



03.03.2010

Рекомендации по выбору уставок защит устройства «Сириус-3-ВЧ-01»

1 Состав защит терминала

Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-3-ВЧ-01» предназначено для защиты воздушных и кабельных линий 110-220 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью. Содержит основную защиту абсолютной селективности. Тип защиты абсолютной селективности – направленная высокочастотная защита (НВЧЗ).

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 Направленная высокочастотная защита

– имеются две основные группы пусковых органов (ПО): блокирующие и отключающие. Блокирующие ПО действуют на пуск высокочастотного (ВЧ) передатчика; отключающие пусковые органы формируют сигнал отключения. К числу отключающих пусковых органов также отнесены дополнительные ПО, вводимые в работу только на линиях с ответвлениями. Снятие пуска ВЧ передатчика происходит при срабатывании направленных измерительных органов: разрешающего органа направления мощности обратной последовательности или отключающего реле сопротивления с направленной характеристикой срабатывания;

– предусмотрен пуск отключающего реле сопротивления от блокировки при качаниях (БК);

– имеется блокировка при неисправностях в цепях переменного напряжения;

– имеется два пусковых органа по току нулевой последовательности, вводимые в работу на линиях с ответвлениями, и отличающиеся наличием блокировки по второй гармонике. Соответственно более чувствительный предусматривает блокировку при БНТ, но большее время срабатывания, второй, более грубый, отстроен от БНТ по уставке и имеет меньшее время срабатывания по сравнению с чувствительным ПО;

– предусмотрена функция ускорения при включении выключателя, вводимая только на время включения, когда основная защита выведена из работы. Защита выводится на время включения выключателя из-за возможного ложного отключения защиты вызванного одновременным включением всех фаз выключателя с одной из сторон, сопровождающийся появлением тока и напряжения обратной последовательности, и срабатыванием разрешающего органа направления мощности обратной последовательности;

– предусмотрен пуск высокочастотного телеотключения (ВЧТО) при срабатывании УРОВ и резервных защит, установленных на присоединении.

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 [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 Направленная высокочастотная защита

2.1 Общая структура НВЧЗ представлена в [4]. На ее основании должны быть выбраны уставки для всех пусковых органов в полном соответствии с [2].

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, пусковой органы по приращению тока обратной последовательности, ПО по напряжению обратной последовательности, блокирующее РС.

К грубым пусковым органам, контролирующим сигнал отключения, относятся следующие: ПО по току обратной последовательности, ПО по приращению тока обратной последовательности, ПО по напряжению обратной последовательности, отключающее РС, ПО по току обратной последовательности с торможением от тока прямой последовательности.

Выбор уставок для всех перечисленных пусковых органов, за исключением пусковых органов по приращению тока, производится по стандартным методикам

[2]. 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 пусковых органов по приращению тока приводится в п. 2.2.3 данных рекомендаций.

Набор дополнительных пусковых органов состоит из следующих ПО: чувствительный и грубый ПО по току нулевой последовательности, дополнительное реле сопротивления. Характеристика дополнительного реле сопротивления полностью совпадает с характеристикой отключающего РС. Отличие состоит в том, что отключающее РС имеет направленность. Уставки по сопротивлению для дополнительного РС задаются в группе «*Дополнительные ПО*». Выбор уставок дополнительных пусковых органов производится по методикам [2]. 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 – Дополн.схема*» в положение «*Откл.*».

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 I₂*» следует перевести в положение «*Вкл.*», а уставку «*Основные ПО – Контроль ΔI₂*» – в положение «*Откл.*». На линиях с повышенной несимметрией (питание ж.д. тяги) пуск рекомендуется производить от ПО по приращению тока обратной последовательности (противоположное положение двух вышеуказанных уставок).

При симметричных замыканиях «за спиной» пуск должен производиться от блокирующего реле сопротивления.

Снятие сигнала пуска ВЧ передатчика обеспечивается срабатыванием направленных измерительных органов.

Направленность отключающего РС обеспечивается совместным использованием реле сопротивления и ОНМ. При этом ввод отключающего реле сопротивления осуществляется от сигнала БК на время задаваемое уставой (подробнее см. п. 2.2.4).

В том случае, если имеется нехватка чувствительности ПО по напряжению обратной последовательности, что характерно при наличии мощной системы с одной из сторон, необходимо ввести в работу ПО по току обратной

последовательности с торможением от тока прямой последовательности задав уставку «*Основные ПО – Контроль I2T – Вкл*».

В таблице А.1 *Приложения А* дана краткая сводка расчетных выражений для выбора параметров срабатывания указанных пусковых органов. Сводка составлена на основании [2]. Расчет производится в первичных токах и напряжениях.

2.2.3 Выбор уставок пусковых органов по приращению

Пусковой орган по приращению тока 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).

Указанный ПО имеет две ступени по чувствительности: блокирующий и отключающий пусковые органы, действующие, соответственно, на пуск ВЧ передатчика и в цепь отключения.

Уставки блокирующего ПО по приращению тока обратной последовательности могут регулироваться в пределах $(0,04-2,00) \cdot I_{ном}$. Уставки отключающего ПО лежат в пределах $(0,05-4,00) \cdot I_{ном}$ и должна быть в 1.5-2 раза больше уставки чувствительного органа.

Рекомендуется для расчета уставок блокирующего и отключающего пусковых органов по приращению тока обратной последовательности использовать следующие расчетные выражения:

$$\Delta I_{2\text{БЛОК}} = K_{отс} I_{2\text{БЛОК}}, \quad (1)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 0,7;

$$\Delta I_{2\text{откл}} = K_{отс} \Delta I_{2\text{БЛОК}}, \quad (2)$$

где $K_{отс}$ – принимается равным 2.

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

В соответствии с [2] расчет уставок для рассматриваемых ПО практически сводится к проверке чувствительности ПО при выбранной уставке (рекомендуемый [2] минимум уставки блокирующего ПО равен $0,08 \cdot I_{ном}$).

Проверка чувствительности проводится по выражению

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

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

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

K_T – коэффициент трансформации ТТ.

Минимально допустимый коэффициент чувствительности в соответствии с [2] 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.

2.2.4 Блокировка при качаниях

Блокировка при качаниях терминала «*Сириус-3-ВЧ-01*» выполнена на тех же принципах, что и у известной отечественной защиты ПДЭ-2801. При выборе уставок блокировки следует полностью пользоваться рекомендациями [2].

Блокировка при качаниях содержит следующие пусковые органы: ПО по приращению тока прямой и обратной последовательностей и ПО по току обратной последовательности с торможением. Пусковой орган по приращению тока обратной последовательности является единым для блока пуска ВЧ передатчика (блокирующий ПО по приращению тока обратной последовательности) и блокировки при качаниях. Выбор уставки блокирующего ПО по приращению тока обратной последовательности приведен в п. 2.2.3. Упрощенная функционально-логическая схема блокировки при качаниях показана в [4].

Контроль приращения тока прямой последовательности позволяет повысить чувствительность при симметричных КЗ, что является первостепенным.

Уставка пускового органа по приращению тока прямой последовательности лежит в пределах $(0,05-3,00) \cdot I_{ном}$.

Рекомендуется для расчета уставки пускового органа по приращению тока прямой последовательности использовать следующее расчетное выражение:

$$\Delta I I_{ПУСК} = K_{ОТС} \Delta I I_{БЛОК}, \quad (4)$$

где $K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 4;

В соответствии с [2] расчет устройства блокировки при качаниях практически сводится к проверке чувствительности ПО при выбранной уставке

Проверка чувствительности проводится по выражению

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{1 \text{ ЗАЩ. МИН}}}{I_{1 \text{ УСТ. ПУСК}} \cdot K_T}, \quad (5)$$

где $I_{1 \text{ ЗАЩ. МИН}}$ – минимальный ток прямой последовательности защиты при КЗ в расчетной точке, определяемый для расчетного режима;

$I_{1 \text{ УСТ. ПУСК}}$ – принятая уставка ПО;

K_T – коэффициент трансформации ТТ.

Минимально допустимый коэффициент чувствительности в соответствии с [2] равен 1,5 при КЗ на защищаемой и 1,2 при КЗ на смежной линии.

В состав пусковых органов блокировки при качаниях входит пусковой орган по току обратной последовательности с торможением от тока прямой последовательности. При выборе уставки рассматриваемого ПО следует руководствоваться условием отстройки от небаланса в максимальном нагрузочном режиме и обеспечения несрабатывания в режиме качаний. Поэтому уставка по току обратной последовательности выбирается равной уставке блокирующего ПО по току обратной последовательности. Коэффициент торможения принимается одинаковым для рассматриваемого ПО и отключающего ПО по току обратной последовательности с торможением. Расчет коэффициента торможения производится по выражению (П9) приложения А.

Длительность сигнала на выходе БК задается уставкой «БК – Тввода.рс, с». Рекомендуемое значение $0,2-0,4$ с.

Время вывода отключающего РС определяется временами отключения КЗ первый раз и после АПВ, а также из времени действия самого АПВ. Рекомендуемое значение $5-8$ с.

2.2.5 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 [4];

— 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 « $U_{2\text{ КОНТР}}$ ». Рекомендуемое значение – $10-15$ В.

2.2.6 Выбор уставки измерительного органа по току второй гармоники.

Устройство предусматривает два пусковых органа по току нулевой последовательности в дополнительной схеме, используемой на линиях с ответвлениями. Более чувствительный ПО используется совместно с блокировкой по току второй гармоники, что обеспечивает его несрабатывание при БНТ трансформаторов.

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.

Имеется возможность регулировать уставку по содержанию второй гармоники в токе $3I_0$ для чувствительного ПО по току нулевой последовательности. Она задается как значение отношения действующего значения второй гармоники к действующему значению первой гармоники тока нулевой последовательности (« I_{22}/I_{21} »). Уставка находится в группе «Дополн. ПО». Диапазон регулирования — от 0,10 до 0,40. Рекомендованное 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Расчетные выражения для выбора параметров срабатывания блокирующих и отключающих пусковых органов направленной высокочастотной 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 блокирующие и отключающие пусковые органы.

В таблице А.1 дана краткая сводка расчетных выражений для выбора параметров срабатывания указанных пусковых органов. Сводка составлена на основании [2]. Расчет производится в первичных токах и напряжениях.

А.2 Расчет коэффициентов небаланса

Расчет коэффициента небаланса производится с целью нахождения значения тока небаланса обратной последовательности. Расчет коэффициента на основании [2] 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 для тока обратной последовательности может быть принят равным 0,029.

По аналогичной формуле находится коэффициент небаланса для расчета напряжения небаланса обратной последовательности. Рекомендуется принимать значение коэффициента небаланса по напряжению обратной последовательности равным 0,03.

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

Параметр срабатывания	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечания
Ток срабатывания блокирующего ПО по току обратной последовательности	Отстройка ПО от тока небаланса в максимальном нагрузочном режиме	$I_{2,CP.ПО.БЛОК} \geq \frac{k_{OTC}}{k_B} \cdot (I_{2,НБ.МАКС} + I_{2,Н.Р.}) \quad (П2)$	$k_{OTC} = 1,3$ $k_B = 0,92$
Ток срабатывания отключающего ПО по току обратной последовательности	Согласование по чувствительности грубого ПО с ПО устройства, установленного на противоположном конце линии	$I_{2,CP.ПО.ОТКЛ.} \geq k_C \cdot I_{2,CP.ПО.БЛОК.} \quad (П3)$	$k_C = 2$
Напряжение срабатывания блокирующего ПО по напряжению обратной последовательности	Отстройка от напряжения небаланса и напряжения обратной последовательности несимметричного режима	$U_{2,CP.ПО.БЛОК} \geq \frac{k_{OTC}}{k_B} \cdot (U_{2,НБ.МАКС} + U_{2,Н.Р.}) \quad (П4)$	$k_{OTC} = 1,5$ $k_B = 0,94$
Напряжение срабатывания отключающего ПО по напряжению обратной последовательности	Согласование по чувствительности с блокирующим реле напряжения обратной последовательности полукомплекта, установленного на противоположном конце защищаемой линии	$U_{2,CP.ПО.ОТКЛ.} \geq k_C \cdot U_{2,CP.ПО.БЛОК.} \quad (П5)$	$k_C = 1,7$
Ток срабатывания отключающего ПО по току обратной последовательности с торможением	Согласование по чувствительности с блокирующим реле тока обратной последовательности полукомплектов, установленных на рассматриваемом и противоположных концах защищаемой линии	$I_{2,CP.ПО.ОТКЛ.}^T \geq I_{2,CP.ПО.БЛОК} \quad (П6)$	

	Согласование с первичным напряжением срабатывания блокирующего реле напряжения, установленного на рассматриваемом и противоположных концах защищаемой линии	$I_{2.СР.ПО.ОТКЛ}^T \geq k_{ОТС} \cdot \frac{U_{2.СР.ПО.БЛОК}}{\frac{Z_{1С} + Z_{Л}}{k_{ТОК}}} \quad (П7)$ <p>при наличии обходной связи:</p> $I_{2.СР.ПО.ОТКЛ}^T \geq k_{ОТС} \cdot k_{P} \cdot \frac{U_{2.СР.ПО.БЛОК}}{Z_{Л}} \quad (П8)$	$k_{ОТС} = 2,0$ $k_{P} = 2,0$
Коэффициент торможения ПО по току обратной последовательности с торможением	Отсройка отключающего реле тока обратной последовательности с торможением от тока небаланса при качаниях	$K_{ТОРМ} = \frac{k_{ОТС} \cdot k_{НЕСИМ} \cdot I_{КАЧ.МАКС} - I_{2.СР.ПО.ПУСК}^T}{I_{КАЧ.МАКС} - I_{НОМ}} \cdot 100\% \quad (П9)$	$k_{ОТС} = 1,5$ $k_{НЕСИМ} = 0,02$

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:

$$I_{2.НБ.МАКС} = k_{2.НБ} \cdot I_{РАБ.МАКС}, \quad (П10)$$

где $k_{2.НБ}$ – коэффициент, определяющий значение тока небаланса по обратной последовательности.

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 $U_{2.HБ.МАКС}$ – значение напряжения небаланса обратной последовательности, обусловленное погрешностями трансформаторов напряжения, фильтра напряжения обратной последовательности, несимметрией напряжения. Указанное напряжение небаланса рассчитывается по следующему выражению:

$$U_{2.HБ.МАКС} = k_{2.HБ} \cdot \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}}, \quad (П11)$$

где $k_{2.HБ}$ – коэффициент, определяющий значение напряжения небаланса по обратной последовательности.

5 $U_{2.H.P}$ – напряжение обратной последовательности, обусловленное наличием источников несимметрии в сети; при отсутствии источников несимметрии в сети принимается равным 0.

6 $Z_{Л}, Z_{1С}$ – сопротивления линии и системы «за спиной».

7 $k_{ТОК}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки рассматриваемого полуккомплекта к току обратной последовательности в сопротивлении $Z_{1С}$ при коротком замыкании в расчетной точке – на противоположном конце линии. Принимается для режима, соответствующего его максимальному значению.

8 $I_{КАЧ.МАКС}$ – максимальный ток качаний, протекающий в месте установки защиты.

9 $I_{НОМ}$ – номинальный вторичный ток трансформатора тока.

А.3 Уставки отключающего и блокирующего реле сопротивления на линии без ответвлений

А.3.1 Расчет необходимых значений для выбора уставок

Характеристика срабатывания отключающего РС ограничена четырьмя линиями, три из которых параллельны осям координат, а четвертая, ограничивающая характеристику сверху, наклонена к горизонтали под углом 8° . 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 отключающего реле сопротивления приведен на рисунке А.1.

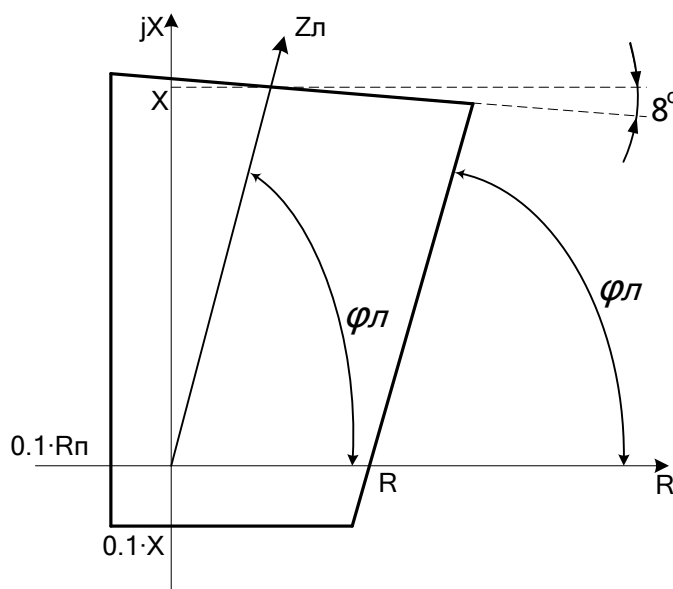


Рисунок А.1 – Характеристика срабатывания отключающего РС терминала «Сириус-3-ВЧ»

Расчетным условием при выборе уставок для отключающего 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. При этом отключающее РС контролируется специальным органом направления мощности, обеспечивающим направленность отключающего РС и исключающим срабатывание РС при близких КЗ «за спиной».

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 органов, выявляющим отсутствие ВЧ сигнала в канале связи, а также ПО БК.

Согласно [2] сопротивление на зажимах ИО в нагрузочном режиме определяется по выражению:

$$Z_{НАГР.} = \frac{U_{МИН}}{\sqrt{3} \cdot I_{РАБ.МАКС.}}. \quad (П12)$$

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

$$tg \varphi_{НАГР.} = Q_{НАГР.} / P_{НАГР.}. \quad (П13)$$

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.3.2 Выбор параметров характеристики отключающего 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 (П12) и (П13). 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 [3], уставка по реактивному сопротивлению основного РС рассчитывается по выражению:

$$X \leq \frac{Z_{НАГР.} \cdot \sin \varphi_{НАГР.}}{K_{ОТС} \cdot K_B}. \quad (П14)$$

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

$$X \leq 0,758 \cdot X_{\text{НАГР.МИН}}, \quad (\text{П15})$$

где $X_{\text{нагр.мин}}$ - сопротивление на зажимах защиты в режиме выдачи максимальной реактивной мощности.

Уставка по активному сопротивлению основного РС рассчитывается по следующему выражению:

$$R \leq R_{\text{НАГР}} - \frac{X_{\text{НАГР}}}{\text{tg}\varphi_{\text{Л}}}, \quad (\text{П16})$$

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

$$R_{\text{НАГР}} = Z_{\text{НАГР}} \cdot \cos \varphi_{\text{НАГР}}; \quad (\text{П17})$$

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

$$\text{tg}\varphi_{\text{Л}} = X_{\text{ЛУД}}/R_{\text{ЛУД}}. \quad (\text{П18})$$

При расчете по выражениям (П16)-(П18) рассматривается режим с выдачей максимальной активной мощности.

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

$$X \geq 1,5 X_{\text{линии}}, \quad (\text{П19})$$

где $X_{\text{линии}}$ - реактивное сопротивление линии.

А.4 Выбор параметров характеристики блокирующего РС

Блокирующее РС используется для пуска ВЧ передатчика и имеет характеристику срабатывания, представленную на рисунке А.2.

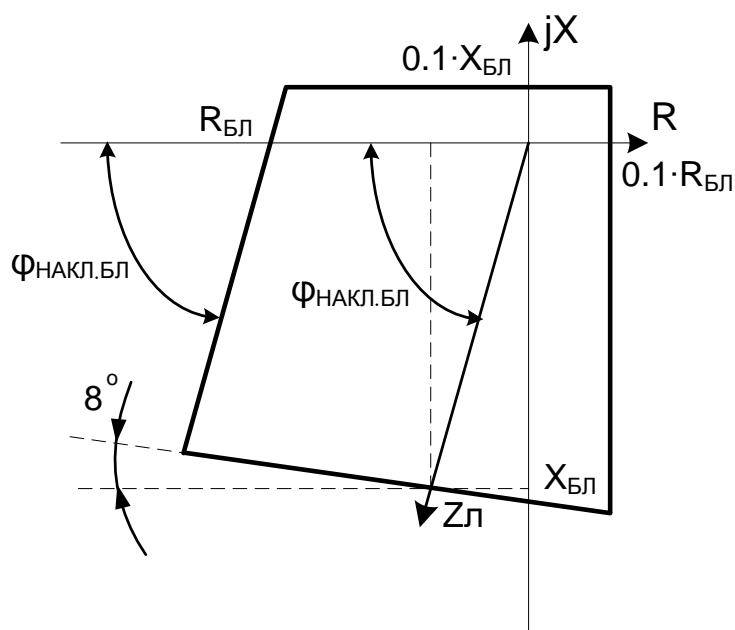


Рисунок А.2 – Характеристика срабатывания блокирующее РС терминала «Сириус-3-ВЧ»

Из рисунка видно, что характеристика блокирующего РС направленная в сторону смежной линии с охватом начала координат. Поэтому блокирующее РС срабатывает при КЗ «за спиной» и в начале защищаемой линии.

При выборе уставок блокирующего РС следует учесть согласование с уставкой отключающего РС противоположного конца защищаемой линии. В связи с этим расчетное выражение для расчета уставки блокирующего РС по реактивному сопротивлению записывается следующим образом:

$$X_{уст.блок} \geq k_{отс} \cdot (X_{уст.откл} - X_{л}), \quad (П20)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимающийся равным 2;

$X_{уст.откл}$ – уставка по реактивному сопротивлению отключающего РС;

$X_{л}$ – реактивное сопротивление линии.

Уставка по активному сопротивлению блокирующего РС рассчитывается по выражению (П20):

$$R_{уст.блок} \geq 1,05 \cdot R_{уст.откл}, \quad (П20)$$

где $R_{уст.откл}$ – уставка по активному сопротивлению отключающего РС.

А.3 Проверка по чувствительности

Согласно [2], 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 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 отключающего 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 отключающего РС по току точной работы допускается равным 1,3.

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 выборе уставок блокирующих и отключающих 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 появляется еще одна задача – обеспечение несрабатывания защиты при КЗ на шинах НН трансформатора ответвления. Задача решается увеличением уставок отключающих ПО для отстройки их от срабатывания при КЗ на указанных шинах. Увеличение уставок приводит к снижению чувствительности пусковых органов.

С целью обеспечения большей чувствительности защиты при КЗ на защищаемой линии с ответвлениями рекомендуется использовать дополнительный набор пусковых органов. При этом уставки отключающих ПО следует выбирать согласно расчетным выражениям приложения А, поскольку сигнал срабатывания отключающих ПО контролируется сигналом срабатывания дополнительных ПО.

Выбор параметров срабатывания чувствительного ПО производится по расчетному выражению таблицы Б.1, которые составлены на основании [2]. Порог срабатывания для грубого ПО по току нулевой последовательности выбирается исходя из отстройки от броска тока намагничивания и принимается равным $N \cdot I_{НОМ}$. Выбор уставок отключающего и дополнительного РС приведен в п. Б.2.

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

Таблица Б.1 – Расчетные выражения для выбора уставок дополнительных пусковых органов НВЧЗ для линий с ответвлениями при отсутствии питания со стороны ответвления

Параметр срабатывания	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечания
Ток срабатывания чувствительного ПО по току нулевой последовательности	Отстройка от токов, проходящих в нулевой проводе трансформаторов при включении линии 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	$3I_{0,CP.ЧУВСТВ.ПО} \geq 0,9 \cdot \sum I_{НОМ.ТР} \quad (П21)$	

Примечания:

1 $\sum I_{НОМ.ТР}$ – сумма номинальных токов трансформаторов и автотрансформаторов, подключенных к защищаемой линии в режиме, когда эта сумма максимальная.

Б.2 Выбор уставок для отключающего и дополнительного реле сопротивления

Выбор уставок для обоих реле сопротивления при наличии на линии ответвления без питания происходит по расчетным выражениям (П14), (П15), (П16) и (П19), 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:

$$X \leq \frac{1}{k_{отс}} \cdot (X_{л1} + \frac{X_{л3} + X_{тр}}{k_T}), \quad (П22)$$

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.

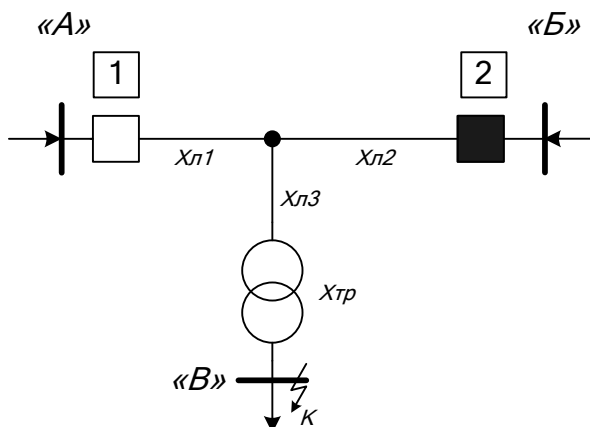


Рисунок Б.1 – Расчетный режим для расчета уставки по сопротивлению РС на линии с ответвлением при отсутствии питания со стороны ответвления

За расчетный режим, при котором выбирается уставка отключающего РС по первому расчетному условию, согласно [5] «...принимается режим когда линия включена только с рассматриваемого питающего конца (при этом в выражении (П38) $k_T = 1$). Если при выборе уставки для отключающего РС по указанному режиму не удовлетворяются требования чувствительности, то следует

рассмотреть возможность принять в качестве расчетного режим, когда линия включена с обоих питающих концов».

При наличии N ответвлений без питания на защищаемой линии производится N расчетов по выражению (П22), на основе которых принимается минимальное значение. При этом уставка по активному сопротивлению рассчитывается по выражению (П23):

$$R \leq R - \frac{X}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (\text{П23})$$

Расчетное выражение для второго расчетного условия записывается следующим образом:

$$X \leq C_b \cdot (X_C + X_{\text{ТР.ЭКВ.}}^{(1)}) - X_C, \quad (\text{П24})$$

где C_b – коэффициент принимается равным для ВЛ $U_{\text{НОМ}}=110$ кВ $C_b=1,75$; для $U_{\text{НОМ}}=220$ кВ $C_b=1,55$ [5].

$X_{\text{ТР.ЭКВ.}}^{(1)}$ – эквивалентное сопротивление трансформатора при однофазном включении, рассчитывается в соответствии с [5];

X_C – сопротивление системы прямой последовательности, рассчитывается по выражению (П25):

$$X_C = \frac{U_{\text{НОМ}} - (X_{1.УД} \cdot L) \cdot I^{(3)}}{I^{(3)}}, \quad (\text{П25})$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение ВЛ;

$X_{1.УД}$ – удельное реактивное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

L – длина защищаемой линии.

Из представленных расчетных выражений выбирается минимальное сопротивление.

Б.5 Проверка чувствительности защиты

Проверка чувствительности дополнительных ПО производится при КЗ на шинах ПС ответвления и в конце защищаемой линии.

Литература:

- 1 Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем.—М.: «Энергия», 1976.
- 2 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.
- 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 2. Рекомендации по расчету защит ВЛ 500-750 кВ.
- 4 Микропроцессорное устройство направленной высокочастотной защиты линий 110-220 кВ «Сириус-3-ВЧ-01». Техническое описание и руководство по эксплуатации.— М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2010.
- 5 Руководящие указания по релейной защите. Вып.9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110-330 кВ.—М.: «Энергия», 1972.