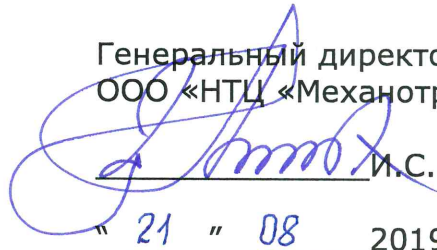


УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «НТЦ «Механотроника»


И.С.Шейкин

" 21 " 08 2019

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СТО ДИВГ-053-2019

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО - ФАЗНАЯ ЗАЩИТА
ЛИНИЙ 110 - 220 кВ**

**Расчёт уставок
Методические указания**

**Санкт-Петербург
2019**

Предисловие

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

В настоящем стандарте приведены методика и пример расчёта уставок дифференциально-фазной защиты линии 110-220 кВ.

Методика расчёта носит рекомендательный характер.

Сведения о стандарте

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

Исполнители:

Главный специалист отдела РЗА
СЕЛЬКОВ Е. А.

2 **УТВЕРЖДЁН** Генеральным директором ООО "НТЦ"Механотроника"

3 Код Общероссийского классификатора предприятий и организаций ОКПО - 23048570.

4 **ВВЕДЕН** взамен СТО ДИВГ-053-2012

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

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

Содержание

1 Область применения	1
2 Обозначения и сокращения	2
3 Общие сведения о ДФЗ линий.....	3
3.1 Принцип действия	3
3.2 Блокирующие ПО	4
3.3 Отключающие ПО.....	5
3.4 Орган манипуляции.....	6
3.5 Орган сравнения фаз	6
4 ДФЗ в блоках БМРЗ-ДФЗ.....	6
5 Расчет уставок при наличии питания со всех концов линии	8
5.1 Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов.....	8
5.2 Расчет уставок ПО сопротивления	9
5.3 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности	10
5.4 Расчет уставок ПО приращения тока прямой последовательности.....	11
5.5 Расчет уставок ПО приращения тока обратной последовательности.....	12
5.6 Расчет уставок ПО тока нулевой последовательности	14
5.7 Расчет коэффициентов ответвления	15
6 Особенности расчета уставок ПО на линиях с ответвлениями, при отсутствии комплектов защиты на концах без питания.....	18
6.1 Общие требования	18
6.2 Расчет уставок отключающих ПО	18
6.2.1 Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов	18
6.2.2 Расчет уставок ПО сопротивления	19
6.2.3 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности	20
6.2.4 Расчет уставок ПО тока нулевой последовательности	21
6.3 Расчет уставок дополнительных ПО.....	22
6.3.1 Расчет уставок ПО сопротивления	22
6.3.2 Расчет уставок направленного ПО нулевой последовательности.....	22
6.3.3 Расчет уставок направленного ПО обратной последовательности.....	23
7 Особенности расчета уставок ПО на линиях с ответвлениями, при установке комплектов защиты на концах без питания.....	25
7.1 Общие требования	25
7.2 Расчет уставок отключающих ПО	26
7.2.1 Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов	26
7.2.2 Расчет уставок ПО сопротивления	26
7.2.3 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности	27
7.3 Расчет уставок дополнительных ПО.....	28
7.3.1 Расчет уставок ПО сопротивления	28

7.3.2 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности	28
7.4 Расчет уставок защиты, установленной на ответвлении без источников питания	29
7.4.1 Расчет уставок ПО сопротивления	29
7.4.2 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности	30
8 Определение коэффициентов чувствительности ДФЗ	31
9 Расчет уставок органов манипуляции и сравнения фаз.....	33
9.1 Расчет уставок органа манипуляции	33
9.2 Расчет уставок ОСФ.....	35
10 Выбор выдержек времени	36
11 Пересчет уставок из первичных значений во вторичные значения	36
12 Примеры расчета уставок	37
12.1 Пример расчета уставок линии без ответвлений	37
12.2 Пример расчета уставок линии с ответвлением	45
Литература	69

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
Дифференциально-фазная защита
линий 110-220 кВ
Расчет уставок
Методические указания

Дата введения 2019-08-21

1 Область применения

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

В стандарте учтены особенности построения и функционирования блоков БМРЗ, а также опыт их эксплуатации.

При разработке настоящего стандарта использована практика, принятая в отечественной электроэнергетике.

В настоящем стандарте дан комплексный подход к выбору схемы и расчету уставок дифференциально-фазной защиты линий. В стандарте приведены подробные примеры расчета уставок дифференциально-фазной защиты линий.

Расчёты в стандарте выполнены в первичных значениях величин. Для ввода расчетных значений уставок в блок необходимо первичные значения величин перевести во вторичные.

Использование стандарта позволит проектным организациям и эксплуатирующим предприятиям наиболее полно реализовать все преимущества, которыми обладают блоки БМРЗ, выпускаемые ООО «НТЦ «Механотроника».

2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте приняты следующие обозначения и сокращения:

АПВ – автоматическое повторное включение;
БМРЗ – блок микропроцессорный релейной защиты;
БНЗ – быстродействующая направленная защита;
БРНМ – блокирующее реле направления мощности;
БТН – бросок тока намагничивания;
ВЧ – высокочастотный;
ДЗ – дистанционная защита;
ДЗМФ – дистанционная защита от междуфазных КЗ;
ДФЗ – дифференциально-фазная защита;
КЗ – короткое замыкание;
НВЧЗ – направленная высокочастотная защита;
о.е. – относительные единицы;
ОМ – орган манипуляции;
ОСФ – орган сравнения фаз;
ПК – полуконкомплект;
ПО – пусковой орган;
ПП – приёмопередатчик;
ПС – подстанция;
ПУЭ – правила устройства электроустановок;
РЗ – релейная защита;
РНМ – реле направления мощности;
РПН – регулирование напряжения под нагрузкой;
РРНМ – разрешающее реле направления мощности;
РС – реле сопротивления;
С – система;
ТЗНП – токовая защита нулевой последовательности;
ТН – трансформатор напряжения;
ТТ – трансформатор тока;
ЭДС – электродвижущая сила.

3 Общие сведения о ДФЗ линий

3.1 Принцип действия

3.1.1 Дифференциально-фазная защита является основной защитой линии с абсолютной селективностью. Принцип действия защиты основан на косвенном сравнении фаз токов с разных сторон линии. Для работы защиты необходимо несколько комплектов БМРЗ-ДФЗ, установленных на разных концах линии. Связь между комплектами осуществляется по высокочастотным или волоконно-оптическим каналам связи. Упрощенная структурная схема ДФЗ изображена на рисунке 3.1.

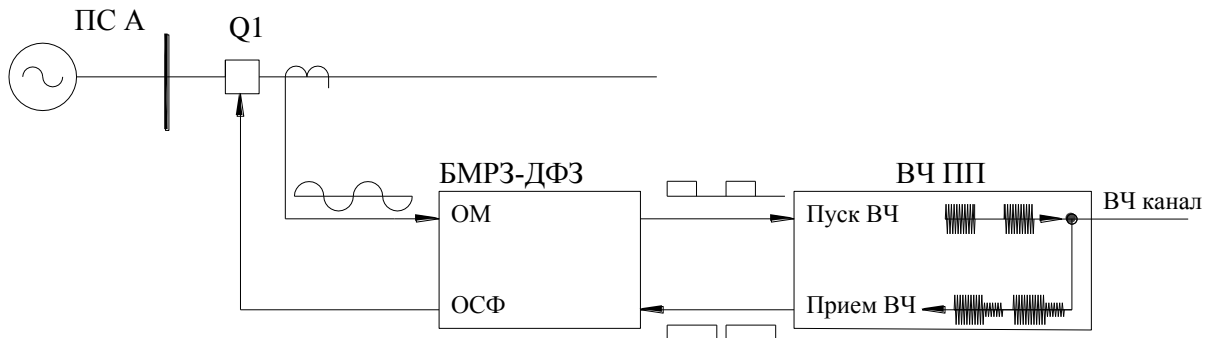


Рисунок 3.1 – Структурная схема ДФЗ

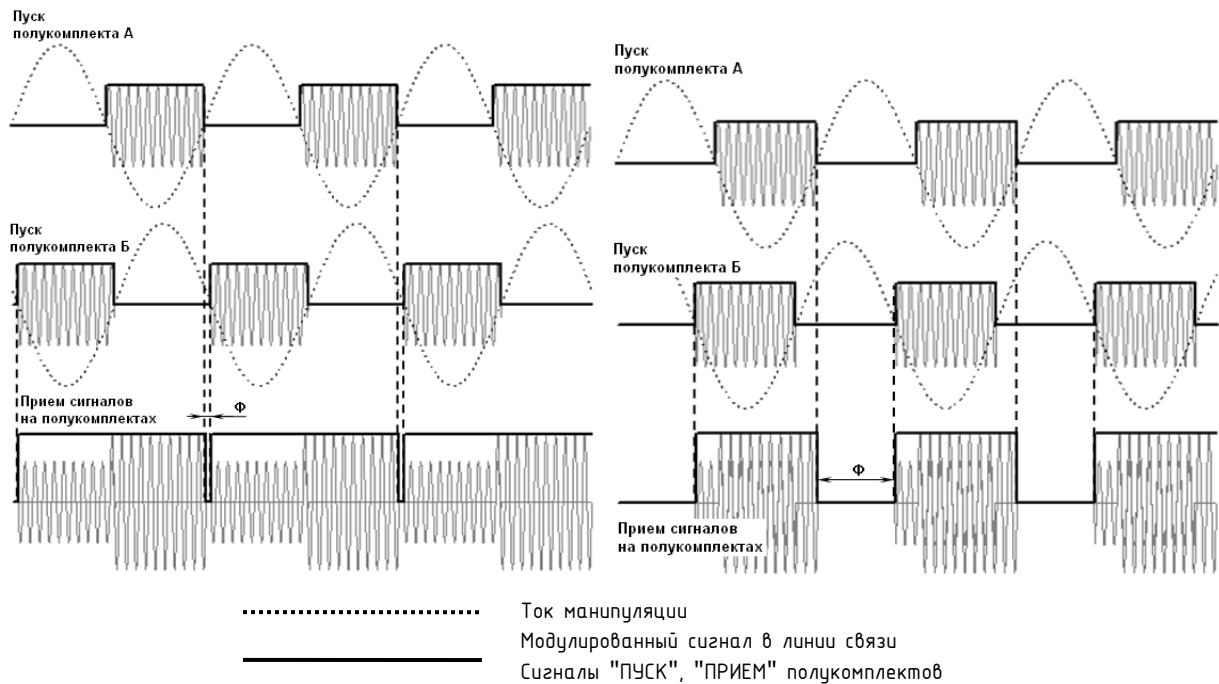
Для управления ВЧ приемопередатчиком используется ток манипуляции. Ток манипуляции формируется блоком суммированием тока прямой и обратной последовательности $I_{ман} = I_1 + k \cdot I_2$. При наличии положительной полуволны синусоиды тока манипуляции замыкается выходной контакт блока, который выполняет пуск ВЧ приемопередатчика.

ВЧ приемник принимает ВЧ сигналы своего передатчика и передатчика с противоположного конца линии. ВЧ приемопередатчик преобразует суммарный ВЧ сигнал в потенциальный, который передается в блок. Блок контролирует длительность пауз в сигнале и при превышении заданной уставки формирует команду отключения выключателя.

При внешних КЗ токи манипуляции на концах защищаемой линии электропередачи (ЛЭП) находятся в противофазе, пакеты ВЧ сигналов, посылаемые с разных концов ЛЭП, сдвинуты относительно друг друга на 180° , образуя тем самым сплошной сигнал в ВЧ канале. Орган сравнения фаз при этом не срабатывает.

При внутренних КЗ фазы токов манипуляции по концам защищаемой ЛЭП приблизительно равны. Огибающая ВЧ сигнала образует меандр, что приводит к срабатыванию органа сравнения фаз и отключению линии.

На рисунке 3.2 представлены диаграммы, поясняющие принцип действия ДФЗ.



а) внешнее КЗ

б) внутреннее КЗ

Рисунок 3.2 – Временные диаграммы токов короткого замыкания

По принципу действия ДФЗ не реагирует на нагрузку, но при отсутствии ПО, выполняющих пуск ВЧ приемопередатчика, любое повреждение канала связи приводит к срабатыванию защиты. Поэтому в ДФЗ применяют ПО, отстроенные от токов нагрузки.

К особенностям ДФЗ относится одновременный пуск передатчиков на всех концах линии при внешних КЗ. При удаленных внешних КЗ, когда ПО, выполняющие пуск ВЧ приемопередатчика, работают на пределе чувствительности, возможна работа ПО только с одного конца линии, что приведет к ложному срабатыванию ДФЗ. Для исключения этого ПО ДФЗ выполнены из двух групп, чувствительные, пускающие ВЧ передатчик, и грубые, управляющие цепью отключения.

ДФЗ может устанавливаться на линии с ответвлениями с силовыми трансформаторами без установленных на них комплектов БМРЗ-ДФЗ. В этом случае ДФЗ выполняется с пуском от ДЗ и ТЗНП, которые отстроены от КЗ за трансформаторами ответвлений.

ДФЗ может устанавливаться на линии с ответвлениями с силовыми трансформаторами с установленными на них комплектами НВЧЗ. В этом случае ДФЗ выполняется с пуском от ДЗ и ПО обратной последовательности, которые согласуются с блокирующими ПО комплекта, установленного на ответвлении.

3.2 Блокирующие ПО

3.2.1 Пуск ВЧ приемопередатчика происходит при срабатывании чувствительных блокирующих ПО. Токосые органы, реагирующие на разность фазных токов и ток обратной последовательности, обеспечивают чувствительность ко всем видам внешних и внутренних КЗ. Чувствительность к симметричным КЗ обеспечивается за счет

кратковременного срабатывания ПО обратной последовательности в начале переходного процесса.

При недостаточной чувствительности ПО обратной последовательности к однофазным КЗ на землю применяют ПО нулевой последовательности.

Сети с тяговой нагрузкой характеризуются значительными, медленно изменяющимися небалансами по току обратной последовательности. Для повышения чувствительности используются ПО приращения токов прямой и обратной последовательности.

При устранении внешнего КЗ возврат ПО с разных концов линии может произойти не одновременно, соответственно и работа ВЧ приемопередатчиков будет прекращена в различные моменты времени, что приведет к срабатыванию ДФЗ. Для исключения ложной работы в данном случае останов ВЧ приемопередатчиков осуществляется с замедлением на 0,6 с. Указанного времени достаточно для возврата отключающих ПО.

Дополнительно выдержка времени на возврат обеспечивает фиксацию кратковременного срабатывания ПО тока обратной последовательности и приращения токов прямой и обратной последовательности.

3.3 Отключающие ПО

3.3.1 Практически одновременно с блокирующими ПО срабатывают отключающие ПО. Отключающие ПО разрешают работу органа сравнения фаз. Состав отключающих ПО тот же, что и у блокирующих ПО.

Отключающие ПО имеют меньшую чувствительность, чем блокирующие ПО. Уставки ПО выбирают так, чтобы при срабатывании отключающих ПО гарантированно со всех концов линии срабатывали блокирующие ПО.

При симметричных КЗ токовые ПО могут не обеспечивать чувствительности при внутренних КЗ. Для обеспечения чувствительности фиксируется кратковременно возникающая несимметрия на 0,2 с. При этом фиксация выполняется с контролем срабатывания реле сопротивления. Реле сопротивления должно охватывать всю линию, допустимо выполнять с охватом начала координат.

Для предотвращения срабатывания ПО сопротивления при неисправности цепей напряжения, этот ПО срабатывает только при срабатывании ПО по току. При длительном срабатывании, более 0,2 с, данный ПО блокируется.

При работе защиты на линии с ответвлениями ДФЗ может неправильно сработать при КЗ за трансформатором ответвления, так как токи повреждений в этом случае будут направлены от шин подстанций. Отстройка от данных КЗ обеспечивается контролем пуска ступени ДЗМФ и ТЗНП. Ступень ДЗМФ должна быть отстроена от КЗ за трансформатором. ТЗНП должна быть отстроена от небаланса при междуфазных КЗ за трансформатором, выполняется с контролем от РРНМ и с блокировкой от броска тока намагничивания (БТН).

При работе защиты на линии с ответвлениями, на которых установлены блокирующие комплекты НВЧЗ, согласование с блокирующими ПО НВЧЗ обеспечивается дополнительными ПО сопротивления и обратной последовательности.

3.4 Орган манипуляции

3.4.1 Орган манипуляции выполняет формирование тока манипуляции, который представляет собой синусоидальный сигнал. Пуск ВЧ приемопередатчика осуществляется при положительной полярности тока манипуляции и запрещается при превышении порога чувствительности (рисунок 3.3).

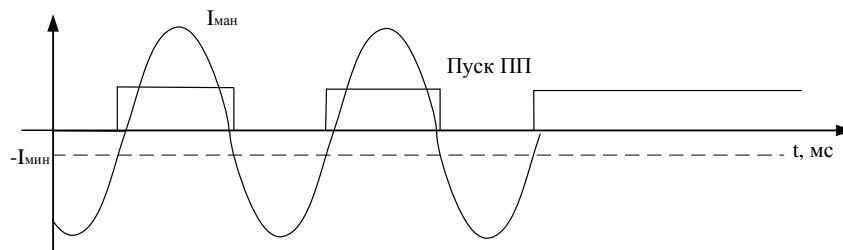


Рисунок 3.3 – Формирование сигнала пуска приемопередатчика

При отсутствии тока манипуляции формируется непрерывный сигнал пуска ВЧ приемопередатчика.

3.5 Орган сравнения фаз

3.5.1 ДФЗ формирует сигнал на отключение при срабатывании отключающих ПО и органа сравнения фаз. ОСФ определяет разность фаз токов сторон путем измерения угловой длительности паузы сигнала, полученного от ВЧ приемопередатчика. Принцип работы ОСФ показан на рисунке 3.2. При длительности паузы больше значения, заданного уставкой, ОСФ разрешает действовать защите на отключение линии.

Для исключения ложного срабатывания в начальный момент, когда пуск ВЧ приемопередатчика мог произойти только с одной стороны линии, подключение ОСФ осуществляется с замедлением.

При одностороннем отключении КЗ на параллельной линии возможен реверс мощности, сопровождающийся переориентацией ПО. При этом возможно кратковременное срабатывание ОСФ. Для исключения ложной работы защиты в описанном режиме в схеме защиты предусмотрена блокировка цепи отключения на время переориентации ПО.

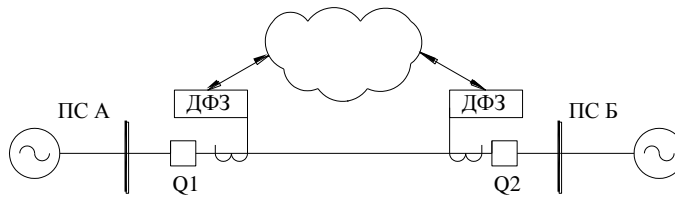
4 ДФЗ в блоках БМРЗ-ДФЗ

4.1 Блок БМРЗ-ДФЗ может выполнять дифференциально-фазную защиту следующих линий [3]:

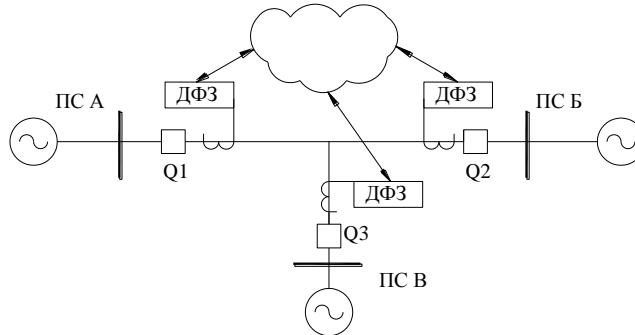
- линий с двухсторонним (рисунок 4.1 а)) и многосторонним питанием (рисунок 4.1 б)). Комплект защиты устанавливается на каждой стороне, где есть питание;

- линий с ответвлениями без источников питания (рисунок 4.1 в)). Отстройка от КЗ за ответвлениями выполняется с помощью комплекта

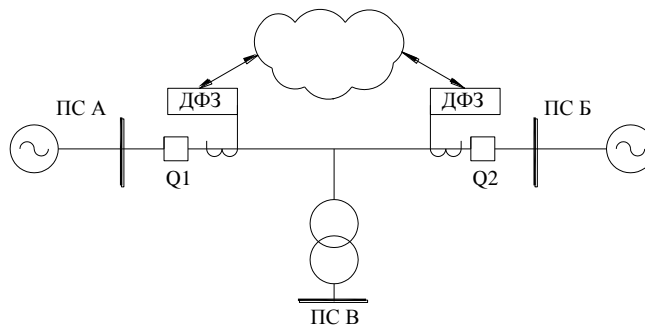
дополнительных ПО (см. 3.3). При невозможности отстройки от КЗ за ответвлениями на них должен быть установлен дополнительный комплект НВЧЗ (рисунок 4.1 г).



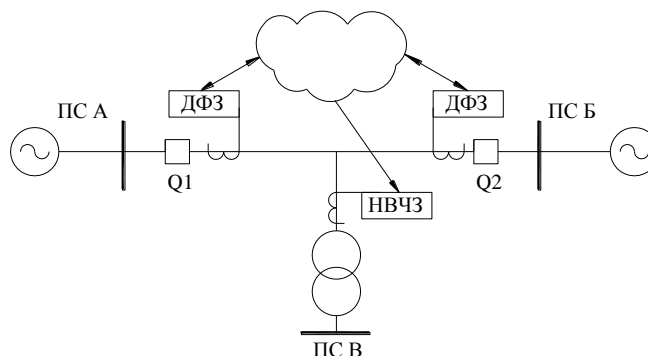
а) линия с двусторонним питанием



б) линия с источниками питания с нескольких сторон



в) линия с ответвлениями без установки комплекта защиты на ответвлении без источников питания



г) линия с ответвлениями с установкой комплекта защиты на ответвлении без источников питания

Рисунок 4.1 – Примеры защищаемых линий

5 Расчет уставок при наличии питания со всех концов линии

5.1 Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов

5.1.1 ПО, реагирующие на разность фазных токов, действуют при трехфазных КЗ с большим током, чувствительность к трехфазным КЗ обеспечивает отключающий ПО сопротивления.

Вместо ПО, реагирующих на разность фазных токов, могут быть применены ПО прямой последовательности.

5.1.2 В целях упрощения расчетов рекомендуется на всех концах линии использовать одинаковые значения первичных токов срабатывания ПО. Если при расчете для разных концов получились разные значения первичных токов срабатывания, то в качестве расчетного принимается наибольшее из полученных значений.

5.1.3 Первичный ток срабатывания блокирующего ПО $I_{Л\text{ блок.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от максимального рабочего тока, протекающего в месте установки комплекта по формуле

$$I_{Л\text{ блок.}} = \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (5.1)$$

где $k_{отс} = 1,1$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_B = 0,95$ – коэффициент возврата;

$I_{\text{раб.макс}}$ – первичный максимальный фазный рабочий ток в месте установки комплекта.

5.1.4 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{Л\text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, по формуле

$$I_{Л\text{ откл.}} = k_{отс} \cdot k_{отв} \cdot I_{Л\text{ блок.}}^{(П)}, \quad (5.2)$$

где $k_{отс} = 1,4$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{отв}$ – коэффициент ответвления (см. 5.7). Для двусторонних линий без ответвлений $k_{отв} = 1$;

$I_{Л\text{ блок.}}^{(П)}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, А.

5.1.5 Проверка чувствительности отключающего ПО $I_{Л\text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 8. Проверка чувствительности не выполняется при применении отключающего ПО сопротивления.

5.1.6 Для увеличения чувствительности к трехфазным КЗ возможно применение ПО, реагирующего на приращение тока прямой последовательности.

5.2 Расчет уставок ПО сопротивления

5.2.1 Отключающий ПО сопротивления обеспечивает продление сигналов срабатывания кратковременно срабатывающих отключающих ПО:

- ПО, реагирующих на приращение тока прямой и обратной последовательности;

- ПО, реагирующего на ток обратной последовательности. При возникновении трехфазного КЗ появляется несимметрия, которая приводит к кратковременному срабатыванию отключающего ПО обратной последовательности.

5.2.2 Отключающий ПО сопротивления должен быть отстроен от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме.

Активное сопротивление срабатывания ПО сопротивления рассчитывают по формуле

$$R_{\text{откл.}} < \frac{Z_{\text{раб.мин}}}{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot \left(\cos(\Phi_{\text{н}}) - \frac{\sin(\Phi_{\text{н}})}{\operatorname{tg}(\Phi_2)} \right) \quad (5.3)$$

где $Z_{\text{раб.мин}}$ - минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме, Ом;

$k_{\text{отс}} = 1,2$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{\text{в}} = 1,05$ - коэффициент возврата;

$\Phi_{\text{н}}$ - угол нагрузки в рассматриваемом режиме, °;

Φ_2 - уставка наклона стороны 2 ПО сопротивления, °.

5.2.3 Минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме $Z_{\text{раб.мин}}$, Ом, рассчитывают по формуле

$$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{раб.макс}}} \quad (5.4)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное междуфазное напряжение сети, В;

$I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный рабочий ток, А.

Выбор сопротивления срабатывания производится без учета условий самозапуска в связи с тем, что действие на отключение контролируется ОСФ.

5.2.4 Первичное полное сопротивление срабатывания $Z_{\text{откл.}}$, Ом, отключающего ПО сопротивления рекомендуется принимать не более $R_{\text{откл.}}$, в соответствии с формулой (5.5)

$$Z_{\text{откл.}} \leq R_{\text{откл.}} \quad (5.5)$$

где $R_{\text{откл.}}$ - активное сопротивление срабатывания ПО сопротивления, Ом.

5.2.5 ПО сопротивления рекомендуется выполнять с охватом начала координат для повышения надежности срабатывания при близких КЗ. Для этого уставку коэффициента смещения $K_{\text{см}}$ задают равной от 0,1 до 0,2.

5.2.6 Проверка чувствительности отключающего ПО $Z_{\text{откл.}}$ выполняется согласно разделу 8.

5.3 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности

5.3.1 ПО тока обратной последовательности является основным ПО ДФЗ, обеспечивающим чувствительность к несимметричным КЗ.

5.3.2 В целях упрощения расчетов рекомендуется на всех концах линии использовать одинаковые значения первичных токов срабатывания ПО. Если при расчете для разных концов получились разные значения первичных токов срабатывания, то в качестве расчетного принимается наибольшее из полученных значений.

5.3.3 Первичный ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2 \text{ блок.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от небаланса в нормальном режиме работы по формуле

$$I_{2 \text{ блок.}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot (I_{2 \text{ нб}} + I_{2 \text{ несим.}}), \quad (5.6)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{\text{в}} = 0,95$ – коэффициент возврата;

$I_{2 \text{ нб}}$ – первичный ток небаланса обратной последовательности, обусловленный погрешностями ТТ и погрешностью расчета тока обратной последовательности в блоке БМРЗ-ДФЗ, А;

$I_{2 \text{ несим.}}$ – первичный ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией в системе, А.

5.3.4 Первичный ток небаланса обратной последовательности рассчитывают по формуле

$$I_{2 \text{ нб}} = k_{2 \text{ нб}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (5.7)$$

где $k_{2 \text{ нб}} = 0,05$ – коэффициент небаланса по току обратной последовательности;

$I_{\text{раб.макс}}$ – первичный максимальный фазный рабочий ток в месте установки комплекта.

5.3.5 После расчёта значения уставки $I_{2 \text{ блок.}}$ необходимо пересчитать полученное значение во вторичное значение и убедиться в том, что оно допустимо для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ. Если значение уставки $I_{2 \text{ блок.}}$ находится ниже диапазона допустимых значений, необходимо в качестве уставки принять минимально возможное для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ значение.

5.3.6 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, по формуле

$$I_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{2 \text{ отв}} \cdot I_{2 \text{ блок.}}^{(\text{П})}, \quad (5.8)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{2 \text{ отв}}$ – коэффициент ответвления (см. 5.7). Для двусторонних линий без ответвлений $k_{2 \text{ отв}} = 1$;

$I_{2 \text{ блок}}^{(\Pi)}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, А.

5.3.7 Проверка отстройки ПО обратной последовательности от составляющей обратной последовательности, возникающей при включении линии под напряжение, производится только для длинных линий 220 кВ и выше.

Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение, по формуле

$$I_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2C \text{ уд.}} \cdot L, \quad (5.9)$$

где $k_{\text{отс}} = 2,0$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{2C \text{ уд.}}$ – удельный емкостной ток обратной последовательности при включении под напряжение одной или двух фаз линии, А/км. Удельный емкостной ток одноцепной линии 220 кВ принимают равным 0,13 А/км;

L – длина линии, км.

5.3.8 Проверка чувствительности отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 8.

5.3.9 Если отключающий ПО обратной последовательности не удовлетворяет требованиям чувствительности при КЗ на землю, то следует рассмотреть возможность использования ПО нулевой последовательности.

5.3.10 Если защищаемая линия характеризуется значительным током несимметрии $I_{2 \text{ несим.}}$, например из-за наличия тяговых подстанций, что не позволяет обеспечить требуемую чувствительность защиты к несимметричным КЗ, необходимо применить ПО, реагирующий на приращение тока обратной последовательности.

5.4 Расчет уставок ПО приращения тока прямой последовательности

5.4.1 ПО, реагирующий на приращение тока прямой последовательности, применяют при недостаточной чувствительности ПО разности фазных токов.

5.4.2 В целях упрощения расчетов рекомендуется на всех концах линии использовать одинаковые значения первичных токов срабатывания ПО. Если при расчете для разных концов получились разные значения первичных токов срабатывания, то в качестве расчетного принимается наибольшее из полученных значений.

5.4.3 Первичный ток срабатывания блокирующего ПО $dI_{1 \text{ блок.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от небаланса ПО в нормальном режиме работы

$$dI_{1 \text{ блок.}} = k_{\text{нб}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (5.10)$$

где $k_{нб} = 0,1$ – коэффициент небаланса по току прямой последовательности;

$I_{раб.макс}$ – первичный максимальный фазный рабочий ток в месте установки комплекта.

5.4.4 После расчёта значения уставки $dI_{1\text{ блок.}}$ необходимо пересчитать полученное значение во вторичное значение и убедиться в том, что оно допустимо для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ. Если значение уставки $dI_{1\text{ блок.с.р.}}$ находится ниже диапазона допустимых значений, необходимо в качестве уставки принять минимально возможное для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ значение.

5.4.5 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $dI_{1\text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО комплекта, установленного на противоположной стороне линии, по формуле

$$dI_{1\text{ откл.}} = k_{отс} \cdot k_{отв} \cdot dI_{1\text{ блок.}}^{(П)}, \quad (5.11)$$

где $k_{отс} = 2,0$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{отв}$ – коэффициент ответвления (см. 5.7). Для двусторонних линий без ответвлений $k_{отв} = 1$;

$dI_{1\text{ блок.}}^{(П)}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, А.

5.4.6 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $dI_{1\text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от емкостного тока линии по формуле

$$dI_{1\text{ откл.}} = k_{отс} \cdot I_{с\text{ уд.}} \cdot L, \quad (5.12)$$

где $k_{отс} = 2,0$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{с\text{ уд.}}$ – удельный емкостной ток обратной последовательности при включении под напряжение одной или двух фаз линии, А/км. Удельный емкостной ток одноцепной линии 220 кВ принимают равным 0,13 А/км;

L – длина линии, км.

5.4.7 Проверка чувствительности отключающего ПО $dI_{1\text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 8.

5.5 Расчет уставок ПО приращения тока обратной последовательности

5.5.1 ПО, реагирующий на приращение тока обратной последовательности, применяют при недостаточной чувствительности ПО обратной последовательности.

5.5.2 В целях упрощения расчетов рекомендуется на всех концах линии использовать одинаковые значения первичных токов срабатывания ПО. Если при расчете для разных концов получились разные значения первичных токов срабатывания, то в качестве расчетного принимается наибольшее из полученных значений.

5.5.3 Первичный ток срабатывания блокирующего ПО $dI_{2 \text{ блок.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от небаланса ПО в нормальном режиме работы

$$dI_{2 \text{ блок.}} = k_{\text{нб}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (5.13)$$

где $k_{\text{нб}} = 0,05$ – коэффициент небаланса по приращению тока обратной последовательности;

$I_{\text{раб.макс}}$ – первичный максимальный фазный рабочий ток в месте установки комплекта.

5.5.4 После расчёта значения уставки $dI_{2 \text{ блок.}}$ необходимо пересчитать полученное значение во вторичное значение и убедиться в том, что оно допустимо для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ. Если значение уставки $dI_{2 \text{ блок.}}$ находится ниже диапазона допустимых значений, необходимо в качестве уставки принять минимально возможное для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ значение.

5.5.5 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, по формуле

$$dI_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{2\text{отв}} \cdot dI_{2 \text{ блок.}}^{(\text{II})}, \quad (5.14)$$

где $k_{\text{отс}} = 2,0$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{2\text{отв}}$ – коэффициент ответвления (см. 5.7). Для двусторонних линий без ответвлений $k_{2\text{отв}} = 1$;

$dI_{2 \text{ блок.}}^{(\text{II})}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, А.

5.5.6 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $dI_{2 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение, по формуле

$$dI_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2C \text{ уд.}} \cdot L, \quad (5.15)$$

где $k_{\text{отс}} = 2,0$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{2C \text{ уд.}}$ – удельный емкостной ток обратной последовательности при включении под напряжение одной или двух фаз линии, А/км. Удельный емкостной ток одноцепной линии 220 кВ принимают равным 0,13 А/км;

L – длина линии, км.

5.5.7 Проверка чувствительности отключающего ПО $dI_{2 \text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 8.

5.6 Расчет уставок ПО тока нулевой последовательности

5.6.1 ПО нулевой последовательности применяют при недостаточной чувствительности ПО обратной последовательности к однофазным замыканиям на землю.

5.6.2 В целях упрощения расчетов рекомендуется на всех концах линии использовать одинаковые значения первичных токов срабатывания ПО. Если при расчете для разных концов получились разные значения первичных токов срабатывания, то в качестве расчетного принимается наибольшее из полученных значений.

5.6.3 Первичный ток срабатывания блокирующего ПО $I_{0 \text{ блок.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от небаланса в нормальном режиме работы по формуле

$$I_{0 \text{ блок.}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot (I_{0 \text{ нб}} + 3I_{0 \text{ несим.}}), \quad (5.16)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{\text{в}} = 0,95$ – коэффициент возврата;

$I_{0 \text{ нб}}$ – первичный ток небаланса нулевой последовательности, обусловленный погрешностями ТТ и погрешностью расчета тока нулевой последовательности в блоке БМРЗ-ДФЗ, А;

$3I_{0 \text{ несим.}}$ – первичный ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе, А.

5.6.4 Первичный ток небаланса нулевой последовательности $I_{0 \text{ нб}}$, А, рассчитывают по формуле

$$I_{0 \text{ нб}} = k_{0 \text{ нб}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (5.17)$$

где $k_{0 \text{ нб}} = 0,04$ – коэффициент небаланса по току нулевой последовательности;

$I_{\text{раб.макс}}$ – первичный максимальный фазный рабочий ток в месте установки комплекта.

5.6.5 После расчёта значения уставки $I_{0 \text{ блок.}}$ необходимо пересчитать полученное значение во вторичное значение и убедиться в том, что оно допустимо для ввода в блок БМРЗ. Если значение уставки $I_{0 \text{ блок.}}$ находится ниже диапазона допустимых значений, необходимо в качестве уставки принять минимально возможное для ввода в блок БМРЗ значение.

5.6.6 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{0 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, по формуле

$$I_{0 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{0 \text{ отв}} \cdot I_{0 \text{ блок.}}^{(\text{II})}, \quad (5.18)$$

где $k_{\text{отс}} = 2,0$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{0 \text{ отв}}$ – коэффициент ответвления (см.5.7). Для двусторонних линий без ответвлений принимают равным 1;

$I_{0 \text{ блок}}^{(\Pi)}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на противоположной стороне линии, А.

5.6.7 Проверка отстройки ПО нулевой последовательности от составляющей нулевой последовательности, возникающей при включении линии под напряжение, производится только для длинных линий 220 кВ и выше.

Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{0 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от составляющей нулевой последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение, по формуле

$$I_{0 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0C \text{ уд.}} \cdot L, \quad (5.19)$$

где $k_{\text{отс}} = 2,0$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$3I_{0C \text{ уд.}}$ – удельный емкостной ток нулевой последовательности при включении под напряжение одной или двух фаз линии, А/км. Удельный емкостной ток одноцепной линии 220 кВ принимают равным 0,3 А/км;

L – длина линии, км.

5.6.8 Проверка чувствительности отключающего ПО $I_{0 \text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 8.

5.7 Расчет коэффициентов ответвления

5.7.1 Значения коэффициентов ответвления $k_{\text{отв}}$, $k_{2\text{отв}}$ и $k_{0\text{отв}}$ определяются по условию обеспечения правильного действия ПО защиты при внешних повреждениях. При срабатывании в одном из комплектов отключающего ПО должен сработать блокирующий ПО хотя бы еще одного из комплектов, установленных на защищаемой линии.

При согласовании тока срабатывания отключающего ПО ПК2 $I_{\text{откл.}}^{(\text{ПК2})}$ (рисунок 5.1) с блокирующим ПО ПК1 $I_{\text{блок.}}^{(\text{ПК1})}$ коэффициент ответвления рассчитывают при внешнем КЗ в системе С2 по формуле

$$k_{\text{отв}} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_1 + I_3}{I_1}, \quad (5.20)$$

где I_2 – ток, протекающий в месте установки ПК2 при КЗ в системе С2, А;

I_1 – ток, протекающий в месте установки ПК1 при КЗ в системе С2, А;

I_3 – ток, протекающий в месте установки ПК3 при КЗ в системе С2, А.

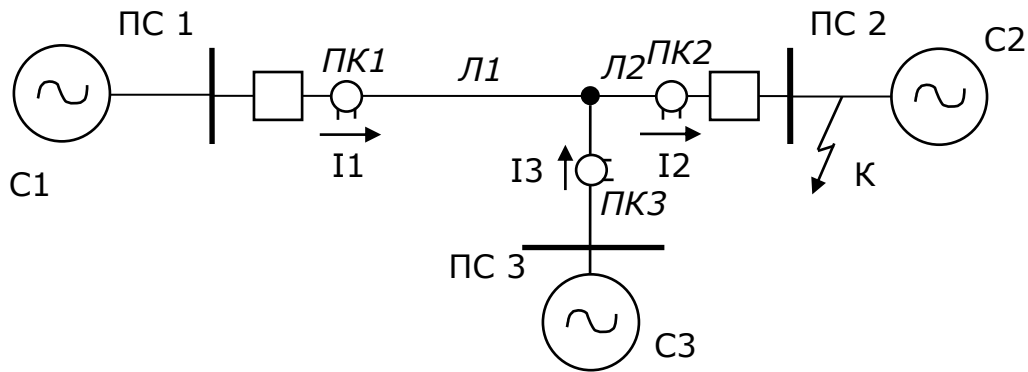


Рисунок 5.1 – Линия с трехсторонним питанием

В общем случае первичный ток срабатывания отключающего ПО ПК2 $I_{откл.}^{(ПК2)}$, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО ПК1 $I_{блок.}^{(ПК1)}$ по формуле

$$I_{откл.}^{(ПК2)} = k_{отс} \cdot k_{отв} \cdot I_{блок.}^{(ПК1)}, \quad (5.21)$$

где $k_{отс}$ = от 1,5 до 2,0 – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{отв}$ – коэффициент ответвления;

$I_{блок.}^{(ПК1)}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО ПК 1, А.

5.7.2 Для двухконцевых линий значения коэффициентов ответвления $k_{отв}$, $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$ равны 1.

5.7.3 Для многоконцевых линий, при наличии питания и установке комплектов защиты со всех концов, значения коэффициентов ответвления $k_{отв}$, $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$ рекомендуется принимать равными $n-1$, где n – количество концов линии. Указанное выражение справедливо только при одинаковых уставках блокирующих ПО.

В случае, если выбранные с учетом $k_{отв}$, $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$ уставки отключающих ПО не обеспечивают необходимое значение коэффициента чувствительности защиты, рекомендуется расчет коэффициентов ответвления согласно приложению III, приведенному в [2].

5.7.4 На линиях с ответвлениями без источников питания значения коэффициента $k_{отв}$ определяются для комплектов питающих концов при трехфазных КЗ в питающих системах.

В качестве расчетных рассматриваются следующие режимы:

а) удаленное КЗ в одной из питающих систем, когда через место установки одного из комплектов на питающем конце протекает ток, равный току срабатывания ПО, действующего на пуск приемопередатчика, а через место установки другого комплекта – ток, равный сумме тока срабатывания первого комплекта и максимального тока нагрузки концов без питания. Коэффициент ответвления $k_{отв}$ при этом определяется по формуле

$$k_{отв} = \frac{I_{л\ блок.} + \sqrt{3} \cdot I_{нагр.макс}}{I_{л\ блок.}}, \quad (5.22)$$

где $I_{л\text{ блок}}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО, А;

$I_{нагр.макс}$ – максимальный ток нагрузки в рассматриваемом режиме КЗ, А. В первом приближении может быть принят равным сумме максимальных рабочих токов концов без питания в нагрузочном режиме;

б) КЗ на шинах питающей подстанции в минимальном режиме работы системы с противоположного конца линии, в начальный момент КЗ нагрузка на концах без питания рассматривается как генерирующий источник.

Коэффициент ответвления $k_{отв}$ при этом определяется по формуле

$$k_{отв} = \frac{I_{КЗ\text{ мин}} + I_{дв.макс}}{I_{КЗ\text{ мин}}}, \quad (5.23)$$

где $I_{КЗ\text{ мин}}$ – первичный ток от системы с противоположного конца линии по отношению к точке КЗ, А;

$I_{дв.макс}$ – суммарный первичный ток от двигателей нагрузки на концах без питания, А.

В качестве расчетного принимается наибольшее из значений $k_{отв}$, полученных по формулам (5.22) и (5.23).

5.7.5 На линиях с ответвлениями без источников питания значения коэффициентов $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$ определяются для комплектов питающих концов при несимметричных КЗ в питающих системах. При этом расчетным может являться случай, когда $k_{0отв} > 2$, поскольку со стороны концов без питания может протекать ток нулевой последовательности (при заземленных нейтралях трансформаторов), больший, чем со стороны питающего конца, противоположного месту установки рассматриваемого комплекта.

Следует отметить, что $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$ получаются тем больше, чем больше суммарная мощность подстанции, со стороны которой отсутствует питание.

5.7.6 При отсутствии обходных связей и использовании дополнительных ПО сопротивления и РНМ нулевой последовательности (см. 7), $k_{отв}$, $k_{2отв}$ и $k_{0отв}$ допускается принимать равными 1.

Указанное допустимо, так как данные ПО обеспечивают несрабатывание комплекта при внешних КЗ в сети.

При наличии обходных связей рекомендуется расчет коэффициентов ответвления согласно приложению III, приведенному в [2].

6 Особенности расчета уставок ПО на линиях с ответвлениями, при отсутствии комплектов защиты на концах без питания

6.1 Общие требования

6.1.1 В случае, когда на концах без питания не устанавливаются комплекты защиты, необходимо учитывать дополнительные условия:

- защита не должна срабатывать при КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект ДФЗ;

- защита не должна срабатывать при одностороннем включении линии под напряжение в условиях броска тока намагничивания трансформаторов ответвлений, на которых не установлены комплекты ДФЗ;

- защита не должна срабатывать от токов двигателей нагрузки, подключенных к ответвлению, при КЗ на шинах подстанции, где установлен рассматриваемый комплект защиты. Линия включена только со стороны, где установлен рассматриваемый комплект.

6.1.2 Для решения задачи, поставленной в 6.1.1, дополнительно к условиям, указанным в разделе 5, необходима отстройка отключающих ПО от перечисленных режимов. При этом возможно использование ПО, реагирующих на разность фазных токов, ток обратной последовательности, ток прямой последовательности, ток нулевой последовательности. ПО, реагирующие на приращение токов прямой и обратной последовательности, не применяются. Дополнительные условия расчета уставок отключающих ПО приведены в 6.2.

При недостаточной чувствительности отключающих ПО рекомендуется использование дополнительных ПО сопротивления и реле направления мощности нулевой последовательности, включенных в цепь отключения. При этом уставки отключающих ПО рассчитывают согласно разделу 6, без учета условий, перечисленных в 6.1.1. Расчет уставок дополнительных ПО приведен в 6.3.

Если указанные меры не обеспечивают необходимое значение коэффициента чувствительности защиты, рекомендуется рассмотреть возможность установки на конце линии без питания дополнительного комплекта защиты.

6.2 Расчет уставок отключающих ПО

6.2.1 Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов

6.2.1.1 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{Л\text{откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от тока трехфазного КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, по формуле

$$I_{Л\text{откл.}} = k_{отс} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{КЗ\text{ макс}}, \quad (6.1)$$

где $k_{отс} = 1,4$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{КЗ \text{ макс}}$ – максимальный первичный ток в месте установки комплекта при трехфазном КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, А.

6.2.1.2 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{Л \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от тока, посылаемого двигателями нагрузки при трехфазных КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект защиты, по формуле

$$I_{Л \text{ откл.}} = k_{отс} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{дв. \text{ макс}}, \quad (6.2)$$

где $k_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{дв. \text{ макс}}$ – максимальный первичный ток в месте установки комплекта при трехфазном КЗ на шинах данной подстанции, посылаемый двигателями нагрузки концов линии, со стороны которых комплекты защит не установлены, А.

При расчете по формуле (6.2) обеспечивается также отстройка от режима самозапуска нагрузки при включении линии под напряжение.

6.2.1.3 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{Л \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение. Расчет броска тока намагничивания трансформатора см. в приложении VII [2]. Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты.

Выполнение условия отстройки от броска тока намагничивания при включении линии под напряжение проверяется при проведении наладочных работ и в условиях эксплуатации.

6.2.2 Расчет уставок ПО сопротивления

6.2.2.1 Первичное сопротивление срабатывания по условию отстройки от КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект ДФЗ, определяют по формуле

$$Z_{откл.} = k_{отс} \cdot \left(Z'_{1 \text{ линии}} + \frac{Z_{1отв} + Z_{1тр}}{k_T} \right) \quad (6.3)$$

где $k_{отс} = 0,85$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$Z'_{1 \text{ линии}}$ – первичное полное сопротивление защищаемой линии от места установки защиты до ответвления, Ом;

$Z_{1отв}$ – первичное полное сопротивление ответвления, Ом;

$Z_{1тр}$ – минимальное первичное сопротивление трансформатора с учетом РПН, Ом;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в трансформаторе, за которым рассматривается КЗ. При определении k_T в качестве расчетного рассматривается режим, когда линия включена с той питающей стороны, где установлен рассматриваемый комплект, при этих условиях $k_T = 1$.

6.2.2.2 Первичное сопротивление срабатывания $Z_{откл.}$ должно быть отстроено от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение. Расчет сопротивления трансформаторов в условиях броска тока намагничивания см. в приложении VII [2]. Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты.

Выполнение условия отстройки от броска тока намагничивания при включении линии под напряжение проверяется при проведении наладочных работ и в условиях эксплуатации.

6.2.2.3 ПО должен быть направленным для предотвращения срабатывания при КЗ на шинах за счет подпитки места КЗ от двигателей нагрузки. Для этого уставка коэффициента смещения $K_{см.}$ должна быть задана равной 0.

6.2.2.4 Проверка чувствительности отключающего ПО $Z_{откл.}$ выполняется согласно разделу 8.

6.2.3 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности

6.2.3.1 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 откл.}$, А, рассчитывают по условию отстройки от тока двухфазного КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, по формуле

$$I_{2 откл.} = k_{отс} \cdot I_{2 КЗ макс} , \quad (6.4)$$

где $k_{отс} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{2 КЗ макс}$ – максимальный первичный ток обратной последовательности в месте установки комплекта при двухфазном КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, А.

6.2.3.2 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 откл.}$, А, рассчитывают по условию отстройки от тока двухфазного КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект защиты, по формуле

$$I_{2 откл.} = k_{отс} \cdot I_{2 КЗ макс} , \quad (6.5)$$

где $k_{отс} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{2 КЗ макс}$ – максимальный первичный ток обратной последовательности в месте установки комплекта при двухфазном КЗ на шинах данной подстанции в режиме, когда линия включена только с рассматриваемой стороны, А.

6.2.3.3 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 откл.}$, А, рассчитывают по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение. Расчет броска тока намагничивания трансформатора см. в приложении VII [2]. Условие является расчетным

при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты.

Выполнение условия отстройки от броска тока намагничивания при включении линии под напряжение проверяется при проведении наладочных работ и в условиях эксплуатации.

6.2.3.4 Проверка чувствительности отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 8.

6.2.4 Расчет уставок ПО тока нулевой последовательности

6.2.4.1 Первичный ток срабатывания ПО нулевой последовательности $I_{0 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от небаланса при КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, по формуле

$$I_{0 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot f_{\text{расч}} \cdot I_{\text{КЗ макс}}, \quad (6.6)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,4$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$f_{\text{расч}} = 0,1$ – относительная токовая погрешность ТТ при КЗ;

$I_{\text{КЗ макс}}$ – максимальный первичный ток в месте установки комплекта при трехфазном КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, А.

6.2.4.2 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{0 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от тока однофазного КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект защиты, по формуле

$$I_{0 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ КЗ макс}}, \quad (6.7)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$3I_{0 \text{ КЗ макс}}$ – максимальный первичный ток нулевой последовательности в месте установки комплекта при однофазном КЗ на шинах данной подстанции в режиме, когда линия включена только с рассматриваемой стороны, А.

6.2.4.3 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{0 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение. Расчет броска тока намагничивания трансформатора см. в приложении VII [2].

Выполнение условия отстройки от броска тока намагничивания при включении линии под напряжение проверяется при проведении наладочных работ и в условиях эксплуатации.

6.2.4.4 Проверка чувствительности отключающего ПО $I_{0 \text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 8.

6.3 Расчет уставок дополнительных ПО

6.3.1 Расчет уставок ПО сопротивления

6.3.1.1 Первичное сопротивление срабатывания по условию отстройки от КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект ДФЗ, определяют по формуле

$$Z_{\text{отв.}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(Z'_{1\text{линии}} + \frac{Z_{1\text{отв.}} + Z_{1\text{тр}}}{k_{\text{т}}} \right) \quad (6.8)$$

где $k_{\text{отс}} = 0,85$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$Z'_{1\text{линии}}$ – первичное полное сопротивление защищаемой линии от места установки защиты до ответвления, Ом;

$Z_{1\text{отв.}}$ – первичное полное сопротивление ответвления, Ом;

$Z_{1\text{тр}}$ – минимальное первичное сопротивление трансформатора с учетом РПН, Ом;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в трансформаторе, за которым рассматривается КЗ. При определении $k_{\text{т}}$ в качестве расчетного рассматривается режим, когда линия включена с той питающей стороны, где установлен рассматриваемый комплект, при этих условиях $k_{\text{т}} = 1$.

6.3.1.2 Первичное сопротивление срабатывания $Z_{\text{отв}}$ должно быть отстроено от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение. Расчет сопротивления трансформаторов в условиях броска тока намагничивания см. в приложении VII [2]. Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты.

Выполнение условия отстройки от броска тока намагничивания при включении линии под напряжение проверяется при проведении наладочных работ и в условиях эксплуатации.

6.3.1.3 ПО должен быть направленным для предотвращения срабатывания при КЗ на шинах за счет подпитки места КЗ от двигателей нагрузки. Для этого уставка коэффициента смещения $K_{\text{см}}$ должна быть задана равной 0.

При установке ТН на линии, при включении линии под напряжение рекомендуется работа ПО в ненаправленном режиме для предотвращения отказа защиты.

6.3.1.4 Проверка чувствительности отключающего ПО $Z_{\text{отв}}$ выполняется согласно разделу 8.

6.3.2 Расчет уставок направленного ПО нулевой последовательности

6.3.2.1 Первичный ток срабатывания направленного ПО нулевой последовательности $I_{0\text{отв.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от небаланса при КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, по формуле

$$I_{0 \text{ отв.}} = k_{\text{отс}} \cdot f_{\text{расч}} \cdot I_{\text{КЗ макс}}, \quad (6.9)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,4$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$f_{\text{расч}} = 0,1$ – относительная токовая погрешность ТТ при КЗ;

$I_{\text{КЗ макс}}$ – максимальный первичный ток в месте установки комплекта при трехфазном КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, А.

6.3.2.2 Направленный ПО нулевой последовательности должен выполняться с блокировкой по второй гармонике тока нулевой последовательности для предотвращения срабатывания защиты:

- в переходных режимах в условиях насыщения трансформаторов тока;

- в условиях броска тока намагничивания силовых трансформаторов, возникающего при включении линии.

Уставку по содержанию второй гармонике в токе нулевой последовательности $K_{2г.}$ принимают равной 0,15. Длительность блокировки $T_{\text{блок. 2г.}}$ не должна превышать 1 с.

6.3.2.3 Направленный ПО нулевой последовательности отстроен от напряжения небаланса нормального режима и от напряжения небаланса, возникающего при трехфазных КЗ на шинах в месте установки защиты.

Вторичное напряжение срабатывания по напряжению нулевой последовательности принимают равным $U_{0 \text{ отв. с.р.}} = 5 \text{ В}$.

6.3.2.4 Направленный ПО нулевой последовательности должен выполняться с контролем от разрешающего РНМ.

Угол максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности рассчитывают по формуле

$$\Phi_{0 \text{ м.ч.}} = \arctg \left(\frac{X_{0 \text{ линии}}}{R_{0 \text{ линии}}} \right) \quad (6.10)$$

где $X_{0 \text{ линии}}$ – реактивное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии, Ом;

$R_{0 \text{ линии}}$ – активное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии, Ом.

6.3.2.5 Проверка чувствительности по току $I_{0 \text{ отв.}}$ и напряжению $U_{0 \text{ отв.}}$ выполняется согласно разделу 8.

При недостаточной чувствительности ПО по напряжению нулевой последовательности ПО должен выполняться ненаправленным. При этом ток срабатывания должен рассчитываться по условиям, приведенным в 6.2.4.

6.3.3 Расчет уставок направленного ПО обратной последовательности

6.3.3.1 Направленный ПО обратной последовательности применяют при установке на ответвлении блокирующего комплекта защиты (см. раздел 7). Ниже приведены условия расчета уставок этого ПО при

наличии на линии ответвлений без установленного дополнительного комплекта защиты.

6.3.3.2 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ отв.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от тока двухфазного КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, по формуле

$$I_{2 \text{ отв.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{ КЗ макс}}, \quad (6.11)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{2 \text{ КЗ макс}}$ – максимальный первичный ток обратной последовательности в месте установки комплекта при двухфазном КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, А.

6.3.3.3 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ отв.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение. Расчет броска тока намагничивания трансформатора см. в приложении VII [2]. Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты.

Выполнение условия отстройки от броска тока намагничивания при включении линии под напряжение проверяется при проведении наладочных работ и в условиях эксплуатации.

6.3.3.4 Направленный ПО обратной последовательности отстроен от напряжения небаланса нормального режима и от напряжения небаланса, возникающего при трехфазных КЗ на шинах в месте установки защиты.

Вторичное напряжение срабатывания по напряжению обратной последовательности принимают равным $U_{2 \text{ отв. с.р.}} = 3 \text{ В}$.

6.3.3.5 Направленный ПО обратной последовательности должен выполняться с контролем от разрешающего РНМ.

6.3.3.6 Проверка чувствительности по току $I_{2 \text{ отв.}}$ и напряжению $U_{2 \text{ отв.}}$ выполняется согласно разделу 8.

При недостаточной чувствительности ПО по напряжению обратной последовательности ПО должен выполняться ненаправленным. При этом ток срабатывания должен рассчитываться по условиям, приведенным в 6.2.4.

7 Особенности расчета уставок ПО на линиях с ответвлениями при установке комплектов защиты на концах без питания

7.1 Общие требования

7.1.1 В тех случаях, когда при отстройке от КЗ за трансформаторами ответвления без источников питания, защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, рассматривается возможность установки на ответвлении без источников питания блокирующих комплектов защиты. В указанных комплектах выводится цепь отключения, защита действует только на пуск передатчика при КЗ на ответвлении.

7.1.2 В случае, когда на ответвлении без источников питания устанавливаются комплекты защиты, необходимо учитывать дополнительные условия:

- защита не должна срабатывать при КЗ за трансформатором ответвления, на котором установлен блокирующий комплект. Предотвращение срабатывания защиты обеспечивается за счет формирования блокирующего сигнала от комплекта, установленного на ответвлении без источников питания;

- защита должна срабатывать при внутренних КЗ на линии без дополнительного замедления;

- защита не должна срабатывать при внешнем КЗ на шинах питающей подстанции от токов двигателей нагрузки, подключенных на ответвлении без источников питания.

7.1.3 Для решения задачи, поставленной в 7.1.2, возможна установка на ответвлении комплекта НВЧЗ, с выведенными отключающими ПО. При этом пуск приемопередатчика при КЗ на ответвлении выполняется от направленных ПО обратной последовательности и сопротивления. Данные ПО срабатывают при КЗ на ответвлении и не срабатывают при КЗ на линии и в питающей системе.

Для предотвращения срабатывания защиты от токов двигателей нагрузки при КЗ на шинах питающей подстанции на питающих концах линии необходима отстройка отключающих ПО. При этом возможно использование ПО, реагирующих на разность фазных токов, ток обратной последовательности, ток прямой последовательности, ток нулевой последовательности. ПО, реагирующие на приращение токов прямой и обратной последовательности, не применяются. Дополнительные условия расчета уставок отключающих ПО приведены в 7.2.

Для облегчения условий согласования возможно применение дополнительных ПО сопротивления и реле направления мощности обратной последовательности, включенных в цепь отключения. Расчет уставок дополнительных ПО приведен в 7.3.

7.2 Расчет уставок отключающих ПО

7.2.1 Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов

7.2.1.1 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{Л\text{откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от тока, посылаемого двигателями нагрузки при трехфазных КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект защиты, по формуле

$$I_{Л\text{откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{дв. макс}}, \quad (7.1)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{\text{дв. макс}}$ – максимальный первичный ток в месте установки комплекта при трехфазном КЗ на шинах данной подстанции, посылаемый двигателями нагрузки концов линии, со стороны которых отсутствует питание, А.

7.2.2 Расчет уставок ПО сопротивления

7.2.2.1 Первичное сопротивление срабатывания $Z_{\text{откл.}}$, Ом, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с ПО сопротивления комплекта, установленного на ответвлении без источников питания

$$Z_{\text{откл.}} \leq k_{\text{отс}} \cdot \left(Z'_{\text{1линии}} + \frac{Z_{\text{1отв.}} + k'_{\text{отс}} \cdot Z_{\text{с.з.}}^{\text{отв}}}{k_{\text{т}}} \right) \quad (7.2)$$

где $k_{\text{отс}} = 0,85$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$Z'_{\text{1линии}}$ – первичное полное сопротивление защищаемой линии от места установки защиты до ответвления, Ом;

$Z_{\text{1отв.}}$ – первичное полное сопротивление ответвления, Ом;

$k'_{\text{отс}} = 0,8$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$Z_{\text{с.з.}}^{\text{отв}}$ – первичное сопротивление срабатывания комплекта, установленного на ответвлении без источников питания, Ом;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в комплекте, с которым производится согласование. При определении $k_{\text{т}}$ в качестве расчетного рассматривается режим, когда линия включена с питающей стороны, где установлен рассматриваемый комплект, при этих условиях $k_{\text{т}} = 1$.

7.2.2.2 ПО должен быть направленным для предотвращения срабатывания при КЗ на шинах за счет подпитки места КЗ от двигателей нагрузки. Для этого уставка коэффициента смещения $K_{\text{см.}}$ должна быть задана равной 0.

7.2.2.3 Проверка чувствительности отключающего ПО $Z_{\text{откл.}}$ выполняется согласно разделу 8.

7.2.3 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности

7.2.3.1 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО комплекта, установленного на ответвлении, по формуле

$$I_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{2\text{отв}} \cdot I_{2 \text{ блок.}}^{(\text{II})}, \quad (7.3)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{2\text{отв}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в комплекте, с которым производится согласование. При определении $k_{2\text{отв}}$ в качестве расчетного рассматривается режим, когда линия включена с питающей стороны, где установлен рассматриваемый комплект, при этих условиях $k_{2\text{отв}} = 1$;

$I_{2 \text{ блок.}}^{(\text{II})}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на ответвлении, А.

7.2.3.2 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от тока двухфазного КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект защиты, по формуле

$$I_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{ КЗ макс}}, \quad (7.4)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{2 \text{ КЗ макс}}$ – максимальный первичный ток обратной последовательности в месте установки комплекта при двухфазном КЗ на шинах данной подстанции в режиме, когда линия включена только с рассматриваемой стороны, А.

7.2.3.3 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с напряжением срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на ответвлении, по формуле

$$I_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot \frac{U_{2 \text{ блок.}}^{(\text{II})}}{Z_{1c} + Z'_{1\text{линии}} + \frac{Z_{1\text{отв}}}{k_{\text{т}}}}, \quad (7.5)$$

где $k_{\text{отс}} = 2,0$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$U_{2 \text{ блок.}}^{(\text{II})}$ – первичное напряжение срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на ответвлении, А.

Z_{1c} – сопротивление прямой последовательности системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z'_{1\text{линии}}$ – первичное полное сопротивление защищаемой линии от места установки защиты до ответвления, Ом;

$Z_{1\text{отв}}$ – первичное полное сопротивление ответвления, Ом;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в комплекте, с которым производится согласование. При определении $k_{\text{т}}$ в качестве расчетного рассматривается

режим, когда линия включена с питающей стороны, где установлен рассматриваемый комплект, при этих условиях $k_T = 1$.

7.2.3.4 Проверка чувствительности отключающего ПО $I_{2 \text{откл}}$ выполняется согласно разделу 8.

7.3 Расчет уставок дополнительных ПО

7.3.1 Расчет уставок ПО сопротивления

7.3.1.1 Первичное сопротивление срабатывания $Z_{\text{откл}}$, Ом, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с ПО сопротивления комплекта, установленного на ответвлении без источников питания

$$Z_{\text{отв.}} \leq k_{\text{отс}} \cdot \left(Z'_{\text{линии}} + \frac{Z_{\text{1отв.}} + k'_{\text{отс}} \cdot Z_{\text{с.з.}}^{\text{отв.}}}{k_T} \right), \quad (7.6)$$

где $k_{\text{отс}} = 0,85$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$Z'_{\text{линии}}$ – первичное полное сопротивление защищаемой линии от места установки защиты до ответвления, Ом;

$Z_{\text{1отв.}}$ – первичное полное сопротивление ответвления, Ом;

$k'_{\text{отс}} = 0,8$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$Z_{\text{с.з.}}^{\text{отв.}}$ – первичное сопротивление срабатывания комплекта, установленного на ответвлении без источников питания, Ом;

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в комплекте, с которым производится согласование. При определении k_T в качестве расчетного рассматривается режим, когда линия включена с питающей стороны, где установлен рассматриваемый комплект, при этих условиях $k_T = 1$.

7.3.1.2 ПО должен быть направленным для предотвращения срабатывания при КЗ на шинах за счет подпитки места КЗ от двигателей нагрузки. Для этого уставка коэффициента смещения $K_{\text{см}}$ должна быть задана равной 0.

7.3.1.3 Проверка чувствительности отключающего ПО $Z_{\text{откл}}$ выполняется согласно разделу 8.

7.3.2 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности

7.3.2.1 Первичный ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{отв.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО комплекта, установленного на ответвлении, по формуле

$$I_{2 \text{отв.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{2\text{отв.}} \cdot I_{2 \text{блок.}}^{(\text{II})}, \quad (7.7)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{2\text{отв.}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в комплекте, с которым производится согласование. При определении $k_{2\text{отв.}}$ в качестве расчетного

рассматривается режим, когда линия включена с питающей стороны, где установлен рассматриваемый комплект, при этих условиях $k_{2\text{отв}} = 1$;

$I_{2\text{блок}}^{(\Pi)}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на ответвлении, А.

7.3.2.2 Направленный ПО обратной последовательности отстроен от напряжения небаланса нормального режима и от напряжения небаланса, возникающего при трехфазных КЗ на шинах в месте установки защиты.

Напряжение срабатывания отключающего ПО обратной последовательности рассчитывают по условию согласования с напряжением срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности комплекта, установленного на ответвлении.

Вторичное напряжение срабатывания по напряжению обратной последовательности принимают равным $U_{2\text{отв. с.р.}} = 3 \text{ В}$.

7.3.2.3 Направленный ПО обратной последовательности должен выполняться с контролем от разрешающего РНМ.

7.3.2.4 Проверка чувствительности по току $I_{2\text{отв.}}$ и напряжению $U_{2\text{отв.}}$ выполняется согласно разделу 8.

При недостаточной чувствительности ПО по напряжению обратной последовательности ПО должен выполняться ненаправленным. При этом ток срабатывания должен рассчитываться по условиям, приведенным в 7.2.3.

7.4 Расчет уставок защиты, установленной на ответвлении без источников питания

7.4.1 Расчет уставок ПО сопротивления

7.4.1.1 Блокирующий ПО сопротивления должен быть отстроен от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме.

Активное сопротивление срабатывания ПО сопротивления рассчитывают по формуле

$$R_{\text{блок.}} < \frac{Z_{\text{раб.мин}}}{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot \left(\cos(\Phi_{\text{н}}) - \frac{\sin(\Phi_{\text{н}})}{\text{tg}(\Phi_2)} \right), \quad (7.8)$$

где $Z_{\text{раб.мин}}$ – минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме, Ом;

$k_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{\text{в}} = 1,05$ – коэффициент возврата;

$\Phi_{\text{н}}$ – угол нагрузки в рассматриваемом режиме, °;

Φ_2 – уставка наклона стороны 2 реле сопротивления, °.

7.4.1.2 Минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме $Z_{\text{раб.мин}}$, Ом, рассчитывают по формуле

$$Z_{\text{раб.мин}} < \frac{0,9 \cdot U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{раб.макс}}}, \quad (7.9)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное междуфазное напряжение сети, В;

$I_{\text{раб.макс}}$ – максимальный рабочий ток, А.

7.4.1.3 Первичное полное сопротивление срабатывания $Z_{\text{блок}}$, Ом, блокирующего ПО сопротивления рекомендуется принимать не более $R_{\text{блок}}$ в соответствии с формулой

$$Z_{\text{блок}} \leq R_{\text{блок}} \quad (7.10)$$

где $R_{\text{откл}}$ – активное сопротивление срабатывания ПО сопротивления, Ом.

7.4.1.4 ПО должен быть направленным в сторону нагрузки для предотвращения срабатывания при КЗ на шинах за счет подпитки места КЗ от двигателей нагрузки. Для этого уставка коэффициента смещения $K_{\text{см}}$ должна быть задана равной 0.

7.4.2 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности

7.4.2.1 Первичный ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2 \text{ блок}}$, А рассчитывают по условию отстройки от небаланса в нормальном режиме работы по формуле

$$I_{2 \text{ блок}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot (I_{2 \text{ нб}} + I_{2 \text{ несим}}), \quad (7.11)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$k_{\text{в}} = 0,95$ – коэффициент возврата;

$I_{2 \text{ нб}}$ – первичный ток небаланса обратной последовательности, обусловленный погрешностями ТТ и погрешностью расчета тока обратной последовательности в блоке БМРЗ, А;

$I_{2 \text{ несим}}$ – первичный ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией в системе, А.

7.4.2.2 Первичный ток небаланса обратной последовательности рассчитывают по формуле

$$I_{2 \text{ нб}} = k_{2 \text{ нб}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (7.12)$$

где $k_{2 \text{ нб}} = 0,04$ – коэффициент небаланса по току обратной последовательности;

$I_{\text{раб.макс}}$ – первичный максимальный фазный рабочий ток в месте установки комплекта.

7.4.2.3 После расчёта значения уставки $I_{2 \text{ блок}}$ необходимо пересчитать полученное значение во вторичное значение и убедиться в том, что оно допустимо для ввода в блок БМРЗ. Если значение уставки $I_{2 \text{ блок}}$ находится ниже диапазона допустимых значений, необходимо в качестве уставки принять минимально возможное для ввода в блок БМРЗ значение.

7.4.2.4 Дополнительно направленный ПО обратной последовательности отстроен от напряжения небаланса нагрузочного режима.

Вторичное напряжение срабатывания по напряжению обратной последовательности принимают равным $U_{2 \text{ блок. с.р.}} = 2,0 \text{ В}$.

7.4.2.5 Угол максимальной чувствительности РНМ обратной последовательности рассчитывают по формуле

$$\Phi_{2 \text{ м.ч.}} = \arctg\left(\frac{X_1}{R_1}\right), \quad (7.13)$$

где X_1 – реактивное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии, Ом;

R_1 – активное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии, Ом.

8 Определение коэффициентов чувствительности ДФЗ

8.1 Проверка чувствительности ПО, действующих на отключение, производится для каждого комплекта при КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта конце линии.

8.2 Чувствительность отключающего ПО, реагирующего на разность фазных токов, определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ мин}}}{I_{\text{Л откл.}}/\sqrt{3}}, \quad (8.1)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ – минимальное значение тока трехфазного КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта конце линии, А;

$I_{\text{Л откл.}}$ – первичный ток срабатывания отключающего ПО, А.

Коэффициент чувствительности по приращению тока прямой последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

8.3 Чувствительность ПО сопротивления определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{откл.}}}{Z_{\text{1линии}}}, \quad (8.2)$$

где $Z_{\text{откл.}}$ – первичное сопротивление срабатывания ПО сопротивления, Ом;

$Z_{\text{1линии}}$ – первичное полное сопротивление прямой последовательности защищаемой линии, Ом.

Коэффициент чувствительности по сопротивлению должен быть $k_{\text{ч}} > 1,5$.

8.4 Чувствительность отключающего ПО обратной последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ мин}}}{I_{2 \text{ откл.}}}, \quad (8.3)$$

где $I_{2 \text{ КЗ мин}}$ – минимальное из значений токов обратной последовательности при однофазном и двухфазном КЗ на землю на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта конце линии, А. При использовании ПО тока нулевой последовательности расчётным является случай двухфазного КЗ;

$I_{2 \text{ откл.}}$ – первичный ток срабатывания отключающего ПО, А.

Коэффициент чувствительности по току обратной последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

8.5 Чувствительность отключающего ПО приращения тока обратной

последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ мин}} - I_{2 \text{ несим.}}}{dI_{2 \text{ откл.}}}, \quad (8.4)$$

где $I_{2 \text{ КЗ мин}}$ - минимальное из значений токов обратной последовательности при однофазном и двухфазном КЗ на землю на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта конце линии, А. При использовании ПО тока нулевой последовательности расчётным является случай двухфазного КЗ;

$I_{2 \text{ несим.}}$ - первичный ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией в системе, А;

$dI_{2 \text{ откл.}}$ - первичный ток срабатывания отключающего ПО, А.

Коэффициент чувствительности по приращению тока обратной последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

8.6 Чувствительность отключающего ПО приращения тока прямой последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ мин}} - I_{\text{раб. макс}}}{dI_{1 \text{ откл.}}}, \quad (8.5)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ - минимальное значение тока трехфазного КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта конце линии, А;

$I_{\text{раб. макс}}$ - первичный максимальный фазный рабочий ток в месте установки комплекта, А;

$dI_{1 \text{ откл.}}$ - первичный ток срабатывания отключающего ПО, А.

Коэффициент чувствительности по приращению тока прямой последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

8.7 Чувствительность отключающего ПО нулевой последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ мин}}}{I_{0 \text{ откл.}}}, \quad (8.6)$$

где $3I_{0 \text{ КЗ мин}}$ - минимальное из значений токов нулевой последовательности при однофазном и двухфазном КЗ на землю на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта конце линии, А;

$I_{0 \text{ откл.}}$ - первичный ток срабатывания отключающего ПО, А.

Коэффициент чувствительности по току нулевой последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

8.8 Коэффициент чувствительности по напряжению нулевой последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{3U_{0 \text{ КЗ мин}}}{U_{0 \text{ с.з.}}}, \quad (8.7)$$

где $U_{0 \text{ КЗ мин}}$ - минимально возможное напряжение нулевой последовательности в реле при КЗ на противоположном конце линии, В;

$U_{0 \text{ с.з.}}$ - напряжение срабатывания отключающего ПО, В.

Коэффициент чувствительности по напряжению нулевой последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

8.9 Коэффициент чувствительности по напряжению обратной последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{U_{2 \text{ КЗ мин}}}{U_{2 \text{ с.з.}}}, \quad (8.8)$$

где $U_{2 \text{ КЗ мин}}$ – минимально возможное напряжение обратной последовательности в реле при КЗ на противоположном конце линии, В;

$U_{2 \text{ с.з.}}$ – напряжение срабатывания отключающего ПО, В.

Коэффициент чувствительности по напряжению нулевой последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

9 Расчет уставок органов манипуляции и сравнения фаз

9.1 Расчет уставок органа манипуляции

9.1.1 Минимальный вторичный ток прямой последовательности, при котором обеспечивается надежная манипуляция $I_{1 \text{ мин}}$, А, рассчитывают по формуле

$$I_{1 \text{ мин}} = \min(K_{\text{ман}} \cdot I_{2 \text{ блок. с.р.}}, I_{\text{Л блок. с.р.}} / \sqrt{3}), \quad (9.1)$$

где $K_{\text{ман}}$ – коэффициент комбинированного фильтра органа манипуляции;

$I_{2 \text{ блок. с.р.}}$ – вторичный ток срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности, А;

$I_{\text{Л блок. с.р.}}$ – вторичный ток срабатывания блокирующего ПО, реагирующего на разность фазных токов, А.

9.1.2 Уставку коэффициента комбинированного фильтра органа манипуляции рекомендуется принимать $K_{\text{ман}} = 8$ с последующей проверкой выполнения условий, перечисленных в 9.1.3.

9.1.3 Для обеспечения надежного формирования сигнала тока манипуляции при повреждении на защищаемой линии должны выполняться следующие требования:

- при несимметричных КЗ на защищаемой линии должно осуществляться преимущественное сравнение фаз токов обратной последовательности;

- как при симметричных, так и при несимметричных КЗ на защищаемой линии должна обеспечиваться надежная манипуляция.

9.1.4 Для обеспечения преимущественного сравнения фаз токами обратной последовательности при несимметричных КЗ на защищаемой линии для каждого комплекта должны обеспечиваться условия в соответствии с формулами (9.2) и (9.3).

Проверку выполнения условия преимущественного сравнения фаз током обратной последовательности проводят при двухфазных КЗ на землю по формуле

$$K_{\text{ман}} \geq k_{\text{отс}} \cdot \frac{I_{1 \text{ расч}}^{(1,1)}}{I_{2 \text{ расч}}^{(1,1)}}, \quad (9.2)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{1 \text{ расч}}^{(1,1)}$, $I_{2 \text{ расч}}^{(1,1)}$ – расчетные первичные токи прямой и обратной последовательностей при двухфазном КЗ на землю на противоположном конце линии, А. Расчет токов следует выполнять с учетом влияния нагрузки.

Отношение $\frac{I_{1 \text{ расч}}}{I_{2 \text{ расч}}}$ имеет наибольшее значение при нахождении векторов $I_{1 \text{ расч}}$ и $I_{2 \text{ расч}}$ в противофазе, что при неучете нагрузки соответствует КЗ фаз В и С на землю. При учете нагрузки формула (9.2) дает расчетный запас.

Дополнительно проверку выполнения условия преимущественного сравнения фаз током обратной последовательности при однофазных КЗ на землю проводят по формуле

$$K_{\text{ман}} \geq k_{\text{отс}} \cdot \frac{I_{\text{нагр.}}}{I_{2 \text{ расч}}^{(1)}}, \quad (9.3)$$

$I_{\text{нагр.}}$ – максимальный первичный ток нагрузки, А.

$I_{2 \text{ расч}}^{(1)}$ – расчетный первичный ток обратной последовательности при однофазном КЗ на землю на противоположном конце линии, А. Расчет тока следует выполнять с учетом влияния нагрузки.

Формула (9.3) является расчетной только на длинных и сильно нагруженных линиях и при отношении $Z_{0\Sigma}/Z_{2\Sigma}$, существенно большем 1 ($Z_{0\Sigma}$, $Z_{2\Sigma}$ – результирующее сопротивление нулевой и обратной последовательности в месте повреждения).

9.1.5 Рассчитанную уставку $K_{\text{ман}}$ необходимо проверить по условию обеспечения надёжной манипуляции при несимметричных КЗ на защищаемой линии по формуле

$$K_{\text{ман}} \geq \frac{I_{1 \text{ мин}} \cdot n_{\text{T}} + I_{1 \text{ расч}}^{(1,1)}}{I_{2 \text{ расч}}^{(1,1)}}, \quad (9.4)$$

где $I_{1 \text{ мин}}$ – минимальный ток прямой последовательности, при котором обеспечивается надежная манипуляция, А.

n_{T} – коэффициент трансформации ТТ;

$I_{1 \text{ расч}}^{(1,1)}$, $I_{2 \text{ расч}}^{(1,1)}$ – расчетные первичные токи прямой и обратной последовательностей при двухфазном КЗ на землю на противоположном конце линии, А. Расчет токов следует выполнять с учетом влияния нагрузки.

9.1.6 В качестве уставки $K_{\text{ман}}$ принимают максимальное из полученных по формулам (9.2), (9.3) и (9.4) значение. Для всех комплектов необходимо выбрать одну (максимальную) уставку $K_{\text{ман}}$.

9.1.7 Рассчитанную уставку $K_{\text{ман}}$ необходимо проверить по условию обеспечения надёжной манипуляции при симметричных КЗ на защищаемой линии по формуле

$$K_{\text{ман}} \leq \frac{I_{\text{КЗ макс}} - I_{1 \text{ мин}} \cdot n_{\text{T}}}{I_{2 \text{ нб.}}}, \quad (9.5)$$

где $I_{\text{КЗ макс}}$ – максимальный ток прямой последовательности при трехфазном КЗ линии вблизи места установки комплекта, А;

$I_{1 \text{ мин}}$ – минимальный ток прямой последовательности, при котором обеспечивается надежная манипуляция (см. 9.1.1), А;

$I_{2 \text{ нб.}}$ – первичное значение тока небаланса обратной последовательности, обусловленное погрешностью ТТ, А.

Первичное значение тока небаланса обратной последовательности, обусловленное погрешностью ТТ определяют по формуле

$$I_{2 \text{ нб.}} = \frac{f_i}{3} \cdot I_{1 \text{ КЗ макс.}} \quad (9.6)$$

где f_i – токовая погрешность ТТ при токе, равном $I_{\text{КЗ макс.}}$;

$I_{\text{КЗ макс.}}$ – максимальный ток прямой последовательности при трехфазном КЗ линии вблизи места установки комплекта, А.

9.2 Расчет уставок ОСФ

9.2.1 Значение уставки угла блокировки определяется погрешностями ТТ, длиной линии и типом комплектов, установленных на противоположных концах.

Рекомендуемые уставки по углу блокировки $\Phi_{\text{бл с.з.}}$, °, приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Рекомендуемые уставки по углу блокировки

	Длина линии, км	Угол блокировки, °
1	$L < 60$	50
2	$60 \leq L < 150$	60
3	$L \geq 150$	65

9.2.2 При установке разнотипных комплектов на концах линии уставку по углу блокировки $\Phi_{\text{бл с.з.}}$ рекомендуется принимать 65° и более.

9.2.3 Уставку по углу блокировки необходимо выбирать одинаковой для всех комплектов.

9.2.4 При вводе уставки угла блокировки в блок необходимо учитывать, что приемопередатчики имеют перекрытие импульсов манипуляции и для обеспечения расчетного угла блокировки $\Phi_{\text{бл с.з.}}$ уставку угла блокировки $\Phi_{\text{бл с.р.}}$, °, рассчитывают по формуле

$$\Phi_{\text{бл с.р.}} = \Phi_{\text{бл с.з.}} - \Phi_{\text{перекр.}} \quad (9.7)$$

где $\Phi_{\text{бл с.з.}}$ – расчетный угол блокировки, °;

$\Phi_{\text{перекр.}}$ – перекрытие импульсов манипуляции, °. Зависит от настроек приемопередатчиков, определяется при проведении пусконаладочных работ. В таблице 9.2 приведены углы перекрытия импульсов для некоторых типов приемопередатчиков.

Таблица 9.2 Углы перекрытия импульсов манипуляции

Приемопередатчик	Настройки	$\Phi_{\text{перекр.}}$, °
ПВЗУ-Е	Тфр=6, Тсп=24	19
ПВЗУ-ЕК	Тфр=73, Тсп=85	11

10 Выбор выдержек времени

10.1 Выдержку времени срабатывания отключающих ПО $T_{откл.ПО}$ при применении однопольных защит рекомендуется принимать равной 0 с.

При использовании на концах линии ДФЗ различных производителей, а также при наличии большой задержки по времени передачи сигнала в канале связи целесообразно рассмотреть возможность применения выдержки времени $T_{откл.ПО}$, равной от 0,01 до 0,02 с.

10.2 Выдержку времени срабатывания $T_{ДФЗ}$ принимают равной 0 с.

10.3 Уставку фиксации внешнего КЗ $T_{рев.}$ блокировки при реверсе мощности принимают равной 0,04 с. Уставку длительности блокировки после фиксации внешнего КЗ $T_{бл.рев.}$ принимают равной 0,05 с.

11 Пересчет уставок из первичных значений во вторичные значения

11.1 Блоки БМРЗ-ДФЗ подключают к первичной сети через ТТ и ТН. Измеренные вторичные токи и напряжения сравниваются с уставками срабатывания. Для работы блока БМРЗ-ДФЗ первичные значения, полученные при расчете уставок, необходимо пересчитать во вторичные значения.

11.2 Пересчет тока, выраженного в первичных значениях, во вторичные значения выполняют по формуле

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_T}, \quad (11.1)$$

где $I_{с.з.}$ – ток срабатывания защиты, выраженный в первичных значениях, А;

n_T – коэффициент трансформации ТТ.

11.3 Пересчет напряжения, выраженного в первичных значениях, во вторичные значения выполняют по формуле

$$U_{с.р.} = \frac{U_{с.з.}}{n_H}, \quad (11.2)$$

где $U_{с.з.}$ – напряжение срабатывания защиты, выраженное в первичных значениях, В;

n_H – коэффициент трансформации ТН.

11.4 Пересчет сопротивления, выраженного в первичных значениях, во вторичные значения выполняют по формуле

$$Z_{с.р.} = Z_{с.з.} \cdot \frac{n_T}{n_H}, \quad (11.3)$$

где $Z_{с.з.}$ – первичное сопротивление срабатывания защиты, Ом;

n_T – коэффициент трансформации ТТ;

n_H – коэффициент трансформации ТН.

12 Примеры расчета уставок

12.1 Пример расчета уставок линии без ответвлений

12.1.1 Исходные данные

Первичная схема сети приведена на рисунке 12.1.

$U_{ном} = 220$ кВ – номинальное напряжение сети.



Рисунок 12.1 – Линия с двусторонним питанием

Параметры систем приведены в таблице 12.1.

Таблица 12.1 Параметры системы

Параметр	Описание	Система 1	Система 2
X_{1c}	Реактивное сопротивление прямой последовательности системы, Ом;	25,6	4,3
R_{1c}	Активное сопротивление прямой последовательности системы, Ом;	4,85	0,4
X_{0c}	Реактивное сопротивление нулевой последовательности системы, Ом	53,3	4,0
R_{0c}	Активное сопротивление нулевой последовательности системы, Ом	10,6	0,49

Параметры линии:

$X_{1уд} = 0,42$ Ом/км – удельное реактивное сопротивление прямой последовательности;

$R_{1уд} = 0,08$ Ом/км – удельное активное сопротивление прямой последовательности;

$X_{0уд} = 1,15$ Ом/км – удельное реактивное сопротивление нулевой последовательности;

$R_{0уд} = 0,34$ Ом/км – удельное активное сопротивление нулевой последовательности;

$L = 70$ км – длина линии;

$I_{раб.макс} = 420$ А – максимальный рабочий ток линии;

$\Phi_{раб.макс} = 30^\circ$ – максимальный угол нагрузки;

$I_{2 несим.} = 10$ А – первичный ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией в системе.

Трансформаторы тока ТТ1 и ТТ2:

- $I_{ТТ 1 ном} = 1200$ А – номинальный первичный ток;

- $I_{ТТ 2 ном} = 1$ А – номинальный вторичный ток;

- $n_T = 1200$ – номинальный коэффициент трансформации.

Трансформаторы напряжения:

- $n_H = 2200$ – номинальный коэффициент трансформации.

Релейная защита

Дифференциально-фазная защита линии выполнена на блоках БМРЗ-ДФЗ-11, приемопередатчики ПВЗУ-Е.

12.1.2 Расчет токов КЗ

12.1.2.1 Расчет токов КЗ выполняется по имеющимся исходным данным при помощи программного обеспечения. Ниже приведены результаты расчета токов КЗ.

12.1.2.2 Результаты расчета токов КЗ, используемые для расчета уставок ПК 1:

- проверка чувствительности отключающих ПО:

$I_{1\text{ КЗ}}^{(3)} = 2480$ А - минимальный ток внутреннего трехфазного КЗ у шин ПС2, протекающий через ТТ1;

$I_{2\text{ КЗ}}^{(1)} = 830$ А - минимальный ток обратной последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС2, протекающий через ТТ1.

- расчет уставок органа манипуляции:

$I_{2\text{ КЗ}}^{(1,1)} = 822$ А - минимальный ток обратной последовательности при внутреннем двухфазном КЗ на землю у шин ПС2, протекающий через ТТ1;

$I_{2\text{ КЗ}}^{(1,1)} = 1670$ А - ток прямой последовательности при внутреннем двухфазном КЗ на землю у шин ПС2, протекающий через ТТ1;

$I_{1\text{ КЗ}}^{(3)} = 5295$ А - максимальный ток внутреннего трехфазного КЗ у шин ПС1, протекающий через ТТ1.

12.1.2.3 Результаты расчета токов КЗ, используемые для расчета уставок ПК 2:

- проверка чувствительности отключающих ПО:

$I_{1\text{ КЗ}}^{(3)} = 4073$ А - минимальный ток внутреннего трехфазного КЗ у шин ПС1, протекающий через ТТ2;

$I_{2\text{ КЗ}}^{(1)} = 946$ А - минимальный ток обратной последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС1, протекающий через ТТ2.

- расчет уставок органа манипуляции:

$I_{2\text{ КЗ}}^{(1,1)} = 1663$ А - минимальный ток обратной последовательности при внутреннем двухфазном КЗ на землю у шин ПС1, протекающий через ТТ2;

$I_{2\text{ КЗ}}^{(1,1)} = 2430$ А - ток прямой последовательности при внутреннем двухфазном КЗ на землю у шин ПС1, протекающий через ТТ2;

$I_{1\text{ КЗ}}^{(3)} = 32\ 135$ А - максимальный ток внутреннего трехфазного КЗ у шин ПС2, протекающий через ТТ2.

12.1.3 Расчет уставок

12.1.3.1 В таблице 12.2 приведен расчет уставок ДФЗ линии без ответвлений.

Таблица 12.2 Расчет уставок ДФЗ линии без ответвлений

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов				
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{Л \text{ блок. с.р.}}, \text{ A}$	Отстройка от максимального рабочего тока	(5.1)	$I_{Л \text{ блок.}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot \sqrt{3} \cdot 420 = 842$	$I_{Л \text{ блок.}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot \sqrt{3} \cdot 420 = 842$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{Л \text{ блок. с.р.}} = \frac{842}{1200} = 0,7$	$I_{Л \text{ блок. с.р.}} = \frac{842}{1200} = 0,7$
	Диапазон значений От 0,07 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{Л \text{ откл. с.р.}}, \text{ A}$	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.2)	$I_{Л \text{ откл.}} = 1,4 \cdot 1 \cdot 842 = 1179$	$I_{Л \text{ откл.}} = 1,4 \cdot 1 \cdot 842 = 1179$
	Чувствительность отключающего ПО	(8.1)	$k_{ч} = \frac{2480}{1179/\sqrt{3}} = 3,6$	$k_{ч} = \frac{4073}{1179/\sqrt{3}} = 6,0$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{Л \text{ откл. с.р.}} = \frac{1179}{1200} = 0,98$	$I_{Л \text{ откл. с.р.}} = \frac{1179}{1200} = 0,98$
	Диапазон значений От 0,07 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Расчет уставок ПО сопротивления				
Минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме $Z_{\text{раб.мин}}, \text{ Ом}$	-	(5.4)	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$
Активное сопротивление срабатывания ПО сопротивления $R_{\text{откл.с.р.}}, \text{ Ом}$	Отстройка от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме	(5.3)	$R_{\text{откл.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$	$R_{\text{откл.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$

Продолжение таблицы 12.2

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
	Вторичное значение	(11.3)	$R_{\text{откл. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$R_{\text{откл. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Полное сопротивление срабатывания ПО сопротивления $Z_{\text{откл.с.р.}}$ Ом	-	(5.5)	$Z_{\text{откл.}} = 168$	$Z_{\text{откл.}} = 168$
	Вторичное значение	(11.3)	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
	Чувствительность отключающего ПО	(8.2)	$k_{\text{ч}} = \frac{168}{29,6} = 5,7$	$k_{\text{ч}} = \frac{168}{29,6} = 5,7$
Расчет уставок ПО обратной последовательности				
Первичный ток небаланса обратной последовательности	-	(5.7)	$I_{2 \text{ нб}} = 0,05 \cdot 420 = 21$	$I_{2 \text{ нб}} = 0,05 \cdot 420 = 21$
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2 \text{ блок с.р.}}$ А	Отстройка от небаланса в нормальном режиме работы	(5.6)	$I_{2 \text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$	$I_{2 \text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{2 \text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$	$I_{2 \text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А		$I_{2 \text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2 \text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60 \text{ А}$	$I_{2 \text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2 \text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60 \text{ А}$
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.с.р.}}$ А	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.8)	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 60 = 90$	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 60 = 90$
	Отстройка от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии	(5.9)	$I_{2 \text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$	$I_{2 \text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$

Продолжение таблицы 12.2

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
	Вторичное значение	(11.1)	$I_2 \text{ откл.с.р.} = \frac{90}{1200} = 0,08$	$I_2 \text{ откл.с.р.} = \frac{90}{1200} = 0,08$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
	Чувствительность отключающего ПО	(8.3)	$k_{\text{ч}} = \frac{822}{90} = 9,1$	$k_{\text{ч}} = \frac{946}{90} = 10,5$
Расчет уставок органа манипуляции				
Минимальный вторичный ток прямой последовательности, при котором обеспечивается надежная манипуляция, $I_{1 \text{ мин}}, \text{ А}$	Обеспечение манипуляции при срабатывании блокирующих ПО	(9.1)	$I_{1 \text{ мин}} = \min\left(8 \cdot 0,05; \frac{0,7}{\sqrt{3}}\right) = 0,4$	$I_{1 \text{ мин}} = \min\left(8 \cdot 0,05; \frac{0,7}{\sqrt{3}}\right) = 0,4$
Коэффициента фильтра тока манипуляции $K_{\text{ман}}$	Рекомендуемое значение	9.1.2	$K_{\text{ман}} = 8$	$K_{\text{ман}} = 8$
	Преимущественное сравнение фаз током обратной последовательности при двухфазных КЗ на землю	(9.2)	$K_{\text{ман}} \geq 1,5 \cdot \frac{1670}{822} = 3,0$	$K_{\text{ман}} \geq 1,5 \cdot \frac{2430}{1663} = 2,2$
	Преимущественное сравнение фаз током обратной последовательности при однофазных КЗ на землю	(9.3)	$K_{\text{ман}} \geq 1,5 \cdot \frac{420}{830} = 0,75$	$K_{\text{ман}} \geq 1,5 \cdot \frac{420}{946} = 0,67$
	Обеспечение надёжной манипуляции при несимметричных КЗ на защищаемой линии	(9.4)	$K_{\text{ман}} \geq \frac{0,4 \cdot 1200 + 1670}{822} = 2,6$	$K_{\text{ман}} \geq \frac{0,4 \cdot 1200 + 2430}{1663} = 1,75$

Продолжение таблицы 12.2

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
	Обеспечение надёжной манипуляции при симметричных КЗ	(9.5)	$K_{\text{ман}} \leq \frac{5295 - 0,4 \cdot 1200}{177} = 27$	$K_{\text{ман}} \leq \frac{32135 - 0,4 \cdot 1200}{3214} = 9,8$
Первичное значение тока небаланса обратной последовательности $I_{2 \text{ нб. } l}$, А	-	(9.6)	$I_{2 \text{ нб. }} = \frac{0,1}{3} \cdot 5295 = 177$	$I_{2 \text{ нб. }} = \frac{0,3}{3} \cdot 32135 = 3214$
Расчет уставок ОСФ				
Угол блокировки $\Phi_{\text{бл с.з. } l}$ °	-	Таблица 9.1	$\Phi_{\text{бл с.з. }} = 60$	$\Phi_{\text{бл с.з. }} = 60$
Уставка угла блокировки $\Phi_{\text{бл с.р. } l}$ °	Учет угла перекрытия импульсов манипуляции	(9.7)	$\Phi_{\text{бл с.р. }} = 60 - 19 = 41$	$\Phi_{\text{бл с.р. }} = 60 - 19 = 41$
Выбор выдержек времени				
Выдержка времени отключающих ПО, с	-	10.1	$T_{\text{откл.ПО}} = 0$	
Выдержку времени срабатывания ДФЗ, с	-	10.2	$T_{\text{ДФЗ}} = 0$	
Выдержка времени фиксации внешнего КЗ, с	-	10.3	$T_{\text{рев.}} = 0,04$	
Выдержка времени блокировки ДФЗ после внешнего КЗ, с	-	10.3	$T_{\text{бл.рев.}} = 0,05$	

12.1.4 Перечень уставок для ввода в блок

12.1.4.1 Уставки, вводимые в блок БМРЗ-ДФЗ-11, приведены в таблице 12.3.

Таблица 12.3 – Уставки для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ-11

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки
Коэффициенты трансформации, преобразователи			
Ктр ТТ	Коэффициент трансформации фазных ТТ	n_T	1200
Ктр ТНф	Коэффициент трансформации фазных ТН	n_H	2200
ПО ДФЗ			
S921-1	Ввод ПО разности фазных токов	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ РТ бл. Iл	Ток срабатывания блокирующего ПО по разности фазных токов, А	$I_{л \text{ блок.с.р.}}$	0,7
ДФЗ РТ откл. Iл	Ток срабатывания отключающего ПО по разности фазных токов, А	$I_{л \text{ откл.с.р.}}$	0,98
S921-4	Ввод ПО обратной последовательности	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ РТ бл. I2	Ток срабатывания блокирующего ПО по обратной последовательности, А	$I_2 \text{ блок.с.р.}$	0,05
ДФЗ РТ откл. I2	Ток срабатывания отключающего ПО по обратной последовательности, А	$I_2 \text{ откл.с.р.}$	0,08
ДФЗ РС откл. тип	Тип характеристики отключающего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2
ДФЗ РС откл. Zср	Полное сопротивление срабатывания отключающего ПО сопротивления, Ом	$Z_{\text{откл.с.р.}}$	91,7
ДФЗ РС откл. Фл	Угол линии отключающего ПО сопротивления, °	Φ_l	80
ДФЗ РС откл. Ф2	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики отключающего ПО, °	-	70
ДФЗ РС откл. Rср	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики отключающего ПО, °	$R_{\text{откл.с.р.}}$	91,7
ДФЗ РС откл. Kсм	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики отключающего ПО	$K_{\text{см}}$	0,1
Пуск ВЧ приемопередатчика			
ДФЗ ОМ kI2	Коэффициент органа манипуляции	$K_{\text{ман}}$	8
ДФЗ ОМ Iмин	Минимальный ток прямой последовательности, при котором происходит устойчивая манипуляция, А	$I_{1 \text{ мин}}$	0,4
Отключение от ДФЗ			
S920	Ввод ДФЗ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ ОСФ Фбл.1	Угол блокировки органа сравнения фаз (ОСФ) на одном периоде, °	-	71
ДФЗ ОСФ Фбл.2	Угол блокировки ОСФ на двух периодах, °	$\Phi_{\text{бл}}$	41

Продолжение таблицы 12.3

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение установки
ДФЗ Т	Выдержка времени срабатывания ДФЗ, с	$T_{ДФЗ}$	0
ДФЗ Тоткл. по	Выдержка времени отключающих ПО, с	$T_{откл.ПО}$	0
ДФЗ Трев.	Выдержка времени фиксации внешнего КЗ, с	$T_{рев.}$	0,04
ДФЗ Тбл.рев.	Выдержка времени блокировки ДФЗ после внешнего КЗ, с	$T_{бл.рев.}$	0,05

12.2 Пример расчета уставок линии с ответвлением

12.2.1 Исходные данные

Первичная схема сети приведена на рисунке 12.2.

$U_{\text{ном}} = 220$ кВ – номинальное напряжение сети.

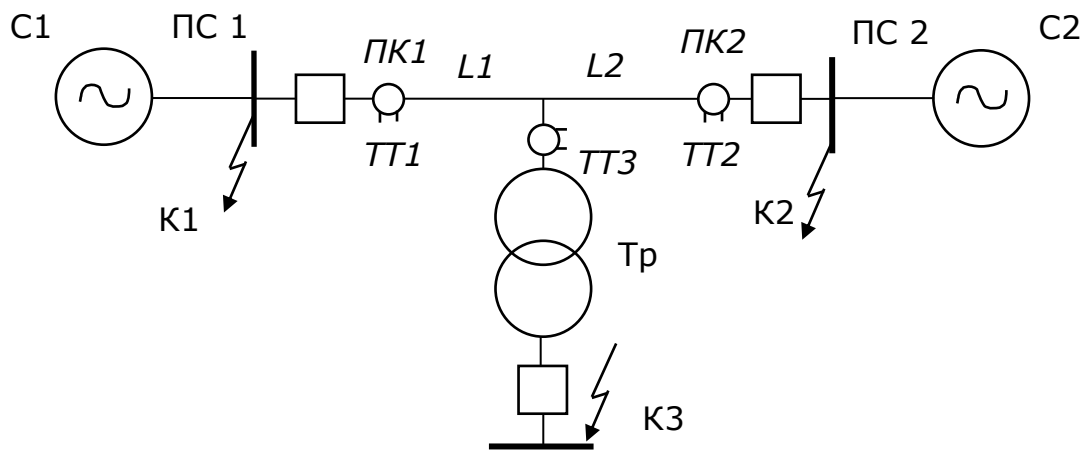


Рисунок 12.2 – Линия с двусторонним питанием и ответвлением

Параметры систем приведены в таблице 12.4.

Таблица 12.4 Параметры системы

Параметр	Описание	Система 1	Система 2
X_{1c}	Реактивное сопротивление прямой последовательности системы, Ом;	25,6	4,3
R_{1c}	Активное сопротивление прямой последовательности системы, Ом;	4,85	0,4
X_{0c}	Реактивное сопротивление нулевой последовательности системы, Ом	53,3	4,0
R_{0c}	Активное сопротивление нулевой последовательности системы, Ом	10,6	0,49

Параметры линии:

- $X_{1уд} = 0,42$ Ом/км – удельное реактивное сопротивление прямой последовательности;
- $R_{1уд} = 0,08$ Ом/км – удельное активное сопротивление прямой последовательности;
- $X_{0уд} = 1,15$ Ом/км – удельное реактивное сопротивление нулевой последовательности;
- $R_{0уд} = 0,34$ Ом/км – удельное активное сопротивление нулевой последовательности;
- $L1 = 35$ км – длина участка 1 линии;
- $L2 = 35$ км – длина участка 2 линии;
- $I_{\text{раб.макс}} = 420$ А – максимальный рабочий ток линии;
- $\Phi_{\text{раб.макс}} = 30^\circ$ – максимальный угол нагрузки;

- $I_{2 \text{ несим.}} = 10 \text{ A}$ - первичный ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией в системе.

Параметры трансформатора ответвления:

- $S_{\text{тр.ном}} = 40 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ - номинальная полная мощность;
 - $u_k = 12 \%$ - напряжение короткого замыкания;
 - $U_{\text{тр.вн}} = 230 \text{ кВ}$ - номинальное напряжение;
 - $U_{\text{тр.нн}} = 10,5 \text{ кВ}$ - номинальное напряжение;
 - $I_{\text{тр.ном вн}} = 100,4 \text{ А}$ - номинальный ток стороны ВН трансформатора;
- Нейтраль трансформатора заземлена.

Параметры нагрузки:

- $S_{\text{нагр}} = 28 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ - полная мощность нагрузки;
- $I_{\text{нагр}} = 70 \text{ А}$ - максимальный ток нагрузки;
- $\cos(\Phi_{\text{нагр}}) = 0,866$ - коэффициент мощности нагрузки;
- $x''_{d \text{ нагр.}} = 0,38 \text{ о.е.}$ - сверхпереходное индуктивное сопротивление нагрузки;

$E''_{q \text{ нагр.}} = 0,9 \text{ о.е.}$ - сверхпереходная ЭДС нагрузки.

Трансформаторы тока ТТ1 и ТТ2:

- $I_{\text{ТТ 1 ном}} = 1200 \text{ А}$ - номинальный первичный ток;
- $I_{\text{ТТ 2 ном}} = 1 \text{ А}$ - номинальный вторичный ток;
- $n_{\text{T}} = 1200$ - номинальный коэффициент трансформации.

Трансформаторы тока ТТ3:

- $I_{\text{ТТ 1 ном}} = 200 \text{ А}$ - номинальный первичный ток;
- $I_{\text{ТТ 2 ном}} = 1 \text{ А}$ - номинальный вторичный ток;
- $n_{\text{T}} = 200$ - номинальный коэффициент трансформации.

Трансформаторы напряжения:

- $n_{\text{Н}} = 2200$ - номинальный коэффициент трансформации.

Релейная защита

Дифференциально-фазная защита линии выполнена на блоках БМРЗ-ДФЗ-11, приемопередатчики ПВЗУ-Е. Рассмотрено три варианта выполнения защиты:

- 1 - без установки дополнительного комплекта защиты на ответвлении, с загрубением отключающих ПО;
- 2 - без установки дополнительного комплекта защиты на ответвлении, с использованием дополнительных ПО сопротивления и реле направления мощности нулевой последовательности в цепи отключения;
- 3 - установка дополнительного комплекта защиты БМРЗ-БНЗ-11 на ответвлении.

12.2.2 Расчет токов КЗ

12.2.2.1 Расчет токов КЗ выполняется по имеющимся исходным данным при помощи программного обеспечения. Ниже приведены результаты расчета токов КЗ.

12.2.2.2 Результаты расчета токов КЗ, используемые для расчета уставок ПК 1:

- проверка чувствительности отключающих ПО:

$I_{1\text{КЗ}}^{(3)} = 2480$ А - минимальный ток внутреннего трехфазного КЗ у шин ПС2, протекающий через ТТ1;

$I_{2\text{КЗ}}^{(1)} = 830$ А - минимальный ток обратной последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС2, протекающий через ТТ1;

$3I_{0\text{КЗ}}^{(1)} = 833$ А - минимальный ток нулевой последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС2, протекающий через ТТ1;

$3U_{0\text{КЗ}}^{(1)} = 21$ В - минимальное вторичное напряжение нулевой последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС2, измеренное на ПС1;

$U_{2\text{КЗ}}^{(1)} = 9,8$ В - минимальное вторичное напряжение обратной последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС2, измеренное на ПС1;

- учет ответвления:

$I_{1\text{КЗ}}^{(3)} = 689$ А - максимальный ток трехфазного КЗ у шин ПС3, протекающий через ТТ1;

$I_{1\text{КЗ}}^{(3)} = 135$ А - максимальный ток трехфазного КЗ у шин ПС1, посылаемый двигателями ответвления;

$I_{\text{БТН}} = 350$ А – бросок тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение;

$I_{2\text{КЗ}}^{(2)} = 322$ А - максимальный ток обратной последовательности двухфазного КЗ у шин ПС3, протекающий через ТТ1;

$I_{2\text{КЗ}}^{(2)} = 80$ А - максимальный ток обратной последовательности двухфазного КЗ у шин ПС1, посылаемый двигателями ответвления.

12.2.2.3 Результаты расчета токов КЗ, используемые для расчета уставок ПК 2:

- проверка чувствительности отключающих ПО:

$I_{1\text{КЗ}}^{(3)} = 4073$ А - минимальный ток внутреннего трехфазного КЗ у шин ПС1, протекающий через ТТ2;

$I_{2\text{КЗ}}^{(1)} = 946$ А - минимальный ток обратной последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС1, протекающий через ТТ2;

$3I_{0\text{КЗ}}^{(1)} = 2150$ А - минимальный ток нулевой последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС2, протекающий через ТТ1;

$3U_{0\text{КЗ}}^{(1)} = 4,0$ В - минимальное вторичное напряжение нулевой последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС1, измеренное на ПС2;

$U_{2\text{КЗ}}^{(1)} = 1,9$ В - минимальное вторичное напряжение обратной последовательности при внутреннем однофазном КЗ у шин ПС1, измеренное на ПС2;

- учет ответвления:

$I_{1\text{КЗ}}^{(3)} = 773$ А - максимальный ток трехфазного КЗ у шин ПС3, протекающий через ТТ2;

$I_{1\text{КЗ}}^{(3)} = 135$ А - максимальный ток трехфазного КЗ у шин ПС2, посылаемый двигателями ответвления;

$I_{\text{БТН}} = 350$ А - бросок тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение;

$I_{2\text{КЗ}}^{(2)} = 364$ А - максимальный ток обратной последовательности двухфазного КЗ у шин ПС3, протекающий через ТТ2;

$I_{2\text{КЗ}}^{(2)} = 80$ А - максимальный ток обратной последовательности двухфазного КЗ у шин ПС2, посылаемый двигателями ответвления;

$3I_{0\text{КЗ}}^{(1)} = 650$ А - максимальный ток нулевой последовательности однофазного КЗ у шин ПС2 от трансформатора ответвления.

12.2.3 Расчет уставок

12.2.3.1 В таблице 12.5 приведен расчет уставок ДФЗ без установки дополнительного комплекта защиты на ответвлении, с загрузением отключающих ПО.

Таблица 12.5 Расчет уставок ДФЗ линии с ответвлением

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов				
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{\text{Л блок. с.р.}}$, А	Отстройка от максимального рабочего тока	(5.1)	$I_{\text{Л блок.}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot \sqrt{3} \cdot 420 = 842$	$I_{\text{Л блок.}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot \sqrt{3} \cdot 420 = 842$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{\text{Л блок. с.р.}} = \frac{842}{1200} = 0,7$	$I_{\text{Л блок. с.р.}} = \frac{842}{1200} = 0,7$
	Диапазон значений От 0,07 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{\text{Л откл. с.р.}}$, А	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.2)	$I_{\text{Л откл.}} = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 842 = 1415$ $k_{\text{отв}} = \frac{842 + \sqrt{3} \cdot 70}{842} = 1,2$ (5.22) $k_{\text{отв}} = \frac{4073 + 135}{4073} = 1,03$ (5.23)	$I_{\text{Л откл.}} = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 842 = 1415$ $k_{\text{отв}} = \frac{842 + \sqrt{3} \cdot 70}{842} = 1,2$ (5.22) $k_{\text{отв}} = \frac{2480 + 135}{2480} = 1,05$ (5.23)
	Отстройка от тока трехфазного КЗ за трансформатором ответвления	(6.1)	$I_{\text{Л откл.}} = 1,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{3} \cdot 689 = 1670$	$I_{\text{Л откл.}} = 1,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{3} \cdot 773 = 1870$
	Отстройка от тока, посылаемого двигателями нагрузки при трехфазных КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект	(6.2)	$I_{\text{Л откл.}} = 1,2 \cdot \sqrt{3} \cdot 135 = 281$	$I_{\text{Л откл.}} = 1,2 \cdot \sqrt{3} \cdot 135 = 281$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии	6.2.1.3	Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты	

Продолжение таблицы 12.5

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
	Чувствительность отключающего ПО	(8.1)	$k_{\text{ч}} = \frac{2480}{1870/\sqrt{3}} = 2,26$	$k_{\text{ч}} = \frac{4073}{1870/\sqrt{3}} = 3,72$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{\text{Л откл. с.р.}} = \frac{1870}{1200} = 1,56$	$I_{\text{Л откл. с.р.}} = \frac{1870}{1200} = 1,56$
	Диапазон значений От 0,07 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Расчет уставок ПО сопротивления				
Минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме $Z_{\text{раб.мин}}$, Ом	-	(5.4)	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$
Полное сопротивление срабатывания ПО сопротивления $Z_{\text{откл.с.р.}}$, Ом	Отстройка от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме	(5.3)	$Z_{\text{откл.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$	$Z_{\text{откл.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$
	Отстройка от КЗ за трансформатором ответвления	(6.3)	$Z_{\text{откл.}} = 0,85 \cdot \left(14,8 + \frac{158,7}{1} \right) = 147$	$Z_{\text{откл.}} = 0,85 \cdot \left(14,8 + \frac{158,7}{1} \right) = 147$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов	6.2.2.2	Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты	
	Чувствительность отключающего ПО	(8.2)	$k_{\text{ч}} = \frac{147}{29,6} = 5,0$	$k_{\text{ч}} = \frac{147}{29,6} = 5,0$
	Вторичное значение	(11.3)	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 147 \cdot \frac{1200}{2200} = 80,2$	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 147 \cdot \frac{1200}{2200} = 80,2$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется

Продолжение таблицы 12.5

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2	
Расчет уставок ПО обратной последовательности					
Первичный ток небаланса обратной последовательности, А	-	(5.7)	$I_{2 \text{ нб}} = 0,05 \cdot 420 = 21$	$I_{2 \text{ нб}} = 0,05 \cdot 420 = 21$	
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2 \text{ блок с.р.}}$, А	Отстройка от небаланса в нормальном режиме работы	(5.6)	$I_{2 \text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$	$I_{2 \text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$	
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{2 \text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$	$I_{2 \text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$	
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	$I_{2 \text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2 \text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60 \text{ А}$	$I_{2 \text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2 \text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60 \text{ А}$	
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.с.р.}}$, А	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.8)	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 60 = 100$ $k_{\text{отв}} = \frac{946 + 80}{946} = 1,1$	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 60 = 100$ $k_{\text{отв}} = \frac{830 + 80}{830} = 1,1$	
	Отстройка от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии	(5.9)	$I_{2 \text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$	$I_{2 \text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$	
	Отстройка от тока двухфазного КЗ за трансформатором ответвления	(6.4)	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 322 = 483$	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 364 = 546$	
	Отстройка от тока двухфазного КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект защиты	(6.5)	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 80 = 120$	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 80 = 120$	
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов	6.2.3.3	Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты		

Продолжение таблицы 12.5

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
	Чувствительность отключающего ПО	(8.3)	$k_{\text{ч}} = \frac{822}{546} = 1,5$	$k_{\text{ч}} = \frac{946}{546} = 1,73$
			Чувствительность отключающего ПО меньше допустимой, рекомендуется применение дополнительных ПО	
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{2 \text{ откл.р.}} = \frac{546}{1200} = 0,46$	$I_{2 \text{ откл.р.}} = \frac{546}{1200} = 0,46$
Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А		-	Условие выполняется	Условие выполняется

12.2.4 Перечень уставок для ввода в блок

12.2.4.1 Уставки, вводимые в блок БМРЗ-ДФЗ-11, приведены в таблице 12.6.

Таблица 12.6 – Уставки для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ-11

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки
Коэффициенты трансформации, преобразователи			
Ктр ТТ	Коэффициент трансформации фазных ТТ	n_T	1200
Ктр ТНф	Коэффициент трансформации фазных ТН	n_H	2200
ПО ДФЗ			
S921-1	Ввод ПО разности фазных токов	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ РТ бл. Iл	Ток срабатывания блокирующего ПО по разности фазных токов, А	$I_{л \text{ блок.с.р.}}$	0,7
ДФЗ РТ откл. Iл	Ток срабатывания отключающего ПО по разности фазных токов, А	$I_{л \text{ откл.с.р.}}$	1,56
S921-4	Ввод ПО обратной последовательности	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ РТ бл. I2	Ток срабатывания блокирующего ПО по обратной последовательности, А	$I_2 \text{ блок.с.р.}$	0,05
ДФЗ РТ откл. I2	Ток срабатывания отключающего ПО по обратной последовательности, А	$I_2 \text{ откл.с.р.}$	0,46
ДФЗ РС откл. тип	Тип характеристики отключающего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2
ДФЗ РС откл. Zср	Полное сопротивление срабатывания отключающего ПО сопротивления, Ом	$Z_{\text{откл.с.р.}}$	80,2
ДФЗ РС откл. Фл	Угол линии отключающего ПО сопротивления, °	Φ_l	80
ДФЗ РС откл. Ф2	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики отключающего ПО, °	-	70
ДФЗ РС откл. Rср	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики отключающего ПО, °	$R_{\text{откл.с.р.}}$	80,2
ДФЗ РС откл. Kсм	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики отключающего ПО	$K_{\text{см}}$	0

12.2.5 Расчет уставок

12.2.5.1 В таблице 12.7 приведен расчет уставок ДФЗ без установки дополнительного комплекта защиты на ответвлении, с использованием дополнительных ПО в цепи отключения.

Таблица 12.7 Расчет уставок ДФЗ линии с ответвлениями

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов				
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{\text{Л блок. с.р.}}$, А	Отстройка от максимального рабочего тока	(5.1)	$I_{\text{Л блок.}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot \sqrt{3} \cdot 420 = 842$	$I_{\text{Л блок.}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot \sqrt{3} \cdot 420 = 842$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{\text{Л блок. с.р.}} = \frac{842}{1200} = 0,7$	$I_{\text{Л блок. с.р.}} = \frac{842}{1200} = 0,7$
	Диапазон значений От 0,07 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{\text{Л откл. с.р.}}$, А	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.2)	$I_{\text{Л откл.}} = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 842 = 1415$ $k_{\text{отв}} = \frac{842 + \sqrt{3} \cdot 70}{842} = 1,2$ (5.22) $k_{\text{отв}} = \frac{4073 + 135}{4073} = 1,03$ (5.23)	$I_{\text{Л откл.}} = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 842 = 1415$ $k_{\text{отв}} = \frac{842 + \sqrt{3} \cdot 70}{842} = 1,2$ (5.22) $k_{\text{отв}} = \frac{2480 + 135}{2480} = 1,05$ (5.23)
	Чувствительность отключающего ПО	(8.1)	$k_{\text{ч}} = \frac{2480}{1415/\sqrt{3}} = 3,0$	$k_{\text{ч}} = \frac{4073}{1415/\sqrt{3}} = 4,9$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{\text{Л откл. с.р.}} = \frac{1415}{1200} = 1,2$	$I_{\text{Л откл. с.р.}} = \frac{1415}{1200} = 1,2$
	Диапазон значений От 0,07 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Расчет уставок ПО сопротивления				
Минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме $Z_{\text{раб.мин}}$, Ом	-	(5.4)	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$

Продолжение таблицы 12.7

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Активное сопротивление срабатывания ПО сопротивления $R_{откл.с.р.}$ Ом	Отстройка от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме	(5.3)	$R_{откл.} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\operatorname{tg}(80)} \right) = 168$	$R_{откл.} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\operatorname{tg}(80)} \right) = 168$
	Вторичное значение	(11.3)	$R_{откл. с.р.} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$R_{откл. с.р.} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Полное сопротивление срабатывания ПО сопротивления $Z_{откл.с.р.}$ Ом	-	(5.5)	$Z_{откл.} = 168$	$Z_{откл.} = 168$
	Вторичное значение	(11.3)	$Z_{откл. с.р.} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$Z_{откл. с.р.} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
	Чувствительность отключающего ПО	(8.2)	$k_{ч} = \frac{168}{29,6} = 5,7$	$k_{ч} = \frac{168}{29,6} = 5,7$
Расчет уставок ПО обратной последовательности				
Первичный ток небаланса обратной последовательности	-	(5.7)	$I_{2 нб} = 0,05 \cdot 420 = 21$	$I_{2 нб} = 0,05 \cdot 420 = 21$
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2 блок с.р.}$ А	Отстройка от небаланса в нормальном режиме работы	(5.6)	$I_{2 блок.} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$	$I_{2 блок.} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{2 блок.с.р.} = \frac{39}{1200} = 0,033$	$I_{2 блок.с.р.} = \frac{39}{1200} = 0,033$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	$I_{2 блок.с.р.}$ принять 0,05 А $I_{2 блок.} = 0,05 \cdot 1200 = 60$ А	$I_{2 блок.с.р.}$ принять 0,05 А $I_{2 блок.} = 0,05 \cdot 1200 = 60$ А

Продолжение таблицы 12.7

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.с.р.}}, \text{ A}$	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.8)	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 60 = 100$ $k_{\text{отв}} = \frac{946 + 80}{946} = 1,1$	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 60 = 100$ $k_{\text{отв}} = \frac{830 + 80}{830} = 1,1$
	Отстройка от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии	(5.9)	$I_{2 \text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$	$I_{2 \text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{2 \text{ откл.с.р.}} = \frac{100}{1200} = 0,08$	$I_{2 \text{ откл.с.р.}} = \frac{100}{1200} = 0,08$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А		Условие выполняется	Условие выполняется
	Чувствительность отключающего ПО	(8.3)	$k_{\text{ч}} = \frac{822}{100} = 8,2$	$k_{\text{ч}} = \frac{946}{100} = 9,5$
Расчет уставок дополнительных ПО				
Сопротивление срабатывания дополнительного ПО сопротивления, Ом	Отстройка от КЗ за трансформатором ответвления	(6.8)	$Z_{\text{отв.}} = 0,85 \cdot \left(14,8 + \frac{158,7}{1}\right) = 147$	$Z_{\text{отв.}} = 0,85 \cdot \left(14,8 + \frac{158,7}{1}\right) = 147$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов	6.3.1.2	Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты	
	Чувствительность отключающего ПО	(8.2)	$k_{\text{ч}} = \frac{147}{29,6} = 5,0$	$k_{\text{ч}} = \frac{147}{29,6} = 5,0$
	Вторичное значение	(11.3)	$Z_{\text{отв. с.р.}} = 147 \cdot \frac{1200}{2200} = 80,2$	$Z_{\text{отв. с.р.}} = 147 \cdot \frac{1200}{2200} = 80,2$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется

Продолжение таблицы 12.7

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Напряжение срабатывания ПО нулевой последовательности, В	Отстройка от напряжения небаланса при междуфазном КЗ	6.3.2.3	$U_{0 \text{ отв.с.р.}} = 5$	$U_{0 \text{ отв.с.р.}} = 5$
	Чувствительность отключающего ПО	(8.7)	$k_{\text{ч}} = \frac{21}{5} = 4,2$	$k_{\text{ч}} = \frac{4,0}{5} = 0,8$ Чувствительность ПО ниже требуемой, поэтому ПО выполнен ненаправленным
	Диапазон значений От 1,0 до 7,0 В	-	Условие выполняется	-
Ток срабатывания ПО нулевой последовательности, А	Отстройка от небаланса при КЗ за трансформатором ответвления	(6.9)	$I_{0 \text{ отв.}} = 1,4 \cdot 0,1 \cdot 689 = 96$	$I_{0 \text{ отв.}} = 1,4 \cdot 0,1 \cdot 773 = 108$
	Отстройка от тока трансформаторов ответвлений при однофазных КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект	(6.7)	-	$I_{0 \text{ отв.}} = 1,4 \cdot 650 = 910$
	Чувствительность отключающего ПО	(8.6)	$k_{\text{ч}} = \frac{833}{108} = 7,7$	$k_{\text{ч}} = \frac{2150}{910} = 2,36$
	Вторичное значение	(11.2)	$I_{0 \text{ отв.с.р.}} = \frac{108}{1200} = 0,09$	$I_{0 \text{ отв.с.р.}} = \frac{910}{1200} = 0,76$
	Диапазон значений От 0,05 до 100,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Уставка по содержанию второй гармоники в токе нулевой последовательности	Отстройка от броска тока намагничивания трансформатора ответвления	6.3.2.3	$K_{2г.} = 0,15$	$K_{2г.} = 0,15$

Продолжение таблицы 12.7

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Угол максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности, °	-	(6.10)	$\Phi_{0 \text{ м.ч.}} = \arctg \left(\frac{1,15}{0,34} \right) = 74$	ПО выполнен ненаправленным

12.2.6 Перечень уставок для ввода в блок

12.2.6.1 Уставки, вводимые в блок БМРЗ-ДФЗ-11, приведены в таблице 12.8.

Таблица 12.8 – Уставки для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ-11

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
Коэффициенты трансформации, преобразователи			
Ктр ТТ	Коэффициент трансформации фазных ТТ	n_T	1200
Ктр ТНф	Коэффициент трансформации фазных ТН	n_H	2200
ПО ДФЗ			
S921-1	Ввод ПО разности фазных токов	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ РТ бл. Iл	Ток срабатывания блокирующего ПО по разности фазных токов, А	$I_{л \text{ блок.с.р.}}$	0,7
ДФЗ РТ откл. Iл	Ток срабатывания отключающего ПО по разности фазных токов, А	$I_{л \text{ откл.с.р.}}$	1,2
S921-4	Ввод ПО обратной последовательности	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ РТ бл. I2	Ток срабатывания блокирующего ПО по обратной последовательности, А	$I_2 \text{ блок.с.р.}$	0,05
ДФЗ РТ откл. I2	Ток срабатывания отключающего ПО по обратной последовательности, А	$I_2 \text{ откл.с.р.}$	0,08
ДФЗ РС откл. тип	Тип характеристики отключающего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2
ДФЗ РС откл. Zср	Полное сопротивление срабатывания отключающего ПО сопротивления, Ом	$Z_{\text{откл.с.р.}}$	91,7
ДФЗ РС откл. Фл	Угол линии отключающего ПО сопротивления, °	Φ_l	80
ДФЗ РС откл. Ф2	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики отключающего ПО, °	-	70
ДФЗ РС откл. Rср	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики отключающего ПО, °	$R_{\text{откл.с.р.}}$	91,7
ДФЗ РС откл. Kсм	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики отключающего ПО	$K_{\text{см}}$	0,1
S923	Ввод контроля дополнительных ПО при наличии ответвлений без комплекта ДФЗ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
S924	Выбор ступени ДЗМФ для пуска ДФЗ линии с ответвлениями	-	5
S925	Выбор ступени ТЗНП для пуска ДФЗ линии с ответвлениями	-	6
Пятая ступень ДЗМФ			
S175	Ввод пятой ступени ДЗМФ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДЗМФ5 тип	Тип характеристики ДЗМФ 5 (1 - окружность, 2 - четырехугольная, 3 - треугольная)	-	2

Продолжение таблицы 12.8

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
ДЗМФ5 Z _{ср}	Полное сопротивление срабатывания ДЗМФ 5, Ом	$Z_{\text{отв.с.р.}}$	80,2
ДЗМФ5 Фл	Угол линии РС ДЗМФ 5, °	-	80
ДЗМФ5 Ф2	Угол наклона стороны 2 четырехугольной и треугольной характеристик ДЗМФ 5, °	-	70
ДЗМФ5 R _{ср}	Активное сопротивление срабатывания четырехугольной характеристики ДЗМФ 5, Ом	$R_{\text{отв.с.р.}}$	80,2
ДЗМФ5 K _{см}	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики ДЗМФ5	-	0
S175-1	Выбор пуска ДЗМФ 5 (0 - без УБК, 1 - без УБК, 2 - от УБК быстродействующих ступеней, 3 - от УБК медленнодействующих ступеней)	-	0
S175-2	Ввод ненаправленного режима ДЗМФ 5 при включении	-	<input checked="" type="checkbox"/>
S175-3	Ввод направленности к шинам ДЗМФ 5	-	<input type="checkbox"/>
S175-5	Ввод ДЗМФ 5 на отключение	-	<input type="checkbox"/>
Направленная токовая защита нулевой последовательности			
Общие уставки ТЗНП			
ТЗНП Фмч	Угол максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности (н.п.) линии, °	$\Phi_{0 \text{ м.ч.}}$	74/-
U _{тр} РРНМ	Напряжение точной работы РРНМ (Кв от 0,95 до 0,98), В	$U_{0 \text{ отв.с.р.}}$	5/-
I _{тр} РРНМ	Ток точной работы РРНМ, А	-	0,05/-
ТЗНП 2г К	Коэффициент блокировки ТЗНП по второй гармонике	$K_{2г.}$	0,15
ТЗНП 2г Т	Максимальная длительность блокировки ТЗНП по второй гармонике, с	-	2
Шестая ступень ТЗНП			
S216	Ввод шестой ступени ТЗНП	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ТЗНП РТ6	Ток срабатывания ТЗНП 6, А	$I_{0 \text{ отв. с.р.}}$	0,09/0,76
S216-1	Направленность ТЗНП 6 (0 - ненаправленная; 1 - в линию, РРНМ; 2 - в линию, БРНМ+РРНМ; 3 - к шинам, БРНМ; 4 - к шинам, БРНМ+РРНМ)	-	1/0
S216-2	Ввод блокировки ТЗНП 6 по второй гармонике	-	<input checked="" type="checkbox"/>

12.2.7 Расчет уставок

12.2.7.1 В таблице 12.9 приведен расчет уставок дополнительного комплекта на ответвлении, в таблице 12.10 приведен расчет уставок питающих концов.

Таблица 12.9 Расчет уставок дополнительного комплекта защиты на ответвлении

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	Расчет уставок ПКЗ
Расчет уставок ПО сопротивления			
Минимальное первичное сопротивление в нагрузочном режиме $Z_{\text{раб.мин}}$, Ом	-	(7.9)	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 70} = 1650$
Полное сопротивление срабатывания ПО сопротивления $Z_{\text{откл.с.р.}}$, Ом	Отстройка от минимального сопротивления в нагрузочном режиме	(7.8)	$Z_{\text{откл.}} < \frac{1650}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(70)} \right) = 895$
	Вторичное значение	(11.3)	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 895 \cdot \frac{200}{2200} = 81$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом		Условие выполняется
Расчет уставок ПО обратной последовательности			
Первичный ток небаланса обратной последовательности, А	-	(7.12)	$I_{2 \text{ нб}} = 0,05 \cdot 70 = 3,5$
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2 \text{ блок с.р.}}$, А	Отстройка от небаланса в нормальном режиме работы	(7.11)	$I_{2 \text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (3,5 + 5) = 11$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{2 \text{ блок.с.р.}} = \frac{11}{200} = 0,06$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	Условие выполняется
Напряжение срабатывания обратной последовательности, В	Отстройка от напряжения небаланса при трехфазном КЗ	7.4.2.4	$U_{2 \text{ блок.с.р.}} = 2 \text{ В}$
	Диапазон значений От 1,0 до 7,0 В	-	Условие выполняется

Таблица 12.10 Расчет уставок комплектов питающих концов на линии с ответвлениями

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок ПО, реагирующих на разность фазных токов				
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{Л \text{ блок. с.р.}}, \text{ A}$	Отстройка от максимального рабочего тока	(5.1)	$I_{Л \text{ блок.}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot \sqrt{3} \cdot 420 = 842$	$I_{Л \text{ блок.}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot \sqrt{3} \cdot 420 = 842$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{Л \text{ блок. с.р.}} = \frac{842}{1200} = 0,7$	$I_{Л \text{ блок. с.р.}} = \frac{842}{1200} = 0,7$
	Диапазон значений От 0,07 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{Л \text{ откл. с.р.}}, \text{ A}$	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.2)	$I_{Л \text{ откл.}} = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 842 = 1415$ $k_{\text{отв}} = \frac{842 + \sqrt{3} \cdot 70}{842} = 1,2 \text{ (5.22)}$ $k_{\text{отв}} = \frac{4073 + 135}{4073} = 1,03 \text{ (5.23)}$	$I_{Л \text{ откл.}} = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 842 = 1415$ $k_{\text{отв}} = \frac{842 + \sqrt{3} \cdot 70}{842} = 1,2 \text{ (5.22)}$ $k_{\text{отв}} = \frac{2480 + 135}{2480} = 1,05 \text{ (5.23)}$
	Чувствительность отключающего ПО	(8.1)	$k_{\text{ч}} = \frac{2480}{1415/\sqrt{3}} = 3,0$	$k_{\text{ч}} = \frac{4073}{1415/\sqrt{3}} = 4,9$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{Л \text{ откл. с.р.}} = \frac{1415}{1200} = 1,2$	$I_{Л \text{ откл. с.р.}} = \frac{1415}{1200} = 1,2$
	Диапазон значений От 0,07 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Расчет уставок ПО сопротивления				
Активное сопротивление срабатывания ПО сопротивления $R_{\text{откл.с.р.}}, \text{ Ом}$	Отстройка от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме	(5.3)	$R_{\text{откл.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$	$R_{\text{откл.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$
	Вторичное значение	(11.3)	$R_{\text{откл. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$R_{\text{откл. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется

Продолжение таблицы 12.10

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Полное сопротивление срабатывания ПО сопротивления $Z_{откл.с.р.}$, Ом	-	(5.5)	$Z_{откл.} = 168$	$Z_{откл.} = 168$
	Вторичное значение	(11.3)	$Z_{откл. с.р.} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$Z_{откл. с.р.} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
	Чувствительность отключающего ПО	(8.2)	$k_{ч} = \frac{168}{29,6} = 5,7$	$k_{ч} = \frac{168}{29,6} = 5,7$
Расчет уставок ПО обратной последовательности				
Первичный ток небаланса обратной последовательности, А	-	(5.7)	$I_{2 нб} = 0,05 \cdot 420 = 21$	$I_{2 нб} = 0,05 \cdot 420 = 21$
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2 \text{ блок с.р.}}$, А	Отстройка от небаланса в нормальном режиме работы	(5.6)	$I_{2 \text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$	$I_{2 \text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{2 \text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$	$I_{2 \text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А		$I_{2 \text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2 \text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60 \text{ А}$	$I_{2 \text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2 \text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60 \text{ А}$
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{2 \text{ откл.с.р.}}$, А	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.8)	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 60 = 100$ $k_{отв} = \frac{946 + 80}{946} = 1,1$	$I_{2 \text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 60 = 100$ $k_{отв} = \frac{830 + 80}{830} = 1,1$
	Отстройка от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии	(5.9)	$I_{2 \text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$	$I_{2 \text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{2 \text{ откл.с.р.}} = \frac{100}{1200} = 0,08$	$I_{2 \text{ откл.с.р.}} = \frac{100}{1200} = 0,08$

Продолжение таблицы 12.10

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
	Чувствительность отключающего ПО	(8.3)	$k_{\text{ч}} = \frac{822}{100} = 8,2$	$k_{\text{ч}} = \frac{946}{100} = 9,5$
Расчет уставок дополнительных ПО				
Сопротивление срабатывания дополнительного ПО сопротивления, Ом	Отстройка от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме	(5.3)	$Z_{\text{отв.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$	$Z_{\text{отв.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$
	Согласование по чувствительности с ПО сопротивления комплекта, установленного на ответвлении	(7.6)	$Z_{\text{отв.}} = 0,85 \cdot \left(14,8 + \frac{0,8 \cdot 895}{1} \right) = 621$	$Z_{\text{отв.}} = 0,85 \cdot \left(14,8 + \frac{0,8 \cdot 895}{1} \right) = 621$
	Чувствительность отключающего ПО	(8.2)	$k_{\text{ч}} = \frac{168}{29,6} = 5,7$	$k_{\text{ч}} = \frac{168}{29,6} = 5,7$
	Вторичное значение	(11.3)	$Z_{\text{отв. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,6$	$Z_{\text{отв. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,6$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Напряжение срабатывания по напряжению обратной последовательности, В	Отстройка от напряжения небаланса при междуфазном КЗ	7.3.2.2	$U_{2 \text{ отв.с.р.}} = 3$	$U_{2 \text{ отв.с.р.}} = 3$

Продолжение таблицы 12.10

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
	Чувствительность отключающего ПО	(8.8)	$k_{\text{ч}} = \frac{9,8}{3} = 3,3$	$k_{\text{ч}} = \frac{1,9}{3} = 0,63$ Чувствительность ниже требуемой, поэтому ПО выполнен ненаправленным
	Диапазон значений От 1,0 до 7,0 В	-	Условие выполняется	-
Ток срабатывания ПО обратной последовательности, А	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.8)	$I_{2 \text{ отв.}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 60 = 100$ $k_{\text{отв}} = \frac{946 + 80}{946} = 1,1$	$I_{2 \text{ отв.}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 60 = 100$ $k_{\text{отв}} = \frac{830 + 80}{830} = 1,1$
	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО ответвления	(7.7)	$I_{2 \text{ отв.}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 12 = 18$	$I_{2 \text{ отв.}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 12 = 18$
		(7.5)	-	$I_{2 \text{ отв.}} = 1,5 \cdot \frac{2 \cdot 2200}{4,3 + 14,8} = 346$
	Отстройка от тока двухфазного КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект защиты	(7.4)	-	$I_{2 \text{ отв.}} = 1,5 \cdot 80 = 120$
	Чувствительность отключающего ПО	(8.3)	$k_{\text{ч}} = \frac{833}{100} = 8,3$	$k_{\text{ч}} = \frac{2150}{346} = 6,2$
	Вторичное значение	(11.1)	$I_{0 \text{ отв с.р.}} = \frac{100}{1200} = 0,08$	$I_{0 \text{ отв с.р.}} = \frac{346}{1200} = 0,29$
	Диапазон значений От 0,05 до 100,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется

12.2.8 Перечень уставок для ввода в блок

12.2.8.1 Уставки, вводимые в блок БМРЗ-БНЗ-11, приведены в таблице 12.11, в блок БМРЗ-ДФЗ-11 - в таблице 12.12.

Таблица 12.11 – Уставки для ввода в блок БМРЗ-БНЗ-11

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки
Коэффициенты трансформации, преобразователи			
Ктр ТТ	Коэффициент трансформации фазных ТТ	n_T	200
Ктр ТН	Коэффициент трансформации фазных ТН	n_H	2200
Направленная высокочастотная защита			
S920	Ввод НВЧЗ		<input checked="" type="checkbox"/>
S927	Вывод отключающих ПО при применении НВЧЗ на конце линии без питания	-	<input checked="" type="checkbox"/>
НВЧЗ РТ бл. I2	Ток срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности, А	$I_{2 \text{ блок.с.р.}}$	0,06
НВЧЗ РН бл. U2	Напряжение срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности, В	$U_{2 \text{ блок.с.р.}}$	2
НВЧЗ РНМ Ф2мч	Угол максимальной чувствительности РНМ обратной последовательности линии, °	$\Phi_{2 \text{ м.ч.}}$	74
НВЧЗ РС бл. тип	Тип характеристики блокирующего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2
НВЧЗ РС бл. Zcp	Полное сопротивление срабатывания блокирующего ПО, Ом	$Z_{\text{блок.с.р.}}$	81
НВЧЗ РС бл. Фл	Угол линии блокирующего ПО, °	Φ_L	70
НВЧЗ РС бл. Ф2	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики блокирующего ПО, °	-	80
НВЧЗ РС бл. Rcp	Активное сопротивление срабатывания блокирующего ПО, Ом	$R_{\text{блок.с.р.}}$	81
НВЧЗ РС бл. Kcm	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики блокирующего ПО	$K_{\text{см}}$	0

Таблица 12.12 – Уставки для ввода в блок БМРЗ-ДФЗ-11

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
Коэффициенты трансформации, преобразователи			
Ктр ТТ	Коэффициент трансформации фазных ТТ	n_T	1200
Ктр ТНф	Коэффициент трансформации фазных ТН	n_H	2200
ПО ДФЗ			
S921-1	Ввод ПО разности фазных токов	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ РТ бл. Iл	Ток срабатывания блокирующего ПО по разности фазных токов, А	$I_{л \text{ блок.с.р.}}$	0,7
ДФЗ РТ откл. Iл	Ток срабатывания отключающего ПО по разности фазных токов, А	$I_{л \text{ откл.с.р.}}$	1,2
S921-4	Ввод ПО обратной последовательности	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ РТ бл. I2	Ток срабатывания блокирующего ПО по обратной последовательности, А	$I_2 \text{ блок.с.р.}$	0,05
ДФЗ РТ откл. I2	Ток срабатывания отключающего ПО по обратной последовательности, А	$I_2 \text{ откл.с.р.}$	0,08
ДФЗ РС откл. тип	Тип характеристики отключающего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2
ДФЗ РС откл. Zср	Полное сопротивление срабатывания отключающего ПО сопротивления, Ом	$Z_{\text{откл.с.р.}}$	91,7
ДФЗ РС откл. Фл	Угол линии отключающего ПО сопротивления, °	Φ_l	80
ДФЗ РС откл. Ф2	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики отключающего ПО, °	-	70
ДФЗ РС откл. Rср	Угол наклона стороны 2 четырехугольной характеристики отключающего ПО, °	$R_{\text{откл.с.р.}}$	91,7
ДФЗ РС откл. Kсм	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики отключающего ПО	$K_{\text{см}}$	0
S923	Ввод контроля дополнительных ПО при наличии ответвлений без комплекта ДФЗ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
S924	Выбор ступени ДЗМФ для пуска ДФЗ линии с ответвлениями	-	5
S930	Пуск ДФЗ линии с ответвлениями от ПО обратной последовательности	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДФЗ ОП РТ	Ток срабатывания ПО обратной последовательности, А	$I_2 \text{ отв.с.р.}$	0,05/0,29
ДФЗ ОП РН	Напряжение точной работы ПО обратной последовательности, В	$U_2 \text{ отв.с.р.}$	3/-
ДФЗ ОП Фмч	Угол максимальной чувствительности ПО обратной последовательности, °	$\Phi_{2 \text{ м.ч.}}$	80/-
S931	Вывод направленности ПО обратной последовательности ДФЗ линии с ответвлениями	-	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>

Продолжение таблицы 12.12

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
Пятая ступень ДЗМФ			
S175	Ввод пятой ступени ДЗМФ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДЗМФ5 тип	Тип характеристики ДЗМФ 5 (1 - окружность, 2 - четырехугольная, 3 - треугольная)	-	2
ДЗМФ5 Z _{ср}	Полное сопротивление срабатывания ДЗМФ 5, Ом	Z _{отв.с.р.}	91,6
ДЗМФ5 Фл	Угол линии РС ДЗМФ 5, °	-	80
ДЗМФ5 Ф2	Угол наклона стороны 2 четырехугольной и треугольной характеристик ДЗМФ 5, °	-	70
ДЗМФ5 R _{ср}	Активное сопротивление срабатывания четырехугольной характеристики ДЗМФ 5, Ом	R _{отв.с.р.}	91,6
ДЗМФ5 K _{см}	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики ДЗМФ5	-	0
S175-1	Выбор пуска ДЗМФ 5 (0 - без УБК, 1 - без УБК, 2 - от УБК быстродействующих ступеней, 3 - от УБК медленнодействующих ступеней)	-	0
S175-2	Ввод ненаправленного режима ДЗМФ 5 при включении	-	<input checked="" type="checkbox"/>
S175-3	Ввод направленности к шинам ДЗМФ 5	-	<input type="checkbox"/>
S175-5	Ввод ДЗМФ 5 на отключение	-	<input type="checkbox"/>

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2005. – 464 с.
2. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110 – 330 кВ. М., «Энергия», 1972.
3. Руководство по эксплуатации "Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-ДФЗ-11" ДИВГ.648228.082-22.02 РЭ.

УДК 621.316.9:621.313.13

Ключевые слова: дифференциально-фазная защита, расчёт уставок, короткое замыкание, орган манипуляции, орган сравнения фаз

Технический директор



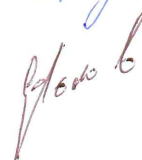
Гондуров С.А.

Начальник бюро разработки
эксплуатационной документации



Карлова И.А.

Главный специалист ОРЗА



Сельков Е.А.

НОРМОКОНТРОЛЬ:

Начальник бюро стандартизации и
технической документации



Ермоленко Л.М.

