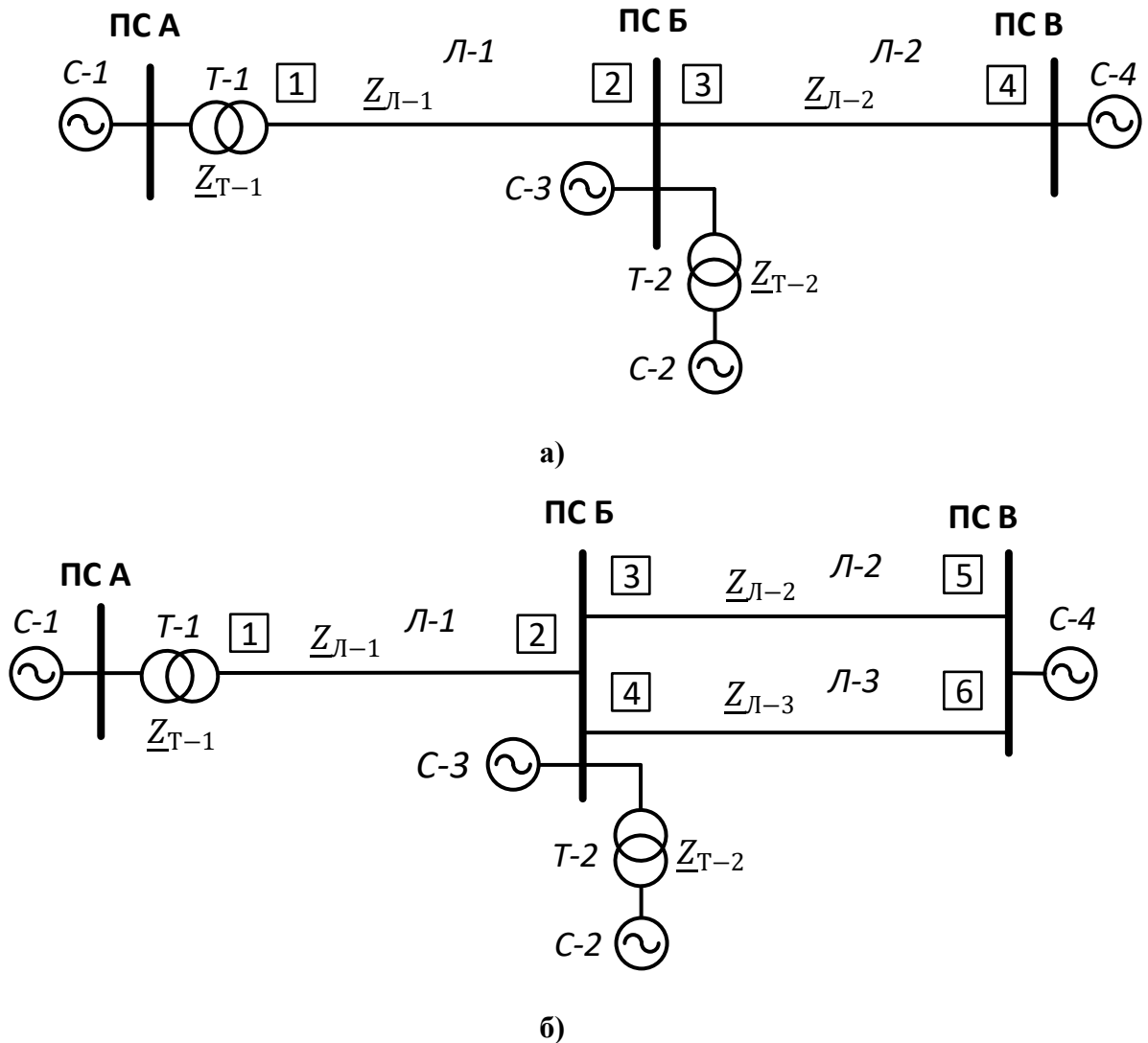


Рисунок 7.1. Примеры типовых схем участков сети с ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия

Приведенные на рисунке 7.1 примеры типовых конфигураций электрической сети применимы также для ЛЭП, отходящих от шин электрических станций.

7.2. Общие указания по расчету и перечень расчетных условий

7.2.1. Общие указания по расчету ДЗ блока Т (АТ) – линия

Расчет параметров настройки ДЗ ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия имеет ряд особенностей, которые связаны с тем, что при блочной схеме ПС ТН на стороне ВН Т (АТ) могут не устанавливаться.

В схеме блока с двухобмоточным Т с группой соединения обмоток Y/Δ-11 ДЗ по цепям переменного напряжения подключается к ТН на стороне НН Т блока, при этом с целью обеспечения корректного замера при КЗ на ЛЭП в защите используются фазные напряжения относительно нулевой точки, которые соответствуют междуфазным напряжениям стороны ВН. По цепям переменного тока, как правило, ДЗ включается на разность фазных токов ТТ, установленных на стороне ВН Т блока.

В схеме блока с трехобмоточным Т (АТ) с группой соединения обмоток Y/Y/Δ-11 при подключении ДЗ к ТН на стороне НН Т (АТ) в защите также используются фазные напряжения относительно нулевой точки, при подключении ДЗ к ТН на стороне СН используются междуфазные напряжения. По цепям переменного тока, как правило, ДЗ включается на разность фазных токов ТТ, установленных на стороне ВН Т (АТ) блока.

При таком подключении по цепям переменного тока и напряжения ДЗ действует только при междуфазных КЗ на ЛЭП и в прилегающей сети ВН, в замер ДЗ входит сопротивление двухобмоточного Т или эквивалентное сопротивление трехобмоточного Т (АТ) блока.

В случае трехобмоточного Т (АТ) дистанционный замер зависит от того, на какой стороне установлен ТН, и от наличия тока подпитки с той стороны, где ТН не установлен.

При подключении ДЗ к ТН на стороне НН и ТТ на стороне ВН трехобмоточного Т (АТ) напряжение в месте установки ТН при металлическом междуфазном КЗ в конце защищаемой ЛЭП (К-1, рисунок 7.2) определяется по выражению:

$$\underline{U}_p = I_I \cdot \underline{Z}_{Л-1} + I_I \cdot \underline{Z}_I + (I_I - I_{II}) \cdot \underline{Z}_{III}, \quad (7.1)$$

где $\underline{Z}_{Л-1}$ – сопротивление прямой последовательности ЛЭП;

$\underline{Z}_I, \underline{Z}_{III}$ – сопротивления прямой последовательности сторон ВН и НН трехобмоточного Т (АТ), приведенные к напряжению стороны ВН (стороны защищаемой ЛЭП).

Дистанционный замер определяется по выражению:

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_{Л-1} + \underline{Z}_I + \left(1 - \frac{I_{II}}{I_I}\right) \cdot \underline{Z}_{III} \quad (7.2)$$

При отсутствии подпитки со стороны СН дистанционный замер будет равен суммарному сопротивлению от места установки ТН до места повреждения:

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_{Л-1} + (\underline{Z}_I + \underline{Z}_{III}) = \underline{Z}_{Л-1} + \underline{Z}_{Т-1} \quad (7.3)$$

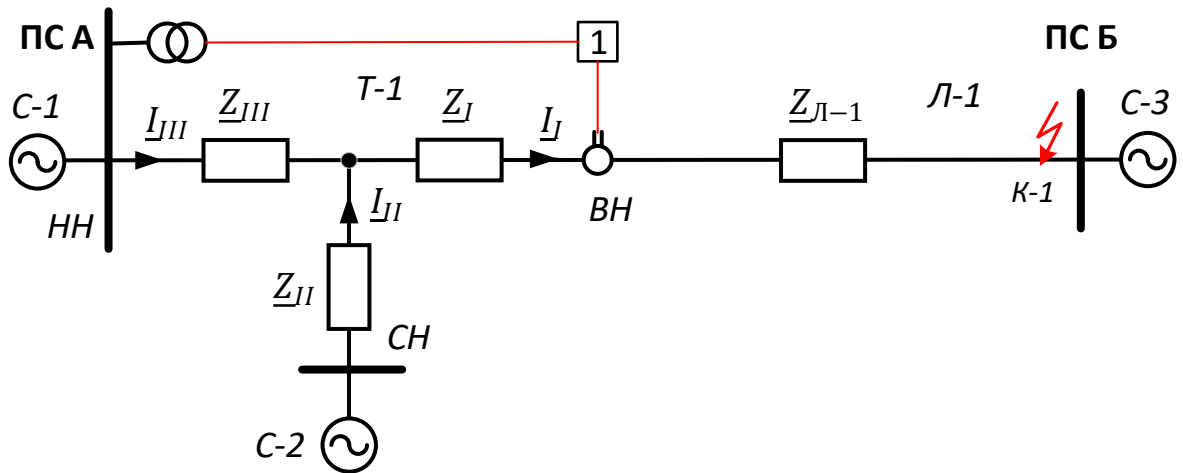


Рисунок 7.2. Вариант схемы подключения ДЗ блока трехобмоточный Т (АТ) – линия к ТТ и ТН

При подключении ДЗ к ТН на стороне СН и ТТ на стороне ВН трехобмоточного Т (АТ) дистанционный замер при КЗ в конце ЛЭП определяется по выражению:

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_{Л-1} + \underline{Z}_I + \left(1 - \frac{I_{ЛIII}}{I_I}\right) \cdot \underline{Z}_{ЛI} \quad (7.4)$$

При отсутствии подпитки со стороны НН дистанционный замер будет равен суммарному сопротивлению от места установки ТН до места повреждения:

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_{Л-1} + (\underline{Z}_I + \underline{Z}_{ЛI}) = \underline{Z}_{Л-1} + \underline{Z}_{Т-1} \quad (7.5)$$

Далее расчетные выражения для выбора сопротивления срабатывания ДЗ по условиям согласования или отстройки с использованием сопротивления двухобмоточного Т или эквивалентного сопротивления трехобмоточного Т (АТ) блока приведены для случаев:

- включения ДЗ на ТН, установленные на стороне НН Т блока двухобмоточный Т – линия или трехобмоточный Т – линия (в случае отсутствия питания со стороны СН или равенства нулю сопротивления обмотки НН);

- включения ДЗ на ТН, установленные на стороне СН Т блока трехобмоточный Т (АТ) – линия (в случае отсутствия питания со стороны НН или равенства нулю сопротивления обмотки СН).

Расчетные выражения с использованием сопротивления $\underline{Z}_{Т-1}$ можно использовать также при наличии питания со стороны НН (СН) трехобмоточного Т (АТ) блока и неравенстве нулю сопротивления обмотки Т, со стороны которой установлен ТН. При этом защита выполняется с компенсацией падения напряжения в сопротивлении обмотки Т, на стороне которой установлен ТН. В этом случае под $\underline{Z}_{Т-1}$ надо понимать сопротивление обмотки ВН трехобмоточного Т (АТ) блока.

Включение сопротивления Т (АТ) в зону ДЗ блока приводит к сокращению длины ЛЭП, охватываемой первой ступенью защиты, и снижению чувствительности второй и третьей ступеней по сравнению со случаем установки отдельной ДЗ ЛЭП.

На значение сопротивления, измеряемого ДО защиты, оказывают влияние следующие факторы:

- полное сопротивление Т (АТ);
- угол полного сопротивления Т (АТ);
- наличие встроенного регулирования напряжения под нагрузкой.

В зависимости от соотношений сопротивлений защищаемой ЛЭП и Т (АТ) угол суммарного сопротивления блока может быть близок к $75\text{--}85^\circ$. Рекомендуется для ДЗ блока угол максимальной чувствительности $\varphi_{\text{мч}}$ круговой характеристики или угол наклона $\varphi_{\text{хар}}$ полигональной характеристики принимать близким к значению угла суммарного сопротивления блока.

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.

При выборе сопротивления срабатывания ДЗ по условию отстройки (селективности) следует принять минимальные значения сопротивлений Т (АТ), по условию обеспечения чувствительности следует принять максимальные значения сопротивлений Т (АТ), рассчитанные при крайних положениях РПН. Если при этом невозможно одновременно выполнить условия селективности и чувствительности, расчет сопротивления срабатывания выполняются с учетом значений Z_{T-1} блока, рассчитанных при возможных фактических положениях РПН.

ЛЭП, работающие по схеме блока Т (АТ) – линия, опробуются напряжением, как правило, со стороны линии. Если предусматривается опробование ЛЭП со стороны Т (АТ), при использовании АУ ступени ДЗ сопротивление срабатывания данной ступени отстраивается от БТН Т (АТ) блока. Указания по расчету приведены в пункте 10.2 и приложении Е.

При расчете вторичного сопротивления срабатывания $Z_{\text{с.р.}}$ требуется учитывать схему соединения вторичных обмоток ТТ.

При подключении ДЗ к ТТ и ТН, установленным на стороне НН Т (АТ) блока:

$$Z_{\text{с.р.}} = \frac{n_T^{(H)}}{3 \cdot n_H^{(H)} \cdot n_{TP}^2} \cdot Z_{\text{уст}} \quad (7.6)$$

При подключении ДЗ к ТН, установленным на стороне НН и ТТ на стороне ВН Т (АТ) блока:

$$Z_{с.р.} = \frac{n_T^{(B)}}{\sqrt{3} \cdot n_H^{(H)} \cdot n_{TP}} \cdot Z_{уст} \quad (7.7)$$

При подключении защиты к ТН, установленным на стороне СН и ТТ на стороне ВН Т (АТ) блока:

$$Z_{с.р.} = \frac{n_T^{(B)}}{n_H^{(C)} \cdot n_{TP}} \cdot Z_{уст} \quad (7.8)$$

где $Z_{уст}$ – сопротивление срабатывания защиты, Ом первичных;

n_{TP} – коэффициент трансформации Т (АТ) блока между стороной ВН и стороной установки ТН, рекомендуется учитывать максимально возможный коэффициент трансформации, который может иметь место при наличии регулирования напряжения под нагрузкой;

$n_T^{(H)}, n_T^{(B)}$ – коэффициенты трансформации ТТ, установленных соответственно на сторонах НН и ВН Т (АТ) блока;

$n_H^{(H)}, n_H^{(C)}$ – коэффициенты трансформации ТН, установленных соответственно на сторонах НН и СН Т (АТ) блока.

Выражения (7.6)–(7.8) для расчета вторичного сопротивления срабатывания $Z_{с.р.}$ приведены при подключении защиты:

- на фазные напряжения относительно нулевой точки системы при подключении к ТН, установленным на стороне НН;
- на междуфазные напряжения при подключении к ТН, установленным на стороне СН;
- на разность фазных токов при подключении к ТТ, установленным на стороне НН Т (АТ) блока при соединении обмоток ТТ в треугольник;
- на разность фазных токов при подключении к ТТ, установленным на стороне ВН Т (АТ) блока при соединении обмоток ТТ в звезду.

7.2.2. Перечень расчетных условий для выбора параметров настройки ДЗ ЛЭП, работающей по схеме блока Т (АТ) – линия

В таблице 7.1 приведен перечень расчетных условий для выбора параметров настройки трехступенчатой ДЗ 1 ЛЭП Л-1 с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания для типовых схем смежной электрической сети (рисунок 7.1, «а», «б»).

Таблица 7.1

Расчетные условия для выбора параметров настройки ДЗ

№ пункта	Степень защиты	Схема	Расчетные условия
1.1	1 степень (степень без)	а, б	Отстройка от КЗ на шинах ПС Б, примыкающей к противоположному концу ЛЭП Л-1
1.2			Проверка зоны охвата линии при металлических КЗ

№ пункта	Ступень защиты	Схема	Расчетные условия
1.3	выдержки времени)		Обеспечение чувствительности при КЗ через переходное сопротивление в начале ЛЭП Л-1 и в конце зоны охвата 1 ступени (для защит с полигональной характеристикой срабатывания)
2.1	2 ступень	а, б	Обеспечение чувствительности при КЗ в конце ЛЭП Л-1
2.2		а	Согласование с 1 (2) ступенью защиты 3
2.3		б	Отстройка от КЗ на шинах ПС В
2.4		а, б	Отстройка от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б
3.1	3 ступень	а, б	Обеспечение чувствительности при КЗ в конце ЛЭП Л-1 и в зоне дальнего резервирования
3.2		а, б	Согласование с 2 (3) ступенью защиты 3 и защиты 4
3.3		а, б	Согласование с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б
3.4		а, б	Отстройка от нагрузочных режимов работы энергосистем

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

7.3. Расчет параметров настройки ДЗ с круговыми характеристиками

7.3.1. Перечень параметров настройки трехступенчатой ДЗ ЛЭП с круговыми характеристиками срабатывания, которые следует определить в процессе расчета, приведен в таблице 7.2.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания первой, второй и третьей ступеней ДЗ приводятся для ДО от междуфазных КЗ.

Таблица 7.2

Перечень параметров ДЗ с круговыми характеристиками

№ п/п	Ступень защиты	Обозначение параметра	Наименование параметра
1	1 ступень	$Z_{уст1фф}^I$	Сопротивление срабатывания ДО первой ступени от междуфазных КЗ
2	2 ступень	$Z_{уст1фф}^{II}$	Сопротивление срабатывания ДО второй ступени от междуфазных КЗ
3	3 ступень	$Z_{уст1фф}^{III}$	Сопротивление срабатывания ДО третьей ступени от междуфазных КЗ

7.3.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ДЗ, – обеспечение селективного отключения междуфазных КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

7.3.2.1. Первая ступень защиты 1 для типовых конфигураций электрической сети (рисунок 7.1, «а», «б») выполняется без выдержки времени.

7.3.2.2. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б (пункт 1.1, таблица 7.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^I \leq k_{отс} \cdot \frac{|Z_p|}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}, \quad (7.9)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности круговой характеристики;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.3.

Для ЛЭП без учета емкостной проводимости расчетное сопротивление Z_p при металлических трехфазных КЗ на шинах ПС Б равно суммарному сопротивлению блока $Z_{БЛ}$, которое определяется по выражению:

$$Z_{БЛ} = Z_{Т-1} + Z_{Л-1}, \quad (7.10)$$

где $Z_{Т-1}$ – сопротивление Т (АТ) блока, рассчитывается согласно пункту 7.2.1;

$Z_{Л-1}$ – сопротивление прямой последовательности ЛЭП Л-1.

При наличии на Т (АТ) блока регулирования напряжения под нагрузкой расчет следует проводить с учетом минимального значения сопротивления $Z_{Т-1}$, рассчитанного при крайнем или возможных фактических положениях РПН.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и при междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления на шинах ПС Б в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом доаварийном перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом доаварийных перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

При выборе сопротивления срабатывания круговой характеристики с углом $\varphi_{мч}$, отличным от угла суммарного сопротивления блока $Z_{БЛ}$, учет доаварийных перетоков мощности по защищаемой ЛЭП при отстройке от внешних КЗ через переходные сопротивления обязателен.

Указания по расчету переходных сопротивлений при всех видах КЗ, учету доаварийной нагрузки при расчетах аварийных режимов для выбора параметров настройки ДЗ приведены в приложениях А, Г.

7.3.2.3. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию обеспечения перекрытия зон первых ступеней ДЗ с двух сторон защищаемой ЛЭП (пункт 1.2, таблица 7.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^I \geq k_{охв} \cdot |Z_{БЛ}|, \quad (7.11)$$

где $|Z_{БЛ}|$ – суммарное сопротивление блока;

$k_{охв}$ – коэффициент охвата, рекомендуемое значение 0,65–0,75.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП.

При наличии на Т (АТ) блока регулирования напряжения под нагрузкой необходимо учитывать максимальное значение сопротивления $Z_{Т-1}$ блока, рассчитанное при крайнем или возможном фактическом положении положения РПН.

7.3.2.4. Если расчетное сопротивление срабатывания первой ступени по условию пункта 7.3.2.2 при КЗ через переходные сопротивления не удовлетворяет условию пункта 7.3.2.3, необходимо обеспечить требуемый охват ЛЭП при металлических КЗ, а для отстройки от внешних КЗ через переходные сопротивления использовать изменение вида круговой характеристики (эллипс, линза) или угла максимальной чувствительности при наличии технической возможности регулирования параметра.

7.3.3. Расчет и выбор параметров настройки второй ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Требования, предъявляемые ко второй ступени ДЗ, – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие второй ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

7.3.3.1. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, а, б) по обеспечению чувствительности к КЗ в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 7.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \geq k_{чЗ} \cdot \frac{|Z_p|}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}, \quad (7.12)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности круговой характеристики;

$k_{чЗ}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.5.4.

При наличии на Т (АТ) блока регулирования напряжения под нагрузкой расчет следует проводить с учетом наибольшего значения \underline{Z}_{T-1} блока, рассчитанного при крайних или возможных фактических положениях РПН.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{II}$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом доаварийном перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом доаварийных перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

7.3.3.2. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по условию согласования с дистанционными и/или резервными токовыми защитами смежных присоединений от междуфазных КЗ требуется проводить методом поиска конца зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование, с учетом возможного сокращения ее зоны и отстройкой от полученного расчетного замера по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot |Z_p| \cdot d, \quad (7.13)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пунктам 3.3.2.7, 3.3.2.8 и/или 3.3.4.1, 3.3.4.2;

d – параметр, который учитывает возможное различие угла максимальной чувствительности круговой характеристики второй ступени защиты 1 и угла расчетного сопротивления Z_p , определяется по выражению:

$$d = \frac{1}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)} \quad (7.14)$$

Расчетные выражения по условиям согласования или отстройки с использованием параметров схемы замещения элементов электрической сети приводятся далее для пояснения принципов расчета и справедливы для частного случая однородных ЛЭП без емкостной проводимости при равных углах максимальной чувствительности круговых характеристик согласуемых защит.

При согласовании ДЗ смежных сетевых элементов с разнотипными характеристиками срабатывания необходимо учитывать пункт 3.3.2.9.

Расчет сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ с выдержками времени по условию отстройки или согласования производится при металлических КЗ без учета изменения модулей и углов ЭДС генераторов в процессе аварийного режима.

7.3.3.3. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по согласованию с первой ступенью защиты 3 смежной ЛЭП (пункт 2.2, таблица 7.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{T-1} + Z_{Л-1} + \frac{1-\alpha}{k_T} \cdot Z_{уст3}^I \right| \cdot d, \quad (7.15)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.7;

α – коэффициент, учитывающий сокращение зоны ступени ДЗ, с которой производится согласование, определяется согласно пункту 3.3.1;

$Z_{уст3}^I$ – сопротивление срабатывания первой ступени защиты 3 от междуфазных КЗ;

k_T – коэффициент токораспределения;

Z_{T-1} – сопротивление Т (АТ) блока, рассчитывается согласно пункту 7.2.1;

d – определяется согласно выражению (7.14) в случае круговой характеристики.

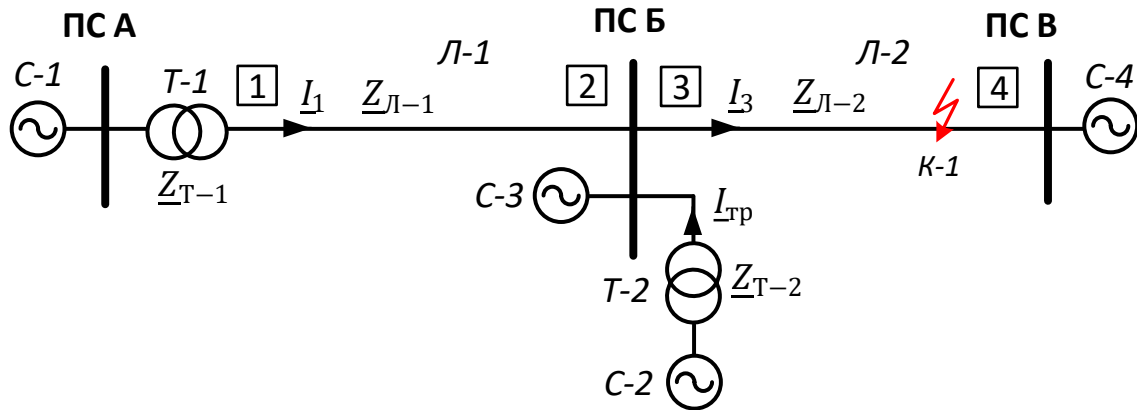


Рисунок 7.3. Определение коэффициента токораспределения при КЗ в точке К-1

Коэффициент токораспределения при согласовании защиты 1 с защитой 3 (К-1, рисунок 7.3) определяется по выражению:

$$k_T = \frac{I_1}{I_3} \quad (7.16)$$

Расчетным является значение коэффициента k_T в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наименьшее сопротивление срабатывания согласно выражению (7.15).

Согласование с первой ступенью защиты 3 смежной ЛЭП допускается проводить в режиме каскадного отключения КЗ защитой противоположного конца ЛЭП со стороны ПС В, если согласование с учетом величины k_T до начала каскадного отключения из-за наличия влияния обходных связей приводит к значительному загрублению сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1. В этом случае должен быть учтен коэффициент возврата ДО второй ступени защиты 1, поскольку он может сработать до начала каскадного отключения.

Согласование в каскаде производится по выражению:

$$Z_{уст1фф}^{II} \leq \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot \left| Z_{T-1} + Z_{Л-1} + \frac{1-\alpha}{k_T} \cdot Z_{уст3}^I \right| \cdot d, \quad (7.17)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.7;
 k_B – коэффициент возврата, определяется по техническим данным защиты;

k_T – коэффициент токораспределения, определяется согласно выражению (7.16);

d – определяется согласно выражению (7.14) в случае круговой характеристики.

Если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1, выбранное по согласованию с первой ступенью защиты 3, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 7.3.3.1), согласование следует производить со второй ступенью защиты 3.

7.3.3.4. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, а, б) по согласованию с резервной токовой защитой от междуфазных КЗ защиты 3 при выполнении последней с помощью токовой отсечки, отсечки по напряжению или комбинированной отсечки по току и напряжению (пункт 2.2, таблица 7.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{T-1} + Z_{Л-1} + \frac{Z_{расч}}{k_T} \right| \cdot d, \quad (7.18)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.4.1; $Z_{расч}$ – сопротивление участка смежной ЛЭП, надежно (с коэффициентом надежности $k_H=1,1$) охватываемой токовой защитой, с которой производится согласование в расчетных для согласования условиях при металлическом междуфазном КЗ;

Z_{T-1} – сопротивление Т (АТ) блока, рассчитывается согласно пункту 7.2.1;

k_T – коэффициент токораспределения, равен отношению тока, протекающего в месте установки защиты 1, к току в месте установки защиты, с которой производится согласование;

d – определяется согласно (7.14) в случае круговой характеристики.

Общие указания при согласовании ступеней ДЗ с резервными токовыми защитами от междуфазных КЗ приведены в пункте 3.3.4.

7.3.3.5. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схемы (рисунок 7.1, «б») по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах ПС В (пункт 2.3, таблица 7.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{T-1} + Z_{Л-1} + \frac{1}{k_T} \cdot 0,5 \cdot Z_{Л-2} \right| \cdot d, \quad (7.19)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.6; Z_{T-1} – сопротивление Т (АТ) блока, рассчитывается согласно пункту 7.2.1;

k_T – коэффициент токораспределения;

d – определяется согласно выражению (7.14) в случае круговой характеристики.

Расчетное выражение (7.19) приведено для случая равенства сопротивлений прямой последовательности параллельных ЛЭП Л-2 и Л-3.

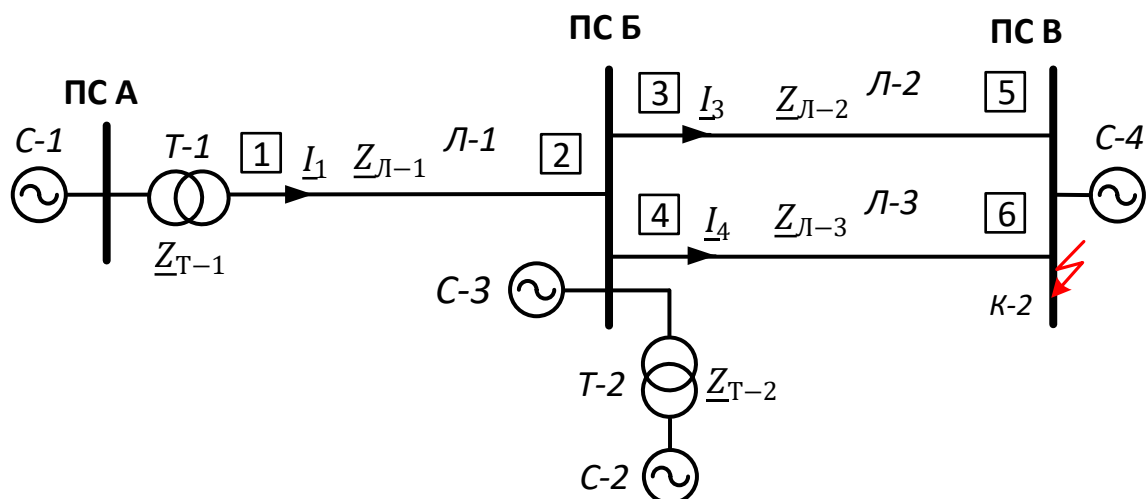


Рисунок 7.4. Определение коэффициента токораспределения при КЗ в точке К-2

Коэффициент токораспределения при отстройке от КЗ на шинах ПС В (К-2, рисунок 7.4) определяется при включенных параллельных ЛЭП Л-2 и Л-3 по выражению:

$$k_T = \frac{I_1}{I_3 + I_4} \quad (7.20)$$

Расчетным является значение коэффициента k_T в такой реально возможной схеме сети, которому соответствует наименьшее сопротивление срабатывания согласно выражению (7.19).

Если сопротивление срабатывания второй степени защиты 1, выбранное по условию отстройки, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 7.3.3.1), в этом случае выбор сопротивления срабатывания второй степени защиты 1 выполняется по согласованию со второй степенью защиты 3(4) смежных ЛЭП по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{T-1} + Z_{L-1} + \frac{1-\alpha}{k_T} \cdot Z_{уст3(4)}^{II} \right| \cdot d \quad (7.21)$$

Если вторая степень защиты 3(4) смежной ЛЭП имеет большую выдержку времени и согласование с ней приводит к значительному увеличению времени действия второй степени защиты 1, в этом случае сопротивление срабатывания второй степени защиты 1 необходимо принять по условию обеспечения чувствительности к КЗ в конце защищаемой ЛЭП и обеспечить:

1) согласование с первой степенью защит 3 и 4 при каскадном отключении повреждения со стороны ПС В при наличии в работе быстродействующей защиты шин ПС В и защит ЛЭП Л-2 и Л-3, обеспечивающих каскадное отключение КЗ без выдержки времени со стороны ПС В;

2) при наличии СВ (ШСВ) на ПС В отстройку от КЗ на шинах ПС В после отключения СВ (ШСВ) при условии ввода в работу делительной

защиты, действующей на отключение СВ (ШСВ) при выводе из работы быстродействующей защиты шин на ПС В;

3) согласование с резервными защитами от междуфазных КЗ ЛЭП, отходящих от ПС В.

При согласовании в режиме каскада должен быть учтен коэффициент возврата ДО второй ступени защиты 1, поскольку он может сработать до начала каскадного отключения. Согласование с учетом коэффициента возврата производится по выражению (7.17) с учетом коэффициента токораспределения, равного отношению тока в защите 1 к току в защите, с которой проводится согласование в режиме каскада.

Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах ПС В после отключения СВ (ШСВ) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot \left| Z_{T-1} + Z_{Л-1} + \frac{1}{k_T} \cdot Z_{Л-2} \right| \cdot d, \quad (7.22)$$

где k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.6;

k_T – коэффициент токораспределения, равен отношению тока, протекающего в месте установки защиты 1, к току в месте установки защиты, с которой производится согласование в режиме каскада;

d – определяется согласно выражению (7.14) в случае круговой характеристики.

7.3.3.6. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по условию отстройки от междуфазных КЗ на шинах смежного напряжения ПС ПС Б (пункт 2.4, таблица 7.1) производится по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_{T-1} + Z_{Л-1} + \frac{Z_{T-2}}{k_T} \right| \cdot d, \quad (7.23)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.5;
 Z_{T-1} – сопротивление Т (АТ) блока, рассчитывается согласно пункту 7.2.1;

Z_{T-2} – эквивалентное сопротивление параллельно работающим Т (АТ) Т-2;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в защите 1 к первичному току в рассматриваемом участке;

d – определяется согласно выражению (7.14) в случае круговой характеристики.

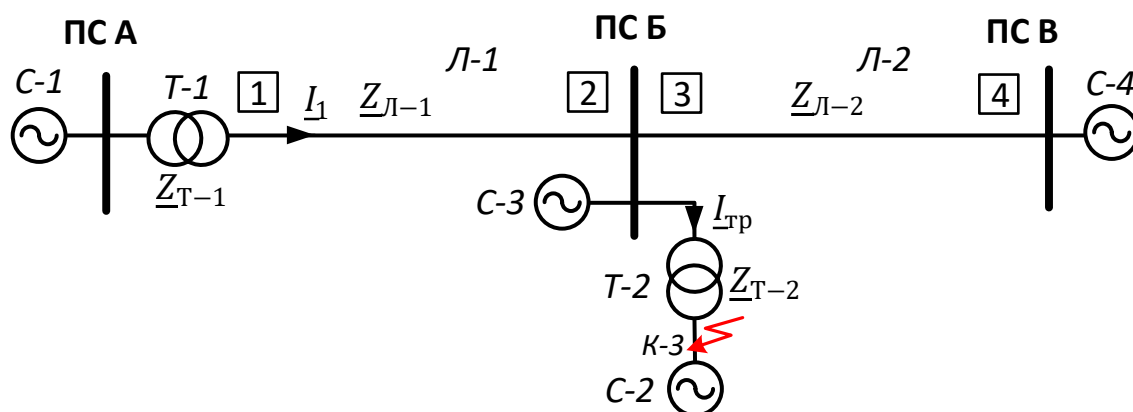


Рисунок 7.5. Определение коэффициента токораспределения при КЗ в точке К-3

При наличии на Т (АТ) Т-2 регулирования напряжения под нагрузкой при расчете $Z_{уст1ф}^{II}$ следует учитывать минимальные значения сопротивлений Z_{T-2} , рассчитанные при крайних или возможных фактических положениях РПН.

Коэффициент токораспределения при отстройке защиты 1 от КЗ на шинах смежного напряжения ПС ПС Б (К-3, рисунок 7.5) определяется по выражению:

$$k_T = \frac{I_1}{I_{гр}} \quad (7.24)$$

Расчетным является значение коэффициента k_T в такой реально возможной схеме сети, которой соответствует наименьшее сопротивление срабатывания согласно выражению (7.23).

В случае отстройки от КЗ на стороне СН (НН) трехобмоточных Т с многосторонним питанием и АТ необходимо рассматривать режим отключения подпитки со стороны НН (СН). В случае отстройки от КЗ на стороне ВН (НН) трехобмоточных Т с многосторонним питанием и АТ необходимо рассматривать режим отключения подпитки со стороны НН (ВН).

Рассматриваются замеры сопротивлений при металлических междуфазных КЗ в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке мощности по линии без учета изменения модулей и углов ЭДС генераторов в процессе аварийного режима.

Если сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1, выбранное по условию отстройки, не удовлетворяет требованию обеспечения чувствительности (пункт 7.3.3.1), выбор сопротивления срабатывания производится по согласованию с дистанционными или резервными токовыми защитами от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б.

Если согласование с резервными защитами Т (АТ) ПС Б приводит к значительному увеличению времени действия второй ступени защиты 1, расчет сопротивления срабатывания производится по согласованию с резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны смежного напряжения ПС Б.

Согласование второй ступени защиты 1 с резервными защитами Т (АТ) ПС Б от междуфазных КЗ или резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны смежного напряжения ПС Б производится методом поиска конца зоны действия ступени защиты, с которой проводится согласование, и отстройкой от полученного замера Z_p по выражению (7.13).

Согласование второй ступени защиты 1 с ДЗ Т (АТ) ПС Б производится с учетом схем подключения последней к ТТ и ТН, а также направленности отдельных ступеней.

Расчет и выбор сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ ЛЭП с выдержками времени по условию согласования с резервными защитами Т (АТ) проводится при металлических КЗ без учета изменения модулей и углов ЭДС генераторов в процессе аварийного режима.

При согласовании ДЗ с разнотипными характеристиками необходимо учитывать пункт 3.3.2.9, при согласовании ступеней ДЗ с резервными токовыми защитами Т (АТ) от междуфазных КЗ необходимо учитывать пункт 3.3.4.2.

7.3.3.7. Расчет выдержки времени срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б»)) производится в соответствии с указаниями по расчету ДЗ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.3.8.

7.3.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основные требования, предъявляемые к третьей ступени ДЗ, – обеспечение резервирования защит ЛЭП и защит или выключателей смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие третьей ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [1] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ДЗ, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет должен быть отдан требованию обеспечения чувствительности.

7.3.4.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б»)) по условию обеспечения чувствительности к междуфазным КЗ в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 7.1) производится по выражению (4.21).

Если обеспечение чувствительности третьей ступени защиты 1 к междуфазным КЗ через переходные сопротивления в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, чувствительность обеспечивается в

соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.4.1.

7.3.4.2. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по согласованию со второй (третьей) ступенью защиты 3 и защиты 4 смежных ЛЭП (пункт 3.2, таблица 7.1) производится аналогично расчету при согласовании второй ступени защиты 1 с первой (второй) ступенью защиты 3, приведенному в пункте 7.3.3.3.

Общие указания для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ по условию согласования с резервными защитами смежных сетевых элементов для ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия, соответствуют указаниям, приведенным в пункте 4.3.4.2.

7.3.4.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1фф}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по согласованию с дистанционной или резервной токовой защитой от междуфазных КЗ Т (АТ) ПС Б производится в случае, если рассчитанное по предыдущим условиям сопротивление срабатывания третьей ступени защиты 1 не отстроено от КЗ на шинах смежного напряжения ПС Б (пункт 3.3, таблица 7.1).

Если согласование с резервными защитами Т (АТ) ПС Б приводит к ограничению чувствительности или значительному увеличению времени действия третьей ступени защиты 1, расчет сопротивления срабатывания производится по согласованию с резервными защитами от междуфазных КЗ присоединений стороны смежного напряжения ПС Б.

7.3.4.4. Выдержка времени третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б») принимается на ступень селективности ΔT больше выдержки времени ступени защиты смежного сетевого элемента, с которой производилось согласование по чувствительности, в соответствии с указаниями, приведенными в пункте 4.3.4.5.

7.3.4.5. Выбор параметров настройки круговых характеристик защиты 1 по отстройке от нагрузочных режимов работы энергосистем (пункт 3.4, таблица 7.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.4.

7.4. Расчет параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками

7.4.1. Перечень параметров настройки ДЗ с полигональными характеристиками, которые требуется определить в процессе расчета, приведен в таблице 7.3.

Указания по расчету и выбору сопротивлений срабатывания первой, второй и третьей ступеней ДЗ с полигональными характеристиками приводятся для ДО от междуфазных КЗ.

Перечень параметров ДЗ с полигональными характеристиками

№ п/п	Степень защиты	Обозначение параметра	Наименование параметра
1	1 ступень	$Z_{уст1\phi\phi}^I (X_{уст1\phi\phi}^I)$	Полное (реактивное) сопротивление ДО первой ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1\phi\phi}^I$	Активное сопротивление ДО первой ступени от междуфазных КЗ
2	2 ступень	$Z_{уст1\phi\phi}^{II} (X_{уст1\phi\phi}^{II})$	Полное (реактивное) сопротивление ДО второй ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1\phi\phi}^{II}$	Активное сопротивление ДО второй ступени от междуфазных КЗ
3	3 ступень	$Z_{уст1\phi\phi}^{III} (X_{уст1\phi\phi}^{III})$	Полное (реактивное) сопротивление ДО третьей ступени от междуфазных КЗ
		$R_{уст1\phi\phi}^{III}$	Активное сопротивление ДО третьей ступени от междуфазных КЗ

7.4.2. Расчет и выбор параметров настройки первой ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основное требование, предъявляемое к первой ступени ДЗ, – обеспечение селективного отключения междуфазных КЗ на защищаемой ЛЭП без выдержки времени.

7.4.2.1. Первая ступень защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», б) выполняется без выдержки времени.

7.4.2.2. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию отстройки от КЗ на шинах ПС Б (пункт 1.1, таблица 7.1) производится по выражениям:

- полное сопротивление срабатывания

$$Z_{уст1\phi\phi}^I \leq k_{отс} \cdot \frac{|\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p}{\sin\varphi_{хар}}; \quad (7.25)$$

- реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{уст1\phi\phi}^I \leq k_{отс} \cdot |\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p, \quad (7.26)$$

где $|\underline{Z}_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2.3.

Для ЛЭП без учета емкостной проводимости расчетное сопротивление \underline{Z}_p при металлических междуфазных КЗ на шинах ПС Б равно суммарному сопротивлению блока $\underline{Z}_{БЛ}$ и определяется по выражению (7.10) с учетом указаний пункта 7.2.1.

При наличии на Т (АТ) блока регулирования напряжения под нагрузкой расчет следует проводить с учетом минимального значения сопротивления $\underline{Z}_{Т-1}$ блока, рассчитанного при крайних или возможных фактических положениях РПН.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I (X_{уст1ф\phi}^I)$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и при междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления на шинах ПС Б в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом доаварийном перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом доаварийных перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

7.4.2.3. Расчет сопротивления срабатывания первой ступени защиты 1 по условию обеспечения перекрытия зон первых ступеней ДЗ с двух сторон защищаемой ЛЭП (пункт 1.2, таблица 7.1) производится по выражениям:

– полное сопротивление срабатывания

$$Z_{уст1ф\phi}^I \geq k_{охв} \cdot |Z_p|; \quad (7.27)$$

– реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{уст1ф\phi}^I \geq k_{охв} \cdot |Z_p| \cdot \sin\varphi_p, \quad (7.28)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$k_{охв}$ – коэффициент охвата, рекомендуемое значение 0,65–0,75.

Для выбора сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^I$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП.

При наличии на Т (АТ) блока регулирования напряжения под нагрузкой необходимо учитывать максимальное расчетное значение сопротивления $\underline{Z}_{Т-1}$ блока при крайнем положении РПН.

Если при металлических КЗ не получается одновременно обеспечить отстройку и охват с учетом сопротивления $\underline{Z}_{Т-1}$ блока, рассчитанного при крайних положениях РПН, необходимо выполнить расчет сопротивления срабатывания с учетом $\underline{Z}_{Т-1}$ блока при возможных фактических положениях РПН.

7.4.2.4. Если расчетное сопротивление срабатывания первой ступени защиты 1 по условию пункта 7.4.2.2 при КЗ через переходные сопротивления не удовлетворяет условию пункта 7.4.2.3, рекомендуется обеспечить требуемый охват при металлических КЗ, а для отстройки от внешних КЗ через переходные сопротивления применить угол наклона (скоса) верхней грани полигональной характеристики (при наличии параметра) в соответствии с пунктом 4.4.2.4.

7.4.2.5. Если согласно техническим данным защиты 1 угол наклона (скоса) верхней грани характеристики отсутствует или полученное значение угла превышает диапазон регулирования, необходимо для расчетных

режимов, где не выполняются условия пункта 7.4.2.2 или получены неудовлетворительные результаты по пункту 7.4.2.4, выполнить отстройку характеристики срабатывания первой степени защиты 1 от замеров \underline{Z}_p при КЗ через переходное сопротивление на шинах ПС Б уставкой активного сопротивления $R_{уст1}^I$ по выражению (4.27) в соответствии с пунктом 4.4.2.5.

7.4.2.6. Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{уст1\phi\phi}^I$ первой степени защиты 1 по условию обеспечения чувствительности к КЗ через переходное сопротивление (пункт 1.3, таблица 7.1) производится по выражению (4.28) в соответствии с пунктами 4.4.2.6, 4.4.2.7.

7.4.2.7. Выбор угла φ_{IV} полигональной характеристики производится по условию обеспечения чувствительности при КЗ через переходные сопротивления в начале защищаемой ЛЭП, расчет выполняется согласно пункту 4.4.2.8.

7.4.3. Расчет и выбор параметров настройки второй степени ДЗ с полигональной характеристикой срабатывания

Требования, предъявляемые ко второй степени ДЗ, – обеспечение надежного отключения междуфазных КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП и обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие второй степени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

7.4.3.1. Расчет сопротивления срабатывания второй степени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по условию обеспечения чувствительности при металлических междуфазных КЗ в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 7.1) производится по выражениям:

- полное сопротивление срабатывания

$$Z_{уст1\phi\phi}^{II} \geq k_{чZ} \cdot \frac{|\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p}{\sin\varphi_{хар}}; \quad (7.29)$$

- реактивное сопротивление срабатывания

$$X_{уст1\phi\phi}^{II} \geq k_{чX} \cdot |\underline{Z}_p| \cdot \sin\varphi_p, \quad (7.30)$$

где $|\underline{Z}_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики;

$k_{чZ}, k_{чX}$ – коэффициенты чувствительности, принимаются согласно пункту 3.3.5.4.

При наличии на Т (АТ) блока регулирования напряжения под нагрузкой расчет следует проводить с учетом максимального значения \underline{Z}_{T-1} блока, рассчитанного при крайнем или возможных фактических положениях РПН.

Для выбора $Z_{уст1\phi\phi}^{II}$ рассматриваются результаты расчета при металлических междуфазных КЗ и междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП,

а также с учетом перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

7.4.3.2. Расчет активного сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, а, б) по условию обеспечения чувствительности при междуфазных КЗ через переходное сопротивление в конце защищаемой ЛЭП (пункт 2.1, таблица 7.1) производится по выражению:

$$R_{уст1ф\phi}^{II} \geq |Z_p| \cdot \frac{\sin(\varphi_{прав} - \varphi_p) + (k_{\text{ч}} - 1)}{\sin \varphi_{прав}}, \quad (7.31)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;

$\varphi_{прав}$ – угол наклона правой боковой стороны характеристики;

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, принимается согласно пункту 3.3.5.4.

При наличии на Т (АТ) блока регулирования напряжения под нагрузкой расчет следует проводить с учетом максимального значения Z_{T-1} блока, рассчитанного при крайнем или возможных фактических положениях РПН.

Для выбора $R_{уст1ф\phi}^{II}$ рассматриваются результаты расчета при междуфазных КЗ через расчетные переходные сопротивления в конце защищаемой ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

7.4.3.3. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты 1 по условию согласования с дистанционными и/или резервными токовыми защитами смежных присоединений от междуфазных КЗ требуется проводить методом поиска конца зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование с учетом возможного сокращения ее зоны, и отстройкой от полученного расчетного замера по выражению:

$$Z_{уст1ф\phi}^{II} \leq k_{отс} \cdot |Z_p| \cdot d, \quad (7.32)$$

где $|Z_p|$ – модуль расчетного сопротивления;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пунктам 3.3.2.7, 3.3.2.8 и/или 3.3.4.1, 3.3.4.2;

d – параметр, который при согласовании защит учитывает возможное различие угла наклона полигональной характеристики второй ступени защиты 1 и угла расчетного сопротивления Z_p :

$$d = \frac{\sin \varphi_p}{\sin \varphi_{хар}} \quad (7.33)$$

7.4.3.4. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{II}$ и выдержек времени второй ступени защиты 1 с полигональной характеристикой для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по условиям обеспечения селективности при междуфазных КЗ на смежных участках сети производится по всем расчетным

условиям (пункты 2.2–2.4, таблица 7.1) и выполняется аналогично расчету параметров настройки второй ступени защиты 1 с круговой характеристикой согласно указаниям, приведенным в пунктах 7.3.3.2–7.3.3.7. В выражениях для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{II}$ параметр d следует определять согласно выражению (7.33).

7.4.3.5. Расчет реактивного сопротивления срабатывания $X_{уст1ф\phi}^{II}$ второй ступени защиты 1 производится на основании принятого значения уставки полного сопротивления $Z_{уст1ф\phi}^{II}$ по выражению:

$$X_{уст1ф\phi}^{II} = Z_{уст1ф\phi}^{II} \cdot \sin\varphi_{хар} \quad (7.34)$$

7.4.4. Расчет и выбор параметров настройки третьей ступени ДЗ от междуфазных КЗ

Основные требования, предъявляемые к третьей ступени ДЗ, – обеспечение резервирования защит своей ЛЭП и защит или выключателей смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ (далее резервирование), а также обеспечение селективности с защитами смежных сетевых элементов при междуфазных КЗ. Действие третьей ступени ДЗ выполняется с выдержкой времени.

В соответствии с пунктом 25 Требований [1] при невозможности одновременного выполнения требований по обеспечению чувствительности и селективности параметров настройки ступени ДЗ ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, приоритет должен быть отдан требованию обеспечения чувствительности.

7.4.4.1. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ ($X_{уст1ф\phi}^{III}$) третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по условию обеспечения чувствительности к металлическим междуфазным КЗ в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования производится по выражениям (4.36) и (4.37).

Если обеспечение чувствительности третьей ступени защиты 1 к междуфазным КЗ в зоне дальнего резервирования невозможно обеспечить по другим расчетным условиям или по техническим данным защиты, чувствительность обеспечивается в соответствии с указаниями по расчету сопротивления срабатывания $Z_{уст1ф\phi}^{III}$ ($X_{уст1ф\phi}^{III}$) одиночной ЛЭП, приведенными в пункте 4.3.4.1.

7.4.4.2. Расчет активного сопротивления срабатывания $R_{уст1}^{III}$ третьей ступени защиты 1 для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по условию обеспечения чувствительности при междуфазных КЗ через переходное сопротивление в конце защищаемой ЛЭП и в зоне дальнего резервирования (пункт 3.1, таблица 7.1) производится по выражению (4.38) с учетом пункта 4.4.4.2.

7.4.4.3. Расчет сопротивления срабатывания $Z_{уст1\phi\phi}^{III}$ и выдержки времени третьей ступени защиты 1 с полигональной характеристикой для схем (рисунок 7.1, «а», «б») по условиям обеспечения селективности при междуфазных КЗ на смежных участках сети производится по всем расчетным условиям (пункты 3.2, 3.3, таблица 7.1) и выполняется аналогично расчету параметров настройки третьей ступени $Z_{уст1\phi\phi}^{III}$ защиты 1 с круговой характеристикой согласно пунктам 7.3.4.2-7.3.4.4. В выражениях для расчета сопротивления срабатывания $Z_{уст1\phi\phi}^{III}$ параметр d следует определять согласно выражению (7.33).

7.4.4.4. Расчет реактивного сопротивления срабатывания третьей ступени защиты 1 $X_{уст1\phi\phi}^{III}$ производится на основании принятой уставки сопротивления срабатывания $Z_{уст1\phi\phi}^{III}$ по выражению:

$$X_{уст1\phi\phi}^{III} = Z_{уст1\phi\phi}^{III} \cdot \sin\varphi_{хар} \quad (7.35)$$

7.4.4.5. Выбор параметров настройки полигональных характеристик защиты 1 по отстройке от нагрузочных режимов работы энергосистем (пункт 3.4, таблица 7.1) производится в соответствии с указаниями пункта 3.4.

8. Пусковые органы, токовый контроль и проверка чувствительности по току точной работы ДЗ ЛЭП

8.1. Расчет параметров настройки пусковых органов ДЗ

В устройствах РЗ пусковые органы предназначены для фиксации факта и вида КЗ в энергосистеме.

Пусковые органы ДЗ ЛЭП могут осуществлять ввод в работу всех ступеней ДЗ либо каждой ступени по отдельности, в этом случае они выполняют функцию токового контроля.

Пусковые органы защиты могут выполнять отдельный пуск ступеней ДЗ от междуфазных КЗ или ступеней ДЗ от КЗ землю. В некоторых защитах пусковые органы могут дополнительно выполнять фазоселективную функцию (определять вид повреждения и поврежденные фазы), а также функцию отстройки от нагрузочных режимов (вырез нагрузки).

В качестве пусковых органов могут использоваться:

- пусковые органы, включенные на фазные токи;
- комбинированные пусковые органы по току и напряжению, включенные на фазные токи и междуфазные напряжения;
- пусковые органы по току обратной последовательности;
- пусковые органы по току и напряжению нулевой последовательности;
- пусковые органы устройства БК;
- дистанционные пусковые органы.

Указания по расчету и выбору параметров настройки пусковых органов ДЗ приводятся ниже для одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

8.1.1. Пусковые органы, включенные на фазные токи

Пусковой орган максимального тока контролирует фазные токи на превышение заданной уставки, в некоторых защитах может выполнять функцию определения поврежденных фаз, а также действовать на пуск защиты помимо дистанционных пусковых органов при их наличии.

8.1.1.1. Расчет первичного тока срабатывания по отстройке от максимального тока по ЛЭП в нагрузочных режимах производится по выражению:

$$I_{с.з} \geq \frac{k_H}{k_B} I_{нагр\ макс} , \quad (8.1)$$

где $I_{нагр\ макс}$ – максимальный ток нагрузочного режима по ЛЭП, определяется в соответствии с пунктом 6 Методических указаний [8];

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

8.1.1.2. Расчет первичного тока срабатывания по отстройке от тока нагрузки по ЛЭП в условиях самозапуска двигателей в составе нагрузки ПС, питающихся от рассматриваемой ЛЭП, при успешном АПВ или АВР производится по выражению:

$$I_{с.з} \geq \frac{k_H k_{\text{самозап}}}{k_B} I_{\text{ддрт}}, \quad (8.2)$$

где $I_{\text{ддрт}}$ – длительно допустимый рабочий ток по ЛЭП, определяется в соответствии с пунктом 6 Методических указаний [8];

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты;

$k_{\text{самозап}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске двигателей нагрузки ПС, питающихся от рассматриваемой ЛЭП, ориентировочно может приниматься равным 1,5–2,0 в зависимости от расчетных условий.

В случае, если режим самозапуска возникает не после возникновения КЗ (например, в результате действия АВР), коэффициент возврата k_B в выражении (8.2) не учитывается.

8.1.1.3. Расчет первичного тока срабатывания по отстройке от максимального тока в неповрежденной фазе при близких несимметричных КЗ производится по выражению:

$$I_{с.з} \geq k_H I_{\text{неп}}, \quad (8.3)$$

где $I_{\text{неп}}$ – максимальное значение первичного тока в неповрежденной фазе при однофазном или двухфазном КЗ на землю вблизи места установки защиты;

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2.

8.1.1.4. Расчет первичного тока срабатывания по обеспечению чувствительности при КЗ в расчетной точке производится по выражению:

$$I_{с.з} \leq \frac{I_{\text{кз мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (8.4)$$

где $I_{\text{кз мин}}$ – первичный фазный ток в месте установки защиты при металлическом КЗ в расчетной точке в режиме, при котором этот ток имеет наименьшее значение; расчетная точка и вид КЗ определяются в зависимости от функции, которую выполняет данный пусковой орган;

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

Для ЛЭП при наличии ответвлений проверка чувствительности пускового органа, включенного на фазные токи, выполняется также при трехфазных и двухфазных КЗ на шинах НН Т (АТ) ПС на ответвлениях, в

случае двухфазных КЗ необходимо учитывать схему соединения обмоток силовых Т У/Δ.

Чувствительность токовых пусковых органов проверяется при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ, ввод в работу которой разрешается от данного пускового органа. Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функцию дальнего резервирования

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

8.1.2. Комбинированный пусковой орган по току и напряжению, включенный на фазные токи и междуфазные напряжения

В составе комбинированного пускового органа по току и напряжению орган максимального тока контролирует фазные токи на превышение заданной уставки, орган минимального напряжения контролирует снижение междуфазного напряжения относительно заданной уставки.

8.1.2.1. Расчет первичного напряжения срабатывания по отстройке от минимального напряжения в нагрузочных режимах производится по выражению:

$$U_{\text{с.з}} \leq \frac{U_{\text{нагр мин}}}{k_{\text{н}} k_{\text{в}}}, \quad (8.5)$$

где $U_{\text{нагр мин}}$ – минимальное значение первичного междуфазного напряжения в месте установки защиты в нагрузочных режимах, определяется в соответствии с пунктом 6 Методических указаний [8];

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

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

8.1.2.2. Расчет первичного напряжения срабатывания по отстройке от напряжения в условиях самозапуска двигателей в составе нагрузки ПС, питающихся от рассматриваемой ЛЭП, производится по выражению:

$$U_{\text{с.з}} \leq \frac{U_{\text{мин}}}{k_{\text{н}}}, \quad (8.6)$$

где $U_{\text{мин}}$ – первичное междуфазное напряжение в условиях самозапуска двигателей, ориентировочно может быть принято равным $0,7U_{\text{ном}}$;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2.

8.1.2.3. Расчет первичного напряжения срабатывания по отстройке от напряжения между неповрежденной и поврежденной фазами производится по выражению:

$$U_{с.з} \leq \frac{U_{неп}}{k_H}, \quad (8.7)$$

где $U_{неп}$ – первичное значение напряжения между и неповрежденной и поврежденной фазами при металлическом однофазном или двухфазном КЗ;

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2.

8.1.2.4. Расчет первичного тока срабатывания по отстройке от длительно допустимого рабочего тока по ЛЭП производится без учета самозапуска двигателей ПС, питающихся от рассматриваемой ЛЭП, по выражению:

$$I_{с.з} \geq \frac{k_H}{k_B} I_{ддрт}, \quad (8.8)$$

где $I_{ддрт}$ – длительно допустимый рабочий ток по ЛЭП, определяется в соответствии с пунктом 6 Методических указаний [8];

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

8.1.2.5. Расчет первичного тока и напряжения срабатывания по обеспечению чувствительности при КЗ в расчетной точке производится по выражениям:

$$U_{с.з} \geq k_{ч} U_{макс\ кз}, \quad (8.9)$$

$$I_{с.з} \leq \frac{I_{кз\ мин}}{k_{ч}}, \quad (8.10)$$

где $U_{макс\ кз}$ – первичное значение междуфазного напряжения в месте установки защиты при металлическом междуфазном КЗ в расчетной точке в режиме, при котором это напряжение имеет наибольшее значение;

$I_{кз\ мин}$ – первичное значение фазного тока в месте установки защиты при металлическом междуфазном КЗ в расчетной точке в режиме, при котором ток имеет наименьшее значение;

$k_{ч}$ – коэффициент чувствительности.

Для ЛЭП при наличии ответвлений проверка чувствительности выполняется также при трехфазных и двухфазных КЗ на шинах НН Т (АТ) ПС на ответвлениях, в случае двухфазных КЗ необходимо учитывать схему соединения обмоток Т (АТ) Y/Δ.

Для комбинированного пускового органа требуется одновременное обеспечение чувствительности согласно выражениям (8.9) и (8.10) при КЗ в одной и той же расчетной точке и в одном и том же расчетном режиме.

Чувствительность комбинированного пускового органа проверяется при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ, ввод в работу которой разрешается от данного пускового органа. Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ с охватом защищаемой ЛЭП:

$k_{\text{ч}} \geq 1,5$
– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функцию
дальнего резервирования:
 $k_{\text{ч}} \geq 1,2$.

8.1.3. Пусковой орган по току обратной последовательности

Пусковой орган по току обратной последовательности контролирует значение тока I_2 и осуществляет ввод в работу ступеней ДЗ при превышении заданных параметров настройки.

8.1.3.1. Первичный ток срабатывания рассчитывается по условию отстройки от суммарного тока небаланса в нагруженном режиме:

$$I_{2 \text{ с.з}} \geq \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} (I_{2\text{нб}} + I_{2\text{н.р}}), \quad (8.11)$$

где $I_{2\text{нб}}$ – ток небаланса в рассматриваемом режиме, обусловленный погрешностями ТТ и фильтра тока обратной последовательности, определяется по выражению:

$$I_{2\text{нб}} = k_{2\text{нб}} I_{\text{ддрт}}, \quad (8.12)$$

где $I_{\text{ддрт}}$ – значение фазного тока, соответствующее длительно допустимому рабочему току по ЛЭП, определяется в соответствии с пунктом 6 Методических указаний [8];

$k_{2\text{нб}}$ – коэффициент небаланса, принимается равным 0,03;

$I_{2\text{н.р}}$ – ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией в системе в нагруженном режиме, при отсутствии несимметрии принимается $I_{2\text{н.р}} = 0$;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

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

8.1.3.2. Расчет первичного тока срабатывания по обеспечению чувствительности при КЗ в расчетной точке производится по выражению:

$$I_{2 \text{ с.з}} \leq \frac{I_{2\text{кз мин}}^{(1,1)}}{k_{\text{ч}}}, \quad (8.13)$$

где $I_{2\text{кз мин}}^{(1,1)}$ – первичный ток обратной последовательности в месте установки защиты при двухфазном КЗ на землю в расчетной точке в режиме, при котором этот ток имеет наименьшее значение.

Чувствительность пускового органа по току обратной последовательности проверяется при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ, ввод в работу которой разрешается от данного пускового органа. Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функцию дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

8.1.4. Пусковые органы по току и напряжению нулевой последовательности

Данные пусковые органы контролируют утроенные значения тока и напряжения нулевой последовательности и осуществляют ввод в работу ступеней ДЗ от КЗ на землю при превышении заданных параметров настройки.

8.1.4.1. Расчет первичного тока срабатывания по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме производится по выражению:

$$3I_{0с.з} \geq \frac{k_H}{k_B} (I_{0нб} + 3I_{0н.р}), \quad (8.14)$$

где $I_{0нб}$ – ток небаланса в нулевом проводе ТТ в рассматриваемом режиме, обусловленный погрешностями ТТ, определяется по выражению:

$$I_{0нб} = k_{0нб} I_{ддрт}, \quad (8.15)$$

где $I_{ддрт}$ – значение фазного тока, соответствующее длительно допустимому рабочему току по ЛЭП, определяется в соответствии с пунктом 6 Методических указаний [8];

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

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

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

8.1.4.2. Расчет первичного напряжения срабатывания по отстройке от небаланса в нагрузочном режиме производится по выражению:

$$3U_{0с.з} \geq \frac{k_H}{k_B} (U_{0нб} + 3U_{0н.р}), \quad (8.16)$$

где $U_{0нб}$ – напряжение небаланса в нагрузочном режиме, может быть принято равным первичному значению напряжения небаланса, соответствующему (1-2) В вторичных;

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

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата, принимается по техническим данным защиты.

8.1.4.3. Расчет первичного тока и напряжения срабатывания нулевой последовательности по обеспечению чувствительности при КЗ в расчетной точке производится по выражениям:

$$3I_{0с.з} \leq \frac{3I_{0кз мин}^{(1)}}{k_ч}; \quad (8.17)$$

$$3U_{0с.з} \leq \frac{3U_{0кз\ мин}^{(1)}}{k_{\text{ч}}}, \quad (8.18)$$

где $3I_{0кз\ мин}^{(1)}$ – первичный утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты при однофазном КЗ на землю в расчетной точке в режиме, при котором этот ток имеет наименьшее значение;

$3U_{0кз\ мин}^{(1)}$ – первичное утроенное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при однофазном КЗ на землю в расчетной точке в режиме, при котором это напряжение имеет наименьшее значение;

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

Чувствительность пускового органа по параметрам нулевой последовательности проверяется при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ, ввод в работу которой разрешается от данного пускового органа. Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функцию дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

8.1.5. Пусковые органы устройства БК

Расчет и выбор параметров настройки пусковых органов устройств БК, которые обеспечивают ввод в работу ДЗ ЛЭП, производится в соответствии с пунктами 9.2, 9.3, 9.4.

8.1.6. Дистанционные пусковые органы

В МП устройствах РЗ дистанционные пусковые органы осуществляют ввод в работу ступеней ДЗ от междуфазных КЗ и ступеней ДЗ от замыканий на землю.

Для дистанционных пусковых органов, как правило, используются те же измерения, что и для ступеней ДЗ. Для пуска ДЗ при междуфазных КЗ используются замеры линейных напряжений и разности токов соответствующих фаз. Для пуска ДЗ при КЗ на землю используются замеры фазных напряжений и фазных токов с компенсацией тока нулевой последовательности. Значение коэффициента компенсации тока нулевой последовательности для дистанционного пускового органа должно соответствовать коэффициенту компенсации самой чувствительной ступени ДЗ от КЗ на землю. В некоторых устройствах РЗ для пуска ДЗ при КЗ на землю могут использоваться фазные напряжения и фазные токи без компенсации тока нулевой последовательности.

В МП устройствах РЗ дистанционные пусковые органы выполняются, как правило, с применением полигональных характеристик срабатывания.

На рисунке 8.1 приведен пример ненаправленной полигональной характеристики дистанционного пускового органа. Уставки по реактивному и активному сопротивлениям срабатывания, как правило, имеют независимое регулирование для пусковых органов, которые осуществляют отдельный пуск ступеней ДЗ при междуфазных КЗ и при КЗ на землю.

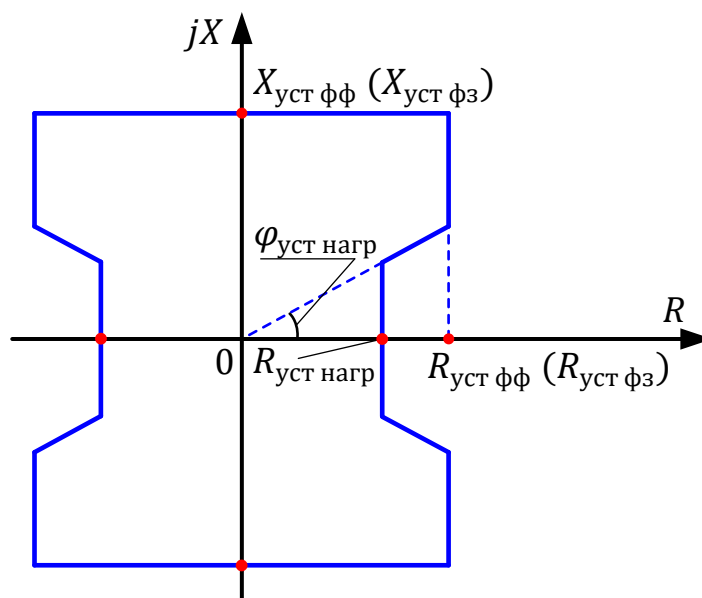


Рисунок 8.1. Пример ненаправленной полигональной характеристики дистанционного пускового органа

Параметры, определяющие полигональную характеристику дистанционного пускового органа:

$X_{уст\ фф}$ – реактивное сопротивление срабатывания при междуфазных КЗ;

$R_{уст\ фф}$ – активное сопротивление срабатывания при междуфазных КЗ;

$X_{уст\ фз}$ – реактивное сопротивление срабатывания при КЗ на землю;

$R_{уст\ фз}$ – активное сопротивление срабатывания при КЗ на землю;

$R_{уст\ нагр}$ и $\varphi_{уст\ нагр}$ – активное сопротивление и угол выреза нагрузки.

Характеристика дистанционного пускового органа должна быть согласована по чувствительности с характеристиками срабатывания самых чувствительных ступеней ДЗ и отстроена от нагрузочных режимов работы энергосистем.

В настоящих Методических указаниях не рассматриваются расчетные условия для выбора параметров настройки дистанционных пусковых органов, выполняющих функцию определения поврежденных фаз на ЛЭП с устройствами ОАПВ.

8.1.6.1. Расчет первичных сопротивлений срабатывания дистанционного пускового органа по условию охвата характеристик срабатывания ДО ступеней ДЗ производится по выражениям:

$$X_{уст\ фф} \geq k_n \cdot X_{уст\ фф}^N; \quad (8.19)$$

$$R_{\text{уст фф}} \geq k_n \cdot \left(R_{\text{уст фф}}^N + \frac{X_{\text{уст фф}}^N}{\text{tg}\varphi_{\text{прав}}} \right); \quad (8.20)$$

$$X_{\text{уст фз}} \geq k_n \cdot X_{\text{уст фз}}^N; \quad (8.21)$$

$$R_{\text{уст фз}} \geq k_n \cdot \left(R_{\text{уст фз}}^N + \frac{X_{\text{уст фз}}^N}{\text{tg}\varphi_{\text{прав}}} \right), \quad (8.22)$$

где $X_{\text{уст фф}}^N, R_{\text{уст фф}}^N$ – реактивное и активное сопротивление срабатывания самой чувствительной ступени ДЗ от междуфазных КЗ;

$X_{\text{уст фз}}^N, R_{\text{уст фз}}^N$ – реактивное и активное сопротивление срабатывания самой чувствительной ступени ДЗ от КЗ на землю;

$\varphi_{\text{прав}}$ – угол наклона правой боковой стороны характеристики самой чувствительной ступени ДЗ;

k_n – коэффициент надежности, принимается из диапазона 1,2–1,25.

8.1.6.2. Отстройка характеристики срабатывания дистанционного пускового органа от нагрузочных режимов работы энергосистемы производится в соответствии с указаниями пункта 3.4.

8.2. Проверка чувствительности по току точной работы

Ток точной работы – это ток, при котором сопротивление срабатывания ДЗ может отклоняться от заданного значения не более чем на 10 %.

Для правильной работы ДЗ при КЗ в пределах защищаемой зоны требуется, чтобы минимальный ток КЗ в месте установки защиты с необходимым запасом превышал минимальное значение тока точной работы, а максимальный ток КЗ в месте установки защиты не превышал максимального значения тока точной работы.

Для ДЗ на электромеханической элементной базе диапазоны значений тока точной работы устанавливаются для каждой ступени ДЗ, для МП защит, как правило, указывается одно значение тока точной работы для всего располагаемого диапазона сопротивлений срабатывания ДЗ.

Проверка чувствительности по току точной работы производится при КЗ в конце защищаемой зоны действия ступени ДЗ по выражению:

$$k_{\text{ч.т.р}} = \frac{I_{\text{кз мин}}}{I_{\text{т.р}}}, \quad (8.23)$$

где $I_{\text{кз мин}}$ – первичный ток КЗ в месте установки защиты при рассматриваемом виде повреждения в расчетном режиме, при котором ток имеет наименьшее значение, вид повреждения определяется в соответствии с функциональным назначением ступени ДЗ;

$I_{\text{т.р}}$ – первичное значение минимального тока точной работы рассматриваемой ступени ДЗ или защиты в целом, принимается по техническим данным конкретного устройства РЗ;

$k_{\text{ч.т.р}}$ – коэффициент чувствительности по току точной работы, требуется обеспечить минимальное значение не менее 1,3.

8.3. Токовый контроль ступеней ДЗ

При отсутствии отдельных пусковых органов ДЗ или при использовании дистанционных пусковых органов в защите может быть реализован токовый контроль отдельных ступеней ДЗ.

Токовый контроль по фазному току (разности фазных токов) используется для ступеней ДЗ от междуфазных КЗ, токовый контроль по утроенному току нулевой последовательности $3I_0$ – для ступеней ДЗ от КЗ на землю.

Расчет первичного тока срабатывания токового контроля по обеспечению чувствительности при КЗ в расчетной точке производится по выражениям:

$$I_{\text{ф т.конт}} \leq \frac{I_{\text{ф кз мин}}}{k_{\text{ч}}}; \quad (8.24)$$

$$3I_{0 \text{ т.конт}} \leq \frac{3I_{0 \text{ кз мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (8.25)$$

где $I_{\text{ф кз мин}}$ – первичное значение фазного тока (разности фазных токов) в месте установки защиты при металлическом междуфазном КЗ в расчетной точке в режиме, при котором ток имеет наименьшее значение;

$3I_{0 \text{ кз мин}}$ – первичное значение утроенного тока нулевой последовательности при металлическом однофазном КЗ на землю в расчетной точке в режиме, при котором ток имеет наименьшее значение;

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

Чувствительность токового контроля ступеней ДЗ проверяется при КЗ в конце защищаемой зоны. Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функцию дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

9. Расчет параметров настройки устройств БК

9.1. Назначение и принципы выполнения устройств БК

Возникновение асинхронного режима в энергосистеме или режима синхронных качаний сопровождается периодическими колебаниями напряжений, токов и мощностей, периодическим изменением взаимного угла ЭДС генераторов электростанций и наличием разности частот между частями энергосистемы при сохранении электрической связи между ними. Токи при этом могут быть значительно больше максимальных токов в нагрузочных режимах, а напряжения в точках сети, близких к электрическому центру качаний, могут снизиться в пределе до нуля. Сопротивление, измеряемое ДО, из области нагрузочных режимов переходит в область характеристик срабатывания, что без принятия специальных мер приводит к неправильным действиям ДЗ и отключениям ЛЭП и оборудования при отсутствии повреждения в энергосистеме.

Для исключения неправильных действий ДЗ необходимы дополнительные устройства и схемные решения, позволяющие различить асинхронный режим и режим КЗ даже в тех случаях, когда сопротивления, измеряемые ДО, в этих режимах одинаковы.

Имеются два основных фактора, по которым можно различить режимы качаний и КЗ:

- появление при КЗ несимметрии трехфазной системы токов или напряжений (хотя бы кратковременной в случае трехфазных КЗ) и отсутствие несимметрии (или малые ее значения) в режимах качаний;
- наличие существенных изменений (приращений) электрических величин (фазных, линейных, симметричных составляющих) за малые промежутки времени при КЗ и незначительных изменений этих же величин за такие же малые промежутки времени при качаниях, что обусловлено более плавными изменениями величин при качаниях в энергосистеме по сравнению с изменениями при КЗ.

По принципам выполнения и реагирования на указанные факторы устройства БК можно разделить на две группы.

Группа I – устройства, обеспечивающие пуск ДЗ при КЗ на время, достаточное для срабатывания, с последующим выводом из действия.

Группа II – устройства, обеспечивающие постоянную готовность ДЗ к срабатыванию и блокирующие защиту только при возникновении синхронных качаний или асинхронного режима.

Под действие устройства БК должны заводиться ступени ДЗ, выдержка времени которых не превышает 1,5 с. Допускается блокировать ступени с большими выдержками времени при обосновании или в связи с техническими особенностями применяемого устройства защиты.

9.2. Расчет параметров настройки устройств БК с пуском по напряжению обратной последовательности и току нулевой последовательности (КРБ-121, КРБ-123, КРБ-125)

Устройства БК типа КРБ-121, КРБ-123, КРБ-125 относятся к Группе I и широко применяются в слаборазветвленных сетях с длинными ЛЭП и маломощными источниками питания. При КЗ на ЛЭП, отходящих от мощных источников питания при малых сопротивлениях обратной последовательности системы, примыкающей к месту установки защиты, устройство БК данного типа может оказаться нечувствительным. В этом случае более целесообразно применение устройства БК типа КРБ-126.

В устройствах БК данного типа используются комбинированные пусковые органы, реагирующие на величину $|\underline{U}_2| + |kI_0|$.

В устройстве задаются следующие параметры настройки (уставки):

$U_{2уст}$ – пуск по напряжению обратной последовательности;

$3I_{0уст}$ – пуск по утроенному току нулевой последовательности.

Таблица 9.1

Диапазон значений параметров настройки устройств БК

Параметр	Диапазон значений		
	КРБ-121	КРБ-123	КРБ-125
$U_{2уст}$, В вторичных	2,0; 3,0; 4,0	2,0; 3,0; 4,0	2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0
$3I_{0уст}$, А вторичных	1,0; 1,5; 2,0 для исполнения на номинальный ток 5 А	1,0; 1,5; 2,0 для исполнения на номинальный ток 5 А	1,0; 1,5; 2,0 для исполнения на номинальный ток 5 А
	0,2; 0,3; 0,4 для исполнения на номинальный ток 1 А	0,2; 0,3; 0,4 для исполнения на номинальный ток 1 А	0,2; 0,3; 0,4 для исполнения на номинальный ток 1 А

Расчет параметров настройки устройства БК производится на основании характеристик срабатывания и кривых чувствительности, приведенных в информации завода-изготовителя. При достаточной чувствительности пуска по $U_{2уст}$ пуск по $3I_{0уст}$ может не использоваться в устройстве.

Ниже приводится пример расчета параметров настройки КРБ-121, расчет параметров настройки КРБ-123 и КРБ-125 производится аналогично. Расчет параметров настройки БК производится во вторичных величинах.

9.2.1. Расчет параметров настройки устройства БК, когда ток $3I_0$ не используется в устройстве

Напряжение срабатывания $U_{2уст}$ выбирается по условию отстройки от максимально возможного напряжения небаланса обратной последовательности в нагрузочном режиме и напряжения обратной

последовательности, обусловленного наличием источников несимметрии в энергосистеме:

$$U_{2уст} \geq \frac{k_H}{k_B} U_{2расч}, \quad (9.1)$$

где $U_{2расч}$ – расчетное вторичное напряжение обратной последовательности в нагрузочном режиме, определяется по выражению (9.2);

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата, находится в пределах 0,75–0,9, ориентировочно может быть принят равным 0,8.

$$U_{2расч} = U_{2нб} + U_{2н.р}, \quad (9.2)$$

где $U_{2нб}$ – напряжение небаланса, обусловленное погрешностями ТН, фильтра напряжения обратной последовательности в нагрузочном режиме;

$U_{2н.р}$ – напряжение обратной последовательности, обусловленное наличием источников несимметрии в энергосистеме.

Условие отстройки от небаланса в режиме качаний не рассматривается в предположении, что значения $U_{2нб}$ и $U_{2н.р}$ в указанном режиме не превышают таковых в нагрузочном режиме.

Значение $U_{2нб}$ зависит от конструктивного выполнения фильтра обратной последовательности, наличия возможных отклонений частоты сети от номинального значения, наличия высших гармонических составляющих в кривой напряжения, а также от падения напряжения в соединительных проводах цепей напряжения от тока нагрузки ТН. Поэтому точный расчет $U_{2нб}$ является затруднительным.

На основании данных опыта эксплуатации в расчетах может быть принято значение $U_{2нб}$, не превышающее 1–2 В фазных вторичных.

Для ЛЭП, питающих тяговые ПС постоянного тока, при отсутствии других источников несимметрии напряжение $U_{2н.р}$ определяется высшими гармониками и с учетом выполнения рекомендаций по подавлению высших гармоник в устройствах БК в расчетах может быть принято значение $U_{2н.р}$, равное 1 В фазных вторичных.

Для ЛЭП, питающих тяговые ПС переменного тока, напряжение $U_{2н.р}$, обусловленное однофазной тяговой нагрузкой, может изменяться в широких пределах.

В расчетах могут быть приняты следующие ориентировочные значения:

$U_{2н.р} = 10$ В фазных вторичных для ЛЭП напряжением 110 кВ;

$U_{2н.р} = 4$ В фазных вторичных для ЛЭП напряжением 220 кВ.

9.2.2. Расчет параметров настройки устройства БК, когда ток $3I_0$ используется в устройстве

Комбинированные пусковые органы $| \underline{U}_2 | + | kI_0 |$ позволяют повысить чувствительность устройства БК при двухфазных КЗ на землю и должны

применяться, если расчетом выявлена недостаточная чувствительность пуска по напряжению обратной последовательности при данном виде КЗ.

Использование тока $3I_0$ в устройстве может привести к увеличению уставки $U_{2уст}$ по сравнению со случаем неиспользования тока $3I_0$, а значит, и к снижению чувствительности при двухфазных КЗ. Указанное увеличение уставки $U_{2уст}$ может оказаться необходимым для отстройки от тока небаланса в нулевом проводе ТТ защиты в режиме качаний.

Выбор параметров настройки устройства БК в рассматриваемом случае производится исходя из режима качаний по выражению:

$$I_{с.р} \geq \frac{k_H}{k_B} \cdot I_{р.расч}, \quad (9.3)$$

где $I_{с.р}$ – ток срабатывания поляризованного реле, реагирующего на выпрямленные значения напряжения обратной последовательности и утроенного тока нулевой последовательности;

$I_{р.расч}$ – ток в реле, соответствующий сумме выпрямленных значений максимального напряжения обратной последовательности $U_{2расч}$ и максимального утроенного тока нулевой последовательности $3I_{0расч}$, от которых устройство должно быть отстроено;

k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2.

В выражении (9.3) может быть приближенно принято:

$$\frac{k_H}{k_B} \approx \frac{1}{0,7}. \quad (9.4)$$

С учетом (9.3) и (9.4) расчет параметров настройки производится по отношению:

$$\frac{I_{р.расч}}{I_{с.р}} \leq 0,7 \quad (9.5)$$

На рисунке 9.1 приведены характеристики чувствительности устройства БК типа КРБ-121, дающие кратности тока в поляризованном реле в зависимости от подводимых величин $3I_0$ и U_2 при заданных уставках $U_{2уст}$ и $3I_{0уст}$. С помощью этих кривых для исходных значений $U_{2расч}$ и $3I_{0расч}$, определяемых в режиме качаний по выражениям (9.2) и (9.7) соответственно, подбираются уставки $U_{2уст}$ и $3I_{0уст}$, при которых отношение $I_p/I_{с.р}$ равно или несколько меньше 0,7:

$$\frac{I_p}{I_{с.р}} = \frac{I_{р.расч}}{I_{с.р}} \leq 0,7 \quad (9.6)$$

Расчетный ток $3I_{0расч}$ для режима качаний может быть определен по выражению:

$$3I_{0расч} = I_{0нб} + 3I_{0н.р}, \quad (9.7)$$

где $I_{0нб}$ – ток небаланса в нулевом проводе ТТ в рассматриваемом режиме;

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

Ток $I_{0нб}$ в режиме качаний определяется по выражению:

$$I_{0нб \text{ кач}} = k_{0нб} \cdot I_{\text{кач}}, \tag{9.8}$$

где $I_{\text{кач}}$ – значение фазного тока в режиме качаний;

$k_{0нб}$ – коэффициент небаланса, принимается равным 0,05 при величине тока $I_{\text{кач}}$, не превышающем значения $(2-3) I_{\text{ном ТТ}}$, при больших кратностях тока $I_{\text{кач}}$ значение коэффициента $k_{0нб}$ принимается из диапазона 0,05-0,1.

В случаях, когда устройство БК при расчете $I_{0нб.кач}$ по выражению (9.8) не удовлетворяет требованиям чувствительности при двухфазном КЗ на землю, значение $I_{0нб \text{ кач}}$ следует определять более точно с использованием кривых намагничивания стали ТТ.

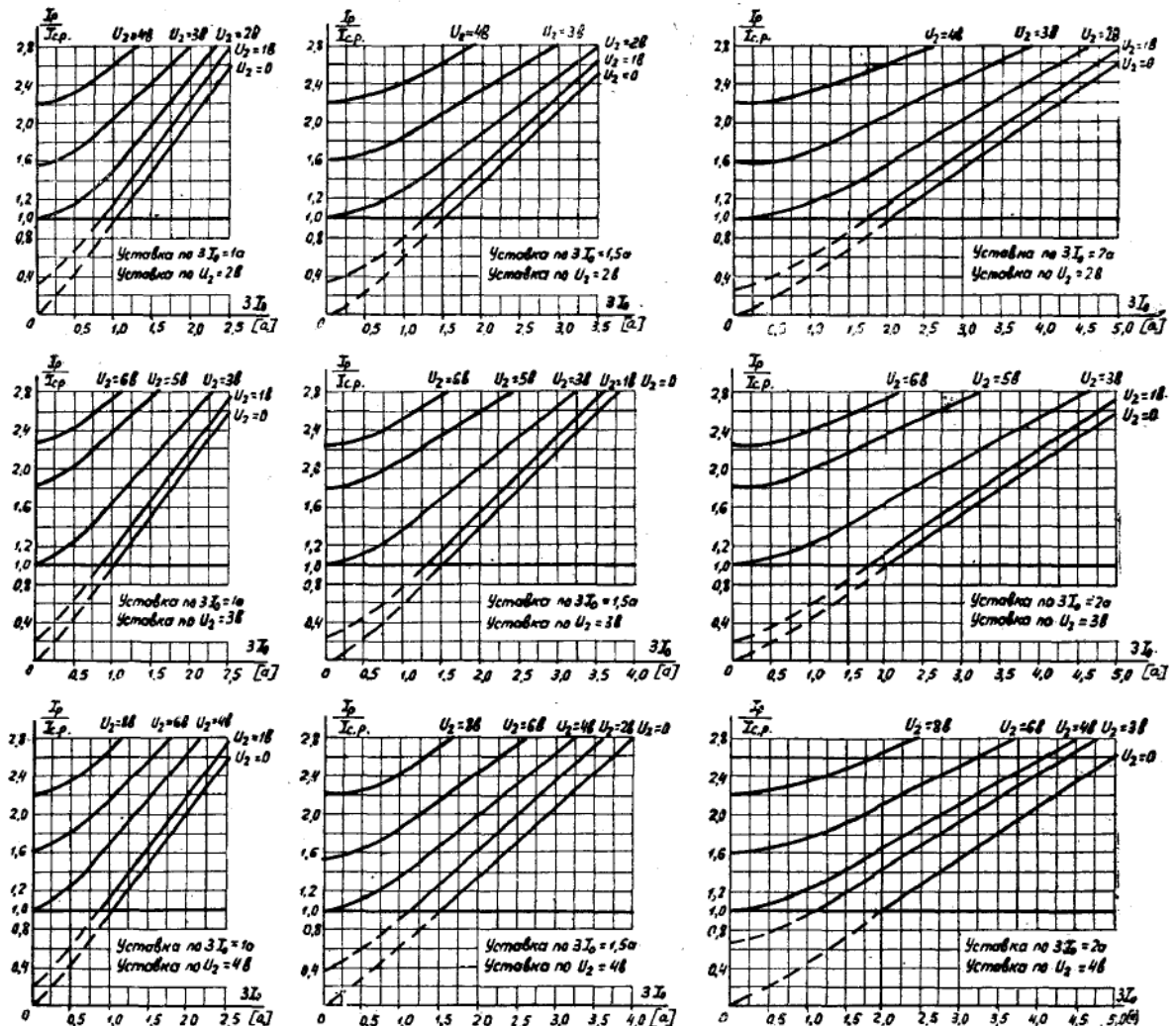


Рисунок 9.1. Характеристики чувствительности устройства БК типа КРБ-121

Примечание. I_p – ток в обмотке реле РН; $I_{с.р}$ – ток срабатывания реле РН; $3I_0$ – утроенный ток нулевой последовательности; U_2 – фазное напряжение обратной

последовательности. Уставки по $3I_0$ и значения токов $3I_0$ даны для исполнения устройства на номинальный ток 5 А.

9.2.3. Проверка чувствительности

Чувствительность устройства БК типа КРБ-121, КРБ-123, КРБ-125 проверяется при КЗ в конце зоны действия блокируемых при качаниях ступеней ДЗ, а также в конце зоны действия неблокируемых ступеней ДЗ, ввод в действие которых осуществляется устройством БК.

Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функции дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

9.2.3.1. Проверка чувствительности устройства БК, когда ток $3I_0$ не используется, производится по выражению:

$$k_{\text{ч}} = \frac{U_{2\text{кз мин}}}{U_{2\text{уст}}}, \quad (9.9)$$

где $U_{2\text{кз}}$ – минимальное вторичное значение напряжения обратной последовательности в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме;

$U_{2\text{уст}}$ – уставка пуска по напряжению обратной последовательности.

В рассматриваемом случае проверка чувствительности производится при двухфазном КЗ на землю.

В качестве расчетного для проверки чувствительности должен быть принят такой режим, при котором напряжение обратной последовательности в месте установки защиты $U_{2\text{кз}}$ наименьшее.

9.2.3.2. Проверка чувствительности устройства БК, когда ток $3I_0$ используется в устройстве, производится при двухфазном КЗ и двухфазном КЗ на землю.

Проверка чувствительности устройства БК при двухфазном КЗ на землю производится для минимальных значений $U_{2\text{кз}}$ и $3I_{0\text{кз}}$ в месте установки защиты и принятых уставок $U_{2\text{уст}}$ и $3I_{0\text{уст}}$ по кривым чувствительности (рисунок 9.1).

9.2.3.3. При согласовании по чувствительности сопротивлений срабатывания ступеней защиты 1 ЛЭП Л-1 и защиты 2 ЛЭП Л-2 (рисунок 9.2) необходимо проверить чувствительность устройства БК защиты 2 при КЗ в конце зоны действия ступени, с которой производится согласование. Такая проверка необходима для предотвращения неправильного срабатывания ступени защиты 1 при КЗ в конце зоны действия ступени защиты 2 и отказе

последней в действии в связи с недостаточной чувствительностью устройства БК.

При согласовании второй ступени защиты 1 с первой ступенью защиты 2 проверку проводить не требуется. Это обусловлено тем, что требуемая чувствительность устройства БК для защиты 2 должна быть обеспечена при КЗ в конце защищаемой ЛЭП, то есть необходимая по условию селективности согласуемых защит чувствительность БК первой ступени защиты 2 при КЗ в конце зоны действия ступени обеспечивается с запасом.

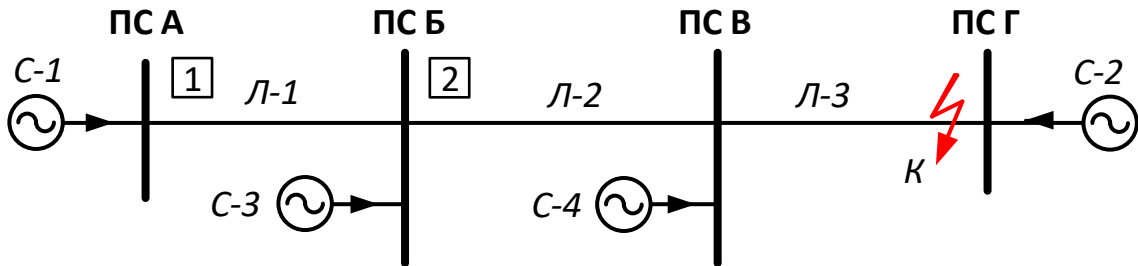


Рисунок 9.2. Пример схемы сети ЛЭП с двусторонним питанием для расчета уставок устройства БК

9.2.4. Примеры расчета параметров настройки и проверки чувствительности устройства БК типа КРБ-121

Пример 1. Ток $3I_0$ в устройстве БК не используется.

1. Исходные данные:

1.1. Расчетное значение вторичного напряжения обратной последовательности, от которого должно быть отстроено устройство БК, принято:

$$U_{2\text{расч}} = 2 \text{ В}$$

1.2. Вторичное напряжение обратной последовательности при двухфазном КЗ землю в конце зоны действия рассматриваемой ступени в расчетном по чувствительности режиме:

$$U_{2\text{кз}}^{(1,1)} = 3 \text{ В}$$

2. Расчет уставки пуска по напряжению обратной последовательности по выражению (9.1):

$$U_{2\text{с.р.}} \geq \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} U_{2\text{расч}} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 2 = 3 \text{ В}$$

Принимается: $U_{2\text{уст}} = 3 \text{ В}$

3. Проверка чувствительности по выражению (9.9):

$$k_{\text{ч}} = \frac{U_{2\text{кз}}^{(1,1)}}{U_{2\text{уст}}} = \frac{3}{3} = 1,0 < 1,5$$

Устройство БК не удовлетворяет требованию чувствительности, необходимо использование в устройстве тока $3I_0$.

Пример 2. Ток $3I_0$ используется в устройстве.

1. Исходные данные:

1.1. Расчетное значение вторичного напряжения обратной последовательности, от которого должно быть отстроено устройство БК (в режиме нагрузки и в режиме качаний), принято:

$$U_{2\text{расч}} = 2 \text{ В}$$

1.2. Расчетное значение вторичного утроенного тока нулевой последовательности, от которого должно быть отстроено устройство БК в режиме качаний, принято:

$$3I_{0\text{расч}} = 0,5 \text{ А}$$

1.3. При двухфазном КЗ на землю в конце зоны действия рассматриваемой ступени ДЗ в расчетном по чувствительности режиме:

$$U_{2\text{кз}}^{(1,1)} = 3 \text{ В};$$

$$3I_{0\text{кз}}^{(1,1)} = 2 \text{ А}$$

При двухфазном КЗ в конце зоны действия рассматриваемой ступени ДЗ в расчетном по чувствительности режиме:

$$U_{2\text{кз}}^{(2)} = 5 \text{ В}$$

2. Расчет уставок устройства БК

Из рассмотрения кривых чувствительности (рисунок 9.1) следует, что при $U_{2\text{расч}} = 2 \text{ В}$ и $3I_{0\text{расч}} = 0,5 \text{ А}$ выражение (9.5) удовлетворяется при $U_{2\text{уст}} = 3 \text{ В}$ и $3I_{0\text{уст}} = 2 \text{ А}$ (рисунок 9.3), при этом отношение:

$$\frac{I_{\text{р.расч}}}{I_{\text{с.р}}} \approx 0,7$$

Принимается: $U_{2\text{уст}} = 3 \text{ В}$, $3I_{0\text{уст}} = 2 \text{ А}$.

3. Проверка чувствительности

При двухфазном КЗ на землю по кривой чувствительности (рисунок 9.3) для $U_{2\text{уст}} = 3 \text{ В}$, $3I_{0\text{уст}} = 2 \text{ А}$ при $U_{2\text{кз}}^{(1,1)} = 3 \text{ В}$, $3I_{0\text{кз}}^{(1,1)} = 2 \text{ А}$ получаем:

$$\frac{I_{\text{р}}}{I_{\text{с.р}}} \approx 1,6$$

При замыкании между двумя фазами в соответствии с выражением (9.9):

$$k_{\text{ч}} = \frac{U_{2\text{кз}}^{(2)}}{U_{2\text{уст}}} = \frac{5}{3} = 1,66$$

Устройство удовлетворяет требованиям чувствительности.

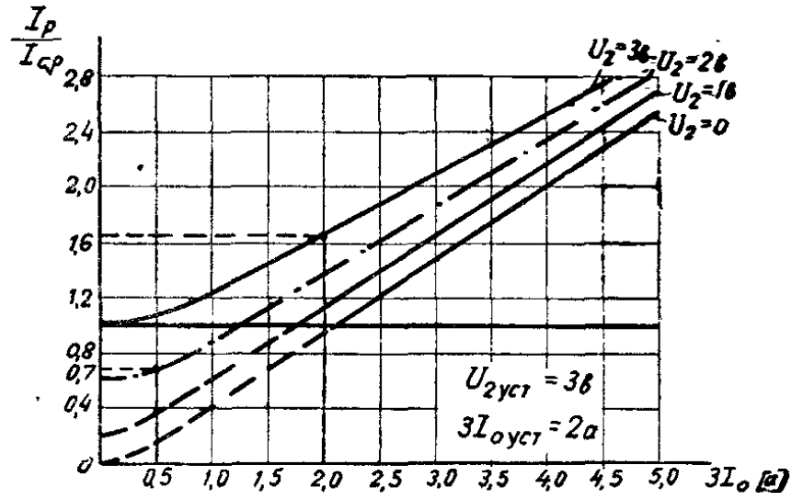


Рисунок 9.3. Характеристики чувствительности устройства БК при качаниях типа КРБ-121

9.3. Расчет параметров настройки устройств БК с пуском по току обратной и току нулевой последовательности (КРБ-122, КРБ-124, КРБ-126)

Устройство БК типа КРБ-122, КРБ-124, КРБ-126 относится к Группе I и широко применяется в разветвленных сетях с мощными источниками питания.

При КЗ в конце длинных ЛЭП, отходящих от маломощного источника питания, устройство БК данного типа может оказаться нечувствительным.

На ЛЭП, питающих тяговые ПС переменного тока, устройство БК приходится загрублять для отстройки от токов обратной последовательности, обусловленных несимметричной нагрузкой.

В устройствах БК данного типа используются комбинированные пусковые органы, реагирующие на величину $|I_2| + |kI_0|$ и имеющие торможение от фазного тока.

В устройстве задаются следующие параметры настройки:

$I_{2уст}$ — пуск по току обратной последовательности;

$3I_{0уст}$ — пуск по утроенному току нулевой последовательности.

$k_{торм\ уст}$ — уставка коэффициента торможения.

Расчет параметров настройки устройства БК данного типа производится на основании характеристик срабатывания и кривых чувствительности, приведенных в информации завода-изготовителя. При достаточной чувствительности пуска по $I_{2уст}$, пуск по $3I_{0уст}$ может не использоваться.

Диапазон значений параметров настройки устройств БК

Параметр	Диапазон значений		
	КРБ-122	КРБ-124	КРБ-126
$I_{2уст}$, А вторичных	0,5; 0,75; 1,0 для исполнения на номинальный ток 5 А.	0,5; 0,75; 1,0 А для исполнения на номинальный ток 5 А.	0,5; 0,75; 1,0; 1,5 А для исполнения на номинальный ток 5 А.
	0,1; 0,15; 0,2 А для исполнения на номинальный ток 1 А	0,1; 0,15; 0,2 А для исполнения на номинальный ток 1 А	0,1; 0,15; 0,2; 0,3 А для исполнения на номинальный ток 1 А
$3I_{0уст}$, А вторичных	1,0; 1,5; 2,0 А для исполнения на номинальный ток 5 А.	1,0; 1,5; 2,0 А для исполнения на номинальный ток 5 А.	1,5; 3,0; 6,0 А для исполнения на номинальный ток 5 А.
	0,2; 0,3; 0,4 А для исполнения на номинальный ток 1 А	0,2; 0,3; 0,4 А для исполнения на номинальный ток 1 А	0,3; 0,6; 1,2 А для исполнения на номинальный ток 1 А
$k_{торм}$, % при минимальной уставке $I_{2уст}$	5; 7,5; 10	5; 7,5; 10	4; 7,0; 11

Характеристика срабатывания пускового реле, показывающая зависимость тока срабатывания от величины тормозного тока $I_{торм}$ и коэффициента торможения, приближенно определяется выражением:

$$I_{2\text{ с.р}} = k_{\text{торм}} I_{\text{торм}} + I_{2\text{ уст}} = \frac{k_{\text{торм уст}}}{100\%} \frac{I_{2\text{ уст}}}{I_{2\text{ уст мин}}} I_{\text{торм}} + I_{2\text{ уст}}, \quad (9.10)$$

где $I_{2\text{ с.р}}$ – расчетный ток обратной последовательности, при котором происходит срабатывание пускового реле при наличии торможения;

$I_{\text{торм}}$ – тормозной ток;

$I_{2\text{ уст}}$ – уставка тока срабатывания пускового реле;

$I_{2\text{ уст мин}}$ – минимальная уставка тока срабатывания пускового реле;

$k_{\text{торм}}$ – коэффициент торможения (%).

С учетом отличия расчетов для случаев использования и неиспользования в устройстве БК тока $3I_0$ расчет параметров настройки и проверка чувствительности рассматриваются отдельно для каждого случая, расчеты производятся во вторичных величинах.

Порядок расчета приводится для устройства БК типа КРБ-122, расчет параметров настройки КРБ-124 и КРБ-126 производится аналогично.

9.3.1. Расчет уставок устройства БК, когда ток $3I_0$ не используется в устройстве

Ток срабатывания устройства выбирается по условию отстройки от суммарного тока обратной последовательности, определяемого в следующих режимах:

– в расчетном нагрузочном режиме:

$$I_{2 \text{ с.р.нагр}} \geq \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} I_{2 \text{ расч.нагр}}, \quad (9.11)$$

где $I_{2 \text{ расч.нагр}}$ – расчетное значение тока обратной последовательности в нагрузочном режиме, от которого должно быть отстроено устройство БК, определяется по выражению (9.12);

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, ориентировочно принимается равным 0,8.

$$I_{2 \text{ расч.нагр}} = I_{2 \text{ нб.нагр}} + I_{2 \text{ н.р.нагр}}, \quad (9.12)$$

где $I_{2 \text{ нб.нагр}}$ – ток небаланса фильтра тока обратной последовательности в расчетном нагрузочном режиме;

$I_{2 \text{ н.р.нагр}}$ – ток обратной последовательности в расчетном нагрузочном режиме, обусловленный несимметрией в системе;

– в режиме качаний:

$$I_{2 \text{ с.р.кач}} \geq k_{\text{н}} I_{2 \text{ расч.кач}}, \quad (9.13)$$

где $I_{2 \text{ расч.кач}}$ – расчетное значение тока обратной последовательности в режиме качаний, от которого должно быть отстроено устройство БК, определяется по выражению (9.14);

$k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2.

$$I_{2 \text{ расч.кач}} = I_{2 \text{ нб.кач}} + I_{2 \text{ н.р.кач}}, \quad (9.14)$$

где $I_{2 \text{ нб.кач}}$ – ток небаланса фильтра тока обратной последовательности (отнесенный к входу фильтра) в режиме качаний;

$I_{2 \text{ н.р.кач}}$ – ток обратной последовательности в режиме качаний, обусловленный несимметрией в системе.

Значения токов $I_{2 \text{ нб.нагр}}$ и $I_{2 \text{ нб.кач}}$ в (9.12) и (9.14) могут быть рассчитаны в предположении совпадения по фазе отдельных слагающих токов небаланса:

$$I_{2 \text{ нб}} = \left(k_{\text{сх}} \frac{\Delta I \%}{100} + k_{\text{fi}} \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta \Phi \%}{100} \right) I, \quad (9.15)$$

где I – максимальный фазный ток в рассматриваемом режиме;

$k_{\text{сх}}$ – коэффициент принимается равным 1/3 для расчетных условий, когда один из ТТ имеет наибольшую погрешность, а два других работают без погрешности, при подключении устройства БК к ТТ, соединенным в полную звезду с нулевым проводом;

$\Delta I \%$ – относительная погрешность ТТ:

– для нагрузочного режима принимается равной 3 %;

– при качаниях погрешность принимается равной 10 %, если ток качаний не превосходит тока, соответствующего кривым кратностей при 10 % погрешности ТТ или определяется точнее по кривым намагничивания ТТ;

- k_{fi} – коэффициент, рекомендуемое значение принимается равным 0,5;
 Δf – абсолютное значение отклонения частоты сети:
 – для нагрузочного режима принимается равным 1 Гц с учетом возможного длительного снижения частоты в эксплуатационных условиях;
 – для режима качаний ориентировочно принимается равным 3 Гц;
 f – номинальная частота сети, равная 50 Гц;
 $\Delta\Phi\%$ – небаланс, обусловленный неточностью настройки фильтра:
 – при токе, не превышающем значения $2I_{\text{НОМ}}$, принимается 1 %;
 – при токе равном $(2-10)I_{\text{НОМ}}$ определяется по выражению:

$$\Delta\Phi\% = 5 \cdot \frac{I}{10I_{\text{НОМ}}} . \quad (9.16)$$

Подставляя в выражения (9.11) и (9.13) приведенные выше значения входящих в них величин с учетом выражений (9.15) и (9.16), получаем:

- в нагрузочном режиме:

$$I_{2\text{расч.нагр}} = 0,03 I_{\text{ддрт}} + I_{2\text{н.р.нагр}}; \quad (9.17)$$

$$I_{2\text{с.р.нагр}} \geq \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} (0,03 I_{\text{ддрт}} + I_{2\text{н.р.нагр}}), \quad (9.18)$$

где $I_{\text{ддрт}}$ – длительно допустимый рабочий ток по ЛЭП;

- в режиме качаний (в предположении, что $\Delta I\% = 10\%$):

$$I_{2\text{расч.кач}} = (0,063 + 0,005 I_{*\text{кач}}) I_{\text{кач}} + I_{2\text{н.р.кач}}; \quad (9.19)$$

$$I_{2\text{с.р.кач}} \geq k_{\text{н}} [(0,063 + 0,005 I_{*\text{кач}}) I_{\text{кач}} + I_{2\text{н.р.кач}}], \quad (9.20)$$

где $I_{*\text{кач}}$ – кратность тока качаний по отношению к номинальному току

ТТ.

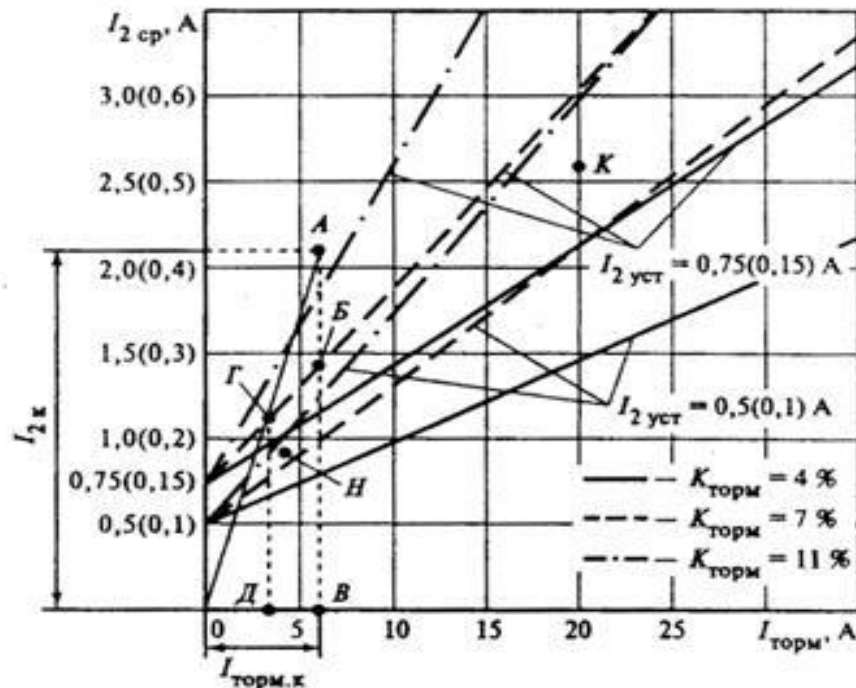


Рисунок 9.4. Характеристики срабатывания устройства БК типа КРБ-122

Примечание. Цифры, показанные в скобках, относятся к исполнению на $I_{\text{НОМ}} = 1\text{ А}$.

Методические указания по расчету и выбору параметров настройки дистанционных защит линий электропередачи 110 кВ и выше

Выбор уставок устройства БК $I_{2\text{уст}}$ и $k_{\text{торм}}$ производится с помощью рисунка 9.4 в следующем порядке.

На плоскость ($I_{2\text{с.р.}}$, $I_{\text{торм}}$) наносятся точки К и Н, ординаты которых соответствуют значениям $I_{2\text{с.р.}}$, определенным для режима качаний и режима нагрузки по выражениям (9.20) и (9.18) соответственно, а абсциссы определяются током торможения $I_{\text{торм}}$ в рассматриваемом режиме. Положение указанных точек на плоскости координат должно соответствовать наиболее тяжелым условиям для выбора характеристики срабатывания.

На основании анализа можно установить, что в качестве расчетного нагрузочного режима (точка Н) следует принимать режимы с максимальным значением тока $I_{2\text{н.р.нагр}}$ и минимальным значением тока $I_{\text{нагр}}$; в качестве расчетного режима качаний (точка К) следует принять режим, характеризуемый максимальным значением тока $I_{\text{кач}}$.

Дополнительно следует учитывать, что в рассматриваемых режимах в качестве тока торможения $I_{\text{торм}}$ должен приниматься ток, равный наименьшему возможному току в фазе А (поскольку в данном устройстве торможение обеспечивается током этой фазы).

В качестве вариантов уставок принимаются значения $I_{2\text{уст}}$ и $k_{\text{торм}}$, соответствующие характеристикам срабатывания, ближайшим к точкам К и Н и проходящим не ниже обеих этих точек. При наличии нескольких вариантов возможных уставок лучший вариант может быть принят при проверке чувствительности устройства.

Для ЛЭП, питающих тяговые ПС на переменном токе, при отсутствии данных о значениях тока обратной последовательности, обусловленного несимметричной нагрузкой, величина $I_{2\text{н.р.нагр}}$ может быть определена по номинальной мощности Т, установленных на ПС, по выражению:

$$I_{2\text{н.р.нагр}} = m \cdot 0,38 \frac{k_{\text{п}} k_{\text{т}} S_{\text{н}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}}, \quad (9.21)$$

где m – число Т на ПС;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий допустимую перегрузку обмоток двух наиболее загруженных фаз Т за счет недогрузки третьей фазы, принимается равным 1,1;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий долю тяговой нагрузки в общей нагрузке Т;

$S_{\text{н}}$ – номинальная мощность Т;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение обмотки ВН Т.

В расчетах могут быть приняты следующие ориентировочные значения:

$I_{2\text{н.р.нагр}} = 100$ А для ЛЭП напряжением 110 кВ;

$I_{2\text{н.р.нагр}} = 50$ А для ЛЭП напряжением 220 кВ.

9.3.2. Выбор параметров настройки устройства БК, когда ток $3I_0$ используется в устройстве

Комбинированные пусковые органы $|I_2| + |kI_0|$ позволяют повысить чувствительность устройства БК при двухфазных КЗ на землю и должны применяться, если расчетом выявлена недостаточная чувствительность пуска по току обратной последовательности при двухфазных КЗ на землю.

Однако использование тока $3I_0$ в устройстве может привести к увеличению уставок $I_{2уст}$ или $k_{тормуст}$ по сравнению со случаем неиспользования тока $3I_0$, а значит, и снижению чувствительности при замыканиях между двумя фазами. Указанное увеличение уставок может оказаться необходимым для отстройки устройства от тока небаланса в нулевом проводе ТТ защиты в нагрузочном режиме или в режиме качаний.

Расчет устройства БК при использовании токов I_2 и $3I_0$ и наличии торможения производится из уравнения характеристики срабатывания устройства (9.11) и кривых чувствительности (рисунок 9.5) из заводской информации на устройство БК, дающих кратности тока в поляризованном реле ПР к току его срабатывания в зависимости от значений токов I_2 и $3I_0$ в защите при заданных уставках $I_{2уст}$ и $3I_{0уст}$.

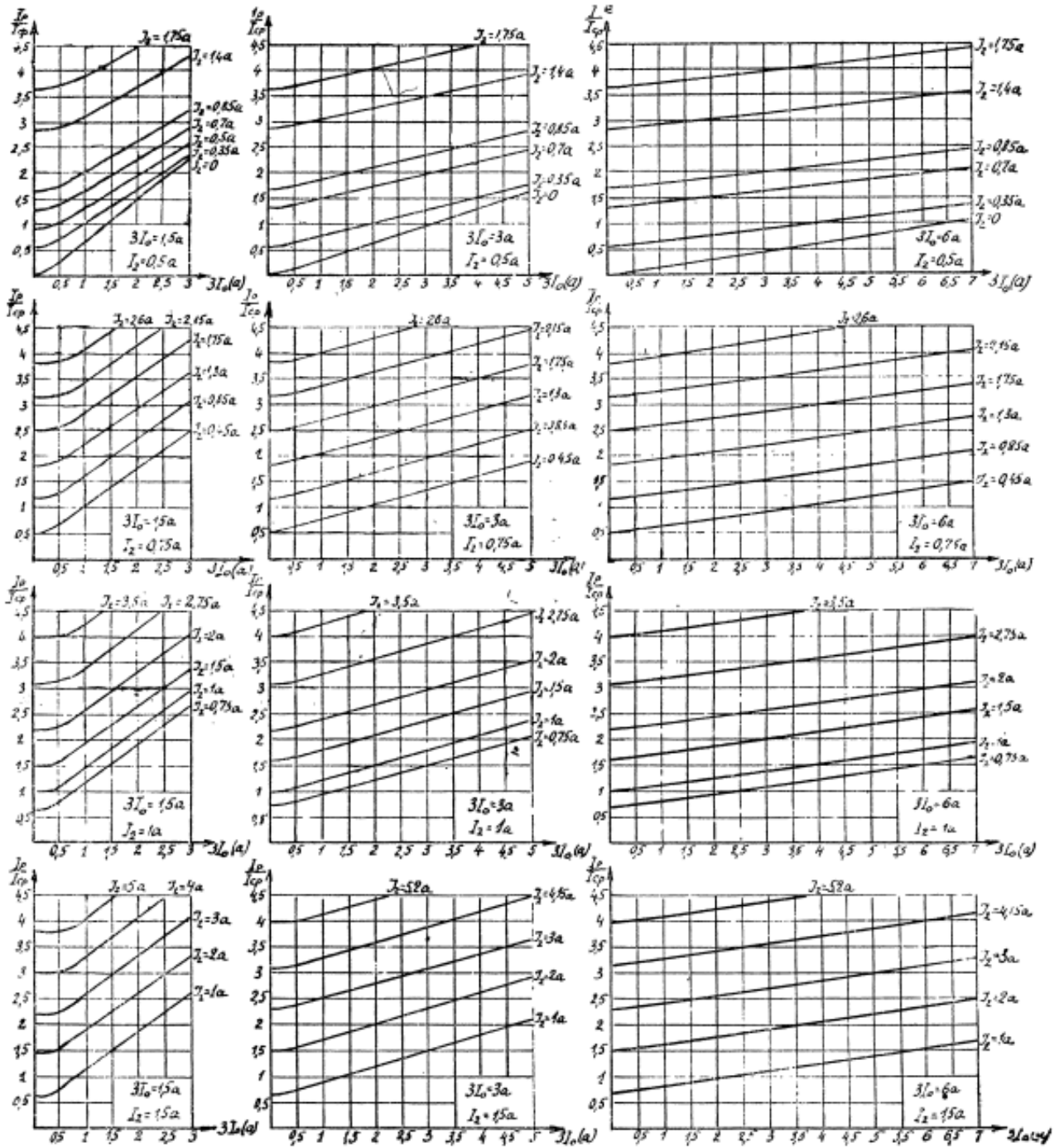


Рисунок 9.5. Характеристики чувствительности устройства БК типа КРБ-122

Примечание. I_p – ток в обмотке реле; $I_{c,p}$ – ток срабатывания реле; I_2 – ток обратной последовательности; $3I_0$ – утроенный ток нулевой последовательности. Уставки по токам $I_{2уст}$ и $3I_{0уст}$ и значения токов I_2 и $3I_0$ даны для исполнения устройства на номинальный ток 5 А.

На основании кривых рисунка 9.5 для уставок $I_{2уст}$ и $3I_{0уст}$ токи в устройстве I_2 и $3I_0$ могут быть заменены одним эквивалентным током

обратной последовательности $I_{2\text{экв}}$ (обуславливающим при данной уставке $I_{2\text{уст}}$ такую же кратность момента на реле, как и при совместном действии токов I_2 и $3I_0$).

Этот ток $I_{2\text{экв}}$ может быть определен исходя из кратности тока на реле при рассматриваемых значениях подводимых к реле токов I_2 и $3I_0$ в соответствии с соотношением:

$$\frac{I_{2\text{экв}}}{I_{2\text{уст}}} = \frac{I_p}{I_{с.р}} \quad (9.22)$$

Тогда для случая $I_0 \neq 0$ уравнение срабатывания устройства (9.10) примет вид:

$$I_{2\text{ экв.с.р}} = k_{\text{торм}} I_{\text{торм}} + I_{2\text{ уст}} \quad (9.23)$$

Выражение (9.23) является уравнением характеристики срабатывания устройства БК в общем виде, представленным графически на рисунке 9.4.

В случае использования в устройстве тока $3I_0$ при определении расчетного тока срабатывания устройства в режимах, указанных в пункте 9.3.1, следует учитывать влияние токов, протекающих через нулевой провод ТТ защиты.

В этом случае ток срабатывания устройства $I_{с.р}$ взамен выражений (9.11) и (9.13) следует определять по выражениям:

$$I_{2\text{с.р.нагр}} \geq \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} I_{2\text{экв.нагр}}; \quad (9.24)$$

$$I_{2\text{с.р.кач}} \geq k_{\text{н}} I_{2\text{экв.кач}}, \quad (9.25)$$

в которых ток $I_{2\text{экв}}$ как результирующий двух слагаемых $I_{2\text{расч}}$ и $3I_{0\text{расч}}$ подлежит определению по кривым чувствительности (рисунок 9.5).

Расчетные токи $I_{2\text{расч}}$ определяются для соответствующих режимов по выражениям (9.12) и (9.14).

Ток $3I_{0\text{расч}}$ для режима нагрузки определяется по выражению:

$$3I_{0\text{расч}} = I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}}, \quad (9.26)$$

где $I_{0\text{нб}}$ – ток небаланса в нулевом проводе ТТ в рассматриваемом режиме;

$3I_{0\text{н.р}}$ – ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе, если такая несимметрия имеется.

Ток $I_{0\text{нб}}$ приближенно может быть определен:

– для режима нагрузки, если ток нагрузки не превышает значения номинального тока ТТ:

$$I_{0\text{нб нагр}} = (0,03-0,05)I_{\text{нагр}} \quad (9.27)$$

– для режима качаний, если ток качаний не превосходит предельной кратности первичного тока ТТ при 10 % погрешности:

$$I_{0\text{нб.кач}} = 0,05I_{\text{кач}} \quad (9.28)$$

В случаях, когда устройство БК при определении $I_{0 \text{ нб.кач}}$ по (9.28) не удовлетворяет требованиям чувствительности при двухфазном КЗ на землю, значение $I_{0 \text{ нб.кач}}$ следует определять более точно с использованием кривых намагничивания стали ТТ.

Ввиду того, что использование кривых (рисунок 9.5) для определения $I_{2\text{экв}}$ в выражениях (9.24) и (9.25) возможно только при известных уставках $I_{2\text{уст}}$ и $3I_{0\text{уст}}$, можно принять следующий порядок расчета:

- для уставок $I_{2\text{уст}}$ и $k_{\text{торм уст}}$, принятых по предварительному расчету (на основании которого выявилась недостаточная чувствительность устройства к двухфазным КЗ на землю при неиспользовании тока $3I_0$), и наибольшей уставки $3I_{0\text{уст}}$ проверяется согласно пункту 9.3.3, чувствительность устройства к двухфазным КЗ на землю; если при этом требование чувствительности не удовлетворяются, то уставка $3I_{0\text{уст}}$ соответственно уменьшается;

- на основании уставок $I_{2\text{уст}}$ и $3I_{0\text{уст}}$ и токов $I_{2\text{расч.кач}}$ и $3I_{0\text{расч.кач}}$, найденных по выражениям (9.14) и (9.28) для режима качаний с помощью кривых чувствительности (рисунок 9.5), определяется отношение $I_p/I_{\text{с.р.}}$, ток $I_{2\text{экв.кач}}$, эквивалентный току обратной последовательности при уставке $I_{2\text{уст}}$, последний может быть определен по преобразованному выражению (9.25):

$$I_{2\text{экв}} \geq \frac{I_p}{I_{\text{с.р}}} I_{2\text{уст}} \quad (9.29)$$

- по выражению (9.25) определяется ток $I_{2\text{с.р.кач}}$ и при принятых $I_{2\text{уст}}$ и $k_{\text{торм уст}}$ по характеристике (рисунок 9.4) проверяется условие отстройки от режима качаний с учетом торможения. Если это условие удовлетворяется, то производится аналогичная проверка для нагрузочного режима, исходя из $I_{\text{с.р.нагр}}$, определяемого по (9.24). В противном случае уставки $I_{2\text{уст}}$ и $k_{\text{торм уст}}$ пересматриваются в соответствии с рассчитанным по выражению (9.24) значением $I_{\text{с.р.нагр}}$ и расчет производится вновь.

При использовании приведенных на рисунке 9.5 заводских характеристик чувствительности БК типа КРБ-122 (КРБ-124, КРБ-126) при больших расчетных значениях токов обратной и нулевой последовательностей может потребоваться экстраполяция этих характеристик.

9.3.3. Проверка чувствительности устройства БК

Чувствительность устройств БК типа КРБ-122, КРБ-124, КРБ-126 необходимо проверять при КЗ в конце зоны действия блокируемых при качаниях ступеней ДЗ, а также в конце зоны действия неблокируемых ступеней ДЗ, ввод в работу которых обеспечивается устройством БК.

9.3.3.1. Проверка чувствительности устройства БК может быть произведена графически следующим образом.

На плоскость $(I_{2с.р}, I_{\text{торм}})$ рисунка 9.4 наносится точка А, соответствующая току $I_{2кз}$ и тормозному току $I_{\text{торм.кз}}$, определенным при металлическом КЗ в расчетных по чувствительности условиях.

Проводится прямая ОА, соединяющая точку А с началом координат. Эта прямая является геометрическим местом точек, соответствующих рассматриваемому случаю КЗ через различные переходные сопротивления.

Определяется точка Г пересечения прямой ОА с характеристикой срабатывания устройства $I_{2с.р} = f(I_{*торм})$, соответствующей выбранным уставкам $I_{2уст}$ и $k_{\text{торм}}$, и точка Б пересечения характеристики срабатывания с проведенным из точки А перпендикуляром АВ к оси абсцисс.

Определяются коэффициенты чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = \frac{AB}{ГД} \text{ и } k'_{\text{ч}} = \frac{AB}{БВ} \quad (9.30)$$

Определение, помимо коэффициента чувствительности $k_{\text{ч}}$, также и коэффициента чувствительности $k'_{\text{ч}}$ целесообразно для учета возможных погрешностей в определении токов $I_{2кз}$ и $I_{\text{торм}}$, а также возможного смещения характеристики срабатывания из-за погрешностей устройства.

9.3.3.2. Для схем, в которых для ввода в работу ступеней ДЗ необходимо срабатывание устройства БК, устройство должно иметь следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5 \text{ и } k'_{\text{ч}} \geq 1,1;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функции дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2 \text{ и } k'_{\text{ч}} \geq 1,1.$$

Следует отметить, что при $k_{\text{ч}} \geq 1,5$ условие $k'_{\text{ч}} \geq 1,1$, как правило, удовлетворяется.

9.3.3.3. Для схем, в которых ввод в работу чувствительных ступеней ДЗ возможен без срабатывания устройства БК, чувствительность проверяется:

– при блокировании только первой ступени ДЗ при несимметричном КЗ в конце зоны первой ступени;

– при блокировании первой и второй ступеней ДЗ при несимметричном КЗ в конце защищаемой ЛЭП и на шинах отпаечных ПС.

В обоих случаях коэффициент чувствительности должен быть $k_{\text{ч}} \geq 1,5$.

9.3.3.4. Устройство БК должно удовлетворять требованиям чувствительности при несимметричных КЗ.

Чувствительность проверяется:

– при неиспользовании тока $3I_0$ только при двухфазном КЗ на землю;

– при использовании тока $3I_0$ при двухфазном КЗ на землю и двухфазном КЗ, поскольку хотя при КЗ между двумя фазами ток обратной

последовательности больше, чем при двухфазном КЗ на землю, однако в последнем случае чувствительность устройства БК повышается из-за наличия тока нулевой последовательности.

9.3.3.5. В качестве расчетных режимов для проверки чувствительности принимаются режимы с минимальными значениями токов обратной и нулевой последовательности $I_{2к.з}$ и $3I_{0к.з}$ в месте установки защиты при минимальных отношениях тока в рабочей обмотке реле к току в тормозной его обмотке.

Значения тормозного тока $I_{\text{торм.кз}}$ при расчете чувствительности устройства БК определяются в тех же расчетных режимах, что и минимальные значения токов $I_{2кз}$ и $3I_{0кз}$ в защите, и принимаются равными максимальному току в одной из поврежденных фаз.

Учитывая, что расчетным при проверке чувствительности является минимальное отношение тока в рабочей обмотке реле к току в тормозной его обмотке, тормозной ток при токах нагрузки, соизмеримых с токами КЗ, следует определять с учетом нагрузки.

9.3.3.6. Расчет чувствительности устройства при двухфазном КЗ на землю в случае, когда в устройстве используется ток $3I_0$, производится исходя из значения эквивалентного тока обратной последовательности $3I_{2\text{экв.кз}}$ в следующем порядке:

- для заданных уставок $I_{2\text{уст}}$ и $3I_{0\text{уст}}$ и значений токов в защите $I_{2кз}$ и $3I_{0кз}$ по кривым чувствительности (рисунок 9.5) определяется отношение $I_p/I_{c.p.}$;
- по выражению (9.29) определяется эквивалентный минимальный ток обратной последовательности в защите $I_{2\text{экв.кз}}$;
- для тока $I_{2\text{экв.кз}}$ и тормозного тока $I_{\text{торм.кз}}$ на плоскость ($I_{2c.p.}$, $I_{\text{торм}}$) (рисунок 9.4) наносится точка А, которая соединяется с началом координат;
- определяются коэффициенты чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = \frac{AB}{ГД} \text{ и } k'_{\text{ч}} = \frac{AB}{БВ}$$

9.3.3.7. Расчет чувствительности устройства может быть произведен также и аналитически с помощью расчетных выражений, выведенных на основании рисунка 9.6.

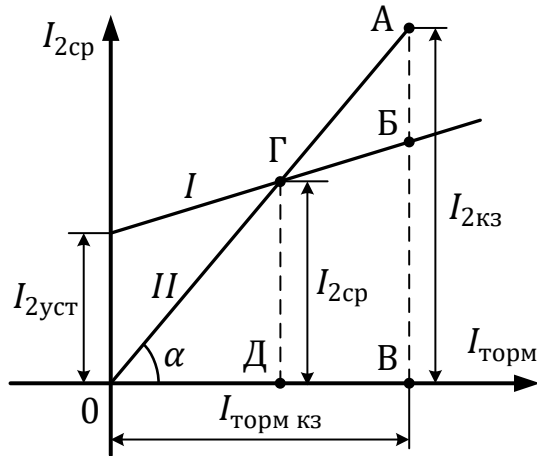


Рисунок 9.6. Проверка чувствительности устройств БК типов КРБ-122, КРБ-124, КРБ-126

На плоскость $(I_{2cp}, I_{торм})$ указанного рисунка нанесена точка А, соответствующая минимальному току $I_{2кз}$ и тормозному току $I_{торм.кз}$ в защите, определенным при металлическом КЗ в расчетных по чувствительности условиях, и характеристика срабатывания устройства — прямая I, которая удовлетворяет выражению (9.10). Прямой II, соединяющей точку А с началом координат, соответствует уравнение:

$$I_2 = \operatorname{tg} \alpha I_{торм} \quad (9.31)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{OB} = \frac{I_{2кз}}{I_{торм.кз}} \quad (9.32)$$

Решая совместно выражения (9.10) и (9.31) с учетом выражения (9.32), можно получить:

$$k_{ч} = \frac{AB}{GD} = \frac{I_{2кз} - k_{торм} I_{торм.кз}}{I_{уст}}, \quad (9.33)$$

где $I_{2кз}$ и $I_{торм.кз}$ — минимальный ток обратной последовательности и соответствующий ему тормозной ток в месте установки защиты в расчетных по чувствительности условиях;

$I_{уст}$, $k_{торм}$ — уставки по току обратной последовательности и коэффициенту торможения.

Исходя из рисунка 9.6, можно получить следующее выражение для коэффициента чувствительности $k'_{ч}$:

$$k'_{ч} = \frac{AB}{BB} = \frac{I_{2кз}}{k_{торм} I_{торм.кз} + I_{уст}} \quad (9.34)$$

Выражения (9.33) и (9.34) могут использоваться для определения чувствительности при двухфазном КЗ, а также при двухфазном КЗ на землю в случае, когда в устройстве не используется ток $3I_0$.

Расчет чувствительности при двухфазном КЗ на землю в случае, когда в устройстве БК используется ток $3I_0$, производится по выражениям, составленным аналогично выражениям (9.33) и (9.34):

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2\text{ЭКВ.КЗ}} - k_{\text{ТОРМ}} I_{\text{ТОРМ.КЗ}}}{I_{2\text{УСТ}}} \quad (9.35)$$

$$k'_{\text{ч}} = \frac{I_{2\text{ЭКВ.КЗ}}}{k_{\text{ТОРМ}} I_{\text{ТОРМ.КЗ}} + I_{2\text{УСТ}}}, \quad (9.36)$$

где $I_{2\text{ЭКВ.КЗ}}$ – эквивалентный ток обратной последовательности в защите в расчетных по чувствительности условиях, определяется по выражению (9.29), исходя из кривых чувствительности (рисунок 9.5) для принятых уставок $I_{2\text{УСТ}}$ и $3I_{0\text{УСТ}}$ и чувствительности устройства КРБ-122.

Пример 1. Ток $3I_0$ в устройстве БК не используется.

1. Исходные данные:

В расчете приняты следующие вторичные токи в цепях защиты:

1.1. В нагрузочном режиме:

$$I_{\text{Ф А}} = I_{\text{ТОРМ}} = 2,0 \text{ А}, \quad I_{\text{Ф В}} = I_{\text{Ф С}} = 3,8 \text{ А} \\ I_{2\text{н.р.нагр}} = 0,6 \text{ А}$$

1.2. В режиме качаний:

$$I_{2\text{н.р.кач}} = 0,6 \text{ А}, \quad I_{\text{Ф А}} \approx I_{\text{Ф В}} \approx I_{\text{Ф С}} \approx 20 \text{ А}$$

1.3. При двухфазном КЗ на землю в расчетной по чувствительности точке (в конце зоны резервирования) ток обратной последовательности в рассматриваемой защите $I_{2\text{К.З}}^{(1,1)} = 2,2 \text{ А}$ при наибольшем токе в фазе (с учетом нагрузки) $I_{\text{Ф}}^{(1,1)} = I_{\text{ТОРМ}} = 6 \text{ А}$.

2. Расчет селективности и проверка чувствительности

В связи с тем, что при исходных данных рассматриваемого примера не могут быть использованы рекомендации по упрощенному расчету, ниже расчет производится в полном объеме.

Расчет селективности производится с помощью выражений (9.18) и (9.20) и характеристик срабатывания устройства БК на рисунке 9.7.

Результаты расчета отражены в таблице 9.3.

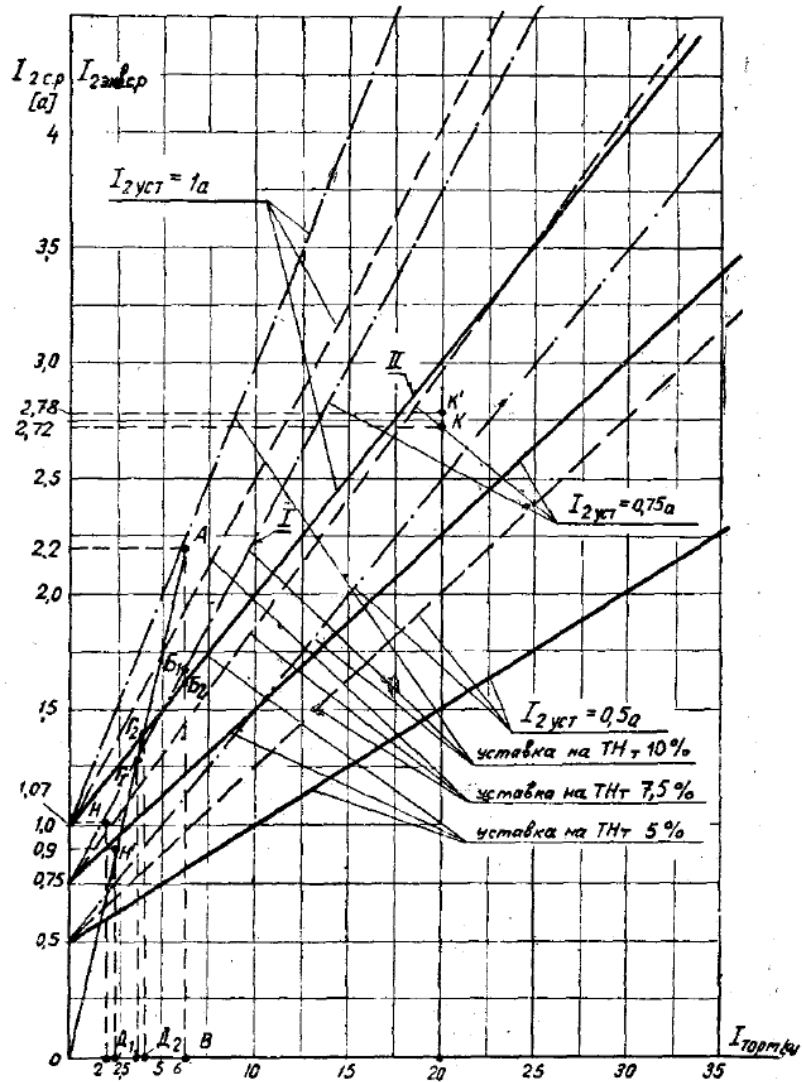


Рисунок 9.7. К примеру расчета устройства БК типа КРБ-122

Для полученных значений $I_{с.р.кач}$ и $I_{с.р.нагр}$ (таблица 9.3, пункты 1, 2) и соответствующих им значений тормозных токов $I_{торм}$ на график наносятся точки К и Н.

Как видно из указанного рисунка, наиболее близко по отношению к точкам К и Н (по сравнению с остальными прямыми, проходящими выше этих точек) проходят прямая I, которой соответствует уставка $I_{2уст} = 0,75$ А и $k_{торм} = 0,15$ (вариант I), и прямая II, которой соответствует уставка $I_{2уст} = 1,0$ А и $k_{торм} = 0,1$ (вариант II) (уставки $k_{торм}$ получены с помощью данных таблицы 9.3).

Оптимальный вариант уставок выясняется в результате проверки чувствительности при двухфазном замыкании на землю. Проверка чувствительности устройства проводится для сравнения двумя способами – графическим (по рисунку 9.6) и аналитическим – по выражениям (9.33) и (9.34).

На основании этих расчетов, приведенных также в таблице 9.3, приняты уставки, соответствующие варианту I, как обеспечивающие чувствительность по основному условию (9.35) большую, чем по варианту II.

Проверка чувствительности для случая КЗ в конце защищаемого участка производится аналогично.

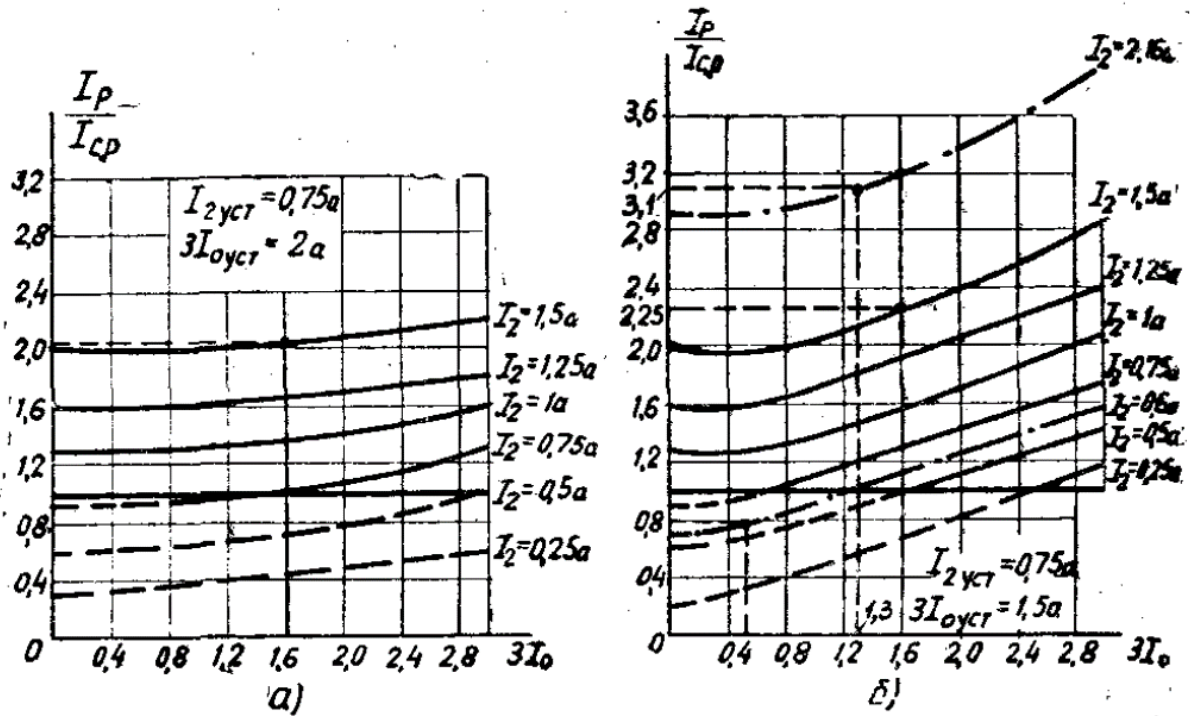


Рисунок 9.8. Характеристики чувствительности ПО устройства БК типа КРБ-122

Таблица 9.3

№ п/п	Расчетные величины	Метод определения	Числовое значение при принятых вариантах уставок	
			I вариант	II вариант
1	Ток срабатывания, определяемый по условию отстройки от режима качаний $I_{2с.р.кач}$	По выражениям (9.13) и (9.14)	$I_{2с.р.кач} \leq 1,2 \left[\left(0,063 + 0,005 \frac{20}{5} \right) 20 + 0,6 \right] = 2,72 \text{ А}$ (точка К на рисунке 9.7)	
2	Ток срабатывания, определяемый по условию отстройки от режима качаний $I_{2с.р.нагр}$	По выражениям (9.11) и (9.12)	$I_{2с.р.нагр} \geq \frac{1,2}{0,8} (0,03 \cdot 3,8 + 0,6) = 1,07 \text{ А}$ (точка Н на рисунке 9.7)	
3	Принятые варианты уставок $I_{2уст}$ и $k_{торм}$	Рисунок 9.7	$I_{2уст} = 0,75 \text{ А}$ $k_{торм} = 0,15$	$I_{2уст} = 1,0 \text{ А}$ $k_{торм} = 0,1$
4	Коэффициент чувствительности $k_ч$ при двухфазном замыкании на землю	Графический по рисунку 9.7	$k_ч = \frac{AB}{\Gamma_1 D_1} = \frac{2,2}{1,27} = 1,73$	$k_ч = \frac{AB}{\Gamma_2 D_2} = \frac{2,2}{1,37} = 1,6$
5		Аналитический по (9.35)	$k_ч = \frac{2,2 - 0,15 \cdot 6}{0,75} = 1,73$	$k_ч = \frac{2,2 - 0,1 \cdot 6}{1} = 1,6$
6	Коэффициент чувствительности $k_ч$ при двухфазном замыкании на землю	Графический по рисунку 9.7	$k_ч = \frac{AB}{B_1 B} = \frac{2,2}{1,66} = 1,33$	$k_ч = \frac{AB}{B_2 B} = \frac{2,2}{1,61} = 1,37$
7		Аналитический по (9.36)	$k'_ч = \frac{2,2}{0,15 \cdot 6 + 0,75} = 1,33$	$k'_ч = \frac{2,2}{0,1 \cdot 6 + 1} = 1,37$
8	Окончательно принятые уставки		$I_{2уст} = 0,75 \text{ А}$ $k_{торм} = 0,15$	

Пример 2. Ток $3I_0$ используется в устройстве:

1. Исходные данные:

Приняты следующие вторичные токи в цепях защиты:

1.1. В расчетном нагрузочном режиме:

$$I_{\Phi A} = I_{\text{торм}} = 2,5 \text{ А}, I_{\Phi B} = I_{\Phi C} = 3,5 \text{ А}$$

$$I_{2\text{н.р.нагр}} = 0,5 \text{ А}, 3I_{0\text{н.р.нагр}} = 0,3 \text{ А}$$

1.2. В режиме качаний:

$$I_{2\text{н.р.кач}} = 0,5 \text{ А}, 3I_{0\text{н.р.кач}} = 0,3 \text{ А}$$

$$I_{\Phi A} \approx I_{\Phi B} \approx I_{\Phi C} \approx 20 \text{ А}$$

1.3. При двухфазном замыкании на землю в расчетной по чувствительности точке (в конце зоны резервирования):

$$I_{2\text{кз}}^{(1,1)} = 1,5 \text{ А}, 3I_{0\text{кз}}^{(1,1)} = 1,6 \text{ А}$$

$$I_{\Phi}^{(1,1)} = I_{\text{торм}} = 6 \text{ А (с учетом нагрузки)}$$

2. На основании расчетов, проведенных аналогично примеру 1 (при неиспользовании тока $3I_0$), получены уставки $I_{2\text{уст}} = 0,75 \text{ А}$ и $k_{\text{торм}} = 0,112$, при этом чувствительность к двухфазным КЗ на землю $k_{\text{ч}} = 1,1$, $k'_{\text{ч}} = 1,05$. Поэтому в устройстве БК используется ток $3I_0$. С целью предварительного определения уставки $3I_{0\text{уст}}$, необходимой для расчета селективности, производится проверка чувствительности при двухфазном КЗ на землю. В рассматриваемом случае целесообразно проверить возможность использования наибольшей уставки $3I_{0\text{уст}}$.

Для $I_{2\text{уст}} = 0,75 \text{ А}$, $I_{2\text{кз}}^{(1,1)} = 1,5 \text{ А}$, $3I_{0\text{кз}}^{(1,1)} = 1,6 \text{ А}$ и $3I_{0\text{уст}} = 2 \text{ А}$ по кривой чувствительности определяется отношение $I_{\text{р}}/I_{\text{с.р.}} = 2,05$ (рисунок 9.8, «а»), откуда по выражению (9.29) определяем:

$$I_{2\text{экв}} = 2,05 \cdot 0,75 = 1,54 \text{ А}$$

По выражениям (9.35) и (9.36):

$$k_{\text{ч}} = \frac{1,54 - 0,112 \cdot 6}{0,75} \approx 1,15$$

$$k'_{\text{ч}} = \frac{1,54}{0,112 \cdot 6 + 0,75} \approx 1,08$$

Поскольку устройство БК при принятых уставках не удовлетворяет требованиям чувствительности, принимаем $3I_{0\text{уст}} = 1,5 \text{ А}$. При этом отношение $I_{\text{р}}/I_{\text{с.р.}} = 2,25$ (рисунок 9.8, «б»),

$$I_{2\text{экв}} = 2,25 \cdot 0,75 = 1,69 \text{ А}$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{1,69 - 0,112 \cdot 6}{0,75} = 1,36 > 1,2$$

$$k'_{\text{ч}} = \frac{1,69}{0,112 \cdot 6 + 0,75} = 1,19 > 1,1$$

Таким образом, при принятой уставке $3I_{0\text{уст}} = 1,5 \text{ А}$ устройство удовлетворяет требованиям чувствительности.

3. Расчет селективности

3.1. Для режима качаний по выражению (9.14):

$$I_{2\text{расч.кач}} \leq \left(0,063 + 0,005 \frac{20}{5}\right) \cdot 20 + 0,5 = 2,16 \text{ А}$$

По выражению (9.26) с учетом выражения (9.28) определяем:

$$3I_{0\text{расч.кач}} = 0,05 \cdot 20 + 0,3 = 1,3 \text{ А.}$$

По кривым чувствительности (рисунок 9.8, «б») для $I_{2\text{уст}} = 0,75 \text{ А}$ и $3I_{0\text{уст}} = 1,5 \text{ А}$ при $I_{2\text{расч.кач}} = 2,16 \text{ А}$ и $3I_{0\text{расч.кач}} = 1,3 \text{ А}$ получим:

$$\frac{I_p}{I_{с.р}} = 3,1$$

По выражению (9.29) определяем:

$$I_{2\text{экв.кач}} = 3,1 \cdot 0,75 = 2,32 \text{ А}$$

По выражению (9.25) определяем:

$$I_{с.р.кач} = 1,2 \cdot 2,32 = 2,78 \text{ А}$$

Для $I_{с.р.кач} = 2,78 \text{ А}$ и $I_{\text{торм}} = 20 \text{ А}$ определяется положение точки К' на графике (рисунок 9.7). Указанная точка лежит ниже прямой для $I_{2\text{уст}} = 0,75 \text{ А}$ и $k_{\text{торм}} = 0,112$, т.е. условие селективности обеспечивается.

3.2. Для расчетного режима нагрузки по выражению (9.17):

$$I_{2\text{расч.нагр}} = 0,03 \cdot 3,5 + 0,5 = 0,605 \text{ А}$$

По выражению (9.26) с учетом выражения (9.28)

$$3I_{0\text{расч.нагр}} = 0,05 \cdot 3,5 + 0,3 = 0,475 \text{ А}$$

По кривым чувствительности устройства для $I_{2\text{уст}} = 0,75 \text{ А}$ и $3I_{0\text{уст}} = 1,5 \text{ А}$ (рисунок 9.8, «б») при $I_{2\text{расч.нагр}} = 0,605 \text{ А}$ и $3I_{0\text{расч.нагр}} = 0,475 \text{ А}$ определяется отношение $I_p/I_{с.р.} = 0,8$,

По выражению (9.29) определяем:

$$I_{2\text{экв.нагр}} = 0,8 \cdot 0,75 = 0,6 \text{ А}$$

По выражению (9.24) определяем:

$$I_{с.р.нагр} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 0,6 = 0,9 \text{ А}$$

Для $I_{с.р.нагр} = 0,9 \text{ А}$ и $I_{\text{торм}} = 2,5 \text{ А}$ определяется положение точки Н' на графике (рисунок 9.7). Указанная точка лежит ниже прямой для $I_{2\text{уст}} = 0,75 \text{ А}$ и $k_{\text{торм}} = 0,112$, т.е. условие селективности обеспечивается.

4. Проверка чувствительности БК

Поскольку окончательно принятые уставки соответствуют принятым при предварительном расчете чувствительности устройства при двухфазном КЗ на землю, то полученные в предварительном расчете значения $k_{\text{ч}}$ и $k'_{\text{ч}}$ при этом виде повреждения сохраняются (пункт 2 настоящего примера).

Дополнительно проверяется чувствительность при замыкании между двумя фазами по выражениям (9.35) и (9.36):

$$k_{\text{ч}} = \frac{2 - 0,112 \cdot 5}{0,75} = 1,96 > 1,2$$

$$k'_ч = \frac{2}{0,112 \cdot 5 + 0,75} = 1,53 > 1,1$$

Устройство БК удовлетворяет требованиям чувствительности.

9.4. Расчет параметров настройки устройств БК с пуском по приращению токов прямой и обратной последовательности

9.4.1. Устройства БК с пуском по приращению токов прямой и обратной последовательности

Устройства БК типа КРБ-122, КРБ-124, КРБ-126 с пуском по току обратной и нулевой последовательности имеют следующие недостатки функционирования:

- отказ блокировки при трехфазных КЗ в случае недостаточной длительности кратковременной несимметрии токов;
- необходимость загробления пусковых органов блокировки при наличии значительной длительной несимметрии токов в нагрузочном режиме (тяговая нагрузка).

Для устранения указанных недостатков в МП устройствах РЗ и устройствах РЗ на микроэлектронной элементной базе отечественного производства применяются пусковые органы БК, реагирующие на приращение (изменение) векторов токов за малый интервал времени (как правило, за период промышленной частоты):

- прямой последовательности DI_1 для исключения отказов БК при трехфазных КЗ;
- обратной последовательности DI_2 для обеспечения работы БК при несимметричных КЗ.

Устройства БК с пуском по приращению токов относятся к Группе I и содержат чувствительные и грубые пусковые органы, которые при всех видах КЗ обеспечивают ввод в работу быстродействующих (блокируемых при качаниях) и медленнодействующих (не блокируемых при качаниях) ступеней ДЗ на время, определяемое соответствующими таймерами логической схемы защиты.

Расчету и выбору подлежат следующие параметры настройки:

$DI_{2\text{чув}}$ – уставка чувствительного пускового органа БК по приращению тока обратной последовательности;

$DI_{2\text{гр}}$ – уставка грубого пускового органа БК по приращению тока обратной последовательности;

$DI_{1\text{чув}}$ – уставка чувствительного пускового органа БК по приращению тока прямой последовательности;

$DI_{1\text{гр}}$ – уставка грубого пускового органа БК по приращению тока прямой последовательности.

Пусковые органы БК по приращению токов должны быть отстроены от возможного небаланса в максимальных нагрузочных режимах и от изменений тока, не связанных с КЗ (асинхронные режимы, коммутации нагрузки и т.д.).

9.4.2. Расчет уставки $DI_{2\text{чув}}$ чувствительного пускового органа БК

9.4.2.1. Уставка $DI_{2\text{чув}}$ рассчитывается по чувствительности при несимметричных КЗ в конце зоны действия самой чувствительной ступени ДЗ, действие которой разрешается от данного пускового органа:

$$DI_{2\text{чув}} \leq \frac{I_{2\text{кз мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (9.37)$$

где $I_{2\text{кз мин}}$ – минимальный ток обратной последовательности в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме;

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

Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функции дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

Расчетными для проверки чувствительности являются следующие виды КЗ:

– двухфазные КЗ на землю и междуфазные КЗ для ступеней ДЗ от междуфазных повреждений;

– однофазные КЗ на землю для ступеней ДЗ от КЗ на землю.

9.4.2.2. Уставка $DI_{2\text{чув}}$ проверяется по отстройке от тока небаланса в максимальном нагрузочном режиме при отклонении частоты сети от номинальной, а также от тока небаланса в асинхронном режиме, если он возможен на защищаемой ЛЭП:

$$DI_{2\text{чув}} \geq \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{2\text{нб расч}}, \quad (9.38)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

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

$I_{2\text{нб расч}}$ – расчетный ток небаланса обратной последовательности, определяется по выражению (9.39).

Ток небаланса обратной последовательности, обусловленный различием погрешностей ТТ разных фаз (принимается, что ТТ одной фазы имеет максимальную погрешность, а два других ТТ не имеют погрешности), определяется по выражению:

$$I_{2\text{нб расч}} = \frac{\varepsilon}{3} \cdot I_{\text{макс}}, \quad (9.39)$$

где $I_{\text{макс}}$ – фазный ток в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме или режиме качаний;

ε – полная погрешность ТТ.

Полная погрешность ТТ зависит от класса точности ТТ, используемого для устройства РЗ.

В соответствии с ГОСТ 7746- 2015 [6] полная погрешность ТТ класса точности 10Р принимается равной 0,03 при максимальном токе нагрузочного режима, не превышающем значения первичного номинального тока ТТ.

Если максимальный ток нагрузочного режима значительно превышает номинальный ток ТТ, а также при расчете тока небаланса в асинхронном режиме рекомендуется принять полную погрешность ТТ равной 0,1.

Таким образом, максимальное расчетное значение тока небаланса обратной последовательности принимается равным:

$$I_{2\text{нб расч макс}} = 0,03(3) \cdot I_{\text{макс}} \quad (9.40)$$

9.4.3. Расчет уставки $DI_{1\text{чув}}$ чувствительного пускового органа БК

9.4.3.1. Уставка $DI_{1\text{чув}}$ рассчитывается по чувствительности при трехфазном КЗ в конце зоны действия самой чувствительной ступени ДЗ, действие которой разрешается от данного пускового органа:

$$DI_{1\text{чув}} \leq \frac{I_{1\text{кз мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (9.41)$$

где $I_{1\text{кз мин}}$ – минимальный ток прямой последовательности в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме.

Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функции дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

9.4.3.2. Уставка $DI_{1\text{чув}}$ проверяется по отстройке от приращения тока прямой последовательности в асинхронном режиме за интервал времени сравнения его значений:

$$DI_{1\text{чув}} \geq k_{\text{н}} \cdot \Delta I_{1\text{ кач}}, \quad (9.42)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1–1,2;

$\Delta I_{1\text{ кач}}$ – приращение (изменение) тока прямой последовательности в асинхронном режиме.

Значение тока качаний в течение цикла асинхронного режима изменяется в зависимости от угла $\delta(t)$ между векторами ЭДС эквивалентных генераторов:

$$I_{\text{кач}}(t) = I_{\text{кач макс}} \sin \frac{\delta(t)}{2}, \quad (9.43)$$

где $I_{\text{кач макс}}$ – значение тока качаний в момент времени, когда угол между векторами ЭДС эквивалентных генераторов составляет $\delta = 180^\circ$.

Период времени, за который угол между векторами ЭДС изменяется от 0° до 360° , называется циклом асинхронного режима $T_{\text{ц}}$:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1}{\Delta f}, \quad (9.44)$$

где $\Delta f = f_2 - f_1$ – разность частот эквивалентных генераторов (частота качаний).

Текущее значение угла между векторами ЭДС в произвольный момент времени t определяется:

$$\delta(t) = 2\pi f_2 t - 2\pi f_1 t = 2\pi \Delta f t \quad (9.45)$$

Перепишем выражение (9.43) для тока качаний в произвольный момент времени t :

$$I_{\text{кач}}(t) = I_{\text{кач макс}} \cdot \sin \pi \Delta f t \quad (9.46)$$

Для упрощения принимают, что частота качаний в процессе асинхронного режима постоянна, тогда скорость изменения тока в произвольный момент времени определяется по выражению:

$$\frac{dI_{\text{кач}}}{dt} = \pi \Delta f \cdot I_{\text{кач макс}} \cdot \cos \pi \Delta f t \quad (9.47)$$

Максимальной скорости изменения тока соответствует равенство $\cos \pi \Delta f t = 1$, в этом случае:

$$\left(\frac{dI_{\text{кач}}}{dt}\right)_{\text{макс}} = \pi \Delta f \cdot I_{\text{кач макс}} \quad (9.48)$$

Максимальное приращение (изменение) тока $\Delta I_{1 \text{ кач}}$ за промежуток времени Δt определяется:

$$\Delta I_{1 \text{ кач}} = \pi \Delta f \cdot I_{\text{кач макс}} \cdot \Delta t, \quad (9.49)$$

где Δt – интервал сравнения значений тока качаний.

Можно переписать выражение (9.49) в виде:

$$\Delta I_{1 \text{ кач}} = \pi \cdot \frac{I_{\text{кач макс}}}{T_{\text{ц}}} \cdot \Delta t, \quad (9.50)$$

где $I_{\text{кач макс}}$, $T_{\text{ц}}$ – ток асинхронного режима и соответствующая ему длительность цикла.

Таким образом, для расчета уставки $DI_{1\text{чув}}$ согласно выражению (9.42) определяющими будут асинхронные режимы с наибольшими значениями тока $I_{\text{кач макс}}$ и наименьшими $T_{\text{ц}}$.

Данное расчетное условие применимо для случая, когда асинхронный режим возможен на защищаемой ЛЭП и чувствительный пусковой орган БК по приращению тока прямой последовательности обеспечивает ввод в работу быстродействующих ступеней ДЗ, выдержка времени которых не отстроена от длительности цикла асинхронного режима.

Если уставка $DI_{1\text{чув}}$ выбранная согласно выражению (9.42), не удовлетворяет требованию пункта 9.4.3.1, для чувствительного пускового органа БК, который обеспечивает ввод в работу ступени ДЗ, выполняющей

функции дальнего резервирования, в соответствии с пунктом 25 Требований [1], приоритет должен быть отдан обеспечению чувствительности при КЗ.

9.4.4. Расчет уставки $DI_{2гр}$ грубого пускового органа БК

9.4.4.1. Уставка $DI_{2гр}$ рассчитывается по чувствительности при несимметричных КЗ в конце зоны самой чувствительной ступени ДЗ, действие которой разрешается от данного пускового органа:

$$DI_{2гр} \leq \frac{I_{2кз\ мин}}{k_{ч}}, \quad (9.51)$$

где $I_{2кз\ мин}$ – минимальный ток обратной последовательности в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме.

Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{ч} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функции дальнего резервирования:

$$k_{ч} \geq 1,2.$$

Расчетными для проверки чувствительности являются следующие виды КЗ:

– двухфазные КЗ на землю и междуфазные КЗ для ступеней ДЗ от междуфазных повреждений;

– однофазные КЗ на землю для ступеней ДЗ от КЗ на землю.

9.4.4.2. Уставка $DI_{2гр}$ проверяется по отстройке от тока небаланса, возникающего в максимальном нагрузочном режиме при отклонении частоты сети от номинальной, а также от тока небаланса в асинхронном режиме, если он возможен на защищаемой ЛЭП, по выражению (9.38).

9.4.5. Расчет уставки $DI_{1гр}$ грубого пускового органа БК

9.4.5.1. Уставка $DI_{1гр}$ рассчитывается по чувствительности при трехфазном КЗ в конце в конце зоны самой чувствительной ступени ДЗ, действие которой разрешается от данного пускового органа:

$$DI_{1гр} \leq \frac{I_{1кз\ мин}}{k_{ч}}, \quad (9.52)$$

где $I_{1кз\ мин}$ – минимальный ток прямой последовательности в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме.

Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{ч} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени, осуществляющей функции дальнего резервирования:

$$k_{ч} \geq 1,2.$$

9.4.5.2. Уставка $DI_{1гр}$ проверяется по отстройке от приращения (изменения) тока прямой последовательности $\Delta I_{1\text{кач}}$ при асинхронном режиме за интервал времени сравнения его значений по выражению (9.42).

Данное расчетное условие применимо для случая, когда асинхронный режим возможен на защищаемой ЛЭП и грубый пусковой орган БК по приращению тока прямой последовательности обеспечивает ввод в работу быстродействующих ступеней ДЗ, выдержка времени действия которых не отстроена от длительности цикла асинхронного режима.

9.5. Расчет параметров настройки устройств БК с контролем скорости изменения сопротивления

9.5.1. Основные принципы выполнения БК с контролем скорости изменения сопротивления

Устройства БК, действие которых основано на контроле скорости изменения измеряемого сопротивления, относятся к Группе II, обеспечивают постоянную готовность ДЗ к срабатыванию и блокируют ее только при возникновении качаний или асинхронного режима.

Основные принципы выполнения БК с контролем скорости изменения сопротивления рассматриваются для случая одиночной ЛЭП с двусторонним питанием (рисунок 9.9).

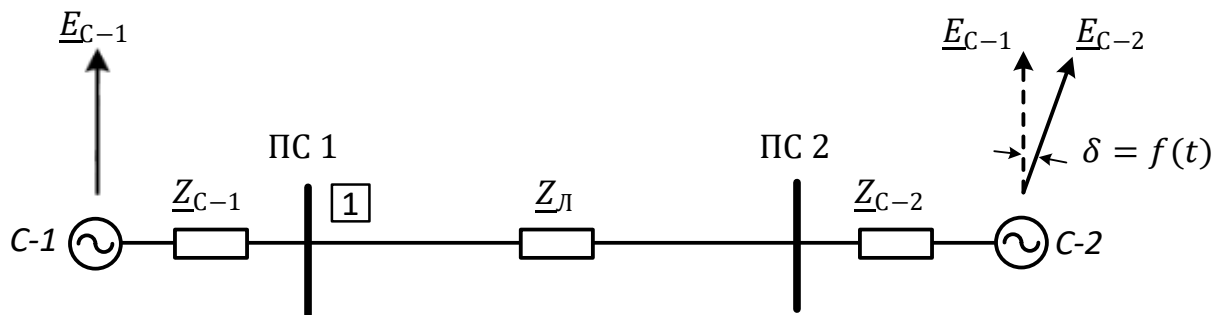


Рисунок 9.9. Эквивалентная схема электропередачи

Активная мощность, передаваемая по линии, зависит от угла δ между векторами ЭДС \underline{E}_{C-1} и \underline{E}_{C-2} эквивалентных генераторов примыкающих энергосистем, величины суммарного сопротивления электропередачи определяется по выражению:

$$P(\delta) = \frac{\underline{E}_{C-1}\underline{E}_{C-2}}{\underline{Z}_{C-1} + \underline{Z}_Л + \underline{Z}_{C-2}} \sin\delta \quad (9.53)$$

Максимальное значение передаваемой активной мощности достигается при угле $\delta = 90^\circ$ и соответствует пределу статической устойчивости. Увеличение передаваемой активной мощности до предела устойчивости электропередачи создает риск нарушения синхронной параллельной работы энергосистемы и перехода в асинхронный режим. Это может произойти по разным причинам:

- при внезапном уменьшении предела передаваемой мощности вследствие увеличения суммарного сопротивления электропередачи при КЗ или при отключении параллельной связи;
- при резком изменении баланса активной мощности вследствие отключения крупного генерирующего источника;
- при медленном возрастании передаваемой активной мощности вследствие увеличения мощности турбины или роста потребления в дефицитном энергоузле и др.

Асинхронный режим сопровождается периодическим снижением напряжения в узлах схемы и увеличением тока в линии, чем создаются условия для неправильной работы ДЗ при отсутствии КЗ в сети.

В нормальном нагрузочном режиме угол между векторами \underline{E}_{C-1} и \underline{E}_{C-2} δ_1 не превышает 90° .

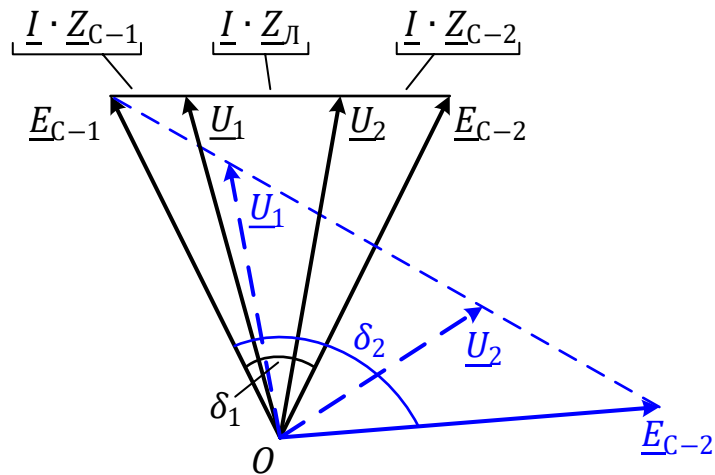


Рисунок 9.10. Векторная диаграмма напряжений

Сумма падений напряжения на сопротивлениях элементов схемы от протекания тока нагрузки равна векторной разности ЭДС:

$$\underline{I} \cdot \underline{Z}_{C-1} + \underline{I} \cdot \underline{Z}_L + \underline{I} \cdot \underline{Z}_{C-2} = (\underline{E}_{C-1} - \underline{E}_{C-2}) \quad (9.54)$$

Линия $\underline{E}_{C-1} \underline{U}_1 \underline{U}_2 \underline{E}_{C-2}$ на векторной диаграмме напряжений (рисунок 9.10) является ломаной линией, поскольку полные сопротивления примыкающих энергосистем и линии в общем случае могут иметь различные углы (неоднородны).

С увеличением угла между векторами \underline{E}_{C-1} и \underline{E}_{C-2} возрастает их векторная разность при неизменных абсолютных значениях ЭДС.

При этом снижаются напряжения в узлах электропередачи \underline{U}_1 и \underline{U}_2 , возрастает ток и соответственно возрастают все падения напряжений, но их отношения, равные отношениям сопротивлений элементов схемы, остаются неизменными.

Диаграмму напряжений можно заменить эквивалентной диаграммой сопротивлений (рисунок 9.11), разделив ЭДС и напряжения на ток.

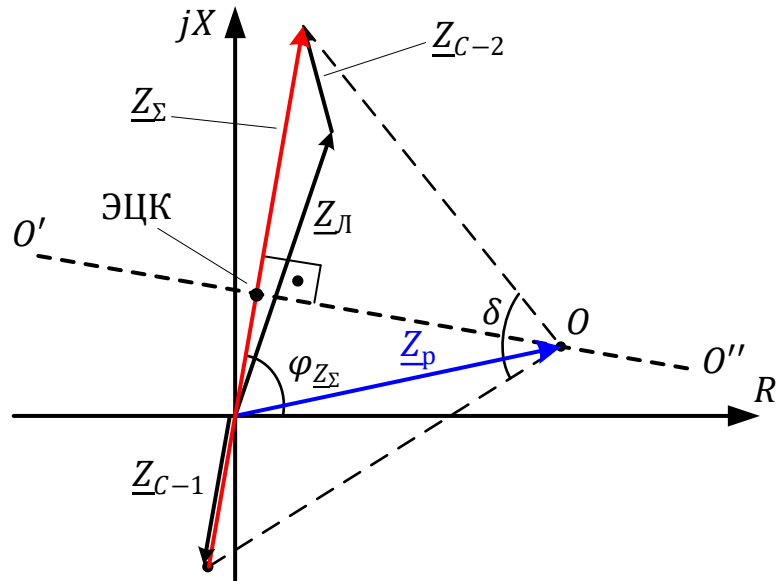


Рисунок 9.11. Диаграмма сопротивлений

На диаграмме сопротивлений начало координат должно соответствовать месту установки защиты 1, в прямом направлении (в линию) откладывается сумма сопротивлений прямой последовательности линии \underline{Z}_L и системы \underline{Z}_{C-2} , а в обратном направлении откладывается сопротивление прямой последовательности примыкающей энергосистемы \underline{Z}_{C-1} .

Поскольку сопротивления элементов схемы не зависят от величины тока, эта часть диаграммы сопротивлений остается неизменной.

При нарушении синхронной работы угол δ между ЭДС меняется с течением времени, соответственно меняется положение точки O (точки нулевого потенциала), которая соответствует концу вектора дистанционного замера \underline{Z}_p .

Таким образом, при асинхронном режиме, также как и при КЗ, вектор \underline{Z}_p перемещается из области доаварийного нагрузочного режима в область характеристик срабатывания ступеней ДЗ. Отличить один режим от другого можно по скорости изменения сопротивления $\underline{Z}_p(t)$.

При КЗ дистанционный замер \underline{Z}_p скачкообразно переходит из области нагрузочного режима в область характеристики срабатывания ДЗ.

При качаниях или асинхронном режиме скорость изменения $\underline{Z}_p(t)$ зависит от угловой скорости относительного вращения ЭДС эквивалентных генераторов.

Текущее значение угла $\delta(t)$ между ЭДС $\underline{E}_{C-2}(t)$ и $\underline{E}_{C-1}(t)$ в произвольный момент времени определяется:

$$\delta(t) = \arg \underline{E}_{C-2} - \arg \underline{E}_{C-1} = 2\pi f_2 t - 2\pi f_1 t = -2\pi \Delta f t, \quad (9.55)$$

где Δf – разность частот эквивалентных генераторов.

Напряжение и ток в месте установки защиты 1 определяются по выражениям:

$$\underline{U}_1(t) = \underline{E}_{C-1}(t) - \underline{Z}_{C-1} \cdot \underline{I}(t) \quad (9.56)$$

$$\underline{I}(t) = \frac{\underline{E}_{C-1}(t) - \underline{E}_{C-2}(t)}{\underline{Z}_{\Sigma}} = \frac{\underline{E}_{C-1}(t) \left(1 - \frac{\underline{E}_{C-2}(t)}{\underline{E}_{C-1}(t)}\right)}{\underline{Z}_{\Sigma}}, \quad (9.57)$$

где \underline{Z}_{Σ} – суммарное сопротивление электропередачи:

$$\underline{Z}_{\Sigma} = \underline{Z}_{C-1} + \underline{Z}_L + \underline{Z}_{C-2} \quad (9.58)$$

Дистанционный замер в месте установки защиты 1 определяется:

$$\underline{Z}_p(t) = \frac{\underline{U}_1(t)}{\underline{I}(t)} = \frac{\underline{Z}_{\Sigma}}{\left(1 - \frac{\underline{E}_{C-2}(t)}{\underline{E}_{C-1}(t)}\right)} - \underline{Z}_{C-1} \quad (9.59)$$

Преобразуем выражение (9.59):

$$\frac{\underline{E}_{C-2}(t)}{\underline{E}_{C-1}(t)} = \frac{|\underline{E}_{C-2}|}{|\underline{E}_{C-1}|} e^{j\delta(t)} = q e^{j\delta(t)} \quad (9.60)$$

$$\underline{Z}_p(t) = \frac{\underline{Z}_{\Sigma}}{(1 - q e^{j\delta(t)})} - \underline{Z}_{C-1} \quad (9.61)$$

За время цикла асинхронного режима, равное периоду относительного вращения векторов ЭДС эквивалентных генераторов $T_{ц} = 1/\Delta f$, угол δ изменяется от 0° до 360° и вектор \underline{E}_{C-2} совершает полный оборот относительно \underline{E}_{C-1} . Дистанционный замер $\underline{Z}_p(t)$ в течение этого интервала времени также будет меняться, совокупность замеров $\underline{Z}_p(t)$ образует траекторию, называемую годографом асинхронного режима (рисунок 9.12).

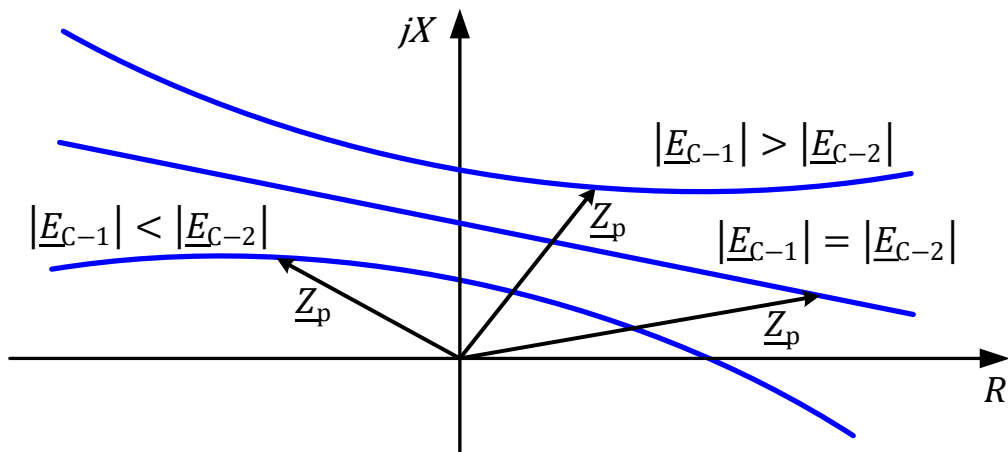


Рисунок 9.12. Различные виды годографов АР

Траектория годографа $\underline{Z}_p(t)$ зависит от соотношения модулей ЭДС, в частном случае равенства модулей $|\underline{E}_{C-1}| = |\underline{E}_{C-2}|$, траектория представляет собой прямую линию, которая перпендикулярна линии суммарного

сопротивления электропередачи \underline{Z}_{Σ} и проходит через ее середину в момент времени, когда угол между векторами \underline{E}_{C-1} и \underline{E}_{C-2} $\delta = 180^\circ$. Данная точка соответствует электрическому центру качаний (ЭЦК) энергосистемы (рисунок 9.11).

Преобразуем выражение (9.61) для случая равенства модулей ЭДС $|\underline{E}_{C-1}| = |\underline{E}_{C-2}|$, $q = 1$:

$$(1 - qe^{j\delta}) = \frac{2}{1 + jctg \frac{\delta}{2}} \quad (9.62)$$

$$\underline{Z}_p(t) = \frac{\underline{Z}_L + \underline{Z}_{C-2} - \underline{Z}_{C-1}}{2} + j \frac{\underline{Z}_{\Sigma}}{2} ctg \frac{\delta}{2} \quad (9.63)$$

Дистанционный замер в месте установки защиты 1 по выражению (9.63) при угле $\delta = 180^\circ$ характеризует положение ЭЦК на рассматриваемой ЛЭП.

9.5.2. Контроль скорости изменения сопротивления

Для контроля скорости изменения сопротивления ДО устройства БК имеют две характеристики разной чувствительности (внешняя и внутренняя).

При КЗ дистанционный замер пересекает границы внешней и внутренней характеристики БК за малый интервал времени $\Delta t_{кз}$.

Асинхронный режим характеризуется более плавным изменением электрических параметров, разновременность пересечения границ внешней и внутренней характеристик БК годографом сопротивлений за интервал времени $\Delta t_{кач}$ контролируется устройством БК и сравнивается с уставкой по времени $T_{БК}$.

Для корректного функционирования устройства БК необходимо, чтобы выполнялось неравенство:

$$\Delta t_{кач} > T_{БК} > \Delta t_{кз} \quad (9.64)$$

Параметры настройки внешней и внутренней характеристик БК и уставка $T_{БК}$ должны обеспечить выявление асинхронных режимов с максимально возможной разностью частот.

Для ориентировочных расчетов принимают равными модули ЭДС $|\underline{E}_{C-1}| = |\underline{E}_{C-2}|$, в этом случае определение интервала времени $\Delta t_{кач}$ производится следующим образом (рисунок 9.13):

- рассчитывается суммарное сопротивление электропередачи \underline{Z}_{Σ} ;
- за начало координат принимается место установки защиты 1;
- строится линия суммарного сопротивления \underline{Z}_{Σ} ;
- проводится прямая линия $O'O''$ перпендикулярно к линии суммарного сопротивления \underline{Z}_{Σ} и делящая ее пополам в точке 1;
- строятся внутренняя ($R_{уст}, X_{уст}$) и внешняя ($R_{уст} + \Delta R, X_{уст} + \Delta X$) характеристики БК;
- определяются точки 3 и 2 пересечения внутренней и внешней характеристик БК с прямой $O'O''$.

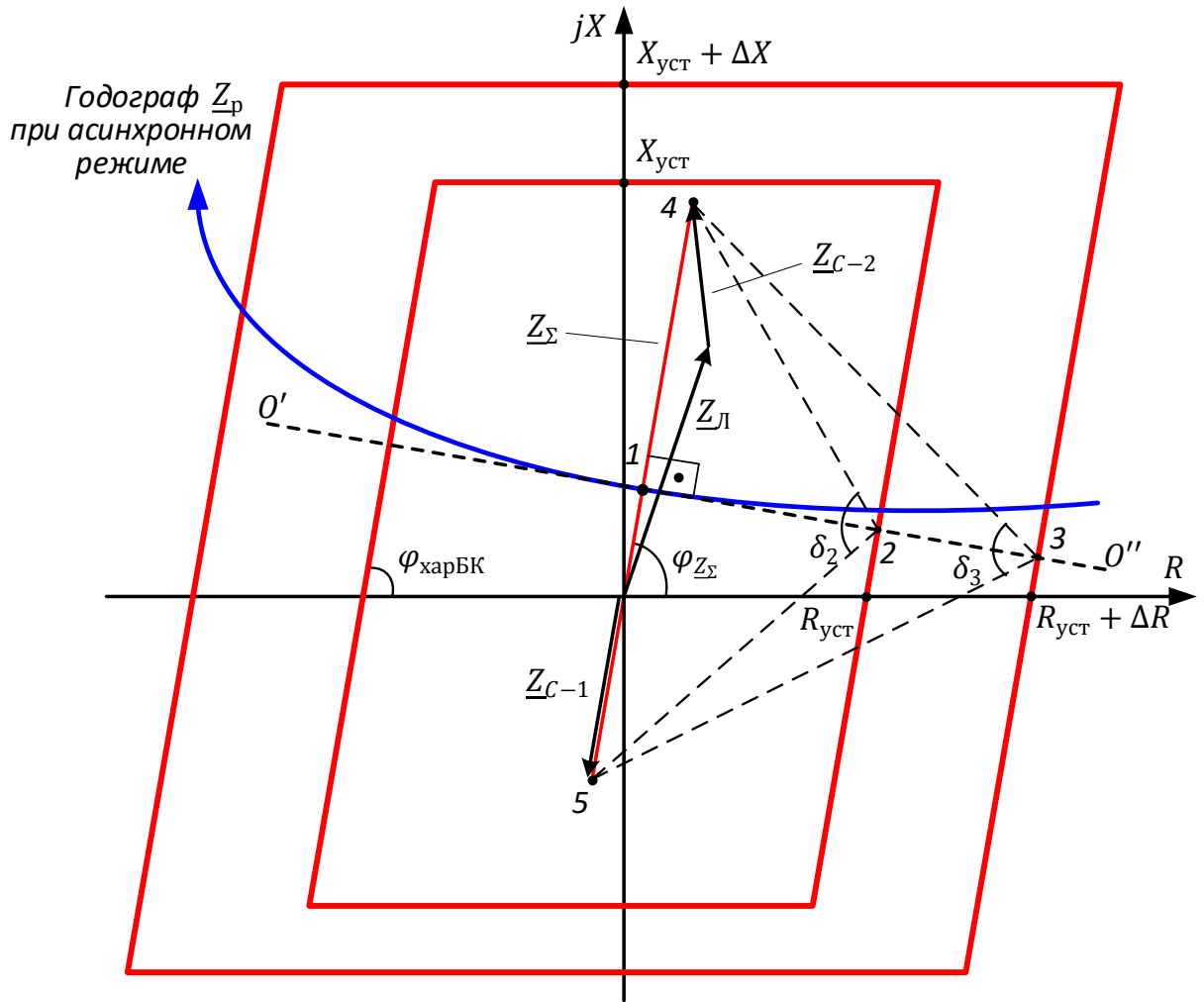


Рисунок 9.13. Пересечение характеристик БК годографом AP

Точка 1 соответствует моменту времени, когда угол между векторами ЭДС \underline{E}_{C-1} и \underline{E}_{C-2} составляет 180° и определяет положение электрического центра качаний (ЭЦК) в системе.

Точки 3 и 2 соответствуют углам между векторами ЭДС в моменты времени пересечения годографом сопротивлений границ внешней (δ_3) и внутренней (δ_2) характеристик БК.

При равенстве углов наклона характеристики БК $\varphi_{\text{харБК}}$ и суммарного сопротивления электропередачи φ_{Z_S} углы δ_3 и δ_2 определяются по выражениям:

$$\delta_3 = 2 \arctg \frac{|\underline{Z}_S|}{2|\underline{Z}_{1-3}|} = 2 \arctg \frac{|\underline{Z}_S|}{2(R_{\text{уст}} + \Delta R) \sin \varphi_{\text{харБК}}} \quad (9.65)$$

$$\delta_2 = 2 \arctg \frac{|\underline{Z}_S|}{2|\underline{Z}_{1-2}|} = 2 \arctg \frac{|\underline{Z}_S|}{2R_{\text{уст}} \sin \varphi_{\text{харБК}}} \quad (9.66)$$

В течение цикла асинхронного режима разница частот эквивалентных генераторов не остается постоянной, но на ограниченном интервале времени

$\Delta t_{\text{кач}}$ пересечения годографом внешней и внутренней характеристик БК допустимо принять $\Delta f = \text{const}$.

Используя выражение (9.55), можно оценить изменение угла $\Delta\delta$ между векторами ЭДС эквивалентных генераторов за интервал времени $\Delta t_{\text{кач}}$:

$$\Delta\delta = (\delta_2 - \delta_3) = 2\pi\Delta f\Delta t_{\text{кач}} \quad (9.67)$$

Для выявления асинхронных режимов с максимальной разностью частот $\Delta f_{\text{макс}}$ определяется интервал времени $\Delta t_{\text{кач.мин}}$:

$$\Delta t_{\text{кач.мин}} = \frac{(\delta_2 - \delta_3)}{2\pi\Delta f_{\text{макс}}} \quad (9.68)$$

Значение $\Delta f_{\text{макс}}$ определяется по результатам расчетов, выполненных в специализированных программных комплексах по расчету электромеханических переходных процессов.

Уставка $T_{\text{БК}}$ рассчитывается исходя из следующих условий:

– по отстройке от интервала времени $\Delta t_{\text{КЗ}}$:

$$T_{\text{БК}} \geq k_{\text{н}} \cdot T, \quad (9.69)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,5–2;

T – период промышленной частоты, 0,02 с;

– по чувствительности к асинхронному режиму с максимальной разностью частот:

$$T_{\text{БК}} \leq \frac{\Delta t_{\text{кач.мин}}}{k_{\text{зап}}}, \quad (9.70)$$

где $k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, обеспечивающий совместно с уставкой ширины зоны определения качаний ΔX (ΔZ), ΔR фиксацию асинхронных режимов с максимальной разностью частот, ориентировочное значение принимается равным не менее 1,3.

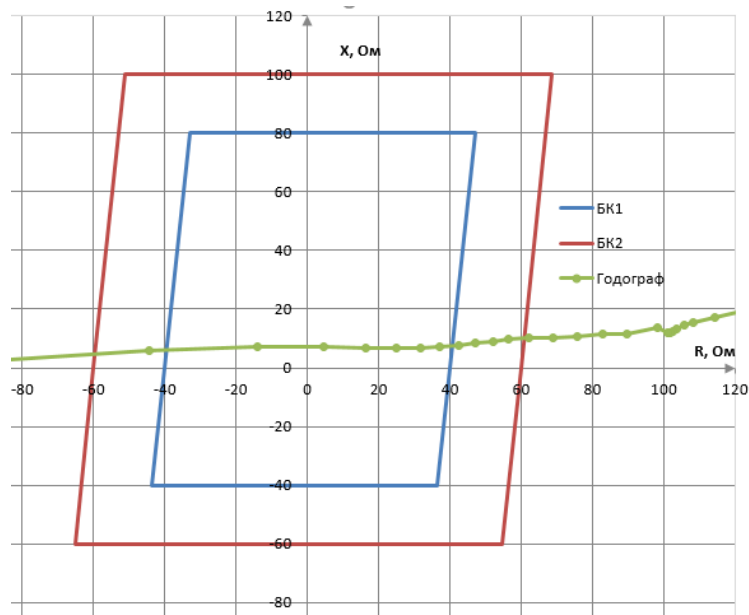


Рисунок 9.14. Графический способ определения $\Delta t_{\text{кач}}$

При наличии результатов расчетов асинхронных режимов в виде годографов сопротивлений можно более точно определить значение интервала времени $\Delta t_{\text{кач}}$ графическим способом, используя метки времени дистанционных замеров (рисунок 9.14).

9.5.3. Таймер возврата устройства БК при развивающихся качаниях

Удерживание выходного сигнала устройства БК после выхода годографа сопротивления из зоны внешней характеристики БК обеспечивает блокирование ДЗ, когда предполагается возврат годографа в характеристику БК при развивающихся качаниях или продолжении процесса асинхронного режима.

Уставка времени возврата определяется длительностью цикла асинхронного режима с минимальной разностью частот:

$$T_{\text{возвр}} \geq k_{\text{н}} \cdot T_{\text{ц макс}}; \quad T_{\text{ц макс}} = \frac{1}{\Delta f_{\text{мин}}}, \quad (9.71)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2–1,3.

9.5.4. Деблокировка устройства БК при КЗ

При возникновении КЗ в зоне действия быстродействующих ступеней ДЗ ЛЭП в процессе синхронных качаний или асинхронного режима необходимо обеспечить быстрый возврат устройства БК.

Возврат устройства БК (деблокировка) может обеспечиваться токовыми пусковыми органами:

- фазного тока при симметричных КЗ;
- тока обратной или нулевой последовательности при несимметричных КЗ.

Ниже приводятся расчетные условия для выбора уставок токовых органов деблокировки устройства БК с учетом некоторых особенностей задания уставок в конкретных устройствах РЗ.

9.5.4.1. Расчет уставки пускового органа деблокировки по фазному току

Уставка ($I_{\text{ф}} >$) задается в о.е. от номинального тока ТТ.

Расчет уставки ($I_{\text{ф}} >$) производится по следующим условиям:

- по отстройке от максимального тока качаний:

$$(I_{\text{ф}} >) \geq \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} \cdot \frac{I_{\text{кач макс}}}{I_{\text{ном}}}, \quad (9.72)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

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

$I_{\text{ном}}$ – номинальный ток ТТ;

- по чувствительности при трехфазном КЗ в конце зоны действия самой чувствительной ступени ДЗ, ввод в работу которой разрешается от данного пускового органа:

$$(I_{\phi} >) \leq \frac{I_{\text{к.з.мин}}}{k_{\text{ч}} \cdot I_{\text{НОМ}}}, \quad (9.73)$$

где $I_{\text{к.з.мин}}$ – минимальный фазный ток в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме;

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

Требуется обеспечить следующие коэффициенты чувствительности:

– при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ с охватом защищаемой ЛЭП:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5;$$

– при КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ, осуществляющей функции дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2.$$

9.5.4.2. Расчет уставки пускового органа деблокировки по току обратной последовательности

Уставка ($I_2 >$) задается в о.е. по отношению к максимальному из фазных токов в защите, пусковой орган срабатывает при превышении величины:

$$I_{2\text{ср}} \geq 0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} + (I_2 >) \cdot I_{\phi \text{ макс}}, \quad (9.74)$$

где $I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток ТТ;

$I_{\phi \text{ макс}}$ – максимальный из фазных токов в месте установки защиты при несимметричном КЗ.

Расчет уставки ($I_2 >$) производится по следующим условиям:

– по отстройке от небаланса при максимальном токе качаний и при наличии источника несимметрии в системе:

$$(I_2 >) \geq \frac{\left(\frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{2\text{расч}} - 0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} \right)}{I_{\phi \text{ макс}}}, \quad (9.75)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным устройства РЗ;

$I_{2\text{расч}}$ – расчетный ток небаланса, определяется по выражению:

$$I_{2\text{расч}} = I_{2\text{нб кач}} + I_{2\text{н.р}}; \quad I_{2\text{нб кач}} = k_{2\text{нб}} \cdot I_{\text{кач макс}}, \quad (9.76)$$

где $k_{2\text{нб}}$ – коэффициент небаланса, принимается равным 0,03(3);

$I_{2\text{н.р}}$ – ток небаланса, обусловленный источником несимметрии в системе, при отсутствии несимметрии принимается равным $I_{2\text{н.р}} = 0$;

– по чувствительности при несимметричных КЗ в конце зоны действия самой чувствительной ступени ДЗ, ввод в работу которой разрешается от данного пускового органа:

$$(I_2 >) \leq \frac{\left(\frac{I_{2\text{расч}}}{k_{\text{ч}}} - 0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} \right)}{I_{\phi \text{ макс}}}, \quad (9.77)$$

где $I_{2\text{расч}}$ – минимальный ток обратной последовательности в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме;

$I_{\text{ф макс}}$ – максимальный из фазных токов в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме.

Коэффициенты чувствительности обеспечиваются в соответствии с пунктом 9.5.4.1.

Расчетными для проверки чувствительности являются следующие виды КЗ:

- двухфазные КЗ на землю и междуфазные КЗ для ступеней ДЗ от междуфазных повреждений;
- однофазные КЗ на землю для ступеней ДЗ от КЗ на землю.

9.5.4.3. Расчет уставки пускового органа деблокировки по току нулевой последовательности.

Уставка ($3I_0 >$) задается в о.е. по отношению к максимальному из фазных токов в защите, пусковой орган срабатывает при превышении величины:

$$3I_{0\text{ ср}} \geq 0,1 \cdot I_{\text{ном}} + (3I_0 >) \cdot I_{\text{ф макс}}, \quad (9.78)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток ТТ;

$I_{\text{ф макс}}$ – максимальный из фазных токов в месте установки защиты при КЗ на землю.

Выбор уставки ($3I_0 >$) производится:

- по отстройке от небаланса при максимальном токе качаний, при котором может сработать токовый орган нулевой последовательности:

$$(3I_0 >) \geq \frac{\left(\frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} \cdot 3I_{0\text{расч}} - 0,1 \cdot I_{\text{ном}}\right)}{I_{\text{ф макс}}}, \quad (9.79)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

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

$3I_{0\text{расч}}$ – расчетный ток небаланса в режиме качаний, определяется по выражению:

$$3I_{0\text{расч}} = I_{0\text{нб кач}} + 3I_{0\text{н.р}}; \quad I_{0\text{нб кач}} = k_{0\text{нб}} \cdot I_{\text{кач макс}}, \quad (9.80)$$

где $I_{0\text{нб кач}}$ – ток небаланса в нулевом проводе ТТ;

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

$k_{0\text{нб}}$ – коэффициент небаланса, принимается из диапазона 0,05–0,1, если ток качаний не превосходит тока предельной кратности первичного тока ТТ при 10 % погрешности;

- по чувствительности при КЗ на землю в конце зоны действия самой чувствительной ступени ДЗ, ввод в работу которой разрешается от данного пускового органа:

$$(3I_0 >) \leq \frac{\left(\frac{3I_{0\text{расч}}}{k_{\text{ч}}} - 0,1 \cdot I_{\text{ном}}\right)}{I_{\text{ф макс}}}, \quad (9.81)$$

где $k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности;

$3I_{0\text{расч}}$ – ток нулевой последовательности при КЗ на землю в месте установки защиты в расчетном по чувствительности режиме;

$I_{\text{ф макс}}$ – максимальный из фазных токов при КЗ на землю в месте установки защиты в расчетном режиме.

Коэффициенты чувствительности обеспечиваются в соответствии с пунктом 9.5.4.1.

9.5.4.4. Для устройств РЗ, в которых возврат функции БК при несимметричных КЗ обеспечивается пусковым органом, реагирующим на отношение модулей токов обратной и прямой последовательности, выбор уставки ($I_2 dZ/dt$) производится:

- по отстройке от небаланса в режиме качаний:

$$(I_2 dZ/dt) \geq 100 \cdot \frac{\frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{2\text{расч}}}{I_{\text{кач макс}}}, \quad (9.82)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается по техническим данным устройства РЗ;

$I_{2\text{расч}}$ – расчетный ток небаланса, определяется по выражению (9.76);

- по обеспечению надежного пуска при несимметричных КЗ в конце зоны действия самой чувствительной ступени ДЗ, ввод в работу которой разрешается от данного пускового органа:

$$(I_2 dZ/dt) \leq 100 \cdot \frac{I_{2\text{расч}}/I_{1\text{расч}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (9.83)$$

где $I_{2\text{расч}}/I_{1\text{расч}}$ – отношение модулей токов обратной и прямой последовательности в месте установки защиты в расчетных по чувствительности условиях;

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

Коэффициенты чувствительности обеспечиваются в соответствии с пунктом 9.5.4.1.

Расчетными для проверки чувствительности являются следующие виды КЗ:

- двухфазные КЗ на землю и междуфазные КЗ для ступеней ДЗ от междуфазных повреждений;
- однофазные КЗ на землю для ступеней ДЗ от КЗ на землю.

10. Расчет параметров настройки ускоряемых ступеней ДЗ

10.1. Расчет параметров настройки оперативно ускоряемых ступеней ДЗ

10.1.1. Общие требования к оперативно ускоряемым ступеням ДЗ

В качестве оперативно ускоряемой ступени ДЗ ЛЭП используется ступень, обеспечивающая требуемую для резервной защиты чувствительность при КЗ 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 ускоряемых ступеней ДЗ производится для случая одновременного вывода из работы всех комплектов основных быстродействующих защит ЛЭП (шин).

При выводе из работы основной быстродействующей защиты ЛЭП или ДЗШ на ПС, примыкающей к противоположному концу защищаемой линии, предусматривается ввод ОУ прямонаправленной ступени ДЗ с надежным охватом всей защищаемой ЛЭП. Как правило, оперативно ускоряется вторая ступень ДЗ. В случае недостаточной чувствительности второй ступени допускается ввод ОУ третьей ступени или отдельной, специально предназначенной для этих целей, ускоряемой ступени ДЗ. При наличии технической возможности отдельная оперативно ускоряемая ступень ДЗ выполняется от всех видов КЗ.

При выводе из работы ДЗШ на ПС, где установлена рассматриваемая защита, предусматривается ввод ОУ направленной в шины или ненаправленной ступени ДЗ.

Указания по расчету параметров настройки оперативно ускоряемых ступеней ДЗ приводятся ниже для одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

10.1.2. Расчет параметров настройки оперативно ускоряемых ступеней ДЗ

10.1.2.1. Расчет сопротивления срабатывания оперативно ускоряемой прямонаправленной ступени по чувствительности при КЗ в конце защищаемой ЛЭП производится по выражениям:

- для ДО с круговыми характеристиками

$$Z_{уст} \geq k_{чЗ} \cdot \frac{|Z_p|}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)}; \quad (10.1)$$

- для ДО с полигональными характеристиками

$$X_{уст} \geq k_{чЗ} \cdot |Z_p| \cdot \sin\varphi_p; \quad (10.2)$$

$$Z_{уст} \geq k_{чХ} \cdot \frac{|Z_p| \cdot \sin\varphi_p}{\sin\varphi_{хар}}; \quad (10.3)$$

$$R_{уст} \geq |Z_p| \cdot \frac{\sin(\varphi_{прав} - \varphi_p) + (k_q - 1)}{\sin \varphi_{прав}}, \quad (10.4)$$

где $|Z_p|$ и φ_p – модуль и угол расчетного сопротивления;
 k_{qZ} – коэффициент чувствительности по полному сопротивлению;
 k_{qX} – коэффициент чувствительности по реактивному сопротивлению;
 k_q – коэффициент чувствительности по активному сопротивлению;
 $\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности круговой характеристики;
 $\varphi_{хар}$ – угол наклона полигональной характеристики;
 $\varphi_{прав}$ – угол наклона правой боковой стороны полигональной характеристики.

Для ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП с многосторонним питанием расчет сопротивления срабатывания оперативно ускоряемой прямонаправленной ступени ДЗ производится по выражениям (10.1) – (10.4) при КЗ на каждом конце ЛЭП, противоположном месту установки рассматриваемой защиты.

Для выбора сопротивления срабатывания рассматриваются результаты расчета при КЗ в нормальной и ремонтных схемах прилегающей сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также при доаварийных перетоках мощности по ЛЭП, характерных для рассматриваемых схем сети.

Коэффициенты чувствительности в выражениях (10.1) – (10.4) принимаются:

- 1,5 при металлических КЗ (допускается снижение коэффициента чувствительности до значения 1,25, если в качестве оперативно ускоренной ступени применяется вторая ступень ДЗ);
- 1,1–1,2 при КЗ через переходное сопротивление в режиме транзита;
- 1,2–1,5 при КЗ через переходное сопротивление при одностороннем отключении повреждения с противоположной стороны ЛЭП.

10.1.2.2. Расчет сопротивления срабатывания оперативно ускоряемой направленной в шины или ненаправленной ступени ДЗ по чувствительности при КЗ через переходные сопротивления на шинах ПС, где установлена рассматриваемая защита, производится по выражениям (10.1) – (10.4).

В указанных выражениях коэффициенты чувствительности для ДО с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания принимаются:

- 1,25–1,5.

Для выбора сопротивления срабатывания рассматриваются результаты расчета при КЗ в нормальной и ремонтных схемах прилегающей сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также с учетом доаварийных перетоков мощности, характерных для рассматриваемых схем.

Если рассматриваемая направленная в шины ступень ДЗ также используется в схемах ТУ с передачей блокирующих или разрешающих

сигналов, расчет параметров настройки ее производится в соответствии с пунктом 10.3.

10.1.2.3. Отстройка характеристик срабатывания оперативно ускоряемых ступеней ДЗ от нагрузочных режимов энергосистем производится в соответствии с пунктом 3.4.

10.1.2.4. Выдержка времени оперативно ускоряемых ступеней ДЗ выбирается исходя из следующих условий:

- сохранение динамической устойчивости генерирующего оборудования;
- обеспечение селективной работы с резервными защитами смежных сетевых элементов;
- сокращение времени ликвидации КЗ.

Выдержка времени оперативно ускоряемых ступеней принимается равной ступени селективности ΔT , рассчитываемой по выражению (4.20), по согласованию с резервными защитами смежных сетевых элементов 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 динамической устойчивости генерирующего оборудования, выдержка времени оперативно ускоряемых ступеней ДЗ выбирается равной выдержке времени УРОВ.

10.2. Расчет параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ДЗ

10.2.1. Общие требования к автоматически ускоряемой ступени ДЗ

АУ позволяет уменьшить время отключения КЗ при постановке ЛЭП под напряжение от ключа управления или устройства АПВ.

В качестве автоматически ускоряемой ступени используется вторая ступень ДЗ с надежным охватом всей защищаемой ЛЭП.

При недостаточной чувствительности второй ступени допускается ввод АУ третьей ступени ДЗ или отдельной, специально предназначенной для этих целей ступени. При наличии технической возможности отдельная автоматически ускоряемая ступень ДЗ выполняется от всех видов КЗ.

Указания по расчету параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ДЗ приводятся ниже для одиночных и параллельных ЛЭП, ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП, работающих по схеме блока Т (АТ) – линия.

10.2.2. Расчет параметров настройки автоматически ускоряемой ступени ДЗ

10.2.2.1. Расчет сопротивления срабатывания автоматически ускоряемой ступени по чувствительности при КЗ в конце защищаемой ЛЭП производится по выражениям (10.1) – (10.4).

В указанных выражениях коэффициенты чувствительности для ДО с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания принимаются:

- 1,5 при металлических КЗ (допускается снижение коэффициента чувствительности до значения 1,25, если в качестве автоматически ускоренной ступени применяется вторая ступень ДЗ);
- 1,2–1,5 при КЗ через переходное сопротивление.

10.2.2.2. Отстройка характеристики срабатывания автоматически ускоряемой ступени ДЗ ЛЭП при наличии ответвлений от нагрузочных режимов, обусловленных питанием Т (АТ) ПС на ответвлениях, производится в соответствии с пунктом 3.4.

При постановке ЛЭП под напряжение от устройства АПВ следует учитывать режим самозапуска двигателей нагрузки ПС на ответвлениях.

10.2.2.3. Отстройка сопротивления срабатывания автоматически ускоряемой ступени ДЗ от БТН производится в соответствии с пунктом 10.2 и приложением Е.

Расчеты по данному условию следует выполнять для ЛЭП, имеющих в режиме постановки под напряжение подключенные Т (АТ) на противоположном конце линии и для ЛЭП при наличии ответвлений.

Ввиду того, что отсутствуют методики расчета БТН для отстройки ДЗ от КЗ на землю, рекомендуется для целей АУ в данном случае использовать ступень ДЗ от междуфазных КЗ.

10.2.2.4. Выдержка времени автоматически ускоряемой ступени ДЗ принимается равной 0,05–0,15 с.

Для ЛЭП, имеющих в режиме постановки под напряжение подключенные Т (АТ) на противоположном конце линии и для ЛЭП при наличии ответвлений, в случае, если сопротивление срабатывания не отстроено от БТН, необходимо выполнить отстройку временем срабатывания ускоряемой ступени.

В этом случае время срабатывания автоматически ускоряемой ступени увеличивается до 0,4–0,5 с.

10.3. Расчет параметров настройки телеускоряемых ступеней ДЗ

10.3.1. Способы ТУ резервных защит

ТУ резервных защит позволяет отключать КЗ по всей длине защищаемой ЛЭП без выдержки времени, что необходимо для обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования при выводе из работы основной быстродействующей защиты ЛЭП.

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 защищаемой ЛЭП в защитах на каждом конце линии происходит пуск прямонаправленной ступени ДЗ (первой ступени ДЗ с неполным охватом или ступени ДЗ 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 ДЗ.

Для обеспечения селективного действия схемы ТУ в случае каскадного отключения внешнего КЗ на параллельной ЛЭП или обходной связи в защитах на каждом конце ЛЭП применяется обратнаправленная ступень ДЗ для фиксации внешнего повреждения и блокирования передачи разрешающего сигнала в случае реверса тока.

При организации ТУ с помощью блокирующих сигналов в защитах на каждом конце ЛЭП применяется обратнаправленная ступень ДЗ, обеспечивающая пуск и передачу к защите противоположного конца линии блокирующего сигнала при внешних КЗ, и прямонаправленная телеускоряемая ступень ДЗ 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 ДЗ.

При наличии технической возможности рекомендуется в качестве телеускоряемой ступени в схемах с передачей разрешающих и блокирующих сигналов использовать отдельную ступень ДЗ от всех видов КЗ.

Указания по расчету параметров настройки телеускоряемых ступеней приводятся ниже для ДЗ одиночных, параллельных ЛЭП и ЛЭП при наличии ответвлений.

10.3.2. Расчет параметров настройки телеускоряемых ступеней ДЗ

10.3.2.1. Расчет сопротивления срабатывания прямонаправленной телеускоряемой ступени ДЗ по чувствительности при КЗ в конце защищаемой ЛЭП производится по выражениям (10.1) – (10.4).

Для ЛЭП при наличии ответвлений и ЛЭП с многосторонним питанием расчет сопротивления срабатывания производится при КЗ на каждом конце ЛЭП, противоположном месту установки рассматриваемой защиты.

Для выбора сопротивления срабатывания рассматриваются результаты расчета при КЗ в нормальной и ремонтных схемах прилегающей сети при

нулевым перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также при доаварийных перетоках мощности по ЛЭП, характерных для рассматриваемых схем сети.

В указанных выражениях коэффициенты чувствительности для ДО с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания принимаются:

– 1,5 при металлических КЗ (допускается снижение коэффициента чувствительности до значения 1,25, если в качестве телеускоряемой ступени применяется вторая ступень ДЗ);

– 1,1–1,2 при КЗ через переходное сопротивление в режиме транзита;

– 1,2–1,5 при КЗ через переходное сопротивление при одностороннем отключении повреждения с противоположной стороны ЛЭП.

10.3.2.2. Расчет сопротивления срабатывания обратнонаправленной ступени ДЗ для схем ТУ производится по согласованию по чувствительности с прямонаправленной телеускоряемой ступенью ДЗ на противоположном конце ЛЭП по выражениям:

– для ДО с круговыми характеристиками при равенстве углов максимальной чувствительности $\varphi_{мч}$ и характеристического угла $\varphi_{л}$ защищаемой ЛЭП:

$$Z_{уст.обр} \geq k_{сZ} \cdot (Z_{уст.прям} - |Z_{1л}|); \quad (10.5)$$

– для ДО с полигональными характеристиками при равенстве углов наклона полигональной характеристики $\varphi_{хар}$ и характеристического угла $\varphi_{л}$ защищаемой ЛЭП:

$$X_{уст.обр} \geq k_{сX} \cdot (X_{уст.прям} - |X_{1л}|); \quad (10.6)$$

$$R_{уст.обр} \geq k_{сR} \cdot (R_{уст.прям} - |R_{1л}|), \quad (10.7)$$

где $Z_{уст.прям}$, $X_{уст.прям}$, $R_{уст.прям}$ – полное, реактивное и активное сопротивление срабатывания прямонаправленной телеускоряемой ступени ДЗ на противоположном конце ЛЭП;

$Z_{уст.обр}$, $X_{уст.обр}$, $R_{уст.обр}$ – полное, реактивное и активное сопротивление срабатывания обратнонаправленной ступени ДЗ рассматриваемой защиты;

$Z_{1л}$, $X_{1л}$, $R_{1л}$ – полное, реактивное и активное сопротивление прямой последовательности защищаемой ЛЭП;

$k_{сZ}$, $k_{сX}$ – коэффициенты согласования полных и реактивных сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ, принимаются из диапазона 1,2–1,3;

$k_{сR}$ – коэффициент согласования активных сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ, принимается из диапазона 1,1–1,2.

При расчете параметров настройки телеускоряемых ступеней ДЗ от КЗ на землю рекомендуется при наличии технической возможности принять одинаковые уставки коэффициентов компенсации для прямонаправленной и обратнонаправленной ступеней ДЗ в защитах на противоположных концах ЛЭП для обеспечения селективной работы схемы ТУ при внешних КЗ.

В случае, если по концам защищаемой ЛЭП установлены разнотипные устройства РЗ, расчет сопротивления срабатывания обратноподключенной ступени производится методом нахождения конца зоны действия телеускоренной прямоподключенной ступени ДЗ и надежным охватом найденной зоны.

10.3.2.3. Отстройка характеристик срабатывания телеускоряемых ступеней ДЗ от нагрузочных режимов энергосистем для исключения излишнего пуска сигналов ТУ производится в соответствии с пунктом 3.4.

11. Выбор параметров настройки ступеней ДЗ для специальных условий применения

11.1. Запрет АПВ на кабельном участке кабельно-воздушной ЛЭП

Если проектными решениями определена необходимость выполнения запрета АПВ при КЗ на кабельном участке кабельно-воздушной ЛЭП, то для этих целей в составе ДЗ ЛЭП со стороны ПС, к которой примыкает кабельный участок, может применяться отдельная ступень ДЗ для выявления повреждения.

Ступень ДЗ выполняется без выдержки времени с действием на отключение выключателей с пуском УРОВ и запретом АПВ с обеих сторон ЛЭП.

Расчет сопротивления срабатывания рассматриваемой ступени ДЗ производится по чувствительности при КЗ в конце кабельного участка по выражениям (10.1) – (10.4).

В указанных выражениях коэффициенты чувствительности для ДО с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания принимаются:

– 1,25–1,5.

Для выбора сопротивления срабатывания рассматриваются результаты расчета КЗ в конце кабельного участка защищаемой ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а также при доаварийных перетоках мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

11.2. Резервирование ДЗШ

В составе ДЗ ЛЭП одна из ступеней ДЗ может быть направлена в шины для обеспечения резервирования при КЗ в зоне ДЗШ ПС, где установлена рассматриваемая защита.

Особенно эффективно использование отдельной направленной в шины ступени ДЗ для ЛЭП при наличии ответвлений. В случае КЗ на шинах и одностороннем отключении ЛЭП действием направленной в шины ступени ДЗ сохраняется электроснабжение потребителей ПС на ответвлениях с противоположной стороны линии.

Расчет сопротивления срабатывания рассматриваемой ступени ДЗ производится по чувствительности при КЗ на шинах для ДО с круговыми и полигональными характеристиками по выражениям (10.1) – (10.4).

В указанных выражениях коэффициенты чувствительности для ДО с круговыми и полигональными характеристиками принимаются:

– 1,25–1,5.

Для выбора сопротивлений срабатывания рассматриваются результаты расчета при КЗ через переходные сопротивления на шинах ПС, где установлена рассматриваемая защита, в нормальной и ремонтных схемах прилегающей сети при нулевом перетоке мощности по защищаемой ЛЭП, а

также при доаварийных перетоках мощности, характерных для рассматриваемых схем сети.

Сопrotивление срабатывания и выдержка времени рассматриваемой ступени ДЗ рассчитывается по условию согласования с резервными защитами присоединений, отходящих от шин объекта, ДЗШ которого резервируется.

Отстройка характеристики срабатывания рассматриваемой ступени ДЗ от нагрузочных режимов энергосистем производится в соответствии с пунктом 3.4.

11.3. Резервирование защит Т (АТ) ответвительных ПС

Одна из ступеней ДЗ в составе ДЗ ЛЭП с ответвлениями может использоваться для обеспечения резервирования защит Т (АТ) ПС на ответвлениях.

Целесообразность применения указанной ступени ДЗ должна определяться проектными решениями исходя из необходимости обеспечения следующих условий:

- обеспечение чувствительности при КЗ на стороне НН (СН) Т (АТ) ПС на ответвлениях с учетом влияния схемы соединения обмоток силовых Т У/Δ на дистанционные замеры;
- обеспечение селективности с резервными защитами Т (АТ) ПС на ответвлениях (как правило, достигается выбором выдержки времени рассматриваемой ступени ДЗ, превышающей выдержки времени резервных защит Т (АТ) или резервных защит присоединений стороны НН (СН));
- координация времени отключения КЗ на стороне НН (СН) Т (АТ) ПС на ответвлениях устройствами РЗ и допустимого времени термической стойкости Т (АТ), при этом следует учитывать возможное увеличение времени ликвидации КЗ при каскадном действии защит;
- обеспечение отстройки от нагрузочных режимов работы энергосистем.

11.4. Ступень ДЗ, направленная в шины, обеспечивающая дальнейшее резервирование

В составе ДЗ ЛЭП одна из ступеней может быть направлена в шины для обеспечения резервирования защит смежных сетевых элементов, отходящих от шин ПС, где установлена рассматриваемая защита. Данное решение может применяться в случае, если обеспечение дальнего резервирования ступенью ДЗ, установленной на противоположном конце ЛЭП, невозможно по техническим данным защиты или другим расчетным условиям.

Использование дополнительной, направленной в шины, ступени ДЗ может оказаться более эффективным по сравнению с ДЗ, установленной со стороны противоположного конца ЛЭП:

- меньше дистанционный замер при КЗ в конце зоны резервирования защит смежных сетевых элементов, что в некоторых случаях

позволит обеспечить чувствительность и выполнить отстройку характеристики срабатывания рассматриваемой ступени ДЗ от нагрузочных режимов работы энергосистем;

– при дальнем резервировании защит смежных сетевых элементов направленная в шины ступень ДЗ отключает рассматриваемую ЛЭП только со стороны ПС, где произошел отказ защит, при этом сохраняется электроснабжение потребителей ПС на ответвлениях.

Параметры настройки рассматриваемой ступени ДЗ выбираются по следующим условиям:

- обеспечение селективности с резервными защитами сетевых элементов, отходящих от шин ПС, где установлена рассматриваемая защита;
- обеспечение чувствительности при КЗ в зоне резервирования;
- отстройка от нагрузочных режимов работы энергосистем.

11.5. Дистанционная защита ЛЭП при изменении ее топологии (включение ремонтной перемычки)

При отсутствии основных быстродействующих защит на ЛЭП с изменяемой конфигурацией (при включении ремонтной перемычки на проходной ПС) расчет и выбор параметров настройки второй ступени ДЗ, установленной со стороны опорной ПС, производится по следующим условиям:

- обеспечение чувствительности при КЗ на противоположном конце смежной (последующей) ЛЭП;
- обеспечение минимально возможного времени отключения повреждения на защищаемом участке;
- обеспечение селективности с защитами прилегающей сети ПС на противоположном конце смежной (последующей) ЛЭП;
- отстройка от нагрузочных режимов работы энергосистем.

Дистанционная защита от всех видов КЗ

А.1. Виды КЗ и контуры для дистанционных измерений

Теоретические основы и принципы функционирования ДЗ с применением устройств РЗ на электромеханической, микроэлектронной и МП элементной базе подробно изложены в учебных пособиях и монографиях [11]-[15]. В данном разделе приведены аналитические выражения для вычисления дистанционных замеров при всех видах КЗ, рассмотрены факторы, которые требуют учета при расчете и выборе параметров настройки ДЗ ЛЭП и даны примеры практических расчетов.

ДЗ получила свое название вследствие того, что контролируемое этой защитой комплексное сопротивление \underline{Z} при КЗ в электрической сети во многих случаях пропорционально расстоянию между местом установки защиты и местом повреждения. К защите подводятся фазные токи I_A, I_B, I_C от ТТ и фазные напряжения $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ от ТН.

В таблице А.1 представлены виды повреждений в трехфазной системе и соответствующие им контуры для дистанционных измерений.

Таблица А.1

Виды повреждений и контуры для дистанционных измерений

Вид КЗ	Поврежденные фазы	Контуры для дистанционных измерений
Трехфазное КЗ	ABC	AB или BC или CA
Двухфазное КЗ	AB BC CA	AB BC CA
Двухфазное КЗ на землю	$AB0$ $BC0$ $CA0$	$A0$ или $B0$ или AB $B0$ или $C0$ или BC $C0$ или $A0$ или CA
Однофазное КЗ на землю	$A0$ $B0$ $C0$	$A0$ $B0$ $C0$

Измерительные органы ДЗ выполняются так, чтобы при любом виде КЗ дистанционный замер по поврежденному контуру соответствовал сопротивлению прямой последовательности участка электрической цепи от места установки защиты до места повреждения.

ДЗ в общем случае содержит ДО от междуфазных КЗ и ДО от КЗ на землю. При выборе параметров настройки ДЗ необходима оценка всех контуров измерений для каждого вида повреждения.

А.2. ДО от междуфазных КЗ

ДО от междуфазных КЗ подключаются на линейное напряжение и разность токов соответствующих фаз. Это обеспечивает одинаковые дистанционные замеры при различных видах междуфазных КЗ:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{AB} &= \frac{\underline{U}_A - \underline{U}_B}{\underline{I}_A - \underline{I}_B}; \\ \underline{Z}_{BC} &= \frac{\underline{U}_B - \underline{U}_C}{\underline{I}_B - \underline{I}_C}; \\ \underline{Z}_{CA} &= \frac{\underline{U}_C - \underline{U}_A}{\underline{I}_C - \underline{I}_A} \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

Проанализируем дистанционные замеры на входе ДЗ, установленной на линии с односторонним или двухсторонним питанием при металлических междуфазных КЗ разных видов: двухфазном КЗ $K^{(2)}$, двухфазном КЗ на землю $K^{(1,1)}$ и трехфазном КЗ $K^{(3)}$ в точке K на расстоянии L_k от места установки защиты (рисунок А.1).

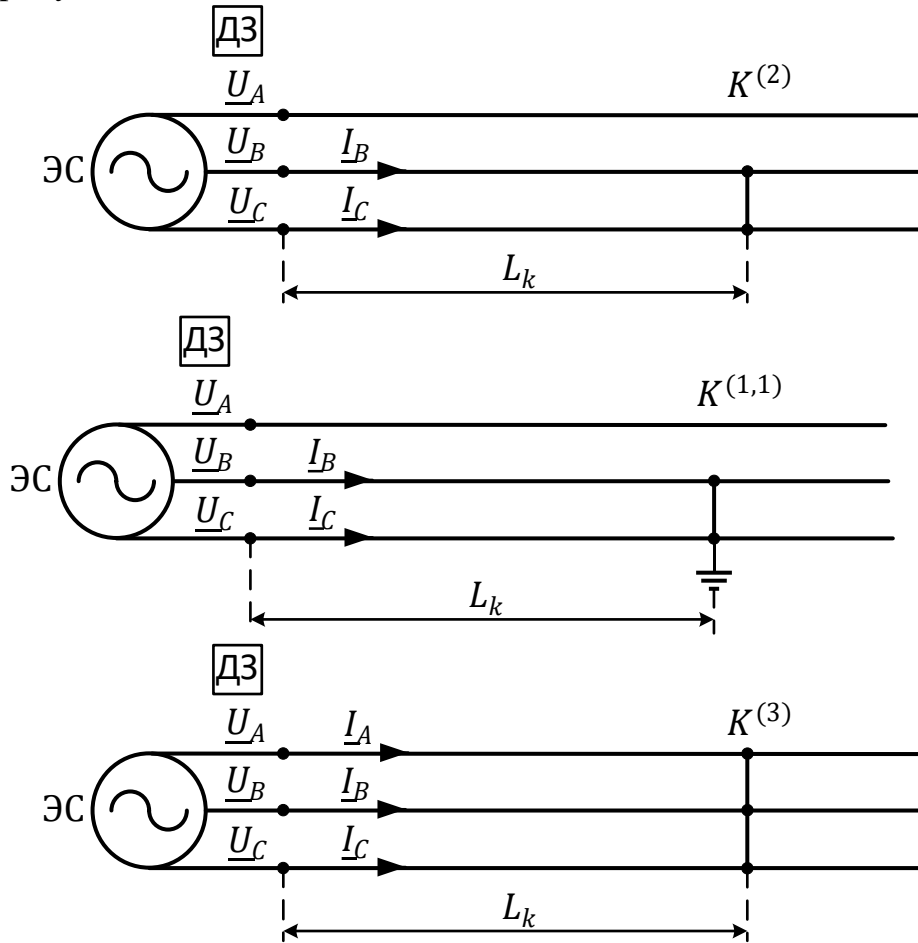


Рисунок А.1. Виды междуфазных повреждений на линии

Фазные токи в месте установки защиты $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$ определяются через симметричные составляющие:

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0}; \\ \underline{I}_B &= \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{B2} + \underline{I}_{B0}; \\ \underline{I}_C &= \underline{I}_{C1} + \underline{I}_{C2} + \underline{I}_{C0} \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

Для поврежденного контура BC напряжение \underline{U}_{BC} в месте установки защиты определяется:

$$\underline{U}_{BC} = (\underline{I}_{B1} \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_{B2} \cdot \underline{Z}_{2k} + \underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{0k}) - (\underline{I}_{C1} \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_{C2} \cdot \underline{Z}_{2k} + \underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{0k}), \quad (\text{A.3})$$

где \underline{Z}_{1k} , \underline{Z}_{2k} , \underline{Z}_{0k} – сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности участка линии от места установки защиты до места повреждения.

С учетом равенства сопротивлений прямой и обратной последовательности поврежденного участка линии $\underline{Z}_{1k} = \underline{Z}_{2k}$ можно записать:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{BC} &= (\underline{I}_B - \underline{I}_C) \cdot \underline{Z}_{1k}; \\ \underline{Z}_{BC} &= \frac{(\underline{I}_B - \underline{I}_C) \cdot \underline{Z}_{1k}}{(\underline{I}_B - \underline{I}_C)} = \underline{Z}_{1k} \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

Полученное выражение \underline{Z}_{BC} для контура BC справедливо при $K^{(2)}$, $K^{(1,1)}$ и $K^{(3)}$. Аналогичные выражения можно получить для дистанционных замеров \underline{Z}_{AB} , \underline{Z}_{CA} при соответствующих видах междуфазных КЗ. Полноценную защиту от междуфазных повреждений можно выполнить с помощью трех ДО, подключенных на напряжения и токи в соответствии с таблицей А.2.

Таблица А.2

ДО от междуфазных повреждений

ДО	Входные величины ДЗ		Измеряемое сопротивление	Вид КЗ
	Напряжение	Ток		
ДО _{AB}	\underline{U}_{AB}	\underline{I}_{AB}	\underline{Z}_{AB}	$ABC, AB, AB0$
ДО _{BC}	\underline{U}_{BC}	\underline{I}_{BC}	\underline{Z}_{BC}	$ABC, BC, BC0$
ДО _{CA}	\underline{U}_{CA}	\underline{I}_{CA}	\underline{Z}_{CA}	$ABC, AC, AC0$

При металлических КЗ $K^{(2)}$ и $K^{(1,1)}$ только один из замеров по контурам фаза-фаза \underline{Z}_{AB} , \underline{Z}_{BC} , \underline{Z}_{CA} пропорционален расстоянию до места повреждения L_k , а при трехфазных КЗ все три дистанционных замера \underline{Z}_{AB} , \underline{Z}_{BC} , \underline{Z}_{CA} пропорциональны L_k .

Существует ряд факторов, которые влияют на дистанционные замеры при междуфазных КЗ и искажают зону срабатывания защиты. К ним относятся наличие переходного сопротивления в месте КЗ, наличие доаварийной нагрузки, различие в токах, протекающих в месте установки защиты и в месте повреждения (промежуточная подпитка) и т.д.

А.3. ДО от КЗ на землю

ДО от КЗ на землю подключаются на фазные напряжения и соответствующие компенсированные фазные токи. Добавление к фазному току доли тока нулевой последовательности $\underline{K} \cdot 3\underline{I}_0$ называется токовой компенсацией, где коэффициент \underline{K} является комплексным коэффициентом компенсации.

Цель токовой компенсации – обеспечить при металлическом КЗ на землю дистанционный замер, равный сопротивлению прямой

последовательности участка электрической цепи от места установки защиты до места повреждения.

Дистанционные измерения с использованием комплексного коэффициента компенсации \underline{K} производятся по выражениям:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{A0} &= \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}_A + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0}; \\ \underline{Z}_{B0} &= \frac{\underline{U}_B}{\underline{I}_B + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0}; \\ \underline{Z}_{C0} &= \frac{\underline{U}_C}{\underline{I}_C + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0} \end{aligned} \quad (\text{A.5})$$

Проанализируем дистанционные замеры на входе ДЗ, установленной на одиночной ЛЭП с односторонним или двухсторонним питанием без взаимоиндукции при металлическом однофазном КЗ на землю $K^{(1)}$ фазы А на расстоянии L_k от места установки защиты (рисунок А.2).

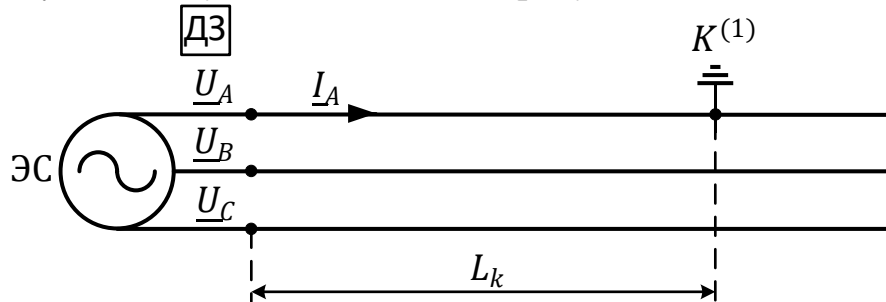


Рисунок А.2. Однофазное КЗ на землю

Напряжение поврежденной фазы \underline{U}_A в месте установки защиты с учетом равенства сопротивлений $\underline{Z}_{1k} = \underline{Z}_{2k}$ участка линии L_k определяется:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= \underline{I}_{A1} \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_{A2} \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{0k} + (\underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{1k} - \underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{1k}) = \\ &= \underline{I}_A \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_0 \cdot (\underline{Z}_{0k} - \underline{Z}_{1k}) = (\underline{I}_A + \underline{K} \cdot \underline{I}_0) \cdot \underline{Z}_{1k} \end{aligned} \quad (\text{A.6})$$

Таким образом, если к защите подвести напряжение \underline{U}_A и ток с компенсацией $(\underline{I}_A + \underline{K} \cdot \underline{I}_0)$, дистанционный замер по контуру $A0$ определяется по выражению:

$$\underline{Z}_{A0} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}_A + \underline{K} \cdot \underline{I}_0} = \underline{Z}_{1k}, \quad (\text{A.7})$$

где \underline{K} – комплексный коэффициент компенсации, рассчитывается по выражению (А.8).

$$\underline{K} = \frac{\underline{Z}_{0k} - \underline{Z}_{1k}}{\underline{Z}_{1k}} \quad (\text{A.8})$$

Если к защите подводится утроенный ток нулевой последовательности $3\underline{I}_0$, дистанционный замер по контуру $A0$ определяется по выражению:

$$\underline{Z}_{A0} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}_A + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0} \quad (\text{A.9})$$

В этом случае комплексный коэффициент компенсации \underline{K} рассчитывается по выражению:

$$\underline{K} = \frac{\underline{Z}_{0k} - \underline{Z}_{1k}}{3\underline{Z}_{1k}} \quad (\text{A.10})$$

Уравнение для напряжения поврежденной фазы, аналогичное выражению (А.6), можно записать при $K^{(1)}$ любой другой фазы, а также при металлическом $K^{(1,1)}$.

В общем случае при металлических $K^{(1)}$ дистанционный замер $\underline{Z}_{\phi 0}$ по контуру *фаза-земля* определяется по выражению:

$$\underline{Z}_{\phi 0} = \frac{\underline{U}_{\phi}}{\underline{I}_{\phi} + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0}, \quad (\text{A.11})$$

где $\underline{U}_{\phi}, \underline{I}_{\phi}$ – напряжение и ток поврежденной фазы в месте установки защиты;

$3\underline{I}_0$ – утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты.

Таким образом, при подведении к ДО фазного напряжения и фазного тока с компенсацией тока нулевой последовательности дистанционный замер по поврежденному контуру *фаза-земля* при металлическом $K^{(1)}$ составит величину \underline{Z}_{1k} – сопротивление прямой последовательности участка линии от места установки защиты до места повреждения.

Для одиночных ЛЭП без взаимоиндукции, ЛЭП без емкостной проводимости комплексный коэффициент компенсации \underline{K} рассчитывается по сопротивлениям прямой $\underline{Z}_{1л}$ и нулевой $\underline{Z}_{0л}$ последовательности защищаемой линии:

$$\underline{K} = \frac{\underline{Z}_{0л} - \underline{Z}_{1л}}{3\underline{Z}_{1л}} \quad (\text{A.12})$$

Для ЛЭП, индуктивно связанных с другими линиями, при наличии ответвлений с Т (АТ) с глухозаземленными нейтралями, для протяженных ЛЭП с емкостной проводимостью коэффициент компенсации \underline{K} рассчитывается при металлическом $K^{(1)}$ в конце защищаемой ЛЭП (в конце защищаемой зоны) по выражению:

$$\underline{K} = \frac{\underline{U}_{\phi} - \underline{Z}_{1л} \cdot \underline{I}_{\phi}}{\underline{Z}_{1л} \cdot 3\underline{I}_0}, \quad (\text{A.13})$$

где $\underline{U}_{\phi}, \underline{I}_{\phi}$ – напряжение и ток поврежденной фазы в месте установки защиты;

$3\underline{I}_0$ – утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты;

$\underline{Z}_{1л}$ – полное сопротивление прямой последовательности защищаемой ЛЭП (или защищаемой зоны), вычисленное при металлическом $K^{(3)}$ в расчетной точке.

ДЗ от КЗ на землю выполняется с помощью трех ДО, подключенных на фазные напряжения и соответствующие фазные токи с компенсацией тока нулевой последовательности (таблица А.3).

ДО от замыканий на землю

ДО	Входные величины		Измеряемое сопротивление	Вид КЗ
	Напряжение	Ток		
ДО _{А0}	\underline{U}_A	$\underline{I}_A + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0$	\underline{Z}_{A0}	А0, АВ0, АС0
ДО _{В0}	\underline{U}_B	$\underline{I}_B + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0$	\underline{Z}_{B0}	В0, АВ0, ВС0
ДО _{С0}	\underline{U}_C	$\underline{I}_C + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0$	\underline{Z}_{C0}	С0, АС0, ВС0

При металлическом $K^{(1)}$ замер по одному из контуров фаза – земля пропорционален расстоянию до места повреждения L_k , а при металлических двухфазных КЗ на землю замеры по одному междуфазному контуру фаза – фаза и двум контурам фаза – земля пропорциональны расстоянию до места повреждения L_k .

Вместо комплексного коэффициента компенсации \underline{K} может использоваться пара вещественных коэффициентов компенсации K_X и K_R .

Перепишем выражение (А.6) для напряжения поврежденной фазы \underline{U}_A с учетом того, что к защите подводится утроенный ток нулевой последовательности $3\underline{I}_0$:

$$\underline{U}_A = \underline{I}_A \cdot \underline{Z}_{1k} + 3\underline{I}_0 \cdot \frac{\underline{Z}_{0k} - \underline{Z}_{1k}}{3} = \underline{I}_A \cdot \underline{Z}_{1k} + 3\underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_E, \quad (\text{А.14})$$

где:

$$\underline{Z}_E = (\underline{Z}_{0k} - \underline{Z}_{1k})/3 = (R_{0k} - R_{1k})/3 + j(X_{0k} - X_{1k})/3 = R_E + jX_E.$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= \underline{I}_A \cdot R_{1k} + 3\underline{I}_0 \cdot R_E \cdot \left(\frac{R_{1k}}{R_{1k}}\right) + \underline{I}_A \cdot jX_{1k} + 3\underline{I}_0 \cdot jX_E \cdot \left(\frac{X_{1k}}{X_{1k}}\right) = \\ &= \left(\underline{I}_A + 3\underline{I}_0 \cdot \frac{R_E}{R_{1k}}\right) \cdot R_{1k} + \left(\underline{I}_A + 3\underline{I}_0 \cdot \frac{X_E}{X_{1k}}\right) \cdot jX_{1k} \end{aligned} \quad (\text{А.15})$$

Таким образом, для получения замера $\underline{Z}_{A0} = \underline{Z}_{1k}$ можно использовать компенсацию тока нулевой последовательности с применением вещественных коэффициентов компенсации K_R ; K_X :

$$K_R = \frac{R_{0k} - R_{1k}}{3 \cdot R_{1k}}; K_X = \frac{X_{0k} - X_{1k}}{3 \cdot X_{1k}} \quad (\text{А.16})$$

Для одиночных ЛЭП без взаимоиндукции и емкостной проводимости вещественные коэффициенты компенсации K_X и K_R рассчитываются по параметрам защищаемой линии:

$$K_R = \frac{R_{0л} - R_{1л}}{3 \cdot R_{1л}}; K_X = \frac{X_{0л} - X_{1л}}{3 \cdot X_{1л}}, \quad (\text{А.17})$$

где $R_{0л}$ и $X_{0л}$ – активное и реактивное сопротивление нулевой последовательности защищаемой ЛЭП;

$R_{1л}$ и $X_{1л}$ – активное и реактивное сопротивление прямой последовательности защищаемой ЛЭП.

Для ЛЭП с взаимоиндукцией, для ЛЭП с ответвлениями с Т (АТ) с глухозаземленными нейтралями, для протяженных ЛЭП, когда емкостной

проводимостью пренебречь нельзя, вещественные коэффициенты компенсации K_X и K_R определяются по расчетным значениям токов и напряжений при однофазном металлическом КЗ на землю в конце защищаемой линии. В этом случае для напряжения \underline{U}_ϕ поврежденного контура *фаза – земля* в месте установки защиты можно записать:

$$\underline{U}_\phi = \underline{I}_\phi \cdot \underline{Z}_{1л} + 3\underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_E \quad (\text{A.18})$$

Из выражения (A.18) можно записать выражения для вещественных коэффициентов компенсации:

$$\underline{Z}_E = \frac{U_\phi - \underline{Z}_{1л} \cdot \underline{I}_\phi}{3\underline{I}_0}; \quad (\text{A.19})$$

$$X_E = |\underline{Z}_E| \cdot \sin \left(\arg \left(\frac{U_\phi - \underline{Z}_{1л} \cdot \underline{I}_\phi}{3\underline{I}_0} \right) \right); \quad (\text{A.20})$$

$$R_E = |\underline{Z}_E| \cdot \cos \left(\arg \left(\frac{U_\phi - \underline{Z}_{1л} \cdot \underline{I}_\phi}{3\underline{I}_0} \right) \right); \quad (\text{A.21})$$

$$K_X = \frac{X_E}{X_{1л}}; \quad K_R = \frac{R_E}{R_{1л}}, \quad (\text{A.22})$$

где $\underline{U}_\phi, \underline{I}_\phi$ – напряжение и ток поврежденной фазы в месте установки защиты;

$3\underline{I}_0$ – утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты;

$R_{1л}$ и $X_{1л}$ – активное и реактивное сопротивление прямой последовательности, рассчитанное при металлическом трехфазном КЗ в конце защищаемой ЛЭП.

Указания по расчету и примеры выбора уставок коэффициентов компенсации для ЛЭП с взаимной индукцией, ЛЭП с многосторонним питанием, ЛЭП при наличии ответвлений даны в пунктах А.5, А.6, А.7.

Помимо взаимной индукции существует еще ряд факторов, которые также влияют на дистанционные замеры при КЗ на землю и искажают зону срабатывания ДЗ, к ним относятся наличие переходного сопротивления в месте КЗ, наличие доаварийной нагрузки и т.д. Влияние данных факторов рассматривается в следующих разделах.

А.4. Влияние взаимной индукции на дистанционные замеры

При расчете параметров настройки ДЗ от КЗ на землю на ЛЭП с взаимной индукцией необходимо учитывать, что на дистанционные замеры оказывают влияние токи нулевой последовательности, протекающие по защищаемой линии и линиям, индуктивно с ней связанным.

Рассмотрим влияние взаимной индукции на дистанционные замеры на примере двух параллельных линий.

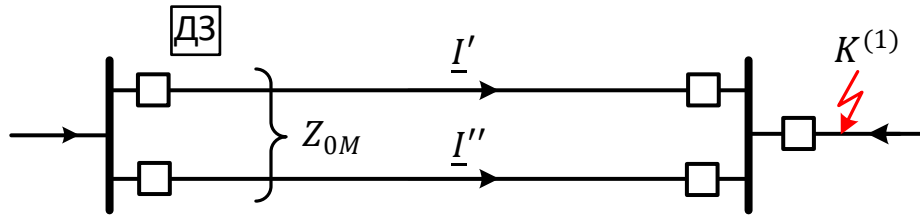


Рисунок А.3. Внешнее однофазное КЗ на землю, параллельные линии в работе

При внешнем металлическом $K^{(1)} A0$ на шинах противоположной ПС (рисунок А.3) напряжение \underline{U}_A в месте установки защиты определяется по выражению:

$$\underline{U}_A = (\underline{I}'_{A1} + \underline{I}'_{A2}) \cdot \underline{Z}_{1л} + \underline{I}'_0 \cdot \underline{Z}_{0л} + \underline{I}''_0 \cdot \underline{Z}_{0M}, \quad (\text{A.23})$$

где $\underline{I}'_{A1}, \underline{I}'_{A2}, \underline{I}'_0$ – симметричные составляющие токов прямой, обратной и нулевой последовательности в месте установки защиты;

\underline{I}''_0 – ток нулевой последовательности параллельной линии;

\underline{Z}_{0M} – сопротивление взаимоиндукции между параллельными линиями;

$\underline{I}''_0 \cdot \underline{Z}_{0M}$ – наведенное напряжение нулевой последовательности, определяемое током нулевой последовательности параллельной линии.

Выражение (А.23) для напряжения \underline{U}_A можно преобразовать:

$$\underline{U}_A = (\underline{I}'_A + \underline{K} \cdot 3\underline{I}'_0 + \underline{K}_M \cdot 3\underline{I}''_0) \cdot \underline{Z}_{1л}, \quad (\text{A.24})$$

где \underline{K} – коэффициент компенсации тока нулевой последовательности защищаемой линии, определяется по параметрам линии согласно выражению (А.12);

\underline{K}_M – коэффициент компенсации тока нулевой последовательности параллельной линии, определяется по выражению:

$$\underline{K}_M = \frac{\underline{Z}_{0M}}{3\underline{Z}_{1л}} \quad (\text{A.25})$$

Дистанционный замер \underline{Z}_{A0} при подведении к защите тока нулевой последовательности параллельной линии $3\underline{I}''_0$ определяется:

$$\underline{Z}_{A0} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}'_A + \underline{K} \cdot 3\underline{I}'_0 + \underline{K}_M \cdot 3\underline{I}''_0} = \underline{Z}_{1л} \quad (\text{A.26})$$

Таким образом, при металлических КЗ на землю на шинах противоположной ПС, когда две параллельные линии в работе, при подведении к ДО фазного напряжения и фазного тока с компенсацией тока нулевой последовательности защищаемой линии $\underline{K} \cdot 3\underline{I}'_0$ и тока нулевой последовательности параллельной линии $\underline{K}_M \cdot 3\underline{I}''_0$ дистанционный замер по поврежденному контуру фаза – земля составит величину $\underline{Z}_{1л}$ – сопротивление прямой последовательности защищаемой ЛЭП.

В общем случае при использовании компенсации тока нулевой последовательности параллельной линии дистанционный замер по контуру фаза – земля определяется по выражению:

$$\underline{Z}_{\phi 0} = \frac{\underline{U}_{\phi}}{\underline{I}'_{\phi} + \underline{K} \cdot 3\underline{I}'_0 + \underline{K}_M \cdot 3\underline{I}''_0} \quad (\text{A.27})$$

В устройствах РЗ, где предусмотрена возможность подведения тока нулевой последовательности параллельной линии, для компенсации влияния взаимоиндукции может использоваться либо комплексный коэффициент компенсации \underline{K}_M , либо пара вещественных коэффициентов компенсации:

$$K_{MX} = \frac{X_{0M}}{3X_{1л}}; \quad K_{MR} = \frac{R_{0M}}{3R_{1л}}, \quad (\text{A.28})$$

где R_{0M}, X_{0M} – активное и реактивное сопротивление взаимоиндукции между параллельными линиями.

Компенсация влияния взаимоиндукции может быть невозможной или некорректной в одном из следующих случаев:

- если линии проходят параллельно только часть своей длины и подвести к защите ток нулевой последовательности параллельной линии невозможно;
- если параллельная линии отключена и заземлена с двух сторон, контролировать ток нулевой последовательности параллельной линии невозможно, поскольку точка заземления обычно находится за точкой подключения трансформатора тока (исключение – линейные трансформаторы тока);
- при КЗ на параллельной линии использование компенсации тока $3\underline{I}''_0$ может привести к неселективной работе ДЗ неповрежденной линии.

Для исключения неселективной работы ДЗ при КЗ на землю на линии, параллельной защищаемой, в защите должен быть реализован алгоритм, который разрешает компенсацию взаимоиндукции, если ток нулевой последовательности $3\underline{I}'_0$ защищаемой линии превышает ток нулевой последовательности $3\underline{I}''_0$ параллельной линии на определенную величину.

Рассмотрим расчетные условия для выбора коэффициентов компенсации, когда ток нулевой последовательности параллельной линии не подводится к защите.

А.4.1. Две параллельные линии в работе, внешнее К(1) на шинах противоположной ПС

При внешнем металлическом $K^{(1)}$ на шинах противоположной ПС (рисунок А.3), когда токи нулевой последовательности в защищаемой и параллельной линии равны и имеют одинаковое направление, дистанционный замер определяется по выражению:

$$\underline{Z}_{A0} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}'_A + \underline{K}_1 \cdot 3\underline{I}'_0}, \quad (\text{A.29})$$

где коэффициент компенсации \underline{K}_1 определяется:

$$\underline{K}_1 = \underline{K} + \underline{K}_M \quad (\text{A.30})$$

В рассматриваемом случае для того, чтобы получить дистанционный замер, равный сопротивлению линии прямой последовательности $\underline{Z}_{1л}$, необходим коэффициент компенсации \underline{K}_1 , больший, чем рассчитанный по параметрам линии согласно выражению (А.12).

А.4.2. Две параллельные линии в работе, каскадное отключение К(1) на параллельной линии

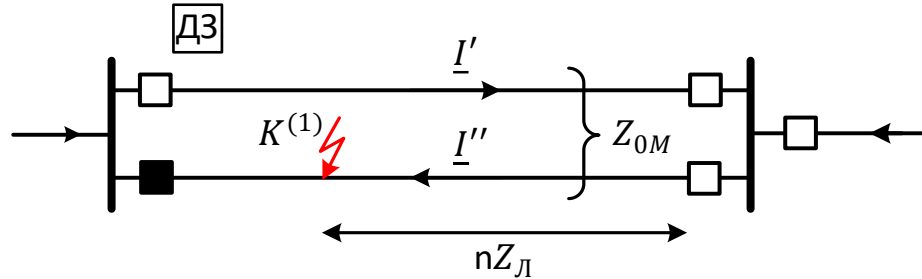


Рисунок А.4. Каскадное отключение однофазного КЗ на землю на параллельной линии

В случае каскадного отключения $K^{(1)}$ на параллельной линии (рисунок А.4) напряжение U_A в месте установки защиты определяется:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= (\underline{I}'_{A1} + \underline{I}'_{A2}) \cdot \underline{Z}_{1л} + \underline{I}'_0 \cdot \underline{Z}_{0л} - n \cdot \underline{I}''_0 \cdot \underline{Z}_{0М} + n(\underline{I}''_{A1} + \underline{I}''_{A2}) \cdot \underline{Z}_{1л} + \\ &+ n \cdot \underline{I}''_0 \cdot \underline{Z}_{0л} - n \cdot \underline{I}'_0 \cdot \underline{Z}_{0М} = \\ &= [\underline{I}'_A + (\underline{K} - n \cdot \underline{K}_M) \cdot 3\underline{I}'_0] \cdot \underline{Z}_{1л} + [\underline{I}''_A + (\underline{K} - \underline{K}_M) \cdot 3\underline{I}''_0] \cdot n \cdot \underline{Z}_{1л}, \quad (\text{А.31}) \end{aligned}$$

где n – относительная длина участка параллельного следования от шин противоположной ПС до места КЗ.

При отсутствии подпитки от смежных присоединений (справа) при равенстве токов в защищаемой и параллельной ЛЭП $\underline{I}'_A = \underline{I}''_A$ и $3\underline{I}'_0 = 3\underline{I}''_0$ дистанционный замер определяется по выражению:

$$\underline{Z}_{A0} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}'_A + \underline{K}_2 \cdot 3\underline{I}'_0} = \underline{Z}_{1л} \cdot (1 + n), \quad (\text{А.32})$$

где коэффициент компенсации \underline{K}_2 определяется:

$$\underline{K}_2 = \underline{K} - \frac{2n \cdot \underline{K}_M}{1 + n} \quad (\text{А.33})$$

Наименьшее расчетное значение \underline{K}_2 будет при КЗ вблизи отключенного конца параллельной линии ($n = 1$):

$$\underline{K}_2 = \underline{K} - \underline{K}_M \quad (\text{А.34})$$

В рассматриваемом случае для получения дистанционного замера, равного сопротивлению прямой последовательности участка электрической цепи от места установки защиты до места повреждения, и исключения неселективной работы ДЗ при КЗ на землю на параллельной линии необходим

коэффициент компенсации \underline{K}_2 , меньший, чем рассчитанный по параметрам линии согласно (А.12).

А.4.3. Параллельная линия отключена и заземлена, $K(1)$ на шинах противоположной ПС

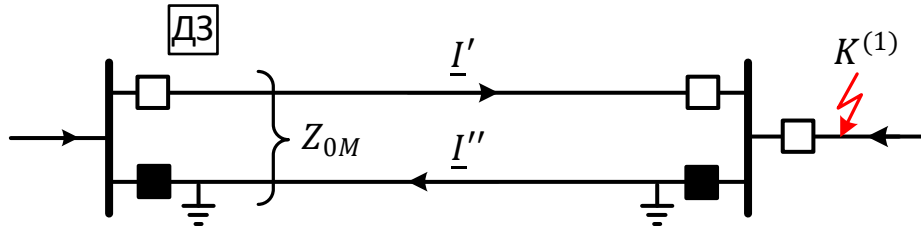


Рисунок А.5. Внешнее однофазное КЗ на землю $A0$ для случая отключенной и заземленной параллельной линии

При внешнем $K^{(1)} A0$ на шинах противоположной ПС (рисунок А.5) при отключенной и заземленной параллельной линии можно записать:

$$\begin{aligned} I'_0 \cdot Z_{0л} + I''_0 \cdot Z_{0М} &= 0 \\ I''_0 &= -\left(\frac{Z_{0М}}{Z_{0л}}\right) \cdot I'_0 \end{aligned} \quad (\text{А.35})$$

Напряжение поврежденной фазы \underline{U}_A в месте установки защиты определяется по выражению:

$$\underline{U}_A = (I'_{A1} + I'_{A2}) \cdot Z_{1л} + I'_0 \cdot Z_{0л} + I''_0 \cdot Z_{0М}$$

Подставляя вместо I''_0 выражение (А.35), получаем:

$$\underline{U}_A = \left[I'_A + \left(\underline{K} - \frac{\underline{K}_M^2}{1 + \underline{K}} \right) \cdot 3I'_0 \right] \cdot Z_{1л} \quad (\text{А.36})$$

В этом случае расчетный коэффициент компенсации \underline{K}_3 определяется:

$$\underline{K}_3 = \underline{K} - \frac{\underline{K}_M^2}{1 + \underline{K}} \quad (\text{А.37})$$

Для исключения рисков неселективной работы защиты при внешних КЗ на землю необходимо использовать коэффициент компенсации \underline{K}_3 , меньший, чем рассчитанный по параметрам линии согласно (А.12).

А.4.4. Параллельная линия отключена, $K(1)$ на шинах противоположной ПС

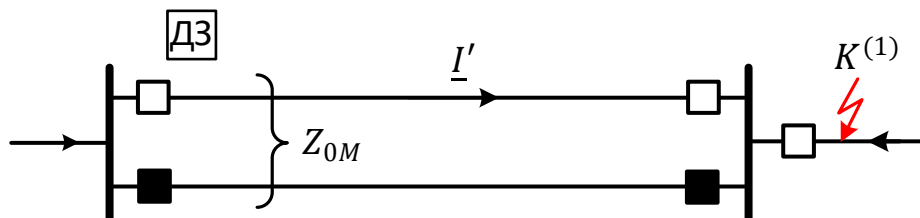


Рисунок А.6. Внешнее однофазное КЗ на землю $A0$ для случая отключенной параллельной линии

В данном случае (рисунок А.6) отсутствует влияние взаимоиндукции на дистанционный замер и коэффициент компенсации \underline{K} определяется по параметрам линии согласно выражению (А.12).

Таким образом, для рассматриваемых случаев работы двух параллельных ЛЭП получено несколько расчетных выражений для коэффициентов компенсации, которые позволяют обеспечить полную компенсацию тока $3I_0$ защищаемой ЛЭП с учетом режима работы параллельной линии. Наименьший коэффициент компенсации соответствует режиму ремонта (отключена и заземлена) параллельной линии.

Для ЛЭП, входящих в группы взаимоиндукции, охватывающие несколько линий, полностью скомпенсировать влияние взаимоиндукции гораздо сложнее.

А.5. Указания по расчету уставок коэффициентов компенсации для ЛЭП со взаимоиндукцией

А.5.1. Ток нулевой последовательности параллельной влияющей ЛЭП не подводится к защите

Расчет значений коэффициентов компенсации производится при металлическом $K^{(1)}$ в конце защищаемой ЛЭП согласно выражениям (А.13) или (А.22) с учетом ремонта (отключена и заземлена) каждой линии, входящей в группу взаимоиндукции с защищаемой ЛЭП, а также с учетом возможных совместных ремонтов влияющих линий.

Выбор уставок коэффициентов компенсации определяется функциональным назначением ступеней ДЗ от КЗ на землю.

Для первой ступени ДЗ от КЗ на землю, действующей без выдержки времени, в качестве уставки коэффициента компенсации следует принять минимальное из расчетных значений для обеспечения селективности при внешних КЗ на землю.

При выбранной уставке коэффициента компенсации необходимо выполнить проверку отстройки сопротивления срабатывания первой ступени ДЗ от замеров при металлическом $K^{(1)}$ на шинах противоположной ПС во всех рассматриваемых режимах работы параллельных и влияющих ЛЭП.

Для прямонаправленной телеускоряемой ступени ДЗ от КЗ на землю с охватом всей защищаемой ЛЭП селективность обеспечивается схемой ТУ с передачей разрешающих или блокирующих сигналов. При наличии технической возможности в качестве уставки коэффициента компенсации рекомендуется принять значение, обеспечивающее требуемую чувствительность рассматриваемой ступени ДЗ при КЗ на землю в конце ЛЭП в нормальной и ремонтных схемах сети.

Для обратнаправленной ступени ДЗ от КЗ на землю, которая используется в схемах ТУ, при наличии технической возможности следует принять уставку коэффициента компенсации, принятую для прямонаправленной телеускоряемой ступени ДЗ от КЗ на землю на противоположной стороне ЛЭП для обеспечения согласованного пуска ДО при внешних КЗ.

В ряде источников приводится рекомендация о возможности применения различных уставок коэффициентов компенсации для разных

режимов работы влияющих линий с использованием групп уставок в МП устройствах РЗ. В этом случае при принятых уставках коэффициентов компенсации необходимо выполнить проверку селективности первой ступени ДЗ при внешних КЗ на землю не только на шинах противоположной ПС, но и при КЗ вдоль ЛЭП, индуктивно связанных с защищаемой линией.

А.5.2. Ток нулевой последовательности параллельной/влияющей ЛЭП подводится к защите.

Коэффициенты компенсации тока нулевой последовательности защищаемой ЛЭП рассчитываются по параметрам линии согласно выражению (А.12) или (А.17) соответственно для комплексного или вещественных коэффициентов компенсации.

Коэффициенты компенсации тока нулевой последовательности параллельной/влияющей линии рассчитываются согласно выражению (А.25) или (А.28).

При наличии других линий, входящих в группу взаимоиндукции с защищаемой ЛЭП, коэффициенты компенсации тока нулевой последовательности для защищаемой ЛЭП рассчитываются при металлическом $K^{(1)}$ в конце защищаемой ЛЭП согласно выражению (А.13) или (А.22) с учетом режимов ремонтов влияющих ЛЭП (отключены и заземлены), за исключением учета влияния взаимоиндукции ЛЭП, ток нулевой последовательности которой заводится в защиту и для которой используется компенсация взаимоиндукции.

Для первой ступени ДЗ от КЗ на землю, действующей без выдержки времени, в качестве уставки следует принять минимальное из расчетных значений для обеспечения селективности при внешних КЗ на землю.

При выбранной уставке коэффициента компенсации необходимо выполнить проверку селективности первой ступени ДЗ при внешних КЗ на землю во всех расчетных режимах, включая те режимы, в которых компенсация влияния взаимоиндукции параллельной/влияющей ЛЭП отсутствует или блокируется.

А.6. Указания по расчету коэффициентов компенсации для ЛЭП с многосторонним питанием и ЛЭП при наличии ответвлений

Для ЛЭП с многосторонним питанием коэффициенты компенсации рассчитываются согласно выражению (А.13) или (А.22) при металлическом $K^{(1)}$ на шинах противоположных ПС. Расчетные режимы должны включать в том числе режимы отсутствия питания с одной из сторон ЛЭП.

При наличии Т (АТ) с глухозаземленной нейтралью на ЛЭП с ответвлениями расчет коэффициентов компенсации производится согласно выражению (А.13) или (А.22) при металлическом $K^{(1)}$ в конце защищаемой ЛЭП и на шинах ВН отпаечных ПС. Расчетные режимы должны включать режимы отключения Т (АТ) с глухозаземленной нейтралью.

Для первой ступени ДЗ от КЗ на землю, действующей без выдержки времени, в качестве уставки K следует принять минимальное значение из рассчитанных значений коэффициентов компенсации для обеспечения селективности при внешних КЗ на землю.

А.7. Примеры расчета и выбора уставок коэффициентов компенсации

А.7.1. Пример расчета комплексного коэффициента компенсации для одиночной ЛЭП 500 кВ с емкостной проводимостью.

Расчет выполнен для защиты 402 ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка, установленной со стороны ПС 500 кВ Вятка (рисунок А.7).

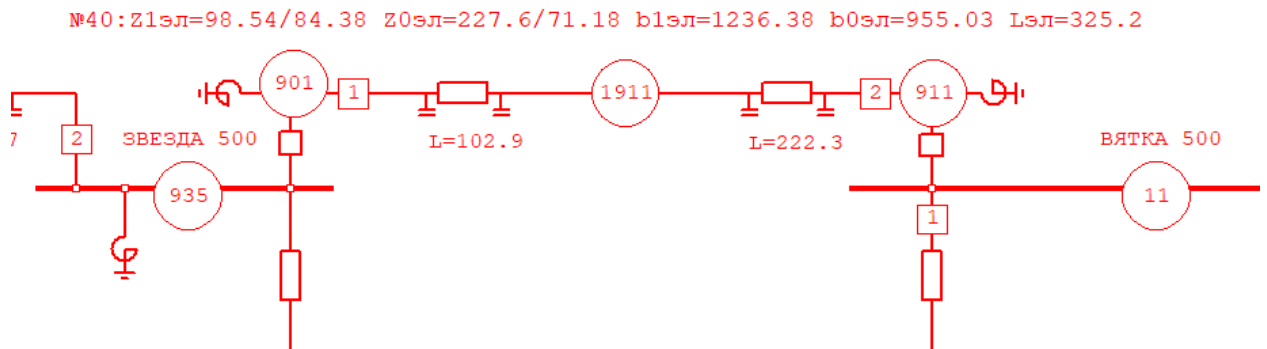


Рисунок А.7. Схема замещения участка электрической сети

1. Эквивалентное сопротивление линии прямой последовательности для ЛЭП с емкостной проводимостью рассчитывается при металлическом $K^{(3)}$ в конце линии:

ВЕЛИЧИНА *Z1
 ВЕТВЬ 911-1911
 НСМ 1
 ВИД-КЗ АВС
 УЗЕЛ-КЗ 935

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
 НСМ 1
 ВИД-КЗ АВС

УЗЕЛ-КЗ 935
 911-1911 Z1 103.441 / 84.099 10.634 +j 102.893

$$Z_{1л} = 103,441 \text{ Ом}/84,1^\circ = 10,634 + j102,89 \text{ Ом.}$$

2. Дистанционный замер без использования компенсации тока $3I_0$ рассчитывается при металлическом $K^{(1)}$ в конце ЛЭП по формуле $Z_A = U_A / I_A$:

ЗАЩИТА ЗАЩ=402 ВИД_ЗАЩ=ДЗ
 ВКЛ_РС ФОРМУЛА
 ФОРМУЛА ZA=UA*1000/IA
 ОТСТ КН=0.85 ТИП= ФМЧ=84 КОМПЛЕКТ=1
 СТУП=1
 ВИД-КЗ А0
 УЗЕЛ-КЗ 935

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА (911-1911) Узел 911	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3	88.0 40.0 84 -22 120	0.85 Котс = 0.61	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 935	Нормальная схема	ZA=148.35 78 (формула) --Допол эл вел-- ZA=29.68+j145.35

Без использования компенсации тока $3I_0$ дистанционный замер превышает эквивалентное сопротивление линии прямой последовательности:

$$\underline{Z}_A = 148,35 \text{ Ом} / 78^\circ > \underline{Z}_{1л}$$

3. Расчет комплексного коэффициента компенсации \underline{K} производится при металлическом $K^{(1)}$ на шинах противоположной ПС согласно выражению (А.13), для сравнения приводится расчет коэффициента компенсации $\underline{K}_{П}$ по параметрам линии согласно выражению (А.12):

ВЕТЬ 911-1911
 ЗНАЧЕНИЕ $Z_{1л}=103.441/84.099$
 ЗНАЧЕНИЕ $Z_{0л}=227.6/71.18$
 ФОРМУЛА $K=(U_A*1000-I_A*Z_{1л}) / (3I_0*Z_{1л})$
 ФОРМУЛА $K_{П}=(Z_{0л}-Z_{1л}) / (3*Z_{1л})$
 НСМ 1
 ВИД-КЗ А0
 УЗЕЛ-КЗ 935

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
 НСМ 1
 ВИД-КЗ А0

УЗЕЛ-КЗ 935

Замеры

911-1911 Z_1 137.475 / 81.587 20.114 +j 135.995
 K 0.436/-22.254
 $K_{П}$ 0.415/-23.257

Далее в расчетах используется коэффициент $\underline{K} = 0,436/-22.3$ с учетом емкостной проводимости линии.

4. Проверка селективности первой ступени ДЗ при выбранной уставке коэффициента компенсации производится при металлическом $K^{(1)}$ на шинах противоположной ПС. В данном примере расчеты выполнены с коэффициентом компенсации без округления и приведения к формату задания уставки в конкретном устройстве РЗ.

ЗАЩИТА ЗАЩ=402 ВИД_ЗАЩ=ДЗ
 ВКЛ_РС ZФ
 $K_{КОМП}$ 0.436/-22.254
 ОТСТ КН=0.85 ТИП= ФМЧ=84 КОМПЛЕКТ=1
 СТУП=1
 1СТУП=ЗЕМЛЯ
 ВИД-КЗ А0 ВС0
 УЗЕЛ-КЗ 935
 ПОДРЕЖИМ 1

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА D60 (911-1911) Узел 911	XУ0 RУ0 ФМЧ Ф2	88.0 40.0 84 -22	0.85 Котс = 0.86	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 935	Нормальная схема	ZA=103.42 84 K1=0.436 -22.3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
	ФЗ	120				
	XУ0	88.0	0.85	ВИД-КЗ ВС0	Нормальная схема	ZC=103.42 84
	RY0	40.0	Котс	УЗЕЛ-КЗ 935		K1=0.436 -22.3
	ФМЧ	84	=			--Допол эл вел--
	Ф2	-22	0.86			ZB=103.43 84
	Ф3	120				ZBC=103.44 84

По результатам расчетов получены одинаковые дистанционные замеры, равные эквивалентному сопротивлению линии прямой последовательности $Z_{1л}$: по контуру $A0$ при $K^{(1)}$ и по контурам $B0$, $C0$, BC при $K^{(1,1)}$. Селективность первой ступени ДЗ обеспечивается.

А.7.2. Пример расчета комплексного коэффициента компенсации для ЛЭП с взаимной индукцией.

Расчет выполнен для защиты 101 ВЛ 500 кВ Златоуст – Челябинская, установленной со стороны ПС 500 кВ Златоуст (рисунок А.8).

ВЛ 500 кВ Златоуст – Челябинская (Л-10) длиной 115,6 км имеет участок параллельного следования с ВЛ 500 кВ Шагол – Челябинская (Л-9) длиной 36,3 км, расчет коэффициентов компенсации производится для всех режимов работы влияющей линии Л-9. Для сравнения приводится расчет $K_{\text{П}}$ по продольным параметрам линии согласно выражению (А.12).

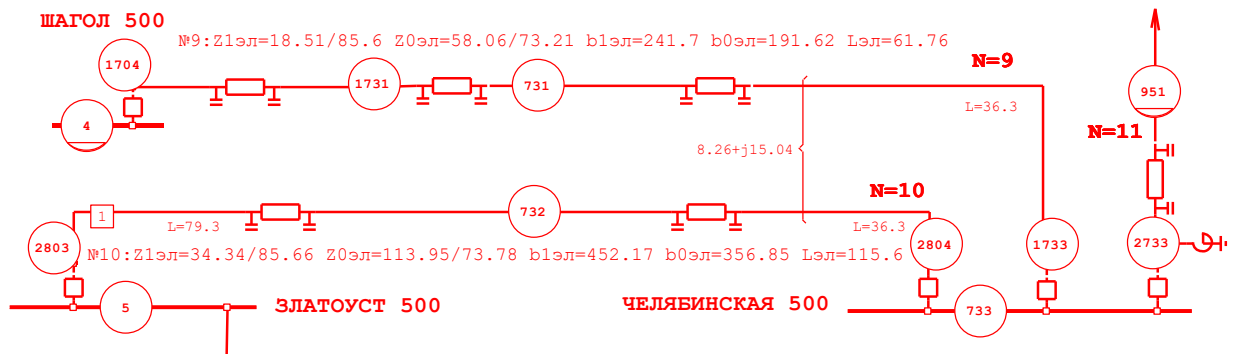


Рисунок А.8. Схема замещения участка электрической сети

1. Сопротивление линии прямой и нулевой последовательности:

$$\underline{Z}_{1\text{Л}} = 34,34 \text{ Ом}/85,7^\circ = 2,59 + j34,2 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{0\text{Л}} = 113,95 \text{ Ом}/73,8^\circ = 31,79 + j109,43 \text{ Ом}$$

2. Расчет комплексных коэффициентов компенсации:

ВЕТВЬ	2803-732
ЗНАЧЕНИЕ	$Z_{1\text{Л}}=34,34/85,7$
ЗНАЧЕНИЕ	$Z_{0\text{Л}}=113,95/73,8$
ФОРМУЛА	$K=(U_A \cdot 1000 - I_A \cdot Z_{1\text{Л}}) / (3I_0 \cdot Z_{1\text{Л}})$
ФОРМУЛА	$K_{\text{П}}=(Z_{0\text{Л}} - Z_{1\text{Л}}) / (3 \cdot Z_{1\text{Л}})$
НСМ	1
ВИД-КЗ	A0
УЗЕЛ-КЗ	733
ПОДРЕЖИМ	1 <i>нормальная схема</i>
ПОДРЕЖИМ	2 <i>отключена и заземлена линия Л-9</i>
ЭЛЕМЕНТ	9
ПОДРЕЖИМ	3 <i>отключена линия Л-9</i>
ЭЛЕМЕНТ	9/733/4
ПОДРЕЖИМ	4 <i>отключена линия Л-11 и линейный шунтирующий реактор</i>
ЭЛЕМЕНТ	11/2954/733
ОТКЛ	0 2733-0

Результаты расчета

Подрежим	1		ВИД-КЗ	A0
		K	1.166/-19.534	
		KП	0.778/-16.968	
Подрежим	2		ВИД-КЗ	A0
ЭЛЕМЕНТ	9	K	0.732/-15.674	
		KП	0.778/-16.968	
Подрежим	3		ВИД-КЗ	A0
ЭЛЕМЕНТ	9/733/4			

	К	0.778/-16.930
	КП	0.778/-16.968
Подрезим	4	
ЭЛЕМЕНТ	11/2954/733	
ОТКЛ	0 2733-0	
	ВИД-КЗ	А0
	К	1.167/-19.541
	КП	0.778/-16.968

По результатам расчета к рассмотрению принимаются коэффициенты компенсации для следующих режимов:

$K_1 = 1.166/-19.5^\circ$ – нормальная схема или отключена смежная ЛЭП Л-11;

$K_2 = 0.778/-17.0^\circ$ – отключена влияющая ЛЭП Л-9 (равен K_{II});

$K_3 = 0.732/-15.7^\circ$ – отключена и заземлена влияющая ЛЭП Л-9.

3. Проверка селективности первой ступени ДЗ при выбранных к рассмотрению уставках коэффициентов компенсации K_1 , K_2 , K_3 производится при металлических КЗ на землю на шинах противоположной ПС в нормальной схеме сети и для всех режимов работы влияющей ЛЭП:

Защита	101	Тип	L60	Ступень	1
Ветвь	2803-732	КТТ	2000/1		
Узел		КТН	5000		

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	Нормальная схема	K1=1.166 -19.5 ZA=34.49 86 ZA=2.59+j34.2
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	0.84			
	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 9	K1=1.166 -19.5 ZA=27.67 90 ZA=0.152+j27.67
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	1.05			
	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 9/733/4	K1=1.166 -19.5 ZA=28.38 89 ZA=0.566+j28.38
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	1.02			
ОТСТРОЙКА	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	Нормальная схема	K2=0.778 -17.0 ZA=42.03 83 ZA=5.43+j41.68
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	0.70			
	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 9	K2=0.778 -17.0 ZA=33.65 87 ZA=2.05+j33.59
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	0.86			
	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 9/733/4	K2=0.778 -17.0 ZA=34.48 86 ZA=2.59+j34.2
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	0.84			
ОТСТРОЙКА	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	Нормальная схема	K3=0.732 -15.7 ZA=43.10 82 ZA=6.18+j42.65
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	0.68			
	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 9	K3=0.732 -15.7 ZA=34.49 86 ZA=2.59+j34.20
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	0.84			
	XУ0	29.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 9/733/4	K3=0.732 -15.7 ZA=35.35 85 ZA= 3.081+ j35.22
	РУ0	14.6	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	86	0.82			

Результаты расчета дистанционных замеров для различных режимов работы влияющей линии Л-9 сведены в таблицу А.4.

Результаты расчета \underline{Z}_{A0} при $K^{(1)} A0$ в конце защищаемой ЛЭП

№	Режим работы	Замеры ДО Z_{A0} , Ом при расчетных коэффициентах компенсации		
		$\underline{K}_1=1.166/-19.5^\circ$	$\underline{K}_2=0.778/-17^\circ$	$\underline{K}_3=0.732/-15.7^\circ$
1	Нормальная схема	<u>2.59+j34.2</u>	5.43+j41.68	6.18+j42.65
2	Отключена и заземлена Л-9	0.152+j27.67	2.05+j33.59	<u>2.59+j34.20</u>
3	Отключена без заземления Л-9	0.566+j28.38	<u>2.59+j34.2</u>	3.081+ j35.215

По результатам расчета видно, что полная компенсация, т.е. равенство замера \underline{Z}_{A0} сопротивлению линии $\underline{Z}_{1л}$, достигается при коэффициентах компенсации, которые рассчитаны при соответствующих режимах работы влияющей ЛЭП Л-9.

Замеры с коэффициентом \underline{K}_1 в режимах отключенной или отключенной и заземленной Л-9 меньше сопротивления линии $\underline{Z}_{1л}$, что может вызвать неселективную работу первой ступени ДЗ от КЗ на землю.

Анализ замеров \underline{Z}_{A0} может привести к решению задать две группы уставок с различными коэффициентами компенсации:

- первая группа уставок $\underline{K}_1 = 1.166/-19.5^\circ$ для нормальной схемы сети или режима ремонта линии Л-11;
- вторая группа уставок $\underline{K}_3 = 0.732/-15.7^\circ$ для режима ремонта Л-9.

4. Проверка селективности первой ступени ДЗ с использованием двух групп уставок коэффициентов компенсации производится при $K^{(1)}$ на смежной ЛЭП Л-9 в середине и в конце участка со взаимной индукцией с защищаемой линией в нормальной схеме сети и при отключенной ЛЭП Л-11.

- а) первая группа уставок $\underline{K}_1 = 1.167 / -19.54^\circ$

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ0	29.0	0.85	1733-731,0.500 P/A0	Нормальная схема	K1=1.166 -19.5 ZA=0.89+j36.45
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.80			
	XУ0	29.0	0.85	1733-731,0.500 P/A0	ЭЛ 11/2954/733 ОТКЛ 2733-0	K1=1.167 -19.5 ZA=0.94+j33.71
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.86			
	XУ0	29.0	0.85	1733-731,0.500 P/A0	ЭЛ 11/2954/733 ОТКЛ 4-1704 ОТКЛ 2733-0	K1=1.166 -19.5 ZA=-0.29+j29.86
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.97			
ОТСТРОЙКА	XУ0	29.0	0.85	1733-731,1.000 P/A0	Нормальная схема	K1=1.166 -19.5 ZA=-1.60+j35.60
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.81			
	XУ0	29.0	0.85	1733-731,1.000 P/A0	ЭЛ 11/2954/733 ОТКЛ 733-0	K1=1.166 -19.5 ZA=-1.16+j31.34
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.93			
	XУ0	29.0	0.85	1733-731,1.000 P/A0	ЭЛ 11/2954/733 ОТКЛ 4-1704 ОТКЛ 2733-0	K1=1.166 -19.5 ZA=-1.04+j31.62
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.92			

б) вторая группа уставок $K_3 = 0.732 / -15.7^\circ$

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ0	29.0	0.85	1733-731,0.500 P/A0	Нормальная схема	K3=0.732 -15.7 ZA=4.37+j45.53
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.64			
	XУ0	29.0	0.85	1733-731,0.500 P/A0	ЭЛ 11/2954/733 ОТКЛ 2733-0	K3=0.732 -15.7 ZA=4.26+j42.32
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.69			
	XУ0	29.0	0.85	1733-731,0.500 P/A0	ЭЛ 11/2954/733 ОТКЛ 4-1704 ОТКЛ 2733-0	K3=0.732 -15.7 ZA=2.33+j37.47
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.77			
ОТСТРОЙКА	XУ0	29.0	0.85	1733-731,1.000 P/A0	Нормальная схема	K3=0.732 -15.7 ZA=1.32+j44.93
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.65			
	XУ0	29.0	0.85	1733-731,1.000 P/A0	ЭЛ 11/2954/733 ОТКЛ 2733-0	K3=0.732 -15.7 ZA=1.47+j39.61
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.73			
	XУ0	29.0	0.85	1733-731,1.000 P/A0	ЭЛ 11/2954/733 ОТКЛ 4-1704 ОТКЛ 2733-0	K3=0.732 -15.7 ZA=1.54+j39.75
	РУ0	14.6	Котс=			
	ФМЧ	86	0.73			

По результатам расчетов Z_{A0} при $K^{(1)} A0$ на смежной ЛЭП Л-9 при значении уставки коэффициента компенсации, равной K_1 (первая группа уставок для нормальной схемы сети или режима ремонта линии Л-11), дистанционный замер в ряде режимов меньше сопротивления прямой последовательности защищаемой ЛЭП $Z_{1л} = 2,59 + j34,2$ Ом.

Таким образом, в рассматриваемом случае для исключения рисков неселективной работы первой ступени ДЗ при внешних КЗ на землю на смежной ЛЭП Л-9, в качестве уставки коэффициента компенсации необходимо принять минимальное из расчетных значений $K_1 = 0.73 / -15,7^\circ$.

А.7.3. Пример расчета вещественных коэффициентов компенсации для трехконцевой ЛЭП со взаимоиндукцией

Расчет вещественных коэффициентов компенсации приведен для ДЗ ВЛ 220 кВ Нижнетуриная ГРЭС-Тагил 1ц с отпайкой на ПС 220 кВ Острая, установленной со стороны ПС 500 кВ Тагил (рисунок А.9).

Рассматриваемая ЛЭП 220 кВ с трехсторонним питанием имеет участок параллельного следования с ЛЭП 220 кВ Нижнетуриная ГРЭС-Тагил 2ц.

Расчет коэффициентов компенсации следует выполнять с учетом режима ремонта влияющей ЛЭП, а также с учетом отсутствия питания с одной из сторон защищаемой ЛЭП.

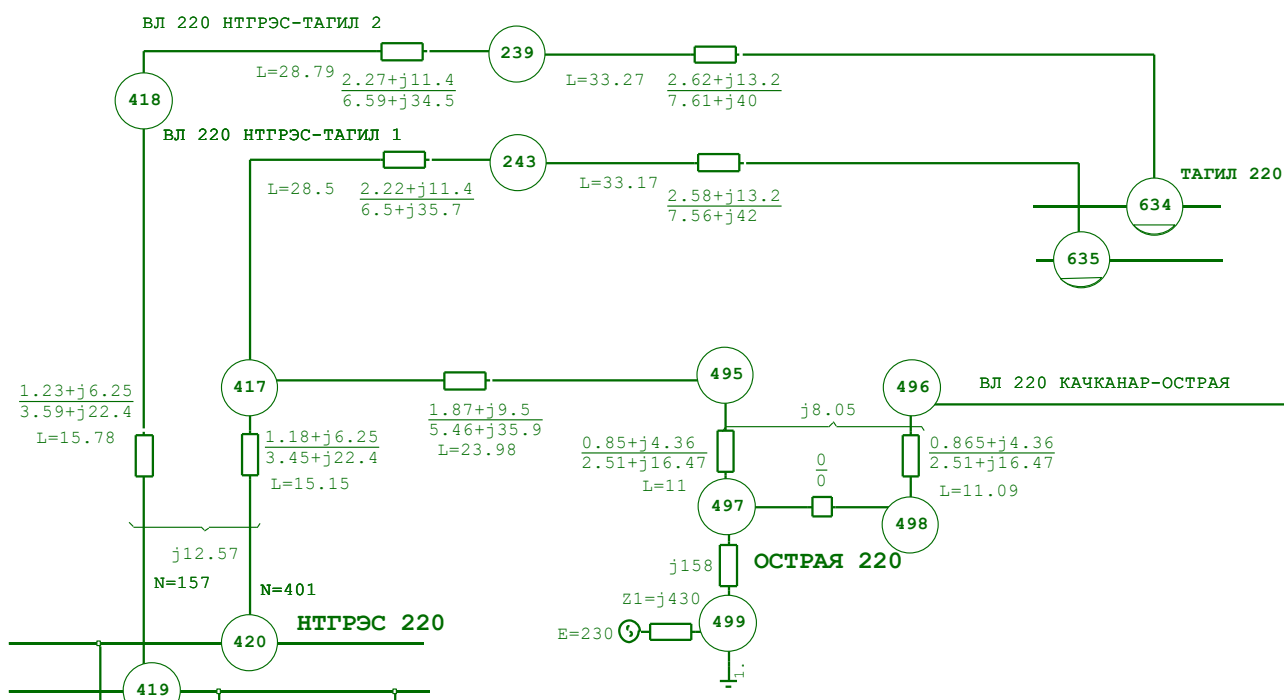


Рисунок А.9. Схема замещения участка электрической сети

1. Расчет эквивалентного сопротивления линии прямой последовательности производится при металлическом $K^{(3)}$ на шинах противоположных ПС.

1.1. При металлическом $K^{(3)}$ на шинах 220 кВ Нижнетуриной ГРЭС:

ВЕЛИЧИНА	*Z1	
ВЕТВЬ	635-243	
НСМ	1	
ВИД-КЗ	АВС	
УЗЕЛ-КЗ	420	
ПОДРЕЖИМ	1	Нормальная схема
ПОДРЕЖИМ	2	
ОТКЛ	0 497-498	Откл ШСВ220 ПС220 ОСТРАЯ
ПОДРЕЖИМ	3 2	
ЭЛЕМЕНТ	1513/497/499	Откл Т2 ПС ОСТРАЯ И ШСВ220 ПС220 ОСТРАЯ
		Подрежим 1
		ВИД-КЗ АВС
УЗЕЛ-КЗ	420	

Замеры

Методические указания по расчету и выбору параметров настройки дистанционных защит линий электропередачи 110 кВ и выше

635-243	Z1	31.994 /	79.130	6.034 +j	31.420
		Подрежим	2		
ОТКЛ	0 497-498	(ОСТРАЯ 220	- ОСТРАЯ 220)	
УЗЕЛ-КЗ	420				
		Замеры			
635-243	Z1	31.803 /	78.945	6.098 +j	31.213
		Подрежим	3		
ЭЛЕМЕНТ	1513/497/499	(ОСТРАЯ Т2)			
ОТКЛ	0 497-498	(ОСТРАЯ 220	- ОСТРАЯ 220)	
УЗЕЛ-КЗ	420				
		Замеры			
635-243	Z1	31.424 /	79.030	5.980 +j	30.850
ВЕЛИЧИНА	*Z1				
ВЕТВЬ	635-243				
НСМ	1				

1.2. При металлическом $K^{(3)}$ на шинах 220 кВ ПС Острая:

ВИД-КЗ	АВС				
УЗЕЛ-КЗ	497				
ПОДРЕЖИМ	1	нормальная схема			
ПОДРЕЖИМ	2				
ОТКЛ	1 *420-417	Откл ЛЭП со стороны НТГРЭС			
		Подрежим	1		
		ВИД-КЗ	АВС		
УЗЕЛ-КЗ	497				
635-243	Z1	54.259 /	78.749	10.587 +j	53.217
		Подрежим	2		
ОТКЛ	1 *420-417	(НТГРЭС 220	- НТГРЭС-ТАГИЛ 1)	
		НСМ	1		
		ВИД-КЗ	АВС		
УЗЕЛ-КЗ	497				
635-243	Z1	39.188 /	78.937	7.520 +j	38.460

2. Для ЛЭП с многосторонним питанием расчет коэффициентов компенсации производится согласно выражению (А.22) при металлическом $K^{(1)}$ на шинах противоположных ПС. При этом в расчете следует использовать наименьшие эквивалентные сопротивления линии прямой последовательности, рассчитанные при металлических $K^{(3)}$ на шинах противоположных ПС в режимах отсутствия питания с одной из сторон ЛЭП и соответствующие сопротивления линии нулевой последовательности. Для сравнения приводится расчет коэффициентов компенсации по параметрам линии согласно выражению (А.17).

2.1. Расчет вещественных коэффициентов компенсации при металлическом $K^{(1)}$ на шинах 220 кВ Нижнетуриной ГРЭС

В расчете используется сопротивление линии прямой и нулевой последовательности:

$$\underline{Z}_{1л} = 5,98 + j30,85 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{0л} = 17,51 + j100,1 \text{ Ом}$$

ВЕТВЬ 635-243
* ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОМПЕНСАЦИИ

ЗНАЧЕНИЕ ZL=31.424/79.03 RL=5.98 XL=30.85
 * КОЭФФ КОМПЕНСАЦИИ ТОКА ЗИО СВОЕЙ ЛИНИИ
 ФОРМУЛА #ZE=(UA*1000-IA*ZL)/ЗИО
 ФОРМУЛА #RE=MOD(ZE)*COS(ARCTG2(ZE))
 ФОРМУЛА #XE=MOD(ZE)*SIN(ARCTG2(ZE))
 ФОРМУЛА KR=RE/RL КХ=XE/XL
 * ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОМПЕНСАЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ ЛИНИИ
 ЗНАЧЕНИЕ R0=17.51 X0=100.1
 ФОРМУЛА КРУД=(R0-RL)/(3*RL)
 ФОРМУЛА КХУД=(X0-XL)/(3*XL)
 НСМ 1
 ВИД-КЗ А0
 УЗЕЛ-КЗ 420
 ПОДРЕЖИМ 1
 ПОДРЕЖИМ 2
 ОТКЛ 0 497-498 ОТКЛ ШСВ220 ПС220 ОСТРАЯ
 ПОДРЕЖИМ 3 2
 ЭЛЕМЕНТ 1513/497/499 ОТКЛ Т2 ПС220 ОСТРАЯ+ ШСВ220 ПС220 ОСТРАЯ
 ПОДРЕЖИМ 4
 ЭЛЕМЕНТ 157/419/634 ОТКЛ ВЛ220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2Ц
 ПОДРЕЖИМ 5
 ЭЛЕМЕНТ 157 ОТКЛ И ЗАЗЕМЛЕНА ВЛ220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2Ц
 ПОДРЕЖИМ 6 3
 ЭЛЕМЕНТ 157

		Подрежим 1	
	KR	0.930/0.000	
	KX	1.651/0.000	
	KРУД	0.643/0.000	
	KХУД	0.748/0.000	
		Подрежим 2	
ОТКЛ	0 497-498	(ОСТРАЯ 220	- ОСТРАЯ 220)
	KR	0.906/0.000	
	KX	1.474/0.000	
		Подрежим 3 2	
ЭЛЕМЕНТ	1513/497/499	(ОСТРАЯ Т2)
ПОДРЕЖИМ	2		
ОТКЛ	0 497-498	(ОСТРАЯ 220	- ОСТРАЯ 220)
	KR	0.615/0.000	
	KX	1.240/0.000	
		Подрежим 4	
ЭЛЕМЕНТ	157/419/634	(ВЛ 220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2)
	KR	0.913/0.000	
	KX	0.956/0.000	
		Подрежим 5	
ЭЛЕМЕНТ	157	(ВЛ 220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2)
	KR	1.117/0.000	
	KX	0.678/0.000	
		Подрежим 6 3 2	
ЭЛЕМЕНТ	157	(ВЛ 220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2)
ЭЛЕМЕНТ	1513/497/499	(ОСТРАЯ Т2)
ОТКЛ	0 497-498	(ОСТРАЯ 220	- ОСТРАЯ 220)
	635-243		
	KR	0.844/0.000	
	KX	0.545/0.000	

2.2. Расчет вещественных коэффициентов компенсации при металлическом $K^{(1)}$ на шинах 220 кВ ПС Острая

В расчете используется сопротивление линии прямой и нулевой последовательности:

$$\underline{Z}_{1л} = 7,52 + j38,46 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{0л} = 22,03 + j130,07 \text{ Ом}$$

ВЕТВЬ	635-243			
*	<i>ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОЭФФ КОМПЕНСАЦИИ</i>			
ЗНАЧЕНИЕ	ZL=39.188/78.937	RL=7.52	XL=38.46	
*	<i>КОЭФФ КОМПЕНСАЦИИ ТОКА ЗИО СВОЕЙ ВЛ</i>			
ФОРМУЛА	#ZE=(UA*1000-IA*ZL)/3I0			
ФОРМУЛА	#RE=MOD(ZE)*COS(ARCTG2(ZE))			
ФОРМУЛА	#XE=MOD(ZE)*SIN(ARCTG2(ZE))			
ФОРМУЛА	KR=RE/RL KX=XE/XL			
*ФОРМУЛА	K=ZE/ZL			
*	<i>ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФ КОМПЕНСАЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ ЛИНИИ</i>			
ЗНАЧЕНИЕ	R0=22.03	X0=130.07		
ФОРМУЛА	KРУД=(R0-RL)/(3*RL)			
ФОРМУЛА	KХУД=(X0-XL)/(3*XL)			
НСМ	1			
ВИД-КЗ	A0			
УЗЕЛ-КЗ	497			
ПОДРЕЖИМ	1			
ПОДРЕЖИМ	2			
ОТКЛ	0	497-498		
ПОДРЕЖИМ	3			
ЭЛЕМЕНТ	1513/497/499			
ПОДРЕЖИМ	4			
ЭЛЕМЕНТ	157/419/634			
ПОДРЕЖИМ	5			
ЭЛЕМЕНТ	157			
ПОДРЕЖИМ	6	3		
ЭЛЕМЕНТ	157			
ПОДРЕЖИМ	7			
ОТКЛ	1	*420-417		
ПОДРЕЖИМ	8	7		
ЭЛЕМЕНТ	157			
			Подрежим 1	
		KR	2.758/0.000	
		KX	3.489/0.000	
		KРУД	0.643/0.000	
		KХУД	0.794/0.000	
			Подрежим 2	
ОТКЛ	0	497-498	(ОСТРАЯ 220	- ОСТРАЯ 220)
		KR	3.064/0.000	
		KX	3.364/0.000	
			Подрежим 3	
ЭЛЕМЕНТ	1513/497/499		(ОСТРАЯ Т2)
		KR	2.571/0.000	
		KX	3.380/0.000	
			Подрежим 4	
ЭЛЕМЕНТ	157/419/634		(ВЛ 220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2)
		KR	2.924/0.000	
		KX	2.897/0.000	
			Подрежим 5	
ЭЛЕМЕНТ	157		(ВЛ 220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2)
		KR	3.080/0.000	
		KX	2.925/0.000	
			Подрежим 6 3	
ЭЛЕМЕНТ	157		(ВЛ 220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2)
ПОДРЕЖИМ	3			
ЭЛЕМЕНТ	1513/497/499		(ОСТРАЯ Т2)
		KR	2.919/0.000	
		KX	2.847/0.000	
			Подрежим 7	
ОТКЛ	1	*420-417	(НТГРЭС 220	- НТГРЭС-ТАГИЛ 1)

	KR	0.753/0.000	
	KX	0.952/0.000	
		Подрежим	8 7
ЭЛЕМЕНТ	157	(ВЛ 220 НТГРЭС-ТАГИЛ 2)
ПОДРЕЖИМ	7		
ОТКЛ	1 *420-417	(НТГРЭС 220 - НТГРЭС-ТАГИЛ 1)
	KR	0.776/0.000	
	KX	0.940/0.000	

3. Анализ результатов расчета коэффициентов компенсации

На результаты расчета коэффициентов компенсации ЛЭП с трехсторонним питанием оказывают влияние режим работы параллельной ВЛ, а также наличие подпитки со стороны ПС 220 кВ Острая при $K^{(1)}$ на шинах 220 кВ Нижнетуриной ГРЭС и наличие подпитки со стороны Нижнетуриной ГРЭС при $K^{(1)}$ на шинах 220 кВ ПС Острая.

Для обеспечения селективности первой ступени ДЗ при внешних КЗ на землю в качестве уставок коэффициентов компенсации следует принять минимальные расчетные значения:

$$K_R = 0,615 \quad K_X = 0,545.$$

4. Проверка селективности первой ступени ДЗ при выбранной уставке коэффициента компенсации производится при металлическом $K^{(1)}$ на шинах противоположных ПС.

$K^{(1)}$ на шинах 220 кВ Нижнетуриной ГРЭС:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ0	25.0	0.85	ВИД-КЗ А0	Нормальная схема	$Kr=0.615 \quad Kx=0.545$ $ZA=5.971+j37.97$
	RУ0	12.5	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 420		
	ФМЧ	80	0.65			
	XУ0	25.0	0.85	ВИД-КЗ А0	0 497-498	$Kr=0.615 \quad Kx=0.545$ $ZA=6.004+j37.186$
	RУ0	12.5	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 420		
	ФМЧ	80	0.67			
	XУ0	25.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 1513/497/499 0 497-498	$Kr=0.615 \quad Kx=0.545$ $ZA=5.728+j36.001$
	RУ0	12.5	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 420		
	ФМЧ	80	0.69			
	XУ0	25.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 157/419/634 ЭЛ 1513/497/499 0 497-498	$Kr=0.615 \quad Kx=0.545$ $ZA=5.912+j32.535$
	RУ0	12.5	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 420		
	ФМЧ	80	0.77			
	XУ0	25.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 157	$Kr=0.615 \quad Kx=0.545$ $ZA=6.633+j32.129$
	RУ0	12.5	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 420		
	ФМЧ	80	0.78			
	XУ0	25.0	0.85	ВИД-КЗ А0	ЭЛ 157 ЭЛ 1513/497/499 0 497-498	$Kr=0.615 \quad Kx=0.545$ $ZA=6.384+j30.906$
	RУ0	12.5	Котс=	УЗЕЛ-КЗ 733		
	ФМЧ	80	0.81			

При выбранных уставках коэффициентов компенсации дистанционный замер при металлическом $K^{(1)}$ А0 на шинах 220 кВ Нижнетуриной ГРЭС не превышает значения сопротивления линии прямой последовательности во всех расчетных режимах, селективность первой ступени ДЗ обеспечена.

Аналогичную проверку селективности первой ступени ДЗ необходимо выполнить при металлическом $K^{(1)} A0$ на шинах 220 кВ ПС Острая при выбранных уставках коэффициентов компенсации.

А.8. Влияние доаварийного нагрузочного режима и переходного сопротивления на дистанционные замеры при междуфазных КЗ

Рассмотрим $K^{(2)}$ AB через переходное сопротивление на ЛЭП с двухсторонним питанием (рисунок А.10). КЗ через переходное сопротивление можно представить как металлическое КЗ на ответвлении, сопротивление которого равно R_{Π} .

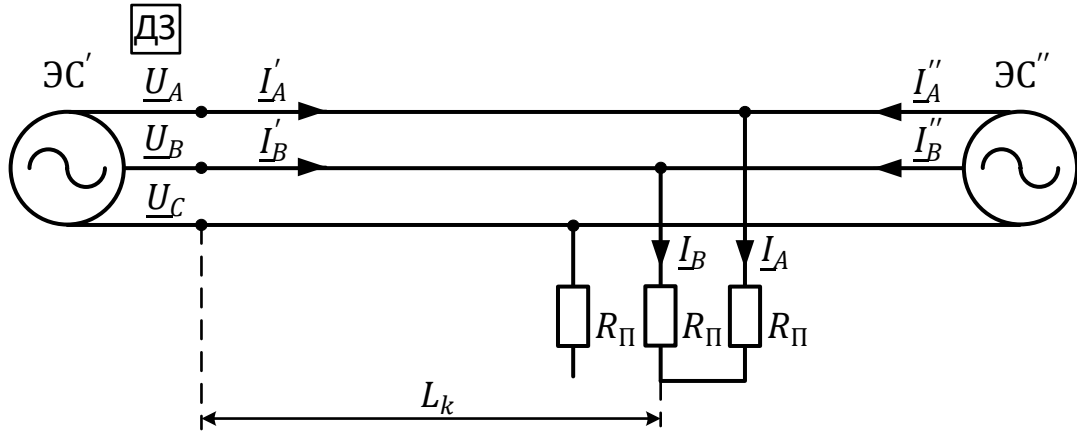


Рисунок А.10. Двухфазное КЗ через переходное сопротивление на ЛЭП с двухсторонним питанием

Напряжение \underline{U}_{AB} в месте установки защиты определяется

$$\begin{aligned} \underline{U}_{AB} &= \underline{I}'_A \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_A \cdot R_{\Pi} - \underline{I}'_B \cdot \underline{Z}_{1k} - \underline{I}_B \cdot R_{\Pi} = \\ &= (\underline{I}'_A - \underline{I}'_B) \cdot \underline{Z}_{1k} + (\underline{I}_A - \underline{I}_B) \cdot R_{\Pi} \end{aligned} \quad (\text{А.38})$$

Дистанционный замер \underline{Z}_{AB} определяется:

$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{1k} + \underline{k}_p \cdot R_{\Pi}, \quad (\text{А.39})$$

где \underline{k}_p – комплексный коэффициент распределения токов, учитывающий различие модулей и углов токов в месте КЗ и в месте установки защиты:

$$\underline{k}_p = \frac{\underline{I}_A - \underline{I}_B}{\underline{I}'_A - \underline{I}'_B} \quad (\text{А.40})$$

Перепишем выражение (А.39) с учетом

$$\underline{I}_A = (\underline{I}'_A + \underline{I}''_A); \quad \underline{I}_B = (\underline{I}'_B + \underline{I}''_B)$$

Дистанционный замер \underline{Z}_{AB} определяется:

$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{1k} + R_{\Pi} + \frac{\underline{I}''_A - \underline{I}''_B}{\underline{I}'_A - \underline{I}'_B} \cdot R_{\Pi} \quad (\text{А.41})$$

Полученное выражение (А.41) справедливо для контура AB при $K^{(2)}$ AB , при $K^{(1,1)}$ $AB0$ и при $K^{(3)}$. Аналогичные выражения можно получить для дистанционных замеров \underline{Z}_{BC} , \underline{Z}_{CA} при соответствующих видах КЗ.

При междуфазном КЗ на линии с односторонним питанием $\underline{k}_p = 1$, в этом случае дистанционный замер определяется:

$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{1k} + R_{\Pi} \quad (\text{А.42})$$

В этом случае реактивная составляющая замера соответствует реактивному сопротивлению участка линии $X_{AB} = X_{1K}$, дистанционные замеры при движении точки КЗ вдоль линии сдвигаются на величину R_{Π} . Заштрихованная область (рисунок А.11) соответствует дистанционным замерам при значениях переходных сопротивлений, меньших расчетного значения R_{Π} .

На ЛЭП с двусторонним питанием $k_p \neq 1$, на амплитуды и фазы токов \underline{I}' и \underline{I}'' влияют следующие факторы:

- вид и место КЗ на линии;
- величина R_{Π} ;
- соотношение эквивалентных сопротивлений примыкающих энергосистем;
- разность фаз эквивалентных ЭДС.

Взаимный угол между эквивалентными ЭДС определяется доаварийным перетоком мощности по рассматриваемой ЛЭП.

В зависимости от коэффициента k_p дистанционные замеры при КЗ в одной и той же точке через одинаковое переходное сопротивление R_{Π} могут располагаться в различных квадрантах комплексной плоскости.

При нулевом доаварийном перетоке по ЛЭП эквивалентные ЭДС источников совпадают по фазе и углы токов в месте установки защиты \underline{I}' и с противоположной стороны \underline{I}'' будут одинаковы. Дистанционный замер в этом случае определяется:

$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{1k} + \left(1 + \frac{|\underline{I}''_A - \underline{I}''_B|}{|\underline{I}'_A - \underline{I}'_B|} \right) \cdot R_{\Pi} \quad (\text{A.43})$$

Из выражения (А.43) следует, что по мере приближения точки КЗ к противоположному концу ЛЭП подпитка с противоположной стороны будет увеличивать активную составляющую дистанционного замера.

При прямом доаварийном перетоке мощности по ЛЭП угол напряжения в месте установки защиты опережает угол напряжения на шинах ПС на противоположной стороне линии. В таком же соотношении находятся и углы эквивалентных ЭДС источников. Из этого следует, что векторы токов \underline{I}' и \underline{I}'' также не будут совпадать по фазе. Вектор тока \underline{I}' в месте установки защиты при КЗ будет опережать вектор \underline{I}'' вследствие эффекта наложения доаварийного нагрузочного режима.

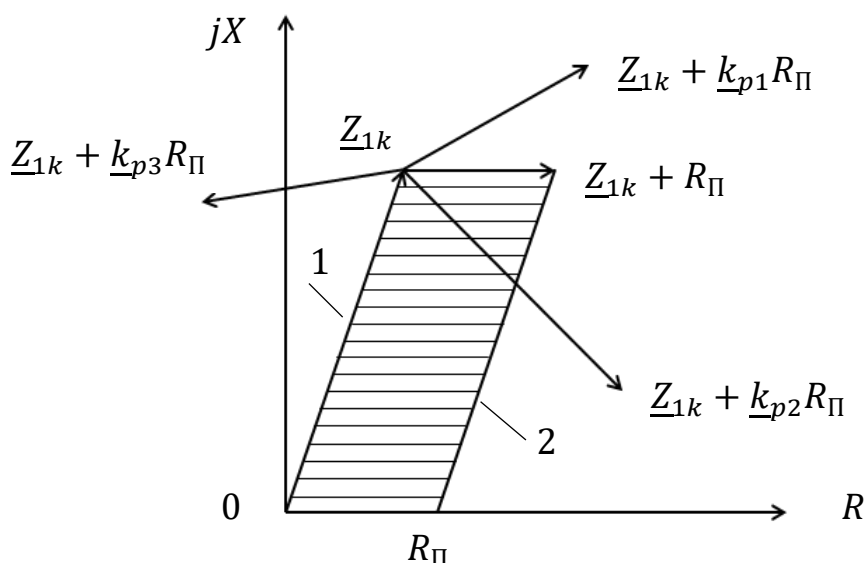


Рисунок А.11. Влияние доаварийного нагрузочного режима на дистанционные замеры при междуфазных КЗ через переходные сопротивления

В этом случае угол вектора $\Delta Z = (k_{p2} \cdot R_{\Pi})$ будет отрицательным и реактивная составляющая замера $Z_{1k} + k_{p2} \cdot R_{\Pi}$ будет иметь отрицательную погрешность по сравнению с замером при металлическом КЗ (рисунок А.11).

Нагрузочные режимы с прямым перетоком мощности по ЛЭП необходимо учитывать при расчете параметров настройки первой ступени ДЗ без выдержки времени. Для отстройки от замеров при внешних КЗ можно использовать изменение вида круговой характеристики (эллипс вместо окружности) или угол наклона (скоса) верхней грани полигональной характеристики срабатывания.

При обратном доаварийном перетоке мощности по ЛЭП угол напряжения в месте установки защиты более отрицательный по сравнению с углом напряжения на шинах ПС на противоположной стороне линии. В таком же соотношении находятся и углы между эквивалентными ЭДС источников. Соответственно, при КЗ вектор тока \underline{I}' будет отстающим в сравнении с вектором \underline{I}'' . В этом случае угол вектора $\Delta Z = (k_{p1} \cdot R_{\Pi})$ будет положительным и реактивная составляющая замера $Z_{1k} + k_{p1} \cdot R_{\Pi}$ будет иметь положительную погрешность по сравнению с замером при металлическом КЗ.

Нагрузочные режимы со встречным перетоком мощности необходимо учитывать при выборе ступени ДЗ с охватом всей линии (например, телеускоряемая ступень без выдержки времени).

При выборе типа характеристики срабатывания необходимо учитывать соотношение эквивалентного сопротивления прямой последовательности примыкающей энергосистемы и защищаемой ЛЭП. В случае протяженных ЛЭП активная составляющая дистанционного замера существенно меньше реактивной составляющей и влияние переходного сопротивления в меньшей степени сказывается на результирующем дистанционном замере. На коротких ЛЭП активная составляющая дистанционного замера может быть весьма

значительной. Для ДЗ коротких линий лучше подходят полигональные характеристики срабатывания по сравнению с круговыми.

А.9. Влияние доаварийного нагрузочного режима и переходного сопротивления на дистанционные замеры при однофазном КЗ на землю

Рассмотрим случай $K^{(1)}$ на ЛЭП с двухсторонним питанием через переходное сопротивление R_{Π} (рисунок А.12).

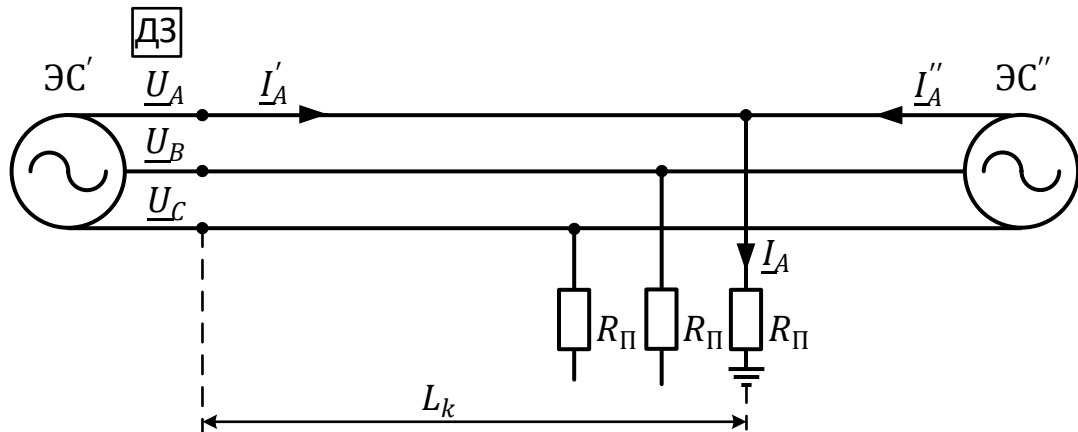


Рисунок А.12. Однофазное КЗ на землю через переходное сопротивление на ЛЭП с двухсторонним питанием

Напряжение поврежденной фазы \underline{U}_A в месте установки защиты согласно выражению (А.6) определяется:

$$\underline{U}_A = (\underline{I}'_A + \underline{K} \cdot 3\underline{I}'_0) \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_A \cdot R_{\Pi} \quad (\text{А.44})$$

где $\underline{I}'_A, 3\underline{I}'_0$ – ток поврежденной фазы и утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты;

\underline{I}_A – суммарный фазный ток в месте КЗ;

\underline{K} – комплексный коэффициент компенсации тока нулевой последовательности;

R_{Π} – переходное сопротивление в месте КЗ.

Дистанционный замер \underline{Z}_{A0} определяется по выражению:

$$\underline{Z}_{A0} = \underline{Z}_{1k} + \underline{k}_p \cdot R_{\Pi}, \quad (\text{А.45})$$

где:

$$\underline{k}_p = \frac{\underline{I}_A}{(\underline{I}'_A + \underline{K} \cdot 3\underline{I}'_0)}, \quad \underline{I}_A = \underline{I}'_A + \underline{I}''_A$$

В месте КЗ суммарный фазный ток $\underline{I}_A = 3\underline{I}_{0k}$, можно записать:

$$\underline{Z}_{A0} = \underline{Z}_{1k} + \frac{3\underline{I}_{0k}}{(\underline{I}'_A + \underline{K} \cdot 3\underline{I}'_0)} \cdot R_{\Pi}, \quad (\text{А.46})$$

где $3\underline{I}_{0k}$ – суммарный ток нулевой последовательности в месте КЗ.

В зависимости от соотношений токов в выражении (А.46), а также при наличии фазового сдвига между этими токами, вектор $\underline{\Delta Z} = \underline{k}_p \cdot R_{\Pi}$ может иметь положительный или отрицательный угол. Фазовый сдвиг между токами может определяться доаварийным перетоком мощности, а также соотношением эквивалентных сопротивлений схемы нулевой последовательности относительно точки КЗ.

При одностороннем питании, когда $I'_A = 3I'_0 = 3I_{0k}$

$$\underline{Z}_{A0} = \underline{Z}_{1k} + \frac{R_{\Pi}}{1 + \underline{K}} \quad (\text{А.47})$$

Активная и реактивная составляющие замера \underline{Z}_{A0} определяются:

$$R_{A0} = R_{1k} + Re \left(\frac{R_{\Pi}}{1 + |\underline{K}|} \right) \quad (\text{А.48})$$

$$X_{A0} = X_{1k} + Im \left(\frac{R_{\Pi}}{1 + |\underline{K}|} \right) \quad (\text{А.49})$$

При использовании в защите комплексного коэффициента компенсации наличие переходного сопротивления в месте КЗ на землю вносит погрешность ΔX в измерение реактивной составляющей дистанционного замера даже в случае ЛЭП с односторонним питанием.

При использовании вещественных коэффициентов компенсации реактивная составляющая дистанционного замера определяется без дополнительной погрешности:

$$R_{A0} = R_{1k} + \frac{R_{\Pi}}{1 + K_R}, X_{A0} = X_{1k} \quad (\text{А.50})$$

Нагрузочные режимы с прямым перетоком мощности необходимо учитывать при выборе первой ступени ДЗ от замыканий на землю без выдержки времени. Для отстройки от замеров при внешних КЗ на землю через переходное сопротивление можно использовать изменение вида круговой характеристики (эллипс вместо окружности) или угол наклона (скос) верхней грани полигональной характеристики срабатывания. Нагрузочные режимы со встречным перетоком мощности необходимо учитывать при выборе ступени с охватом всей линии.

А.10. Особенности дистанционных замеров при двухфазном КЗ на землю через переходные сопротивления

Двухфазные КЗ на землю на ЛЭП происходят в результате перекрытия одной из фаз на заземляющий спуск грозотроса с одновременным перекрытием той же фазы на соседнюю фазу или одновременного перекрытия двух фаз на траверсу. При двухфазных КЗ на землю в общем случае может быть три переходных сопротивления, которые включают сопротивления электрических дуг, заземляющих устройств и самих опор ЛЭП (рисунок А.13).

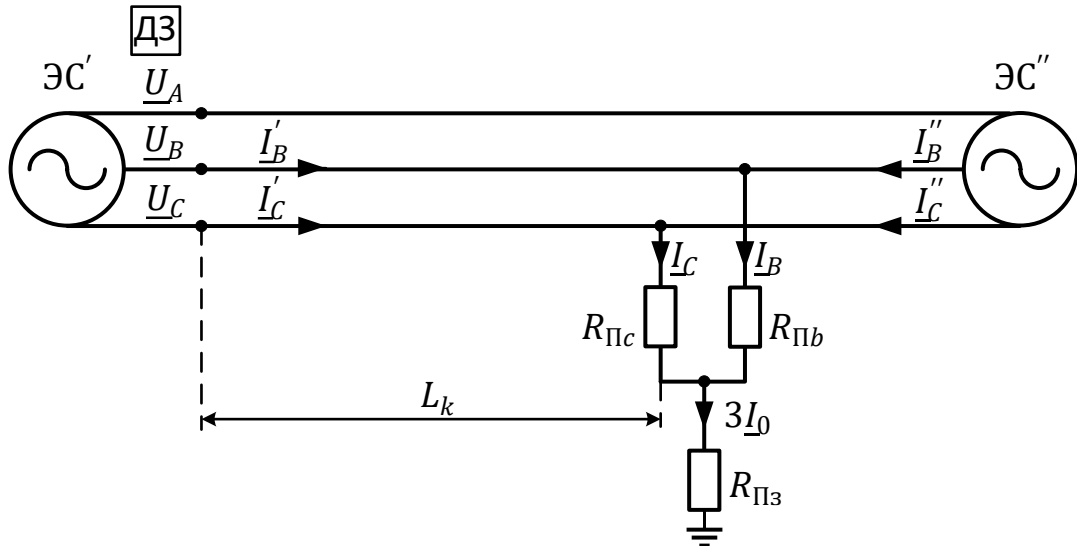


Рисунок А.13. Двухфазное КЗ на землю через переходное сопротивление на ЛЭП с двухсторонним питанием

Для напряжения поврежденной фазы \underline{U}_B в месте установки защиты можно записать:

$$\underline{U}_B = (\underline{I}'_B + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0) \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}'_B \cdot R_{Пб} + 3\underline{I}_0 \cdot R_{Пз} \quad (\text{A.51})$$

Добавим и вычтем слагаемое $(\underline{K} \cdot 3\underline{I}_0 \cdot R_{Пб})$ и преобразуем выражение:

$$\underline{U}_B = (\underline{I}'_B + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0) \cdot \underline{Z}_{1k} + (\underline{I}'_B + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0) \cdot R_{Пб} + 3\underline{I}_0 \cdot (R_{Пз} - \underline{K} \cdot R_{Пб})$$

Дистанционный замер \underline{Z}_{B0} определяется:

$$\underline{Z}_{B0} = \underline{Z}_{1k} + R_{Пб} + \frac{3\underline{I}_0 \cdot (R_{Пз} - \underline{K} \cdot R_{Пб})}{(\underline{I}'_B + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0)} \quad (\text{A.52})$$

Дистанционный замер \underline{Z}_{C0} определяется:

$$\underline{Z}_{C0} = \underline{Z}_{1k} + R_{Пс} + \frac{3\underline{I}_0 \cdot (R_{Пз} - \underline{K} \cdot R_{Пс})}{(\underline{I}'_C + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0)} \quad (\text{A.53})$$

Реактивные составляющие замеров X_{B0} и X_{C0} будут определяться углами между векторами токов $3\underline{I}_0$ и $(\underline{I}'_B + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0)$, $3\underline{I}_0$ и $(\underline{I}'_C + \underline{K} \cdot 3\underline{I}_0)$ и величинами переходных сопротивлений $R_{Пб}$ и $R_{Пс}$.

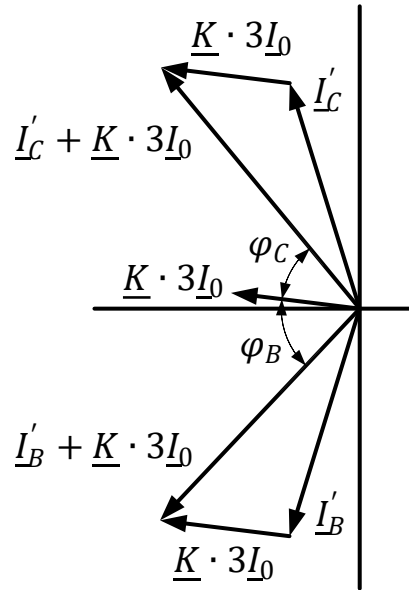


Рисунок А.14. Векторная диаграмма токов при двухфазном КЗ на землю

Согласно выражению (А.52) замеры \underline{Z}_{B0} по контуру BO «опережающей фазы» будут иметь отрицательную погрешность ΔX даже в случае ЛЭП с односторонним питанием, поскольку вектор тока $(I'_B + \underline{K} \cdot 3I_0)$ опережает вектор тока нулевой последовательности $3I_0$ (рисунок А.14), поэтому реактивная составляющая замера будет $X_{B0} < X_{1k}$. Соответственно, замеры \underline{Z}_{C0} по контуру CO «отстающей» фазы будут иметь положительную погрешность ΔX , поэтому реактивная составляющая замера будет увеличенной $X_{C0} > X_{1k}$.

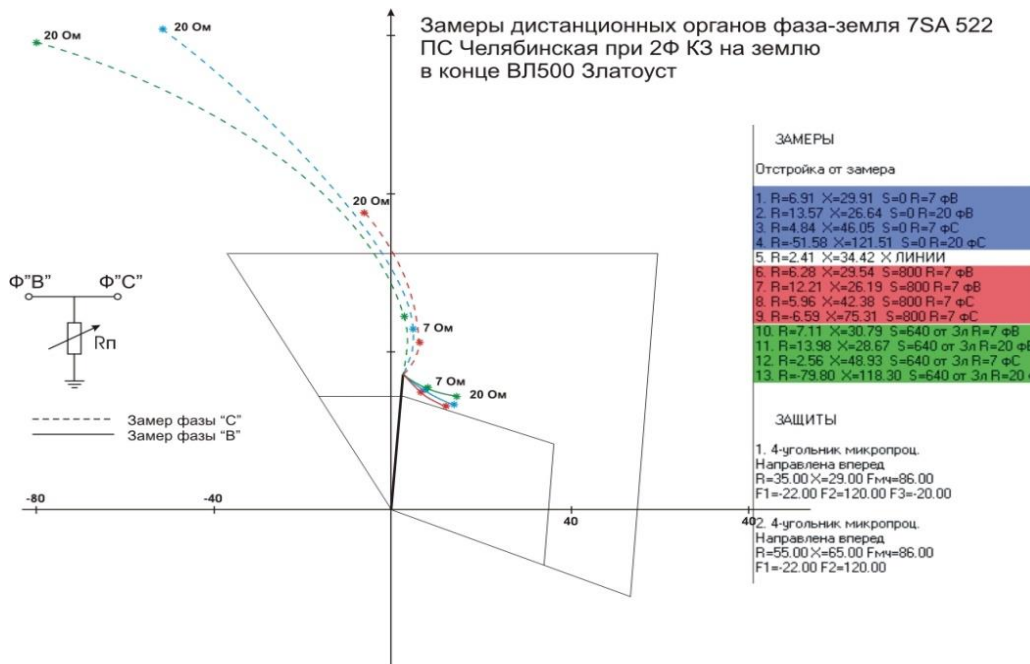


Рисунок А.15. Замеры \underline{Z}_{B0} , \underline{Z}_{C0} при двухфазном КЗ на землю $BC0$

На рисунке А.15 представлены годографы замеров \underline{Z}_{B0} , \underline{Z}_{C0} при $K^{(1,1)} BC0$ на шинах противоположной ПС для случая, когда переходные сопротивления

Методические указания по расчету и выбору параметров настройки дистанционных защит линий электропередачи 110 кВ и выше

$R_{Пв} = 0, R_{Пс} = 0$, а переходное сопротивление $R_{Пз}$ имеет значения $R_{Пз}=7$ Ом и $R_{Пз}=20$ Ом. Рассматривались режимы без доаварийного перетока мощности (синий годограф), режим прямого перетока мощности (красный годограф) и режим встречной нагрузки (зеленый годограф).

В ряде случаев замеры «опережающей фазы» могут попадать так глубоко в характеристику срабатывания, что метод отстройки с применением наклона (скоса) верхней грани характеристики окажется неэффективным. В этом случае от замеров при внешних КЗ необходимо отстраиваться уставкой по активному сопротивлению срабатывания.

А.11. Дополнительные измерительные органы, обеспечивающие селективность ДЗ при КЗ на землю

В ДЗ защитах различных производителей имеются дополнительные измерительные органы и алгоритмы для выявления вида повреждения, которые обеспечивают корректную работу ДЗ при КЗ на землю.

В ДЗ ЛЭП с применением шкафов серий ШЭ2607, ШЭ2710 производства НПП «ЭКРА» используется дополнительный измерительный орган – реле реактивного сопротивления (РРС), который формирует угол наклона $\varphi_{РРС}$ граничной линии РРС, что обеспечивает отстройку первой ступени ДЗ при КЗ на землю через переходные сопротивления вне защищаемой зоны (рисунок А.16).

ХАРАКТЕРИСТИКА СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ РЕАКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

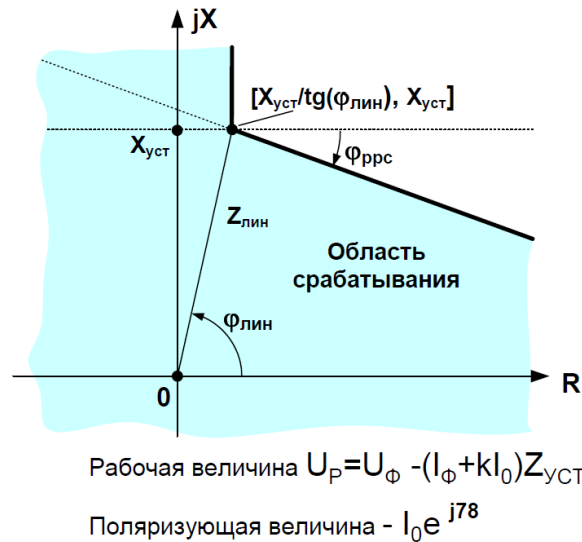


Рисунок А.16. Характеристика срабатывания реле реактивного сопротивления

Проверку селективности первой ступени ДЗ от КЗ на землю при однофазных и двухфазных КЗ на землю на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу линии, необходимо производить с учетом алгоритма РРС и органа, выявляющего вид повреждения (ОВП).

А.12. Примеры проверки селективности ДЗ ЛЭП при различных видах КЗ с учетом доаварийных нагрузочных режимов и переходного сопротивления в месте КЗ

А.12.1. Проверка отстройки первой ступени ДЗ от замеров при внешних междуфазных КЗ с учетом доаварийных нагрузочных режимов и переходного сопротивления в месте КЗ

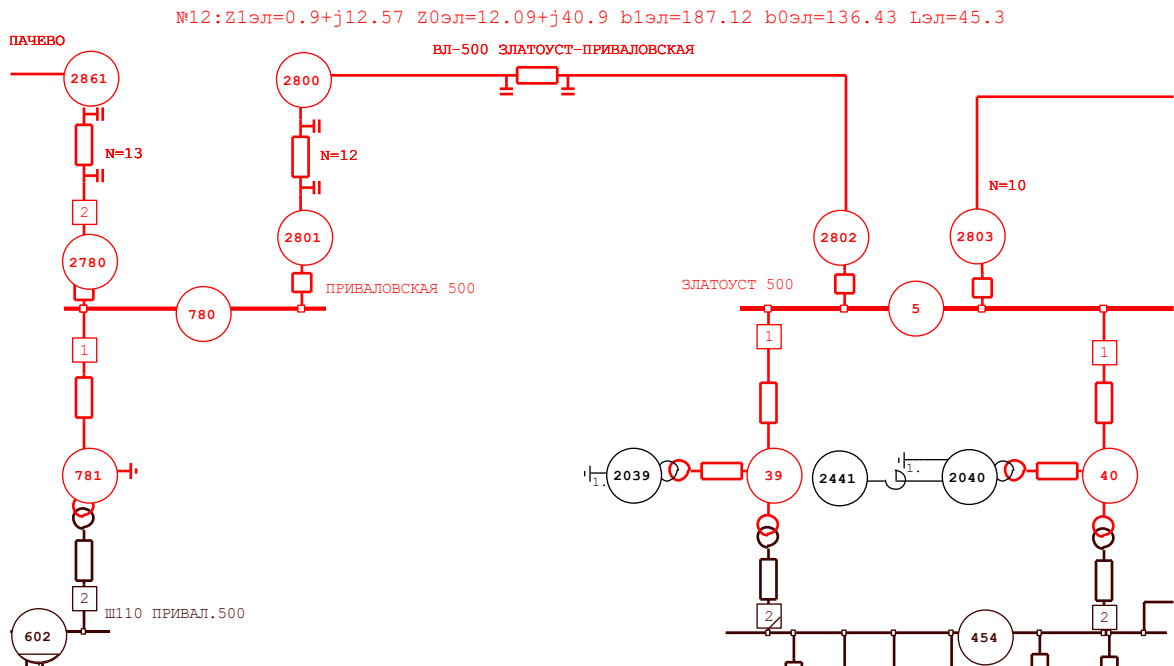


Рисунок А.17. Схема замещения участка электрической сети

Для защиты 122 ВЛ 500 кВ Златоуст – Приваловская, установленной со стороны ПС 500 кВ Приваловская (рисунок А.17), проверка отстройки первой ступени ДЗ от внешних междуфазных КЗ производится при $K^{(2)}$ на шинах 500 кВ ПС 500 кВ Златоуст графическим способом.

ЗАЩИТА	ЗАЩ=122	ВИД_ЗАЩ=ДЗ
ОТСТ	КН=0.8	ТИП=7SA522
	СТУП=1	
*	=====	
*	1.1) Отстройка от металлических КЗ	
*	=====	
НСМ	1	
ВИД-КЗ	ВС	
УЗЕЛ-КЗ	5	
*	=====	
*	1.2) Отстройка от КЗ с $R_d = 3 \text{ Ом}$ с учетом нагрузки	
*	=====	
НСМ	2	/*НОРМ СХЕМА, ПРЯМОЙ ПЕРЕТОК ПРИВАЛОВСКАЯ -> ЗЛАТОУСТ 759.6-
J206.2		
НАПР-Г	5	508.4/-120.32 780 504.33/-117.97
ЗАМ-ФАЗ	5/ВС	(3 0)
НСМ	3	/*НОРМ.СХЕМА, ОБРАТНЫЙ ПЕРЕТОК ЗЛАТОУСТ -> ПРИВАЛОВСКАЯ 993-J38.3
НАПР-Г	5	501.62/47.2 780 501.04/44.11
ЗАМ-ФАЗ	5/ВС	(3 0)
ПОДРЕЖИМ	1	

СНСМ 4 /*РЕМОНТ ВЛ500 ЗЛАТОУСТ-ЧЕЛЯВИНСКАЯ, ПРИВАЛОВСКАЯ -> ЗЛАТОУСТ
 174+J31.7
 НАПР-Г 5 505.15/4.71 780 506.87/5.23
 ЗАМ-ФАЗ 5/ВС(3 0)
 ПОДРЕЖИМ 2
 ЭЛЕМЕНТ 10
 СНСМ 5/*РЕМОНТ ВЛ500 КРОПАЧЕВО-ПРИВАЛОВСКАЯ, ЗЛАТОУСТ -> ПРИВАЛОВСКАЯ
 101.6-J56.2
 НАПР-Г 5 512.62/46.02 780 513.36/45.71
 ЗАМ-ФАЗ 5/ВС(3 0)
 ПОДРЕЖИМ 3
 ЭЛЕМЕНТ 13
 *
 * 1.3) Отстройка от КЗ с $R_d = 3 \text{ Ом}$ без нагрузки
 *
 СНСМ 6
 ЗАМ-ФАЗ 2802/ВС(3 0)
 ПОДРЕЖИМ 4 /*РЕМОНТ ВЛ500 КРОПАЧЕВО-ПРИВАЛОВСКАЯ
 ЭЛЕМЕНТ 13
 ПОДРЕЖИМ 5/*РЕМОНТ ВЛ500 КРОПАЧЕВО-ПРИВАЛОВСКАЯ И КАСКАД СО СТОРОНЫ ЗЛАТОУСТ
 ОТКЛ 0 2802- *5
 ЭЛЕМЕНТ 13

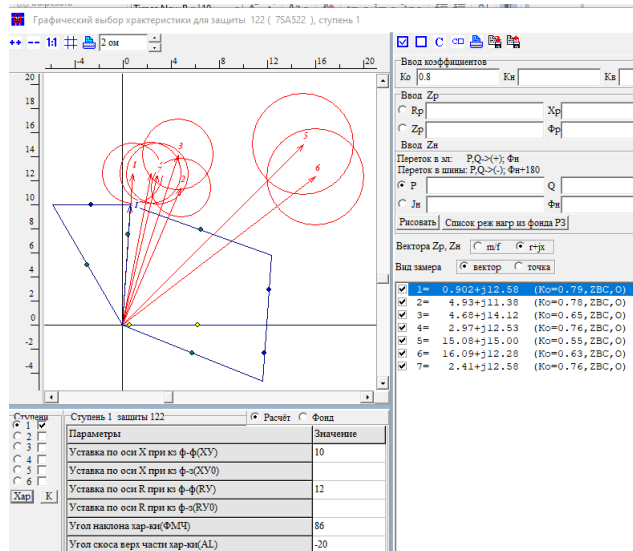


Рисунок А.18. Отстройка от замеров при внешних двухфазных КЗ

При расчете параметров настройки первой ступени ДЗ по условию отстройки от замеров при междуфазных КЗ через переходное сопротивление на шинах противоположной ПС (рисунок А.18) определяющими будут доаварийные нагрузочные режимы с прямым перетоком мощности (замер 2, $X_{BC} < X_{1Л}$). От данных замеров можно отстроиться углом наклона (скоса) верхней грани характеристики.

Режимы со встречным перетоком мощности (замеры 3 и 5, $X_{BC} > X_{1Л}$) будут определяющими при выборе параметров настройки ступени ДЗ с охватом всей линии.

При ремонте ВЛ 500 кВ Кропачево – Приваловская (минимальный режим примыкающей энергосистемы) на активную составляющую замера в наибольшей степени оказывает влияние подпитка с противоположной стороны ЛЭП: с учетом нагрузки (замер 5) и без учета нагрузки (замер 6).

В режиме одностороннего питания (замер 7) реактивная составляющая замера $X_{BC} = X_{1л}$, активная составляющая $R_{BC} = R_{1л} + R_{д}/2$.

А.12.2. Проверка отстройки первой ступени ДЗ от КЗ на землю от замеров при внешних К(1) с учетом доаварийных нагрузочных режимов и переходного сопротивления в месте КЗ

Для защиты 122 ВЛ 500 кВ Златоуст – Приваловская, установленной со стороны ПС 500 кВ Приваловская (рисунок А.17), проверка отстройки первой ступени ДЗ от КЗ на землю производится при $K^{(1)}$ на шинах 500 кВ ПС 500 кВ Златоуст при выбранных уставках коэффициентов компенсации.

1. Расчет вещественных коэффициентов компенсации:

```

ВЕТВЬ      780-2801
ЗНАЧЕНИЕ  ZL=12.616/85.9  RL=0.902  XL=12.584
*          КОЭФФИЦИЕНТЫ КОМПЕНСАЦИИ ТОКА ЗИО СВОЕЙ ЛЭП
ФОРМУЛА   #ZE=(UA*1000-IA*ZL)/3IO
ФОРМУЛА   #RE=MOD(ZE)*COS(ARCTG2(ZE))
ФОРМУЛА   #XE=MOD(ZE)*SIN(ARCTG2(ZE))
ФОРМУЛА   KR=RE/RL  KX=XE/XL
*ФОРМУЛА  K=ZE/ZL
*          ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОМПЕНСАЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ ЛЭП
ЗНАЧЕНИЕ  R0=12.09  X0=40.9
ФОРМУЛА   KRUD=(R0-RL)/(3*RL)
ФОРМУЛА   KXUD=(X0-XL)/(3*XL)
НСМ       1
ВИД-КЗ    А0
УЗЕЛ-КЗ   5
ПОДРЕЖИМ  1

```

```

                РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
                НСМ          1
                ВИД-КЗ      А0
УЗЕЛ-КЗ   5
                KR          4.033/0.000
                KX          0.739/0.000
                KRUD        4.135/0.000
                KXUD        0.750/0.000

```

Далее при расчетах используются уставки K_R и K_X с учетом формата задания уставок в устройствах 7SA522 и рекомендации по ограничению уставки уставки $K_R \leq 2$: $K_R = 2$, $K_X = 0,74$.

2. Проверка отстройки первой ступени ДЗ при $K^{(1)}$ на шинах 500 кВ ПС Златоуст (графический способ):

```

ЗАЩИТА     ЗАЩ=122  ВИД_ЗАЩ=ДЗ
ВКЛ_РС     ZФ
Д_КОМП     KR=2  KX=0.74
ОТСТ       KN=0.8  ТИП=7SA522  ФМЧ=86  КОМПЛЕКТ=1
           СТУП=1
           1СТУП=ЗЕМЛЯ
*          =====
*          1.1) Отстройка от металлических КЗ
*          =====
НСМ       1
ВИД-КЗ    А0
УЗЕЛ-КЗ   5
*          =====
*          1.2) Отстройка от КЗ с RП = 8 Ом с учетом нагрузки
*          =====

```

СНСМ 2 /*НОРМ. СХЕМА, ПРЯМОЙ ПЕРЕТОК ПРИВАЛОВСКАЯ -> ЗЛАТОУСТ 759.6-
 J206.2
 НАПР-Г 5 508.4/-120.32 780 504.33/-117.97
 ЗАМ-ФАЗ 5/A0(8 0)
 СНСМ 3 /*НОРМ.СХЕМА, ОБРАТНЫЙ ПЕРЕТОК ЗЛАТОУСТ -> ПРИВАЛОВСКАЯ 993-J38.3
 НАПР-Г 5 501.62/47.2 780 501.04/44.11
 ЗАМ-ФАЗ 5/A0(8 0)
 ПОДРЕЖИМ 1
 СНСМ 4 /*РЕМОНТ ВЛ500 ЗЛАТОУСТ-ЧЕЛЯВИНСКАЯ, ПРИВАЛОВСКАЯ -> ЗЛАТОУСТ
 174+J31.7
 НАПР-Г 5 505.15/4.71 780 506.87/5.23
 ЗАМ-ФАЗ 5/A0(8 0)
 ПОДРЕЖИМ 2
 ЭЛЕМЕНТ 10
 СНСМ 5 /*РЕМОНТ ВЛ500 КРОПАЧЕВО-ПРИВАЛОВСКАЯ,ЗЛАТОУСТ -> ПРИВАЛОВСКАЯ
 101.6-J56.2
 НАПР-Г 5 512.62/46.02 780 513.36/45.71
 ЗАМ-ФАЗ 5/A0(8 0)
 ПОДРЕЖИМ 3
 ЭЛЕМЕНТ 13
 СНСМ 6
 ЗАМ-ФАЗ 2802/A0(8 0)
 ПОДРЕЖИМ 4 /*РЕМОНТ ВЛ500 КРОПАЧЕВО-ПРИВАЛОВСКАЯ
 ЭЛЕМЕНТ 13
 ПОДРЕЖИМ 5 /*РЕМОНТ ВЛ500 КРОПАЧЕВО-ПРИВАЛОВСКАЯ И КАСКАД СО СТОРОНЫ
 ЗЛАТОУСТ
 ОТКЛ 0 2802- *5
 ЭЛЕМЕНТ 13

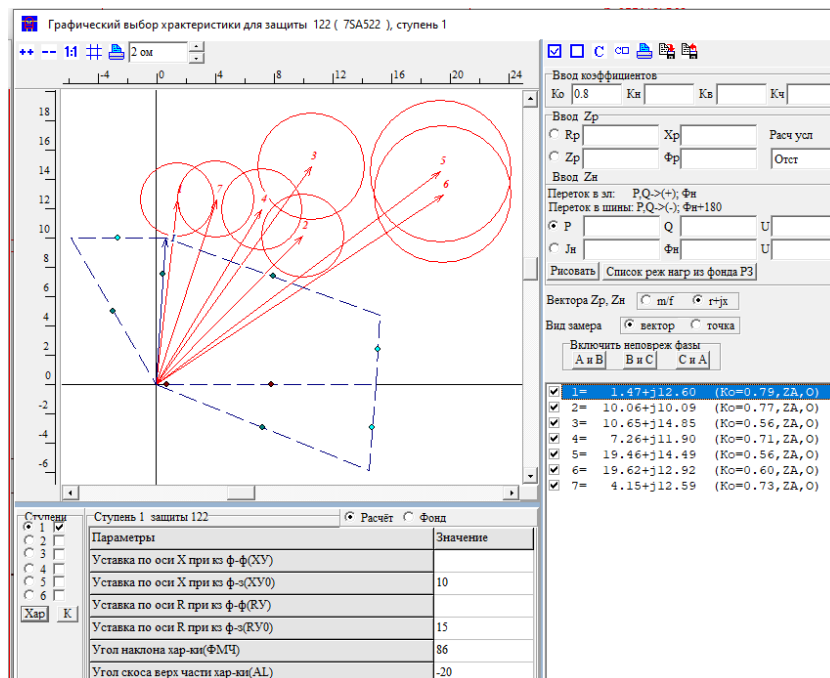


Рисунок А.19. Отстройка от замеров при внешних однофазных КЗ на землю с использованием вещественных коэффициентов компенсации K_R , K_X

При выборе уставок первой ступени ДЗ от КЗ на землю по условию отстройки от $K^{(1)}$ на шинах противоположной ПС (рисунок А.19) определяющими будут режимы с прямым перетоком мощности (замеры 2 и 4, $X_{A0} < X_{1л}$). От данных замеров следует отстраиваться наклоном верхней грани

характеристики, при этом обеспечивается требуемый охват линии при металлических КЗ.

Режимы со встречным перетоком мощности (замеры 3 и 5, $X_{A0} > X_{1Л}$) будут определяющими при выборе уставок реактивного сопротивления срабатывания ступени ДЗ с охватом всей линии.

При ремонте ВЛ 500 кВ Кропачево – Приваловская (минимальный режим примыкающей энергосистемы) на активную составляющую замера в наибольшей степени оказывает влияние подпитка с противоположной стороны ЛЭП: с учетом нагрузки (замер 5) и без учета нагрузки (замер 6).

В режиме одностороннего питания (замер 7) наличие переходного сопротивления не вносит погрешность в измерение реактивной составляющей дистанционного замера: $X_{A0} = X_{1Л}$.

3. Для сравнения произведем расчет замеров Z_{A0} с использованием комплексного коэффициента компенсации и проверку отстройки первой ступени ДЗ при $K^{(1)}$ на шинах 500 кВ ПС Златоуст с учетом доаварийных нагрузочных режимов, которые рассматривались в предыдущем примере.

Расчет комплексного коэффициента компенсации:

ВЕТВЬ	780-2801		
ЗНАЧЕНИЕ	Z1Л=12.616/85.9		
ЗНАЧЕНИЕ	Z0Л=42.649/73.532		
ФОРМУЛА	K1=(UA*1000-IA*Z1Л)/(3I0*Z1Л)		
ФОРМУЛА	KП=(Z0Л-Z1Л)/(3*Z1Л)		
НСМ	1		
ВИД-КЗ	A0		
УЗЕЛ-КЗ	5		
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА			
	ВИД-КЗ	A0	
УЗЕЛ-КЗ	5		
Uпа=539.2/-0	Z1=3.032+j31.735	Z2=3.032+j31.735	Z0=4.112+j37.555
780-2801			
	K1	0.792/-17.253	
	KП	0.804/-17.460	
ЗАЩИТА	ЗАЩ=122	ВИД_ЗАЩ=ДЗ	
ВКЛ_РС	ZФ		
K_КОМП	0.79/-17		
*ОТСТ	КН=0.8	ТИП=7SA522	ФМЧ=86 КОМПЛЕКТ=1
ОТСТ	КН=0.8	ТИП=D60	ФМЧ=86 КОМПЛЕКТ=1
	СТУП=1		
	1СТУП=ЗЕМЛЯ		

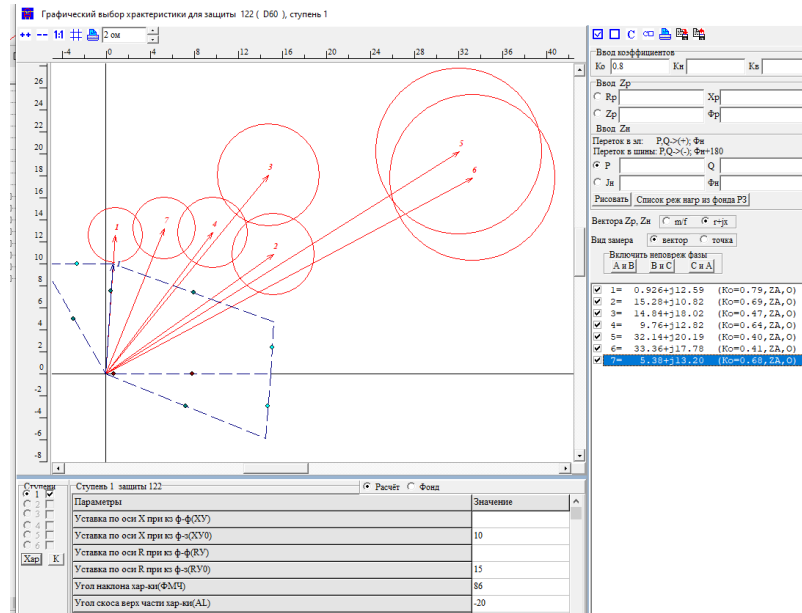


Рисунок А.20. Отстройка от замеров при внешних однофазных КЗ на землю с использованием комплексного коэффициента компенсации K

По результатам расчетов можно сделать вывод, что наличие переходного сопротивления вносит несколько большую погрешность в дистанционные измерения при использовании комплексного коэффициента компенсации по сравнению с зазорами при использовании вещественных коэффициентов компенсации.

В режиме одностороннего питания (замер 7) наличие переходного сопротивления вносит небольшую погрешность в измерение реактивной составляющей дистанционного замера: $X_{A0} > X_{1Л}$.

А.12.3. Проверка отстройки первой ступени ДЗ от КЗ на землю в шкафах серий ШЭ2607, ШЭ2710 при внешних К(1) и К(1,1) на шинах противоположной ПС.

Для защиты 122 ВЛ 500 кВ Златоуст – Приваловская, установленной со стороны ПС 500 кВ Приваловская (рисунок А.17) выполним проверку отстройки первой ступени ДЗ от КЗ на землю (графический способ) при $K^{(1)}$ и $K^{(1,1)}$ на шинах 500 кВ ПС 500 кВ Златоуст с учетом тех же доаварийных нагрузочных режимов, которые были рассмотрены в предыдущих примерах.

Наклон верхней грани характеристики для ДО от КЗ на землю в данной защите уставкой не задается, проверка производится с учетом работы РРС.

1. Проверка отстройки при $K^{(1)}$ через $R_{П} = 8 \text{ Ом}$

ЗАЩИТА	ЗАЩ=122	ВИД_ЗАЩ=ДЗ
ВКЛ_РС	ZФ	
Д_КОМП	KR=2 KX=0.74	
ОТСТ	KN=0.8 ТИП=ШЭ2710 ФМЧ=86 КОМПЛЕКТ=1	
	СТУП=1	
	1СТУП=ЗЕМЛЯ	

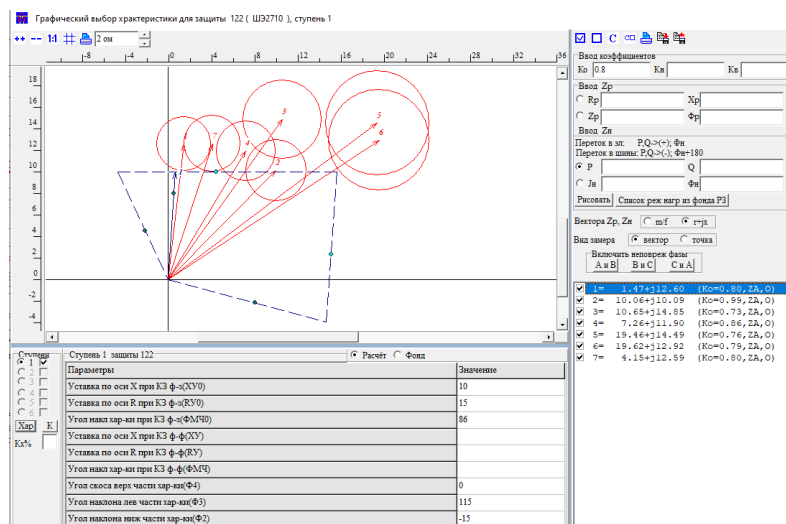


Рисунок А.21. Замеры при однофазном КЗ на землю на шинах противоположной ПС

Отстройка от замеров при $K^{(1)}$ (рисунок А.21) через переходное сопротивление с учетом доаварийных режимов с прямым перетоком мощности (замеры 2 и 4), когда $X_{A0} < X_{1л}$, обеспечивается РРС, в протоколе расчета условие отстройки (несрабатывание реле реактивного сопротивления) отображается как РРС = 0.

ЭЛ ВЛ-500 ЗЛАТОУСТ-ПРИВАЛОВСКАЯ

ПС ПРИВАЛОВСКАЯ

Защита 122

Тип ШЭ2710

Ступень 1

Ветвь 2801-2800

КТТ 2000/1

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезжим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	ХУ0	10.0	Котс= 0.80	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 5		ЗА=12.68 83 Kr=2.000 Kx=0.740 Допол эл вел ЗА=1.47+j12.6 РРСa=0
	РУ0	15.0				
	ФМЧ0	86				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	ХУ0	10.0	0.80 Котс= 0.99	НАПР-Г 5 508.4/-120.32 780 504.33/- 117.97 5/А0 (8 0)		ЗА=14.25 45 Kr=2.000 Kx=0.740 Допол эл ве- ЗА=10.06+j10.1 РРСa=0
	РУ0	15.0				
	ФМЧ0	86				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	ХУ0	10.0	0.80 Котс= 0.86	НАПР-Г 5 505.15/4.71 780 506.87/5.23 5/А0 (8 0)	ЭЛ 10	ЗА=13.94 59 Kr=2.000 Kx=0.740 Допол эл ве- ЗА=7.26+j11.0 РРСa=0
	РУ0	15.0				
	ФМЧ0	86				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				

2. Проверка отстройки при $K^{(1,1)}$ через $R_{\Pi} = 8 \text{ Ом}$

ЗАЩИТА ЗАЩ=122 ВИД_ЗАЩ=ДЗ
 ВКЛ_РС ZФ
 Д_КОМП KR=2 KX=0.74
 ОТСТ КН=0.8 ТИП=ШЭ2710 ФМЧ=86 КОМПЛЕКТ=1
 СТУП=1
 1СТУП=ЗЕМЛЯ

*

*	1.1) Отстройка от КЗ ВС0 БЕЗ НАГРУЗКИ $R_{ПЗ} = 8 \text{ Ом}$
*	=====
НСМ	1
ВИД-КЗ	ВС+С0 (8 0)
УЗЕЛ-КЗ	5
*	=====
*	1.2) Отстройка от КЗ ВС0 $R_{ПЗ} = 8 \text{ Ом}$ с учетом нагрузки
*	=====
НСМ	2 /*НОРМ СХЕМА, ПРЯМОЙ ПЕРЕТОК ПРИВАЛОВСКАЯ -> ЗЛАТОУСТ 759.6-
206.2J	
НАПР-Г	5 508.4/-120.32 780 504.33/-117.97
ЗАМ-ФАЗ	5/ВС 5/С0 (8 0)
НСМ	3 /*НОРМ.СХЕМА, ОБРАТНЫЙ ПЕРЕТОК ЗЛАТОУСТ -> ПРИВАЛОВСКАЯ 993-38.3J
НАПР-Г	5 501.62/47.2 780 501.04/44.11
ЗАМ-ФАЗ	5/ВС 5/С0 (8 0)
ПОДРЕЖИМ	1
*	=====
*	1.3) Отстройка от КЗ ВС0 $R_{ПЗ} = 8 \text{ Ом}$ КАСКАД
*	=====
НСМ	4 /*КАСКАДНОЕ ОТКЛ ЛИНИИ СО СТОРОНЫ ЗЛАТОУСТ
ЗАМ-ФАЗ	2802/ВС 2802/С0 (8 0)
ПОДРЕЖИМ	2
ОТКЛ	0 2802- *5

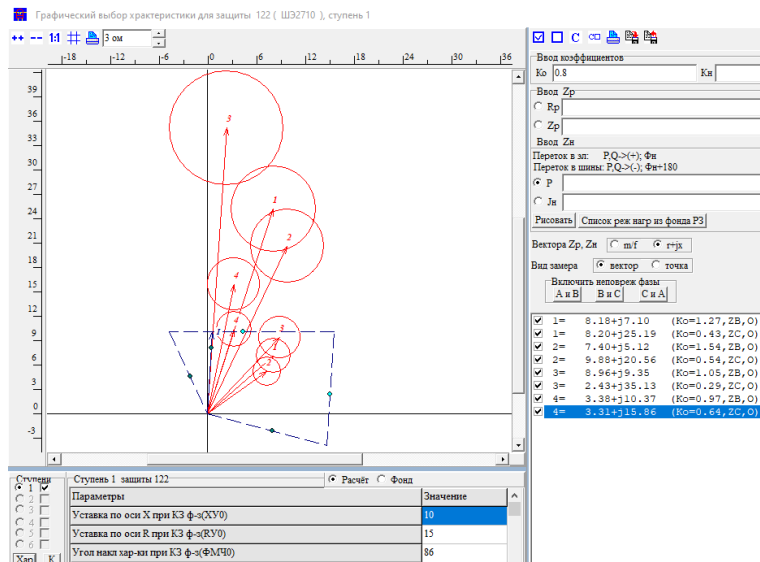


Рисунок А.22. Замеры при двухфазных КЗ на землю на шинах противоположной ПС

В соответствии с выражением (А.52) замеры «опережающей» фазы $Z_{В0}$ находятся в характеристике срабатывания первой ступени ДЗ, наилучший по условию отстройки замер 2 соответствует доаварийной нагрузке с прямым перетоком мощности. Отстройка от данных замеров обеспечивается РРС:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ0 RУ0 ФМЧ0 Ф2 Ф3	10.0 15.0 86 -15 115	0.80 Котс = 1.27	ВИД-КЗ ВС+С0 (8 0) УЗЕЛ-КЗ 5		ZВ=10.83 41 Kr=2.000 Kx=0.740 Допол эл вел-- ZВ=8.18+j7.10 ZС=8.20+j25.19 PFCb=0 PFCc=0
	XУ0 RУ0 ФМЧ0 Ф2 Ф3	10.0 15.0 86 -15 115	0.80 Котс = 1.54	НАПР-Г 5 508.4/-120.32 780 504.33/-117.97 5/ВС 5/С0 (8 0)		ZВ=9.00 35 Kr=2.000 Kx=0.740 Допол эл вел-- ZВ=7.40+j5.12 ZС=9.88+j20.56 PFCb=0 PFCc=0
		10.0 15.0 86 -15 115	0.80 Котс = 1.05	НАПР-Г 5 501.62/47.2 780 501.04/44.11 5/ВС 5/С0 (8 0)		ZВ=12.95 46 Kr=2.000 Kx=0.740 Допол эл вел-- ZВ=8.96+j9.35 ZС=2.43+j35.13 PFCb=0 PFCc=0
		10.0 15.0 86 -15 115	0.80 Котс = 0.97	2802/ВС 2802/С0 (8 0)	ОТКЛ 0 2802- *5	ZВ=10.91 72 Kr=2.000 Kx=0.740 Допол эл вел-- ZВ=3.38+j10.37 ZС=3.31+j15.86 PFCb=0 PFCc=0

Приложение Б

Определение угла наклона (скоса) и активного сопротивления срабатывания полигональной характеристики

Б.1. Определение угла наклона (скоса) верхней грани полигональной характеристики

Угол наклона (скоса) $\varphi_{ск}$ верхней грани полигональной характеристики используется, как правило, для первой ступени ДЗ по условию отстройки от внешних КЗ.

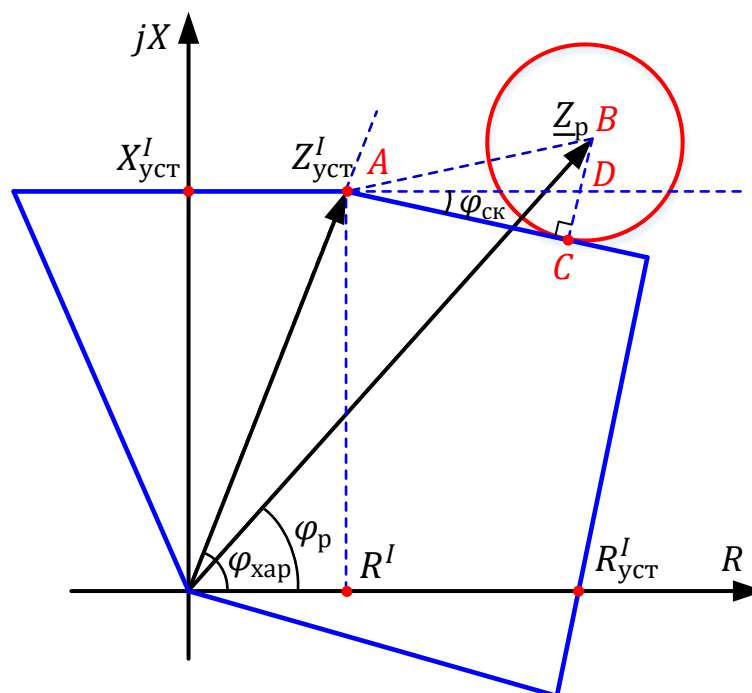


Рисунок Б.1. Графические построения для определения угла скоса

На рисунке Б.1 выполнены построения для определения угла скоса $\varphi_{ск}$ для отстройки от вектора \underline{Z}_p с необходимым запасом с учетом зоны неопределенности вокруг конца вектора в виде окружности, радиус которой определяется по выражению:

$$r_{окр} = |\underline{Z}_p| \cdot (1 - k_{отс}), \quad (\text{Б.1})$$

где $k_{отс}$ – требуемый коэффициент отстройки.

Угол скоса определяется из разности углов:

$$\varphi_{ск} = \angle BAC - \angle BAD \quad (\text{Б.2})$$

Угол $\angle BAD$ определяется как аргумент разности векторов \underline{Z}_p и $\underline{Z}_{уст}^I$:

$$\angle BAD = \text{Arg}(\underline{Z}_p - \underline{Z}_{уст}^I) = \arctg \frac{X_p - X_{уст}^I}{R_p - R^I}, \quad (\text{Б.3})$$

где R_p, X_p – активное и реактивное сопротивление вектора \underline{Z}_p ;

$X_{уст}^I$ – реактивное сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ;

R^I – активное сопротивление прямой последовательности участка защищаемой ЛЭП, соответствующее концу зоны срабатывания $X_{уст}^I$ первой ступени ДЗ.

Угол $\angle BAC$ определяется из прямоугольного треугольника ABC:

$$\angle BAC = \arcsin \frac{(1 - k_{отс}) \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}}{\sqrt{(R_p - R^I)^2 + (X_p - X_{уст}^I)^2}} \quad (\text{Б.4})$$

Угол скоса определяется по выражению:

$$\varphi_{ск} = \arcsin \frac{(1 - k_{отс}) \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}}{\sqrt{(R_p - R^I)^2 + (X_p - X_{уст}^I)^2}} - \arctg \frac{X_p - X_{уст}^I}{R_p - R^I} \quad (\text{Б.5})$$

Если уставка $\varphi_{ск}$ задается в устройстве РЗ с учетом положительного направления отсчета угла (против часовой стрелки), полученное по выражению (Б.5) значение угла следует задавать со знаком минус.

Б.2. Определение активного сопротивления срабатывания $R_{уст}$

На рисунке Б.2 выполнены построения для определения $R_{уст}$ при заданном угле наклона $\varphi_{прав}$ полигональной характеристики по условию отстройки от замера Z_p при внешних КЗ через переходные сопротивления с учетом зоны неопределенности вокруг конца вектора в виде окружности, радиус которой определяется по выражению (Б.1).

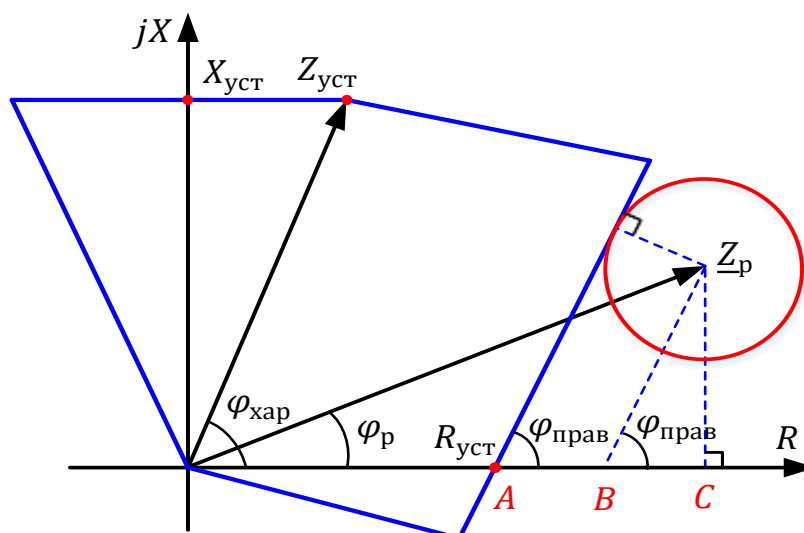


Рисунок Б.2. Графические построения для определения положения правой боковой стороны характеристики срабатывания

Для отстройки характеристики срабатывания с необходимым запасом от замера \underline{Z}_p требуется выполнение неравенства:

$$R_{уст}^I + AB + BC \leq |\underline{Z}_p| \cdot \cos \varphi_p \quad (\text{Б.6})$$

Отрезок AB определяется по выражению:

$$AB = \frac{|\underline{Z}_p| \cdot (1 - k_{отс})}{\sin \varphi_{прав}} \quad (\text{Б.7})$$

Отрезок BC определяется по выражению:

$$BC = |\underline{Z}_p| \cdot \sin \varphi_p \cdot \operatorname{ctg} \varphi_{прав} \quad (\text{Б.8})$$

После подстановки в выражение (Б.6) выражений для отрезков AB и BC параметр $R_{уст}$ определяется:

$$R_{уст} \leq |\underline{Z}_p| \cdot \cos \varphi_p - \frac{|\underline{Z}_p| \cdot (1 - k_{отс})}{\sin \varphi_{прав}} - |\underline{Z}_p| \cdot \sin \varphi_p \cdot \operatorname{ctg} \varphi_{прав} \quad (\text{Б.9})$$

$$R_{уст} \leq \frac{|\underline{Z}_p|}{\sin \varphi_{прав}} \cdot (\sin(\varphi_{прав} - \varphi_p) - (1 - k_{отс})) \quad (\text{Б.10})$$

Учет положений РПН Т (АТ) при расчетах ДЗ ЛЭП

При расчетах и выборе параметров настройки ДЗ ЛЭП необходимо учитывать наличие РПН Т (АТ) ПС, примыкающей к противоположному концу ЛЭП, и ПС на ответвлениях ЛЭП.

Изменение реактивного сопротивления Т (АТ) напряжением 110 кВ и выше при регулировании напряжения необходимо учитывать в расчетах.

В.1. Расчет реактивных сопротивлений Т (АТ) при наличии РПН

В соответствии с ГОСТ 52719-2007 [5] в заводских паспортных данных Т (АТ) с РПН должны быть указаны номинальные напряжения основных обмоток на всех ответвлениях регулируемой обмотки, общий диапазон регулирования $\Delta U, \%$ и число ступеней регулирования напряжения. Значения напряжения КЗ U_k между обмотками, выраженные в %, указываются для среднего и двух крайних положений РПН. Эти значения отнесены к номинальной мощности Т (АТ) и номинальным напряжениям среднего и двух крайних ответвлений регулируемой обмотки соответственно.

При отсутствии заводских данных значений U_k для крайних положений РПН можно воспользоваться справочными расчетными данными, приведенными в ГОСТ 12965-85 [3] для Т (АТ) напряжением 110 и 150 кВ и ГОСТ 17544-85 [4] для Т (АТ) напряжением 220, 330, 500 и 750 кВ.

Значение напряжения КЗ $U_{k_{Ni}}$ для промежуточных положений РПН можно определить исходя из линейной интерполяции между значениями напряжения КЗ для среднего положения РПН $U_{k_{ном}}$ и двух крайних положений $U_{k_{кр+}}$ или $U_{k_{кр-}}$.

В типовой работе института «Энергосетьпроект» № 5481тм-Т1 для определения $U_{k_{Ni}}$ приведены следующие выражения:

$$U_{k_{Ni+}} = U_{k_{ном}} + \frac{N_{i+}}{N_{кр}} (U_{k_{кр+}} - U_{k_{ном}}) \quad (B.1)$$

$$U_{k_{Ni-}} = U_{k_{ном}} + \frac{N_{i-}}{N_{кр}} (U_{k_{кр-}} - U_{k_{ном}}), \quad (B.2)$$

где $N_{кр}$ – число ступеней регулирования напряжения от среднего до крайнего положения РПН;

N_{i+} – степень регулирования в сторону повышения напряжения, для которой определяется значение $U_{k_{Ni+}}$;

N_{i-} – степень регулирования в сторону понижения напряжения, для которой определяется значение $U_{k_{Ni-}}$.

Для определения $U_{k_{Ni}}$ можно воспользоваться выражениями, приведенными в конспекте лекций «Расчетные схемы замещения трансформаторов и автотрансформаторов с регулированием напряжения под

нагрузкой и особенности расчета токов КЗ с их учетом» Белякова Ю.С. (Петербургский энергетический институт повышения квалификации ПЭИПК, кафедра «Релейная защита и автоматика энергосистем»):

$$U_{K_{Ni+}} = U_{K_{НОМ}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_i \%}{100}\right)^{n_+} = U_{K_{НОМ}} \cdot (k_{i+})^{n_+} \quad (B.3)$$

$$U_{K_{Ni-}} = U_{K_{НОМ}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_i \%}{100}\right)^{n_-} = U_{K_{НОМ}} \cdot (k_{i-})^{n_-}, \quad (B.4)$$

где k_{i+} и k_{i-} – относительное изменение напряжения на i ответвлении.

Значения n_+ и n_- можно найти по выражениям, в которых значения k_{i+} и k_{i-} соответствуют относительному изменению напряжения на крайних ответвлениях регулируемой обмотки:

$$n_+ = \frac{\lg \frac{U_{K_{кр+}}}{U_{K_{НОМ}}}}{\lg k_{i+}} \quad (B.5)$$

$$n_- = \frac{\lg \frac{U_{K_{кр-}}}{U_{K_{НОМ}}}}{\lg k_{i-}} \quad (B.6)$$

Трехобмоточные Т и АТ при наличии РПН на стороне ВН имеют зависимости напряжений КЗ $U_{K_{ВН Ni}}$ и $U_{K_{ВС Ni}}$ от положения РПН.

АТ при наличии РПН на стороне СН имеют зависимости напряжений КЗ $U_{K_{ВС Ni}}$ и $U_{K_{СН Ni}}$ от положения РПН.

Расчет реактивных сопротивлений Т (АТ) в именованных единицах (Ом) для соответствующих положений РПН производится по выражениям:

- при приведении к стороне без регулирования напряжения

$$X_{Ti(нр)} = \frac{U_{K_{Ni}} \%}{100} \cdot \frac{U_{НОМ(нр)}^2}{S_{НОМ}} \quad (B.7)$$

- при приведении к стороне, где производится регулирование напряжения

$$X_{Ti(p)} = \frac{U_{K_{Ni}} \%}{100} \cdot \frac{U_{НОМ(p)Ni}^2}{S_{НОМ}} \quad (B.8)$$

где $U_{K_{Ni}} \%$ – напряжение КЗ для соответствующего положения РПН;
 $U_{НОМ(нр)}$ – номинальное напряжение стороны без регулирования напряжения;

$U_{НОМ(p)Ni}$ – номинальное напряжение соответствующего ответвления стороны, где производится регулирование напряжения.

Для крайних положений РПН величина $U_{НОМ(p)Ni}$ принимает значения:

$$U_{\text{ном(р)кр+}} = U_{\text{ном(р)ср}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_* \%}{100}\right) \quad (\text{В.9})$$

$$U_{\text{ном(р)кр-}} = U_{\text{ном(р)ср}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_* \%}{100}\right), \quad (\text{В.10})$$

где $U_{\text{ном(р)ср}}$ – номинальное напряжение ответвления регулируемой обмотки для среднего положения РПН;

$\Delta U_* \%$ – половина суммарного диапазона регулирования напряжения.

В.2. Пример расчета реактивных сопротивлений АТ 220 кВ при наличии РПН на стороне СН.

Для АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская (рисунок В.1) выполним расчет реактивных сопротивлений по паспортным данным, приведенным в таблице В.1.

АТЗ(4) имеет РПН на стороне СН. Диапазон регулирования напряжения составляет $\Delta U, \% = \pm 12 \%$. Количество ступеней регулирования $N_{\text{кр}} = \pm 6$.

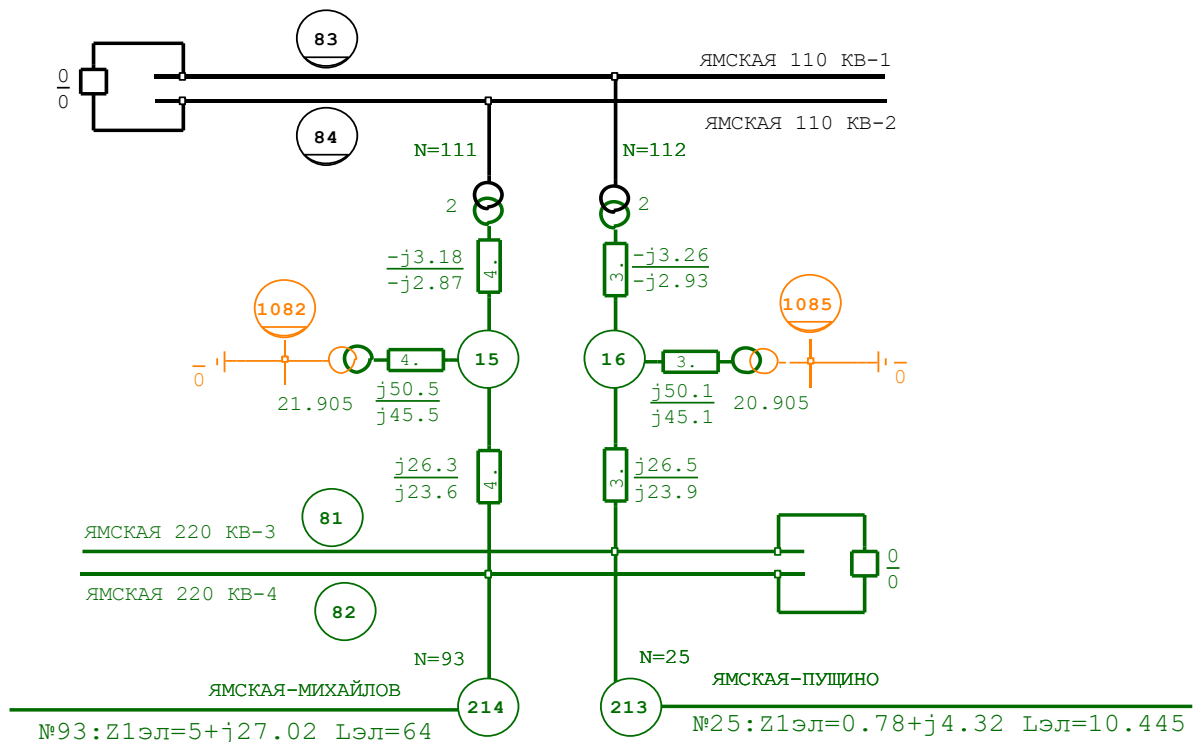


Рисунок В.1. Схема замещения АТ 3(4) ПС 220 кВ Ямская и ЛЭП 220 кВ

Таблица В.1

Паспортные данные АТ 3/АТ 4 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

В.2.1. Расчет значений $U_{K_{Ni}}$ АТЗ ПС 220 кВ Ямская для промежуточных положений РПН

В.2.1.1. Определим значения $U_{K_{BC}}$ и $U_{K_{CH}}$ при регулировании напряжения для ответвления с номинальным напряжением $U_{ном\ CH} = 123,42$ кВ (+1 степень регулирования):

1-й вариант расчета (В.1):

$$U_{K_{BC}\ 123,42} = U_{K_{BC\ ном}} + \frac{1}{6} (U_{K_{BC}\ 135,52} - U_{K_{BC\ ном}}) = 11 + \frac{6,74 - 11}{6} = 10,29 \%$$

$$\begin{aligned} U_{K_{CH}\ 123,42} &= U_{K_{CH\ ном}} + \frac{1}{6} (U_{K_{CH}\ 135,52} - U_{K_{CH\ ном}}) = \\ &= 22,13 + \frac{24,34 - 22,13}{6} = 22,5 \% \end{aligned}$$

2-й вариант расчета (В3):

$$n_+ = \frac{\lg \frac{U_{K_{BC}\ 135,52}}{U_{K_{BC\ ном}}}}{\lg k_{i+}} = \frac{\lg \frac{6,74}{11}}{\lg 1,12} = -4,322$$

$$m_+ = \frac{\lg \frac{U_{K_{CH}\ 135,52}}{U_{K_{CH\ ном}}}}{\lg k_{i+}} = \frac{\lg \frac{24,34}{22,13}}{\lg 1,12} = 0,8399$$

$$U_{K_{BC}\ 123,42} = U_{K_{BC\ ном}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_i \%}{100}\right)^{n_+} = 11 \cdot (1 + 0,02)^{-4,322} = 10,1 \%$$

$$U_{K_{CH}\ 123,42} = U_{K_{CH\ ном}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_i \%}{100}\right)^{m_+} = 22,13 \cdot (1 + 0,02)^{0,8399} = 22,5 \%$$

В.2.1.2. Определим значения $U_{K_{BC}}$ и $U_{K_{CH}}$ при регулировании напряжения для ответвления с номинальным напряжением $U_{ном\ CH} = 118,58$ кВ (-1 степень регулирования):

1-й вариант расчета (В.2):

$$U_{K_{BC}\ 118,58} = U_{K_{BC\ ном}} + \frac{1}{6} (U_{K_{BC}\ 106,48} - U_{K_{BC\ ном}}) = 11 + \frac{20,61 - 11}{6} = 12,6 \%$$

$$\begin{aligned} U_{K_{CH}\ 118,58} &= U_{K_{CH\ ном}} + \frac{1}{6} (U_{K_{CH}\ 106,48} - U_{K_{CH\ ном}}) = \\ &= 22,13 + \frac{23,58 - 22,13}{6} = 22,37 \% \end{aligned}$$

2-й вариант расчета (В.4):

$$n_- = \frac{\lg \frac{U_{K_{BC}\ 106,48}}{U_{K_{BC\ ном}}}}{\lg k_{i+}} = \frac{\lg \frac{20,61}{11}}{\lg 0,88} = -4,912$$

$$m_- = \frac{\lg \frac{U_{\text{КСН}} 106,48}{U_{\text{КСН ном}}}}{\lg k_{i+}} = \frac{\lg \frac{23,58}{22,13}}{\lg 1,12} = -0,4965$$

$$U_{\text{КСВ}} 118,58 = U_{\text{КСВ ном}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_i \%}{100}\right)^{n_-} = 11 \cdot (1 - 0,02)^{-4,912} = 12,15\%$$

$$U_{\text{КСН}} 118,58 = U_{\text{КСН ном}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_i \%}{100}\right)^{m_-} = 22,13 \cdot (1 - 0,02)^{-0,4965} = 22,35\%$$

Аналогично рассчитываются $U_{\text{КСВ}}$ и $U_{\text{КСН}}$ АТЗ для всех остальных положений РПН.

В.2.1.3. Сравнительные результаты двух вариантов расчета $U_{\text{КСВ}}$ для всех положений РПН

В таблице В.2 представлены результаты двух вариантов расчета $U_{\text{КСВ}}$ для всех промежуточных положений РПН.

Таблица В.2

Значения $U_{\text{КСВ}}$ АТЗ в зависимости от положения РПН

1 вариант расчета			2 вариант расчета		
Положение РПН	Uк вс,%	Изменение ΔUк вс,%	Положение РПН	Uк вс,%	Изменение ΔUк вс,%
1	6,74		1	6,74	
2	7,45	0,71	2	7,28	0,54
3	8,16	0,71	3	7,88	0,6
4	8,87	0,71	4	8,55	0,67
5	9,58	0,71	5	9,28	0,73
6	10,29	0,71	6	10,1	0,82
7	11	0,71	7	11	0,9
8	12,6	1,6	8	12,15	1,15
9	14,2	1,6	9	13,44	1,29
10	15,805	1,6	10	14,91	1,47
11	17,407	1,6	11	16,56	1,65
12	19	1,6	12	18,46	1,9
13	20,61	1,6	13	20,61	2,15

Необходимо отметить, что изменение значений $U_{\text{КСВ}}$ в функции положения РПН во втором варианте расчета имеет плавное приращение $\Delta U_{\text{КСВ}}$ во всем диапазоне регулирования напряжения от крайнего положительного положения РПН до крайнего отрицательного положения РПН при одинаковом изменении напряжения на каждой ступени регулирования. В первом варианте расчета имеется резкое изменение $\Delta U_{\text{КСВ}}$ при переходе от диапазона положительных значений положений РПН к отрицательным.

В.2.2. Расчет реактивных сопротивлений АТЗ ПС 220 кВ Ямская с учетом регулирования напряжения на стороне СН

$$U_{\text{ном СН}} = 123,42 \text{ кВ (+1 ступень)}$$

$$U_{\text{кВН } 123,42} = 36,21\% U_{\text{кВС } 123,42} = 10,29\% U_{\text{кСН } 123,42} = 22,5\%$$

$$X_{\text{В}*} = \frac{0,5 \cdot (36,21 + 10,29 - 22,5)}{100} = 0,12$$

$$X_{\text{С}*} = \frac{0,5 \cdot (10,29 + 22,5 - 36,21)}{100} = -0,0171$$

$$X_{\text{Н}*} = \frac{0,5 \cdot (36,21 + 22,5 - 10,29)}{100} = 0,2421$$

Реактивные сопротивления АТЗ при регулировании напряжения, приведенные к стороне 230 кВ (+1 ступень):

$$X_{\text{В}} = 0,12 \cdot \frac{230^2}{250} = 25,39 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{С}} = -0,0171 \cdot \frac{230^2}{250} = -3,62 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{Н}} = 0,2421 \cdot \frac{230^2}{250} = 51,23 \text{ Ом}$$

Аналогично рассчитываются реактивные сопротивления АТЗ для остальных положений РПН, результаты расчета занесены в таблицу В.3.

Таблица В.3

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

В.2.3. Примеры расчета и выбора сопротивления срабатывания ступеней ДЗ ЛЭП 220 кВ по условию отстройки от КЗ на шинах СН ПС 220 кВ Ямская АТЗ(4)

В.2.3.1. Отстройка ступеней ДЗ ВЛ 220 кВ Ямская-Пушино со стороны ПС 220 кВ Пушино от междуфазных КЗ на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская

Технические данные АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская и расчет сопротивлений АТЗ при различных положениях РПН приведены в пункте В.2 настоящего приложения. Расчет реактивных сопротивлений АТ4 выполнен аналогично.

На схеме замещения (рисунок В.1) реактивные сопротивления АТЗ(4) ПС 220 кВ Ямская соответствуют средним положениям РПН, значения сопротивлений в зависимости от положения РПН меняются в подрежимах.

Параметры ВЛ 220 кВ, отходящих от ПС 220 кВ Ямская, также приведены на схеме замещения.

ЭЛ ЯМСКАЯ-ПУШИНО

Защита 251

Ветвь 102-210

Узел

Тип ШЭ2607

КТТ 1000/5

КТН 2200

ПС ПУШИНО 220-2

Ступень 2

Расчетное условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезжим	Эл величины
<i>Среднее (номинальное) положение РПН</i>						
ОТСТРОЙКА КЗ Ямская 110 кВ	XU	30.2	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	Норм схема	ZCA=35.62 93
	RY	15.6				
	ФМЧ	80				
	XU	13.5	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93/82/78 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	ZCA=15.93 87 Откл. ВЛ 220 кВ Мих
	RY	6.98				
	ФМЧ	80				
	XU	24.9	0.70	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	Норм схема	ZCA=35.62 93
	RY	12.8				
	ФМЧ	80				
	XU	11.1	0.70	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93/82/78 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	ZCA=15.93 87
	RY	5.75				
	ФМЧ	80				
	XU	9.72	0.61	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93/82/78 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	ZCA=15.93 87
	RY	4.86				
	ФМЧ	80				
	XU	12.3	0.77	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 93/82/78 Откл. ВЛ 220 кВ Михайлов	ZCA=15.93 87
	RY	6.12				
	ФМЧ	80				
<i>Регулирование на +2 ступени (121+2*2%=125,84 кВ)</i>						
ОТСТРОЙКА	XU	26.1	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	ИЗМ 3 16-81 X1=24,25 ИЗМ 3 16-83 X1=-3,98 ИЗМ 4 15-82 X1=24,03 ИЗМ 4 15-84 X1=-3,88	ZCA=30.69 93
	RY	13.5				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				
	Ф3	130				
ОТСТРОЙКА	XU	12.3	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	ИЗМ 3 16-81 X1=24,25 ИЗМ 3 16-83 X1=-3,98	ZCA=14.44 87
	RY	6.33				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				

Расчетное условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
	ФЗ	130			ИЗМ 4 15-82 X1=24,03 ИЗМ 4 15-84 X1=-3,88 ЭЛ 93/82/78	Откл. ВЛ 220 кВ
<i>Регулирование на полный диапазон (121+6*2%=135,52 кВ)</i>						
ОТСТРОЙКА	XУ	18.5	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27	ZCA=21.77 91
	РУ	9.55				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				
	ФЗ	130				
	XУ	9.73	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 84	ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43 ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 ЭЛ 93/82/78	ZCA=11.48 86 Откл. ВЛ 220 кВ
	РУ	5.02				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				
	ФЗ	130				

Расчет сопротивления срабатывания второй ступени ДЗ ВЛ 220 кВ Ямская – Пушино со стороны ПС 220 кВ Пушино по условию отстройки от КЗ на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская выполнен для трех 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 ДЗ ВЛ 220 кВ Ямская – Пушино с учетом минимальных реактивных сопротивлений АТЗ(4) обеспечивается уставкой срабатывания:

$$X_{уст\ \phi\phi}^{II} \leq 9,73 \text{ Ом.}$$

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 ДЗ обеспечивается уставкой срабатывания:

$$X_{уст\ \phi\phi}^{II} \leq 12,3 \text{ Ом.}$$

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 $k_{отс} = 0,61$.

Если фактическое положение РПН отличается от среднего положения не более, чем на две ступени регулирования, коэффициент отстройки следует принять равным $k_{отс} = 0,77$.

В.2.3.2. Отстройка второй ступени ДЗ ВЛ 220 кВ Ямская – Михайловская от КЗ на шинах 110 кВ ПС 220 кВ Ямская

ЭЛ ЯМСКАЯ-МИХАЙЛОВСКАЯ

ПС МИХАЙЛОВ 220-2

Защита 931

Тип ШЭ2607

Ступень 2

Ветвь 78-214

КТТ 1200/1

Узел

КТН 2200

Расчетное условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
<i>Среднее (номинальное) положение РПН</i>						
ОТСТРОЙКА КЗ Ямская 110 кВ	XU	38.4	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84	Нормальная схема	ZCA=45.69 82
	RY	19.9				
	ФМЧ	80				
	XU	32.8	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25/81/102 Откл. ВЛ 220 кВ Пушино	ZCA=38.93 83
	RY	16.9				
	ФМЧ	80				
ОТСТРОЙКА	XU	31.6	0.70	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84	Нормальная схема	ZCA=45.69 82
	RY	16.3				
	ФМЧ	80				
	XU	29.0	0.75	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25/81/102 Откл. ВЛ 220 кВ Пушино	ZCA=38.93 83
	RY	15.0				
	ФМЧ	80				
	XU	31.5	0.81	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84	ЭЛ 25/81/102 Откл. ВЛ 220 кВ Пушино	ZCA=38.93 83
	RY	16.3				
	ФМЧ	80				
<i>Регулирование на +2 ступени (121+2*2%=125,84 кВ)</i>						
ОТСТРОЙКА	XU	36.7	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84	ИЗМ 3 16-81 X1=24,25 ИЗМ 3 16-83 X1=-3,98 ИЗМ 4 15-82 X1=24,03 ИЗМ 4 15-84 X1=-3,88	ZCA=43.69 82
	RY	19.0				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	XU	31.5	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84	ИЗМ 3 16-81 X1=24,25 ИЗМ 3 16-83 X1=-3,98 ИЗМ 4 15-82 X1=24,03 ИЗМ 4 15-84 X1=-3,88 ЭЛ 25/81/102	ZCA=37.46 82 Откл. ВЛ 220 кВ
	RY	16.3				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
<i>Регулирование на полный диапазон (121+6*2%=135,52 кВ)</i>						
ОТСТРОЙКА	XU	33.1	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84		ZCA=39.41 82
	RY	17.1				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	XU	29.0	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 84	ИЗМ 3 16-81 X1=19,69 ИЗМ 3 16-83 X1=-5,43	ZCA=34.51 82
	RY	15.0				
	ФМЧ	80				
	Ф2	-15				

Расчетное условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
	фЗ	115			ИЗМ 4 15-82 X1=19,55 ИЗМ 4 15-84 X1=-5,27 ЭЛ 25/81/102	Откл. ВЛ 220 кВ

Расчет сопротивления срабатывания второй ступени ДЗ 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 трех 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 ДЗ ВЛ 220 кВ Ямская – Михайловская с учетом минимальных реактивных сопротивлений АТЗ(4) обеспечивается уставкой срабатывания:

$$Z_{уст\ фф}^{II} \leq 29 \text{ Ом.}$$

Если при регулировании напряжения фактическое положение РПН АТЗ(4) отличается от среднего положения не более, чем на две ступени регулирования, селективность второй ступени ДЗ обеспечивается уставкой срабатывания:

$$X_{уст\ фф}^{II} \leq 31,5 \text{ Ом.}$$

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 $k_{отс} = 0,75$.

Если фактическое положение РПН отличается от среднего положения не более, чем на две ступени регулирования напряжения, коэффициент отстройки следует принять равным $k_{отс} = 0,81$.

Расчет переходных сопротивлений в месте КЗ

Г.1. Переходные сопротивления при различных видах КЗ

При междуфазных КЗ переходное сопротивление в месте повреждения определяется сопротивлением электрической дуги между фазными проводниками. При КЗ на землю к сопротивлению дуги добавляются сопротивления элементов между фазным проводником и землей в точке замыкания (сопротивление металлической опоры, заземляющего проводника и т.д.).

Влияние переходного сопротивления в месте КЗ на дистанционные замеры при различных видах повреждений для ЛЭП с односторонним и двусторонним питанием подробно изложено в материалах приложения А.

В настоящем разделе рассматриваются вопросы расчета величины переходных сопротивлений при различных видах КЗ.

Виды и характер повреждений, величина переходного сопротивления зависят в значительной степени от взаимного расположения токоведущих частей, конструкции и материала опор ЛЭП.

Замыкания через переходное сопротивление можно представить как металлическое КЗ на ответвлении (рисунок Г.1), фазы которого имеют сопротивление R_{Π} .

При междуфазных КЗ в общем случае может наблюдаться неравенство сопротивлений R_{Π} в разных фазах.

В случае трехфазного КЗ при перекрытии двух крайних фаз на среднюю (рисунок Г.1, а) $R_{\Pi a} \neq 0, R_{\Pi b} = 0, R_{\Pi c} \neq 0, R_{\Pi z} = 0$. При перекрытии всех трех фаз на траверсу металлической опоры по гирляндам изоляторов (рисунок Г.1, а) $R_{\Pi a} \neq R_{\Pi b} \neq R_{\Pi c}, R_{\Pi z} \neq 0$.

В случае двухфазного КЗ на землю при перекрытии двух фаз на траверсу металлической опоры по гирляндам изоляторов (рисунок Г.1, в) $R_{\Pi b} \neq R_{\Pi c}, R_{\Pi z} \neq 0$. При перекрытии одной из фаз на заземляющий спуск грозотроса с одновременным перекрытием той же фазы на соседнюю фазу возможны случаи: $R_{\Pi b} \neq 0, R_{\Pi c} = 0, R_{\Pi z} \neq 0$ или $R_{\Pi b} = 0, R_{\Pi c} \neq 0, R_{\Pi z} \neq 0$.

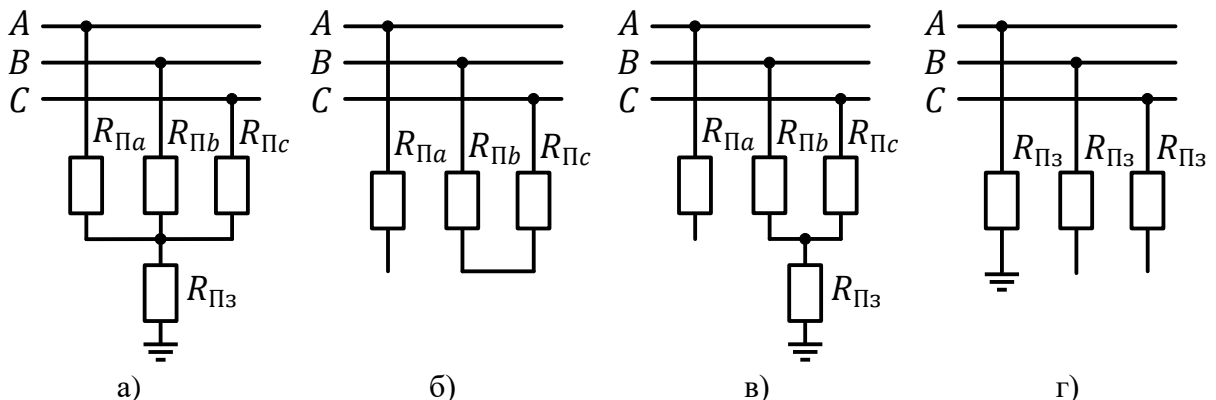


Рисунок Г.1. Примеры учета переходных сопротивлений в месте КЗ:

а) – трехфазное КЗ; б) – двухфазное КЗ; в) – двухфазное КЗ на землю; г) – однофазное КЗ

В практических расчетах, как правило, не учитывается пофазное неравенство переходных сопротивлений и принимается:

– при двухфазном КЗ при моделировании КЗ в виде «звезды» переходных сопротивлений (рисунок Г.2 «а»)

$$R_{\Pi}^{(2)} = \frac{R_{\text{Д}}^{(2)}}{2}, \quad (\text{Г.1})$$

где $R_{\text{Д}}^{(2)}$ – сопротивление электрической дуги при двухфазном КЗ, Ом;
 $R_{\Pi}^{(2)}$ – переходное сопротивление при двухфазном КЗ, Ом/фазу;

– при трехфазном КЗ при моделировании КЗ в виде «звезды» переходных сопротивлений (рисунок Г.2 «а»):

$$R_{\Pi a} = R_{\Pi b} = R_{\Pi c} = R_{\Pi}^{(3)} = \frac{R_{\text{Д}}^{(3)}}{3}, \quad (\text{Г.2})$$

где $R_{\text{Д}}^{(3)}$ – сопротивление электрической дуги при трехфазном КЗ, Ом;
 $R_{\Pi}^{(3)}$ – переходное сопротивление при трехфазном КЗ, Ом/фазу.

При моделировании междуфазного КЗ в виде «треугольника» переходных сопротивлений (рисунок Г.2 «б»), когда в каждую фазу добавляется одинаковая величина R_{Π} , при двухфазных КЗ $R_{\text{Д}}^{(2)} = 2R_{\Pi}^{(2)}$, при трехфазных КЗ $R_{\text{Д}}^{(3)} = 3R_{\Pi}^{(3)}$.

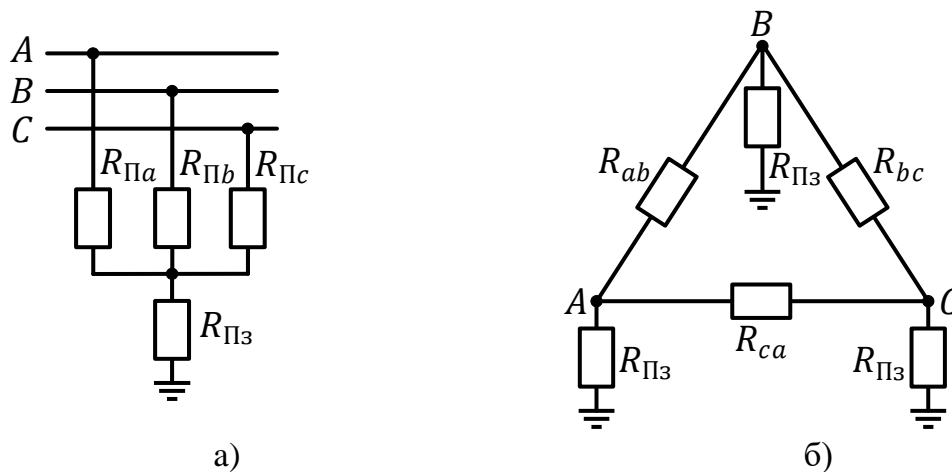


Рисунок Г.2. Примеры моделирования переходных сопротивлений в месте КЗ:
 а) «звезда» переходных сопротивлений; б) «треугольник» переходных сопротивлений

Г.2. Расчет переходных сопротивлений при междуфазных КЗ

При замыкании между фазами переходное сопротивление в месте повреждения определяется величиной сопротивления электрической дуги, которое с некоторым приближением принимается чисто активным.

На основании экспериментальных исследований [10] было установлено, что градиент напряжения на дуге мало зависит от величины тока в значительном диапазоне токов КЗ. Напряжение на дуге в отличие от тока, который остается синусоидальным, сильно искажается, поэтому градиент напряжения на дуге характеризуется амплитудным значением.

В отечественной практике [13] принято рассчитывать сопротивление электрической дуги по эмпирическому выражению:

$$R_{\text{д}} = \frac{1050 \cdot L_{\text{д}}}{I_{\text{д}}}, \quad (\text{Г.3})$$

где $R_{\text{д}}$ – сопротивление дуги, Ом;

$L_{\text{д}}$ – длина дуги, с учетом ее раздувания за время действия защиты, м;

$I_{\text{д}}$ – действующее значение тока в дуге при металлическом междуфазном КЗ в расчетной точке и расчетном режиме, А.

В технической литературе также приводятся следующие выражения:

– модель дуги Вестингауза

$$R_{\text{д}} = \frac{1444 \cdot L_{\text{д}}}{I_{\text{д}}} \quad (\text{Г.4})$$

– модель дуги Необауэра

$$R_{\text{д}} = \frac{2500 \cdot L_{\text{д}}}{I_{\text{д}}} \quad (\text{Г.5})$$

Электрическая дуга имеет неправильную форму и может удлиняться под действием электродинамических усилий в самой дуге, а также под действием ветра.

В течение первых 4-5 периодов горения дуги даже при сильном ветре длина дуги может превысить расстояние между фазными проводниками не более чем в 1,2-1,3 раза.

При действии ступеней ДЗ с выдержкой времени не более 0,5–1 с длина дуги может превысить междуфазовое расстояние в 1,5-2 раза в безветренную погоду, в 3-4 раза при небольшом ветре и в 8-10 раз при сильных порывах ветра.

В соответствии с расчетными условиями проверки чувствительности ступеней ДЗ ЛЭП расчет значений переходного сопротивления следует производить в минимальных режимах примыкающих энергосистем при КЗ в начале и в конце защищаемой ЛЭП в режимах транзита и одностороннего отключения ЛЭП с противоположной стороны.

Необходимо учитывать, что сопротивления срабатывания ступеней ДЗ, как правило, задаются в Ом/фазу.

Измерительные органы ДЗ выполняются так, что при металлических междуфазных КЗ дистанционный замер по поврежденному контуру

соответствует сопротивлению прямой последовательности участка сети от места установки защиты до места повреждения, в Ом/фазу (приложение А).

При дуговых междуфазных повреждениях к дистанционному замеру добавляется активное сопротивление, равное R_{Π} , Ом/фазу для ЛЭП с односторонним питанием, и сопротивление, пропорциональное R_{Π} , Ом/фазу для ЛЭП с двусторонним питанием.

При двухфазных КЗ ток в дуге равен суммарному фазному току $I_{\Phi}^{(2)}$ в месте повреждения, значение переходного сопротивления с учетом (Г.1) рассчитывается по выражению:

$$R_{\Pi}^{(2)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1050 \cdot L_{\text{Д}}}{I_{\text{Д}}^{(2)}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1050 \cdot L_{\text{Д}}}{I_{\Phi}^{(2)}}, \quad (\text{Г.6})$$

где $I_{\Phi}^{(2)}$ – суммарный фазный ток в месте повреждения при металлическом двухфазном КЗ в расчетном режиме, А.

При равенстве сопротивлений прямой и обратной последовательности всех элементов сети справедливо соотношение:

$$I_{\Phi}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\Phi}^{(3)}, \quad (\text{Г.7})$$

где $I_{\Phi}^{(3)}$ – суммарный фазный ток в месте повреждения при металлическом трехфазном КЗ в расчетном режиме, А.

С учетом (Г.7) переходное сопротивление при двухфазном КЗ рассчитывается по выражению:

$$R_{\Pi}^{(2)} = \frac{1050 \cdot L_{\text{Д}}}{\sqrt{3} I_{\Phi}^{(3)}} \quad (\text{Г.8})$$

При трехфазном КЗ справедливо следующее соотношение между током в дуге $I_{\text{Д}}^{(3)}$ и фазным током:

$$I_{\text{Д}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_{\Phi}^{(3)} \quad (\text{Г.9})$$

Переходное сопротивление с учетом принятого допущения (Г.2) рассчитывается по выражению:

$$R_{\Pi}^{(3)} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1050 \cdot L_{\text{Д}}}{I_{\text{Д}}^{(3)}} = \frac{1050 \cdot L_{\text{Д}}}{\sqrt{3} I_{\Phi}^{(3)}} \quad (\text{Г.10})$$

Из выражений (Г.8) и (Г.10) следует, что $R_{\Pi}^{(2)} = R_{\Pi}^{(3)}$, величина переходного сопротивления на фазу одинакова при двухфазных и трехфазных КЗ в данном расчетном режиме при КЗ в одной и той же точке сети.

Таким образом, при разных видах дуговых междуфазных повреждений при подключении измерительных органов ДЗ на линейные напряжения и разность токов соответствующих фаз дистанционные замеры по поврежденным контурам будут одинаковы.

Г.3. Пример расчета переходных сопротивлений и дистанционных замеров при междуфазных КЗ

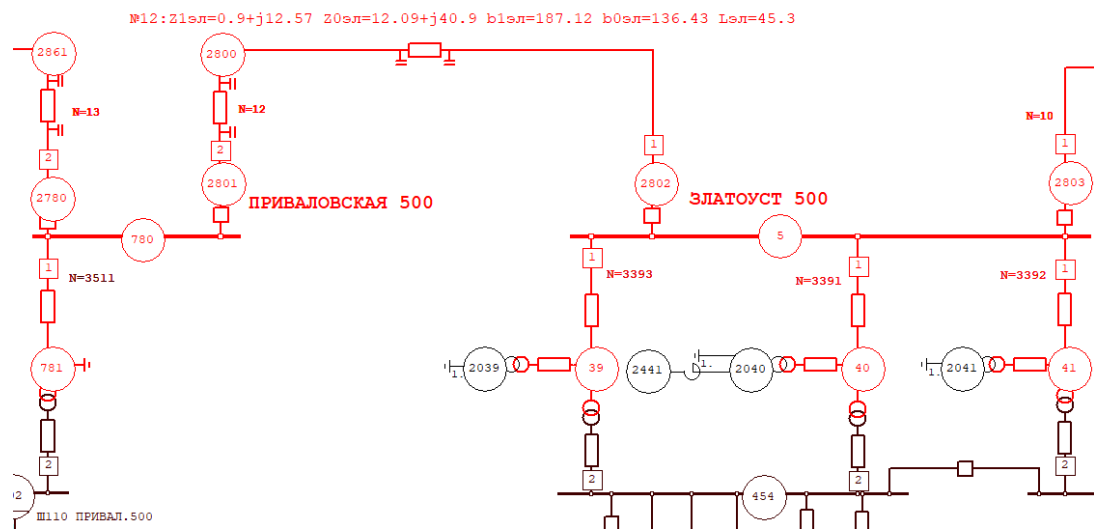


Рисунок Г.3. Схема замещения участка электрической сети

Для защиты 122 ВЛ 500 кВ Златоуст – Приваловская, установленной со стороны ПС 500 кВ Приваловская, выполним расчет переходных сопротивлений в одной из ремонтных схем при междуфазных КЗ в конце ЛЭП в режимах транзита и одностороннего отключения ЛЭП. Преобладающий тип промежуточной опоры – ПБ1, расположение фаз горизонтальное, расстояние между фазными проводами 12 м.

Результаты расчета токов КЗ:

		Подрежим 1							
ЭЛЕМЕНТ	10	(ВЛ-500 ЗЛАТОУСТ-ЧЕЛЯБИНСКАЯ)	
ЭЛЕМЕНТ	3391/454/2040/5	(АТ-1 ЗЛАТОУСТ)	
ЭЛЕМЕНТ	3511/780/602	(АТ-1 ПРИВАЛОВСКАЯ)	
		ВИД-КЗ		АВС					
УЗЕЛ-КЗ	2802								
2802-2800	IA	3413	95	IB	3413	-25	IC	3413	-145
2802-5	IA	1409	100	IB	1409	-20	IC	1409	-140
	I1сум	4817	96	I2сум	0	0	3I0сум	0	0
	IAсум	4817	96	IBсум	4817	-24	ICсум	4817	-144
	IABсум	8343	126	IBСсум	8343	6	ICАсум	8343	-114
		Подрежим 2							
ОТКЛ	0 2802-5	(ПТ ПРИВ-ЗЛАТ - ЗЛАТОУСТ 500)	
ЭЛЕМЕНТ	10	(ВЛ-500 ЗЛАТОУСТ-ЧЕЛЯБИНСКАЯ)	
ЭЛЕМЕНТ	3391/454/2040/5	(АТ-1 ЗЛАТОУСТ)	
ЭЛЕМЕНТ	3511/780/602	(АТ-1 ПРИВАЛОВСКАЯ)	
		ВИД-КЗ		АВС					
УЗЕЛ-КЗ	2802								
2802-2800	IA	3632	95	IB	3632	-25	IC	3632	-145
	I1сум	3632	95	I2сум	0	0	3I0сум	0	0
	IAсум	3632	95	IBсум	3632	-25	ICсум	3632	-145
	IABсум	6291	125	IBСсум	6291	5	ICАсум	6291	-115

Для ступени ДЗ без выдержки времени длина дуги с учетом ее раздувания $L_d = 14,4$ м, величина переходного сопротивления составит:

- в режиме транзита (подрезим 1):

$$R_{П1} = \frac{1050 \cdot 14,4}{\sqrt{3} \cdot 4817} = 1,8 \text{ Ом/фазу},$$

- в режиме одностороннего отключения ЛЭП (подрезим 2):

$$R_{П2} = \frac{1050 \cdot 14,4}{\sqrt{3} \cdot 3632} = 2,4 \text{ Ом/фазу}$$

При моделировании междуфазных КЗ в виде «треугольника» переходных сопротивлений сопротивление электрической дуги составит:

- в режиме транзита:

$$R_{Д}^{(2)} = 2 \cdot 1,8 = 3,6 \text{ Ом}, \quad R_{Д}^{(3)} = 3 \cdot 1,8 = 5,4 \text{ Ом};$$

- в режиме одностороннего отключения ЛЭП:

$$R_{Д}^{(2)} = 2 \cdot 2,4 = 4,8 \text{ Ом}, \quad R_{Д}^{(3)} = 3 \cdot 2,4 = 7,2 \text{ Ом}.$$

При междуфазных КЗ в конце ЛЭП через переходное сопротивление в режиме одностороннего отключения к сопротивлению прямой последовательности участка сети от места установки защиты до места повреждения $Z_{1k} = 0,902 + j12,583$ Ом/фазу добавляется переходное сопротивление $R_{П2} = 2,4$ Ом/фазу.

УЗЕЛ-КЗ	2802	Подрезим 1			
ОТКЛ	0 2802-5	(ПТ ПРИВ-ЗЛАТ - ЗЛАТОУСТ 500)			
		ВИД-КЗ	АВС		
2801-2800	ZBC	12.616 /	85.900	0.902 +j	12.583
2801-2800	ZBC	ВИД-КЗ	ВС (4.8 0)		
		13.010 /	75.272	3.308 +j	12.583
2801-2800	ZBC	ВИД-КЗ	АВ (7.2 0) + ВС (7.2 0) + СА (7.2 0)		
		13.010 /	75.272	3.308 +j	12.583

Г.4. Учет переходных сопротивлений при КЗ на землю

Переходное сопротивление $R_{Пз}$ при КЗ на землю (рисунок Г.1, «г») определяется многими факторами: сопротивлением возникающей электрической дуги, сопротивлением заземляющих устройств опоры, режимом заземления грозозащитных тросов, сопротивлением растеканию токов нулевой последовательности в грунте и т.д.

Наиболее характерными причинами КЗ на землю на ЛЭП являются: перекрытие изоляции во время грозы с ветром при приближении шлейфов проводов к стойке опоры, обрыв гирлянды, провода или грозотроса, перекрытие провода ЛЭП на поросль, падение деревьев на провода, перекрытие гирлянды изоляторов при ее загрязнении или наличии нулевых изоляторов в гирлянде, прохождение под ЛЭП негабаритного транспортного средства, образование гололеда с возникновением «пляски» проводов, пожар на трассе под ЛЭП и т.д.

При замыкании фазного провода на стойку металлической опоры длину дуги можно принять равной 1,2 длины гирлянды изоляторов при длительности КЗ, не превышающей 0,1 с.

Сопротивление заземления металлических и железобетонных опор нормируется, его величина зависит от характера грунта и его влажности. Собственным сопротивлением такой опоры можно пренебречь.

В таблице Г.1 приведены наибольшие значения сопротивлений заземляющих устройств в зависимости от удельного эквивалентного сопротивления грунта.

Таблица Г.1

Наибольшее сопротивление заземляющих устройств опор ВЛ

Удельное эквивалентное сопротивление грунта ρ , Ом·м	Наибольшее сопротивление заземляющего устройства, Ом
До 100	10
Более 100 до 500	15
Более 500 до 1000	20
Более 1000 до 5000	30

Карта удельного сопротивления земли для европейской части страны и районов Сибири и Дальнего Востока приведена в Правилах [16].

Для ВЛ напряжением свыше 110 кВ с многократно глухозаземленными грозотросами или грозотросами со встроенной волоконно-оптической линией связи (как правило, имеют глухое заземление грозотроса на каждой анкерной опоре) эквивалентное сопротивление системы «опоры – грозотрос» не превосходит 5 Ом.

Если грозотросы разрезаны на участки, каждый участок имеет глухое заземление с одного конца, а с другого конца установлен искровой промежуток, значение $R_{ПЗ}$ принимается в соответствии с таблицей Г.1.

При замыканиях на землю, которые не связаны с перекрытием или пробоем изоляции на металлические опоры (повреждения с падением провода на землю, перекрытия на продукты горения, деревья, проезжающую технику под ЛЭП и др.), значения переходных сопротивлений $R_{ПЗ}$ могут достигать десятков и даже сотен Ом.

При практических расчетах для ВЛ напряжением 110 кВ и выше с многократно глухозаземленными грозотросами $R_{ПЗ}$ может быть принято равным 5 Ом.

При отсутствии точных данных удельного эквивалентного сопротивления грунта значение $R_{ПЗ}$ может быть принято равным:

- для ВЛ 110–220 кВ 5–10 Ом;
- для ВЛ 330 кВ 10–15 Ом;
- для ВЛ 500–750 кВ 10–30 Ом.

При КЗ на землю в пределах контура заземления ПС переходное сопротивление $R_{Пз}$ принимается равным 0,5–5 Ом.

Вывод формул для согласования ДЗ ЛЭП с ДЗ Т (АТ)

В данном приложении приведен вывод расчетных выражений для выбора сопротивления срабатывания ДЗ одиночной ЛЭП по условию согласования с ДЗ Т (АТ) ПС, примыкающей к противоположной стороне защищаемой ЛЭП, с учетом схем подключения последней к измерительным ТТ и ТН.

На рисунках Д.1–Д.6 представлены различные варианты схем подключения ДЗ Т (АТ) к ТТ и ТН.

Расчет сопротивления срабатывания ДЗ А ЛЭП А-Б по условию согласования с ДЗ Б Т (АТ) проводится методом поиска конца зоны действия ступени защиты Б с учетом ее возможного сокращения и отстройкой от полученного замера с необходимым запасом.

Приведенные расчетные выражения применимы для согласования ДЗ с круговыми и полигональными характеристиками срабатывания. При согласовании ДЗ с разнотипными характеристиками необходимо дополнительно учитывать пункт 3.3.2.9.

При выводе выражений принимается, что подпитка места КЗ со стороны обмотки НН АТ отсутствует, $I_{АТ\text{ нн}} = 0$.

Сопротивления элементов электрической сети в схемах замещения приведены к ступени трансформации, где установлена защита ЛЭП. Если в фактически используемой схеме сети это не выполняется, то перед подстановкой в расчетные выражения следует выполнить соответствующее приведение.

Д.1. ДЗ Б Т (АТ) подключена к ТТ и ТН стороны ВН и направлена в Т (АТ)

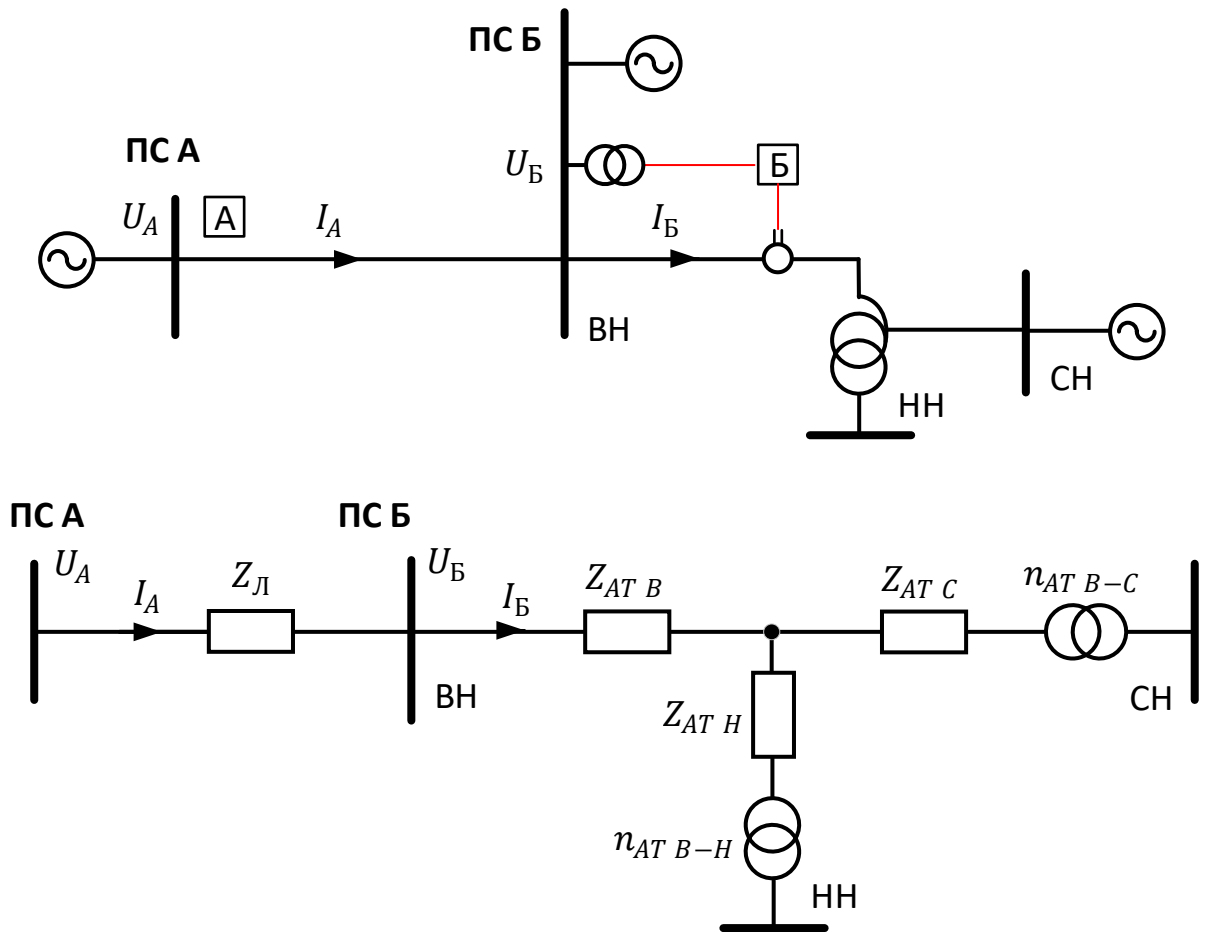


Рисунок Д.1. Вариант схемы подключения ДЗ АТ к ТТ и ТН стороны ВН

Расчет сопротивления срабатывания защиты А по условию согласования с защитой Б АТ выполняется по выражению:

$$Z_{уст А} \leq k_{отс} \cdot |Z_A| \cdot d, \quad (Д.1)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается согласно пункту 3.3.2;
 $|Z_A|$ – модуль расчетного сопротивления в месте установки защиты А;
 d – параметр, который учитывает возможное отличие угла расчетного сопротивления Z_A от угла максимальной чувствительности круговой характеристики или от угла наклона полигональной характеристики защиты А, определяется согласно пункту 3.3.2.

Модуль замера защиты Б при выводе ее на грань срабатывания равен уставке и определяется по выражению:

$$|Z_B| = \left| \frac{U_B}{(1 - \alpha) \cdot I_B} \right| = Z_{уст Б}, \quad (Д.2)$$

где U_B, I_B – напряжение и ток в месте установки защиты Б;

α – коэффициент, который учитывает возможное снижение тока I_B и сокращение зоны защиты Б из-за погрешности ТТ, значение принимается согласно пункту 3.3.3.

Ток в месте установки защиты А определяется:

$$I_A = k_T \cdot I_B, \quad (\text{Д.3})$$

где k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в защите А к первичному току в защите Б, с которой проводится согласование.

Напряжение в месте установки защиты А:

$$U_A = U_B + Z_L \cdot I_A \quad (\text{Д.4})$$

Напряжение в месте установки защиты Б:

$$U_B = (1 - \alpha) \cdot I_B \cdot Z_{\text{уст Б}} \quad (\text{Д.5})$$

С учетом (Д.5) напряжение в месте установки защиты А определяется по выражению:

$$U_A = (1 - \alpha) \cdot I_B \cdot Z_{\text{уст Б}} + Z_L \cdot I_A = (1 - \alpha) \cdot \frac{I_A}{k_T} \cdot Z_{\text{уст Б}} + Z_L \cdot I_A \quad (\text{Д.6})$$

Дистанционный замер в месте установки защиты А определяется:

$$Z_A = |Z_{L-1}| + \frac{1 - \alpha}{k_T} \cdot Z_{\text{уст Б}} \quad (\text{Д.7})$$

Сопротивление срабатывания защиты А определяется по выражению:

$$Z_{\text{уст А}} \leq k_{\text{отс}} \cdot \left| Z_{L-1} + \frac{1 - \alpha}{k_T} \cdot Z_{\text{уст Б}} \right| \cdot d \quad (\text{Д.8})$$

Д.2. ДЗ Б Т (АТ) подключена к ТТ и ТН стороны СН и направлена в Т (АТ)

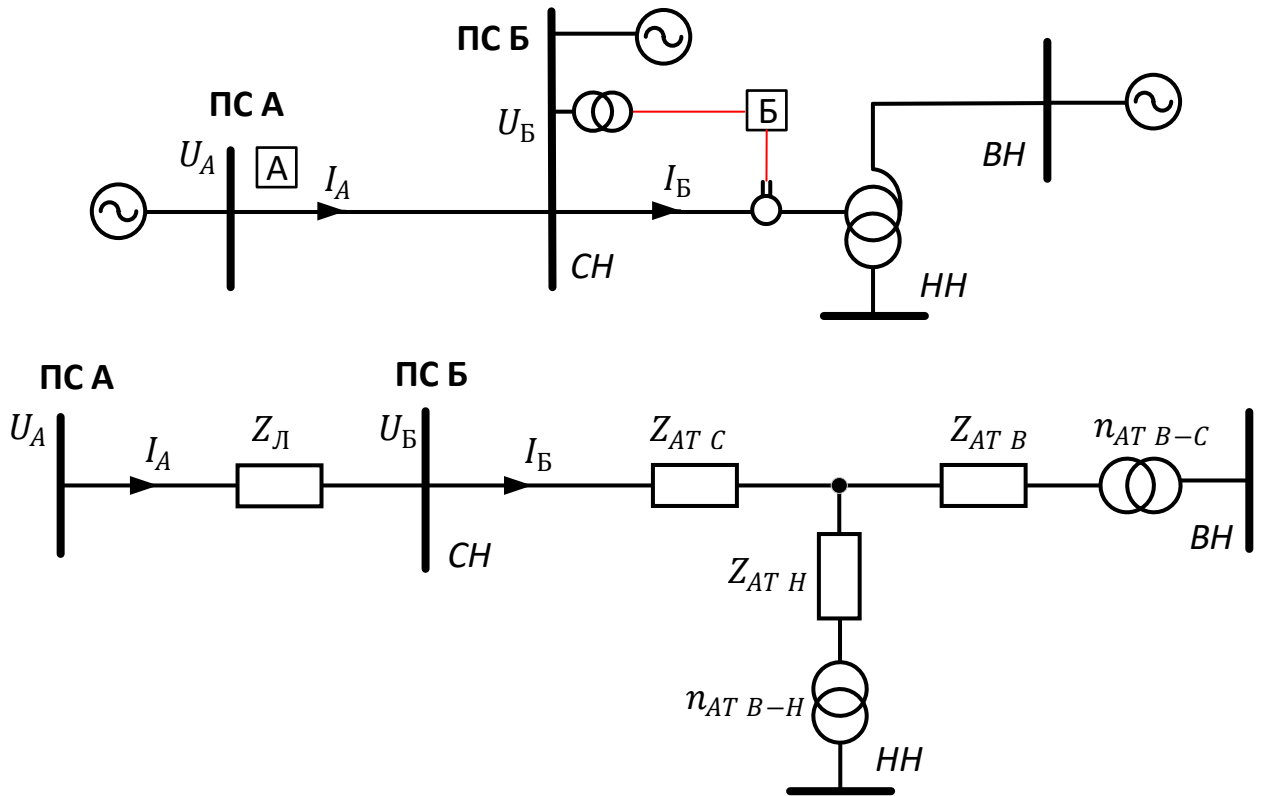


Рисунок Д.2. Вариант схемы подключения ДЗ АТ к ТТ и ТН стороны СН

Этот случай полностью аналогичен случаю, описанному в пункте Д.1 настоящего приложения, и расчетное выражение для него выводится аналогично выражению (Д.8).

Д.3. ДЗ Б Т (АТ) подключена к ТТ и ТН стороны СН и направлена в сторону шин СН

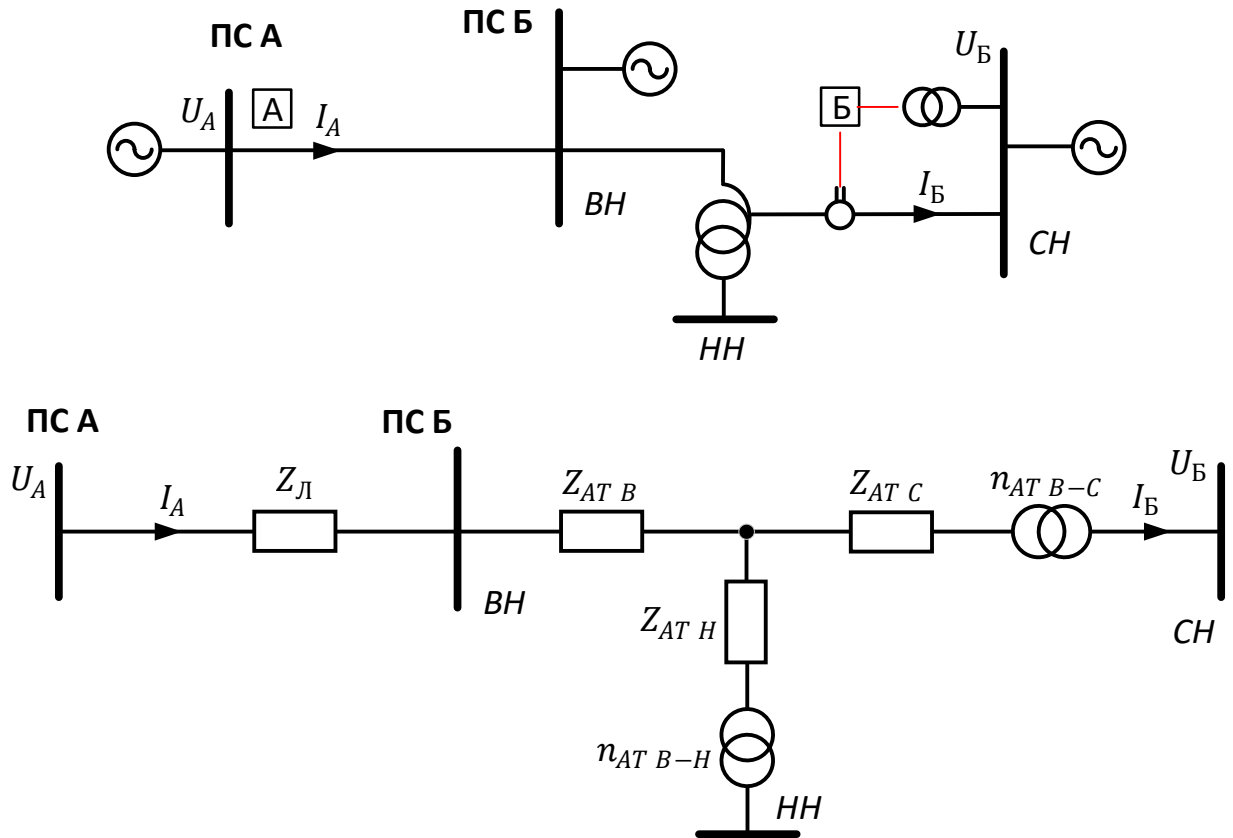


Рисунок Д.3. Вариант схемы подключения ДЗ АТ к ТТ и ТН стороны СН

Модуль дистанционного замера защиты Б при выводе ее на грань срабатывания равен уставке и определяется по выражению:

$$|\underline{Z}_B| = \left| \frac{\underline{U}_B}{(1 - \alpha) \cdot \underline{I}_B} \right| = Z_{уст\ Б} \quad (\text{Д.9})$$

Токи в месте установки защит равны:

$$\underline{I}_A = k_T \cdot \frac{\underline{I}_B}{n_{AT\ B-C}} \quad (\text{Д.10})$$

$$\underline{I}_B = n_{AT\ B-C} \cdot \frac{\underline{I}_A}{k_T} \quad (\text{Д.11})$$

Напряжение в месте установки защиты А определяется по выражению:

$$\underline{U}_A = n_{AT\ B-C} \cdot \underline{U}_B + \frac{\underline{I}_B}{n_{AT\ B-C}} \cdot (\underline{Z}_{AT\ B} + \underline{Z}_{AT\ C}) + \underline{Z}_L \cdot \underline{I}_A \quad (\text{Д.12})$$

Напряжение в месте установки защиты Б определяется по выражению:

$$\underline{U}_B = (1 - \alpha) \cdot \underline{I}_B \cdot Z_{уст\ Б} = (1 - \alpha) \cdot n_{AT\ B-C} \cdot \frac{\underline{I}_A}{k_T} \cdot Z_{уст\ Б} \quad (\text{Д.13})$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= n_{AT\ B-C}^2 \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{\underline{I}_A}{k_T} \cdot Z_{уст\ Б} + \frac{\underline{I}_B}{n_{AT\ B-C}} \cdot (\underline{Z}_{AT\ B} + \underline{Z}_{AT\ C}) + \underline{Z}_L \cdot \underline{I}_A = \\ &= n_{AT\ B-C}^2 \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{\underline{I}_A}{k_T} \cdot Z_{уст\ Б} + \frac{\underline{I}_A}{k_T} \cdot (\underline{Z}_{AT\ B} + \underline{Z}_{AT\ C}) + \underline{Z}_L \cdot \underline{I}_A \end{aligned}$$

Дистанционный замер в месте установки защиты А определяется:

$$\underline{Z}_A = \frac{U_A}{I_A} = n_{AT\ B-C}^2 \cdot \frac{1 - \alpha}{k_T} \cdot Z_{уст\ B} + \frac{1}{k_T} \cdot (Z_{AT\ B} + Z_{AT\ C}) + Z_L \quad (Д.14)$$

Сопротивление срабатывания защиты А определяется по выражению:

$$Z_{уст\ A} \leq k_{отс} \cdot \left| Z_L + \frac{1}{k_T} \cdot (Z_{AT\ B} + Z_{AT\ C}) + \frac{n_{AT\ B-C}^2 \cdot (1 - \alpha)}{k_T} \cdot Z_{уст\ B} \right| \cdot d \quad (Д.15)$$

Д.1. ДЗ Б Т (АТ) подключена к ТТ и ТН стороны ВН Т (АТ) и направлена в сторону шин ВН

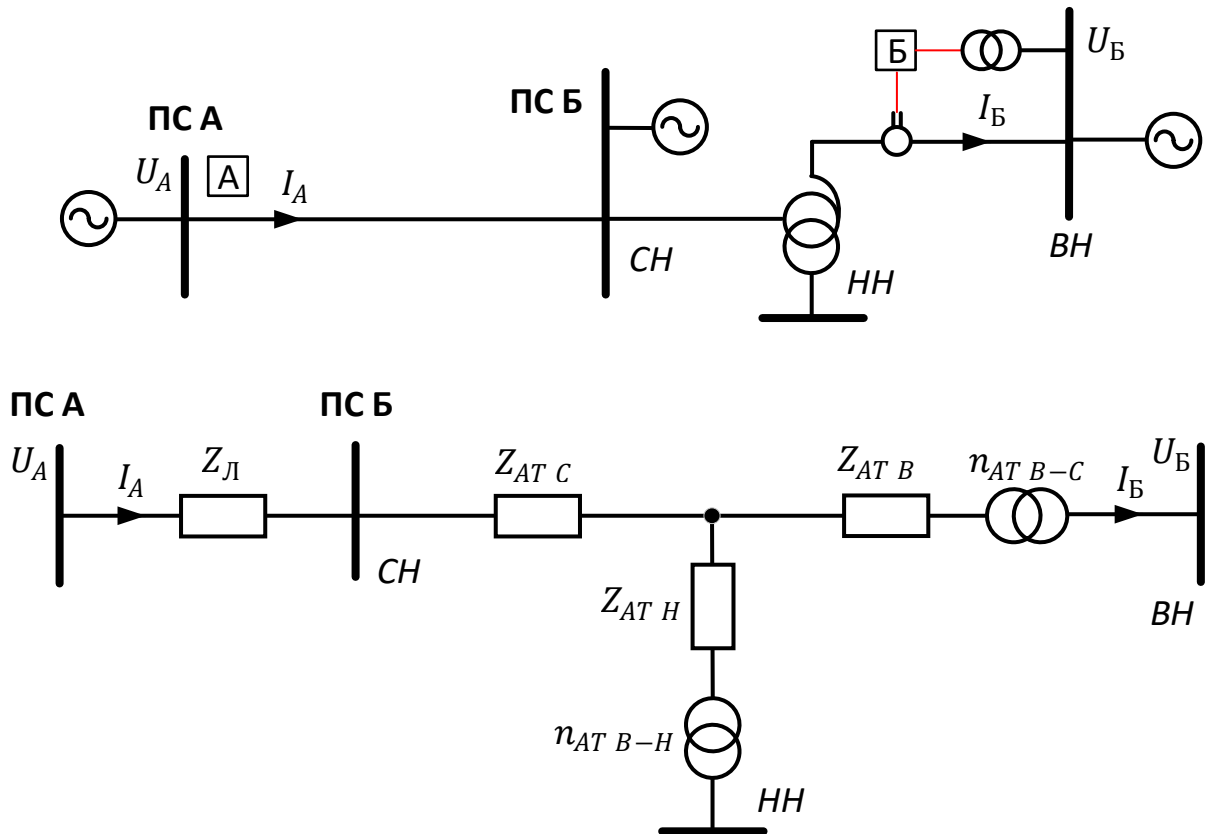


Рисунок Д.4. Вариант схемы подключения ДЗ АТ к ТТ и ТН стороны ВН

Модуль дистанционного замера защиты Б при выводе ее на грань срабатывания равен уставке и определяется по выражению:

$$|\underline{Z}_B| = \left| \frac{U_B}{(1 - \alpha) \cdot I_B} \right| = Z_{уст\ B} \quad (Д.16)$$

Токи в месте установки защит равны:

$$I_A = n_{AT\ B-C} \cdot k_T \cdot I_B \quad (Д.17)$$

$$I_B = \frac{I_A}{n_{AT\ B-C} \cdot k_T} \quad (Д.18)$$

Напряжение в месте установки защиты А определяется по выражению:

$$\underline{U}_A = \frac{U_B}{n_{AT\ B-C}} + n_{AT\ B-C} \cdot I_B \cdot (Z_{AT\ B} + Z_{AT\ C}) + Z_L \cdot I_A \quad (Д.19)$$

Из выражения (Д.16) для замера защиты Б выразим напряжение \underline{U}_B :

$$\underline{U}_B = (1 - \alpha) \cdot \underline{I}_B \cdot Z_{уст Б} = (1 - \alpha) \cdot \frac{\underline{I}_A}{n_{АТ В-С} \cdot k_T} \cdot Z_{уст Б} \quad (Д.20)$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= (1 - \alpha) \cdot \frac{\underline{I}_A}{n_{АТ В-С} \cdot k_T} \cdot Z_{уст Б} + n_{АТ В-С} \cdot \underline{I}_B \cdot (\underline{Z}_{АТ В} + \underline{Z}_{АТ С}) + \underline{Z}_Л \cdot \underline{I}_A = \\ &= \frac{(1 - \alpha)}{n_{АТ В-С}^2} \cdot \frac{\underline{I}_A}{k_T} \cdot Z_{уст Б} + \frac{\underline{I}_A}{k_T} \cdot (\underline{Z}_{АТ В} + \underline{Z}_{АТ С}) + \underline{Z}_Л \cdot \underline{I}_A \end{aligned}$$

Дистанционный замер в месте установки защиты А определяется:

$$\underline{Z}_A = \frac{U_A}{I_A} = \frac{1 - \alpha}{n_{АТ В-С}^2 \cdot k_T} \cdot Z_{уст Б} + \frac{1}{k_T} \cdot (\underline{Z}_{АТ В} + \underline{Z}_{АТ С}) + \underline{Z}_Л \quad (Д.21)$$

Сопротивление срабатывания защиты А определяется по выражению:

$$Z_{уст А} \leq k_{отс} \cdot \left| \underline{Z}_Л + \frac{1}{k_T} \cdot (\underline{Z}_{АТ В} + \underline{Z}_{АТ С}) + \frac{1 - \alpha}{n_{АТ В-С}^2 \cdot k_T} \cdot Z_{уст Б} \right| \cdot d \quad (Д.22)$$

Д.4. ДЗ Б Т (АТ) подключена к ТТ стороны ВН и ТН стороны НН и направлена в Т (АТ)

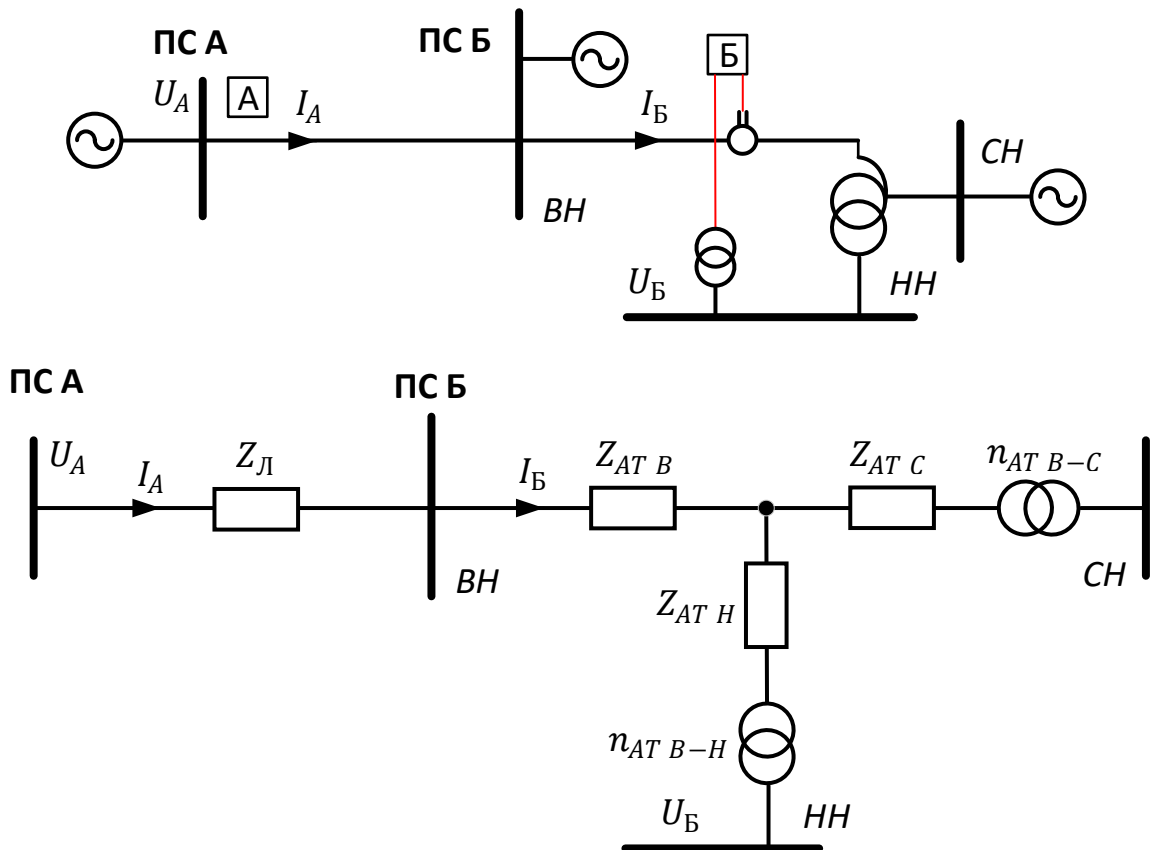


Рисунок Д.5. Вариант схемы подключения ДЗ АТ к ТТ стороны ВН и ТН стороны НН

Если ТТ и ТН установлены на разных ступенях трансформации Т (АТ), в качестве первичного сопротивления срабатывания защиты Б принимается сопротивление, приведенное к стороне, где установлены ТТ. В дальнейшем

считаем, что приведение выполнено через номинальный коэффициент трансформации силового Т (АТ) $n_{\text{АТ В-Н ном}}$.

Модуль замера защиты Б при выводе ее на грань срабатывания равен уставке и определяется по выражению:

$$|Z_{\text{Б}}| = \left| \frac{n_{\text{АТ В-Н ном}} \cdot \underline{U}_{\text{Б}}}{(1 - \alpha) \cdot I_{\text{Б}}} \right| = Z_{\text{уст Б}} \quad (\text{Д.23})$$

Выразим замер защиты А через замер защиты Б:

$$\underline{I}_{\text{А}} = k_{\text{Т}} \cdot \underline{I}_{\text{Б}}$$

Напряжение в месте установки защиты А определяется по выражению:

$$\underline{U}_{\text{А}} = n_{\text{АТ В-Н}} \cdot \underline{U}_{\text{Б}} + Z_{\text{АТ В}} \cdot \underline{I}_{\text{Б}} + Z_{\text{Л}} \cdot \underline{I}_{\text{А}} \quad (\text{Д.24})$$

Из формулы для замера защиты Б выразим напряжение $\underline{U}_{\text{Б}}$:

$$\underline{U}_{\text{Б}} = \frac{(1 - \alpha) \cdot \underline{I}_{\text{Б}} \cdot Z_{\text{уст Б}}}{n_{\text{АТ В-Н ном}}} \quad (\text{Д.25})$$

Напряжение в месте установки защиты А определяется по выражению:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{\text{А}} &= n_{\text{АТ В-Н}} \cdot \frac{(1 - \alpha) \cdot \underline{I}_{\text{Б}} \cdot Z_{\text{уст Б}}}{n_{\text{АТ В-Н ном}}} + Z_{\text{АТ В}} \cdot \underline{I}_{\text{Б}} + Z_{\text{Л}} \cdot \underline{I}_{\text{А}} = \\ &= \frac{n_{\text{АТ В-Н}}}{n_{\text{АТ В-Н ном}}} \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{\underline{I}_{\text{А}}}{k_{\text{Т}}} \cdot Z_{\text{уст Б}} + Z_{\text{АТ В}} \cdot \frac{\underline{I}_{\text{А}}}{k_{\text{Т}}} + Z_{\text{Л}} \cdot \underline{I}_{\text{А}} \end{aligned} \quad (\text{Д.26})$$

Дистанционный замер в месте установки защиты А определяется:

$$\underline{Z}_{\text{А}} = \frac{\underline{U}_{\text{А}}}{\underline{I}_{\text{А}}} = \frac{n_{\text{АТ В-Н}}}{n_{\text{АТ В-Н ном}}} \cdot \frac{(1 - \alpha)}{k_{\text{Т}}} \cdot Z_{\text{уст Б}} + \frac{Z_{\text{АТ В}}}{k_{\text{Т}}} + Z_{\text{Л}} \quad (\text{Д.27})$$

Сопротивление срабатывания защиты А определяется по выражению:

$$Z_{\text{уст А}} \leq k_{\text{отс}} \cdot \left| Z_{\text{Л}} + \frac{Z_{\text{АТ В}}}{k_{\text{Т}}} + \frac{n_{\text{АТ В-Н}}}{n_{\text{АТ В-Н ном}}} \cdot \frac{1 - \alpha}{k_{\text{Т}}} \cdot Z_{\text{уст Б}} \right| \cdot d \quad (\text{Д.28})$$

Д.5. ДЗ Б Т (АТ) подключена к ТТ стороны СН и ТН стороны НН и направлена в сторону шин СН

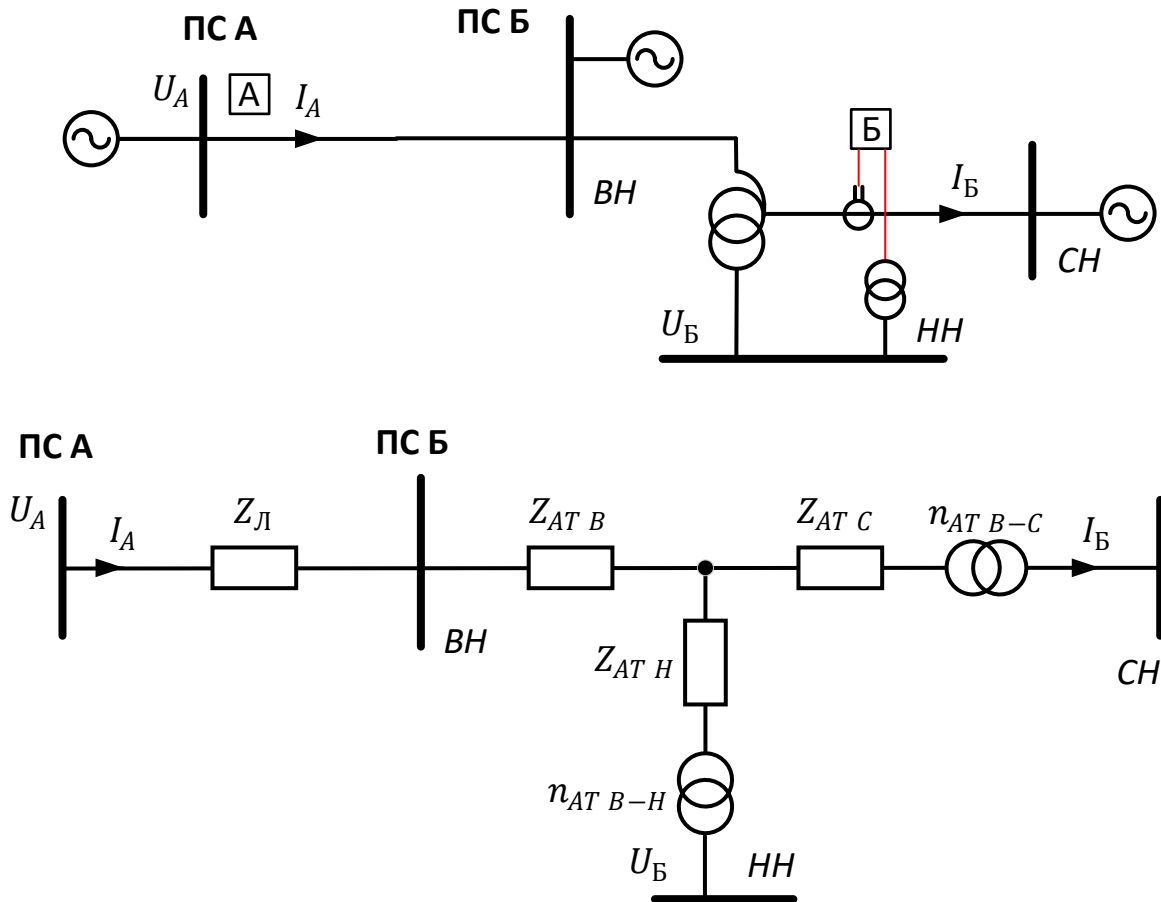


Рисунок Д.6. Вариант схемы подключения ДЗ АТ к ТТ стороны СН и ТН стороны НН

Если ТТ и ТН установлены на разных ступенях трансформации Т (АТ), в качестве первичного сопротивления срабатывания защиты Б принимается сопротивление, приведенное к стороне, где установлены ТТ. В дальнейшем считаем, что приведение выполнено через номинальный коэффициент трансформации силового Т (АТ) $n_{AT C-H ном}$.

Модуль дистанционного замера защиты Б при выводе ее на грань срабатывания равен уставке и определяется по выражению:

$$|Z_B| = \left| \frac{n_{AT C-H ном} \cdot U_B}{(1 - \alpha) \cdot I_B} \right| = Z_{уст Б} \quad (Д.29)$$

Токи в месте установки защит определяются:

$$I_A = k_T \cdot \frac{I_B}{n_{AT B-C}} \quad (Д.30)$$

$$I_B = n_{AT B-C} \cdot \frac{I_A}{k_T} \quad (Д.31)$$

Напряжение в месте установки защиты А определяется по выражению:

$$\underline{U}_A = n_{\text{ATB-H}} \cdot \underline{U}_B + \frac{I_B}{n_{\text{ATB-C}}} \cdot \underline{Z}_{\text{ATB}} + \underline{Z}_L \cdot I_A \quad (\text{Д.32})$$

Из выражения для замера защиты Б выразим напряжение \underline{U}_B

$$\underline{U}_B = \frac{(1 - \alpha)}{n_{\text{ATC-H ном}}} \cdot I_B \cdot Z_{\text{уст Б}} = \frac{n_{\text{ATB-C}}}{n_{\text{ATC-H ном}}} \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{I_A}{k_T} \cdot Z_{\text{уст Б}} \quad (\text{Д.33})$$

Напряжение в месте установки защиты А определяется по выражению:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= n_{\text{ATB-H}} \cdot \frac{n_{\text{ATB-C}}}{n_{\text{ATC-H ном}}} \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{I_A}{k_T} Z_{\text{уст Б}} + \frac{I_B}{n_{\text{ATB-C}}} \cdot \underline{Z}_{\text{ATB}} + \underline{Z}_L \cdot I_A = \\ &= \frac{n_{\text{ATB-H}} \cdot n_{\text{ATB-C}}}{n_{\text{ATC-H ном}}} \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{I_A}{k_T} \cdot Z_{\text{уст Б}} + \frac{I_A}{k_T} \cdot \underline{Z}_{\text{ATB}} + \underline{Z}_L \cdot I_A \end{aligned}$$

Дистанционный замер в месте установки защиты А определяется:

$$\underline{Z}_A = \frac{\underline{U}_A}{I_A} = \frac{n_{\text{ATB-H}} \cdot n_{\text{ATB-C}}}{n_{\text{ATC-H ном}}} \cdot \frac{1 - \alpha}{k_T} \cdot Z_{\text{уст Б}} + \frac{1}{k_T} \cdot \underline{Z}_{\text{ATB}} + \underline{Z}_L \quad (\text{Д.34})$$

Сопротивление срабатывания защиты А определяется по выражению:

$$Z_{\text{уст А}} \leq k_{\text{отс}} \cdot \left| \underline{Z}_L + \frac{1}{k_T} \cdot \underline{Z}_{\text{ATB}} + \frac{n_{\text{ATB-H}} \cdot n_{\text{ATB-C}}}{n_{\text{ATC-H ном}}} \cdot \frac{1 - \alpha}{k_T} \cdot Z_{\text{уст Б}} \right| \cdot d \quad (\text{Д.35})$$

Расчет сопротивления срабатывания ДЗ ЛЭП по условию отстройки от БТН Т и АТ

Переходный процесс, проявляющийся в резком увеличении намагничивающего тока ненагруженного силового Т (АТ) 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 к ней ненагруженными силовыми Т в фазах линии могут протекать БТН, форма и значения которых зависят от различных факторов.

Параметры, характеризующие величину и форму БТН, зависят от момента коммутации при включении Т под напряжение и при его отключении. При практических расчетах для целей РЗ пользуются предельными характеристиками БТН, возникающими при наиболее неблагоприятных условиях.

В связи с возможной разновременностью включения фаз выключателя ЛЭП следует рассматривать:

- трехфазное включение (одновременное включение всех трех фаз);
- двухфазное включение (одновременное включение двух фаз с некоторым запаздыванием включения третьей фазы);
- однофазное включение (включение одной фазы с некоторым запаздыванием включения двух других фаз).

Расчетным для определения сопротивления срабатывания ДЗ ЛЭП при наличии ответвлений по условию отстройки от БТН Т ПС на ответвлениях является двухфазное включение.

Ток двухфазного включения можно выразить через расчетное значение БТН при однофазном включении, при этом нейтрали всех Т ПС на ответвлениях учитываются как заземленные вне зависимости от их фактического состояния.

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 в режиме включения ненагруженного силового Т под напряжение в действительности не происходит полного насыщения ярм магнитопровода, поэтому при расчетах параметров срабатывания защит по рассматриваемому условию создается значительный запас (порядка 30 %)

Если защита действует с выдержкой времени, то необходимо учитывать затухание БТН:

$$i_{\max(t)} = i_{\max(t=0)} \cdot k_{\text{зат}(t)}, \quad (\text{E.1})$$

где $k_{\text{зат}(t)}$ – коэффициент затухания БТН, который зависит от времени срабатывания защиты и эквивалентной постоянной времени контура включения на холостой ход.

Учитывая указанные запасы, значение первичного тока срабатывания токового органа защиты, включенного на фазный ток, по условию отстройки от БТН выбирается на основании выражения:

$$I_{\text{уст}} = I_{\text{нам}} = i_{\max(t=0)} \cdot k_{\text{зат}(t)} k_{\text{д}}, \quad (\text{E.2})$$

где $I_{\text{уст}}$ – первичный ток срабатывания токового органа защиты;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент действующего значения БТН для расчетного вида включения;

$i_{\max(t=0)}$ – максимальное значение БТН в начальный момент времени.

После соответствующих преобразований может быть получено следующее расчетное выражение:

$$I_{\text{уст}} = \frac{C_6^{(k)} \cdot U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}(x_{\text{С-1}} + X_{\text{Т экв}}^{(k)})}, \quad (\text{E.3})$$

где $C_6^{(k)}$ – коэффициент броска, учитывающий вид включения и изменение действующего значения тока при затухании, а также сорт стали, из которой изготовлен Т;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение ЛЭП;

$X_{\text{С-1}}$ – индуктивное сопротивление прямой последовательности энергосистемы со стороны ПС, откуда ЛЭП ставится под напряжение;

$X_{\text{Т экв}}^{(k)}$ – эквивалентное сопротивление Т (АТ) и ЛЭП.

При наличии на линии одного Т (АТ) эквивалентное сопротивление рассчитывается по выражению:

$$X_{\text{Т экв}}^{(k)} = X_{\text{Л-1}} + X_{\text{Т}}^{(k)}, \quad (\text{E.4})$$

где $X_{\text{Л-1}}$ – сопротивление прямой последовательности участка линии от питающей ПС до шин ПС, на которой установлен рассматриваемый Т (АТ);

$X_{\text{Т}}^{(k)}$ – сопротивление Т (АТ) при включении $X_{\text{Т}}^{(1)}$ или $X_{\text{Т}}^{(3)}$;

$X_{\text{Т}}^{(1)}$, $X_{\text{Т}}^{(3)}$ – сопротивления Т в условиях насыщения магнитопровода, соответственно, при однофазном и трехфазном включении.

При выполнении расчетов для случая двухфазного включения в выражении (E.4) используется значение $X_{\text{Т}}^{(1)}$.

В целях упрощения при однофазном включении значения сопротивлений $X_{\text{С-1}}$ и $X_{\text{Л-1}}$ принимаются равными сопротивлениям прямой

последовательности системы и ЛЭП, а не сопротивлению контура включения «провод – земля».

Значение $X_T^{(k)}$ может быть вычислено по приближенным расчетным выражениям, приведенным в таблице Е.1.

Таблица Е.1

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 Т при наличии РПН принимается для среднего положения РПН.

Для трехобмоточных Т и АТ U_k соответствует наибольшему из значений напряжений КЗ между обмоткой, со стороны которой производится включение, и одной из двух других обмоток. Для АТ U_k должно быть приведено к проходной мощности АТ.

Реактивное сопротивление Т $X_T^{(k)}$ в именованных единицах рассчитывается по выражению:

$$X_T^{(k)} = \frac{X_{T\%}^{(k)} \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{ном}}, \text{ Ом} \quad (\text{Е.5})$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение Т, кВ;

$S_{ном}$ – номинальная мощность Т, МВА;

$X_{T,\%}^{(k)}$ – сопротивление Т в %, определяемое с помощью расчетных выражений таблицы Е.1.

При наличии на линии нескольких Т эквивалентное сопротивление $X_{Т экв}^{(k)}$ рассчитывается с помощью эквивалентирования участков линии и подключенных Т.

Например, для схемы на рисунке Е.1 при включении ЛЭП 1-2 под напряжение со стороны ПС 1:

$$X_{Т экв}^{(k)} = [(X_{Т-1} + X_{Л-1} + X_{Л-4}) \parallel (X_{Т-2} + X_{Л-2}) + X_{Л-5}] \parallel \dots$$

$$\dots \parallel [X_{T-3} + X_{Л-3}] + X_{Л-6} \quad (E.6)$$

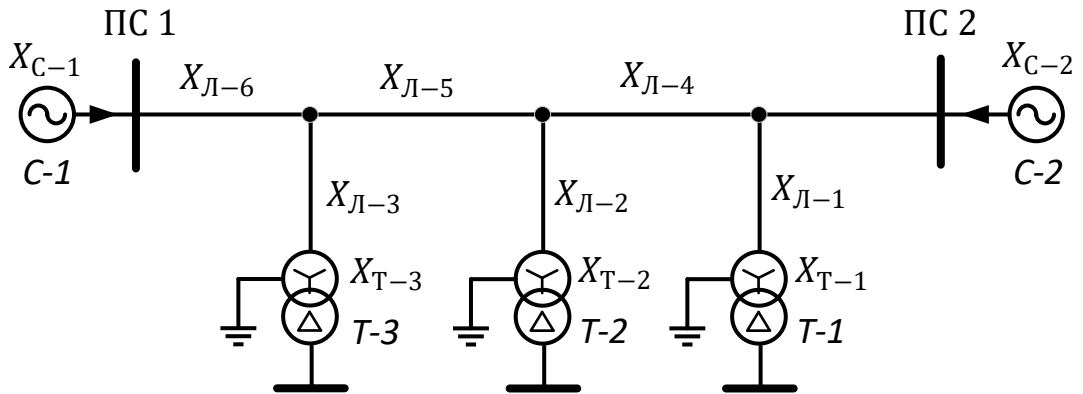


Рисунок Е.1. Схема сети для определения $X_{T \text{ экв}}^{(k)}$

Первичное сопротивление срабатывания ДО защиты, включенного на междуфазное напряжение и разность соответствующих фазных токов, по условию отстройки от БТН определяется на основании следующего выражения:

$$Z_{уст} \leq \frac{U_{1Г}^{(2)}}{2 \cdot I_{1Г}^{(2)}}, \quad (E.7)$$

где $Z_{уст}$ – первичное сопротивление срабатывания, выбранное по условию отстройки от БТН Т;

$U_{1Г}^{(2)}$ и $I_{1Г}^{(2)}$ – напряжение и ток основной гармоники при двухфазном включении.

На основании выражения (E.7) может быть получено следующее расчетное выражение:

$$Z_{уст} \leq C_6 \cdot (X_{C-1} + X_{T \text{ экв}}^{(1)}) - X_{C-1}, \quad (E.8)$$

где $X_{T \text{ экв}}^{(1)}$ – эквивалентное сопротивление Т (АТ) и линии, рассчитывается согласно выражению (E.4) или (E.6);

C_6 – коэффициент броска, принимается равным:

– для ЛЭП напряжением 110 кВ:

1,75 – для Т (АТ) из холоднокатаной стали;

2,65 – для Т (АТ) из горячекатанной стали;

– для ЛЭП напряжением 220 кВ:

1,55 – для Т (АТ) из холоднокатаной стали;

2,5 – для Т (АТ) из горячекатанной стали.

Следует отметить, что в технической литературе приведены рекомендации по отстройке от БТН для электромеханических реле тока и сопротивления. Применять данные рекомендации для отстройки аналогичных защит в составе МП устройств РЗ можно весьма приближенно, используя

коэффициенты запаса. Также отсутствуют рекомендации по отстройке от БТН для ДЗ от КЗ на землю.

Библиография

1. Требования к релейной защите и автоматике различных видов и ее функционированию в составе энергосистемы (утверждены приказом Минэнерго России от 10.07.2020 № 546).
2. Правила устройства электроустановок. Издание шестое (утверждены Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР 05.10.1979).
3. ГОСТ 12965-85 «Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. Технические условия» (утвержден постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.09.1985 № 3055).
4. ГОСТ 17544-85 «Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 220, 330, 500 и 750 кВ. Технические условия» (утвержден постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.09.1985 № 3054).
5. ГОСТ 52719-2007 «Трансформаторы силовые. Общие технические условия» (утвержден приказом Росстандарта от 09.04.2007 № 60-ст).
6. ГОСТ 7746-2015 «Трансформаторы тока. Общие технические условия» (утвержден приказом Росстандарта от 23.06.2016 № 674-ст).
7. Сборник распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем. Электротехническая часть. – 5-е изд., перераб. и доп. М.: ОАО ОРГРЭС, 2002.
8. Методические указания по обеспечению отстройки устройств релейной защиты от нагрузочных режимов работы энергосистем (утверждены распоряжением АО «СО ЕЭС» от 02.04.2019 № 46р).
9. 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).
10. Бургсдорф В.В. Открытые электрические дуги большой мощности // Электричество. – 1948. – № 10. С. 15-23.
11. Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957.
12. Фабрикант В.Л. Дистанционная защита. М.: Высшая школа, 1978.
13. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1992.
14. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007.

15. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. – М.: Энергоатомиздат, 1992.

16. Правила защиты устройств проводной связи железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линии электропередачи. Ч. 1. Общие положения, опасные влияния. М.–Л.: Энергия, 1966.