

**ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 110 - 220 кВ.
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО - ФАЗНАЯ ЗАЩИТА**

**Расчёт уставок
Методические указания**

**Санкт-Петербург
2012**

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

В настоящем стандарте приведены методики и пример расчёта уставок дифференциально-фазной защиты линий.

Методика расчёта носит рекомендательный характер.

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

Научно-технический руководитель работы:

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

Научный редактор

Зам. начальника УК Захаров О. Г.

Исполнители:

Начальник отдела системотехники,
ПИРОГОВ М. Г.

Ведущий инженер-системотехник,
ЧЕПЕЛЕВ В. Н.

Инженер-системотехник,
ИЛЮХИН Е. В.

Инженер-системотехник,
ЧЕРКЕСОВА И. В.

2 **УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ** Приказом Генерального директора № 266-УК от 16.10.2012

3. Код Общественного классификатора предприятий и организаций ОКПО - 23048570.

4 **ВВОДИТСЯ ВПЕРВЫЕ**

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

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

Содержание

1 Введение.....	1
2 Обозначения и сокращения	2
3 Общие сведения о ДФЗ линий.....	3
4 ДФЗ в терминалах БМРЗ	6
4.1 ПО терминала.....	6
4.2 ПТН терминала и ТТ	7
5 Расчёт уставок ДФЗ.....	7
5.1 Расчет уставок для всех типов линий	7
5.2 Расчет коэффициента ответвления.....	13
5.3 Дополнительные условия для расчёта уставок многоконцевых линий при наличии у них концов без питания	14
5.4 Определение коэффициентов чувствительности ДФЗ	17
6 Расчёт уставок комплекта РС и РНМ нулевой последовательности..	18
6.1 Расчёт уставок комплекта РС	18
6.2 Определение коэффициента чувствительности комплекта РС ..	21
6.3 Расчёт уставок РНМ нулевой последовательности	21
7 Расчет уставок срабатывания резервной защиты трансформаторов	22
8 Расчет уставок органов манипуляции и сравнения фаз.....	23
8.1 Расчет уставок органа манипуляции.....	23
8.2 Расчет уставок ОСФ	25
9 Выбор прочих уставок.....	25
10 Пересчёт уставок во вторичные значения	26
11 Примеры расчёта уставок	27
11.1 Расчёт для линии без ответвлений	27
11.2 Расчёт для линии с ответвлением.....	32
11.3 Расчёт для трёхконцевой линии	46
Литература	57

Листов 62
Формат А4

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИДифференциально-фазная
защита линий 110-220 кВ

Расчет уставок

Методические указания

1 Введение

Настоящий стандарт соответствует требованиям и рекомендациям, изложенным в ПУЭ¹⁾ [1] и руководящих указаниях [3].

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

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

В настоящем стандарте дан комплексный подход к расчету уставок дифференциально-фазной защиты линий, выбору диапазона измерений аналоговых каналов терминалов БМРЗ, даны рекомендации по выбору выдержек времени.

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 терминал необходимо первичные значения величин перевести во вторичные.

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

¹⁾ Глава 3.2 «Релейная защита»

2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте приняты следующие обозначения и сокращения:

АПВ – автоматическое повторное включение;

БМРЗ – блок микропроцессорный релейной защиты;

ВЧ – высокочастотный;

ДЗ – дистанционная защита;

ДФЗ – дифференциально-фазная защита;

КЗ – короткое замыкание;

КЦН – контроль цепей напряжения;

ОСФ – орган сравнения фаз;

ПО – пусковой орган;

ПП – приёмопередатчик;

ПС – подстанция;

ПТН – преобразователь ток - напряжение;

РЗ – релейная защита;

РЗТ – резервная защита трансформатора;

РНМ – реле направления мощности;

РС – реле сопротивления;

ТН – трансформатор напряжения;

ТТ – трансформатор тока.

3 Общие сведения о ДФЗ линий

3.1 ДФЗ используют в качестве основной защиты от всех видов повреждений линий 110-220 кВ с двусторонним питанием в тех случаях, когда применение других типов быстродействующих защит линий (продольной дифференциальной, ДЗ с ВЧ блокировкой²⁾ и др.) невозможно или нецелесообразно.

ДФЗ обеспечивает отключение без замедления повреждения в зоне своего действия (рис. 3.1).

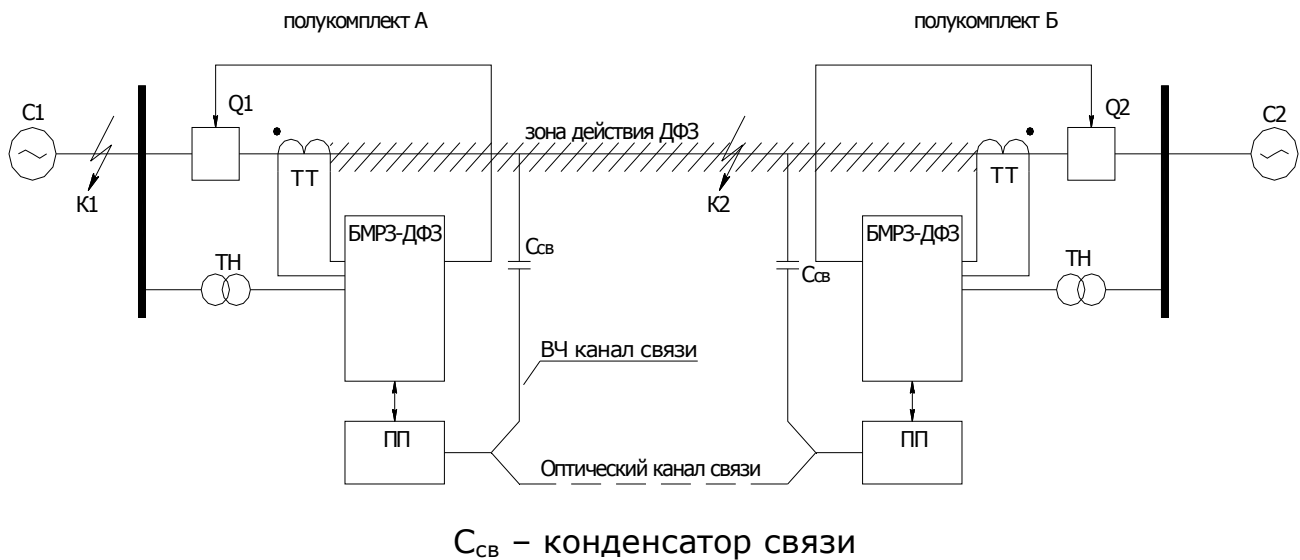


Рисунок 3.1 - Упрощённая схема взаимодействия полукомплектов ДФЗ

3.2 По сравнению с ДЗ и токовой направленной защитой нулевой последовательности с высокочастотной блокировкой (защита с ВЧ блокировкой) ДФЗ имеет ряд преимуществ, обусловленных принципом её действия, что обеспечивает правильную работу ДФЗ в неполнофазных режимах (нагрузочном или при внешних КЗ), а также при качаниях и асинхронном ходе.

Правильная работа ДФЗ при качаниях исключает необходимость использования блокирования при качаниях.

Использование в ДФЗ однотипных органов, действующих на пуск ПП и на отключение, облегчает их согласование, что является преимуществом данной защиты по сравнению с ДЗ с ВЧ блокировкой, в которой могут использоваться ПО, реагирующие на разные электрические величины (устройство блокирования при качаниях и реле сопротивления).

К преимуществам ДФЗ перед продольной дифференциальной защитой линии относят:

- отсутствие синхронизации времени в полукомплектах, расположенных на разных концах линии;
- значительно меньшая стоимость для линий большой протяженности в том случае, когда для связи между полукомплектами используют ВЧ канал.

²⁾ В данном стандарте использовано традиционное название защиты, получившее распространение до того, как был введён стандарт ГОСТ 18311-80 [3], который ввел разграничение понятий, обозначаемых терминами «блокирование» и «блокировка».

При использовании защиты с ВЧ блокировкой для обеспечения ближнего резервирования приходится дополнительно устанавливать комплект резервной защиты, работа которого основана на том же дистанционном принципе, что не позволяет обеспечить полноценного резервирования по типу защиты.

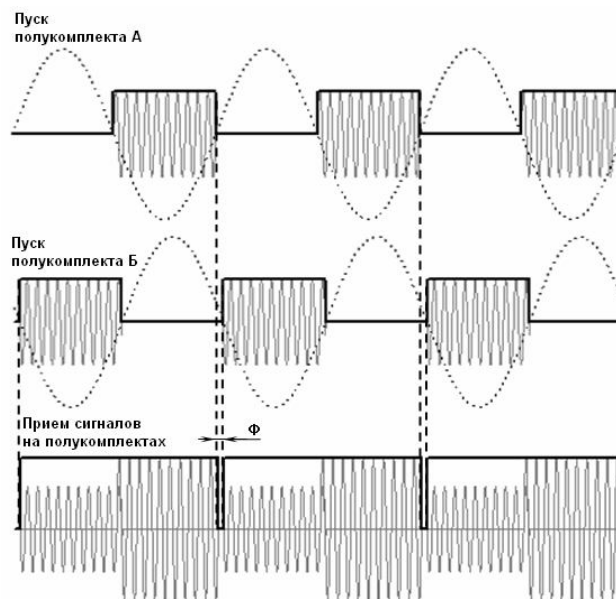
В то же время, применение комплекта ДФЗ и отдельного комплекта резервной защиты обеспечивает полноценное ближнее резервирование защит, как того требует ПУЭ [1]³⁾.

3.3 Принцип действия данной защиты основан на косвенном сравнении фаз токов полукомплектами БМРЗ-ДФЗ, расположенными по концам защищаемой линии электропередачи. Каждый полукомплект формирует ток манипуляции, получаемый от цифрового комбинированного фильтра токов прямой и обратной последовательностей, и равный $I_{\text{МАН}} = (I_1 + K_{\Phi} \cdot I_2)$.

При этом каждый из ПП, подключенных к блокам БМРЗ-ДФЗ, генерирует ВЧ сигнал при отрицательной или положительной (в зависимости от настройки ПП) полуволне тока манипуляции. Длительность этого сигнала - $\frac{1}{2}$ периода тока манипуляции.

В канале связи происходит суммирование сигналов от каждого ПП, после чего данный суммарный сигнал поступает на вход каждого из блоков ДФЗ.

3.4 В зависимости от соотношения фаз токов по концам линии суммарный сигнал может быть непрерывным, либо иметь паузы Φ разной длительности (рисунки 3.2, 3.3).

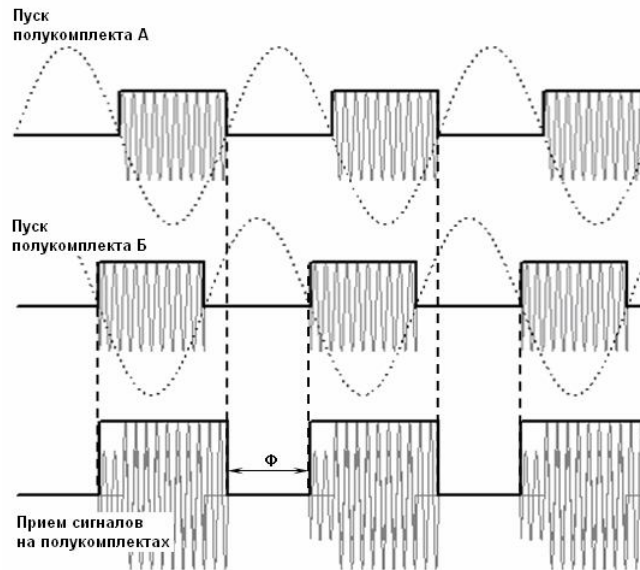


..... Ток манипуляции ——— Модулированный сигнал в линии
 ——— Сигналы ПУСК, ПРИЁМ в блоке ДФЗ Φ - пауза

Рисунок 3.2 - Диаграммы сигналов, формируемых терминалами при внешнем (относительно зоны действия защиты) КЗ

Пуск каждого ПП происходит при срабатывании одного из блокирующих ПО полукомплекта ДФЗ.

³⁾ См п.п. 3.2.116



..... Ток манипуляции ——— Модулированный сигнал в линии
 ——— Сигналы ПУСК, ПРИЁМ в блоке ДФЗ Ф - пауза

Рисунок 3.3 - Диаграммы сигналов при внутреннем (относительно зоны действия защиты) КЗ

Селективность защиты обеспечивает ОСФ, определяющий разность фаз токов полукомплектов (по длительности пауз, возникающих в принимаемом ВЧ сигнале), которая зависит от места возникновения КЗ.

3.5. В случае возникновения КЗ вне зоны действия защиты (точка *K1* на рисунке 3.1) разность фаз токов манипуляции в идеальном случае будет составлять 180° .

Из-за погрешностей ТТ, неидентичности настройки органов манипуляции, разности задержек передачи сигнала по различным направлениям в канале связи, разность фаз может незначительно отличаться от 180° .

Результирующий сигнал в канале связи будет иметь паузы Φ (см. рисунок 3.2), длительность которых не превышает уставку угла блокировки⁴⁾ ОСФ. В результате действие отключающих ПО полукомплектов ДФЗ будет заблокировано.

3.6 При КЗ в зоне действия защиты (точка *K2* на рисунке 3.1) токи манипуляции в идеальном случае синфазны. При этом генерируемые ПП сигналы совпадут и результирующий сигнал в канале связи будет содержать паузы Φ (см. рисунок 3.3) с угловой длительностью до 180° .

При превышении длительностью паузы Φ уставки угла блокировки произойдет срабатывание ОСФ и действие отключающих ПО полукомплектов ДФЗ будет разрешено.

⁴⁾ В данном стандарте использовано традиционное название уставки, получившее распространение до того, как был введен стандарт ГОСТ 18311-80 [3], который ввел разграничение понятий, обозначаемых терминами «блокирование» и «блокировка».

4 ДФЗ в терминалах БМРЗ

4.1 ПО терминала

4.1.1 Блокирующие ПО полукомплекта защиты в терминалах БМРЗ предназначены для пуска ПП (см. рисунок 3.1).

После возврата блокирующих ПО останов ПП происходит с задержкой по времени длительностью 0,6 с.

4.1.2 Для действия на отключение используют отключающие ПО полукомплекта защиты, работающие с задержкой на возврат 0,2 с.

Действие отключающих ПО на отключение выключателя происходит при выполнении условий срабатывания ОСФ.

4.1.3 В комплект блокирующих и отключающих ПО терминала БМРЗ-ДФЗ входят следующие реле:

- тока обратной последовательности $I2_{\text{БЛ}}, I2_{\text{ОТ}}$;
- разности фазных токов $I_{\text{Л БЛ}}, I_{\text{Л ОТ}}$;
- тока нулевой последовательности $3I0_{\text{БЛ}}, 3I0_{\text{ОТ}}$;
- аварийных составляющих:
 - фазного тока^{5), 6)} $I_{\text{АС БЛ}}, I_{\text{АС ОТ}}$;
 - тока прямой последовательности⁵⁾ $I1_{\text{АС БЛ}}, I1_{\text{АС ОТ}}$;
 - тока обратной последовательности⁵⁾ $I2_{\text{АС БЛ}}, I2_{\text{АС ОТ}}$.

4.1.4 В терминалах БМРЗ предусмотрен также комплект РС и РНМ нулевой последовательности, что позволяет упростить отстройку защиты на линиях с ответвлениями от КЗ, возникающих вне зоны действия защиты.

4.1.5 Блокирующие и отключающие реле тока обратной последовательности $I2_{\text{РЗТ БЛ}}, I2_{\text{РЗТ ОТ}}$, а также РС, установленные в терминале БМРЗ, позволяют организовать резервирование защиты трансформаторов отпаечных подстанций.

4.1.6 Алгоритм КЦН обеспечивает возможность вывода РС и РНМ в случае неисправности вторичных цепей напряжения.

4.1.7 Формирование тока манипуляции, а также работа ОСФ в блоках БМРЗ происходит с частотой дискретизации 24 кГц (768 отсчетов на период частоты сигнала).

4.1.8 ОСФ, выполненный на интегральном принципе, обеспечивает правильную работу ДФЗ при всех видах КЗ, возникающих как в зоне действия защиты, так и вне её.

ДФЗ, реализованная в терминалах БМРЗ-ДФЗ, повышает избирательность действия защиты в сложных переходных режимах при сохранении быстродействия.

⁵⁾ Реле реагирует на изменение действующего значения тока за интервал времени соответствующий 2 периодам сигнала.

⁶⁾ Реле не реагирует на линейное изменение действующего значения тока.

4.2 ПТН терминала и ТТ

4.2.1 Номинальные токи измерительного канала $I_{НОМ ПТН}$ и соответствующие диапазоны измерений приведены в эксплуатационной документации на терминалы БМРЗ.

4.2.2 Для обеспечения работы в режимах КЗ внутри защищаемой зоны максимально допустимое значения тока измерительного канала $i_{МАКС ПТН}$ выбирают по соотношению:

$$i_{МАКС ПТН} \geq k_{ПЕР} \cdot \frac{I_{К МАКС}}{K_{ТТ}}, \quad (4-1)$$

где $k_{ПЕР} = 2$ - коэффициент, учитывающий переходный режим (наличие аperiodической составляющей тока);

$I_{К МАКС}$ - периодическая составляющая максимального фазного тока КЗ (как правило, трехфазного металлического КЗ) внутри защищаемой зоны, протекающего через ТТ (в начальный момент времени КЗ), А;

$K_{ТТ}$ - коэффициент трансформации ТТ.

4.2.3 По таблице технических характеристик блока выбирают ПТН, имеющий ближайшее большее значение максимально допустимого входного тока.

В том случае, когда выбрать ПТН вышеуказанным способом не удаётся из-за слишком большого значения тока КЗ, следует выбрать ПТН с максимально возможным допустимым входным током, обращая особое внимание на выполнение требований к ТТ, изложенных ниже.

4.2.4 ТТ должны удовлетворять требованиям по их применению в цепях РЗ (в том числе и по условиям термической стойкости вторичных цепей) и должны быть проверены в соответствии с РД 153-34.0-35.301-2002 [4].

4.2.5 Полная погрешность ТТ при максимальном токе нагрузочного режима не должна превышать 10 %.

4.2.6 При выборе номинальных токов измерительных каналов может потребоваться соблюдение и иных условий, указанных в эксплуатационной документации терминалов релейной защиты.

5 Расчёт уставок ДФЗ

5.1 Расчет уставок для всех типов линий

5.1.1 Расчёт уставок ПО для всех типов линий выполняют по схеме, приведенной на рисунке 5.1 и может быть завершен на любом из этапов после того, как требования чувствительности будут выполнены.

5.1.2 Уставки срабатывания блокирующих реле тока $I_{Л БЛ}$, $I_{2 БЛ}$, действующих на пуск ПП, и отключающих реле тока $I_{Л ОТ}$, $I_{2 ОТ}$, действующих на отключение выключателя, рассчитывают по формулам (5-1) – (5-8), приведенным в таблице 5.1.

После расчёта значения уставки $I_{2 БЛ}$ по формуле (5-4) необходимо, не переходя к последующим расчётам, убедиться в том, что полученное значение допустимо для ввода в блок БМРЗ. Если значение уставки $I_{2 БЛ}$ находится ниже диапазона допустимых значений, необходимо в качестве уставки принять минимально возможное для ввода в блок БМРЗ значение.

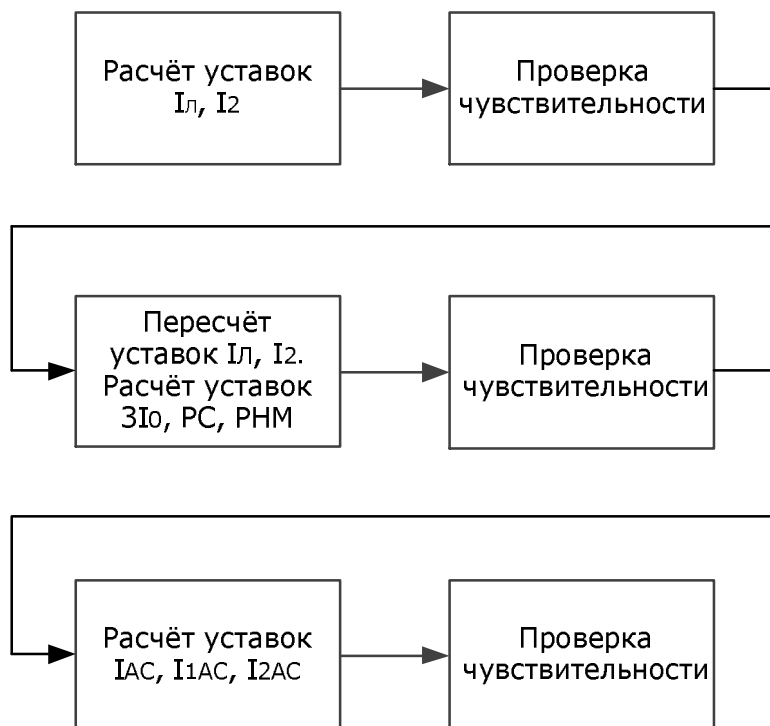


Рисунок 5.1 – Алгоритм процесса расчёта уставок

5.1.3 В случае, когда уставки реле тока $I_{л\text{от}}$, $I_{2\text{от}}$, действующих на отключение, обеспечивают выполнение требований чувствительности защиты (см. п.п. 5.4), допустимо не использовать ПО нулевой последовательности ($3I_{0\text{бл}}$, $3I_{0\text{от}}$), комплект РС и РНМ нулевой последовательности.

Если защита не удовлетворяет этим требованиям, необходимо в первую очередь рассмотреть возможность снижения уставок по току обратной последовательности ($I_{2\text{бл}}$, $I_{2\text{от}}$). Если же снизить уставки по току обратной последовательности до необходимого по условиям чувствительности защиты уровня невозможно, рекомендуется использовать ПО тока нулевой последовательности ($3I_{0\text{бл}}$, $3I_{0\text{от}}$).

5.1.4 Использование комплекта РС и РНМ нулевой последовательности⁷⁾ позволяет снизить уставки отключающих ПО на линиях с ответвлениями.

При КЗ в питающей системе РС и РНМ обеспечивают несрабатывание полуккомплекта на отключение, позволяя тем самым не отстраивать уставки отключающих ПО от данного вида КЗ (см. п.п. 5.2).

Рекомендации по выбору уставок РС и РНМ приведены в разделе 6.

5.1.5 Выбор уставок срабатывания блокирующего ($3I_{0\text{бл}}$) и отключающего ($3I_{0\text{от}}$) реле тока нулевой последовательности производят по приведенным в таблице 5.1 формулам (5-9) – (5-13).

⁷⁾ Для повышения чувствительности уставок отключающих ПО, допустимо для линий с ответвлениями все расчёты изначально производить при учёте использования комплекта РС и РНМ нулевой последовательности. При этом следует помнить, что использование в ДФЗ цепей напряжения ведёт к снижению надёжности функционирования защиты из-за введения дополнительных элементов (ТН, цепи ТН).

После расчёта уставки $3I_{0\text{ бл}}$ по формуле (5-9) необходимо, не переходя к последующим расчётам, убедиться в том, что полученное значение можно ввести в терминал БМРЗ. Если уставка $3I_{0\text{ бл}}$ меньше нижней границы диапазона допустимых значений, то в качестве уставки принимают минимально возможное для ввода в блок БМРЗ значение.

5.1.6 Если защищаемая линия характеризуется значительным током несимметрии⁸⁾ $I_{2\text{ несим}}$ (5-4), что не позволяет обеспечить требуемую чувствительность защиты к несимметричным КЗ даже при использовании комплекта РС и РНМ нулевой последовательности, необходимо применить ПО, реагирующие на аварийную составляющую тока обратной последовательности.

Если значение уставки $I_{\text{л от}}$ ($3I_{0\text{ от}}$) не обеспечивает выполнение требования чувствительности защиты к симметричным (несимметричным) КЗ даже при использовании комплекта РС и РНМ нулевой последовательности, необходимо применить ПО, реагирующие на аварийную составляющую тока прямой последовательности (фазного тока).

5.1.7 По принципу действия блокирующие и отключающие ПО, реагирующие на аварийные составляющие, могут срабатывать от тока, обусловленного включением и отключением нагрузки (в том числе и при АПВ).

Поэтому ПО, реагирующие на аварийные составляющие, допускается использовать только совместно с комплектом РС и РНМ нулевой последовательности.

5.1.8 В качестве уставок $I_{\text{АС бл}}$, $I_{1\text{АС бл}}$, $I_{2\text{АС бл}}$ блокирующих ПО, реагирующих на аварийные составляющие, рекомендуется принимать минимально возможные для ввода в блок БМРЗ значения.

5.1.9 Выбор уставок $I_{\text{АС от}}$, $I_{1\text{АС от}}$, $I_{2\text{АС от}}$ отключающих ПО, реагирующих на аварийные составляющие, следует осуществлять по принципу обеспечения чувствительности защиты при КЗ в зоне действия защиты, в соответствии с формулами (5-14), (5-16), (5-18) таблицы 5.2.

В заключение необходимо проверить выполнение условий согласования с уставками ПО, действующих на пуск ПП противоположного конца линии по формулам (5-15), (5-167), (5-19) таблицы 5.2.

⁸⁾ Например, из-за наличия тяговых подстанций.

Таблица 5.1 - Расчет параметров срабатывания токовых пусковых органов

Величина	Расчетное условие	Расчетное выражение	
		линии без ответвлений	линии с ответвлениями
$I_{ЛБЛ}$	Отстройка от максимального рабочего тока	$I_{ЛБЛ} \geq \sqrt{3} \cdot \frac{k_H}{k_B} \cdot I_{РАБ.МАКС} \quad (5-1)$ $k_H = 1,2, k_B = 0,95$	
$I_{ЛОТ}$	Согласование по чувствительности с реле тока, действующим на пуск ПП, установленного на противоположном конце линии	$I_{ЛОТ} \geq k_C \cdot I_{ЛБЛ}^{(П)} \quad (5-2)$ $k_C = 1,4, k_{ОТВ}^{5)}$	$I_{ЛОТ} \geq k_C \cdot k_{ОТВ} \cdot I_{ЛБЛ}^{(П)} \quad (5-3)$ $k_C = 1,4, k_{ОТВ}^{5)}$
$I_{2БЛ}$	Отстройка от максимального тока обратной последовательности в нормальном режиме работы ¹⁾	$I_{2БЛ} \geq \frac{k_H}{k_B} \cdot (I_{2НБ} + I_{2НЕСИМ}) \quad (5-4)$ $k_H = 1,3, k_B = 0,95, I_{2НБ} = k_{2НБ} \cdot I_{РАБ.МАКС} \quad (5-5), k_{2НБ} = 0,025$	
$I_{2ОТ}$	Отстройка от составляющих обратной последовательности ёмкостного тока линии, обусловленных кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение ²⁾	$I_{2ОТ} \geq k_H \cdot I \cdot I_{2СУД} \quad (5-6)$ $k_H = 2,0, I_{2СУД}^{4)}$	
	Согласование по чувствительности с реле тока, действующим на пуск ПП, установленного на противоположном конце линии	$I_{2ОТ} \geq k_C \cdot I_{2БЛ}^{(П)} \quad (5-7)$ $k_C = 1,5, k_{2ОТВ}^{6)}$	$I_{2ОТ} \geq k_C \cdot k_{2ОТВ} \cdot I_{2БЛ}^{(П)} \quad (5-8)$ $k_C = 1,5, k_{2ОТВ}^{6)}$
$3I_{0БЛ}$	Отстройка от максимального тока нулевой последовательности в нормальном режиме работы ³⁾	$3I_{0БЛ} \geq \frac{k_H}{k_B} \cdot (I_{0НБ} + 3I_{0НЕСИМ}) \quad (5-9)$ $k_H = 1,5, k_B = 0,95, I_{0НБ} = k_{0НБ} \cdot I_{РАБ.МАКС} \quad (5-10), k_{0НБ} = 0,025$	
$3I_{0ОТ}$	Отстройка от составляющих нулевой последовательности ёмкостного тока линии, обусловленных кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение ²⁾	$3I_{0ОТ} \geq k_H \cdot I \cdot 3I_{0СУД} \quad (5-11)$ $k_H = 2,0, I_{2СУД}^{4)}$	

Продолжение таблицы 5.1

Величина	Расчетное условие	Расчетное выражение	
		линии без ответвлений	линии с ответвлениями
$3I_{0\text{от}}$	Согласование по чувствительности с реле тока, действующим на пуск ПП, установленного на противоположном конце линии	$3I_{0\text{от}} \geq k_C \cdot 3I_{0\text{БЛ}}^{(\text{П})} \quad (5-12)$ $k_C = 2,0, k_{0\text{отв}}^{7)}$	$3I_{0\text{от}} \geq k_C \cdot k_{0\text{отв}} \cdot 3I_{0\text{БЛ}}^{(\text{П})} \quad (5-13)$ $k_C = 2,0, k_{0\text{отв}}^{7)}$
<p>Примечания:</p> <p>1) При отсутствии $I_{2\text{несим}}$ в качестве уставки $I_{2\text{БЛ}}$ необходимо принимать минимально возможное для ввода в блок БМРЗ значение.</p> <p>2) Отстройку выполнять только для линий напряжением 220 кВ.</p> <p>3) При отсутствии $3I_{0\text{несим}}$ в качестве уставки $3I_{0\text{БЛ}}$ необходимо принимать минимально возможное для ввода в блок БМРЗ значение.</p> <p>4) см. таблицу 3 в [3].</p> <p>5) см. п.п. 5.2.1.</p> <p>6) см. п.п. 5.2.2.</p> <p>7) см. п.п. 5.2.3.</p> <p>Обозначения:</p> <p>k_H – коэффициент надежности; k_C – коэффициент согласования; k_B – коэффициент возврата; $k_{\text{отв}}$, $k_{2\text{отв}}$, $k_{0\text{отв}}$ – коэффициенты ответвления; $I_{\text{РАБ. МАКС}}$ – максимальный фазный рабочий ток линии, А; $I_{2\text{НБ}}$ – ток небаланса обратной последовательности, А; $I_{2\text{НЕСИМ}}$ – ток обратной последовательности в нормальном режиме работы, А; $I_{2\text{С УД}}$ – удельный емкостной ток обратной последовательности, А/км; $I_{0\text{НБ}}$ – ток небаланса нулевой последовательности, А; $3I_{0\text{НЕСИМ}}$ – ток нулевой последовательности в нормальном режиме работы, А; $3I_{0\text{С УД}}$ – удельный емкостной ток нулевой последовательности, А/км; l – длина линии, км. (П) – параметр полуконспекта защиты противоположного конца линии (максимальный из параметров противоположных концов).</p>			

Таблица 5.2 - Расчет параметров срабатывания пусковых органов по аварийным составляющим

Величина	Расчетное условие	Расчетное выражение для всех типов линий
$I_{1AC OT}$	Обеспечение чувствительности при симметричных КЗ на защищаемой линии	$I_{1 AC БЛ} \leq \frac{I_{K МИН}^{(3)} - I_{РАБ. МАКС}}{k_{ч} \cdot k_{Н}} \quad (5-14)$ $k_{ч} = 2,0, k_{Н} = 1,2$
	Согласование по чувствительности с аналогичным реле, действующим на пуск ПП, установленного на противоположном конце линии	$I_{1AC OT} \geq k_{ОТВ} \cdot I_{1AC БЛ}^{(П)} \quad (5-15)$ $k_{ОТВ} - \text{см. п.п. 5.2.1}$
$I_{2AC OT}$	Обеспечение чувствительности при несимметричных КЗ на защищаемой линии	$I_{2 AC БЛ} \leq \frac{I_{2 K МИН}^{(2)} - (I_{2 нб} + I_{2 несим})}{k_{ч} \cdot k_{Н}} \quad (5-16)$ $k_{ч} = 2,0, k_{Н} = 1,2$
	Согласование по чувствительности с аналогичным реле, действующим на пуск ПП на противоположном конце линии	$I_{2AC OT} \geq k_{2 ОТВ} \cdot I_{2AC БЛ}^{(П)} \quad (5-17)$ $k_{2 ОТВ} - \text{см. п.п. 5.2.2}$
$I_{AC OT}$	Обеспечение чувствительности при однофазных КЗ на защищаемой линии	$I_{AC OT} \leq \frac{3I_{0 МИН}^{(1)} - I_{РАБ. МАКС}}{k_{ч} \cdot k_{Н}} \quad (5-18)$ $k_{ч} = 2,0, k_{Н} = 1,2$
	Согласование по чувствительности с аналогичным реле, действующим на пуск ПП на противоположном конце линии	$I_{AC OT} \geq k_{0 ОТВ} \cdot I_{AC БЛ}^{(П)} \quad (5-19)$ $k_{0 ОТВ} - \text{см. п.п. 5.2.3}$
<p>Обозначения:</p> <p>$I_{K МИН}^{(3)}$ - минимальное значение тока прямой последовательности, протекающего через рассматриваемый полукомплект, при трёхфазном КЗ на защищаемой линии; $I_{2 K МИН}^{(2)}$ - минимальное значение тока обратной последовательности, протекающего через рассматриваемый полукомплект, при двухфазном КЗ на землю на защищаемой линии; $3I_{0 МИН}^{(1)}$ - утроенное минимальное значение тока нулевой последовательности, протекающего через рассматриваемый полукомплект, при однофазном КЗ на защищаемой линии. Остальные обозначения приведены в таблице 5.1.</p>		

5.2 Расчет коэффициента ответвления

5.2.1 Для трёхконцевых линий при наличии питания со всех концов значение коэффициента ответвления $k_{\text{ОТВ}}$, используемого в формуле (5-3), рекомендуется принимать равным 2

Для линий с двусторонним питанием, имеющих ответвления, в качестве коэффициента $k_{\text{ОТВ}}$ необходимо принимать наибольший из коэффициентов, рассчитанных по формулам (5-20) и (5-21):

$$k_{\text{ОТВ}} = 1 + \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\Sigma \text{нагр}}}{I_{\text{ЛБЛ}}^{(\text{П})}}, \quad (5-20)$$

$$k_{\text{ОТВ}} = 1 + \frac{I_{\text{ДВ макс}}}{I_{\text{К мин}}}, \quad (5-21)$$

где $I_{\Sigma \text{нагр}}$ – суммарное значение максимальных рабочих токов концов без питания, А;

$I_{\text{ЛБЛ}}^{(\text{П})}$ – уставка блокирующего ПО разности фазных токов полукомплекта, установленного на противоположном конце защищаемой линии, А;

$I_{\text{ДВ макс}}$ – суммарное значение тока прямой последовательности, создаваемого двигательной нагрузкой, протекающего к месту возникновения КЗ⁹⁾, А;

$I_{\text{К мин}}$ – значение тока КЗ прямой последовательности, протекающего к месту возникновения КЗ⁹⁾ от системы, примыкающей к противоположному по отношению к рассматриваемому концу линии, А.

При использовании ПО РС и РНМ нулевой последовательности, обеспечивающих несрабатывание полукомплекта на отключение при КЗ в питающей системе, допускается определять значение коэффициента $k_{\text{ОТВ}}$ руководствуясь только формулой (5-20) для:

- линий с двусторонним питанием, имеющих ответвления;
- многоконцевых линий, вне зависимости от числа питающих концов, при условии отсутствия обходных связей между концами линии.

В случае, если выбранная с учетом $k_{\text{ОТВ}}$ уставка $I_{\text{Л ОТ}}$ не обеспечивает выполнение требования чувствительности защиты (см. п.п. 5.4), а также, если $k_{\text{ОТВ}}$ определить вышеуказанным способом не представляется возможным (линии более сложной конфигурации), необходимо руководствоваться рекомендациями приложения III, приведенного в [3].

5.2.2 Значение коэффициента ответвления $k_{2\text{ОТВ}}$, используемого в формуле (5-8), рекомендуется принимать равным 2 для:

- трёхконцевых линий при наличии питания со всех концов;
- линий с двусторонним питанием, имеющих ответвления.

При использовании ПО РС и РНМ нулевой последовательности, обеспечивающих несрабатывание полукомплекта на отключение при КЗ в питающей системе, значение коэффициента $k_{2\text{ОТВ}}$ в вышеуказанных случаях,

⁹⁾ КЗ на шинах питающей подстанции в минимальном режиме работы системы с противоположного конца защищаемой линии (см. стр. 71 в [2]).

при условии отсутствия обходных связей между концами линии, допускается принимать равным 1.

В случае, если выбранная с учетом $k_{2\text{отв}}$ уставка $I_{2\text{от}}$ не обеспечивает необходимое значение коэффициента чувствительности защиты (см. п.п. 5.4), а также, если $k_{2\text{отв}}$ определить вышеуказанным способом не представляется возможным (линии более сложной конфигурации), необходимо руководствоваться рекомендациями приложения III, приведенного в [3].

5.2.3 Значение коэффициента ответвления $k_{0\text{отв}}$, используемого в формуле (5-13), рекомендуется принимать равным 2 для:

- трёхконцевых линий при наличии питания со всех концов;
- линий с двусторонним питанием, имеющих ответвления (за исключением случаев, когда на ответвлении установлен трансформатор с заземлённой нейтралью).

При использовании РНМ нулевой последовательности, обеспечивающего несрабатывание полуконтакта на отключение при однофазных КЗ в питающей системе, значение коэффициента $k_{0\text{отв}}$ в вышеуказанных случаях, при условии отсутствия обходных связей между концами линии, допускается принимать равным 1. Кроме того, в данном случае допускается принимать $k_{0\text{отв}} = 1$ даже при наличии трансформаторов с заземлённой нейтралью на ответвлениях линий с двусторонним питанием.

В случае, если выбранная с учетом $k_{0\text{отв}}$ уставка $3I_{0\text{от}}$ не обеспечивает необходимое значение коэффициента чувствительности защиты (см. п.п. 5.4), а также, если $k_{0\text{отв}}$ определить вышеуказанным способом не представляется возможным (линии более сложной конфигурации), необходимо руководствоваться рекомендациями приложения III, приведенного в [3].

5.3 Дополнительные условия для расчёта уставок многоконцевых линий при наличии у них концов без питания

5.3.1 Для многоконцевых линий при наличии у них концов без питания расчет токов блокирующих и отключающих ПО необходимо производить согласно п. 5.1.

5.3.2 В случае когда на концах линии без питания не устанавливаются полуконтакты защиты, выбор уставок отключающих токовых ПО, помимо условий, приведенных в п.п. 5.1, должен производиться с учетом дополнительных условий:

- всех, приведенных в таблице 5.3 – если расчёт уставок по п.п. 5.1 произведён без учета использования комплекта РС и РНМ нулевой последовательности;
- приведенных в формулах (5-23), (5-25), (5-27) таблицы 5.3 – если расчёт уставок по п.п. 5.1 произведён с учётом использования комплекта РС и РНМ нулевой последовательности.

5.3.3 Если уставка, рассчитанная по условиям, приведенным в таблице 5.3, не обеспечивает необходимого коэффициента чувствительности защиты (см. п.п. 5.4), а определяющим для выбора значения уставки было условие отстройки от КЗ за трансформатором, необходимо использовать комплект РС и РНМ нулевой последовательности, не учитывая при этом данное условие отстройки.

Возможно использование РНМ нулевой последовательности отдельно от комплекта РС. В данном случае действие ДФЗ на отключение запрещено в течение промежутка времени, определяемого уставкой $T_{\text{БЛ МАКС}}$, при одновременном выполнении условий:

- несрабатывание РНМ нулевой последовательности;
- превышении утроенным током нулевой последовательности

уставки $3I_0$ от.

5.3.4 Если и в этом случае не обеспечивается необходимое значение коэффициента чувствительности защиты, или же, если уставки РС не обеспечивают нужного значения коэффициента чувствительности РС (см. п. 6), рекомендуется рассмотреть возможность установки на конце линии без питания с наибольшим током КЗ дополнительного полукомплекта защиты, не действующего на отключение.

Таблица 5.3 - Дополнительные условия для расчёта уставок отключающих ПО

Величина	Расчетное условие	Расчетное выражение
$I_{л\ от}$	Отстройка от тока трёхфазного КЗ за трансформатором конца линии, на котором полукомплект защиты не устанавливается ¹⁾²⁾	$I_{л\ от} \geq \sqrt{3} \cdot k_H \cdot I_{К\ МАКС\ ТР}^{(3)} \quad (5-22)$ $k_H = 1,4$
	Согласование по чувствительности с аналогичным реле, действующим на пуск ПП, установленного на противоположном конце линии	$I_{л\ от} \geq \sqrt{3} \cdot k_H \cdot I_{БТН} \quad (5-23)$ $k_H = 1,2$
$I_{2ас\ от}$	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, приключенных к защищаемой линии	$I_{2\ от} \geq k_H \cdot I_{2К\ МАКС\ ТР}^{(2)} \quad (5-24)$ $k_H = 1,5$
	Согласование по чувствительности с аналогичным реле, действующим на пуск ПП на противоположном конце линии	$I_{2\ от} \geq k_H \cdot I_{2\ БТН} \quad (5-25)$ $k_H = 1,2$
$I_{2\ от}$	Отстройка от тока обратной последовательности при двухфазном КЗ за трансформатором конца линии, на котором полукомплект защиты не устанавливается ²⁾	$3I_{0\ от} \geq k_H \cdot \varepsilon \cdot I_{К\ МАКС\ ТР}^{(3)} \quad (5-26)$ $k_H = 1,3$
	Согласование по чувствительности с аналогичным реле, действующим на пуск ПП на противоположном конце линии	$3I_{0\ от} \geq k_H \cdot 3I_{0\ БТН} \quad (5-27)$ $k_H = 1,2$

Примечания:

В качестве расчетного следует принимать режим, когда линия включена только с рассматриваемого питающего конца и система работает в максимальном режиме.

¹⁾ В ряде случаев, при наличии на линии нескольких трансформаторов с заземленными нейтралями уставка срабатывания реле тока $I_{л\ от}$ должна также проверяться по условию отстройки от фазного тока в месте установки защиты при замыкании на землю в питающей системе. В этих случаях фазный ток может оказаться большим, чем при трехфазном КЗ, из-за токов нулевой последовательности, замыкающихся через заземленные нейтрали трансформаторов на концах без питания.

²⁾ При наличии на линии более 1 конца без установленного полукомплекта защиты отстройку необходимо производить для каждого из таких концов. Расчётным окажется наибольшее из рассчитанных значений уставки.

Обозначения:

k_H – коэффициент надежности; ε – максимальная полная погрешность ТТ при токе $I_{К\ МАКС}^{(3)}$; $I_{К\ МАКС}^{(3)}$, $I_{2К\ МАКС}^{(2)}$ – максимально возможные токи прямой и обратной последовательностей при КЗ за трансформатором; $I_{БТН}$, $I_{2\ БТН}$, $3I_{0\ БТН}$ – фазный ток, ток обратной последовательности, утроенный ток нулевой последовательности, возникающие при броске тока намагничивания силового трансформатора - см. приложение VII [3] (значение коэффициента C_6 , используемого в выражениях приложения VII [3], для всех расчётов рекомендуется принимать равным 0,5. Данное значение, с учетом подавления апериодической составляющей сигнала блоком БМРЗ, позволяет отстраивать уставки от броска тока намагничивания с достаточным запасом).

5.4 Определение коэффициентов чувствительности ДФЗ

5.4.1 Коэффициенты чувствительности ДФЗ необходимо определять для каждого полукомплекта при КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полукомплекта конце линии.

5.4.2 Минимальное значение коэффициента чувствительности $k_{\text{ч}}$ должно быть около 2 [1].

5.4.3 Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ ДФЗ к симметричным КЗ необходимо определять по формуле (5-28), используя значение уставки отключающего реле разности фазных токов $I_{\text{л от}}$:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{К МИН}}^{(3)}}{I_{\text{л от}}}, \quad (5-28)$$

где $I_{\text{К МИН}}^{(3)}$ - минимальное значение тока при трёхфазном КЗ в конце защищаемой линии, А;

$I_{\text{л от}}$ - уставка отключающего реле разности фазных токов, А.

5.4.4 Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ ДФЗ к несимметричным КЗ необходимо определять по формуле (5-29), используя значение уставки отключающего реле тока обратной последовательности $I_{2 \text{ от}}$:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2\text{К МИН}}}{I_{2 \text{ от}}}, \quad (5-29)$$

где $I_{2\text{К МИН}}$ - минимальное из значений токов обратной последовательности при однофазном и двухфазном КЗ на землю в конце защищаемой линии, А. При использовании ПО тока нулевой последовательности в защите расчётным является случай двухфазного КЗ на землю.

$I_{2 \text{ от}}$ - уставка отключающего реле тока обратной последовательности, А.

5.4.5 В случае использования в защите ПО тока нулевой последовательности необходимо дополнительно рассчитать чувствительность ДФЗ к однофазным КЗ по формуле (5-30), используя значение уставки отключающего реле тока нулевой последовательности $3I_{0 \text{ от}}$:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0 \text{ МИН}}}{3I_{0 \text{ от}}}, \quad (5-30)$$

где $3I_{0 \text{ МИН}}$ - минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности при однофазном КЗ на землю в конце защищаемой линии, А;

$3I_{0 \text{ от}}$ - уставка отключающего реле тока нулевой последовательности, А.

6 Расчёт уставок комплекта РС и РНМ нулевой последовательности

6.1 Расчёт уставок комплекта РС

6.1.1 Характеристика срабатывания РС имеет вид, представленный на рисунке 6.1, и определяется следующими уставками:

R – активное сопротивление, Ом;

Z – полное сопротивление, Ом;

$\Phi_{л}$ – угол линии, $^{\circ}$;

$K_{см}$ – коэффициент смещение по полному сопротивлению.

6.1.2 РС выполняет функцию избирательного ПО, разрешая, при срабатывании, и запрещая, при несрабатывании (в случае несрабатывания РНМ нулевой последовательности), действие ДФЗ на отключение.

Исходя из этого, РС должны, с требуемой чувствительностью (см. п.п. 6.2), срабатывать в случае возникновения удаленных КЗ в зоне действия защиты, а также надежно не срабатывать при КЗ в питающей системе.

При использовании РС на многоконцевых линиях в случае, когда на концах линии без питания не устанавливаются полукомплекты защиты, РС, кроме того, должны не срабатывать при КЗ за трансформаторами концов линии, на которых полукомплекты защиты не устанавливают.

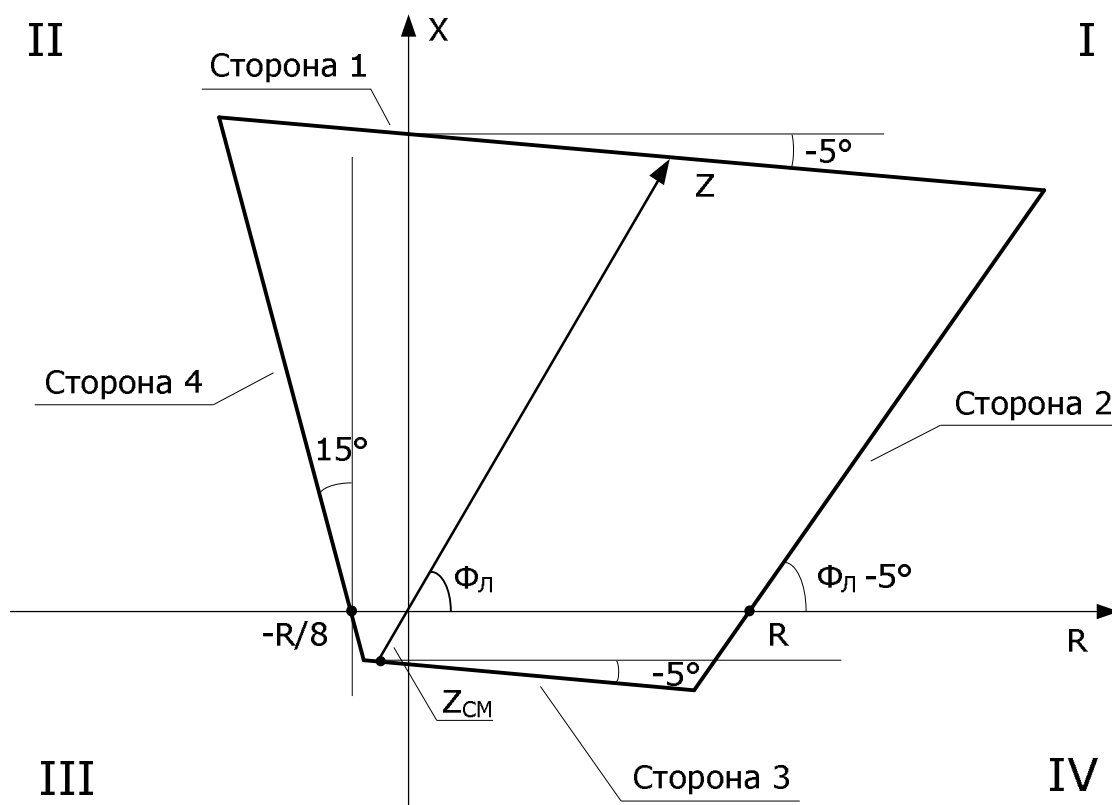


Рисунок 6.1 - Характеристика срабатывания РС

6.1.3 Расчет уставки полного сопротивления Z для всех типов линий необходимо осуществлять в соответствии с формулой (6-1) таблицы 6.1.

6.1.4 Для многоконцевых линий в случае, когда на концах линии без питания не устанавливают полукомплекты защиты, при выборе уставки полного сопротивления Z дополнительно необходимо проводить расчёты по формулам (6-2), (6-3) таблицы 6.1.

В качестве уставки Z необходимо выбрать наименьшее из полученных по формулам (6-1) – (6-3) значение.

6.1.5 Расчет уставки угла линии Φ_L для всех типов линий необходимо осуществлять в соответствии с формулой (6-4) таблицы 6.1.

6.1.6 Расчет уставки активного сопротивления R для всех типов линий необходимо осуществлять в соответствии с формулой (6-5) таблицы 6.1.

6.1.7 Для обеспечения несрабатывания РС при КЗ в питающей системе коэффициент смещения $K_{см}$ должен быть задан равным 0.

6.1.8 При близких КЗ, сопровождающихся снижением действующего значения напряжения ниже 3 В, работа РС осуществляется по контуру памяти, фиксирующему направление вектора напряжения в предаварийном режиме.

Таблица 6.1 - Расчёт параметров срабатывания РС

Величина	Расчетное условие	Расчетное выражение
Z	Отстройка от минимального сопротивления в месте установки полуккомплекта в максимальном нагрузочном режиме	$Z \leq \frac{U_{РАБ. МИН}}{k_H \cdot k_B \cdot \sqrt{3} \cdot I_{РАБ. МАКС}} \quad (6-1)$ $k_H = 1,2, k_B = 1,05, U_{РАБ. МИН} = (0,8 \div 0,9) \cdot U_{НОМ}$
	Отстройка от КЗ за трансформатором конца линии, на котором полуккомплект защиты не установлен ¹⁾	$Z \leq k_H \cdot \left[z_{ЛЛ} + \frac{z_{ЛЛЛ} + z_{ТР}}{k_T} \right] \quad (6-2)$ $k_H = 0,85$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, приключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение	$Z \leq \frac{Z_{БТН}}{k_H} \quad (6-3)$ $k_H = 1,2$
Φ_L	-	$\Phi_L = \arctg \left(\frac{X_{1Л}}{R_{1Л}} \right) \quad (6-4)$
R	-	$R = Z \cdot \cos(\Phi_L) \quad (6-5)$
<p>Примечания: ¹⁾ При наличии на линии более одного конца без установленного полуккомплекта защиты отстройку необходимо производить для каждого из таких концов. Расчётным окажется наименьшее из рассчитанных значений уставки Z. Обозначения: k_H – коэффициент надежности; k_B – коэффициент возврата; k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки полуккомплекта к току в трансформаторе отпайки; $U_{РАБ. МИН}$ – минимальное значение междуфазного напряжения в месте установки полуккомплекта в максимальном нагрузочном режиме, кВ; $U_{НОМ}$ – номинальное значение междуфазного напряжения линии, кВ; $I_{РАБ. МАКС}$ – максимальное значение фазного рабочего тока линии, кА; $X_{1Л}, R_{1Л}$ – реактивное и активное сопротивление прямой последовательности линии (первого, относительно места установки полуккомплекта, однородного участка линии), Ом; $z_{ЛЛ}$ – полное сопротивление участка защищаемой линии от места установки полуккомплекта защиты до ответвления, Ом; $z_{ЛЛЛ}$ – полное сопротивление участка защищаемой линии от места разветвления до шин ПС, на которой установлен трансформатор отпайки, Ом; $z_{ТР}$ – минимальное полное сопротивление трансформатора, с учетом устройства регулирования напряжения, Ом; $Z_{БТН}$ – сопротивление, подводимое к РС, при броске тока намагничивания силового трансформатора - см. приложение VII [3] (значение коэффициента C_δ, используемого в выражениях приложения VII [3], для всех расчётов рекомендуется принимать равным 1,0. Данное значение, с учетом подавления апериодической составляющей сигнала блоком БМРЗ, позволяет отстраивать уставки от броска тока намагничивания с достаточным запасом).</p>		

6.2 Определение коэффициента чувствительности комплекта РС

6.2.1 Определение коэффициента чувствительности комплекта РС необходимо производить для каждого полукомплекта при металлическом КЗ в зоне действия защиты, соответствующем наибольшему значению сопротивления, подводимого к РС.

6.2.2 Минимальное значение коэффициента чувствительности $k_{\text{ч}}$ должно быть 1,5 [1].

6.2.3 Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ РС необходимо определять по формуле (6-6):

$$k_{\text{ч}} = \frac{Z}{Z_{\text{КЗ МАКС}}}, \quad (6-6)$$

где Z – значение уставки РС, Ом;

$Z_{\text{КЗ МАКС}}$ – наибольшее значение сопротивления, подводимого к РС, при КЗ, Ом.

В общем случае $Z_{\text{КЗ МАКС}}$ может быть определено по формуле (6-7):

$$Z_{\text{КЗ МАКС}} = Z_{\text{Л1}} + \frac{Z_{\text{Л2}}}{k_{\text{T}}}, \quad (6-7)$$

где $Z_{\text{Л1}}$ – сопротивление участка защищаемой линии от места установки полукомплекта защиты до точки разветвления, Ом;

$Z_{\text{Л2}}$ – сопротивление участка защищаемой линии от точки разветвления до места возникновения КЗ, Ом;

k_{T} – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки полукомплекта к току в месте возникновения КЗ.

6.2.4 Если значение коэффициента чувствительности получилось более 3, то для исключения излишних срабатываний при КЗ в питающей системе, рекомендуется пересчитать уставки РС, чтобы значение коэффициента чувствительности не превышало 3.

6.3 Расчёт уставок РНМ нулевой последовательности

6.3.1 РНМ нулевой последовательности выполняет функцию избирательного ПО, разрешая, при срабатывании, и запрещая, при несрабатывании (при условии несрабатывания комплекта РС), действие ДФЗ на отключение.

Исходя из этого, РНМ нулевой последовательности должно срабатывать при КЗ в зоне действия защиты.

6.3.2 Уставку угла максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности $\Phi_{\text{МЧ Р0}}$ необходимо определять по формуле (6-8):

$$\Phi_{\text{МЧ Р0}} = \arctg \left(\frac{X_{0\text{Л}}}{R_{0\text{Л}}} \right), \quad (6-8)$$

где $X_{0\text{Л}}$ – реактивное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии (первого, относительно места установки полукомплекта, однородного участка линии), Ом;

$R_{0л}$ – активное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии (первого, относительно места установки полуккомплекта, однородного участка линии), Ом.

7 Расчет уставок срабатывания резервной защиты трансформаторов

7.1 Резервная защита трансформаторов отпаечных подстанций может быть обеспечена:

- комплектом блокирующих и отключающих реле тока обратной последовательности $I2_{PЗТ БЛ}$, $I2_{PЗТ ОТ}$;
- комплектом РС и РНМ нулевой последовательности.

7.2 Срабатывание РЗТ в первом случае произойдет по факту срабатывания ОСФ и отключающего ПО РЗТ ($I2_{PЗТ ОТ}$) с выдержкой времени $T_{PЗТ1}$. В случае успешной ликвидации КЗ защитами трансформатора произойдет возврат защиты.

Выбор уставок $I2_{PЗТ БЛ}$ и $I2_{PЗТ ОТ}$ необходимо производить аналогично выбору уставок $I2_{БЛ}$ и $I2_{ОТ}$ в соответствии с п.п. 5.1.2.

Дополнительно следует учитывать условие ограничения глубины зоны резервирования (формула (7-1)) с целью исключения излишнего действия резервной защиты при удаленных КЗ за трансформатором.

$$I2_{PЗТ ОТ} \geq \frac{1}{k_H} \cdot I2_{KЗ ТР МИН} \quad (7-1)$$

где k_H – коэффициент надежности, определяющий чувствительность резервной защиты, $k_H =$ от 1,5 до 4;

$I2_{KЗ ТР МИН}$ – минимальное значение тока обратной последовательности, протекающего в месте установки защиты при КЗ за трансформатором, А.

7.3 Во втором случае при КЗ за трансформатором произойдет срабатывание блокирующих и отключающих ПО и ОСФ, однако комплект РС, уставки которого отстроены от данного вида КЗ, не сработает. Срабатывание ДФЗ произойдет с выдержкой времени $T_{PЗТ2}$. В случае успешной ликвидации КЗ защитами трансформатора произойдет возврат защиты.

7.4 Время действия защиты $T_{PЗТ1}$ необходимо выбирать по условию согласования с временем действия защиты трансформатора по формуле (7-2):

$$T_{PЗТ1} = T_{ТР} + \Delta t, \quad (7-2)$$

где $T_{ТР}$ – время действия защиты трансформатора, с;

$\Delta t = 0,3 - 0,4$ – дополнительная задержка на срабатывание, с.

7.5 Время действия защиты $T_{PЗТ2}$ необходимо выбирать по условию согласования с временем действия защиты трансформатора, аналогично $T_{PЗТ1}$, по формуле (7-2), а также дополнительно отстраивать от времени действия третьей ступени дистанционной защиты линии по формуле (7-3):

$$T_{PЗТ2} = T_{ДЗ3} + \Delta t, \quad (7-3)$$

где $T_{ДЗ3}$ – время действия третьей ступени дистанционной защиты линии, с;

$\Delta t = 0,3 - 0,4$ – дополнительная задержка на срабатывание, с.

Если резервная защита выполнена с помощью РС и РНМ, а значение уставки $I2_{от}$ близко к значению тока обратной последовательности в защите при КЗ за трансформатором, то для увеличения зоны резервирования возможно дополнительно применить токовые органы обратной последовательности $I2_{P3T\ БЛ}$, $I2_{P3T\ от}$.

8 Расчет уставок органов манипуляции и сравнения фаз

8.1 Расчет уставок органа манипуляции

8.1.1 При срабатывании блокирующих ПО блок БМРЗ осуществляет цифровое формирование тока манипуляции по формуле (8-1):

$$I_{MAN} = I_1 + K_{\phi} \cdot I_2. \quad (8-1)$$

8.1.2 Уставку коэффициента фильтра тока манипуляции K_{ϕ} необходимо рассчитывать для каждого полукомплекта исходя из условия обеспечения преимущественного сравнения фаз токов обратной последовательности при несимметричных КЗ на защищаемой линии:

– по формуле (8-2) – для случая замыкания фаз В и С на землю на противоположном конце защищаемой линии в режиме, соответствующем минимальному значению тока обратной последовательности;

– по формуле (8-3) – для расчетного случая¹⁰⁾ замыкания фазы В или фазы С на землю на противоположном конце защищаемой линии в режиме, соответствующем минимальному значению тока обратной последовательности.

Формулы для расчета K_{ϕ} :

$$K_{\phi} \geq k_H \cdot \frac{|\dot{I}_{1расч}^{(1,1)}|}{|\dot{I}_{2расч}^{(1,1)}|}, \quad (8-2)$$

$$K_{\phi} \geq k_H \cdot \frac{|\dot{I}_{1расч}^{(1)}|}{|\dot{I}_{2расч}^{(1)}|}, \quad (8-3)$$

где $|\dot{I}_{1расч}^{(1,1)}|$, $|\dot{I}_{1расч}^{(1)}|$ – действующее значение тока прямой последовательности в месте установки полукомплекта при расчётном виде КЗ, А;

$|\dot{I}_{2расч}^{(1,1)}|$, $|\dot{I}_{2расч}^{(1)}|$ – действующее значение тока обратной последовательности в месте установки полукомплекта при расчётном виде КЗ, А;

$k_H = 1,5$ – коэффициент надёжности.

Расчёт по формулам (8-2) и (8-3) следует производить с учётом влияния нагрузки.

В качестве уставки K_{ϕ} необходимо выбрать максимальное из полученных по формулам (8-2) и (8-3) значение.

¹⁰⁾ Случай однофазного КЗ является расчетным только для длинных и сильно нагруженных линий при соблюдении условия $z_0/z_2 \gg 1$, где z_0 и z_2 – результирующее сопротивление нулевой и обратной последовательностей в месте повреждения.

Для всех полукомплектов необходимо выбрать одну (максимальную) уставку K_ϕ .

8.1.3 Рассчитанную уставку K_ϕ необходимо проверить по условию обеспечения надёжной манипуляции при симметричных КЗ на защищаемой линии по формуле (8-4):

$$K_\phi \leq \frac{I_K^{(3)} - \Delta I_{1\text{ОМ}} - K_{\text{ТТ}} \cdot I_{1\text{МИН ОМ}}}{I_{2\text{НБ}}^{(3)}}, \quad (8-4)$$

где $I_K^{(3)}$ – действующее значение тока трёхфазного КЗ на защищаемой линии в расчётной точке, А;

$\Delta I_{1\text{ОМ}}$ – приведенное к первичному абсолютное значение погрешности органа манипуляции по току прямой последовательности, для блоков БМРЗ принимается $\Delta I_{1\text{ОМ}} = 0,05 \cdot I_K^{(3)}$;

$K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации ТТ;

$I_{1\text{МИН ОМ}}$ – минимальный вторичный ток прямой последовательности, при котором обеспечивается надёжная манипуляция (указан в документации на терминал БМРЗ);

$I_{2\text{НБ}}^{(3)}$ – приведенный к первичному максимальный ток небаланса обратной последовательности при трехфазном КЗ, обусловленный погрешностью ТТ.

$I_{2\text{НБ}}^{(3)}$ может быть рассчитан по формуле (8-5) из расчета того, что погрешность действует только по одной из фаз ТТ (наихудший с точки зрения небаланса случай):

$$I_{2\text{НБ}}^{(3)} = \frac{\varepsilon}{3} \cdot I_K^{(3)}, \quad (8-5)$$

где ε – максимальная полная погрешность ТТ при токе $I_K^{(3)}$, о.е.

При проверке по формуле (8-4) в качестве расчетных следует выбирать такие места возникновения КЗ и режимы работы системы, при которых значение K_ϕ оказывается минимальным. Как правило, необходимо рассматривать КЗ в месте установки данного полукомплекта, при котором погрешность ТТ наибольшая.

8.1.4 В случае когда полукомплект защиты установлен на конце линии без питания, условие (8-4) не может быть удовлетворено, поскольку при симметричном КЗ на защищаемой линии ток через данный полукомплект не протекает. Это может привести к отказу защиты вследствие ее блокирования полукомплексом, в котором ток недостаточен для надёжной манипуляции.

Рекомендуется для полукомплектов, установленных на конце линии без питания (или когда исчезновение питания с данного конца линии вероятно), вводить запрет манипуляции при снижении тока манипуляции ниже минимального тока, обеспечивающего надёжную манипуляцию.

8.1.5 В блоке предусмотрена регулируемая фазовая задержка сигнала тока манипуляции на значение, задаваемое уставкой $\Phi_{\text{МАН}}$, в целях коррекции фазовой характеристики канала связи и для обеспечения совместимости с полукомплектами ДФЗ других производителей.

Значение уставки $\Phi_{\text{МАН}}$ необходимо определять в процессе наладки оборудования.

8.2 Расчет уставок ОСФ

8.2.1 Для двухконцевых линий без отпаек уставку угла блокировки $\Phi_{БЛ}$ необходимо выбирать минимально возможной с учетом задержки распространения сигнала и необходимого запаса по формуле (8-6):

$$\Phi_{БЛ} \geq \frac{l}{100} \cdot 6^\circ + \phi_{ЗАП} \quad (8-6)$$

где l – длина линии, км;

$\phi_{ЗАП}$ – запас по углу блокировки, °.

Значение запаса по углу блокировки рекомендуется выбирать равной 30° при использовании в качестве обоих полукомплектов защиты блоков БМРЗ-ДФЗ, от 40° до 50° - при использовании полукомплектов других производителей.

В выражении (8-6) принята задержка распространения сигнала 6° на каждые 100 км линии, характерная для ВЧ-систем передачи сигналов. При использовании иных систем передачи сигналов защиты значение задержки должно быть уточнено.

8.2.2 Для многоконцевых линий рекомендуется принимать уставку по углу блокировки $\Phi_{БЛ}$ 60° и более.

8.2.3 В случае, если при наладке защиты выявлена значительная погрешность по углу блокировки, значение данной погрешности должно быть дополнительно учтено.

8.2.4 Уставку по углу блокировки необходимо выбирать одинаковой для всех полукомплектов, действующих на отключение.

9 Выбор прочих уставок

9.1 Выбор уставки по времени задержки срабатывания ДФЗ $T_{ДФЗ}$.

При использовании на всех концах защищаемой линии блоков БМРЗ-ДФЗ необходимо принимать минимально возможное для ввода в блок значение уставки $T_{ДФЗ}$.

При использовании для защиты линии блоков ДФЗ различных производителей, а также при наличии большой задержки по времени передачи сигнала в канале связи целесообразно рассмотреть возможность увеличения уставки по времени $T_{ДФЗ}$.

9.2 Выбор уставки по времени длительности блокирования ДФЗ $T_{БЛ МАКС}$.

Максимально допустимая длительность блокирования ДФЗ от РНМ ограничивается уставкой $T_{БЛ МАКС}$. По истечении заданного уставкой времени (в случае неотключения КЗ в питающей системе) осуществляется возврат блокирования.

В случае неотключения КЗ на землю в питающей системе и возникновения КЗ на защищаемой линии, при сохранении обратного направления мощности нулевой последовательности, возможно замедление действия защиты на время, не превышающее заданное уставкой $T_{БЛ МАКС}$.

Время действия блокирования $T_{БЛ МАКС}$ необходимо выбирать по условию согласования с временем действия защиты от однофазных замыканий смежного участка в питающей системе по формуле (9-2):

$$T_{\text{БЛ МАКС}} = T_{\text{ЗИО}} + \Delta t, \quad (9-2)$$

где $T_{\text{ЗИО}}$ – время действия защиты от однофазных замыканий смежного участка, с;

$\Delta t = 0,3 - 0,4$ – дополнительная задержка на срабатывание, с.

10 Пересчёт уставок во вторичные значения

Перед вводом уставок по току и сопротивлению в блок БМРЗ необходимо произвести пересчёт полученных первичных значений этих величин во вторичные с учетом коэффициентов трансформации применяемых ТТ и ТН.

Пересчёт уставок по току происходит по следующему выражению:

$$I_{\text{С.Р.}} = \frac{I_{\text{С.З.}}}{K_{\text{ТТ}}} \quad (10-1)$$

где $I_{\text{С.Р.}}$ – значение тока срабатывания реле (вторичное значение), А;

$I_{\text{С.З.}}$ – расчётное значение тока срабатывания защиты (первичное значение), А;

$K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации ТТ.

Пересчёт уставок по сопротивлению происходит по следующему выражению:

$$Z_{\text{С.Р.}} = Z_{\text{С.З.}} \frac{K_{\text{ТТ}}}{K_{\text{ТН}}} \quad (10-2)$$

где $Z_{\text{С.Р.}}$ – значение сопротивления срабатывания реле (вторичное значение), Ом;

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

$K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации ТТ;

$K_{\text{ТН}}$ – коэффициент трансформации ТН.

11 Примеры расчёта уставок

11.1 Расчёт для линии без ответвлений

11.1.1 Исходные данные



Рисунок 11.1 – линия с двусторонним питанием

Обозначения:

ПКН№1 – полукомплект защиты, установленный на ПС 1;

ПКН№2 – полукомплект защиты, установленный на ПС 2.

Параметры системы 1 и ПС 1:

$E_{C1} = 115$ - ЭДС системы, кВ;

$Z_{1C1 \text{ МАКС}} = 0,82 + j \cdot 5,69$ - сопротивление прямой (обратной)

последовательности системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z_{0C1 \text{ МАКС}} = 0,92 + j \cdot 5,69$ - сопротивление нулевой последовательности

системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z_{1C1 \text{ МИН}} = 1,20 + j \cdot 5,95$ - сопротивление прямой последовательности

системы в минимальном режиме работы, Ом;

$Z_{0C1 \text{ МИН}} = 1,04 + j \cdot 6,07$ - сопротивление нулевой последовательности

системы в минимальном режиме работы, Ом.

$K_{ТТ1} = 120$ – коэффициент трансформации ТТ.

$K_{ТН1} = 1100$ – коэффициент трансформации ТН.

Параметры системы 2 и ПС 2:

$E_{C2} = 115$ - ЭДС системы, кВ;

$Z_{1C2 \text{ МАКС}} = 0,66 + j \cdot 4,26$ - сопротивление прямой (обратной)

последовательности системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z_{0C2 \text{ МАКС}} = 0,60 + j \cdot 4,80$ - сопротивление нулевой последовательности

системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z_{1C2 \text{ МИН}} = 1,54 + j \cdot 6,56$ - сопротивление прямой последовательности

системы в минимальном режиме работы, Ом;

$Z_{0C2 \text{ МИН}} = 0,84 + j \cdot 6,36$ - сопротивление нулевой последовательности

системы в минимальном режиме работы, Ом.

$K_{ТТ2} = 120$ – коэффициент трансформации ТТ.

$K_{ТН2} = 1100$ – коэффициент трансформации ТН.

Параметры линии Л1:

$l = 41,75$ - длина линии, км;

$Z_{1Л} = 0,16 + j \cdot 0,41$ - погонное сопротивление прямой (обратной) последовательности линии, Ом/км;

$Z_{0Л} = 0,31 + j \cdot 1,27$ - погонное сопротивление прямой (обратной) последовательности линии, Ом/км.

Значения токов нормального режима и токов КЗ на защищаемой линии для ПKN№1:

$I_{РАБ. МАКС} = 540$ - максимальный рабочий ток линии, А;

$I_{К МАКС}^{(3)} = 11550$ - максимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А ($\varepsilon = 0,1$ - полная погрешность ТТ при токе $I_{К МАКС}^{(3)}$, о.е.);

$I_{К МИН}^{(3)} = 2730$ - минимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1)} = 840$ - минимальное значение тока обратной последовательности однофазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1,1)} = 980$ - минимальное значение тока обратной последовательности двухфазного КЗ на землю, А;

$I_{К МИН}^{(1,1)} = 1780$ - минимальное значение тока прямой последовательности двухфазного КЗ на землю, А.

Значения токов нормального режима и токов КЗ на защищаемой линии для ПKN№2:

$I_{РАБ. МАКС} = 540$ - максимальный рабочий ток линии, А;

$I_{К МАКС}^{(3)} = 15350$ - максимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А ($\varepsilon = 0,15$ - полная погрешность ТТ при токе $I_{К МАКС}^{(3)}$, о.е.);

$I_{К МИН}^{(3)} = 2660$ - минимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1)} = 840$ - минимальное значение тока обратной последовательности однофазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1,1)} = 920$ - минимальное значение тока обратной последовательности двухфазного КЗ на землю, А;

$I_{К МИН}^{(1,1)} = 1770$ - минимальное значение тока прямой последовательности двухфазного КЗ на землю, А.

11.1.2 Для обеспечения работы в режимах КЗ внутри защищаемой зоны произведем выбор диапазонов измерительных каналов фазных токов БМРЗ-ДФЗ.

Для этого произведём расчёт максимально допустимого значения тока измерительного канала $i_{МАКС ПТН}$ по формуле (4-1).

Для ПKN№1:

$$i_{МАКС ПТН} \geq 2 \cdot \frac{11550}{120} = 193 \text{ А.} \quad (11-1)$$

Согласно документации на БМРЗ-ДФЗ для ПKN№1 выбираем диапазон с допустимым значением тока измерительного канала 250 А. Для данного диапазона $I_{НОМ ПТН} = 2,5$ А.

Для ПKN№2:

$$i_{МАКС ПТН} \geq 2 \cdot \frac{15350}{120} = 256 \text{ А.} \quad (11-2)$$

Согласно документации на БМРЗ-ДФЗ для ПKN№2 выбираем диапазон с допустимым значением тока измерительного канала 500 А. Для данного диапазона $I_{НОМ ПТН} = 5$ А.

11.1.3 Воспользовавшись формулой (5-1) рассчитаем значение уставки блокирующего ПО разности фазных токов для обоих полукомплектов:

$$I_{Л БЛ} = \sqrt{3} \cdot \frac{1,2}{0,95} \cdot 540 = 1181 \text{ А.} \quad (11-3)$$

Воспользовавшись формулой (5-2) рассчитаем значение уставки отключающего ПО разности фазных токов для обоих полукомплектов:

$$I_{Л ОТ} = 1,4 \cdot 1181 = 1653 \text{ А.} \quad (11-4)$$

11.1.4 При отсутствии несимметрии в нормальном режиме работы согласно таблице 5.1 в качестве уставки блокирующего ПО тока обратной последовательности для обоих полукомплектов принимаем минимально возможное для ввода в блок значение.

Согласно руководству по эксплуатации на БМРЗ-ДФЗ нижняя граница диапазона значений уставки $I_{2 БЛ}$ для номинального вторичного тока ТТ равного 5 А составляет 0,9 А.

Таким образом, в первичных значениях уставка блокирующего ПО тока обратной последовательности обоих полукомплектов принимает следующее значение:

$$I_{2 БЛ} = 0,9 \cdot K_{ТТ} = 0,9 \cdot 120 = 108 \text{ А.} \quad (11-5)$$

11.1.5 Воспользовавшись формулой (5-7) рассчитаем значение уставки отключающего ПО тока обратной последовательности для обоих полукомплектов:

$$I_{2 ОТ} = 1,5 \cdot 108 = 162 \text{ А.} \quad (11-6)$$

11.1.6 Произведем расчеты коэффициентов чувствительности защиты для полученных выше уставок согласно п.п. 5.4.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{\text{ч}}$ к симметричным КЗ рассчитаем по формуле (5-28), используя значение уставки $I_{Л ОТ}$.

Для ПKN№1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2730}{1653} = 2,9. \quad (11-7)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2660}{1653} = 2,8. \quad (11-8)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{\text{ч}}$ к несимметричным КЗ рассчитаем по формуле (5-29), используя значение уставки $I_2 \text{ OT}$.

Для ПKN№1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{840}{162} = 5,2. \quad (11-9)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности удовлетворены.

Для ПKN№2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{840}{162} = 5,2. \quad (11-10)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности удовлетворены.

Уставки отключающих ПО обеспечивают выполнение требований чувствительности защиты, дополнительные ПО применять не требуется.

11.1.7 Воспользовавшись формулой (8-2) произведем расчёт коэффициента фильтра тока манипуляции K_{ϕ} .

Для ПKN№1:

$$K_{\phi} = 1,5 \cdot \frac{1780}{980} = 2,7. \quad (11-11)$$

Для ПKN№2:

$$K_{\phi} = 1,5 \cdot \frac{1770}{920} = 2,9. \quad (11-12)$$

В качестве уставки K_{ϕ} для обоих полукомплектов принимаем значение 3,0 (минимально возможное согласно документации на БМРЗ-ДФЗ).

11.1.8 Используя формулу (8-4) полученное значение уставки K_{ϕ} проверим по условию обеспечения надёжной манипуляции при симметричных КЗ на защищаемой линии.

Для ПKN№1:

$$K_{\phi} < \frac{11550 - 0,05 \cdot 11550 - 120 \cdot 0,5}{\frac{0,1}{3} \cdot 11550} = 28,3. \quad (11-13)$$

Условие выполняется.

Для ПKN№2:

$$K_{\phi} < \frac{15350 - 0,05 \cdot 15350 - 120 \cdot 0,5}{\frac{0,15}{3} \cdot 15350} = 18,9. \quad (11-14)$$

Условие выполняется.

11.1.9 Уставку угла блокировки $\Phi_{Бл}$ обоих полукомплектов рассчитаем используя формулу (8-6):

$$\Phi_{Бл} = \frac{41,75}{100} \cdot 6 + 30 = 33^{\circ}. \quad (11-15)$$

11.1.10 Выбор уставки $T_{ДФЗ}$.

Для обоих полукомплектов, согласно эксплуатационной документации на БМРЗ-ДФЗ, принимаем минимально возможное значение 0,01 с.

11.1.11 Воспользовавшись формулой (10-1) выполним пересчёт полученных уставок обоих полукомплектов во вторичные значения.

$$I_{ЛБл} = \frac{1181}{120} = 9,84 \text{ А}. \quad (11-16)$$

$$I_{ЛОТ} = \frac{1653}{120} = 13,78 \text{ А}. \quad (11-17)$$

$$I_{2Бл} = \frac{108}{120} = 0,90 \text{ А}. \quad (11-18)$$

$$I_{2ОТ} = \frac{162}{120} = 1,35 \text{ А}. \quad (11-19)$$

11.1.12 Для удобства ввода в блок БМРЗ сведем рассчитанные уставки в таблицу.

Таблица 11.1 – Уставки защиты

Уставки по:	Значение	
	ПК№1	ПК№2
- току $I_{НОМ ПТН}$, А	2,5	5
- току $I_{ЛБл}$, А	9,84	9,84
- току $I_{ЛОТ}$, А	13,78	13,78
- току $I_{2Бл}$, А	0,90	0,90
- току $I_{2ОТ}$, А	1,35	1,35
- коэффициенту K_{ϕ}	3,0	3,0
- углу $\Phi_{Бл}$, °	33	33
- времени $T_{ДФЗ}$, с	0,01	0,01

11.2 Расчёт для линии с ответвлением

11.2.1 Исходные данные

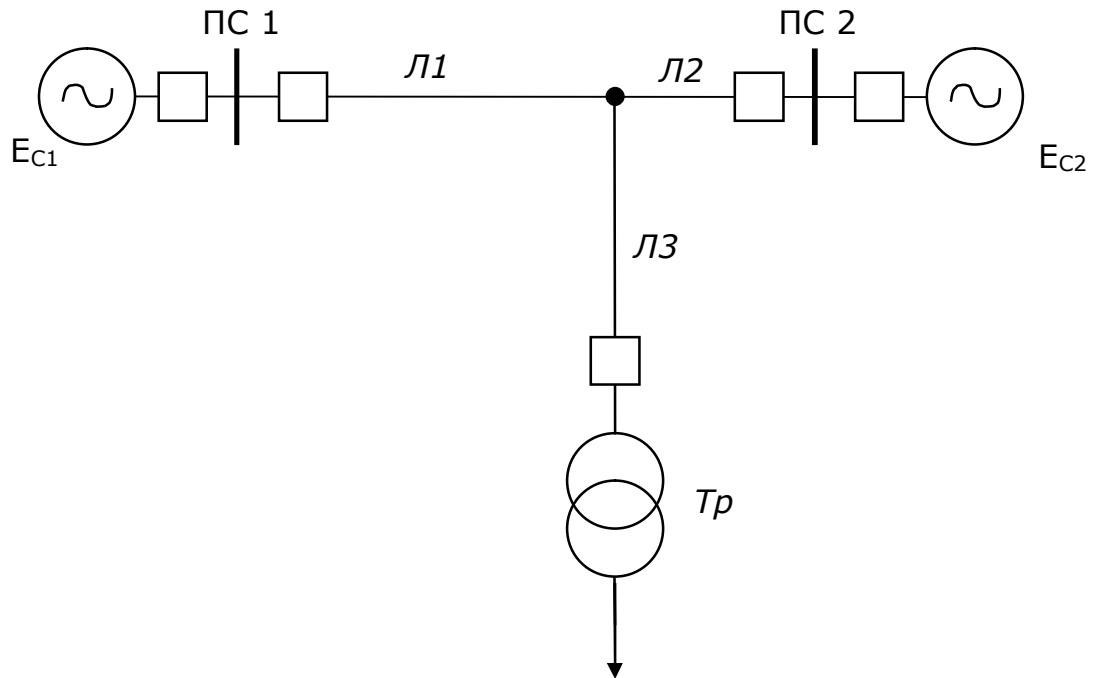


Рисунок 11.2 – линия с двусторонним питанием и отпайкой

Обозначения:

ПК№1 – полукомплект защиты, установленный на ПС 1;

ПК№2 – полукомплект защиты, установленный на ПС 2.

Параметры системы 1 и ПС 1:

$E_{c1} = 115$ - ЭДС системы, кВ;

$Z_{1C1 \text{ МАКС}} = 0,63 + j \cdot 4,29$ - сопротивление прямой (обратной)

последовательности системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z_{0C1 \text{ МАКС}} = 0,75 + j \cdot 6,21$ - сопротивление нулевой последовательности

системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z_{1C1 \text{ МИН}} = 0,68 + j \cdot 5,92$ - сопротивление прямой последовательности

системы в минимальном режиме работы, Ом;

$Z_{0C1 \text{ МИН}} = 0,90 + j \cdot 6,40$ - сопротивление нулевой последовательности

системы в минимальном режиме работы, Ом.

$K_{ТТ1} = 120$ - коэффициент трансформации ТТ.

$K_{ТН1} = 1100$ - коэффициент трансформации ТН.

$T_{ДЗ3} = 1$ - время действия третьей ступени дистанционной защиты, с.

Параметры системы 2 и ПС 2:

$E_{c2} = 115$ - ЭДС систем, кВ;

$Z_{1C2 \text{ МАКС}} = 0,53 + j \cdot 3,25$ - сопротивление прямой (обратной)

последовательности системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z_{0C2 \text{ МАКС}} = 0,70 + j \cdot 6,75$ - сопротивление нулевой последовательности

системы в максимальном режиме работы, Ом;

$Z_{1С2 \text{ МИН}} = 0,93 + j \cdot 4,01$ - сопротивление прямой последовательности системы в минимальном режиме работы, Ом;

$Z_{0С2 \text{ МИН}} = 1,04 + j \cdot 7,32$ - сопротивление нулевой последовательности системы в минимальном режиме работы, Ом.

$K_{ТТ 2} = 120$ - коэффициент трансформации ТТ.

$K_{ТН 2} = 1100$ - коэффициент трансформации ТН.

$T_{ДЗ 3} = 1$ - время действия третьей ступени дистанционной защиты, с.

Параметры линии Л1:

$l_1 = 10,2$ - длина линии, км;

$Z_{1Л1} = 0,16 + j \cdot 0,41$ - погонное сопротивление прямой (обратной) последовательности линии, Ом/км;

$Z_{0Л1} = 0,31 + j \cdot 1,40$ - погонное сопротивление нулевой (обратной) последовательности линии, Ом/км.

Параметры линии Л2:

$l_2 = 2,4$ - длина линии, км;

$Z_{1Л2} = 0,16 + j \cdot 0,46$ - погонное сопротивление прямой (обратной) последовательности линии, Ом/км;

$Z_{0Л2} = 0,30 + j \cdot 1,42$ - погонное сопротивление нулевой (обратной) последовательности линии, Ом/км.

Параметры линии Л3:

$l_3 = 13,2$ км - длина линии;

$Z_{1Л3} = 0,16 + j \cdot 0,40$ - погонное сопротивление прямой (обратной) последовательности линии, Ом/км;

$Z_{0Л3} = 0,33 + j \cdot 1,40$ - погонное сопротивление нулевой (обратной) последовательности линии, Ом/км.

Параметры трансформатора Тр и нагрузки:

$S_{НОМ} = 25$ - номинальная мощность трансформатора, МВА;

$u_k = 10,5$ - напряжение КЗ трансформатора, %;

$I_{\Sigma \text{ нагр}} = 100$ - суммарный ток нагрузки, А;

$T_{ТР} = 0,1$ - время действия защиты трансформатора, с.

Значения токов нормального режима и токов КЗ на защищаемой линии для ПKN№1:

$I_{РАБ. \text{ МАКС}} = 440$ - максимальный рабочий ток линии, А;

$I_{К \text{ МАКС}}^{(3)} = 15300$ - максимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А ($\varepsilon = 0,20$ - полная погрешность ТТ при токе $I_{К \text{ МАКС}}^{(3)}$, о.е.);

$I_{К \text{ МИН}}^{(3)} = 2260$ - минимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А;

$I_{2К \text{ МИН}}^{(1)} = 580$ - минимальное значение тока обратной последовательности однофазного КЗ, А;

$I_{2K \text{ МИН}}^{(1,1)} = 2100$ - минимальное значение тока обратной последовательности двухфазного КЗ на землю, А;

$I_{K \text{ МИН}}^{(1,1)} = 3260$ - минимальное значение тока прямой последовательности двухфазного КЗ на землю, А;

$I_{K \text{ МАКС ТР}}^{(3)} = 640$ - максимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ за трансформатором, А;

$I_{2K \text{ МАКС ТР}}^{(2)} = 200$ - максимальное значение тока обратной последовательности несимметричного КЗ за трансформатором, А.

Значения токов нормального режима и токов КЗ на защищаемой линии для ПKN№2:

$I_{\text{РАБ. МАКС}} = 500$ - максимальный рабочий ток линии, А.

$I_{K \text{ МАКС}}^{(3)} = 20000$ - максимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А ($\varepsilon = 0,40$ - полная погрешность ТТ при токе $I_{K \text{ МАКС}}^{(3)}$, о.е.).

$I_{K \text{ МИН}}^{(3)} = 4680$ - минимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А.

$I_{2K \text{ МИН}}^{(1)} = 1180$ - минимальное значение тока обратной последовательности однофазного КЗ, А.

$I_{2K \text{ МИН}}^{(1,1)} = 1830$ - минимальное значение тока обратной последовательности двухфазного КЗ на землю, А.

$I_{K \text{ МИН}}^{(1,1)} = 2860$ - минимальное значение тока прямой последовательности двухфазного КЗ на землю, А.

$I_{K \text{ МАКС ТР}}^{(3)} = 830$ - максимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ за трансформатором, А;

$I_{2K \text{ МАКС ТР}}^{(2)} = 400$ - максимальное значение тока обратной последовательности несимметричного КЗ за трансформатором, А.

11.2.2 Для обеспечения работы в режимах КЗ внутри защищаемой зоны произведем выбор диапазонов измерительных каналов фазных токов БМРЗ-ДФЗ.

Для этого произведём расчёт максимально допустимого значения тока измерительного канала $i_{\text{МАКС ПТН}}$ по формуле (4-1).

Для ПKN№1:

$$i_{\text{МАКС ПТН}} \geq 2 \cdot \frac{15300}{120} = 255 \text{ А.} \quad (11-20)$$

Согласно документации на БМРЗ-ДФЗ для ПKN№1 выбираем диапазон с допустимым значением тока измерительного канала 500 А. Для данного диапазона $I_{\text{НОМ ПТН}} = 5 \text{ А}$.

Для ПKN№2:

$$i_{\text{МАКС ПТН}} \geq 2 \cdot \frac{20000}{100} = 400 \text{ А.} \quad (11-21)$$

Согласно документации на БМРЗ-ДФЗ для ПKN^{№2} выбираем диапазон с допустимым значением тока измерительного канала 500 А. Для данного диапазона $I_{НОМ ПТН} = 5$ А.

11.2.3 Воспользовавшись формулой (5-1) рассчитаем значение уставки блокирующего ПО разности фазных токов.

Для ПKN^{№1}:

$$I_{л\ Бл} = \sqrt{3} \cdot \frac{1,2}{0,95} \cdot 440 = 963 \text{ А.} \quad (11-22)$$

Для ПKN^{№2}:

$$I_{л\ Бл} = \sqrt{3} \cdot \frac{1,2}{0,95} \cdot 500 = 1094 \text{ А.} \quad (11-23)$$

11.2.4 Воспользовавшись формулой (5-20) рассчитаем значение коэффициента ответвления.

Для ПKN^{№1}:

$$k_{отв} = 1 + \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{1094} = 1,16. \quad (11-24)$$

Для ПKN^{№2}:

$$k_{отв} = 1 + \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{963} = 1,18. \quad (11-25)$$

11.2.5 Воспользовавшись формулой (5-3) рассчитаем значение уставки отключающего ПО разности фазных токов.

Для ПKN^{№1}:

$$I_{л\ От} = 1,4 \cdot 1,16 \cdot 1094 = 1777 \text{ А.} \quad (11-26)$$

Для ПKN^{№2}:

$$I_{л\ От} = 1,4 \cdot 1,18 \cdot 963 = 1591 \text{ А.} \quad (11-27)$$

11.2.6 При отсутствии несимметрии в нормальном режиме работы согласно таблице 5.1 в качестве уставки блокирующего ПО тока обратной последовательности для обоих полукомплектов принимаем минимально возможное для ввода в блок значение.

Согласно руководству по эксплуатации на БМРЗ-ДФЗ нижняя граница диапазона значений уставки $I_{2\ Бл}$ для номинального вторичного тока ТТ равного 5 А составляет 0,9 А.

Таким образом, в первичных значениях уставка блокирующего ПО тока обратной последовательности обоих полукомплектов принимает следующее значение:

$$I_{2\ Бл} = 0,9 \cdot K_{ТТ} = 0,9 \cdot 120 = 108 \text{ А.} \quad (11-28)$$

11.2.7 Воспользовавшись формулой (5-7) рассчитаем значение уставки отключающего ПО тока обратной последовательности для обоих полуккомплектов:

$$I_{2OT} = 1,5 \cdot 2,0 \cdot 108 = 324 \text{ А.} \quad (11-29)$$

11.2.8 Согласно п.п. 5.3.2 произведем отстройку уставки отключающего ПО разности фазных токов от тока трёхфазного КЗ за трансформатором.

Воспользовавшись формулой (5-22) рассчитаем значение $I_{лот}$.
Для ПKN№1:

$$I_{лот} \geq \sqrt{3} \cdot 1,4 \cdot 640 = 1552 \text{ А.} \quad (11-30)$$

Для ПKN№2:

$$I_{лот} \geq \sqrt{3} \cdot 1,4 \cdot 830 = 2013 \text{ А.} \quad (11-31)$$

11.2.9 Согласно п.п. 5.3.2 произведем отстройку уставки отключающего ПО разности фазных токов от броска тока намагничивания трансформатора.

Для ПKN№1 по формуле (П-70) [3] (система 1 работает в максимальном режиме, система 2 отключена):

$$I_{БТН} = \frac{C_6 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{ТР})}, \quad (11-32)$$

где $C_6 = 0,5$ - см. таблицу 5.3;

$U_{НОМ} = 115 \cdot 10^3$ - номинальное напряжение линии, В;

$X_C = |Z_{1С1МАКС}| = 4,34$ - сопротивление системы в максимальном режиме работы, Ом;

$X_{ТР} = X_T^3 + |Z_{1Л1}| + |Z_{1Л3}|$ - эквивалентное сопротивление, Ом.

$X_T^3 = \frac{(12,7 + u_k) \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}}$ - сопротивление трансформатора для трехфазного

включения, Ом;

$$X_T^3 = \frac{(12,7 + 10,5) \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 122,73 \text{ Ом};$$

$$X_{ТР} = X_T^3 + |Z_{1Л1}| + |Z_{1Л3}| = 122,73 + 4,49 + 5,69 = 132,91 \text{ Ом.}$$

Подставив выражение из формулы (11-32) в формулу (5-23) получим следующее выражение для отключающего ПО разности фазных токов ПKN№1:

$$I_{лот} \geq \frac{1,2 \cdot 0,5 \cdot 115 \cdot 10^3}{4,34 + 132,91} = 503 \text{ А.} \quad (11-33)$$

Для ПKN№2 по формуле (П-70) [3] (система 2 работает в максимальном режиме, система 1 отключена):

$$I_{БТН} = \frac{C_6 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{ТР})}, \quad (11-34)$$

где $C_6 = 0,5$ - см. таблицу 5.3;

$U_{НОМ} = 115 \cdot 10^3$ - номинальное напряжение линии, В;

$X_C = |Z_{1C2 \text{ МАКС}}| = 3,29$ - сопротивление системы в максимально режиме работы, Ом;

$X_{ТР} = X_T^3 + |Z_{1Л2}| + |Z_{1Л3}| = 122,73 + 1,16 + 5,69 = 129,58$ - эквивалентное сопротивление, Ом.

Подставив выражение из формулы (11-34) в формулу (5-23) получим следующее выражение:

$$I_{ЛОТ} \geq \frac{1,2 \cdot 0,5 \cdot 115 \cdot 10^3}{3,29 + 129,58} = 519 \text{ А.} \quad (11-35)$$

11.2.10 Определяющей значение уставки $I_{ЛОТ}$ для ПKN^{№1} явилась формула (11-26): $I_{ЛОТ} = 1777$.

Определяющей значение уставки $I_{ЛОТ}$ для ПKN^{№2} явилась формула (11-31): $I_{ЛОТ} = 2013$.

11.2.11 Согласно п.п. 5.3.2 произведем отстройку уставки отключающего ПО тока обратной последовательности от тока обратной последовательности при трёхфазном КЗ за трансформатором.

Воспользовавшись формулой (5-24) рассчитаем значение уставки $I_{2 \text{ ОТ}}$.

Для ПKN^{№1}:

$$I_{2 \text{ ОТ}} \geq 1,5 \cdot 200 = 300 \text{ А.} \quad (11-36)$$

Для ПKN^{№2}:

$$I_{2 \text{ ОТ}} \geq 1,5 \cdot 400 = 600 \text{ А.} \quad (11-37)$$

11.2.12 Согласно п.п. 5.3.2 произведем отстройку уставки отключающего ПО тока обратной последовательности от броска тока намагничивания.

Для ПKN^{№1} по формуле (П-72) [3] (система 1 работает в максимальном режиме, система 2 отключена):

$$I_{БТН} = \frac{C_6 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{ТР})}, \quad (11-38)$$

где $C_6 = 0,5$ - см. таблицу 5.3;

$U_{НОМ} = 115 \cdot 10^3$ - номинальное напряжение линии, В;

$X_{C1} = |Z_{1C1 \text{ МАКС}}| = 4,34$ - сопротивление системы в максимальном режиме работы, Ом;

$X_{ТР} = X_T^3 + |Z_{1Л1}| + |Z_{1Л3}|$ - эквивалентное сопротивление, Ом.

$X_T^3 = \frac{(12,7 + u_k) \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}}$ - сопротивление трансформатора для трехфазного

включения, Ом;

$$X_T^3 = \frac{(12,7 + 10,5) \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 122,73 \text{ Ом};$$

$$X_{TP} = X_T^3 + |Z_{1Л1}| + |Z_{1Л3}| = 122,73 + 4,49 + 5,69 = 132,91 \text{ Ом.}$$

Подставив выражение из формулы (11-38) в формулу (5-25) получим следующее выражение:

$$I_{2OT} \geq \frac{1,2 \cdot 0,5 \cdot 115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (4,34 + 132,91)} = 290 \text{ А.} \quad (11-39)$$

Для ПKN^{№2} по формуле (П-72) [3] (система 2 работает в максимальном режиме, система 1 отключена):

$$I_{БТН} = \frac{C_6 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{TP})}, \quad (11-40)$$

где $C_6 = 0,5$ - см. таблицу 5.3;

$U_{НОМ} = 115 \cdot 10^3$ - номинальное напряжение линии, В;

$X_C = |Z_{1C2 \text{ МАКС}}| = 3,29$ - сопротивление системы в максимальном режиме работы, Ом;

$X_{TP} = X_T^3 + |Z_{1Л2}| + |Z_{1Л3}| = 122,73 + 1,16 + 5,69 = 129,58$ - эквивалентное сопротивление, Ом.

Подставив выражение из формулы (11-40) в формулу (5-25) получим следующее выражение:

$$I_{2OT} \geq \frac{1,2 \cdot 0,5 \cdot 115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (3,29 + 129,58)} = 300 \text{ А.} \quad (11-41)$$

11.2.13 Определяющей значение уставки I_{2OT} для ПKN^{№1} явилась формула (11-29): $I_{2OT} = 234$.

Определяющей значение уставки I_{2OT} для ПKN^{№2} явилась формула (11-37): $I_{2OT} = 600$.

11.2.14 Произведем расчет коэффициентов чувствительности защиты для полученных выше уставок согласно п.п. 5.4.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{\text{ч}}$ к симметричным КЗ рассчитаем по формуле (5-28), используя значение уставки $I_{ЛOT}$.

Для ПKN^{№1}:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2260}{1777} = 2,2. \quad (11-42)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN^{№2}:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4680}{2013} = 4,0. \quad (11-43)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{\text{ч}}$ к несимметричным КЗ рассчитаем для случая однофазного КЗ по формуле (5-29), используя значение уставки $I_{2\text{от}}$.

Для ПKN№1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{580}{234} = 2,5. \quad (11-44)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{1180}{600} = 1,9. \quad (11-45)$$

$k_{\text{ч}}$ около 2, требования чувствительности выполнены.

Уставки отключающих ПО обеспечивают выполнение требований чувствительности защиты, дополнительные ПО применять не требуется.

11.2.15 Для полноты примера расчёта произведем дальнейший расчёт уставок для случая, когда коэффициенты чувствительности, рассчитанные по п.п. 11.2.14 не удовлетворяют требованиям чувствительности.

11.2.16 Для удовлетворения требований чувствительности защиты введем в работу комплект РС и РНМ нулевой последовательности.

Согласно п.п. 5.2 в данном случае коэффициент $k_{2\text{отв}}$ принимает значение 1,0. Произведем пересчёт уставок отключающих ПО тока обратной последовательности с учётом изменения коэффициента отвлечения.

11.2.17 Воспользовавшись формулой (5-7) рассчитаем значение уставки отключающего ПО тока обратной последовательности для обоих полуккомплектов:

$$I_{2\text{от}} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 108 = 162 \text{ А}. \quad (11-46)$$

11.2.18 Таким образом, при неучёте отстройки уставок от КЗ за трансформатором отпайки, а также с учетом нового значения коэффициента $k_{2\text{отв}}$ определяющими значения уставок отключающих ПО стали следующие формулы:

- (11-26) – для $I_{\text{л от}}$ ПKN№1 ($I_{\text{л от}} = 1777 \text{ А}$);
- (11-27) – для $I_{\text{л от}}$ ПKN№2 ($I_{\text{л от}} = 1591 \text{ А}$);
- (11-46) – для $I_{2\text{от}}$ ПKN№1 и ПKN№2 ($I_{2\text{от}} = 162 \text{ А}$).

11.2.19 Произведем расчет коэффициентов чувствительности защиты для вновь выбранных уставок отключающих ПО согласно п.п. 5.4.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{\text{ч}}$ к симметричным КЗ рассчитаем по формуле (5-28), используя значение уставки $I_{\text{л от}}$.

Для ПKN№1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2260}{1777} = 2,2. \quad (11-47)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4680}{1591} = 5,1. \quad (11-48)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{\text{ч}}$ к несимметричным КЗ рассчитаем для случая однофазного КЗ по формуле (5-29), используя значение уставки $I_{2 \text{ от}}$.

Для ПKN№1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{580}{162} = 3,6. \quad (11-49)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{1180}{162} = 7,3. \quad (11-50)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Уставки отключающих ПО обеспечивают выполнение требований чувствительности защиты. Далее необходимо рассчитать уставки комплекта РС и РНМ нулевой последовательности.

11.2.20 Воспользовавшись формулой (6-1) рассчитаем уставку полного сопротивления Z по условию отстройки от сопротивления в максимальном нагрузочном режиме.

Для ПKN№1:

$$Z \leq \frac{0,8 \cdot 115 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 440} = 95,8 \text{ Ом}. \quad (11-51)$$

Для ПKN№2:

$$Z \leq \frac{0,8 \cdot 115 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 500} = 84,3 \text{ Ом}. \quad (11-52)$$

11.2.21 Воспользовавшись формулой (6-2) рассчитаем уставку полного сопротивления Z по условию отстройки от сопротивления при КЗ за трансформатором отпайки.

Для ПKN№1:

$$Z \leq 0,85 \cdot \left[4,46 + \frac{5,69 + 55,5}{0,53} \right] = 101,9 \text{ Ом}. \quad (11-53)$$

Для ПKN№2:

$$Z \leq 0,85 \cdot \left[1,16 + \frac{5,69 + 55,5}{0,69} \right] = 76,4 \text{ Ом}. \quad (11-54)$$

11.2.22 Для ПКН^{№1} по формуле (П-77) [3] (система 1 работает в максимальном режиме, система 2 отключена):

$$Z_{БТН} = C_6 \cdot (x_C + X_{ТР}) - x_C, \quad (11-55)$$

где $C_6 = 1,0$ - см. таблицу 5.3;

$x_C = |Z_{1C1 \text{ МАКС}}| = 4,34$ - сопротивление системы 1 в максимальном режиме работы, Ом;

$X_{ТР} = X_T^1 + |Z_{1Л1}| + |Z_{1Л3}|$ - эквивалентное сопротивление, Ом.

$X_T^1 = \frac{(12,7 + u_k) \cdot U_{НОМ}^2}{1,35 \cdot 100 \cdot S_{НОМ}}$ - сопротивление трансформатора для однофазного

включения, Ом;

$$X_T^1 = \frac{(12,7 + 10,5) \cdot 115^2}{1,35 \cdot 100 \cdot 25} = 91,1 \text{ Ом};$$

$$X_{ТР} = X_T^1 + |Z_{1Л1}| + |Z_{1Л3}| = 91,1 + 4,49 + 5,69 = 101,3 \text{ Ом}.$$

Подставив выражение из формулы (11-55) в формулу (6-3) получим следующее выражение для отстройки уставки полного сопротивления Z от броска тока намагничивания трансформатора отпайки:

$$Z \leq \frac{1,0 \cdot [4,34 + 101,3] - 4,34}{1,2} = 84,4 \text{ Ом}. \quad (11-56)$$

Для ПКН^{№2} по формуле (П-77) [3] (система 2 работает в максимальном режиме, система 1 отключена):

$$Z_{БТН} = C_6 \cdot (x_C + X_{ТР}) - x_C, \quad (11-57)$$

где $C_6 = 1,0$ - см. таблицу 5.3;

$x_C = |Z_{1C2 \text{ МАКС}}| = 3,29$ - сопротивление системы 1 в максимальном режиме работы, Ом;

$X_{ТР} = X_T^1 + |Z_{1Л2}| + |Z_{1Л3}|$ - эквивалентное сопротивление, Ом.

$X_T^1 = 91,1$ - сопротивление трансформатора для однофазного включения, Ом;

$$X_{ТР} = X_T^1 + |Z_{1Л2}| + |Z_{1Л3}| = 91,1 + 1,16 + 5,69 = 98,0 \text{ Ом}.$$

Подставив выражение из формулы (11-57) в формулу (6-3) получим следующее выражение для отстройки уставки полного сопротивления Z от броска тока намагничивания трансформатора отпайки:

$$Z \leq \frac{1,0 \cdot [3,29 + 98,0] - 3,29}{1,2} = 81,7 \text{ Ом}. \quad (11-58)$$

12.2.23 Определяющей значение уставки Z для ПКН^{№1} явилась формула (11-56): $Z=84,4$ Ом.

Определяющей значение уставки Z для ПКН^{№2} явилась формула (11-54): $Z=76,4$ Ом.

12.2.24 Произведем расчет коэффициентов чувствительности РС для полученных выше уставок согласно п.п. 6.2., используя формулу (6-6).

Для ПKN№1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{84,4}{4,46 + \frac{5,69}{0,53}} = 5,6. \quad (11-59)$$

$k_{\text{ч}} > 1,5$, требование чувствительности выполнено.

Для ПKN№2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{76,4}{1,16 + \frac{5,69}{0,69}} = 8,1. \quad (11-60)$$

$k_{\text{ч}} > 1,5$, требование чувствительности выполнено.

Для обоих полуккомплектов коэффициенты чувствительности более 3. Согласно п.п. 6.2.4 произведем пересчет уставок по сопротивлению.

Для ПKN№1:

$$Z = \left[4,46 + \frac{5,69}{0,53} \right] \cdot 3,0 = 45,6. \quad (11-61)$$

Для ПKN№2:

$$Z = \left[1,16 + \frac{5,69}{0,69} \right] \cdot 3,0 = 28,2. \quad (11-62)$$

11.2.25 Воспользовавшись формулой (6-4) рассчитаем уставку угла линии $\Phi_{\text{л}}$.

Для ПKN№1:

$$\Phi_{\text{л}} = \arctg \left(\frac{0,41}{0,16} \right) = 69^{\circ}. \quad (11-63)$$

Для ПKN№2:

$$\Phi_{\text{л}} = \arctg \left(\frac{0,46}{0,16} \right) = 71^{\circ}. \quad (11-64)$$

11.2.26 Воспользовавшись формулой (6-5) рассчитаем уставку активного сопротивления R .

Для ПKN№1:

$$R = 45,6 \cdot \cos(69^{\circ}) = 16,3 \text{ Ом}. \quad (11-65)$$

Для ПKN№2:

$$R = 28,2 \cdot \cos(71^{\circ}) = 9,2 \text{ Ом}. \quad (11-66)$$

11.2.27 Воспользовавшись формулой (6-7) рассчитаем уставку угла максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности $\Phi_{МЧ Р0}$.

Для ПKN№1:

$$\Phi_{МЧ Р0} = \arctg \left(\frac{1,40}{0,31} \right) = 78^\circ. \quad (11-67)$$

Для ПKN№2:

$$\Phi_{МЧ Р0} = \arctg \left(\frac{1,42}{0,30} \right) = 78^\circ. \quad (11-68)$$

11.2.28 Используя формулу (8-2) произведем расчёт коэффициента фильтра тока манипуляции K_ϕ .

Для ПKN№1:

$$K_\phi = 1,5 \cdot \frac{3260}{2100} = 2,3. \quad (11-69)$$

Для ПKN№2:

$$K_\phi = 1,5 \cdot \frac{2860}{1830} = 2,3. \quad (11-70)$$

В качестве уставки K_ϕ для обоих полукомплектов принимаем значение 3,0 (минимально возможное согласно документации на БМРЗ-ДФЗ).

11.2.29 Используя формулу (8-4) полученное значение уставки K_ϕ проверим по условию обеспечения надёжной манипуляции при симметричных КЗ на защищаемой линии.

Для ПKN№1:

$$K_\phi < \frac{15300 - 0,05 \cdot 15300 - 120 \cdot 0,5}{\frac{0,2}{3} \cdot 15300} = 14,2. \quad (11-71)$$

Условие выполняется.

Для ПKN№2:

$$K_\phi < \frac{20000 - 0,05 \cdot 20000 - 120 \cdot 0,5}{\frac{0,4}{3} \cdot 20000} = 7,1. \quad (11-72)$$

Условие выполняется.

11.2.30 Уставку угла блокировки $\Phi_{БЛ}$ для обоих полукомплектов согласно п.п. 8.2.2 примем равную 60° .

11.2.31 Используя формулу (7-2) вычислим значение уставки по времени $T_{РЗТ2}$ для обоих полукомплектов по условию согласования с временем действия защиты трансформатора:

$$T_{P3T2} = 0,1 + 0,3 = 0,4 \text{ с.} \quad (11-73)$$

Используя формулу (7-3) вычислим значение уставки по времени T_{P3T2} для обоих полукомплектов по условию согласования с временем действия третьей ступени дистанционной защиты:

$$T_{P3T2} = 1,0 + 0,3 = 1,3 \text{ с.} \quad (11-74)$$

В качестве уставки T_{P3T2} для обоих полукомплектов принимаем значение 1,3 с.

11.2.32 Выбор уставки $T_{ДФЗ}$.

Для обоих полукомплектов, согласно эксплуатационной документации на БМРЗ-ДФЗ, принимаем минимально возможное значение 0,01 с.

11.2.33 Воспользовавшись формулой (10-1) выполним пересчёт полученных для ПKN[№]1 уставок токовых ПО во вторичные значения.

$$I_{л\ Бл} = \frac{963}{120} = 8,03 \text{ А.} \quad (11-75)$$

$$I_{л\ От} = \frac{1777}{120} = 14,81 \text{ А.} \quad (11-76)$$

$$I_{2\ Бл} = \frac{108}{120} = 0,90 \text{ А.} \quad (11-77)$$

$$I_{2\ От} = \frac{162}{120} = 1,35 \text{ А.} \quad (11-78)$$

Воспользовавшись формулой (10-2) выполним пересчёт полученных для ПKN[№]1 уставок по сопротивлению во вторичные значения.

$$Z = 45,6 \cdot \frac{120}{1100} = 4,97 \text{ Ом.} \quad (11-79)$$

$$R = 16,3 \cdot \frac{120}{1100} = 1,78 \text{ Ом.} \quad (11-80)$$

Воспользовавшись формулой (10-1) выполним пересчёт полученных для ПKN[№]2 уставок токовых ПО во вторичные значения.

$$I_{л\ Бл} = \frac{1094}{120} = 9,12 \text{ А.} \quad (11-81)$$

$$I_{л\ От} = \frac{1591}{120} = 13,26 \text{ А.} \quad (11-82)$$

$$I_{2\ Бл} = \frac{108}{120} = 0,90 \text{ А.} \quad (11-83)$$

$$I_{2\ От} = \frac{162}{120} = 1,35 \text{ А.} \quad (11-84)$$

Воспользовавшись формулой (10-2) выполним пересчёт полученных для ПKN№2 уставок по сопротивлению во вторичные значения.

$$Z = 28,2 \cdot \frac{120}{1100} = 3,08 \text{ Ом.} \quad (11-85)$$

$$R = 9,2 \cdot \frac{120}{1100} = 1,00 \text{ Ом.} \quad (11-86)$$

11.2.34 Для удобства ввода в блок БМРЗ сведем рассчитанные уставки в таблицу.

Таблица 11.2 – Уставки защиты

Уставки по:	Значение	
	ПKN№1	ПKN№2
- току $I_{НОМ ПТН}$, А	5	5
- току $I_{Л БЛ}$, А	8,03	9,12
- току $I_{Л ОТ}$, А	14,81	13,26
- току $I_{2 БЛ}$, А	0,90	0,90
- току $I_{2 ОТ}$, А	1,35	1,35
- сопротивлению Z , Ом	4,97	3,08
- сопротивлению R , Ом	1,78	1,00
- углу $\Phi_{Л}$, °	69	71
- углу $\Phi_{МЧ Р0}$, °	78	78
- коэффициенту K_{Φ}	3,0	3,0
- углу $\Phi_{БЛ}$, °	60	60
- времени $T_{ДФЗ}$, с	0,01	0,01
- времени $T_{РЗТ2}$, с	1,3	1,3

11.3 Расчёт для трёхконцевой линии

11.3.1 Исходные данные

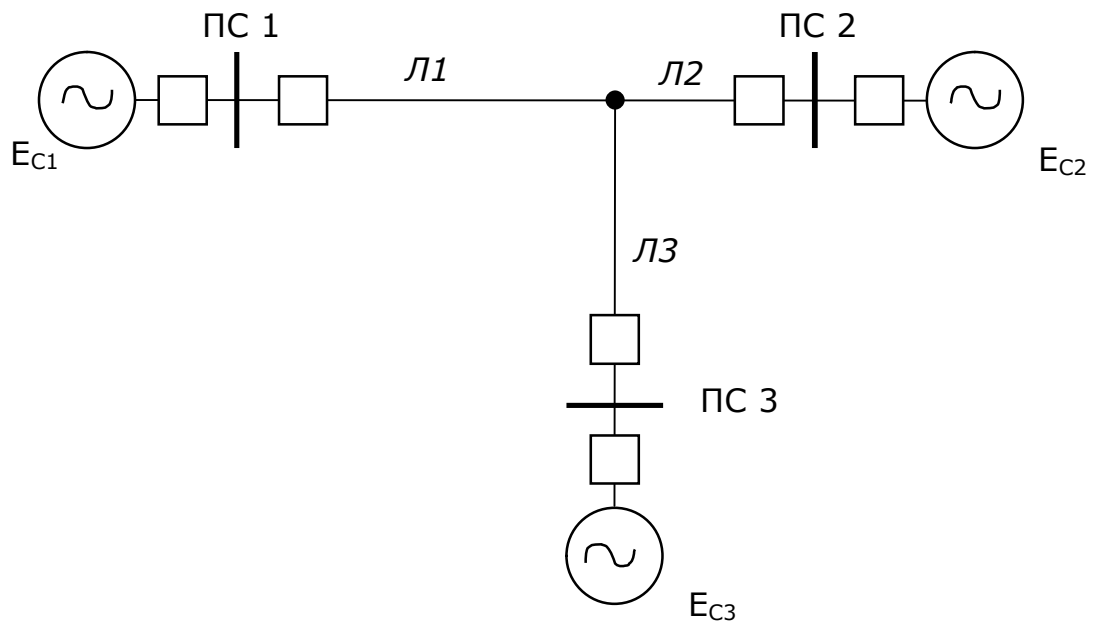


Рисунок 11.3 – трёхконцевая линия

Обозначения:

ПК№1 – полуконтакт защиты, установленный на ПС 1;

ПК№2 – полуконтакт защиты, установленный на ПС 2;

ПК№3 – полуконтакт защиты, установленный на ПС 3.

Параметры системы 1 и ПС 1:

$E_{C1} = 115$ - ЭДС системы, кВ;

$Z_{1C1} = 0,42 + j \cdot 4,55$ - сопротивление прямой (обратной)

последовательности системы, Ом;

$Z_{0C1} = 1,01 + j \cdot 5,83$ - сопротивление нулевой последовательности

системы, Ом;

$K_{ТТ1} = 120$ - коэффициент трансформации ТТ;

$K_{ТН1} = 1100$ - коэффициент трансформации ТН.

Параметры системы 2 и ПС 2:

$E_{C2} = 115$ - ЭДС систем, кВ;

$Z_{1C2} = 0,27 + j \cdot 3,73$ - сопротивление прямой (обратной)

последовательности системы, Ом;

$Z_{0C2} = 0,15 + j \cdot 2,55$ - сопротивление нулевой последовательности

системы, Ом;

$K_{ТТ2} = 120$ - коэффициент трансформации ТТ;

$K_{ТН2} = 1100$ - коэффициент трансформации ТН.

Параметры системы З и ПС З:

$E_{C3} = 115$ - ЭДС систем, кВ;

$Z_{1C3} = 0,22 + j \cdot 3,88$ - сопротивление прямой (обратной)

последовательности системы, Ом;

$Z_{0C3} = 0,37 + j \cdot 3,92$ - сопротивление нулевой последовательности

системы, Ом;

$K_{ТТЗ} = 120$ - коэффициент трансформации ТТ;

$K_{ТН2} = 1100$ - коэффициент трансформации ТН.

Параметры линии Л1:

$l_1 = 6,9$ - длина линии, км;

$Z_{1Л1} = 0,16 + j \cdot 0,41$ - погонное сопротивление прямой (обратной)

последовательности линии, Ом/км;

$Z_{0Л1} = 0,31 + j \cdot 1,40$ - погонное сопротивление обратной (обратной)

последовательности линии, Ом/км.

Параметры линии Л2:

$l_2 = 1,0$ - длина линии, км;

$Z_{1Л2} = 0,16 + j \cdot 0,46$ - погонное сопротивление прямой (обратной)

последовательности линии, Ом/км;

$Z_{0Л2} = 0,30 + j \cdot 1,42$ - погонное сопротивление обратной (обратной)

последовательности линии, Ом/км.

Параметры линии Л3:

$l_3 = 19,1$ - длина линии, км;

$Z_{1Л3} = 0,16 + j \cdot 0,40$ Ом/км - погонное сопротивление прямой (обратной)

последовательности линии, Ом/км;

$Z_{0Л3} = 0,33 + j \cdot 1,40$ Ом/км - погонное сопротивление обратной (обратной)

последовательности линии, Ом/км.

Значения токов нормального режима и токов КЗ на защищаемой линии для ПКН№1:

$I_{РАБ. МАКС} = 550$ - максимальный рабочий ток линии, А;

$I_{К МАКС}^{(3)} = 14500$ - максимальное значение тока прямой последовательности

трёхфазного КЗ, А ($\varepsilon = 0,20$ - полная погрешность ТТ при токе $I_{К МАКС}^{(3)}$, о.е.);

$I_{К МИН}^{(3)} = 2140$ - минимальное значение тока прямой последовательности

трёхфазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1)} = 680$ - минимальное значение тока обратной последовательности

однофазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1,1)} = 790$ - минимальное значение тока обратной последовательности

двухфазного КЗ на землю, А;

$I_{К МИН}^{(1,1)} = 1380$ - минимальное значение тока прямой последовательности

двухфазного КЗ на землю, А.

Значения токов нормального режима и токов КЗ на защищаемой линии для ПKN№2:

$I_{РАБ. МАКС} = 400$ - максимальный рабочий ток линии, А;

$I_{К МАКС}^{(3)} = 17800$ - максимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А ($\varepsilon = 0,30$ - полная погрешность ТТ при токе $I_{К МАКС}^{(3)}$, о.е.);

$I_{К МИН}^{(3)} = 4020$ - минимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1)} = 1210$ - минимальное значение тока обратной последовательности однофазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1,1)} = 1400$ - минимальное значение тока обратной последовательности двухфазного КЗ на землю, А;

$I_{К МИН}^{(1,1)} = 2630$ - минимальное значение тока прямой последовательности двухфазного КЗ на землю, А.

Значения токов нормального режима и токов КЗ на защищаемой линии для ПKN№3:

$I_{РАБ. МАКС} = 150$ - максимальный рабочий ток линии, А;

$I_{К МАКС}^{(3)} = 17000$ - максимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А ($\varepsilon = 0,30$ - полная погрешность ТТ при токе $I_{К МАКС}^{(3)}$, о.е.);

$I_{К МИН}^{(3)} = 2840$ - минимальное значение тока прямой последовательности трёхфазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1)} = 780$ - минимальное значение тока обратной последовательности однофазного КЗ, А;

$I_{2К МИН}^{(1,1)} = 1080$ - минимальное значение тока обратной последовательности двухфазного КЗ на землю, А;

$I_{К МИН}^{(1,1)} = 1760$ - минимальное значение тока прямой последовательности двухфазного КЗ на землю, А.

11.3.2 Для обеспечения работы в режимах КЗ внутри защищаемой зоны произведем выбор диапазонов измерительных каналов фазных токов БМРЗ-ДФЗ.

Для этого произведём расчёт максимально допустимого значения тока измерительного канала $i_{МАКС ПТН}$ по формуле (4-1).

Для ПKN№1:

$$i_{МАКС ПТН} \geq 2 \cdot \frac{14300}{120} = 239 \text{ А.} \quad (11-87)$$

Согласно документации на БМРЗ-ДФЗ для ПKN№1 выбираем диапазон с допустимым значением тока измерительного канала 250 А. Для данного диапазона $I_{НОМ ПТН} = 2,5$ А.

Для ПKN№2:

$$i_{МАКС ПТН} \geq 2 \cdot \frac{17800}{120} = 297 \text{ А.} \quad (11-88)$$

Согласно документации на БМРЗ-ДФЗ для ПKN^{№2} выбираем диапазон с допустимым значением тока измерительного канала 500 А. Для данного диапазона $I_{НОМ ПТН} = 5$ А.

Для ПKN^{№3}:

$$i_{МАКС ПТН} \geq 2 \cdot \frac{17000}{120} = 283 \text{ А.} \quad (11-89)$$

Согласно документации на БМРЗ-ДФЗ для ПKN^{№3} выбираем диапазон с допустимым значением тока измерительного канала 500 А. Для данного диапазона $I_{НОМ ПТН} = 5$ А.

11.3.3 Воспользовавшись формулой (5-1) рассчитаем значение уставки блокирующего ПО разности фазных токов.

Для ПKN^{№1}:

$$I_{Л БЛ} = \sqrt{3} \cdot \frac{1,2}{0,95} \cdot 550 = 1203 \text{ А.} \quad (11-90)$$

Для ПKN^{№2}:

$$I_{Л БЛ} = \sqrt{3} \cdot \frac{1,2}{0,95} \cdot 400 = 875 \text{ А.} \quad (11-91)$$

Для ПKN^{№3}:

$$I_{Л БЛ} = \sqrt{3} \cdot \frac{1,2}{0,95} \cdot 150 = 328 \text{ А.} \quad (11-92)$$

11.3.4 Воспользовавшись формулой (5-3) рассчитаем значение уставки отключающего ПО разности фазных токов.

Для ПKN^{№1}:

$$I_{Л ОТ} = 1,4 \cdot 2,0 \cdot 875 = 2450 \text{ А.} \quad (11-93)$$

Для ПKN^{№2}:

$$I_{Л ОТ} = 1,4 \cdot 2,0 \cdot 1203 = 3368 \text{ А.} \quad (11-94)$$

Для ПKN^{№3}:

$$I_{Л ОТ} = 1,4 \cdot 2,0 \cdot 1203 = 3368 \text{ А.} \quad (11-95)$$

11.3.5 При отсутствии несимметрии в нормальном режиме работы согласно таблице 5.1 в качестве уставки блокирующего ПО тока обратной последовательности для всех полуккомплектов принимаем минимально возможное для ввода в блок значение.

Согласно руководству по эксплуатации на БМРЗ-ДФЗ нижняя граница диапазона значений уставки $I_{2 БЛ}$ для номинального вторичного тока ТТ равного 5 А составляет 0,9 А.

Таким образом, в первичных значениях уставка блокирующего ПО тока обратной последовательности всех полуккомплектов принимает следующее значение:

$$I_{2\text{Бл}} = 0,9 \cdot K_{\text{ТТ}} = 0,9 \cdot 120 = 108 \text{ А.} \quad (11-96)$$

11.3.6 Воспользовавшись формулой (5-7) рассчитаем значение уставки отключающего ПО тока обратной последовательности для всех полуккомплектов:

$$I_{2\text{от}} = 1,5 \cdot 2,0 \cdot 108 = 324 \text{ А.} \quad (11-97)$$

11.3.7 Произведем расчет коэффициентов чувствительности для полученных выше уставок согласно п.п. 5.4.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{\text{ч}}$ к симметричным КЗ рассчитаем по формуле (5-28), используя значение уставки $I_{\text{л от}}$.

Для ПKN№1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2140}{2450} = 1,5. \quad (11-98)$$

$k_{\text{ч}} < 2$, требования чувствительности НЕ выполнены.

Для ПKN№2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4020}{3368} = 2,1. \quad (11-99)$$

$k_{\text{ч}} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№3:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2840}{3368} = 1,5. \quad (11-100)$$

$k_{\text{ч}} < 2$, требования чувствительности НЕ выполнены.

11.3.8 Для повышения чувствительности отключающих ПО применим в защите комплект РС и РНМ нулевой пулевой последовательности (см п.п. 5.1.4).

Согласно п.п. 5.2 в данном случае коэффициенты $k_{\text{отв}}$ и $k_{2\text{отв}}$ принимают значение 1,0. Произведем пересчёт уставок отключающих ПО с учётом изменения коэффициентов ответвления.

11.3.9 Используя формулу (5-3) рассчитаем значение уставки $I_{\text{л от}}$.

Для ПKN№1:

$$I_{\text{л от}} = 1,4 \cdot 1,0 \cdot 875 = 1225 \text{ А.} \quad (11-101)$$

Для ПKN№2:

$$I_{\text{л от}} = 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1203 = 1684 \text{ А.} \quad (11-102)$$

Для ПKN№3:

$$I_{л от} = 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1203 = 1684 \text{ А.} \quad (11-103)$$

11.3.10 Используя формулу (5-8) рассчитаем значение уставки $I_{2 от}$ для всех полуккомплектов:

$$I_{2 от} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 108 = 162 \text{ А.} \quad (11-104)$$

11.3.11 Произведем расчет коэффициентов чувствительности защиты для вновь рассчитанных уставок согласно п.п. 5.4.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{ч}$ к симметричным КЗ рассчитаем по формуле (5-28), используя значение уставки $I_{л от}$.

Для ПKN№1:

$$k_{ч} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2140}{1225} = 3,0. \quad (11-105)$$

$k_{ч} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№2:

$$k_{ч} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4020}{1684} = 4,2. \quad (11-106)$$

$k_{ч} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№3:

$$k_{ч} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2840}{1684} = 3,0. \quad (11-107)$$

$k_{ч} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Коэффициент чувствительности защиты $k_{ч}$ к несимметричным КЗ рассчитаем по формуле (5-29), используя значение уставки $I_{2 от}$.

Для ПKN№1:

$$k_{ч} = \frac{680}{162} = 4,2. \quad (11-108)$$

$k_{ч} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№2:

$$k_{ч} = \frac{1210}{162} = 7,5. \quad (11-109)$$

$k_{ч} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Для ПKN№3:

$$k_{ч} = \frac{780}{162} = 4,8. \quad (11-110)$$

$k_{ч} > 2$, требования чувствительности выполнены.

Уставки отключающих ПО обеспечивают выполнение требований чувствительности защиты. Далее необходимо рассчитать уставки комплекта РС и РНМ нулевой последовательности.

11.3.12 Воспользовавшись формулой (6-1) рассчитаем уставку полного сопротивления Z по условию отстройки от сопротивления в максимальном нагрузочном режиме.

Для ПKN№1:

$$Z \leq \frac{0,8 \cdot 115 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 550} = 76,6 \text{ Ом.} \quad (11-111)$$

Для ПKN№2:

$$Z \leq \frac{0,8 \cdot 115 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 400} = 105,4 \text{ Ом.} \quad (11-112)$$

Для ПKN№2:

$$Z \leq \frac{0,8 \cdot 115 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 150} = 281,0 \text{ Ом.} \quad (11-113)$$

11.3.13 Произведем расчет коэффициентов чувствительности РС для полученных выше уставок согласно п.п. 6.2, используя формулу (6-6).

Для ПKN№1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{76,6}{3,04 + \frac{8,23}{0,35}} = 2,9. \quad (11-114)$$

$k_{\text{ч}} > 1,5$, требование чувствительности выполнено.

Для ПKN№2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{105,4}{0,49 + \frac{8,23}{0,65}} = 8,0. \quad (11-115)$$

$k_{\text{ч}} > 1,5$, требование чувствительности выполнено.

Для ПKN№3:

$$k_{\text{ч}} = \frac{281,0}{8,23 + \frac{3,04}{0,26}} = 14,1. \quad (11-116)$$

$k_{\text{ч}} > 1,5$, требование чувствительности выполнено.

Для ПKN№2 и ПKN№3 коэффициенты чувствительности более 3. Согласно п.п. 6.2.4 произведем пересчет уставок по сопротивлению.

Для ПKN№2:

$$Z = \left[0,49 + \frac{8,23}{0,65} \right] \cdot 3,0 = 39,5. \quad (11-117)$$

Для ПKN№3:

$$Z = \left[8,23 + \frac{3,04}{0,26} \right] \cdot 3,0 = 59,8. \quad (11-118)$$

11.3.14 Воспользовавшись формулой (6-4) рассчитаем уставку угла линии $\Phi_{л.}$

Для ПKN№1:

$$\Phi_{л} = \arctg \left(\frac{0,41}{0,16} \right) = 69^{\circ}. \quad (11-119)$$

Для ПKN№2:

$$\Phi_{л} = \arctg \left(\frac{0,46}{0,16} \right) = 71^{\circ}. \quad (11-120)$$

Для ПKN№3:

$$\Phi_{л} = \arctg \left(\frac{0,40}{0,16} \right) = 68^{\circ}. \quad (11-121)$$

11.3.15 Воспользовавшись формулой (6-5) рассчитаем уставку активного сопротивления R.

Для ПKN№1:

$$R = 76,6 \cdot \cos(69^{\circ}) = 27,5 \text{ Ом}. \quad (11-122)$$

Для ПKN№2:

$$R = 39,5 \cdot \cos(71^{\circ}) = 12,9 \text{ Ом}. \quad (11-123)$$

Для ПKN№3:

$$R = 59,8 \cdot \cos(68^{\circ}) = 22,4 \text{ Ом}. \quad (11-124)$$

11.3.16 Воспользовавшись формулой (6-7) рассчитаем уставку угла максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности $\Phi_{МЧ Р_0}$.

Для ПKN№1:

$$\Phi_{МЧ Р_0} = \arctg \left(\frac{1,40}{0,31} \right) = 78^{\circ}. \quad (11-125)$$

Для ПKN№2:

$$\Phi_{MЧ P_0} = \arctg \left(\frac{1,42}{0,30} \right) = 78^\circ. \quad (11-126)$$

Для ПKN№3:

$$\Phi_{MЧ P_0} = \arctg \left(\frac{1,40}{0,33} \right) = 77^\circ. \quad (11-127)$$

11.3.17 Используя формулу (8-2) произведем расчёт коэффициента фильтра тока манипуляции K_ϕ .

Для ПKN№1:

$$K_\phi = 1,5 \cdot \frac{1380}{790} = 2,6. \quad (11-128)$$

Для ПKN№2:

$$K_\phi = 1,5 \cdot \frac{2630}{1400} = 2,8. \quad (11-129)$$

Для ПKN№3:

$$K_\phi = 1,5 \cdot \frac{1760}{1080} = 2,4. \quad (11-130)$$

В качестве уставки K_ϕ для всех полукомплектов принимаем значение 3,0 (минимально возможное согласно документации на БМРЗ-ДФЗ).

11.3.18 Используя формулу (8-4) полученное значение уставки K_ϕ проверим по условию обеспечения надёжной манипуляции при симметричных КЗ на защищаемой линии.

Для ПKN№1:

$$K_\phi < \frac{14500 - 0,05 \cdot 14500 - 120 \cdot 0,5}{\frac{0,20}{3} \cdot 14500} = 14,2. \quad (11-131)$$

Условие выполняется.

Для ПKN№2:

$$K_\phi < \frac{17800 - 0,05 \cdot 17800 - 120 \cdot 0,5}{\frac{0,30}{3} \cdot 17800} = 9,5. \quad (11-132)$$

Условие выполняется.

Для ПKN№3:

$$K_\phi < \frac{17000 - 0,05 \cdot 17000 - 120 \cdot 0,5}{\frac{0,30}{3} \cdot 17000} = 9,5. \quad (11-133)$$

Условие выполняется.

11.3.19 Уставку угла блокировки $\Phi_{Бл}$ согласно п.п. 8.2.2 для всех полукомплектов примем равную 60° .

11.3.20 Выбор уставки $T_{ДФЗ}$.

Для всех полукомплектов, согласно эксплуатационной документации на БМРЗ-ДФЗ, принимаем минимально возможное значение $0,01$ с.

11.3.21 Воспользовавшись формулой (10-1) выполним пересчёт полученных для ПК№1 уставок токовых ПО во вторичные значения.

$$I_{л\ Бл} = \frac{1203}{120} = 10,03 \text{ А.} \quad (11-134)$$

$$I_{л\ ОТ} = \frac{1225}{120} = 10,21 \text{ А.} \quad (11-135)$$

$$I_{2\ Бл} = \frac{108}{120} = 0,90 \text{ А.} \quad (11-136)$$

$$I_{2\ ОТ} = \frac{162}{120} = 1,35 \text{ А.} \quad (11-137)$$

Воспользовавшись формулой (10-2) выполним пересчёт полученных для ПК№1 уставок по сопротивлению во вторичные значения.

$$Z = 76,6 \cdot \frac{120}{1100} = 8,36 \text{ Ом.} \quad (11-138)$$

$$R = 27,5 \cdot \frac{120}{1100} = 3,00 \text{ Ом.} \quad (11-139)$$

Воспользовавшись формулой (10-1) выполним пересчёт полученных для ПК№2 уставок токовых ПО во вторичные значения.

$$I_{л\ Бл} = \frac{875}{120} = 7,29 \text{ А.} \quad (11-140)$$

$$I_{л\ ОТ} = \frac{1684}{120} = 14,03 \text{ А.} \quad (11-141)$$

$$I_{2\ Бл} = \frac{108}{120} = 0,90 \text{ А.} \quad (11-142)$$

$$I_{2\ ОТ} = \frac{162}{120} = 1,35 \text{ А.} \quad (11-143)$$

Воспользовавшись формулой (10-2) выполним пересчёт полученных для ПК№2 уставок по сопротивлению во вторичные значения.

$$Z = 39,5 \cdot \frac{120}{1100} = 4,31 \text{ Ом.} \quad (11-144)$$

$$R = 12,9 \cdot \frac{120}{1100} = 1,41 \text{ Ом.} \quad (11-145)$$

Воспользовавшись формулой (10-1) выполним пересчёт полученных для ПК№3 уставок токовых ПО во вторичные значения.

$$I_{л\text{Бл}} = \frac{328}{120} = 2,73 \text{ А.} \quad (11-146)$$

$$I_{л\text{от}} = \frac{1684}{120} = 14,03 \text{ А.} \quad (11-147)$$

$$I_{2\text{Бл}} = \frac{108}{120} = 0,90 \text{ А.} \quad (11-148)$$

$$I_{2\text{от}} = \frac{162}{120} = 1,35 \text{ А.} \quad (11-149)$$

Воспользовавшись формулой (10-2) выполним пересчёт полученных для ПК№3 уставок по сопротивлению во вторичные значения.

$$Z = 59,8 \cdot \frac{120}{1100} = 6,52 \text{ Ом.} \quad (11-150)$$

$$R = 22,4 \cdot \frac{120}{1100} = 2,44 \text{ Ом.} \quad (11-151)$$

11.3.22 Для удобства ввода в блок БМРЗ сведем рассчитанные уставки в таблицу.

Таблица 11.3 – Уставки защиты

Уставка по:	Значение		
	ПК№1	ПК№2	ПК№3
- току $I_{ном\ птн}$, А	2,5	5	5
- току $I_{л\text{Бл}}$, А	10,03	7,29	2,73
- току $I_{л\text{от}}$, А	10,21	14,03	14,03
- току $I_{2\text{Бл}}$, А	0,90	0,90	0,90
- току $I_{2\text{от}}$, А	1,35	1,35	1,35
- сопротивлению Z , Ом	8,36	4,31	6,52
- сопротивлению R , Ом	3,00	1,41	2,44
- углу $\Phi_{л}$, °	69	71	68
- углу $\Phi_{мч\ р0}$, °	78	78	77
- коэффициенту K_{ϕ}	3,0	3,0	3,0
- углу $\Phi_{\text{Бл}}$, °	60	60	60
- времени $T_{дфз}$, с	0,01	0,01	0,01

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание.
2. ГОСТ 18311-80. Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий.
3. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110 – 330 кВ. М., «Энергия», 1972.
4. РД 153-34.0-35.301-2002. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты и измерения.
5. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. М.: «Энергия», 1976.
6. Чернобровов Н.В. Релейная защита. М.: «Энергия», 1967.
7. Чернобровов Н.В. Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998.
8. СТО ДИВГ-048-2012. Линии электропередач 35 - 220 кВ. Дистанционная защита. Методика расчета уставок защит. СПб : НТЦ Механотроника, 2012.
9. Пирогов М. Г. Способы улучшения дифференциально-фазной высокочастотной защиты линий 110 - 220 кВ. // Воздушные линии. - 2012. - № 2. - С. 71-75.

УДК 621.316.9:621.313.13

Ключевые слова: дифференциально-фазная защита, расчёт уставок, короткое замыкание, коэффициент чувствительности защиты

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

Новиков В.Е.

Генеральный конструктор

Гондуров С.А.

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

Соловьёв А.Л.

Начальник отдела системотехники

Пирогов М.Г.

Начальник бюро разработки
эксплуатационной документации

Карлова И.А.

Ведущий инженер-системотехник

Чепелев В.Н.

Инженер-системотехник

Илюхин Е.В.

Инженер-системотехник

Черкесова И.В.

Научное редактирование и нормоконтроль:

Зам. начальника управления по качеству

Захаров О.Г.

