



10.04.2009

*Рекомендации
по выбору уставок защит устройства
«Сириус-3-ДФЗ»*

1 Состав защит терминала

Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-3-ДФЗ» предназначено для защиты воздушных и кабельных линий 110-220 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью. Содержит основную защиту абсолютной селективности. Тип защиты абсолютной селективности – дифференциально-фазная защита (ДФЗ).

Предусматривается возможность работы устройства на линиях сложной конфигурации, в том числе на линиях ответвлениями, а также на линиях внешнего электроснабжения тяговой нагрузки.

Устройство не включает в себя функцию АУВ, поэтому подразумевается использование совместно с уже существующей схемой управления и АПВ выключателя или с отдельным терминалом АУВ.

Устройство включает в себя следующие защиты:

1.1 Дифференциально-фазная защита (ДФЗ)

– имеются три группы пусковых органов (ПО): чувствительные, грубые и дополнительные. Чувствительные и грубые ПО относятся к основным пусковым органам, применяемым на линиях любой конфигурации. Дополнительные ПО используются только на линиях с ответвлениями. Чувствительные ПО действуют на пуск ВЧ передатчика; грубые и дополнительные пусковые органы формируют сигнал отключения;

– предусмотрена возможность выбора варианта выполнения дополнительных ПО на основании требований по чувствительности к КЗ на защищаемой линии;

– предусмотрена возможность задания направленности для характеристики срабатывания основного реле сопротивления (РС);

– имеется блокировка при неисправностях в цепях переменного напряжения;

– имеется разрешающий орган направления мощности нулевой последовательности для отстройки ПО по току нулевой последовательности от КЗ в питающей системе;

– предусмотрена возможность ввода блокировки от бросков тока намагничивания (БНТ) для пускового органа (ПО) по току нулевой последовательности и для пусковых органов по фазным токам;

– имеется орган манипуляции (ОМ), управляющий работой ВЧ передатчика, а также орган сравнения фаз, сравнивающий фазы токов манипуляции по концам линии и формирующий сигнал на отключение выключателя при срабатывании грубых и дополнительных ПО;

– предусмотрена возможность введения функции автоматического измерения и компенсации задержки высокочастотного (ВЧ) сигнала по каналу связи.

1.2 Устройство резервирования отказов выключателя (УРОВ)

— дублированный пуск от защит с использованием реле положения «Включено» выключателя;

— автоматическая проверка исправности выключателя.

При выборе уставок защит в общих вопросах следует во всем руководствоваться стандартными Руководящими материалами [1, 2]. Ниже рассматриваются лишь особенности, вносимые конкретным выполнением защит в данном терминале (форма характеристик, дополнительные возможности и т.д.).

Весьма важной особенностью терминала является возможность иметь в памяти 2 набора уставок. Выбор функционирующего набора производится с помощью дискретного входа.

2 Дифференциально-фазная защита

2.1 Общая структура ДФЗ представлена в [5]. На ее основании должны быть выбраны уставки для всех пусковых органов, а также для органа манипуляции и органа сравнения фаз в полном соответствии с [1].

2.2 Пусковые органы

2.2.1 Основные положения

К чувствительным пусковым органам, действующим на пуск ВЧ передатчика, относятся следующие: ПО по току обратной последовательности, ПО по току нулевой последовательности, ПО по току (линейному), пусковые органы по приращению токов прямой и обратной последовательностей.

К грубым пусковым органам, контролирующим сигнал отключения, относятся следующие: ПО по току обратной последовательности, ПО по току нулевой последовательности, ПО по току (линейному), пусковые органы по приращению токов прямой и обратной последовательностей, а также основное РС.

Выбор уставок для всех перечисленных пусковых органов, за исключением пусковых органов по приращению тока, производится по стандартным методикам [1]. Методика расчета приведена в *Приложении А* к данным рекомендациям.

Следует учесть, что методика, представленная в *Приложении А*, используется для расчета уставок пусковых органов на линиях без ответвлений. Выбор уставок как для чувствительных так и для грубых пусковых органов приводится в п. 2.2.3 данных рекомендаций.

Набор дополнительных пусковых органов определяется выбранной схемой. В схемах дополнительных пусковых органов используются следующие ПО: пусковые органы по фазным токам, ПО по току нулевой последовательности, дополнительное реле сопротивления. Дополнительное реле сопротивления полностью совпадает с тем, что используется в основных ПО. Отличие состоит в том, что для основного РС имеется возможность задать совместное использование РС с ОНМ, а в схемах дополнительных ПО реле сопротивления используется только направленным. Уставки по сопротивлению задаются в группе «*Основные ПО*» и «*Дополнительные ПО*». Выбор уставок дополнительных пусковых органов производится по методикам [1]. Методика расчета уставок для дополнительных ПО приведена в *Приложении Б* к данным рекомендациям.

2.2.2 Параметры конфигурирования основных пусковых органов на линиях без ответвлений

Прежде всего следует фиксировать отсутствие на линии ответвлений. Для этого необходимо перевести уставку «*Дополнительные ПО – Ответвления на ВЛ*» ставится в положение «*Нет*».

При несимметричных замыканиях пуск защиты на линиях с умеренной несимметрией токов нагрузочного режима рекомендуется производить по току обратной последовательности. Для этого уставку «*Основные ПО – Контроль I_2* » следует перевести в положение «*Вкл*», а уставку «*Основные ПО – Контроль ΔI_2* » – в положение «*Откл*». На линиях с повышенной несимметрией (питание ж.д. тяги) пуск рекомендуется производить ПО по приращению тока обратной последовательности (противоположное положение двух вышеуказанных уставок).

При недостаточной чувствительности к замыканиям на землю дополнительно используется пуск по току нулевой последовательности. Пуск по току нулевой последовательности весьма желателен на линиях с ответвлениями, поскольку он не реагирует на КЗ за трансформаторами ответвлений. Ввод ПО по току нулевой последовательности осуществляется заданием уставки «*Основные ПО – Контроль $3I_0$ – Вкл*».

При симметричных замыканиях пуск должен производиться от ПО по току (линейному) и от основного реле сопротивления. Переключатели в двух указанных цепях не предусмотрены. При недостаточной чувствительности можно дополнительно подключить пуск по приращению тока прямой последовательности. Введение в работу ПО по приращению тока прямой

последовательности производится заданием уставки «*Основные ПО – Контроль ДII*».

Направленность РС обеспечивается совместным использованием реле сопротивления и ОНМ в схеме грубых и дополнительных ПО. Согласно [1], на линиях без ответвлений основное РС должно использоваться ненаправленным.

В таблице А.1 *Приложения А* дана краткая сводка расчетных выражений для выбора параметров срабатывания указанных пусковых органов. Сводка составлена на основании [1]. Расчет производится в первичных токах и напряжениях.

2.2.3 Выбор уставок пусковых органов по приращению

Пусковой орган по току обратной последовательности реагирует на величину приращения тока обратной последовательности ΔI_2 , замеряемую в первый период после фиксации факта резкого возрастания тока обратной последовательности. Поэтому ПО не срабатывает при стабильном небалансе на выходе фильтра тока обратной последовательности (вызванный, например, стабильной несимметрией токов в фазах).

Аналогично контролируется приращение вектора тока прямой последовательности ΔI_1 , что повышает чувствительность при симметричных КЗ.

Каждый из указанных ПО имеет две ступени по чувствительности: чувствительный и грубый пусковые органы.

Уставки чувствительного ПО по приращению тока обратной последовательности могут регулироваться в пределах $(0,02-2,00) \cdot I_{ном}$. Уставки грубого органа лежат в пределах $(0,05-4,00) \cdot I_{ном}$ и должна быть в 1.5-2 раза больше уставки чувствительного органа.

Уставки чувствительного и грубого пусковых органов по приращению тока прямой последовательности лежат в пределах $(0,05-3,00) \cdot I_{ном}$ и $(0,05-5,00) \cdot I_{ном}$.

Рекомендуется для расчета уставок грубого и чувствительного пусковых органов по приращению тока прямой последовательности использовать следующие расчетные выражения:

$$\Delta I_{1\text{чувств}} = 4 \Delta I_{2\text{чувств}} ; \quad (1)$$

$$\Delta I_{1\text{груб}} = 4 \Delta I_{2\text{груб}} . \quad (2)$$

Алгоритм пусковых органов по приращению тока обеспечивает практически полное отсутствие частотных погрешностей в диапазоне частот 45–55 Гц и фильтрацию высших гармоник в токе.

В соответствии с [3] расчет уставок для рассматриваемых ПО практически сводится к проверке чувствительности ПО при выбранной уставке (рекомендуемый [3] минимум уставки чувствительного пускового органа равен $0,08 \cdot I_{ном}$).

Проверка чувствительности проводится по выражению

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ ЗАЩ. МИН}}}{I_{2 \text{ УСТ. ЧУВСТ}} \cdot K_T}, \quad (3)$$

где $I_{2 \text{ ЗАЩ. МИН}}$ – минимальный ток обратной последовательности защиты при КЗ в расчетной точке, определяемый для расчетного режима;

$I_{2 \text{ УСТ. ЧУВСТ}}$ – принятая уставка чувствительного ПО;

K_T – коэффициент трансформации ТТ.

Минимально допустимый коэффициент чувствительности в соответствии с [3] равен 1,5 при КЗ на защищаемой и 1,2 при КЗ на смежной линии. После накопления опыта эксплуатации терминала на конкретной линии вопрос о минимальной уставке ПО по приращению тока может быть пересмотрен.

Очевидно, при выборе уставки ПО по приращению тока прямой последовательности следует придерживаться тех же принципов, но проверку чувствительности следует проводить при трехфазном замыкании.

2.2.4 Выбор схемы дополнительных пусковых органов

Уставки для грубых и чувствительных пусковых органов при установке устройства на линии с ответвлениями должны выбираться по условию отстройки от КЗ за трансформаторами концов линии, на которых не установлены полукомплекты защиты; согласно [1] «...должны также учитываться условия отстройки от повреждения в питающей системе в режиме одностороннего питания и отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов, установленных на концах без питания, при включении линии под напряжение».

При невыполнении основными пусковыми органами условий по чувствительности к КЗ на защищаемой линии предусматривается использование дополнительных пусковых органов.

В терминале «Сириус-3-ДФЗ» предусмотрены два варианта выполнения дополнительных пусковых органов – органов, применяемых только на линиях с ответвлениями, если на ответвлениях не установлены полукомплекты защиты.

Первый вариант, называемый «схема № 1», использует принцип схемы рисунка 7 [1]. В состав схемы входят четыре токовых пусковых органа, три из которых включены на фазные токи, а четвертый - на ток нулевой последовательности.

Второй вариант, называемый «схема № 2», использует принцип схемы рисунка 9 [1]. В состав схемы входит дополнительное реле сопротивления, а также реле тока нулевой последовательности с возможностью задания направленности.

Как правило, второй вариант обеспечивает большую чувствительность при двухфазных КЗ на защищаемой линии, что подробно рассмотрено в приложении I [1].

Естественно, возможности микропроцессорной техники позволили усовершенствовать выполнение ПО по сравнению с электромеханическими устройствами, описанными в [1]. В частности, все токовые реле дополнительных ПО имеют возможность отстройки от бросков тока намагничивания трансформаторов ответвлений с помощью контроля содержания в токе составляющих второй гармоники. В качестве дополнительного реле сопротивления применяется не реле системы Бреслера, а параллельно включенные три реле сопротивления, контролирующие три петли междуфазных замыканий. Во всех реле сопротивления обеспечивается направленность действия.

Методика выбора уставок для дополнительных пусковых органов приведена в *Приложении Б*.

2.2.5 Параметры конфигурирования схем дополнительных ПО

При выборе тока срабатывания пусковых органов по фазным токам (схема №1) по условию отстройки от броска тока намагничивания в ряде случаев не обеспечивается требуемая чувствительность к повреждениям на защищаемой линии. Для обеспечения требуемой чувствительности необходимо ввести блокировку указанных пусковых органов при выявлении броска тока намагничивания. Блокировка вводится уставкой «Дополн. ПО – БНТ при $I\phi$ – Вкл».

В случае, если нейтрали трансформаторов заземлены и уставка пускового органа по току нулевой последовательности (схемы №1 и №2), выбранная по условию отстройки от замыкания на землю в питающей системе за шинами данной подстанции (в режиме, когда линия отключена с одной из сторон), не удовлетворяет требованиям чувствительности, дополнительно предусматривается ввод разрешающего органа направления мощности нулевой последовательности с помощью уставки «Дополн. ПО – ОНМ НП».

Уставка для ПО по току нулевой последовательности (схемы №1 и №2) при заземленных нейтралях трансформаторов на концах без питания также выбирается по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов с заземленными нейтралями, включаемые под напряжение при включении линии. При неудовлетворении требований чувствительности предусматривается возможность введения блокировки при выявлении броска тока намагничивания. Указанное задается уставкой «Дополн. ПО – БНТ при 3I0 – Вкл».

Согласно [1], на линиях с ответвлениями основное и дополнительное РС быть направленными. Направленность необходима для обеспечения недействия защиты при трехфазных КЗ в питающей системе в режиме, когда линия включена только с данного питающего конца. В указанном режиме ненаправленная защита может пуститься за счет токов подпитки от нагрузки ответвления. Введение ОНМ для основного РС осуществляется уставкой «*Основные ПО – ОНМ при РС_осн – Вкл*».

2.2.6 Блокировка при неисправности цепей напряжения

Терминал снабжен блокировкой БНН, выполненной на традиционном отечественном принципе – сравнение напряжений обмоток звезды и разомкнутого треугольника ТН.

В меню уставок «*Параметры ТН*» необходимо определить:

— Напряжение небаланса для контроля неисправности в цепях ТН – уставка «*U_{БНН}*». Рекомендуемое значение – *10 В*;

— Схема сборки вторичных обмоток ТН. Одна из 12 схем согласно руководству по эксплуатации терминала [5];

— Дополнительный вывод вторичных цепей разомкнутого треугольника: «*I*» или «*Φ*» (в соответствии со схемой вторичных цепей ТН на данной подстанции);

— Место установки ТН – на линии или на шинах;

— Уставка по напряжению сигнализации пропадания всех фазных напряжений «*U_{КОНТР}*». Рекомендуемое значение – *40 В*;

— Уставка по напряжению сигнализации появления напряжения обратной последовательности «*U_{2 КОНТР}*». Рекомендуемое значение – *10-15 В*.

2.2.7 Применение ПО по току нулевой последовательности и ПО по фазным токам с блокировкой по току второй гармоники.

Блокировка по току второй гармоники должна использоваться в случаях, когда без этой блокировки пусковые органы по току могут сработать от БНТ трансформаторов, подключенных к линии.

Броски возможны на линиях с ответвлениями и трансформаторами, присоединенными к ответвлениям от защищаемой линии и имеющими заземленные нейтрали, в условиях каскадного включения защищаемой линии. То же относится к линиям без ответвлений с односторонним или двусторонним питанием, если в защищаемой сети возможно включение заземленных трансформаторов под напряжение через защищаемую линию.

Пусковые органы по фазным токам, а также дополнительный пусковой орган по току нулевой последовательности традиционного исполнения (например, с реле *РТ-40*) от БНТ отстраивались путем повышения уставки

соответствующей ступени по току срабатывания до значения, подсчитываемого по правилам приложения VII к [1]. Пусковые органы по току микропроцессорных терминалов, имеющие блокировку по току второй гармоники, могут обойтись без такой отстройки, что несколько повысит чувствительность ПО.

В итоге блокировку по току второй гармоники рекомендуется применять при не обеспечении требуемой чувствительности к КЗ на защищаемой линии пусковыми органами, выбранными по условию отстройки от броска тока намагничивания.

В то же время не следует использовать блокировку без необходимости, так как может создаться ситуация, когда ПО защиты будет необоснованно заблокированы (например, из-за насыщения трансформаторов тока).

Имеется возможность регулировать уставку по содержанию второй гармоники в токе $3I_0$ для ПО по току нулевой последовательности, и в токе всех фаз для пусковых органов по фазным токам, при которой срабатывает блокировка. Она задается как значение отношения действующего значения второй гармоники к действующему значению первой гармоники какого-либо из указанных токов (« I_2/I_1 »). Уставка находится в группе «Дополн. ПО». Диапазон регулирования — от 0,10 до 0,40. Рекомендуемое значение уставки – 0,20 (на основании опыта эксплуатации Западных защит линий и трансформаторов).

Алгоритм блокировки построен так, что сигнал блокировки ПО по току нулевой последовательности подхватывается, если содержание гармоники превышает заданный уставкой уровень в течение 70 мс после срабатывания указанного ПО и сохраняется до тех пор, пока ПО не вернется.

Ввод-вывод блокировки осуществляется независимо для каждого дополнительного пускового органа по току с помощью соответствующих программных уставок (накладок) «БНТ при $3I_0$ » и «БНТ при I_f », имеющие два положения: «Откл» и «Вкл».

2.2.8 Применение разрешающего органа направления мощности нулевой последовательности

Направленность дополнительного пускового органа по току нулевой последовательности для отстройки от однофазных КЗ в питающей системе можно обеспечить с помощью разрешающего органа направления мощности нулевой последовательности (ОНМ НП-р). Наличие направленности задается с помощью уставки «Дополн. ПО – ОНМ НП».

Наличие у ОНМ собственных пусковых органов пояснено на рисунке 1.

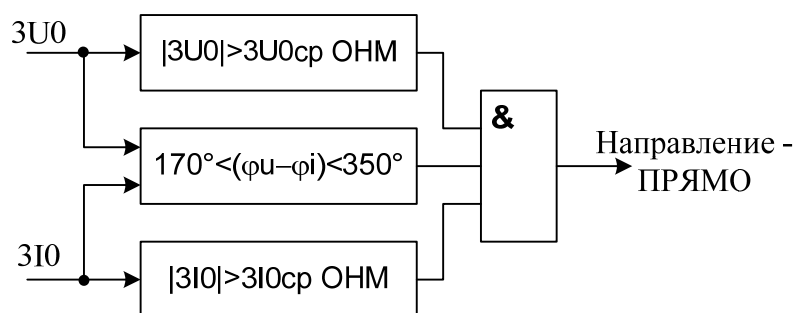


Рисунок 1 – Структурная схема ОНМ

Параметры срабатывания ОНМ НП-р определяются уставками из группы «ОНМ»:

- ток срабатывания разрешающего ОНМ НП (« $3I_0$ ОНМ НП-р/Inом»);
- напряжение срабатывания разрешающего ОНМ НП (« $3U_0$ ОНМ НП-р, В»).

Вопросы выбора уставок ОНМ рассмотрены в [3, 6].

Согласно [6], первичный ток срабатывания ОНМ НП-р выбирается по условию отстройки от суммарного тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока, протекающего в максимальном нагрузочном режиме:

$$3I_{0\text{ср ОНМ}} = \frac{K_{\text{отс}}}{K_B} (I_{0\text{НБ}} + 3I_{0\text{Н.Р.}}), \quad (4)$$

где $3I_{0\text{Н.Р.}}$ – утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе;

$K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешности реле, ошибки расчета и необходимый запас (принимается равным 1,25);

K_B – коэффициент возврата (равен предусмотренному в терминале коэффициенту 0,92);

$I_{0\text{НБ}} = 0,05 \cdot I_{\text{НАГР. МАКС.}}$ – первичный ток небаланса в нулевом проводе в максимальном нагрузочном режиме.

По напряжению ОНМ НП должен быть отстроен от напряжения небаланса в нагрузочном режиме ($3U_{0\text{НБ}}$). Подсчет $3U_{0\text{НБ}}$ пояснен в [6], но в том же источнике [6, раздел Ж, п.3] рекомендуется уточнять для каждой защиты значение напряжения небаланса экспериментально. В [3] рекомендуется минимальную уставку по напряжению срабатывания ОНМ НП-р принимать равной (1,5-2) В.

Чувствительность ОНМ по току и напряжению должна проверяться в минимальных режимах при однофазных замыканиях на землю в конце защищаемой линии (в направлении срабатывания). Чувствительность ОНМ НП-р по напряжению [6] рекомендуют определять по выражению (5):

$$K_{\text{ч U}} = \frac{3U_{0\text{кз}}}{K_U \cdot U_{\text{ср ОНМ}}}, \quad (5)$$

где K_U – коэффициент трансформации трансформатора напряжения;

$3U_{0K3}$ – минимальное значение утроенного напряжения нулевой последовательности в месте установки защиты при однофазном КЗ на землю в конце смежного участка в расчетном режиме. Нормативы значений коэффициентов чувствительности обычные:

1,5 – в конце защищаемой линии;

1,2 – в конце зоны дальнего резервирования.

2.3 Орган манипуляции

2.3.1 Выбор уставки коэффициента манипуляции

Согласно [1]: *«Для обеспечения надежного управления (манипуляции) высокочастотным передатчиком при повреждении на защищаемой линии должны быть выполнены следующие требования:*

- 1) *при несимметричных КЗ на защищаемой линии должно осуществляться преимущественное сравнение фаз токов обратной последовательности;*
- 2) *как при симметричных, так и при несимметричных КЗ на защищаемой линии напряжение на выходе фильтра органа манипуляции должно превышать минимальное значение, при котором обеспечивается надежная манипуляция».*

Второе из указанных условий следует понимать в несколько другом контексте, поскольку реализация ДФЗ на базе микропроцессорного терминала подразумевает использование высокочастотного приемопередатчика, использующего возможность работы с полупроводниковыми защитами, где основополагающим является понятие тока полной манипуляции. При превышении действующего значения тока манипуляции величины тока полной манипуляции, который в терминале «Сириус-3-ДФЗ» задается на уровне 20 мА, происходит формирование импульсов, соответствующих одному из полупериодов тока манипуляции. Ниже заданного уровня возможна выдача только непрерывного сигнала.

Таким образом, расчетным условием при определении коэффициента k комбинированного фильтра является следующее: *«Обеспечение при несимметричном КЗ преимущественного сравнения фаз токов обратной последовательности».*

Расчетные выражения для указанного расчетного условия следующие:

$$k \geq k_H \cdot \frac{I_{1РАСЧ}}{I_{2РАСЧ}}; \quad (6)$$

$$k \geq k_H \cdot \frac{I_{НАГР}}{I_{2РАСЧ}}, \quad (7)$$

где k_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,5;

$I_{1РАСЧ}$, $I_{2РАСЧ}$ – расчетные первичные токи прямой и обратной последовательностей при несимметричном КЗ на противоположном конце защищаемой линии;

$I_{НАГР}$ – максимальный первичный ток нагрузки.

Расчет должен производиться с учетом влияния нагрузки.

Расчетный случай для выражения (6) – двухфазное КЗ на землю между фазами В и С. Согласно [1]: «Выражение (6) составлено для худшего случая – нахождение в противофазе векторов $\bar{I}_{1РАСЧ}$ и $\bar{I}_{2РАСЧ}$. При неучете нагрузки это соответствует замыканию фаз В и С на землю. При учете нагрузки выражение (6) дает запас в случае, если токи $\bar{I}_{1РАСЧ}$ и $\bar{I}_{2РАСЧ}$ находятся в противофазе. Указанный запас несколько больше при однофазном КЗ, чем при двухфазном КЗ на землю, поскольку при расчетном случае замыкания фазы В и С на землю аварийные составляющие токов прямой и обратной последовательностей фазы А сдвинуты на 120° ».

При рассмотрении однофазного КЗ для расчета коэффициента следует использовать отношение нагрузочного тока и тока обратной последовательности (выражение (7)), поскольку они в этом случае будут находиться в противофазе, что обеспечит меньший запас. Выражение (7) будет определяющим только в случае, если отношение сопротивлений нулевой последовательности и обратной последовательности много больше 1.

На основании полученных значений для коэффициента манипуляции принимается наибольшее из них. Рекомендуется производить округление в большую сторону от полученных значений до чисел 4,6,8,10.

2.3.2 Проверка чувствительности органа манипуляции

Проверка чувствительность осуществляется для несимметричных КЗ, поскольку в этот режим является расчетным. Для этого, принимается режим двухфазного КЗ на землю, аналогичный режиму при выборе уставки коэффициента манипуляции. В этом случае, поскольку токи прямой и обратной последовательностей находятся в противофазе, выражение для расчета коэффициента чувствительности записывается следующим образом:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2РАСЧ} - I_{1РАСЧ}}{k_T \cdot I_{\text{ПОЛН.МАН.}}}, \quad (8)$$

где k – принятое значение коэффициента манипуляции;

k_T – значение коэффициента трансформации трансформатора тока;

$I_{\text{ПОЛН.МАН.}}$ – значение тока полной манипуляции, принимается равным 20 мА.

Допустимый коэффициент чувствительности принимается равным 1,3.

2.4 Орган сравнения фаз

В соответствии с рекомендациями [1], для линий малой протяженности, не имеющие ответвлений, рекомендуется принимать значение угла блокировки равным 45 град. Для линий средней протяженности при отсутствии ответвлений рекомендуется принимать значение 52 град., для остальных линий без ответвлений – значение 60 град. При наличии на линии ответвлений рекомендуется принимать угол блокировки равным 60 град. с возможным увеличением для обеспечения правильной манипуляции (приложение IV, [1]).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Расчетные выражения для выбора параметров срабатывания грубых и чувствительных пусковых органов дифференциально-фазной защиты на линиях без ответвлений

А.1 Выбор уставок

Расчетные выражения приводимые в данном приложении относятся к случаю использования устройства на линиях без ответвлений. В этом случае применяются только чувствительные и грубые пусковые органы.

В таблице А.1 дана краткая сводка расчетных выражений для выбора параметров срабатывания указанных пусковых органов. Сводка составлена на основании [1]. Расчет производится в первичных токах и напряжениях.

А.2 Расчет коэффициентов небаланса

Расчет коэффициентов небаланса производится с целью нахождения значений токов небалансов обратной и нулевой последовательностей. Расчет коэффициента небаланса обратной последовательности на основании [3] осуществляется по следующему выражению:

$$k_{2.НБ} = \frac{\varepsilon}{3} \cdot k_{СХ} + k_f \cdot \frac{\Delta f}{f_{НОМ}} + \Delta\Phi_I + k_{С.Т}, \quad (\text{П1})$$

где ε – полная погрешность трансформаторов тока; принимается равной 0,03;

$k_{СХ}$ – коэффициент схемы, принимается равным 1;

k_f – частотный коэффициент; для компенсированного фильтра принимается равным 0,1;

Δf – отклонение частоты сети от номинальной; принимается для нагрузочного режима $\Delta f = 2$ Гц;

$f_{НОМ}$ – номинальная частота сети;

$\Delta\Phi_I$ – погрешность настройки фильтра тока обратной последовательности; принимается равной 0,01;

$k_{С.Т}$ – коэффициент, учитывающий несимметрию в токе (при отсутствии источников несимметрии в сети), принимается равным 0,005.

Таким образом коэффициент небаланса обратной последовательности может быть принят равным 0,029.

Расчет коэффициента нулевой последовательности можно проводить по выражению, аналогичному (П1).

Таблица А.1 – Расчетные выражения для выбора уставок пусковых органов ДФЗ для линий без ответвлений

Параметр срабатывания	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечания
Ток срабатывания чувствительного ПО по току (линейному) $I_{\text{Л}}$	Отстройка от максимального рабочего тока, протекающего в месте установки полуконспекта	$I_{\text{СР.ПО_ЛИН.ЧУВСТ.}} \geq \sqrt{3} \cdot \frac{k_{\text{ОТС}}}{k_{\text{В}}} \cdot I_{\text{РАБ.МАКС}} \quad (\text{П2})$	$k_{\text{ОТС}}=1,3$ $k_{\text{В}}=0,92$
Ток срабатывания грубого ПО по току (линейному) $I_{\text{Л}}$	Согласование по чувствительности с ПО тока, действующим на пуск ВЧ передатчика полуконспекта, на противоположном конце защищаемой линии	$I_{\text{СР.ПО_ЛИН.ГРУВ.}} \geq k_{\text{С}} \cdot I_{\text{СР.ПО_ЛИН.ЧУВСТ.}} \quad (\text{П3})$	$k_{\text{С}}=1,5$
Ток срабатывания чувствительного ПО по току обратной последовательности	Отстройка ПО от тока небаланса в максимальном нагрузочном режиме	$I_{2,\text{СР.ПО.ЧУВСТВ.}} \geq \frac{k_{\text{ОТС}}}{k_{\text{В}}} \cdot (I_{2,\text{НБ.МАКС}} + I_{2,\text{Н.Р}}) \quad (\text{П4})$	$k_{\text{ОТС}}=1,3$ $k_{\text{В}}=0,92$
Ток срабатывания грубого ПО по току обратной последовательности	Согласование по чувствительности грубого ПО с ПО устройства, установленного на противоположном конце линии	$I_{2,\text{СР.ПО.ГРУВ.}} \geq k_{\text{С}} \cdot I_{2,\text{СР.ПО.ЧУВСТВ.}} \quad (\text{П5})$	$k_{\text{С}}=1,7 [3]$
Ток срабатывания чувствительного ПО по току нулевой последовательности	Отстройка ПО от тока небаланса в максимальном нагрузочном режиме	$3I_{0,\text{СР.ПО.ЧУВСТВ.}} \geq \frac{k_{\text{ОТС}}}{k_{\text{В}}} \cdot 3I_{0,\text{НБ.МАКС}} \quad (\text{П6})$	$k_{\text{ОТС}}=1,3$ $k_{\text{В}}=0,92$
Ток срабатывания грубого ПО по току нулевой последовательности	Согласование по чувствительности грубого ПО с ПО устройства, установленного на противоположном конце линии	$3I_{0,\text{СР.ПО.ГРУВ.}} \geq k_{\text{С}} \cdot 3I_{0,\text{СР.ПО.ЧУВСТВ.}} \quad (\text{П7})$	$k_{\text{С}}=1,7$

Примечания:

1 $I_{РАБ.МАКС}$ – первичный максимальный рабочий ток в месте установки полукомплекта защиты;

2 $I_{2.НБ.МАКС}$ – значение тока небаланса обратной последовательности, обусловленное погрешностями трансформаторов тока, фильтра токов обратной последовательности, отклонением частоты сети от номинальной, несимметрией в токе. Указанный ток небаланса рассчитывается по следующему выражению:

$$I_{2.НБ.МАКС} = k_{2.НБ} \cdot I_{РАБ.МАКС}, \quad (П8)$$

где $k_{2.НБ}$ – коэффициент, определяющий значение тока небаланса по обратной последовательности. Рекомендуемое значение см. примечание 5, уточнение значения возможно по выражению (П1).

3 $I_{2.Н.Р}$ – значение тока обратной последовательности, обусловленного несимметрией в системе (например, при работе смежной линии с односторонним питанием в неполнофазном режиме, при наличии составляющих токов обратной последовательности в нагрузочном режиме, обусловленных несимметрией нагрузки и т.д.); при отсутствии несимметрии в системе принимается равным 0.

4 $3I_{0.НБ.МАКС}$ – приведенный к первичной стороне трансформаторов тока ток небаланса в нулевом проводе, обусловленный погрешностями трансформаторов тока. Ток небаланса рассчитывается по выражению (П8):

$$3I_{0.НБ.МАКС} = k_{0.НБ} \cdot I_{РАБ.МАКС}, \quad (П9)$$

где $k_{0.НБ}$ – коэффициент, определяющий значение тока небаланса по нулевой последовательности. Рекомендуемое значение см. примечание 5, уточнение значения возможно по выражению (П1).

5 При расчетах можно принимать следующие значения коэффициентов небаланса согласно [1]:

$$k_{2.НБ} = 0,02 - 0,03; \quad k_{0.НБ} = 0,02 - 0,03.$$

Уточнение значений коэффициентов может быть произведено по выражению (П1).

В результате для линии без ответвлений получается

$$I_{2\text{ СР.ПО ЧУВСТВ}} \geq (0,03 - 0,05) I_{РАБ.МАКС};$$

$$I_{2\text{ СР.ПО ГРУБ}} \geq 1,7 I_{2\text{ СР.ПО ЧУВСТВ}};$$

Рекомендуемые уставки ПО по приращению:

$$\Delta I_2 \text{ СР.ПО ЧУВСТВ} = (0,7-1,0) I_2 \text{ СР.ПО ЧУВСТВ};$$

$$\Delta I_2 \text{ СР.ПО ГРУБ} \geq 1,7 \Delta I_2 \text{ СР.ПО ЧУВСТВ};$$

$$\Delta I_1 \text{ СР.ПО ЧУВСТВ} = 4 \Delta I_2 \text{ СР.ПО ЧУВСТВ};$$

$$\Delta I_1 \text{ СР.ПО ГРУБ} = 4 \Delta I_2 \text{ СР.ПО ГРУБ}.$$

А.3 Уставки основного реле сопротивления на линии без ответвлений

А.3.1 Расчет необходимых значений для выбора уставок

Вид характеристики срабатывания основного реле сопротивления отличается от характеристики реле КРС-121, применяемое в панели ДФЗ-201. Характеристика срабатывания ограничена четырьмя линиями, три из которых параллельны осям координат, а четвертая, ограничивающая характеристику сверху, наклонена к горизонтали под углом 8 градусов. Угол наклона незначителен, поэтому в первом приближении граничные линии можно считать горизонтальными, что позволяет не учитывать разницу между углом максимально чувствительности и углом сопротивления на зажимах реле при КЗ. Общий вид характеристики срабатывания реле сопротивления приведен на рисунке А.1.

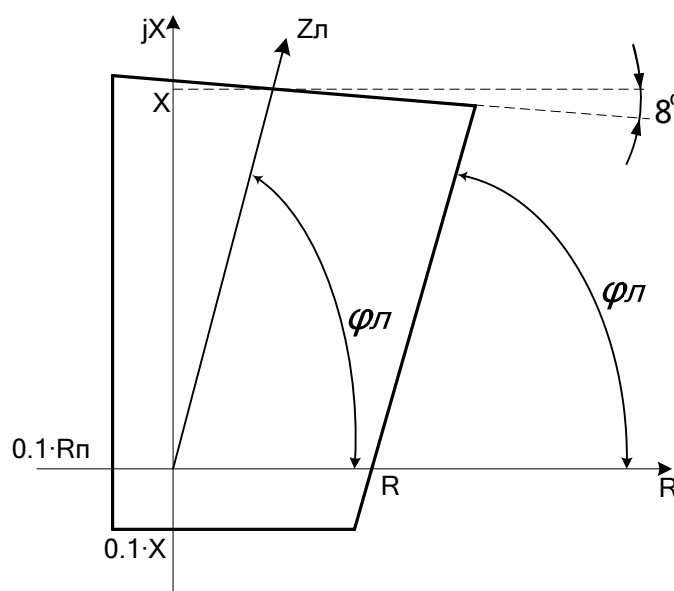


Рисунок А.1 – Характеристика срабатывания основного РС терминала «Сириус-3-ДФЗ»

Расчетным условием при выборе уставок для РС является отстройка от минимального сопротивления в месте установки полукомплекта в максимальном нагрузочном режиме. Характеристика имеет небольшое смещение ниже оси R, что было вызвано желанием увеличить чувствительность к переходным сопротивлениям при КЗ вблизи начала линии. Для сохранения направленности РС может контролироваться специальным органом направления мощности, функционирующим только при КЗ вблизи начала линии.

На линии без ответвлений РС может быть ненаправленным, для чего уставка «Основные ПО – ОНМ при РС_осн» переводится в положение «Откл».

Выбор уставок ИО преследует цель обеспечения несрабатывания ИО в нагрузочном режиме.

Режим отстройки от самозапуска двигателей при успешном АПВ не рассматривается, поскольку РС на отключение контролируется органом сравнения фаз, а также грубыми ПО.

Согласно [1, 3] сопротивление на зажимах ИО в нагрузочном режиме определяется по выражению:

$$Z_{\text{НАГР.}} = \frac{U_{\text{МИН}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{РАБ. МАКС.}}} \quad (\text{П10})$$

Согласно [1] $U_{\text{МИН}} \approx 0,9 \cdot U_{\text{НОМ}}$ в нагрузочном режиме. Расположение вектора $Z_{\text{НАГР}}$ на комплексной плоскости определяется соотношением активной и реактивной мощностей нагрузочного режима:

$$\text{tg } \varphi_{\text{НАГР}} = Q_{\text{НАГР}} / P_{\text{НАГР.}} \quad (\text{П11})$$

Соответственно на передающем конце линии сопротивление нагрузочного режима лежит в первом квадранте комплексной плоскости, на приемном – во втором или в третьем квадрантах.

Предполагается, что на приемном конце линии отстройка от срабатывания в нагрузочном режиме обеспечена тем, что характеристики по рисункам А.1 практически не заходят во второй и третий квадранты комплексной плоскости.

А.2.2 Выбор параметров характеристики РС

На транзитной линии необходимо различать три типа режимов: рабочий нагрузочный режим, режим самозапуска двигателей потребителей при успешном АПВ или АВР, режим с выдачей по линии большой реактивной мощности. Как уже было указано, режим самозапуска двигателей не рассматривается.

Рабочий нагрузочный режим характеризуется сопротивлением на зажимах, величина и угол которого определяются выражениями (П10) и (П11). На приемном конце линии сопротивление лежит во втором квадранте и несрабатывание ИО в нагрузочном режиме обеспечивается самой формой характеристики.

Особое внимание следует обратить на режимы выдачи по линии почти одной реактивной мощности, когда угол сопротивления нагрузки больше 47° . Характеристика по рисунку А.1 может быть отстроена от такого режима только опусканием верхней граничной линии. На основании указанного, согласно рекомендациям [4], уставка по реактивному сопротивлению основного РС рассчитывается по выражению:

$$X \leq \frac{Z_{\text{НАГР}} \cdot \sin \varphi_{\text{НАГР.}}}{K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{В}}} \quad (\text{П12})$$

Учитывая, что $Z_{НАГР} \cdot \sin \varphi_{НАГР} = X_{НАГР}$, и стандартные значения коэффициентов отстройки и возврата, получаем:

$$X \leq 0,758 \cdot X_{НАГР.МИН}, \quad (П13)$$

где $X_{НАГР.МИН}$ – сопротивление на зажимах защиты в режиме выдачи максимальной реактивной мощности.

Уставка по активному сопротивлению основного РС рассчитывается по следующему выражению:

$$R \leq R_{НАГР} - \frac{X_{НАГР}}{\operatorname{tg} \varphi_{Л}}, \quad (П14)$$

где $R_{НАГР}$ – минимальное активное сопротивление в максимальном нагрузочном режиме, которое находится по выражению:

$$R_{НАГР} = Z_{НАГР} \cdot \cos \varphi_{НАГР}; \quad (П15)$$

$\varphi_{Л}$ – угол наклона к горизонтали правой границы характеристики срабатывания основного РС, задается уставой «*Основные ПО – фнакл, град.*» и в рассматриваемом случае должен быть равен углу сопротивления линии, тангенс которого вычисляется по следующему выражению:

$$\operatorname{tg} \varphi_{Л} = X_{1УД} / R_{1УД}. \quad (П16)$$

При расчете по выражениям (П14)-(П16) рассматривается режим с выдачей максимальной активной мощности.

Наконец, для обеспечения нормированной чувствительности при КЗ в конце линии $K_{\varphi} \geq 1,5$ должно быть удовлетворено условие:

$$X \geq 1,5 X_{линии}, \quad (П17)$$

где $X_{линии}$ – реактивное сопротивление линии.

А.3 Проверка по чувствительности

Согласно [1], проверка чувствительности пусковых органов производится при КЗ на противоположном конце, по отношению к месту установки полуккомплекта, защищаемой линии. Так для проверки чувствительности ПО по току обратной последовательности расчетный вид КЗ определяется соотношениями:

– двухфазное КЗ на землю при $\frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma}} < 1$;

– однофазное КЗ на землю при $\frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma}} > 1$,

где $Z_{2\Sigma}$ и $Z_{0\Sigma}$ – результирующие сопротивления обратной и нулевой последовательностей в месте повреждения.

Для пускового органа по току нулевой последовательности чувствительность проверяется при двухфазном, двухфазном на землю и однофазном КЗ в конце защищаемой линии.

Чувствительность ПО по току (линейному) проверяется при минимальном токе трехфазного КЗ в конце защищаемой линии.

Во всех указанных режимах коэффициент чувствительности должен быть больше 2-х.

Проверка чувствительности РС производится также при КЗ в конце защищаемой линии. Коэффициент чувствительности, в этом случае, должен быть не менее 1,5. Также проверяется чувствительность РС по току точной работы. Коэффициент чувствительности РС по току точной работы допускается равным 1,3.

Параллельное включение РС, ПО по приращению тока прямой последовательности и ПО по току (линейному) позволяет не предпринимать дополнительных мер по увеличению чувствительности в случае, если один или два из указанных пусковых органов не обладают ею.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Расчет параметров срабатывания пусковых органов на линиях с ответвлениями

Б.1 Выбор уставок

При использовании устройства на линиях с ответвлениями должны быть предусмотрены дополнительные меры для обеспечения правильной работы защиты. При этом следует выделить два варианта конфигурации линий с ответвлениями, для которых методики выбора уставок пусковых органов различаются:

– линии с ответвлениями при наличии питания со всех концов. Полукомплекты устанавливаются на каждом конце защищаемой линии (см. рисунок Б.1);

– линии с ответвлениями при наличии концов, со стороны которых отсутствует питание. Полукомплекты устанавливаются только на питающих концах (см. рисунок Б.2).

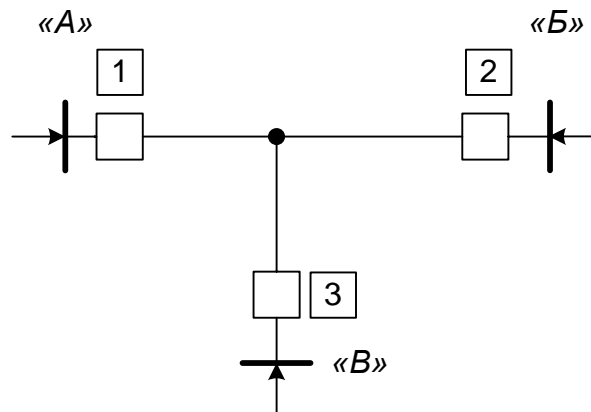


Рисунок Б.1 – Общий вид линии с ответвлением при наличии питания со всех концов

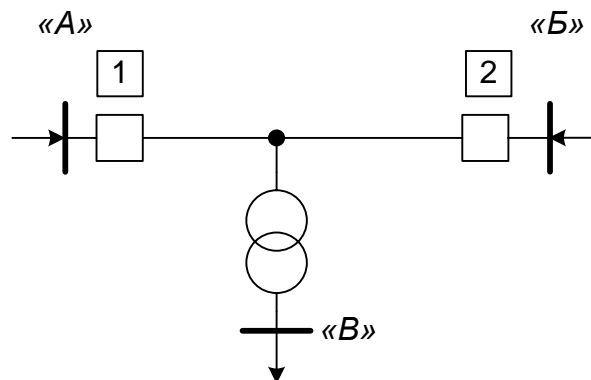


Рисунок Б.2 – Общий вид линии с ответвлением при отсутствии питания со стороны ответвления

Б.2 Уставки защиты при наличии питания со всех концов линии с ответвлениями

Параметры срабатывания чувствительных пусковых органов, действующих на пуск высокочастотного передатчика, выбираются по условиям, рассмотренным в разделе А.1 *Приложения А* и перечисленным в таблице А.1 с учетом расчетных выражений (П1), (П3), (П6).

За величину рабочего тока $I_{РАБ.МАКС.}$, используемую при расчете уставок, принимается значение максимального тока из всех максимальных токов нагрузки, определенных для разных концов линии.

Выбор параметров срабатывания грубых пусковых органов производится согласно расчетным выражениям, приведенным в таблице Б.1. Расчет уставки основного ПО по сопротивлению аналогичен приведенному в *Приложении А*. При этом для исключения неправильного действия защиты сопротивление срабатывания реле следует принимать не превышающим допустимого значения по чувствительности (расчетное выражение (П17)). Подробнее см. Приложение IV, п. 14 в [1].

Таблица Б.1 – Расчетные выражения для выбора уставок пусковых органов ДФЗ для линий с ответвлениями при наличии питания со всех сторон

Параметр срабатывания	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечания
Ток срабатывания грубого ПО по току (линейному) $I_{\text{Л}}$	Согласование по чувствительности с ПО тока, действующим на пуск ВЧ передатчика полукомплекта, на противоположном конце защищаемой линии	$I_{\text{СР.ПО_ЛИН.ГРУБ.}} \geq k_{\text{ОТС}} \cdot k_{\text{ОТВ}} \cdot I_{\text{СР.ПО_ЛИН.ЧУВСТ.}}$ (П18)	$k_{\text{ОТС}} = 1,3$
Ток срабатывания грубого ПО по току обратной последовательности	Согласование по чувствительности грубого ПО с ПО устройства, установленное на противоположном конце линии	$I_{2.\text{СР.ПО.ГРУБ.}} \geq k_{2.\text{ОТС}} \cdot k_{2.\text{ОТВ}} \cdot I_{2.\text{СР.ПО.ЧУВСТ.}}$ (П19)	
Ток срабатывания грубого ПО по току нулевой последовательности	Согласование по чувствительности грубого ПО с ПО устройства, установленное на противоположном конце линии	$3I_{0.\text{СР.ПО.ГРУБ.}} \geq k_{0.\text{ОТС}} \cdot k_{0.\text{ОТВ}} \cdot 3I_{0.\text{СР.ПО.ЧУВСТ.}}$ (П20)	

Примечания:

1 $k_{\text{ОТВ}}$, $k_{2.\text{ОТВ}}$ и $k_{0.\text{ОТВ}}$ – коэффициенты токораспределения для фазных токов, токов обратной и нулевой последовательности соответственно, определяемые как отношение тока в месте установки рассматриваемого полукомплекта к току в месте установки полукомплекта, с которым производится согласование по чувствительности при внешнем КЗ. Коэффициенты вводятся только на многоконцевых линиях без обходных связей при наличии питания с трех и более сторон; определяются в расчетных режимах, соответствующих их максимальным значениям. Методика расчета коэффициентов при ведена в приложении III [1].

2 $k_{2.\text{ОТС}}$, $k_{0.\text{ОТС}}$ – коэффициенты отстройки, согласно [3], принимаемые:

– на многоконцевых линиях при отсутствии обходных связей между ее концами – 1,7–2;

– при установке защиты на трехконцевых линиях при наличии обходных связей между концами, противоположными рассматриваемому (см. рисунок 1.1 в [3]) – 3,5 – 4;

– при установке защиты на многоконцевых линиях с обходными связями, при наличии которых возможны режимы, когда при внешнем повреждении на обходной связи токи обратной последовательности распределяются по концам линии в соответствии с рисунком 1.2 в [3] – 5–6.

Б.3 Уставки защиты, устанавливаемой на питающих концах линии с ответвлениями, при отсутствии защиты на концах без питания

При выборе уставок чувствительных и грубых пусковых органов для защиты, установленной на питающем конце линии с ответвлением, несомненно следует учесть все рекомендации раздела А.1 *Приложения А* и расчетные соотношения таблицы А.1.

Но при выборе уставок на линии с ответвлением по схеме рисунку Б.2 появляется еще одна задача – обеспечение несрабатывания защиты при КЗ на шинах НН трансформатора ответвления. Задача решается увеличением уставок грубых ПО для отстройки их от срабатывания при КЗ на указанных шинах. Увеличение уставок приводит к снижению чувствительности пусковых органов. При неудовлетворительной чувствительности пуска грубого ПО по току обратной последовательности при замыканиях на землю рекомендуется ввести в работу ПО по току нулевой последовательности (уставка «*Основные ПО – Контроль ЗИ0*»).

Согласно [1]: «*В тех случаях, когда по условиям отстройки от КЗ за трансформаторами концов линии без питания, а также в питающей системе требуется большее загроуление защиты, оно может быть выполнено с помощью дополнительно предусматриваемых пусковых органов*». Таким образом, при использовании устройства на линиях с ответвлениями при отсутствии питания (и защит) с некоторых сторон, выбор уставок для пусковых органов имеет следующий порядок:

– расчет параметров срабатывания чувствительных и грубых пусковых по расчетным выражениям, приведенным в разделе А.1 и таблицах Б.1 и Б.2.;

– проверка чувствительности основных пусковых органов. При невыполнении требований по чувствительности принимается решение об использовании дополнительных пусковых органов. Первоначально выбирается схема №2. Однако расчет следует провести для всех дополнительных ПО, ибо в устройстве предусмотрен автоматический переход от схемы № 2 к схеме №1 в случае выявления неисправностей в цепях напряжения;

Выбор параметров срабатывания дополнительных ПО производится по расчетным выражениям таблицы Б.3.

Расчетные выражения, приведенные в таблицах Б.1, Б.2 и Б.3 составлены на основании [1].

Если и при использовании дополнительных пусковых органов не удастся достигнуть требуемой чувствительности пуска защиты, следует рассмотреть возможность установки комплекта ДФЗ на ответвлении.

Таблица Б.2 – Расчетные выражения для выбора уставок пусковых органов ДФЗ для линий с ответвлениями при отсутствии питания со стороны ответвления

Параметр срабатывания	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечания
Ток срабатывания грубого ПО по току (линейному) $I_{л}$	Отстройка от тока трехфазного КЗ за трансформатором конца линии, на котором полукомплект защиты не устанавливается	$I_{СР.ПО_ЛИН.ГРУВ.} \geq \sqrt{3} \cdot k_{ОТС} \cdot I_{КЗ.МАКС}$ (П21)	$k_{ОТС}=1,3$
	Отстройка от тока, посылаемого двигателями нагрузки при трехфазном КЗ за шинами подстанции, где установлен данный полукомплект	$I_{СР.ПО_ЛИН.ГРУВ.} \geq \sqrt{3} \cdot k_{ОТС} \cdot I_{ДВ.МАКС}$ (П22)	$k_{ОТС}=1,2$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, приключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение	$I_{СР.ПО_ЛИН.ГРУВ.} \geq \sqrt{3} \cdot I_{БНТ}$ (П23)	
Ток срабатывания грубого ПО по току обратной последовательности	Отстройка от максимального тока обратной последовательности при двухфазных КЗ за трансформатором конца линии, на котором полукомплект защиты не устанавливается	$I_{2.СР.ПО.ГРУВ.} \geq k_{ОТС} \cdot I_{2.КЗ.МАКС}$ (П24)	$k_{ОТС}=1,4$
	Отстройка от максимального тока обратной последовательности при несимметричном КЗ в сети за шинами подстанции, где установлен данный полукомплект защиты	$I_{2.СР.ПО.ГРУВ.} \geq k_{ОТС} \cdot I_{2.КЗ.МАКС}$ (П25)	$k_{ОТС}=1,4$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, приключенных к защищаемой линии, при включении ее под напряжение	$I_{2.СР.ПО.ГРУВ.} \geq I_{2.БНТ}$ (П26)	
Ток срабатывания грубого ПО по току нулевой последовательности	Отстройка от тока небаланса при трехфазном КЗ за трансформатором конца линии, на котором полукомплект защиты не устанавливается	$3I_{0.СР.ДОП.ПО} \geq k_{ОТС} \cdot f_i \cdot I_{КЗ.МАКС}$ (П27)	$k_{ОТС}=1,4$

	Отстройка от максимального тока нулевой последовательности при несимметричном КЗ в сети за шинами подстанции, где установлен данный полукomплект защиты	$3I_{0,CP.ПO.ГРУБ.} \geq k_{OTC} \cdot 3I_{0,КЗ.МАКС}$ (П28)	$k_{OTC}=1,4$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, приключенных к защищаемой линии, при включении ее под напряжение	$3I_{0,CP.ПO.ГРУБ.} \geq 3I_{0,БНТ}$ (П29)	

Примечания:

1 $I_{КЗ.МАКС}$ – максимальный первичный ток в месте установки полукomплекта при трехфазном КЗ за трансформатором конца линии, на котором не установлен полукomплект защиты.

2 $I_{ДВ.МАКС}$ – максимальный первичный ток в месте установки полукomплекта при трехфазном КЗ на шинах даенной подстанции, посылаемый двигателя нагрузки концов линии, со стороны которых полукomплекты защит не установлены. Расчет указанного тока приведен в разд. Б.П, гл. 2 в [1].

3 $I_{БНТ}, I_{2,БНТ}, I_{0,БНТ}$ – первичные фазный ток, токи обратной и нулевой последовательности, возникающие при броске тока намагничивания силового трансформатора при включении линии под напряжение. Расчет указанный токов приведен в приложении VII в [1].

4 $I_{2,КЗ.МАКС}, 3I_{0,КЗ.МАКС}$ – максимальные первичные токи обратной и нулевой последовательностей в месте установки полукomплекта при КЗ в расчетной точке.

5 f_i – относительная максимально возможная погрешность трансформаторов тока при КЗ.

6 При расчете по выражениям (П21), (П22), (П24), (П25), (П26) в качестве расчетного, как правило, принимается режим, когда линия включена только с рассматриваемого питающего конца и система работает в максимальном режиме.

Согласно [1], при расчете грубого ПО по току обратной последовательности по выражениям, приведенным в таблице Б.2 следует учесть, что «...при кратности тока срабатывания ПО по току обратной последовательности,

определенного по выражениям (П24) – (П26) в режиме, когда линия включена только с рассматриваемого питающего конца, защита не удовлетворяет требованиям чувствительности, следует возможность принять в качестве расчетного режима, когда линия включена более чем с одного питающего конца; при этом расчет по выражению (П25) не производится».

7 При выборе уставки грубого ПО по приращению тока обратной последовательности следует кроме рекомендаций раздела А.1 учесть расчетные выражения (П24), (П25), (П26).

Таблица Б.3 – Расчетные выражения для выбора уставок дополнительных пусковых органов ДФЗ для линий с ответвлениями при отсутствии питания со стороны ответвления

Параметр срабатывания	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечания
Ток срабатывания дополнительного ПО по фазному току	Отстройка от максимального рабочего тока, протекающего в месте установки полукompлекта защиты	$I_{CP.ПO_ФАЗН.} \geq \frac{k_{OTC}}{k_B} \cdot I_{РАБ.МАКС} \quad (П30)$	$k_{OTC}=1,3;$ $k_B=0,92$
	Отстройка от трехфазного КЗ за трансформатором конца линии, на котором полукompлект защиты не устанавливается	$I_{CP.ПO_ФАЗН.} \geq k_{OTC} \cdot I_{КЗ.МАКС} \quad (П31)$	$k_{OTC}=1,3$
	Отстройка от тока, посылаемого двигателями нагрузки при трехфазном КЗ за шинами подстанции, где установлен данный полукompлект защиты	$I_{CP.ПO_ФАЗН.} \geq k_{OTC} \cdot I_{ДВ.МАКС} \quad (П32)$	$k_{OTC}=1,2$
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение	$I_{CP.ПO_ФАЗН.} \geq I_{CP.ПO_ФАЗН.БНТ} \quad (П33)$	
Ток срабатывания дополнительного ПО по току нулевой последовательности	Отстройка от тока небаланса при трехфазном КЗ за трансформатором конца линии, на котором полукompлект защиты не устанавливается	$3I_{0.СР.ДОП.ПO} \geq k_{OTC} \cdot f_i \cdot I_{КЗ.МАКС} \quad (П34)$	$k_{OTC}=1,3$
	Отстройка от тока нулевой последовательности при замыкании на землю в сети за шинами данной подстанции (в случае заземления нейтралей трансформаторов на концах линии без питания) (используется только для схемы №1)	$3I_{0.СР.ДОП.ПO} \geq k_{OTC} \cdot 3I_{0.КЗ.МАКС} \quad (П35)$	
	Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение	$3I_{0.СР.ДОП.ПO} \geq 3I_{0.СР.ПO.БНТ} \quad (П36)$	
	Отстройка от токов, проходящих в нулевой проводе трансформаторов при включении линии		

	<p>под напряжение; от апериодических трансформированных бросков намагничивающего тока при включении одной фазы, а также от периодических бросков намагничивающего тока при включении двух фаз и задержки включения третьей фазы</p>	$3I_{0,CP.ДОП.ПО} \geq 0,9 \cdot \sum I_{НОМ.ТР} \quad (П37)$	
--	---	---	--

Примечания:

1 $I_{CP.ПО_ФАЗН.БНТ}$, $3I_{0,CP.ПО.БНТ}$ – первичные токи срабатывания пусковых органов по фазному току и по току нулевой последовательности, выбранный по условию отстройки от броска тока намагничивания. Расчет производится на основе указаний, приведенных в приложении VII [1].

2 $\sum I_{НОМ.ТР}$ – сумма номинальных токов трансформаторов и автотрансформаторов, подключенных к защищаемой линии в режиме, когда эта сумма максимальная.

3 При расчете по выражениям (П31), (П32), (П34) и (П35) в качестве расчетного принимается режим, когда линия отключена со всех питающих концов, кроме рассматриваемого, а при расчете по выражению (П35) кроме того, когда число трансформаторов с заземленной нейтралью максимально.

4 Расчетные выражения (П33) и (П36) можно не учитывать, если в соответствующих ПО предусмотреть блокировку при БНТ задав уставки в группе «Дополнительные ПО»: «БНТ при I_{ϕ} – Вкл» и «БНТ при $3I_0$ – Вкл».

Выбранная по расчетным выражениям (П34), (П35), (П36) уставка по току нулевой последовательности выставляется на терминале в двух позициях:

– «Дополнительные ПО -3I0 отп /Iном»;

– «ОНМ-3I0ОНМ НП-р/Iном».

Уставка $3U0$ ОНМ НП-р выставляется большей напряжения небаланса, существующего в цепях $3U0$. В [3] рекомендуется иметь рассматриваемую уставку не меньшей 2 В.

Б.4 Выбор уставок для основного и дополнительного реле сопротивления

При наличии на линии ответвлений реле сопротивления основного и дополнительного органа должны выполняться направленными. Для этого необходимо задать уставку «Основные ПО-ОНМ при РС_осн – Вкл».

Выбор уставок для обоих реле сопротивления при наличии на линии ответвления без питания происходит по расчетным выражениям (П12), (П13), (П14) и (П15), но дополнительно следует учесть два расчетных условия:

- 1) Отстройка от КЗ за трансформатором конца линии, на котором полукомплект защиты не устанавливается;
- 2) Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов приключенных к защищаемой линии.

При рассмотрении первого расчетного условия следует учитывать все ответвления, со стороны которых отсутствует питание, и рассчитывать уставку при КЗ за трансформатором каждого из ответвлений.

Расчетное выражение для первого расчетного условия выглядит следующим образом:

$$X \leq \frac{1}{k_{отс}} \cdot (X_{л1} + \frac{X_{л3} + X_{тр}}{k_T}), \quad (П38)$$

где $X_{л1}$, $X_{л3}$ – сопротивления линий основной и отпайки (см. рисунок Б.3);

$X_{тр}$ – сопротивление трансформатора ответвления (см. рисунок Б.3);

k_T – коэффициент токораспределения, который рассчитывается по указаниям приложения III [1];

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, который принимается равным 1,15.

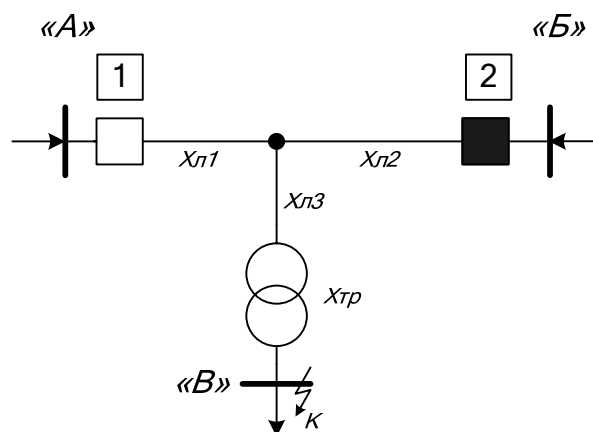


Рисунок Б.3 – Расчетный режим для расчета уставки по сопротивлению РС на линии с ответвлением при отсутствии питания со стороны ответвления

За расчетный режим, при котором выбирается уставка основного РС по первому расчетному условию, согласно [1]: «...принимается режим когда линия включена только с рассматриваемого питающего конца (при этом в выражении (П38) $k_T = 1$). Если при выборе уставки для основного РС по указанному режиму не удовлетворяются требования чувствительности, то следует рассмотреть возможность принять в качестве расчетного режим, когда линия включена с обоих питающих концов».

Анализируя [1], можно прийти к выводу, что процитированное указание по выбору расчетного режима относится только к основному РС, но не относится к дополнительному РС, к которому не предъявляется требование чувствительности (расчетное выражение (П17)).

При наличии N ответвлений без питания на защищаемой линии производится N расчетов по выражению (П38), на основе которых принимается минимальное значение. При этом уставка по активному сопротивлению рассчитывается по выражению (П39):

$$R \leq R - \frac{X}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (\text{П39})$$

Расчетное выражение для второго расчетного условия записывается следующим образом:

$$X \leq X_{\text{РС.БНТ}}, \quad (\text{П40})$$

где $X_{\text{РС.БНТ}}$ – первичное сопротивление срабатывания РС, выбранное по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов. Расчетное сопротивление выбирается по указаниям приложения VII [1].

Из представленных расчетных выражений выбирается минимальное сопротивление.

Б.5 Проверка чувствительности защиты

Проверка осуществляется в полном соответствии с рекомендациями, приведенными в разд. Б.VI, гл. 2 [1].

Если проверка показала, что основное РС или грубый пусковой орган по линейному току имеют достаточную чувствительность к трехфазным КЗ в конце линии, ПО по Д11 лучше вообще не вводить в действие, задав уставку «*Основные ПО – Контроль Д11 – Откл*».

Литература:

- 1 Руководящие указания по релейной защите. Вып.9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110-330 кВ.–М.: «Энергия», 1972.
- 2 Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем.–М.: «Энергия», 1976.
- 3 Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110-750 кВ. Отчет инст. «Энергосетьпроект» №11735 тм. Москва, 1985. / Том 1. Рекомендации по расчету защит ВЛ 110-220 кВ.
- 4 Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110-750 кВ. Отчет инст. «Энергосетьпроект» №11735 тм. Москва, 1985. / Том 2. Рекомендации по расчету защит ВЛ 500-750 кВ.
- 5 Микропроцессорное устройство защиты линий 110-220 кВ «Сириус-3-ДФЗ». Техническое описание и руководство по эксплуатации.– М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2008.
- 6 Руководящие указания по релейной защите. Вып.12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ.–М.: «Энергия», 1980.