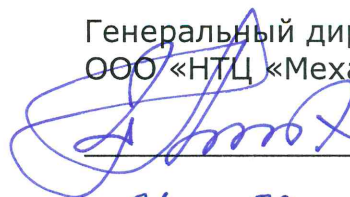


УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «НТЦ «Механотроника»


И.С.Шейкин

" 21 " 08 2019

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СТО ДИВГ-061-2019

**НАПРАВЛЕННАЯ ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЗАЩИТА
ЛИНИЙ 110 - 220 кВ**

**Расчёт уставок
Методические указания**

**Санкт-Петербург
2019**

Предисловие

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

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

Методика расчёта носит рекомендательный характер.

Сведения о стандарте

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

Исполнители:

Главный специалист отдела РЗА
СЕЛЬКОВ Е. А.

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

3 Код Общероссийского классификатора предприятий и организаций ОКПО - 23048570.

4 **ВВЕДЕН** 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 Область применения	1
2 Обозначения и сокращения	2
3 Общие сведения о НВЧЗ линий	3
3.1 Принцип действия	3
3.2 Блокирующие ПО	3
3.3 Отключающие ПО	4
4 НВЧЗ в блоках БМРЗ-БНЗ	4
5 Расчет уставок при наличии питания со всех концов линии	6
5.1 Расчет уставок ПО сопротивления	6
5.2 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности.....	7
5.3 Расчет уставок ПО приращения тока прямой последовательности.....	9
5.4 Расчет уставок ПО приращения тока обратной последовательности.....	11
5.5 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности с торможением.....	12
5.6 Расчет коэффициентов ответвления	14
6 Особенности расчета уставок ПО на линиях с ответвлениями	15
6.1 Общие требования	15
6.2 Расчет уставок дополнительных ПО.....	15
6.2.1 Расчет уставок ПО сопротивления	15
6.2.2 Расчет уставок направленного ПО нулевой последовательности.....	16
7 Определение коэффициентов чувствительности	18
8 Выбор выдержек времени.....	20
9 Пересчет уставок из первичных значений во вторичные значения .	21
10 Примеры расчета уставок	22
10.1 Пример расчета уставок линии без ответвлений	22
10.2 Пример расчета уставок линии с ответвлением	29
Литература	41

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**Направленная высокочастотная защита
линий 110-220 кВ
Расчет уставок
Методические указания**

Дата введения 2019-08-21

1 Область применения

Настоящий стандарт соответствует требованиям и рекомендациям, изложенным в ПУЭ [1] и рекомендациях по расчету [2].

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

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

В настоящем стандарте дан комплексный подход к выбору схемы и расчету уставок НВЧЗ линий. В стандарте приведены подробные примеры расчета уставок НВЧЗ линий.

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

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

2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте приняты следующие обозначения и сокращения:

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

3 Общие сведения о НВЧЗ линий

3.1 Принцип действия

3.1.1 НВЧЗ является основной защитой линии с абсолютной селективностью. Принцип действия защиты заключается в контроле направления мощности обратной последовательности со всех сторон линии и блокировке защиты при фиксации внешнего КЗ хотя бы с одной из сторон. Блокирующий сигнал передается в другие комплекты посредством ВЧ приемопередатчика. При КЗ на защищаемой линии защита действует без выдержки времени в связи с тем, что отсутствует блокирующий сигнал.

Схема НВЧЗ содержит следующие ПО:

- блокирующие ПО, действующие на пуск ВЧ приемопередатчика;
- отключающие ПО, действующие на останов ВЧ приемопередатчика и отключение выключателя.

При внешних КЗ с одной из сторон срабатывают блокирующие ПО, фиксирующие КЗ "за спиной". Отключающие ПО при этом не срабатывают, поэтому защита остается заблокирована со всех сторон.

При внутренних КЗ со всех сторон срабатывают только отключающие ПО, пуска ВЧ приемопередатчика не происходит, тем самым разрешается срабатывание защиты со всех сторон.

На линиях с ответвлениями учитывается ряд особенностей:

- необходимость отстройки отключающих органов от КЗ за трансформаторами на ответвлениях, на которых комплекты защиты не установлены;
- необходимость отстройки отключающих органов от броска тока намагничивания трансформаторов ответвлений.

3.2 Блокирующие ПО

3.2.1 Пуск ВЧ приемопередатчика происходит при срабатывании блокирующих ПО, направленных в сторону внешних КЗ, и действует на блокировку защиты со всех сторон. Чувствительность к однофазным и двухфазным КЗ обеспечивают ПО, реагирующие на ток и напряжение обратной последовательности, чувствительность к трехфазным КЗ - ПО сопротивления.

ПО обратной последовательности выполняется с контролем направления мощности обратной последовательности.

ПО сопротивления направлен к шинам и выполняется с охватом начала координат, для предотвращения отказа пуска защиты при близких КЗ "за спиной".

Блокирующие ПО отстраиваются от нормального режима.

Сети с тяговой нагрузкой характеризуются значительными, медленно изменяющимися небалансами по току обратной последовательности. В данных сетях выводится токовый орган обратной последовательности и вводятся органы приращения тока прямой и обратной последовательности.

Срабатывание блокирующих ПО может происходить как при внешних, так и при внутренних КЗ, поэтому пуск блокирующих ПО снимается при срабатывании отключающих ПО.

3.3 Отключающие ПО

3.3.1 Фиксация КЗ на линии осуществляется отключающими ПО. Отключающие ПО действуют на отключение выключателя с контролем отсутствия ВЧ сигнала.

Отключающий ПО сопротивления выполнен с контролем от УБК быстродействующих ступеней. Для обеспечения направленности при близких КЗ ПО выполнено с контуром памяти.

ПО обратной последовательности выполняется с контролем направления мощности обратной последовательности. При установке защиты на линии, отходящей от шин мощной подстанции, возможен отказ отключающего ПО обратной последовательности из-за низкого значения напряжения обратной последовательности. Для обеспечения действия защиты на отключение в схему защиты введено дополнительное реле тока обратной последовательности с торможением от тока прямой последовательности, действующее на отключение.

При установке комплекта защиты на ответвлении без источников питания отключающие ПО не чувствительны к внутренним КЗ, поэтому данный комплект защиты используется только для блокировки комплектов защиты, установленных на противоположных концах, при КЗ на ответвлении.

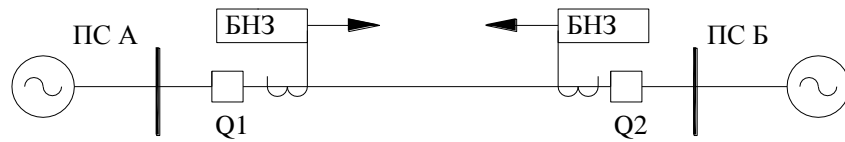
При работе защиты на линии с ответвлениями предусмотрены дополнительные ПО, включенные в цепь отключения. Для предотвращения срабатывания защиты при КЗ на ответвлении предусмотрен ПО сопротивления и ПО нулевой последовательности. ПО сопротивления должен быть отстроен от КЗ за трансформатором, а ПО нулевой последовательности должен быть отстроен от небаланса при междофазных КЗ за трансформатором и выполняться с блокировкой от броска тока намагничивания.

4 НВЧЗ в блоках БМРЗ-БНЗ

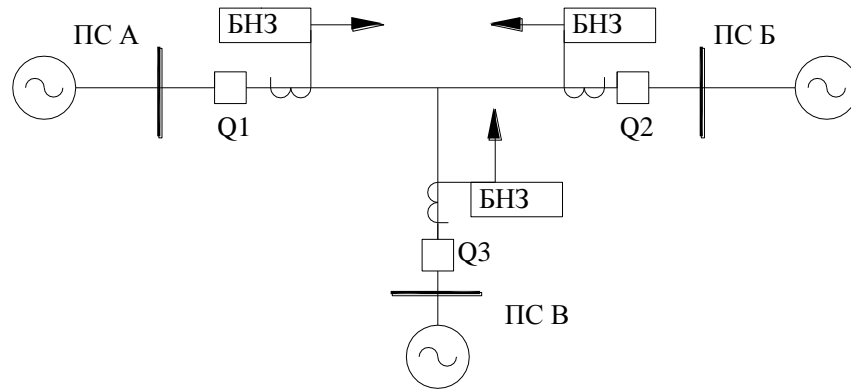
4.1 Блок БМРЗ-БНЗ может выполнять НВЧЗ следующих линий [3]:

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

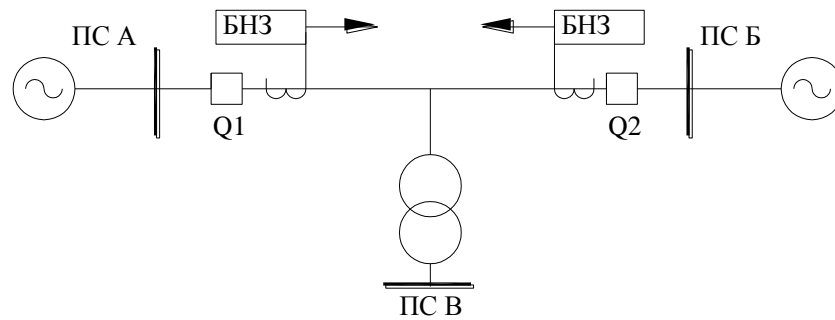
- линий с ответвлениями без источников питания (рисунок 4.1 в)). Отстройка от КЗ за ответвлениями выполняется с помощью комплекта дополнительных ПО (см. 3.3). При невозможности отстройки от КЗ за ответвлениями на них должен быть установлен дополнительный комплект защиты (рисунок 4.1 г)).



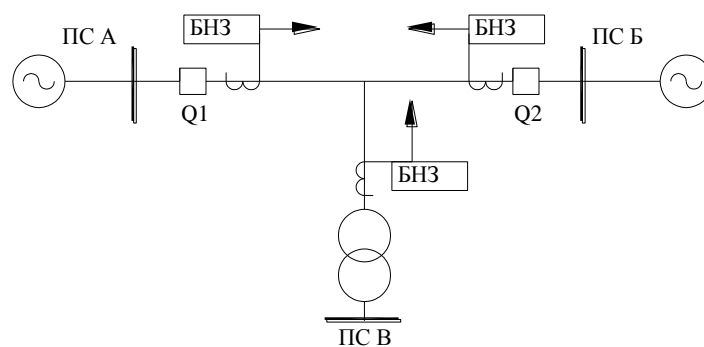
а) линия с двусторонним питанием



б) линия с источниками питания с нескольких сторон



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



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

Рисунок 4.1 – Примеры защищаемых линий

5 Расчет уставок при наличии питания со всех концов линии

5.1 Расчет уставок ПО сопротивления

5.1.1 ПО сопротивления является основным ПО НВЧЗ, обеспечивающим чувствительность к симметричным КЗ.

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

Активное сопротивление срабатывания ПО сопротивления рассчитывают по формуле

$$R_{\text{блок.}} < \frac{Z_{\text{раб.мин.}}}{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot \left(\cos(\Phi_{\text{н}}) - \frac{\sin(\Phi_{\text{н}})}{\text{tg}(\Phi_2)} \right), \quad (5.1)$$

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

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

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

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

Φ_2 - уставка наклона стороны 2 ПО сопротивления, °.

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

$$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{раб.макс}}}, \quad (5.2)$$

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

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

5.1.4 Первичное полное сопротивление срабатывания $Z_{\text{блок.}}$, Ом, блокирующего ПО сопротивления рекомендуется принимать не более $R_{\text{блок.}}$, в соответствии с формулой (5.3)

$$Z_{\text{блок.}} \leq R_{\text{блок.}} \quad (5.3)$$

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

5.1.5 Блокирующий ПО рекомендуется выполнять направленным в сторону шин для предотвращения замедления защиты при КЗ на шинах. Для этого уставка коэффициента смещения $K_{\text{см.}}$ должна быть задана равной 0.

5.1.6 Первичное сопротивление срабатывания отключающего ПО сопротивления $Z_{\text{откл.}}$, Ом, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с блокирующим ПО сопротивления комплекта, установленного на противоположном конце линии, для двухконцевой линии по формуле

$$Z_{\text{откл.}} \leq k_{\text{отс}} \cdot (Z_{\text{линии}} + k'_{\text{отс}} \cdot Z_{\text{блок.}}), \quad (5.4)$$

для трехконцевой линии по формуле

$$Z_{\text{откл.}} \leq k_{\text{отс}} \cdot \left(Z'_{\text{линии}} + \frac{Z''_{\text{линии}} + k'_{\text{отс}} \cdot Z_{\text{блок.}}}{k_{\text{т}}} \right), \quad (5.5)$$

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

$Z_{1\text{линии}}$ – первичное полное сопротивление защищаемой линии, Ом;

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

$Z_{\text{блок.}}$ – первичное сопротивление срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, Ом;

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

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

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в комплекте, с которым производится согласование.

5.1.7 Проверка чувствительности отключающего ПО $Z_{откл.}$ выполняется согласно разделу 7.

5.2 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности

5.2.1 ПО тока обратной последовательности, является основным ПО НВЧЗ, обеспечивающим чувствительность к несимметричным КЗ.

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

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

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

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

$k_B = 0,9$ – коэффициент возврата;

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

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

5.2.4 Первичный ток небаланса обратной последовательности рассчитывают по формуле

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

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

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

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

5.2.6 Направленный блокирующий ПО обратной последовательности отстроен от напряжения небаланса и несимметрии в нагрузочном режиме.

При отсутствии несимметрии вторичное напряжение срабатывания по напряжению обратной последовательности $U_{2 \text{ блок. с.р.}}$ принимают равным от 1,5 до 2,0 В.

5.2.7 Угол максимальной чувствительности РНМ обратной последовательности рассчитывают по формуле

$$\Phi_{2 \text{ м.ч.}} = \arctg\left(\frac{X_1}{R_1}\right), \quad (5.8)$$

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

R_1 – активное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии, Ом.

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

$$I_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{2\text{отв}} \cdot I_{2 \text{ блок.}}^{(\text{II})}, \quad (5.9)$$

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

$k_{2\text{отв}}$ – коэффициент ответвления (см. 5.6). Для двусторонних линий без ответвлений $k_{2\text{отв}} = 1$;

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

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

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

$$I_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2C \text{ уд.}} \cdot L, \quad (5.10)$$

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

$I_{2C \text{ уд.}}$ – удельный емкостной ток обратной последовательности при включении под напряжение одной или двух фаз линии, А/км. Удельный емкостной ток одноцепной линии 220 кВ принимается равным 0,10 А/км, двухцепной линии – 0,13 А/км;

L – длина линии, км.

5.2.10 Напряжение срабатывания отключающего ПО обратной последовательности рассчитывают по условию согласования с напряжением срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности комплекта, установленного на противоположном конце линии.

Вторичное напряжение срабатывания по напряжению обратной последовательности $U_{2 \text{ откл. с.р.}}$ принимают равным от 3 до 4 В. Для повышения чувствительности отключающего ПО напряжение срабатывания следует определять с учетом падения напряжения в линии [2].

5.2.11 Проверка чувствительности по току $I_{2 \text{ откл.}}$ и напряжению $U_{2 \text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 7.

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

При использовании ПО, реагирующего на приращение тока, в расчете тока срабатывания блокирующего ПО $I_{2 \text{ блок.}}$ по формуле (5.6) ток несимметрии $I_{2 \text{ несим.}}$ принимают равным 0.

5.2.13 При недостаточной чувствительности ПО по напряжению обратной последовательности применяется дополнительный ПО обратной последовательности с торможением.

5.3 Расчет уставок ПО приращения тока прямой последовательности

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

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

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

$$dI_{1 \text{ блок.}} = k_{\text{нб}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (5.11)$$

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

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

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

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

$$dI_{1 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отв}} \cdot dI_{1 \text{ блок.}}^{(\text{П})}, \quad (5.12)$$

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

$k_{\text{отв}}$ – коэффициент ответвления (см. 5.6). Для двусторонних линий без ответвлений $k_{\text{отв}} = 1$;

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

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

$$dI_{1 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{с уд.}} \cdot L, \quad (5.13)$$

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

$I_{\text{с уд.}}$ – удельный емкостной ток обратной последовательности при включении под напряжение одной или двух фаз линии, А/км. Удельный емкостной ток одноцепной линии 220 кВ принимается равным 0,10 А/км, двухцепной линии – 0,13 А/км;

L – длина линии, км.

5.3.7 Проверка чувствительности отключающего ПО $dI_{1 \text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 7.

5.3.8 Вследствие того, что ПО приращения тока прямой последовательности формируют импульсный сигнал, предусматривается продление сигналов срабатывания ПО. Выдержку времени на возврат отключающих ПО $T_{\text{в откл.}}$ рекомендуется принимать 0,15 с, выдержку времени на возврат блокирующих ПО $T_{\text{в блок.}}$ на 0,10 с больше, равной 0,25 с.

5.4 Расчет уставок ПО приращения тока обратной последовательности

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

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

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

$$dI_{2 \text{ блок.}} = k_{\text{нб}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (5.14)$$

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

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

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

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

$$dI_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{2\text{отв}} \cdot dI_{2 \text{ блок.}}^{(\text{II})}, \quad (5.15)$$

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

$k_{2\text{отв}}$ – коэффициент ответвления (см. 5.6). Для двусторонних линий без ответвлений $k_{2\text{отв}} = 1$;

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

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

$$dI_{2 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2C \text{ уд.}} \cdot L, \quad (5.16)$$

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

$I_{2C \text{ уд.}}$ – удельный емкостной ток обратной последовательности при включении под напряжение одной или двух фаз линии, А/км. Удельный емкостной ток одноцепной линии 220 кВ принимается равным 0,10 А/км, двухцепной линии - 0,13 А/км;

L – длина линии, км.

5.4.7 Проверка чувствительности отключающего ПО $dI_{2 \text{ откл.}}$ выполняется согласно разделу 7.

5.4.8 Вследствие того, что ПО приращения тока обратной последовательности формируют импульсный сигнал, предусматривается продление сигналов срабатывания ПО. Выдержку времени на возврат отключающих ПО $T_{\text{в откл.}}$ рекомендуется принимать 0,15 с, выдержку времени на возврат блокирующих ПО $T_{\text{в блок.}}$ на 0,10 с больше, равной 0,25 с.

5.5 Расчет уставок ПО тока обратной последовательности с торможением

5.5.1 ПО обратной последовательности с торможением применяют при недостаточной чувствительности ПО обратной последовательности по напряжению обратной последовательности.

5.5.2 Начальный ток срабатывания ПО обратной последовательности с торможением $I_{2 \text{ нач.с.з.}}$, А, рассчитывают по условию согласования по чувствительности с напряжением срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, по формуле

$$I_{2 \text{ нач.с.з.}} = k_{\text{отс}} \cdot \frac{U_{2 \text{ блок.}}^{(\Pi)}}{\frac{Z_{1c}}{k_T} + Z_{1 \text{ линии}}}, \quad (5.17)$$

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

$U_{2 \text{ блок.}}^{(\Pi)}$ – первичное напряжение срабатывания блокирующего ПО комплекта, установленного на противоположном конце линии, В;

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

k_T – коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки защиты к току в сопротивлении Z_{1c} ;

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

5.5.3 Начальный ток срабатывания ПО обратной последовательности $I_{2 \text{ нач.с.з.}}$ принимают большим или равным первичному току срабатывания отключающего ПО обратной последовательности $I_{2 \text{ откл.}}$.

5.5.4 Первичный ток начала торможения $I_{\text{н.т.с.з.}}$ принимают равным первичному максимальному рабочему току в месте установки комплекта $I_{\text{раб.макс.}}$.

5.5.5 Коэффициент торможения рассчитывают по условию отстройки от небаланса в режиме качаний по формуле

$$K_{\text{торм}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot (k_{2 \text{ нб}} \cdot I_{\text{кач.макс}} + I_{2 \text{ несим.}}) - I_{2 \text{ нач.с.з.}}}{I_{\text{кач.макс}} - I_{\text{н.т.с.з.}}}, \quad (5.18)$$

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

$k_{2\text{ нб}} = 0,1$ – коэффициент небаланса по току обратной последовательности при качаниях;

$I_{\text{кач.макс}}$ – максимальное первичное значение тока асинхронного режима, А;

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

$I_{2\text{ нач.с.з.}}$ – первичное значение начального тока срабатывания ПО обратной последовательности, А;

$I_{\text{н.т.с.з.}}$ – первичное значение тока начала торможения, А.

5.6 Расчет коэффициентов ответвления

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

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

$$k_{отв} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2 + I_3}{I_2}, \quad (5.19)$$

где I_1 – ток, протекающий в месте установки ПК1 при КЗ в системе С2, А;
 I_2 – ток, протекающий в месте установки ПК2 при КЗ в системе С2, А;
 I_3 – ток, протекающий в месте установки ПК3 при КЗ в системе С2, А.

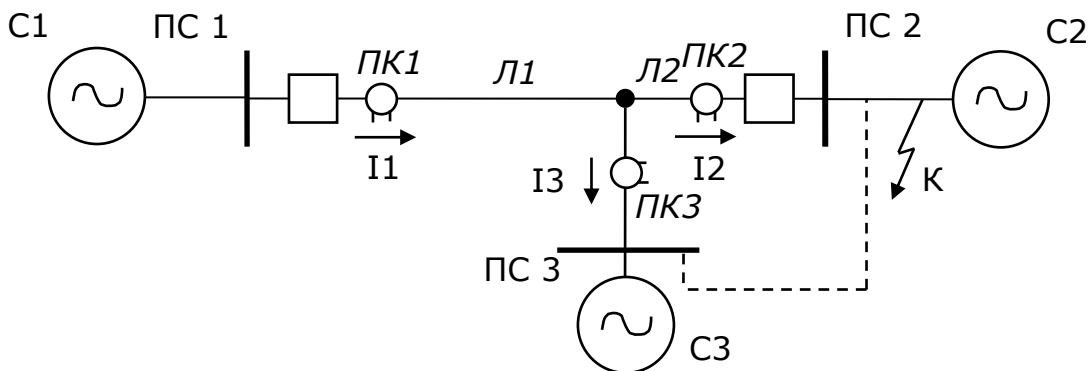


Рисунок 5.1 – Линия с трехсторонним питанием

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

$$I_{откл.}^{(ПК1)} = k_{отс} \cdot k_{отв} \cdot I_{блок.}^{(ПК2)}, \quad (5.20)$$

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

$k_{отв}$ – коэффициент ответвления;

$I_{блок.}^{(ПК2)}$ – первичный ток срабатывания блокирующего ПО ПК2, А.

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

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

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

6 Особенности расчета уставок ПО на линиях с ответвлениями

6.1 Общие требования

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

- защита не должна срабатывать при КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект НВЧЗ;
- защита не должна срабатывать при одностороннем включении линии под напряжение в условиях броска тока намагничивания трансформаторов ответвлений, на которых не установлены комплекты НВЧЗ.

6.1.2 Для решения задачи, поставленной в 6.1.1, рекомендуется использование дополнительных ПО сопротивления и реле направления мощности нулевой последовательности, включенных в цепь отключения. При этом уставки отключающих ПО рассчитывают согласно разделу 6, без учета условий, перечисленных в 6.1.1. Расчет уставок дополнительных ПО приведен в 6.2.

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

6.1.3 При установке на конце линии без источников питания комплекта защиты, в указанном комплекте защиты применяются только блокирующие ПО, отключающие ПО выводятся.

6.2 Расчет уставок дополнительных ПО

6.2.1 Расчет уставок ПО сопротивления

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

$$Z_{\text{отв.с.з.}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(Z'_{1\text{линии}} + \frac{Z_{1\text{отв.}} + Z_{1\text{тр}}}{k_{\text{т}}} \right), \quad (6.1)$$

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

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

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

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

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

6.2.1.2 Первичное сопротивление срабатывания $Z_{\text{отв.с.з.}}$ должно быть отстроено от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под

напряжение. Расчет сопротивления трансформаторов в условиях броска тока намагничивания см. в приложении VII [4]. Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты.

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

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

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

6.2.1.4 Проверка чувствительности отключающего ПО $Z_{отв.с.з.}$ выполняется согласно разделу 7.

6.2.2 Расчет уставок направленного ПО нулевой последовательности

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

$$I_{0\text{ отв.}} = k_{отс} \cdot f_{расч} \cdot I_{КЗ\text{ макс}}, \quad (6.2)$$

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

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

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

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

- в переходных режимах в условиях насыщения трансформаторов тока;

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

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

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

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

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

Угол максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности рассчитывают по формуле

$$\Phi_{0 \text{ м.ч.}} = \arctg \left(\frac{X_{0 \text{ линии}}}{R_{0 \text{ линии}}} \right), \quad (6.3)$$

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

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

6.2.2.5 Проверка чувствительности по току $I_{0 \text{ отв.}}$ и напряжению $U_{0 \text{ отв.}}$ выполняется согласно разделу 7.

При недостаточной чувствительности ПО по напряжению обратной последовательности ПО должен выполняться ненаправленным.

6.2.2.6 При расчете ненаправленного ПО нулевой последовательности расчетным повреждением является однофазное КЗ на землю на шинах подстанции, где установлен рассматриваемый комплект, в режиме, когда линия включена только с рассматриваемой стороны. При этом ПО не должен сработать от токов нулевой последовательности ответвления. Условие является расчетным, если нейтрали трансформаторов ответвления заземлены.

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

$$I_{0 \text{ откл.}} = k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ КЗ макс}}, \quad (6.4)$$

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

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

7 Определение коэффициентов чувствительности

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

7.2 Чувствительность ПО сопротивления определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{откл.}}}{Z_{\text{линии}}}, \quad (7.1)$$

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

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

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

7.3 Чувствительность отключающего ПО обратной последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ мин}}}{I_{2 \text{ откл.}}}, \quad (7.2)$$

где $I_{2 \text{ КЗ мин}}$ – минимальное из значений токов обратной последовательности при однофазном и двухфазном КЗ на землю на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта конце линии, А;

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

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

7.4 Чувствительность отключающего ПО приращения тока обратной последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ мин}} - I_{2 \text{ несим.}}}{dI_{2 \text{ откл.}}}, \quad (7.3)$$

где $I_{2 \text{ КЗ мин}}$ – минимальное из значений токов обратной последовательности при однофазном и двухфазном КЗ на землю на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта конце линии, А;

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

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

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

7.5 Чувствительность отключающего ПО приращения тока прямой последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ мин}} - I_{\text{раб. макс}}}{dI_{1 \text{ откл.}}}, \quad (7.4)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ – минимальное значение тока трехфазного КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого

комплекта конце линии, А;

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

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

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

7.6 Чувствительность отключающего ПО нулевой последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ мин}}}{I_{0 \text{ откл.}}}, \quad (7.5)$$

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

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

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

7.7 Коэффициент чувствительности по напряжению нулевой последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{3U_{0 \text{ КЗ мин}}}{U_{0 \text{ с.з.}}}, \quad (7.6)$$

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

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

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

7.8 Коэффициент чувствительности по напряжению обратной последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{U_{2 \text{ КЗ мин}}}{U_{2 \text{ с.з.}}}, \quad (7.7)$$

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

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

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

7.9 Коэффициент чувствительности ПО обратной последовательности с торможением определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ мин}}}{\max(I_{2 \text{ нач.с.з.}}, I_{2 \text{ нач.с.з.}} + K_{\text{торм}} \cdot (I_{1 \text{ КЗ}} - I_{\text{н.т.}}))}, \quad (7.8)$$

где $I_{2 \text{ КЗ мин}}$ – минимальное первичное значение тока обратной последовательности при КЗ, А;

$I_{2 \text{ нач.с.з.}}$ – первичное значение начального тока срабатывания ПО обратной последовательности, А;

$K_{\text{торм}}$ – коэффициент торможения;

$I_{1КЗ}$ – максимальное первичное значение тока прямой последовательности в расчетном режиме, А;

$I_{н.т.}$ – первичное значение тока начала торможения, А.

Минимальный коэффициент чувствительности принимается равным 1,5.

8 Выбор выдержек времени

8.1 Выдержку времени срабатывания $T_{НВЧЗ}$ принимают равной 0 с.

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

9 Пересчет уставок из первичных значений во вторичные значения

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

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

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_T}, \quad (9.1)$$

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

n_T – коэффициент трансформации ТТ.

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

$$U_{с.р.} = \frac{U_{с.з.}}{n_H}, \quad (9.2)$$

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

n_H – коэффициент трансформации ТН.

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

$$Z_{с.р.} = Z_{с.з.} \cdot \frac{n_T}{n_H}, \quad (9.3)$$

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

n_T – коэффициент трансформации ТТ;

n_H – коэффициент трансформации ТН.

10 Примеры расчета уставок

10.1 Пример расчета уставок линии без ответвлений

10.1.1 Исходные данные

Первичная схема сети приведена на рисунке 10.1.

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



Рисунок 10.1 – Линия с двусторонним питанием

Параметры систем приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 Параметры системы

Параметр	Описание	Система 1	Система 2
X_{1c}	Реактивное сопротивление прямой последовательности системы, Ом;	25,6	4,3
R_{1c}	Активное сопротивление прямой последовательности системы, Ом;	4,85	0,4
X_{0c}	Реактивное сопротивление нулевой последовательности системы, Ом	53,3	4,0
R_{0c}	Активное сопротивление нулевой последовательности системы, Ом	10,6	0,5

Параметры линии:

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

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

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

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

$L = 70$ км – длина линии;

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

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

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

$I_{\text{кач.макс}} = 2117$ А – ток асинхронного хода.

Трансформаторы тока ТТ1 и ТТ2:

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

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

- $n_T = 1200$ – номинальный коэффициент трансформации.

Трансформаторы напряжения

- $n_H = 2200$ – номинальный коэффициент трансформации.

Релейная защита

НВЧЗ линии выполнена на блоках БМРЗ-БНЗ-11, приемопередатчики ПВЗУ-Е.

10.1.2 Расчет токов КЗ

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

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

- проверка чувствительности отключающих ПО:

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

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

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

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

- проверка чувствительности отключающих ПО:

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

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

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

10.1.3 Расчет уставок

10.1.3.1 В таблице 10.2 приведен расчет уставок НВЧЗ линии без ответвлений.

Таблица 10.2 Расчет уставок НВЧЗ линии без ответвлений

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок ПО сопротивления				
Минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме $Z_{\text{раб.мин}}$, Ом	-	(5.2)	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$
Активное сопротивление срабатывания блокирующего ПО сопротивления $R_{\text{блок.с.р.}}$, Ом	Отстройка от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме	(5.1)	$R_{\text{блок.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$	$R_{\text{блок.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$
	Вторичное значение	(9.3)	$R_{\text{блок. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$R_{\text{блок. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Полное сопротивление срабатывания блокирующего ПО сопротивления $Z_{\text{блок.с.р.}}$, Ом	-	(5.3)	$Z_{\text{блок.}} = 168$	$Z_{\text{блок.}} = 168$
	Вторичное значение	(9.3)	$Z_{\text{блок. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$Z_{\text{блок. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
Полное сопротивление срабатывания отключающего ПО сопротивления $Z_{\text{откл.с.р.}}$, Ом	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО сопротивления	(5.5)	$Z_{\text{откл.}} = 0,85 \cdot \left(29,6 + \frac{0,8 \cdot 168}{1} \right) = 139$	$Z_{\text{откл.}} = 0,85 \cdot \left(29,6 + \frac{0,8 \cdot 168}{1} \right) = 139$
	Чувствительность отключающего ПО	(7.1)	$k_{\text{ч}} = \frac{139}{29,6} = 4,7$	$k_{\text{ч}} = \frac{139}{29,6} = 4,7$
	Вторичное значение	(9.3)	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 139 \cdot \frac{1200}{2200} = 76$	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 139 \cdot \frac{1200}{2200} = 76$

Продолжение таблицы 10.2

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок ПО обратной последовательности				
Первичный ток небаланса обратной последовательности, А	-	(5.7)	$I_{2\text{ нб}} = 0,05 \cdot 420 = 21$	$I_{2\text{ нб}} = 0,05 \cdot 420 = 21$
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2\text{ блок с.р.}}$, А	Отстройка от небаланса в нормальном режиме работы	(5.6)	$I_{2\text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$	$I_{2\text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{2\text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$	$I_{2\text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А		$I_{2\text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2\text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60$ А	$I_{2\text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2\text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60$ А
Напряжение срабатывания блокирующего ПО $U_{2\text{ блок с.р.}}$, В	Отстройка от напряжения небаланса и несимметрии в нагрузочном режиме	5.2.6	1,5 В	1,5 В
Угол максимальной чувствительности РНМ обратной последовательности $\Phi_{2\text{ м.ч.}}$, °	-	(5.8)	$\Phi_{2\text{ м.ч.}} = \arctg\left(\frac{0,42}{0,08}\right) = 79$	$\Phi_{2\text{ м.ч.}} = \arctg\left(\frac{0,42}{0,08}\right) = 79$
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{2\text{ откл.с.р.}}$, А	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.9)	$I_{2\text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 60 = 90$	$I_{2\text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 60 = 90$
	Отстройка от емкостного тока линии	(5.10)	$I_{2\text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$	$I_{2\text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{2\text{ откл.с.р.}} = \frac{90}{1200} = 0,08$	$I_{2\text{ откл.с.р.}} = \frac{90}{1200} = 0,08$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
	Чувствительность отключающего ПО	(7.2)	$k_{\text{ч}} = \frac{822}{90} = 9,1$	$k_{\text{ч}} = \frac{946}{90} = 10,5$

Продолжение таблицы 10.2

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Напряжение срабатывания отключающего ПО $U_{2 \text{откл.с.р.}}$ В	Согласование с напряжением срабатывания блокирующего ПО	5.2.10	3 В	3 В
	Чувствительность отключающего ПО	(7.7)	$k_{\text{ч}} = \frac{9,8}{3} = 3,3$	$k_{\text{ч}} = \frac{1,9}{3} = 0,6$ Чувствительность ПО ниже требуемой, поэтому необходимо применение ПО обратной последовательности с торможением
Начальный ток срабатывания ПО обратной последовательности с торможением $I_{2 \text{нач.с.з.}}$ А	Согласование по чувствительности с напряжением срабатывания блокирующего ПО	(5.17)	$I_{2 \text{нач.с.з.}} = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 2200}{\frac{26,1}{1} + 29,6} = 119 \text{ А}$	$I_{2 \text{нач.с.з.}} = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 2200}{\frac{26,1}{1} + 29,6} = 119 \text{ А}$
	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	5.5.3	$I_{2 \text{нач.с.з.}} = I_{2 \text{откл.}} = 90$	$I_{2 \text{нач.с.з.}} = I_{2 \text{откл.}} = 90$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{2 \text{нач.с.р.}} = \frac{119}{1200} = 0,1$	$I_{2 \text{нач.с.р.}} = \frac{119}{1200} = 0,1$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Первичный ток начала торможения $I_{\text{н.т.с.з.}}$ А	-	5.5.4	$I_{\text{н.т.с.з.}} = 420$	$I_{\text{н.т.с.з.}} = 420$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{\text{н.т.с.р.}} = \frac{420}{1200} = 0,35$	$I_{\text{н.т.с.р.}} = \frac{420}{1200} = 0,351$
Коэффициент торможения	Отстройка от небаланса в режиме качаний	-	$K_{\text{торм}} = \frac{1,2 \cdot (0,1 \cdot 2117 + 10) - 119}{2117 - 420} = 0,09$	$K_{\text{торм}} = \frac{1,2 \cdot (0,1 \cdot 2117 + 10) - 119}{2117 - 420} = 0,09$
-	Чувствительность отключающего ПО	(7.8)	$k_{\text{ч}} = \frac{\max(119, 119 + 0,09 \cdot (2117 - 420))}{822} = \frac{\max(119, 272)}{822} = 3$	$k_{\text{ч}} = \frac{\max(119, 119 + 0,09 \cdot (2117 - 420))}{946} = \frac{\max(119, 272)}{946} = 3,5$

10.1.4 Перечень уставок для ввода в блок

10.1.4.1 Уставки, вводимые в блок БМРЗ-БНЗ-11, приведены в таблице 10.3.

Таблица 10.3 – Уставки для ввода в блок БМРЗ-БНЗ-11

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
Коэффициенты трансформации, преобразователи			
Ктр ТТ	Коэффициент трансформации фазных ТТ	n_T	1200
Ктр ТНф	Коэффициент трансформации фазных ТН	n_H	2200
НВЧЗ			
S920	Ввод НВЧЗ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
НВЧЗ Т	Выдержка времени срабатывания НВЧЗ, с	$T_{НВЧЗ}$	0
НВЧЗ РТ бл. I2	Ток срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности, А	I_2 блок.с.р.	0,05
НВЧЗ РН бл. U2	Напряжение срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности, В	U_2 блок.с.р.	1,5
НВЧЗ РТ откл. I2	Ток срабатывания отключающего ПО обратной последовательности, А	I_2 откл.с.р.	0,08
НВЧЗ РН откл. U2	Напряжение срабатывания отключающего ПО обратной последовательности, В	U_2 откл.с.р.	3
НВЧЗ РНМ Ф2мч	Угол максимальной чувствительности РНМ обратной последовательности линии, °	$\Phi_{2\text{ м.ч.}}$	79
НВЧЗ РС бл. тип	Тип характеристики блокирующего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2
НВЧЗ РС бл. Zcp	Полное сопротивление срабатывания блокирующего ПО, Ом	$Z_{\text{блок. с.р.}}$	91,7
НВЧЗ РС бл. Фл	Угол линии блокирующего ПО, °	$\Phi_{\text{ м.ч.}}$	79
НВЧЗ РС бл. Rcp	Активное сопротивление срабатывания блокирующего ПО, Ом	$R_{\text{блок. с.р.}}$	91,7
НВЧЗ РС бл. Kcm	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики блокирующего ПО	$K_{\text{см.}}$	0
НВЧЗ РС откл. тип	Тип характеристики отключающего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2
НВЧЗ РС откл. Zcp	Полное сопротивление срабатывания отключающего ПО, Ом	$Z_{\text{откл. с.р.}}$	76
НВЧЗ РС откл. Фл	Угол линии отключающего ПО, °	$\Phi_{\text{ м.ч.}}$	79
НВЧЗ РС откл. Rcp	Активное сопротивление срабатывания отключающего ПО, Ом	$R_{\text{откл. с.р.}}$	76

Продолжение таблицы 10.3

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
S922	Ввод отключающего ПО обратной последовательности с торможением от тока прямой последовательности	-	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
НВЧЗ РТ откл. I ₂ нач.	Начальный ток срабатывания отключающего ПО обратной последовательности с торможением, А	$I_{2 \text{ нач.с.р.}}$	-/0,1
НВЧЗ РТ откл. Инт.	Ток начала торможения отключающего ПО обратной последовательности с торможением, А	$I_{\text{н.т.с.р.}}$	-/0,35
НВЧЗ РТ откл. Кт	Коэффициент торможения отключающего ПО обратной последовательности с торможением	$K_{\text{торм}}$	-/0,09

10.2 Пример расчета уставок линии с ответвлением

10.2.1 Исходные данные

Первичная схема сети приведена на рисунке 10.2.

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

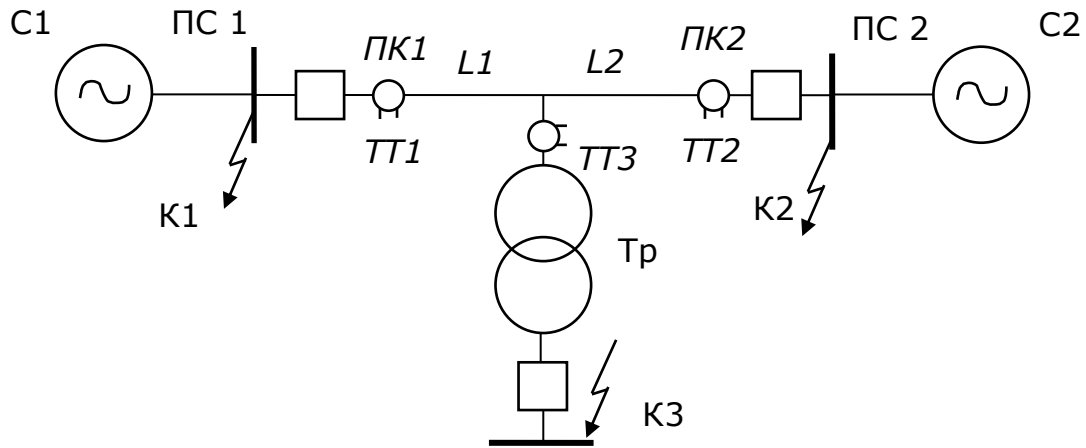


Рисунок 10.2 – Линия с двусторонним питанием и ответвлением

Параметры систем приведены в таблице 10.4.

Таблица 10.4 Параметры системы

Параметр	Описание	Система 1	Система 2
X_{1c}	Реактивное сопротивление прямой последовательности системы, Ом;	25,6	4,3
R_{1c}	Активное сопротивление прямой последовательности системы, Ом;	4,85	0,4
X_{0c}	Реактивное сопротивление нулевой последовательности системы, Ом	53,3	4,0
R_{0c}	Активное сопротивление нулевой последовательности системы, Ом	10,6	0,5

Параметры линии:

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

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

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

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

- $L1 = 35$ км – длина участка 1 линии;

- $L2 = 35$ км – длина участка 2 линии;

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

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

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

Параметры трансформатора ответвления:

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

Параметры нагрузки:

- $S_{\text{нагр}} = 28 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ - полная мощность нагрузки;
- $I_{\text{нагр}} = 70 \text{ А}$ - максимальный ток нагрузки;
- $\cos(\Phi_{\text{нагр}}) = 0,866$ - коэффициент мощности нагрузки;
- $x''_{d \text{ нагр.}} = 0,38 \text{ о.е.}$ - сверхпереходное индуктивное сопротивление нагрузки;
- $E''_{q \text{ нагр.}} = 0,9 \text{ о.е.}$ - сверхпереходная ЭДС нагрузки.

Трансформаторы тока ТТ1 и ТТ2:

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

Трансформатор тока ТТ3:

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

Трансформаторы напряжения:

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

Релейная защита

НВЧЗ линии выполнена на блоках БМРЗ-БНЗ-11, приемопередатчики ПВЗУ-Е. Рассмотрен вариант выполнения защиты без установки дополнительного комплекта защиты на ответвлении, с использованием дополнительных ПО сопротивления и реле направления мощности нулевой последовательности в цепи отключения.

10.2.2 Расчет токов КЗ

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

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

- проверка чувствительности отключающих ПО:

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

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

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

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

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

- учет ответвления:

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

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

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

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

- проверка чувствительности отключающих ПО:

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

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

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

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

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

- учет ответвления:

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

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

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

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

10.2.3 Расчет уставок

10.2.3.1 В таблице 10.5 приведен расчет уставок НВЧЗ без установки дополнительного комплекта защиты на ответвлении, с использованием дополнительных ПО в цепи отключения.

Таблица 10.5 Расчет уставок НВЧЗ линии с ответвлениями

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок ПО сопротивления				
Минимальное первичное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме $Z_{\text{раб.мин}}$, Ом	-	(5.2)	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$	$Z_{\text{раб.мин}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 272$
Активное сопротивление срабатывания блокирующего ПО сопротивления $R_{\text{блок.с.р.}}$, Ом	Отстройка от минимального сопротивления в месте установки защиты в максимальном нагрузочном режиме	(5.1)	$R_{\text{блок.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$	$R_{\text{блок.}} < \frac{272}{1,2 \cdot 1,05} \cdot \left(\cos(30) - \frac{\sin(30)}{\text{tg}(80)} \right) = 168$
	Вторичное значение	(9.3)	$R_{\text{блок. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$R_{\text{блок. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Полное сопротивление срабатывания блокирующего ПО сопротивления $Z_{\text{блок.с.р.}}$, Ом	-	(5.3)	$Z_{\text{блок.}} = 168$	$Z_{\text{блок.}} = 168$
	Вторичное значение	(9.3)	$Z_{\text{блок. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$	$Z_{\text{блок. с.р.}} = 168 \cdot \frac{1200}{2200} = 91,7$
Полное сопротивление срабатывания отключающего ПО сопротивления $Z_{\text{откл.с.р.}}$, Ом	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО сопротивления	(5.5)	$Z_{\text{откл.}} = 0,85 \cdot \left(29,6 + \frac{0,8 \cdot 168}{1} \right) = 139$	$Z_{\text{откл.}} = 0,85 \cdot \left(29,6 + \frac{0,8 \cdot 168}{1} \right) = 139$
	Чувствительность отключающего ПО	(7.1)	$k_{\text{ч}} = \frac{139}{29,6} = 4,7$	$k_{\text{ч}} = \frac{139}{29,6} = 4,7$
	Вторичное значение	(9.3)	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 139 \cdot \frac{1200}{2200} = 76$	$Z_{\text{откл. с.р.}} = 139 \cdot \frac{1200}{2200} = 76$

Продолжение таблицы 10.5

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок ПО обратной последовательности				
Первичный ток небаланса обратной последовательности, А	-	(5.7)	$I_{2\text{ нб}} = 0,05 \cdot 420 = 21$	$I_{2\text{ нб}} = 0,05 \cdot 420 = 21$
Ток срабатывания блокирующего ПО $I_{2\text{ блок с.р.}}$, А	Отстройка от небаланса в нормальном режиме работы	(5.6)	$I_{2\text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$	$I_{2\text{ блок.}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot (21 + 10) = 39$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{2\text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$	$I_{2\text{ блок.с.р.}} = \frac{39}{1200} = 0,033$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А		$I_{2\text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2\text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60$ А	$I_{2\text{ блок.с.р.}}$ принять 0,05 А $I_{2\text{ блок.}} = 0,05 \cdot 1200 = 60$ А
Напряжение срабатывания блокирующего ПО $U_{2\text{ блок с.р.}}$, В	Отстройка от напряжения небаланса и несимметрии в нагрузочном режиме	5.2.6	1,5 В	1,5 В
Угол максимальной чувствительности РНМ обратной последовательности $\Phi_{2\text{ м.ч.}}$, °	-	(5.8)	$\Phi_{2\text{ м.ч.}} = \arctg\left(\frac{0,42}{0,08}\right) = 79$	$\Phi_{2\text{ м.ч.}} = \arctg\left(\frac{0,42}{0,08}\right) = 79$
Ток срабатывания отключающего ПО $I_{2\text{ откл.с.р.}}$, А	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	(5.9)	$I_{2\text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 60 = 90$	$I_{2\text{ откл.}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 60 = 90$
	Отстройка от емкостного тока линии	(5.10)	$I_{2\text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$	$I_{2\text{ откл.}} = 2 \cdot 0,13 \cdot 70 = 18,2$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{2\text{ откл.с.р.}} = \frac{90}{1200} = 0,08$	$I_{2\text{ откл.с.р.}} = \frac{90}{1200} = 0,08$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
	Чувствительность отключающего ПО	(7.2)	$k_{\text{ч}} = \frac{822}{90} = 9,1$	$k_{\text{ч}} = \frac{946}{90} = 10,5$

Продолжение таблицы 10.5

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Напряжение срабатывания отключающего ПО $U_{2 \text{откл.с.р.}}$ В	Согласование с напряжением срабатывания блокирующего ПО	5.2.10	3 В	3 В
	Чувствительность отключающего ПО	(7.7)	$k_{\text{ч}} = \frac{9,8}{3} = 3,3$	$k_{\text{ч}} = \frac{1,9}{3} = 0,6$ Чувствительность ПО ниже требуемой, поэтому необходимо применение ПО обратной последовательности с торможением
Начальный ток срабатывания ПО обратной последовательности с торможением $I_{2 \text{нач.с.з.}}$ А	Согласование по чувствительности с напряжением срабатывания блокирующего ПО	(5.17)	$I_{2 \text{нач.с.з.}} = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 2200}{\frac{26,1}{1} + 29,6} = 119 \text{ А}$	$I_{2 \text{нач.с.з.}} = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 2200}{\frac{26,1}{1} + 29,6} = 119 \text{ А}$
	Согласование по чувствительности с блокирующим ПО	5.5.3	$I_{2 \text{нач.с.з.}} = I_{2 \text{откл.}} = 90$	$I_{2 \text{нач.с.з.}} = I_{2 \text{откл.}} = 90$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{2 \text{нач.с.р.}} = \frac{119}{1200} = 0,1$	$I_{2 \text{нач.с.р.}} = \frac{119}{1200} = 0,1$
	Диапазон значений От 0,05 до 10,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Первичный ток начала торможения $I_{\text{н.т.с.з.}}$ А	-	5.5.4	$I_{\text{н.т.с.з.}} = 420$	$I_{\text{н.т.с.з.}} = 420$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{\text{н.т.с.р.}} = \frac{420}{1200} = 0,35$	$I_{\text{н.т.с.р.}} = \frac{420}{1200} = 0,351$
Коэффициент торможения	Отстройка от небаланса в режиме качаний	-	$K_{\text{торм}} = \frac{1,2 \cdot (0,1 \cdot 2117 + 10) - 119}{2117 - 420} = 0,09$	$K_{\text{торм}} = \frac{1,2 \cdot (0,1 \cdot 2117 + 10) - 119}{2117 - 420} = 0,09$
-	Чувствительность отключающего ПО	(7.8)	$k_{\text{ч}} = \frac{\max(119, 119 + 0,09 \cdot (2117 - 420))}{822} = \frac{\max(119, 272)}{822} = 3$	$k_{\text{ч}} = \frac{\max(119, 119 + 0,09 \cdot (2117 - 420))}{946} = \frac{\max(119, 272)}{946} = 3,5$

Продолжение таблицы 10.5

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Расчет уставок дополнительных ПО				
Сопротивление срабатывания дополнительного ПО сопротивления, Ом	Отстройка от КЗ за трансформатором ответвления	(6.1)	$Z_{\text{отв.с.з.}} = 0,85 \cdot \left(14,8 + \frac{158,7}{1}\right) = 147$	$Z_{\text{отв.с.з.}} = 0,85 \cdot \left(14,8 + \frac{158,7}{1}\right) = 147$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов	6.2.1.2	Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты	
	Чувствительность отключающего ПО	(7.1)	$k_{\text{ч}} = \frac{147}{29,6} = 5,0$	$k_{\text{ч}} = \frac{147}{29,6} = 5,0$
	Вторичное значение	(9.3)	$Z_{\text{отв. с.р.}} = 147 \cdot \frac{1200}{2200} = 80,2$	$Z_{\text{отв. с.р.}} = 147 \cdot \frac{1200}{2200} = 80,2$
	Диапазон значений От 0,2 до 500,0 Ом	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Напряжение срабатывания ПО нулевой последовательности, В	Отстройка от напряжения небаланса при междуфазном КЗ	6.2.2.3	$U_{0 \text{ отв.с.р.}} = 5$	$U_{0 \text{ отв.с.р.}} = 5$
	Чувствительность отключающего ПО	(7.6)	$k_{\text{ч}} = \frac{21}{5} = 4,2$	$k_{\text{ч}} = \frac{4,0}{5} = 0,8$ Чувствительность ПО ниже требуемой, поэтому ПО выполнен ненаправленным
	Диапазон значений От 1,0 до 7,0 В	-	Условие выполняется	-

Продолжение таблицы 10.5

Определяемая величина	Расчетное условие	Формула	ПК1	ПК2
Ток срабатывания ПО нулевой последовательности, А	Отстройка от небаланса при КЗ за трансформатором ответвления	(6.2)	$I_{0 \text{ отв.}} = 1,4 \cdot 0,1 \cdot 689 = 96$	$I_{0 \text{ отв.}} = 1,4 \cdot 0,1 \cdot 773 = 108$
	Отстройка от тока трансформаторов ответвлений при однофазных КЗ за шинами подстанции, где установлен рассматриваемый комплект	(6.4)	-	$I_{0 \text{ отв.}} = 1,4 \cdot 650 = 910$
	Чувствительность отключающего ПО	(7.5)	$k_{\text{ч}} = \frac{833}{108} = 7,7$	$k_{\text{ч}} = \frac{2150}{910} = 2,36$
	Вторичное значение	(9.1)	$I_{0 \text{ отв.с.р.}} = \frac{108}{1200} = 0,09$	$I_{0 \text{ отв.с.р.}} = \frac{910}{1200} = 0,76$
	Диапазон значений От 0,05 до 100,00 А	-	Условие выполняется	Условие выполняется
Уставка по содержанию второй гармоники в токе нулевой последовательности	Отстройка от броска тока намагничивания трансформатора ответвления	6.2.2.3	$K_{2г.} = 0,15$	$K_{2г.} = 0,15$
Угол максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности, °	-	(6.3)	$\Phi_{0 \text{ м.ч.}} = \arctg\left(\frac{1,15}{0,34}\right) = 74$	ПО выполнен ненаправленным

10.2.4 Перечень уставок для ввода в блок

10.2.4.1 Уставки, вводимые в блок БМРЗ-БНЗ-11, приведены в таблице 10.6.

Таблица 10.6 – Уставки для ввода в блок БМРЗ-БНЗ-11

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
Коэффициенты трансформации, преобразователи			
Ктр ТТ	Коэффициент трансформации фазных ТТ	n_T	1200
Ктр ТНф	Коэффициент трансформации фазных ТН	n_H	2200
НВЧЗ			
S920	Ввод НВЧЗ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
НВЧЗ Т	Выдержка времени срабатывания НВЧЗ, с	$T_{НВЧЗ}$	0
S923	Ввод контроля дополнительных ПО при наличии ответвлений без комплекта НВЧЗ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
S924	Выбор ступени ДЗМФ для пуска НВЧЗ линий с ответвлениями	-	5
S925	Выбор ступени ТЗНП для пуска НВЧЗ линий с ответвлениями	-	6
НВЧЗ РТ бл. I2	Ток срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности, А	I_2 блок.с.р.	0,05
НВЧЗ РН бл. U2	Напряжение срабатывания блокирующего ПО обратной последовательности, В	U_2 блок.с.р.	1,5
НВЧЗ РТ откл. I2	Ток срабатывания отключающего ПО обратной последовательности, А	I_2 откл.с.р.	0,08
НВЧЗ РН откл. U2	Напряжение срабатывания отключающего ПО обратной последовательности, В	U_2 откл.с.р.	3
НВЧЗ РНМ Ф2мч	Угол максимальной чувствительности РНМ обратной последовательности линии, °	$\Phi_{2 \text{ м.ч.}}$	79
НВЧЗ РС бл. тип	Тип характеристики блокирующего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2
НВЧЗ РС бл. Zср	Полное сопротивление срабатывания блокирующего ПО, Ом	$Z_{\text{блок. с.р.}}$	91,7
НВЧЗ РС бл. Фл	Угол линии блокирующего ПО, °	$\Phi_{\text{м.ч.}}$	79
НВЧЗ РС бл. Rср	Активное сопротивление срабатывания блокирующего ПО, Ом	$R_{\text{блок. с.р.}}$	91,7
НВЧЗ РС бл. Kсм	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики блокирующего ПО	$K_{\text{см.}}$	0
НВЧЗ РС откл. тип	Тип характеристики отключающего ПО сопротивления (1 - окружность, 2 - четырехугольная)	-	2

Продолжение таблицы 10.6

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
НВЧЗ РС откл. Z _{ср}	Полное сопротивление срабатывания отключающего ПО, Ом	$Z_{откл. с.р.}$	76
НВЧЗ РС откл. Фл	Угол линии отключающего ПО, °	$\Phi_{м.ч.}$	79
НВЧЗ РС откл. R _{ср}	Активное сопротивление срабатывания отключающего ПО, Ом	$R_{откл. с.р.}$	76
S922	Ввод отключающего ПО обратной последовательности с торможением от тока прямой последовательности	-	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
НВЧЗ РТ откл. I _{2нач.}	Начальный ток срабатывания отключающего ПО обратной последовательности с торможением, А	$I_{2 нач.с.р.}$	-/0,1
НВЧЗ РТ откл. Инт.	Ток начала торможения отключающего ПО обратной последовательности с торможением, А	$I_{н.т.с.р.}$	-/0,35
НВЧЗ РТ откл. Кт	Коэффициент торможения отключающего ПО обратной последовательности с торможением	$K_{торм}$	-/0,09
Пятая ступень ДЗМФ			
S175	Ввод пятой ступени ДЗМФ	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ДЗМФ5 тип	Тип характеристики ДЗМФ 5 (1 - окружность, 2 - четырехугольная, 3 - треугольная)	-	2
ДЗМФ5 Z _{ср}	Полное сопротивление срабатывания ДЗМФ 5, Ом	$Z_{отв.с.р.}$	80,2
ДЗМФ5 Фл	Угол линии РС ДЗМФ 5, °	-	79
ДЗМФ5 Ф2	Угол наклона стороны 2 четырехугольной и треугольной характеристик ДЗМФ 5, °	-	70
ДЗМФ5 R _{ср}	Активное сопротивление срабатывания четырехугольной характеристики ДЗМФ 5, Ом	$R_{отв.с.р.}$	80,2
ДЗМФ5 K _{см}	Коэффициент смещения "за спину" стороны 3 четырехугольной характеристики ДЗМФ5	-	0
S175-1	Выбор пуска ДЗМФ 5 (0 - без УБК, 1 - без УБК, 2 - от УБК быстродействующих ступеней, 3 - от УБК медленнодействующих ступеней)	-	0
S175-2	Ввод ненаправленного режима ДЗМФ 5 при включении	-	<input checked="" type="checkbox"/>
S175-3	Ввод направленности к шинам ДЗМФ 5	-	<input type="checkbox"/>
S175-5	Ввод ДЗМФ 5 на отключение	-	<input type="checkbox"/>

Продолжение таблицы 10.6

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки ПК1/ПК2
Направленная токовая защита нулевой последовательности			
Общие уставки ТЗНП			
ТЗНП Фмч	Угол максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности (н.п.) линии, °	$\Phi_{0 \text{ м.ч.}}$	74/-
Утр РРНМ	Напряжение точной работы РРНМ, В	$U_{0 \text{ отв.с.р.}}$	5/-
Итр РРНМ	Ток точной работы РРНМ, А	-	0,05/-
ТЗНП 2г К	Коэффициент блокировки ТЗНП по второй гармонике	$K_{2г.}$	0,15
ТЗНП 2г Т	Максимальная длительность блокировки ТЗНП по второй гармонике, с	-	2
Шестая ступень ТЗНП			
S216	Ввод шестой ступени ТЗНП	-	<input checked="" type="checkbox"/>
ТЗНП РТ6	Ток срабатывания ТЗНП 6, А	$I_{0 \text{ отв. с.р.}}$	0,09/0,76
S216-1	Направленность ТЗНП 6 (0 - ненаправленная; 1 - в линию, РРНМ; 2 - в линию, БРНМ+РРНМ; 3 - к шинам, БРНМ; 4 - к шинам, БРНМ+РРНМ)	-	1/0
S216-2	Ввод блокировки ТЗНП 6 по второй гармонике	-	<input checked="" type="checkbox"/>


Литература

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2005. – 464 с.
2. Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110-750 кВ. Том 1 Рекомендации по расчету защит ВЛ 110-220(330) кВ №11795тм-т1. М., 1985.
3. Руководство по эксплуатации "Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-БНЗ-11" ДИВГ.648228.082-22.01 РЭ.
4. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110 – 330 кВ. М., «Энергия», 1972.

УДК 621.316.9:621.313.13

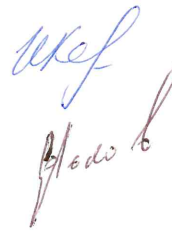
Ключевые слова: направленная высокочастотная защита, расчёт уставок, короткое замыкание

Технический директор



Гондуров С.А.

Начальник бюро разработки
эксплуатационной документации



Карлова И.А.

Главный специалист ОРЗА

Сельков Е.А.

НОРМОКОНТРОЛЬ:

Начальник бюро стандартизации и
технической документации



Ермоленко Л.М.

