



*Рекомендации  
по выбору уставок защит устройства  
«Сириус-3-ЛВ-03»*

### **1 Состав защит терминала**

Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-3-ЛВ-03» предназначено для защиты воздушных и кабельных линий 110-220 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью, а также управления, автоматике и сигнализации высоковольтного выключателя с трехфазным управлением (АУВ, АПВ и УРОВ). Содержит набор ступенчатых защит относительной селективности [9].

Устройство включает в себя следующие защиты:

**1.1 Четырехступенчатая дистанционная защита (ДЗ) с независимой выдержкой времени от междуфазных коротких замыканий:**

- 1-я ступень ДЗ дополнительно контролирует КЗ на землю;
- 4-я ступень ДЗ имеет возможность действия как в прямом, так и в обратном направлении;
- ДЗ имеет независимый орган направления мощности, что обеспечивает возможность перевода быстродействующих ступеней в ненаправленный режим;
- имеется блокировка при неисправностях в цепях переменного напряжения;
- имеется блокировка при качаниях, выполненная по стандартному принципу, аналогичному реализованному в ШДЭ-2801;
- предусмотрено ускорение при включении выключателя (с возможностью вывода направленности);
- предусмотрено оперативное ускорение (по дискретному сигналу);
- возможна выдача сигнала запрета АПВ при срабатывании ступеней защиты.

**1.2 Четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности с независимой выдержкой времени от коротких замыканий на землю:**

- имеет орган направления мощности нулевой последовательности (двухстороннего действия);
- предусмотрена возможность задания для каждой ступени направления действия, либо выполнение ее без направленности;
- предусмотрена возможность ввода блокировки от бросков тока намагничивания (БНТ) по содержанию второй гармоники в токе нулевой последовательности (для быстродействующих или ускоряемых ступеней);
- предусмотрена возможность перевода направленных ступеней в ненаправленный режим или вывод ступеней из действия при выявлении неисправностей в цепях ТН;

- ускорение при включении выключателя;
- оперативное ускорение (по дискретному сигналу);
- возможно поперечное ускорение одной из ступеней от защиты параллельной линий;
- возможна выдача сигнала запрета АПВ при срабатывании ступеней защиты.

**1.3 Трехфазная ненаправленная токовая отсечка** с возможностью задания режима работы:

- постоянное действие;
- ускоряющая отсечка (вводится в работу только на заданное время после включения выключателя).

**1.4 Двухступенчатая ненаправленная трехфазная максимальная токовая защита** с независимой выдержкой времени с возможностью действия в аварийном режиме (при выявлении неисправностей в цепях ТН).

**1.5 Защита от обрыва фаз и несимметрии** с действием на отключение или сигнализацию.

**1.6 Защита от повышения напряжения** с действием на отключение или отдельное реле.

**1.7 Защита от появления в первичной сети напряжения нулевой последовательности** с действием на отключение или отдельное реле.

**1.8 Трехступенчатый трехфазный контроль перегрузки линии по току** с действием первой ступени на сигнализацию, второй и третьей на отключение выключателя или на отдельное реле.

**1.9 Автоматика управления выключателем (АУВ)** с трехфазным или пофазным приводом, с контролем двух электромагнитов отключения

- операции включения и отключения выключателя по внешним командам;
- защита от многократного включения выключателя;
- возможность выполнения командного включения с контролем синхронизма;
- контроль состояния выключателя по ряду входных дискретных сигналов;
- контроль целостности цепей электромагнитов управления;
- защита электромагнитов управления от длительного протекания тока с действием на отдельные выходные реле;
- защита от непереключения фаз (ЗНФ) с действием на отключение и защита от неполнофазного режима (ЗНФР) с действием на пуск УРОВ;
- двухступенчатая защита от снижения давления элегаза (воздуха) в баке выключателя с действием на сигнал и на ускоренное срабатывание схемы УРОВ при попытке отключения от одной из защит.

**1.10 Трехфазное автоматическое повторное включение выключателя (АПВ)**

- одно- или двукратное АПВ от цепей несоответствия;

— возможность выполнения АПВ с контролем наличия или отсутствия напряжения на линии и шинах, с контролем синхронизма (ожидания или улавливания синхронизма).

### **1.8 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, 3]. Ниже рассматриваются лишь особенности, вносимые конкретным выполнением защит в данном терминале (форма характеристик, нестандартные ступени, дополнительные возможности и т.д.).

Весьма важной особенностью терминала является возможность иметь в памяти 8 наборов уставок. Выбор функционирующего набора производится с помощью дискретных входов.

## **2 Токовая направленная защита нулевой последовательности (ТЗНП)**

2.1 Уставки ступеней ТЗНП, входящих в данный терминал, должны выбираться в полном соответствии с [3].

Основными особенностями терминала являются:

— возможность применения ИО каждой ступени с блокировкой по току второй гармоники (для блокировки ступени от БНТ);

— возможность применения для третьей и четвертой ступеней как разрешающего (ОНМ-р), так и блокирующего (ОНМ-б) органа направления мощности нулевой последовательности (ОНМ НП);

— возможность применения поперечного ускорения третьей ступени ТЗНП.

Все особенности выбора уставок связаны с перечисленными дополнительными возможностями.

### **2.2 Применение ИО ТЗНП с блокировкой по току второй гармоники.**

Блокировка по току второй гармоники должна использоваться в случаях, когда без этой блокировки ступень защиты может сработать от БНТ трансформаторов, подключенных к линии. Приведем выводы из [3], относящиеся к данному вопросу.

Согласно [3, раздел Г, п.1, раздел Б, п.1, раздел Б, п.5 и раздел Д, п.2], необходимость учета при выборе тока срабатывания отдельных ступеней ТЗНП БНТ возникает лишь для линий, на которых эти броски возможны и лишь для ступеней, не отстроенных от броска по времени.

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 питани-

ем, если в защищаемой сети возможно включение заземленных трансформаторов под напряжение через защищаемую линию.

Расчет тока броска может производиться по методике, приведенной в приложении V к [3]. Согласно этому приложению бросок тока в нулевом проводе существует в период неполнофазного включения линии и быстро затухает после включения третьей фазы. Поэтому [3] рекомендует «... *учитывать броски для линий, оборудованных выключателями с пофазным приводом и не учитывать, если первая или ускоряемая после включения ступень защиты отстроена по времени от неодновременного включения фаз выключателя ...*».

ТЗНП традиционного исполнения (например, с реле *РТ-40*) от БНТ отстраивались путем повышения уставки соответствующей ступени по току срабатывания до значения, подсчитываемого по правилам приложения V к [3]. ТЗНП микропроцессорных терминалов, имеющая блокировку по току второй гармоники, может обойтись без такой отстройки, что несколько повысит чувствительность ступени.

В итоге блокировку по току второй гармоники рекомендуется применять для измерительных органов первых или ускоряемых после включения (АПВ) ступеней защиты, если одновременно соблюдается ряд условий:

- время действия ступени меньше разновременности включения фаз выключателя;
- схема сети такова, что при включении могут ставиться под напряжение трансформаторы с заземленными нейтралями;
- ступень не отстроена от бросков уставкой по току.

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

Имеется возможность регулировать величину содержания второй гармоники в токе  $3I_0$ , при которой срабатывает блокировка. Она задается как значение отношения действующего значения второй гармоники к действующему значению первой гармоники тока нулевой последовательности (« $3I_{0г2}/3I_{0г1}$ »). Уставка находится в группе «ТЗНП общие». Диапазон регулирования — от 0,10 до 0,40. Рекомендуемое значение уставки – 0,20 (на основании опыта эксплуатации Западных защит линий и трансформаторов, например [6]).

Алгоритм блокировки построен так, что сигнал блокировки подхватывается, если содержание гармоники превышает заданный уставкой уровень в течение 70 мс после срабатывания ИО любой из ступеней и сохраняется до тех пор, пока не вернуться ИО всех ступеней ТЗНП.

Ввод-вывод блокировки осуществляется независимо для каждой ступени ТЗНП с помощью соответствующей программной уставки (накладки) «Блокировка при БНТ», имеющей два положения: «Откл.» и «Вкл.».

Если блокировка введена для ступени ТЗНП, то она действует во всех режимах работы:

- в рабочем режиме;
- в режиме оперативного ускорения ступени;

— в режиме автоматического ускорения ступени после включения выключателя.

### 2.3 Применение разрешающего или блокирующего органов направления мощности.

Любую из четырех ступеней ТЗНП можно задать как не направленную или обеспечить направленность с помощью органа направления мощности нулевой последовательности (ОНМ НП). Первые две ступени используют разрешающее реле (ОНМ-р). Третья и четвертая ступени могут использовать как разрешающее реле, так и соединенные по условию «ИЛИ» выходы разрешающего и блокирующего (ОНМ-б) реле. Наличие направленности задается с помощью уставки «ОНМ» в соответствующих группах ступеней ТЗНП.

Наличие у ОНМ собственных пусковых органов пояснено на рисунке 1.

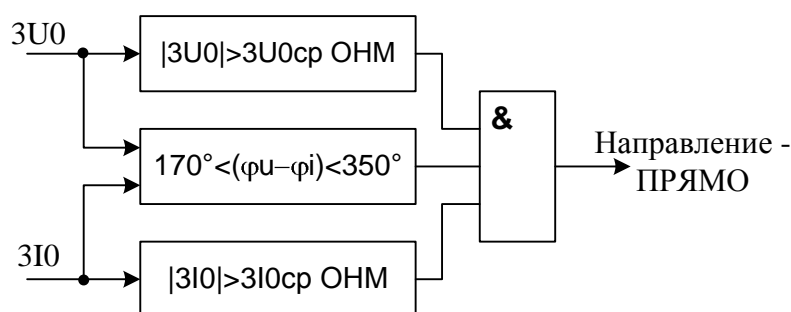


Рисунок 1 – Структурная схема ОНМ

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

- ток срабатывания разрешающего ОНМ НП (« $I_{cp\ ОНМ-р}/I_{ном}$ »);
- ток срабатывания блокирующего ОНМ НП (« $I_{cp\ ОНМ-б}/I_{ном}$ »);
- напряжение срабатывания разрешающего ОНМ НП (« $U_{cp\ ОНМ-р, В}$ »);
- напряжение срабатывания блокирующего ОНМ НП (« $U_{cp\ РНМ-б, В}$ »);
- сопротивление смещения в линию ОНМ НП (« $X_{см} \cdot I_{ном}$ »).

Смещение в линию предусмотрено только у разрешающего реле. Под  $X_{см}$  подразумевается вторичное значение сопротивления смещения.

Вопросы выбора уставок ОНМ рассмотрены в [3, 4].

Согласно [3], первичный ток срабатывания ОНМ-р выбирается по условию отстройки от суммарного тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока, протекающего в максимальном нагрузочном режиме:

$$3I_{0\text{cp ОНМ}} = \frac{K_{отс}}{K_B} (I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р.}}), \quad (1)$$

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

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

$K_B$  – коэффициент возврата (равен 0,92);

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

В [6] даны более простые соображения по выбору уставок по току ОНМ: «*Орган направления мощности должен быть чувствительней органа тока токовой защиты от замыканий на землю*».

Это означает выполнение условия срабатывания ОНМ при токе большем значения уставки четвертой ступени ТЗНП:

$$3I_{0\text{СР ОНМ}} = K_{\text{ЗАП}} \cdot 3I_{0\text{СЗ ТЗНП-4}}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{ЗАП}}$  – коэффициент запаса, меньше единицы.

Можно принять  $K_{\text{ЗАП}} \approx (0,8 - 0,9)$ .

Очевидно, если четвертая ступень выполняется ненаправленной, то следует согласовать уставку ОНМ с третьей ступенью ТЗНП. Согласование с третьей ступенью обязательно для терминала «*Сириус-3-ЛВ-03*» из соображений обеспечения правильного функционирования поперечного ускорения защиты нулевой последовательности.

При использовании (2) предполагается, что согласно [3] при выборе уставки четвертой ступени  $3I_{0\text{СЗ ТЗНП-4}}$  уже учтено и условие (1).

По напряжению ОНМ должен быть отстроен от напряжения небаланса в нагрузочном режиме ( $3U_{0\text{НБ}}$ ). Подсчет  $3U_{0\text{НБ}}$  пояснен в [3], но в том же источнике [3, раздел Ж, п.3] рекомендуется уточнять для каждой защиты значение напряжения небаланса экспериментально. В частности, [6] рекомендует принимать его в сетях 500-750 кВ равным 2 В. В [4] также рекомендуется минимальную уставку по напряжению срабатывания *ОНМ-р* принимать равной (1,5-2) В, а уставку *ОНМ-б* принимать равной 0,5 В.

Согласно [3, 6] чувствительность ОНМ по току и напряжению должна проверяться в минимальных режимах при однофазных замыканиях на землю в конце смежных участков (для разрешающего реле – в направлении срабатывания, для блокирующего – в противоположном направлении). Согласно [6] чувствительность ОНМ по току обеспечивается, если его уставка удовлетворяет (2). Чувствительность *ОНМ-р* по напряжению [3, 6] рекомендуют определять по выражению:

$$K_{\text{ЧУ}} = \frac{3U_{0\text{КЗ}}}{K_U \cdot U_{\text{СР ОНМ}}}, \quad (3)$$

где  $K_U$  – коэффициент трансформации трансформатора напряжения;

$3U_{0\text{КЗ}}$  – 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.

Проверку чувствительности реле направления мощности [4] рекомендует проводить в следующем порядке:

**а) В начале проверяется возможность использования ОНМ-р без использования смещения при минимальных уставках по току и напряжению.**

**б) При недостаточной чувствительности ОНМ-р по напряжению следует предпринять попытку использования смещения вдоль линии.**

При использовании смещения на сопротивление  $X_{СМ ПЕР.}$  (первичное значение) орган направления мощности можно считать включенным на первичное напряжение:

$$3U_{0 ОНМ} = 3U_{0 КЗ} + 3I_{0 КЗ} \cdot X_{СМ ПЕР.} \quad (4)$$

Структура формулы остается и в случае, когда напряжения, токи и сопротивления представлены вторичными значениями.

Рекомендуемое первичное сопротивление смещения – половина сопротивления линии в схеме нулевой последовательности. Однако [4] разрешает увеличить смещение еще больше, вплоть до достижения необходимой чувствительности:

$$K_{ч U} = \frac{3U_{0 КЗ} \pm 3I_{0 ОНМ} \cdot X_{СМ ПЕР.}}{K_U \cdot U_{СР ОНМ}}, \quad (3а)$$

В последнем выражении все величины в числителе – первичные. Знак «+» соответствует КЗ в направлении срабатывания, знак «-» соответствует КЗ в противоположном направлении.

Источник [4] также содержит следующее указание:

*«...Если требуемое значение сопротивления компенсации оказывается относительно большим, то должна быть произведена проверка правильности работы реле при близких КЗ на землю на шинах подстанции, на которой установлена рассматриваемая защита. Необходимость такой проверки обуславливается тем, что при указанных КЗ на землю компенсация падения напряжения приводит к уменьшению напряжения, подводимого к защите, и при определенных условиях возможно изменение фазы этого напряжения. В этом случае меняется направленность действия защиты...».* То есть должно выполняться условие [4]:

$$X_{СМ ПЕР.} < \frac{U_{СР ОНМ} \cdot K_U + 3U_{0 КЗ}}{3I_{0 МАХ} \cdot K_{ОТС}}, \quad (5)$$

где  $3I_{0 МАХ}$  – максимальный утроенный ток нулевой последовательности, протекающий через защиту при КЗ на шинах подстанции;

$3U_{0 КЗ}$  – утроенное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при КЗ на шинах подстанции;

$K_{ОТС}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,15.

В терминале сопротивление смещения задается во вторичном значении, поэтому выбранное ранее первичное значение  $X_{СМ ПЕР.}$  необходимо перевести во вторичное значение.

**в) Если не удастся выбрать смещение, удовлетворяющее одновременно двум противоречивым требованиям – обеспечения достаточной чувствительно-**

сти при КЗ на землю в защищаемой зоне и предотвращения неселективной работы защиты при КЗ на землю вне защищаемой зоны – возможно для контроля действия третьей или четвертой ступеней **применить параллельное соединение замыкающего контакта ОНМ-р и размыкающего контакта ОНМ-б** (в терминале задать уставку «ОНМ» в положение «Разр и блок»).

В этом случае необходимо проверить чувствительность по току и напряжению не только *ОНМ-р*, но и *ОНМ-б*. Чувствительность *ОНМ-б* по току обеспечена автоматически, если при выборе тока срабатывания учтено условие (2). Согласно [3] проверка чувствительности по напряжению производится при замыкании на землю в направлении, противоположном защищаемому в точке, при КЗ в которой срабатывает реле тока ступени, направленность которой необходимо обеспечить.

Для обеспечения правильного действия поперечного ускорения ступени токовой защиты нулевой последовательности в [3] рекомендуется дополнительно проверять чувствительность *ОНМ-б* при каскадном отключении замыкания на землю на противоположном конце параллельной линии.

г) Наконец, если все попытки оказались тщетными, [4] дает следующую рекомендацию: «...произвести перерасчет токов срабатывания и выдержек времени ступеней защит в сети при выполнении рассматриваемой защиты *ненаправленной*».

Практически это эквивалентно совету сделать выдержку времени четвертой ступени данной защиты больше выдержек четвертых ступеней всех смежных защит в данной сети.

#### 2.4 Особенности, связанные с использованием элементов ТЗНП в других защитах.

Элементы ТЗНП используются в других защитах терминала:

— *ОНМ-р* и *ОНМ-б* используются в цепях поперечного ускорения третьей ступени ТЗНП.

В случае использования поперечного ускорения третьей ступени ТЗНП *ОНМ-р* и *ОНМ-б* должны обеспечить достаточную чувствительность к замыканиям на землю в конце защищаемой линии, а также в режиме каскадного отключения параллельной линии.

#### 2.5 Использование возможности смены уставок терминала при изменении режима работы защищаемой линии.

В терминале «*Сириус-3-ЛВ-03*» предусмотрено восемь наборов уставок с возможностью выбора текущей с помощью дискретных входов. Обычно смена текущего набора уставок производится с помощью внешнего оперативного переключателя. В этом случае возможность смены набора уставок получает персонал диспетчерской службы.

Наиболее полно эта возможность может быть реализована при использовании терминала в качестве комплекта резервных защит на обходном выключателе.

Один из вариантов использования нескольких наборов уставок на двухцепной линии – выделение одного из наборов для использования в режиме «параллельная линия отключена и заземлена с двух сторон». В частности, подобное решение рекомендовано в [6].

В терминале «*Сириус-3-ЛВ-03*» тоже целесообразно выделить один из наборов уставок для спецрежима «параллельная линия отключена и заземлена с двух сторон». Предположим, что этот набор имеет номер  $N_x$ , а в обычном режиме используется группа  $N_y$ .

Переключение с набора  $N_y$  на набор  $N_x$  должен производиться при выводе параллельной цепи в ремонт в момент, когда цепь уже отключена с двух сторон, но заземляющие ножи еще не включены. Обратный переход должен происходить в момент, когда заземления уже сняты, но выключатели еще не включены.

При выборе уставок по току набора  $N_y$  должны быть учтены все режимы параллельной и одиночной работы линий, за исключением режима «параллельная линия отключена и заземлена с двух сторон» (под который выделен специальный набор  $N_x$ ).

Поскольку примерно на половине всех защит параллельных линий именно этот режим является расчетным для выбора уставки первой ступени ТЗНП, исключение его должно привести к снижению уставок первых ступеней, а это повлечет за собой снижение уставок вторых ступеней смежных защит. Степень снижения уставок будет индивидуальна для каждой защиты, поскольку определяется соотношением сопротивления взаимоиндукции и сопротивлений эквивалентных систем, примыкающих к защищаемым линиям.

Уставки ТЗНП в наборе  $N_x$  выбираются с учетом заземления с двух сторон отключенной параллельной цепи, поэтому режимы каскадного отключения параллельной цепи должны быть исключены из рассмотрения.

Для улучшения работы других защит и ОМП в наборе  $N_x$  в группе «ДЗ-1 ФЗ» уставка «*Пар. ВЛ заземл.*» должна иметь значение «Да» (то есть параллельная ВЛ отключена и заземлена с двух сторон), в группе «ОМП» уставка «*Спец. режим ОМП*» должна иметь значение «Вкл». Эти уставки в группе  $N_y$  должны иметь значения «Нет» и «Откл» соответственно. Это улучшит функционирование первой ступени дистанционной защиты от КЗ на землю и ОМП. Более подробная информация об использовании данных настроек приведена в [9].

Необходимо отметить, что подобное техническое решение рекомендуемое, но не обязательное. Вполне допустимо использовать в терминале всего один набор уставок. Но следует стремиться в максимальной степени использовать преимущества микропроцессорных защит, в том числе и возможность подстройки под текущие режимы сети.

### **3 Междуфазная токовая отсечка и МТЗ**

3.1 В состав терминала входит трехступенчатая максимальная токовая защита от междуфазных КЗ. Первую ступень рекомендуется использовать как отсечку (*ТО*), две другие (*МТЗ-1* и *МТЗ-2*) – как ступени аварийной защиты.

3.2 Назначение *ТО* традиционно для отечественных защит линий высокого напряжения – это дополнительная защита на случай нечеткой работы дистанционной защиты при замыканиях в начале защищаемой линии. Нетрадиционным является только то, что в терминале измерительные органы включены на все три тока фаз, а не на токи двух фаз. Однако это никак не сказывается на выборе уставок отсечки.

Ток срабатывания выбирается по двум условиям:

- отстройки от КЗ вне защищаемой линии;
- отстройки от уравнильных токов при качаниях в системе.

Расчетным видом КЗ при расчете по первому условию является трехфазное КЗ. По второму условию – качания в полнофазном режиме [5].

При расчете по первому условию коэффициент отстройки можно принимать равным 1,2. При расчете по второму – 1,1.

Коэффициент чувствительности отсечки определяется при двухфазном КЗ вблизи места установки защиты в наиболее вероятном режиме работы. Допустимым значением коэффициента чувствительности является 1,2 [5].

Согласно [5] токовая отсечка может использоваться в качестве защиты ошиновки линии от выключателей до линейного разъединителя, когда линия отключена линейным разъединителем (например, при полуторной схеме первичных соединений). Дистанционная защита в этом режиме может быть выведена.

3.3 Имеется возможность задать режим работы ступеней *МТЗ* - постоянное действие, либо режим аварийной защиты.

Под аварийной понимается защита, которая автоматически вводится в действие в случае выявления неисправностей в цепях ТН и последующей блокировкой ступеней ДЗ. В этом случае ступени *МТЗ* выполняют функций временной простейшей защиты от междуфазных КЗ.

Выбор уставок рекомендуется производить по традиционным для *МТЗ* методикам.

### **4 Одноступенчатая дистанционная защита от коротких замыканий на землю**

4.1 В терминале имеется одна ступень дистанционной защиты от замыканий на землю (первая, *ДЗ-1 ФЗ*).

Именно первая ступень ДЗ от КЗ на землю имеет неоспоримые преимущества перед первой ступенью ТЗНП. Преимущества дистанционного принципа перед токовым при выполнении резервных ступеней совершенно не очевидны. Несмотря на достаточно высокие темпы внедрения зарубежных дистанци-

онных защит в нашей стране до сих пор нет четких методик выбора и согласования уставок резервных ступеней ДЗ от КЗ на землю. В то же время для ТЗНП такие методики глубоко проработаны и привычны для работников эксплуатации.

Ниже даются рекомендации по выбору уставок именно первой ступени ДЗ от КЗ на землю. Рассматривается выбор уставок для одиночных линий и для двух параллельных линий с взаимной индукцией.

Выбор уставок первой ступени ДЗ от замыканий на землю хорошо отражен в литературе [6, 7].

4.2 В терминале измерительными органами являются три виртуальных реле сопротивления, каждое из которых включено на напряжение одной фазы  $\underline{U}_\phi$  и на ток фазы, компенсированный током нулевой последовательности  $(\underline{I}_\phi + \underline{k}_0 \cdot \underline{I}_0)$ .

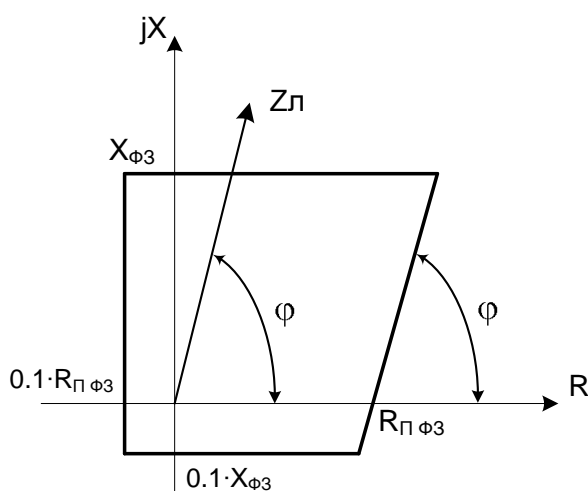


Рисунок 2 – Характеристика срабатывания ИО ДЗ-1 ФЗ

Характеристика реле в плоскости  $\underline{Z}^{(1)} = \underline{U}_\phi / (\underline{I}_\phi + \underline{k}_0 \cdot \underline{I}_0)$  приведены на рисунке 2.

Уставками являются реактивной сопротивление  $X_{\phi 3}$  и точка пересечения правой границы с осью активных сопротивлений  $R_{\phi 3}$ . Наклон правой границы тот же, что и наклон оси сопротивления линии (вектор  $\underline{Z}_{л}$ ). Наклон вычисляется автоматически внутри терминала по величинам удельных сопротивлений линии в схеме прямой последовательности  $R_{1\gamma d}$  и  $X_{1\gamma d}$ . Внутри терминала вычисляется и коэффициент компенсации:

$$\underline{k}_0 = \frac{\underline{Z}_{0\gamma d} - \underline{Z}_{1\gamma d}}{\underline{Z}_{1\gamma d}},$$

$$\underline{Z}_{0\gamma d} = R_{0\gamma d} + jX_{0\gamma d},$$

$$\underline{Z}_{1\gamma d} = R_{1\gamma d} + jX_{1\gamma d}$$
(6)

Характеристика имеет небольшое смещение во второй и в четвертый квадранты плоскости, но это смещение не регулируется (не является уставкой).

Смещение характеристики не свидетельствует о не направленности ступени, так как в логической схеме реле сопротивления используются сигналы с измерительного органа, контролирующего уровень тока нулевой последова-

тельности, и с органа направления мощности нулевой последовательности ОНМ-р.

Этим обеспечивается:

- действие ступени только при замыканиях на землю;
- строгая направленность при замыканиях в месте установки защиты без применения аналогов устройств памяти;

- возможность использования ступени без блокировки при качаниях.

Однако, эта блокировка ограничивает чувствительность защиты к переходным сопротивлениям чувствительностью реле тока нулевой последовательности.

### 4.3 Выбор уставки $X_{\phi 3}$

4.3.1 Выбор уставки производится по условию отстройки от КЗ на землю в конце защищаемой линии.

На одиночной линии уставка принимается равной реактивному сопротивлению, соответствующему 85% длины линии:

$$X_{\phi 3} = 0,85 \cdot L \cdot X_{1UD}. \quad (7)$$

Коэффициент  $\underline{k}_0$  подсчитывается по (5) внутри терминала.

4.3.2 В случае двух параллельных линий со взаимной индукцией расчет несколько усложняется, но расчетное выражение не изменяется – (7).

Возможны три основных режима [5, 6]:

- режим 1 – параллельная линия отключена и заземлена с двух сторон;
- режим 2 – параллельная линия отключена без заземления;
- режим 3 – в работе две линии.

В этих режимах из-за влияния взаимоиндукции происходит изменение сопротивления нулевой последовательности линии, что приводит к изменению длины зоны ДЗ.

Расчетным является режим 1 [6].

Существует два варианта учета взаимоиндукции:

- пересчет удельного реактивного сопротивления линии [6];
- непосредственное изменение расчетного коэффициента компенсации по току нулевой последовательности [7].

4.3.3 Первый способ подробно рассмотрен в [6], но его применение для выбора уставок защит «Сириус-3-ЛВ-03» не рекомендуется. Это связано с тем, что удельные параметры линии в устройстве используются не только для защит, но и для функции ОМП.

4.3.4 Второй способ подразумевает расчет коэффициента компенсации по току нулевой последовательности в зависимости от режима:

в режиме «одна линия отключена» —  $\underline{k}_0 = \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{\underline{Z}_1}$ ;

в режиме «две линии в работе» —  $\underline{k}_p = k_0 + k_M$ ; (8)

в режиме «параллельная линия отключена и заземлена» —  $k_p = k_0 - \frac{k_M^2}{k_0 + 1}$ . (9)

где  $k_M$  — коэффициент взаимоиндукции  $k_M = \frac{X_{M\text{уд}}}{X_{1\text{уд}}}$ .

*Пример:*

*типичные параметры одной линии:*

$X_{1\text{уд}} = 0,4$  Ом/км,

$X_{0\text{уд}} = 1,4$  Ом/км,

$X_{M\text{уд}} = 0,8$  Ом/км.

Расчет коэффициента:

в режиме 1 — «параллельная линия отключена и заземлена»:

$$k_p = 2,5 - (2 \cdot 2 / (2,5 + 1)) = 1,35.$$

в режиме 2 — параллельная работа двух линий:  $k_p = 2,5 + 0,8 / 0,4 = 4,5$ ;

в режиме 3 — «одна линия отключена»:  $k_0 = (1,4 - 0,4) / 0,4 = 2,5$ ;

Чтобы не допустить ни в одном из режимов удлинения зоны рекомендуется иметь на реле минимальный возможный коэффициент компенсации [7].

Проведенные для конкретной двухцепной линии расчеты показали, что если на реле выставлен минимальный из трех расчетных коэффициент  $k = 1,35$ , то в режиме 1 длина зоны равна 0,85 от длины линии, в режиме 2 — 0,63, в режиме 3 — 0,69.

Если режим 1 признан нереальным (то есть ремонтный режим не предусматривается) и на реле выставлен коэффициент 2,5, то в режиме 3 длина зоны равна 0,85, в режиме 2 — 0,73. И в случае если режим 1 все же возникает, то зона защиты охватит всю линию (что естественно недопустимо).

4.3.5 В терминале «Сириус-3-ЛВ-03» для исключения удлинения зоны ДЗ из-за влияния взаимоиндукции производится изменение расчетного коэффициента компенсации по току нулевой последовательности. Коэффициент пересчитывается автоматический внутри терминал в зависимости от состояния уставки «Пар. ВЛ заземл.» в группе «ДЗ-1 ФЗ». Уставка принимает два значения:

«Нет» — задается, если режим «параллельная линия отключена и заземлена» **не возможен**. В этом случае коэффициент компенсации вычисляется по стандартному выражению (6);

«Да» — задается, если режим «параллельная линия отключена и заземлена» **возможен**. В этом случае коэффициент компенсации пересчитывается внутри устройства по выражению (9). Тогда во всех режимах реальная длина зоны получается равной или меньшей 0,85 от длины линии, она минимальна в режиме «обе линии включены» и может снижаться в этом режиме до 0,63 от длины линии.

Если для режима «параллельная линия отключена и заземлена» предусмотрена отдельный набор уставок (см. пункт 2.5), то в этом наборе уставка «Пар. ВЛ заземл.» должна стоять в положении «Да».

#### 4.4 Выбор уставки $R_{\Pi \Phi 3}$

4.4.1 Ширина характеристики определяет чувствительность ступени к замыканиям через переходные сопротивления.

Если однофазное замыкание произошло через сопротивление  $R_{\Pi}$ , то замер реле, включенного на  $\underline{U}_{\Phi}$  и  $(\underline{I}_{\Phi} + k_0 \underline{I}_0)$ , равен:

$$Z = \underline{Z}_{1K} + \frac{R_{\Pi} \cdot \underline{k}_T \cdot \underline{I}_{\Phi}}{\underline{I}_{\Phi} + k_0 \underline{I}_0} \quad (10)$$

где  $\underline{Z}_{1K}$  – сопротивление прямой последовательности участка линии от места установки защиты до места КЗ;

$\underline{k}_T$  – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в переходном сопротивлении к току фазы в месте установки защиты. Ток в переходном сопротивлении равен сумме токов фазы с двух сторон линии.

#### 4.4.2 Однофазные замыкания на линии при ее одностороннем включении

Если реле установлено на питающем конце линии, включенной с одной стороны, то при КЗ коэффициент токораспределения равен единице (то же будет на линии с односторонним питанием, если на втором ее конце нет трансформаторов с заземленной нейтралью). В этом случае сопротивление на зажимах реле равно:

$$Z = \underline{Z}_{1K} + \frac{R_{\Pi} \cdot 1}{1 + \frac{k_0}{3}}.$$

При  $k_0 = 2,5$  переходное сопротивление как бы увеличивается в  $1/(1+2,5/3) = 0,55$  раз. Соответствующая диаграмма сопротивлений на зажимах при КЗ в различных точках зоны действия защиты приведена на рисунке 3. Из рисунка ясно, что если задаться величиной переходного сопротивления, к которому желательно обеспечить чувствительность –  $R_{\mathcal{J}}$ , то на тупиковой линии без трансформаторов с заземленной нейтралью на противоположном конце следует принять уставку:

$$R_{\Phi 3} > 0,55 \cdot R_{\mathcal{J}}. \quad (11)$$

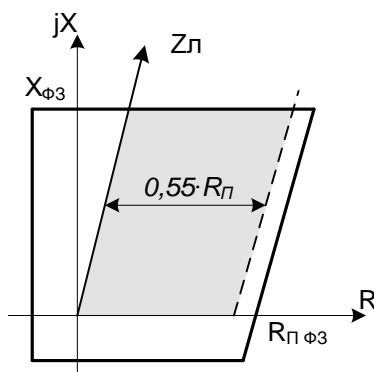


Рисунок 3 – диаграмма сопротивлений на зажимах защиты с учетом переходного сопротивления

#### 4.4.3 Однофазные замыкания на линии с двусторонним питанием.

При двустороннем питании коэффициент токораспределения больше единицы и в общем случае является комплексной величиной. Однако при отсутствии нагрузки линии коэффициент является действительной величиной, плавно увеличивающейся по мере удаления места КЗ и не зависящей от величины переходного сопротивления. Для реальной линии расчетчик всегда может подсчитать коэффициенты токораспределения при однофазных КЗ в начале и в конце зоны, используя стандартные программы расчета электрических величин при КЗ. Тогда можно подобрать уставку:

$$R_{\text{ФЗ}} > R_{\text{Ж}} \cdot k_{\text{T}} \frac{I_{\text{Ф}}}{I_{\text{Ф}} + k_0 I_0}. \quad (12)$$

#### 4.4.4 Переходное сопротивление, желаемое для охвата $R_{\text{Ж}}$ .

При однофазном КЗ переходное сопротивление складывается из сопротивления дуги и сопротивления контура заземления опоры. Сопротивление дуги может быть определено на основании известного выражения [2]:

$$R_{\text{д}} = 1050 \cdot \frac{L_{\text{д}}}{I_{\text{д}}}. \quad (13)$$

где  $I_{\text{д}}$  – действующее значение тока в дуге, А;

$L_{\text{д}}$  – длина дуги в метрах (в первый момент КЗ равна длине гирлянды изоляторов).

Согласно ПУЭ сопротивления опор при токах промышленной частоты и при отсоединенных грозозащитных тросах в летнее время не должны превышать 10-30 Ом в зависимости от удельных сопротивлений грунта. При глухом заземлении тросов на каждой опоре результирующее сопротивление заземляющих устройств опор уменьшается. То есть в идеале на линиях 110-220 кВ желательна чувствительность реле к переходным сопротивлениям порядка 30-50 Ом. Следовательно, значение  $R_{\text{Ж}}$  может быть оценено лишь приблизительно и всегда остается соблазн дополнительно увеличить его. Однако на относительно коротких линиях это неизбежно приведет к весьма широким характеристикам.

Вместе с тем, хорошо известны недостатки широких характеристик – возможность значительного удлинения зоны для реле, установленных на передающих концах линии. Объясняется это тем, что на передающем конце линии при замыкании на шинах ее противоположного конца комплексность коэффициента токораспределения приводит к наклону вектора из выражения (12) вниз. Сопротивление на зажимах реле попадает в широкую характеристику – защита начинает срабатывать на внешнее КЗ, что пояснено на рисунке 4.

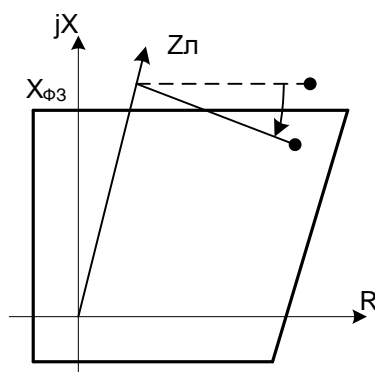


Рисунок 4 – Срабатывание защиты с широкой характеристикой при внешних КЗ

Чтобы избежать этого имеет смысл ограничить ширину характеристики. На основании опыта эксплуатации защит с многоугольными характеристиками рекомендуется иметь ширину характеристики первой ступени не более 0,75 от ее высоты (длины зоны действия) [6]:

$$R_{\text{Фз}} < 0,75 \cdot X_{\text{Фз}}. \quad (14)$$

Данную рекомендацию целесообразно распространить и на измерительные органы дистанционной защиты от междуфазных замыканий.

Кроме того, несомненно, что ширина характеристики ограничивается требованием несрабатывания в нагруженном режиме. Для этого должно удовлетворяться условие:

$$R_{\text{Фз}} < R_{\text{НАГР.}} - \frac{X_{\text{НАГР.}}}{\text{tg}\varphi}, \quad (15)$$

где  $\varphi$  – угол наклона к горизонтали правой границы характеристики. В данном термине принято равным углу сопротивления линии, вычисляемому по уставкам  $R_{1\text{ВД}}$  и  $X_{1\text{ВД}}$ , задаваемыми в группе «*Параметры линии*»:

$$\text{tg}\varphi = X_{1\text{ВД}}/R_{1\text{ВД}}.$$

При использовании ограничений (14) и (15) выбор ширины характеристики 1-й ступени ДЗ от КЗ на землю становится несложным.

Поскольку зона первой ступени не выходит за пределы линии, ступень не требуется согласовывать ни с какими защитами смежных линий.

## 5 Дистанционная защита от замыканий между фазами

### 5.1 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 « $U_{\text{БНН}}$ ». Рекомендуемое значение – 10 В;

- Схема сборки вторичных обмоток ТН. Одна из 12 схем согласно руководству по эксплуатации терминала [9];
- Дополнительный вывод вторичных цепей разомкнутого треугольника: «И» или «Ф» (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 « $U_{\text{КОНТР}}$ ». Рекомендуемое значение – 40 В;
- Уставка по напряжению сигнализации появления напряжения обратной последовательности « $U_2 \text{ КОНТР}$ ». Рекомендуемое значение – 10-15 В.

## 5.2 Блокировка при качаниях

Блокировка при качаниях (БК) терминала «Сириус-3-ЛВ-03» выполнена на тех же принципах, что и у известных отечественных защит ШДЭ-2801 и ПДЭ-2001. При выборе уставок блокировки следует полностью пользоваться рекомендациями [4].

Пусковой орган (ПО) блокировки реагирует на величину приращения тока обратной последовательности  $\Delta I_2$ , замеряемую в первый период после фиксации факта резкого возрастания тока обратной последовательности. Поэтому блокировка не реагирует на стабильный небаланс на выходе фильтра тока обратной последовательности (вызванный, например, стабильной несимметрией токов в фазах).

Аналогично контролируется приращение вектора тока прямой последовательности  $\Delta I_1$ , что повышает чувствительность при симметричных КЗ.

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

Уставки чувствительного канала по приращению тока обратной последовательности могут регулироваться в пределах  $(0,04-2,00) \cdot I_{\text{ном}}$ . Уставки грубого органа лежат в пределах  $(0,05-2,50) \cdot I_{\text{ном}}$  и должна быть в 2-3 раза больше уставки чувствительного органа.

Уставки чувствительного и грубого органов по приращению тока прямой последовательности лежат в пределах  $(0,05-3) \cdot I_{\text{ном}}$  и  $(0,1-10) \cdot I_{\text{ном}}$ .

Как и в защите ШДЭ-2801, может оказаться, что чувствительный орган срабатывает слишком часто при коммутациях нагрузки. Это может недопустимо часто выводить защиту из действия на длительное время. Данный недостаток и должен устранять грубый орган. Грубый орган обеспечивает пуск ДЗ, даже если она в момент КЗ уже выведена из действия после срабатывания чувствительного органа.

Алгоритм ПО блокировки обеспечивает практически полное отсутствие частотных погрешностей в диапазоне частот 45–55 Гц и фильтрацию высших гармоник в токе.

В соответствии с [4] расчет устройства блокировки при качаниях практически сводится к проверке чувствительности ПО при выбранной уставке (рекомендуемый [4] минимум уставки чувствительного органа равен  $0,08 \cdot I_{\text{ном}}$ ).

Проверка чувствительности проводится по выражению

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ ЗАЩ МИН}}}{I_{2 \text{ УСТ. БК}} \cdot K_{\text{T}}}, \quad (16)$$

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

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

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

Минимально допустимый коэффициент чувствительности в соответствии с [4] 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 блокировки может быть пересмотрен.

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

БК имеет два выхода:

— выход *БК-б*, который предназначен для пуска быстродействующих ступеней ДЗ (первой и второй быстродействующей);

— вывод *БК-м*, который предназначен для пуска медленнодействующих ступеней (второй медленнодействующей и третьей).

Отличаются эти выходы длительностью существования на них сигнала, разрешающего действие защит. Для задания длительности сигналов предусмотрены уставки:

— время ввода быстродействующих ступеней при срабатывании чувствительного органа БК. Рекомендуемое значение – 0,4 с;

— время ввода быстродействующих ступеней от грубого органа БК. Рекомендуемое значение – 0,4 с;

— время ввода медленнодействующих ступеней от БК, оно же является и временем вывода быстродействующих ступеней. Рекомендуемое значение 5–8 с.

### 5.3 Уставки срабатывания ступеней ДЗ

Выбор уставок по сопротивлению и по времени трех ступеней ДЗ производится по стандартным методикам [1, 4]. Методика расчета приведена в *Приложении А* к данным рекомендациям.

Выбор уставки  $R_{\text{П}}$  производится в соответствии с рекомендациями п. 4.4.4.

### 5.4 Параметры конфигурации ДЗ

5.4.1 В данном разделе рассматриваются особенности задания параметров ступеней ДЗ в терминале «*Сириус-3-ЛВ-03*». Большинство принципов, применяемых в защите, являются традиционными для отечественных защит. Большинство из них аналогичны, реализованным в шкафу ШДЭ-2801.

#### 5.4.2 Подхват срабатывания ИО первой ступени от ненаправленного ИО второй ступени ДЗ

Наличие подхвата определяется значением уставки «Подхв. от ДЗ-2» из группы «ДЗ-1 ФФ».

Если упомянутая выше уставка стоит в положении «Вкл», то отключающий импульс ИО первой ступени подхватывается от ненаправленного ИО второй ступени. Возврат схемы подхвата в исходное состояние происходит только после возврата ИО второй ступени.

Подобный подхват предусматривался в целом ряде существовавших ранее панелей ДЗ. В том числе в защите ШДЭ-2801. В [2] целесообразность подхвата объясняется следующим образом: «...в начальное время КЗ длина дуги в месте повреждения невелика, ток в дуге максимален, а ее сопротивление минимально. ИО 1-й ступени воспринимают КЗ как металлическое и срабатывают. Но потом сопротивление дуги начинает расти, сопротивление на зажимах ИО тоже растет, и вскоре ИО 1-й ступени могут вернуться. Подхват от ИО с более широкой характеристикой предотвращает возврат 1-й ступени». Подобный подхват существовал и в защите ШДЭ2801. Накладку «подхват срабатывания РС 1-й ступени от ненаправленной характеристики ДЗ-2» лучше ставить в положение «Вкл».

#### 5.4.3 Две выдержки времени у второй ступени ДЗ

Вторую ступень ДЗ можно выполнить с двумя выдержками времени. В группе «ДЗ-2» имеются уставки: «Тдз-2б» (выдержка времени на срабатывание быстродействующей ступени) и «Тдз-2м» (выдержка времени на срабатывание медленнодействующей ступени).

Смысл двух выдержек пояснен в [8]: их используют, с целью избежать отказа защиты при переходе однофазного замыкания в двухфазное. Отказ был бы возможен, если вторая ступень с основной выдержкой времени используется с пуском от сигнала БК-б. Блокировка пускается в начальный момент однофазного замыкания и разрешает ступени действовать. Но ИО второй ступени при однофазном замыкании могут не действовать. А когда через некоторое время дуга перебрасывается на вторую фазу, ИО начнут действовать, но блокировка выведет ступень из действия (т.к. время ввода ступени истекло).

Чтобы избежать подобной ситуации рекомендуется использовать вторую ступень с двумя выдержками времени: первая с выдержкой (0,5–1) с должна работать с блокировкой при качаниях, вторая должна работать без блокировки. Но для этого она должна иметь выдержку времени, превосходящую длительность периода цикла качаний. Считается, что максимальная длительность периода цикла качаний в энергосистемах нашей страны равна (1,2–1,5) с, и что защиты в выдержками (1,5–2) с отстроены от срабатывания при качаниях своим временем срабатывания.

#### 5.4.4 Ввод/вывод направленности действия ступеней ДЗ

Особенностью выполнения ступеней ДЗ в данном терминале является использование специального органа направления мощности (ОНМ), который функционирует только при КЗ вблизи начала линии.

Контроль направленности задается для каждой ступени независимо с помощью уставок «ОНМ». Если уставка «ОНМ» в положении «Откл», то ступень охватывает шины «за спиной» и частично соответствующие смежные линии, примыкающие к шинам. Это аналогично незначительному (0,06 от значения уставки) охвату начала координат второй ступенью ДЗ в шкафу ШДЭ-2801.

Ступени ДЗ, реализованные в терминале, выполнены универсально и предусматривают возможность их гибкой настройки под конкретное применение. Но в большинстве случаев можно рекомендовать следующее применение:

— для первой ступени ДЗ (ДЗ-1) направленность должна быть всегда введена (вывод предусмотрен только на время проверок, например для снятия полной характеристики);

— для второй ступени ДЗ (ДЗ-2) рекомендуется вывод направленности. Это позволяет обеспечить резервирование первой направленной ступени ДЗ, а также резервировать при КЗ «за спиной» на шинах;

— если предполагается использование третьей ступени ДЗ (ДЗ-3) в логике оперативного ускорения или ВЧТО, то направленность должна быть введена. В других случаях рекомендуется вывод из действия ОНМ;

— предусмотрена возможность вывода направленности ускоряемой ступени ДЗ на время ее автоматического ускорения при включении выключателя.

Также вывод направленности ДЗ при автоматическом ускорении при включении **обязателен**, если защита по цепям напряжения подключена к трансформатору напряжения, установленному **на линии**, а не на шинах.

#### 5.4.5 Использование дополнительной четвертой ступени ДЗ

Четвертая ступень ДЗ является дополнительной ступенью ДЗ широкого назначения. По характеристикам ДЗ-4 аналогична третьей ступени терминала, но добавлена возможность действия либо в прямом, либо в обратном направлениях. Режим работы ступени задается уставками [9].

При классическом использовании трехступенчатой ДЗ, данную ступень можно вывести из действия с помощью уставки. Но в некоторых случаях ступень ДЗ-4 позволяет повысить эффективность функционирования релейной защиты, например можно предположить следующие варианты использования:

— выработка разрешающих (направление действия – прямо) или блокирующих (действие – назад) ВЧ-сигналов;

— резервирование защиты «за спиной» (направленность действия – назад);

— независимая ступень для реализации оперативного ускорения;

— в качестве дополнительной ступени для дальнего резервирования, если зона действия третьей ступени сокращена по условиям согласования со вторыми ступенями смежных защит.

Выбор уставок ДЗ-4 зависит от конкретного случая применения, поэтому рекомендации по их расчету выходят за рамки данного документа.

## **6 Уставки ускорения при включении выключателя**

Автоматическое ускорение защит при включении выключателя используется для обеспечения быстрого отключения КЗ в двух режимах:

— режим опробования линии напряжением при включении ее после ремонта;

— режим повторного включения при АПВ линии.

Поэтому часто это ускорение называют ускорением после АПВ. Отличительной особенностью обоих режимов является высокая вероятность КЗ в условиях одностороннего питания, когда высокочастотные защиты линии могут отказывать в функционировании. Поэтому и принято уменьшать время действия защит относительной селективности. Обычно ускоряются вторая ступень ДЗ и вторая или третья ступени ТЗНП.

Недостаток способа состоит в том, что ускоренные ступени становятся неселективными, то есть некоторое время существует вероятность излишнего срабатывания защит при внешнем КЗ. Для уменьшения вероятности излишнего срабатывания всегда ограничивают время ввода ускорения (уставка «Тввода уск.» из подгруппы «Ускорение при включении»).

Указанное время должно быть достаточно для отключения КЗ ускоренными защитами, но меньше времени включения линии с другой стороны при успешном АПВ. При использовании электромеханических защит обычно применялись уставки (0,7 – 1,0) с. В терминале «Сириус-3-ЛВ-03» принят диапазон (0,5 – 5,0 с). С учётом большего быстродействия микропроцессорных защит рекомендуется значение уставки 0,5 с.

Кроме того, следует стремиться ограничивать протяженность зоны действия ускоряемых ступеней. Ускоряемая ступень должна обеспечить чувствительность к КЗ по всей длине линии в режиме одностороннего включения. Обычно этому требованию отвечают вторые ступени ДЗ и ТЗНП. Ускорять более чувствительные ступени (третью или четвертую) нецелесообразно.

В терминале «Сириус-3-ЛВ-03» ускоряемые ступени определяются уставками «Ускорение ДЗ» (варианты: Откл / ДЗ-2 / ДЗ-3 / ДЗ-4) и «Ускорение ТЗНП» (варианты: Откл / ТЗНП-2 / ТЗНП-3 / ТЗНП-4). Время срабатывания ускоренных ступеней определяется уставками «Тускор. ДЗ» и «Тускор. ТЗНП». Рекомендуемые значения уставок – (0,02 – 0,04) с (для отстройки от переходных процессов при включении).

На линии с двусторонним питанием система АПВ обычно организуется так, что строго определен порядок включения выключателей с двух сторон при успешном АПВ. Ускорение целесообразно вводить только на выключателе, включающемся первым (подающем на линию напряжение). Для этого предусматривается возможность контроля отсутствия напряжения при вводе ускорения защит. Для этого в подгруппе «Ускорение при включении» имеется уставка

«Контроль  $U$ ». Для ввода ускорения только со стороны, выключатель который включается первым, контроль целесообразно держать включенным на обеих сторонах.

Предусмотрена возможность вывода направленности ускоряемых ступеней уставками «Вывод напр. ДЗ» и «Вывод напр. ТЗНП». Направленность ускоряемой ступени ДЗ обязательно выводить (положение «Вкл»), если ТН подключен не к шинам, а к линии. Объясняется это тем, что орган направления мощности ДЗ использует для своего функционирования как напряжение при КЗ, так и напряжение предшествующего режима. При установке ТН на линии напряжение предшествующего режима либо отсутствует (на стороне, выключатель которой включается первым), либо имеет случайную фазу (на стороне, выключатель которой включается вторым).

Направленность ускоряемой ступени ТЗНП тоже лучше вывести (для уменьшения влияния переходных процессов в цепях ОНМ нулевой последовательности).

## 7 Уставки ОМП

Функция определения места повреждения пускается в терминале по факту срабатывания ИО вторых ступеней ДЗ и ТЗНП и формирует результаты ОМП по факту последующей работы терминала на отключение.

В терминале заложен основной алгоритм, предназначенный для работы во всех режимах, и специальный алгоритм только для режима «параллельная линия отключена и заземлена с двух сторон». Выбор алгоритма определяется уставкой «Спец. режим ОМП», имеющей два положения: «Откл / Вкл». Предполагается, что в положении «Вкл» накладка будет стоять в наборе уставок, предназначенном для режима «параллельная линия отключена и заземлена с двух сторон» (см. п. 2.5).

Уставками ОМП являются уставки из группы «Параметры линии»: « $R_{1UD}$ », « $X_{1UD}$ », « $R_{0UD}$ », « $X_{0UD}$ », « $X_{MUD}$ », «Длина линии», а также уставка из группы «ОМП» – « $T_{ОТСТРОЙКИ}$ ».

Последний параметр – время отстройки – типичен для фиксирующих приборов, у которых фиксация аварийных токов и напряжений начинается с некоторым замедлением после пуска для того, чтобы переходные составляющие токов и напряжений частично затухли. Известен принцип выбора « $T_{ОТСТРОЙКИ}$ »: фиксация электрических величин должна закончиться до момента отключения линии хотя бы с одной стороны. Таким образом:

$$(T_{ОТСТРОЙКИ} + T_{ФИКСАЦИИ}) \leq (T_{С.З.} + T_{ОТКЛ. ВКЛ}) \quad (17)$$

Учитывая, что  $T_{ФИКСАЦИИ} = 0,04$  с для  $T_{ОТСТРОЙКИ}$  получаем значение (0,06–0,10) с.

При расчете функция ОМП сохраняет электрические величины для двустороннего уточняющего ОМП, поэтому желательно, чтобы  $T_{ОТСТРОЙКИ}$  было одинаково для терминалов двух концов линии и для фиксирующих приборов той же линии.

Кроме перечисленных, специальный алгоритм ОМП использует еще две уставки из группы «ОМП»: сопротивления эквивалентных систем в схеме нулевой последовательности:  $X_{0C1}$  и  $X_{0C2}$ . Подразумевается, что электрическая сеть эквивалентруется до минимальной конфигурации – параллельные линии между двумя эквивалентными системами. Следует отметить, что спецалгоритм мало критичен к точности задания сопротивлений эквивалентных систем.

## 8 Уставки АПВ

### 8.1 Выбор уставок для одиночных линии с односторонним питанием

#### 8.1.1 Выбор выдержки времени однократного АПВ

Для одиночных линий с односторонним питанием время срабатывания устройства однократного АПВ  $t_{АПВ1}$ , которое задается уставкой «АПВ –  $T_{ав1}, c$ », выбирается по двум условиям:

1) Для того чтобы повторное включение было успешным, необходимо, чтобы за время от момента отключения линии до момента повторного включения и подачи напряжения не только погасла электрическая дуга в месте КЗ, но и восстановились изоляционные свойства воздуха. Процесс восстановления изоляционных свойств воздуха, называемый деионизацией, требует некоторого времени. Следовательно, выдержка времени АПВ на повторное включение должна быть больше времени деионизации, т.е.:

$$t_{АПВ1} \geq t_D + t_{ЗАП}, \quad (18)$$

где  $t_D$  – время деионизации;

$t_{ЗАП}$  – время запаса, учитывающее непостоянство  $t_D$  и временную погрешность АПВ.

Время  $t_D$  согласно [11] выбирается исходя из следующих данных: «По данным испытаний в сетях до 220 кВ  $t_D$  составляет около 0,2 с при токе КЗ до 15 кА и 0,3 – 0,4 с при токах более 15 кА. Поэтому в расчетах для сетей напряжением выше 35 кВ рекомендуется принимать  $t_D = 0,3 – 0,4$  с; время запаса  $t_{ЗАП}$  равно 0,4 – 0,5 с (учитывает разброс  $t_D$ , в частности за счет атмосферных условий, и погрешности реле времени АПВ)».

2) Выдержка времени должна быть больше времени готовности привода выключателя:

$$t_{АПВ1} \geq t_{ГП} + t_{ЗАП}, \quad (19)$$

где  $t_{ГП}$  – время готовности привода, которое может изменяться в пределах 0,2 – 1 с для разных типов приводов.

Время запаса в выражении (19) учитывает непостоянство  $t_{ГП}$  и временную погрешность АПВ.

Из первого и второго условий выбирается наибольшее значение.

Согласно [11] и [12] возможно повышение выдержки времени однократного АПВ до 3 – 5 с в целях повышения успешности АПВ, однако, это не жела-

тельно для потребителей, которые не терпят длительного перерыва в питании электроэнергией.

### 8.1.2 Выбор выдержки времени автоматического возврата АПВ при однократном АПВ

В терминале «Сириус-3-ЛВ-03» время автоматического возврата АПВ регулируется с помощью уставки «АПВ – T<sub>гот</sub>, с».

Время автоматического возврата АПВ (время готовности) должно обеспечивать однократность действия АПВ. Для этого при повторном включении на устойчивое КЗ, возврат АПВ в исходное положение должен происходить только после того, как выключатель, повторно включенный от АПВ, вновь отключится релейной защитой, причем имеющей наибольшую выдержку времени.

Выдержка времени автоматического возврата АПВ выбирается исходя из следующих условий:

1) Необходимо обеспечить, чтобы после АПВ на устойчивое КЗ релейная защита, действующая с максимально возможным временем, успела снова отключить выключатель раньше, чем устройство АПВ вернется в состояние готовности к новому действию. В противном случае возможны многократные включения выключателя. Отсюда следует, что:

$$t_{\text{гот}} \geq t_{\text{защ.макс}} + t_{\text{откл}} + t_{\text{зап}}, \quad (20)$$

где  $t_{\text{защ.макс}}$  – максимальное время действия защиты после включения на устойчивое повреждение;

$t_{\text{откл}}$  – время отключения выключателя;

$t_{\text{зап}}$  – принимается равным ступени селективности защиты линии.

2) Согласно [12]: «Необходимо, чтобы после успешного АПВ новое действие устройства происходило не ранее, чем это допускается по условиям работы выключателя. Опыт эксплуатации показал, что для однократного трехфазного АПВ можно исходить из условия:

$$t_{\text{гот}} \geq 15 \div 25 \text{ с}, \quad (21)$$

### 8.1.3 Выбор уставок двукратного АПВ

Двукратные АПВ необходимо применять на линиях, где неуспешное АПВ приводит к полному обесточению потребителей. К числу таких линий, согласно [12] можно отнести: «одиночные протяженные линии с односторонним питанием, отходящие от шин подстанций без постоянного дежурства персонала или телеуправления, а также ответственные линии других типов, которые могут работать в режиме одностороннего питания». Для организации двух циклов АПВ в терминале необходимо задать уставку «АПВ – Функция – 2крат».

Выдержка времени для первого цикла АПВ выбирается согласно п. 8.1.1. Уставка по времени для второго цикла АПВ определяется следующим условием: выдержка времени должна превосходить уставку первого цикла АПВ и

быть более 10-20 с, с целью обеспечения необходимой подготовки выключателя к отключению третьего КЗ в случае включения на устойчивое повреждение, задается уставкой «АПВ –  $T_{ав2}$ , с».

Время автоматического возврата согласно [12] определяется единственным условием: «необходимо, чтобы после успешного АПВ во втором цикле новое действие устройства происходило не раньше, чем это будет допустимо по условиям работы выключателя. В соответствии с опытом эксплуатации это время принимается не менее 60-100 с».

## 8.2 Выбор уставок для параллельных линий с односторонним питанием

8.2.1 Для параллельных линий с односторонним питанием рекомендуется применять на питающем конце «простое» однократное АПВ, без контроля по напряжению, на приемном конце однократное АПВ с контролем наличия напряжения на линии, для того чтобы избежать суммарно двойного включения выключателей на устойчивое КЗ внутри защищаемой линии.

### 8.2.2 Выбор выдержек времени АПВ на питающем и приемном концах параллельных линий

#### 8.2.2.1 Выбор уставки АПВ приемного конца

Расчетным при выборе времени срабатывания **АПВ без контроля по напряжению**, действующее на выключатель 2, является КЗ, при котором время действия защиты со стороны подстанции «А» будет максимальным, а со стороны подстанции «Б» – минимальным. Таковым случаем будет КЗ в точке К1 (см. рисунок 5). Согласно [12], в этом случае защита установленная на линии со стороны питания, действует с большей выдержкой времени, а со стороны приемной подстанции – без выдержки времени. Поэтому, время срабатывания АПВ выбирается по следующему выражению:

$$t_{АПВ1(2B)} \geq t_{ЗАЩ(1B)} - t_{ЗАЩ(2B)} - t_{B(2B)} + t_{д} + t_{ЗАП}, \quad (22)$$

где  $t_{ЗАЩ(1B)}$  – время срабатывания медленнодействующей ступени защиты выключателя 1 в случае отключения КЗ в точке К1;

$t_{ЗАЩ(2B)}$  – время срабатывания быстродействующей ступени защит выключателя 2 в случае отключения КЗ в точке К1;

$t_{B(2B)}$  – время включения выключателя 2.

Время деионизации и запаса принимается таким же как в п. 8.1.1.

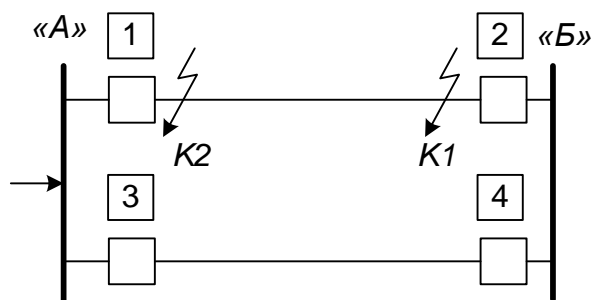


Рисунок 5 – Пример схемы электрической сети для расчета уставок АПВ

В том случае, если АПВ на приемном конце выполняется с контролем наличия напряжения на линии, выражение для расчета времени срабатывания выглядит следующим образом:

$$t_{АПВ1(2В)} \geq t_{ЗАЩ(1В)} - t_{ЗАЩ(2В)} - t_{В(2В)} + t_{Д} + t_{ЗАЩ\_БЫСТР.ДЕЙСТВ(1В)} + t_{ОТКЛ(1В)} + t_{ЗАП}, \quad (23)$$

где  $t_{ЗАЩ\_БЫСТР.ДЕЙСТВ(1В)}$  – время срабатывания ускоренной ступени защиты на выключателе 1;

$t_{ОТКЛ(1В)}$  – время отключения выключателя 1.

Большая выдержка времени для второго выключателя при выполнении АПВ с контролем напряжения на линии обусловлена тем, что в терминале «Сириус-3-ЛВ-03» контроль напряжения следует после набора выдержки времени АПВ (см. рисунок 6).

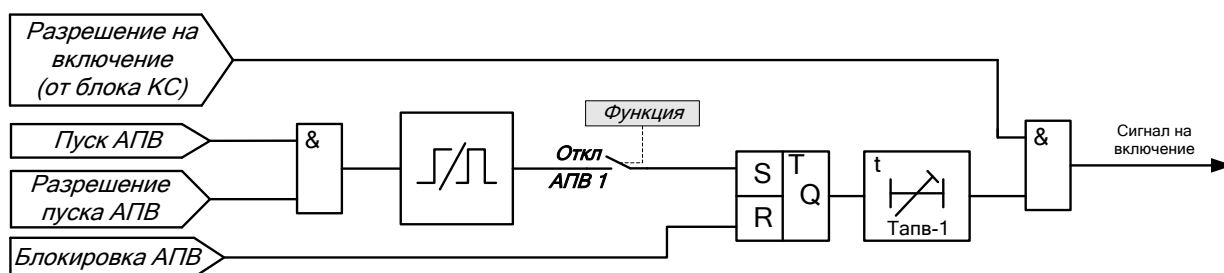


Рисунок 6 – Упрощенная функционально-логическая схема работы АПВ

Соответственно, после набора выдержки времени и получении сигнала «Разрешение на включение», т.е. выполнении условий АПВ, выдается команда на включение выключателя.

### 8.2.2.2 Выбор уставки АПВ питающего конца

Для выбора времени срабатывания АПВ, действующего на выключатель 1, необходимо рассмотреть случай КЗ, при котором времена действия релейной защиты линии будут: со стороны подстанции «А» – минимальным, со стороны подстанции «Б» – максимальным. Таким случаем будет КЗ в точке К2 (см. рисунок 5), вблизи шин подстанции «А». В этом случае, со стороны подстанции «А» будет срабатывать быстродействующая защита выключателя 1, со стороны подстанции «Б» защита будет действовать только после отключения выключателя 1. Поэтому, время срабатывания АПВ будет определяться следующим выражением:

$$t_{АПВ1(1В)} \geq t_{ЗАЩ(2В)} - t_{ЗАЩ(1В)} - t_{В(1В)} + t_{Д} + t_{ЗАП} \quad (24)$$

## 8.3 Выбор уставок для линий с двухсторонним питанием

8.3.1 Для ликвидации неустойчивого повреждения и деионизации среды в месте повреждения на линии с двухсторонним питанием необходимо отключать ее с обеих сторон. Следовательно, устройства АПВ устанавливаются по обоим концам линии при этом оба комплекта АПВ должны быть однократными.

8.3.2 Проектирование системы АПВ линии с двухсторонним питанием начинается с определения порядка включения выключателей. Выключатель с

одного из концов линии должен включаться первым. Для этого его АПВ должно производиться либо без всякого контроля, либо с контролем отсутствия напряжения на линии. АПВ на втором конце линии должно производиться либо с контролем наличия напряжения на линии (если применяется несинхронное автоматическое повторное включение (НАПВ)), либо с ожиданием синхронизма (АПВ ОС), либо с улавливанием синхронизма (АПВ УС). В терминале «Сириус-3-ЛВ-03» предусмотрена уставка «Контр. синхр. – Вид контр.» с помощью которой можно задать условия работы АПВ с контролем синхронизма или наличия напряжения на линии и шинах. Данная уставка принимает следующие значения: «КНН» – контроль наличия напряжения на линии и шинах; «УС» – включение от АПВ с улавливанием синхронизма; «ОС» – включение от АПВ с ожиданием синхронизма; «УС+ОС» – совместное использование улавливания и ожидания синхронизма при АПВ.

Выбор выключателя, включаемого первым, производится с учетом целого ряда обстоятельств:

- включаемому первым выключателю придется производить отключение при неуспешном АПВ;

- система, со стороны которой подается напряжение на линию, не должна терять динамическую устойчивость при неуспешном АПВ.

С учетом сказанного иногда в ходе эксплуатации возникает вопрос об изменении порядка включения выключателей. Желательно, чтобы это мог делать оперативный персонал без большого объема изменения уставок [10].

В устройстве предусмотрены специальные внешние дискретные входы «Режим 1 АПВ» и «Режим 2 АПВ» для изменения условий включения выключателя при АПВ.

8.3.3 Со стороны, выключатель которой включается первым, следует применить ускорение защит после АПВ и контроль отсутствия напряжения при вводе ускорения защит (такие возможности предусмотрены в терминале в группе «Ускорение при включении», уставкой «Контроль U»).

8.3.4 На выключателе, включаемом вторым, и определяется тип АПВ (НАПВ, АПВ ОС, АПВ УС или АПВ ОС+АПВ УС). На нем обязательно применение контроля отсутствия напряжения при ускорении защит. Это осуществляется переводом уставки «Уск. при вкл. – Контроль U» в положение «Вкл».

8.3.5 При выборе выдержек времени для АПВ линий с двухсторонним питанием необходимо учитывать особенности схемы соединения энергообъектов, последовательность и условия включения выключателей в режиме АПВ. Далее приводятся выражения для расчета выдержки времени АПВ выключателя, включаемого первым:

$$t_{АПВ1(1В)} = t_{ЗАЩ(2В)} - t_{ЗАЩ(1В)} + t_{ОТКЛ(2В)} - t_{ОТКЛ(1В)} + t_{Д} + t_{ЗАП} - t_{В(1В)}, \quad (25)$$

где  $t_{ЗАЩ(1В)}$  – наименьшая выдержка времени защиты первого выключателя при отключении КЗ вблизи шин своей подстанции;

$t_{ЗАЩ(2В)}$  – максимальная выдержка времени защиты второго выключателя, расположенного на противоположном конце линии, действующего на отключение КЗ вблизи первого выключателя;

$t_{\text{ОТКЛ}(1В)}$  – время отключения первого выключателя;

$t_{\text{ОТКЛ}(2В)}$  – время отключения второго выключателя;

$t_{\text{ЗАП}}$  – запас времени, учитывающий погрешности реле времени устройства АПВ и защиты (рекомендуемое значение 0,5-0,7 с);

$t_{\text{Д}}$  – время деионизации среды (рекомендуемое значение см. в п. 8.1.1);

$t_{\text{В}(1В)}$  – время включения первого выключателя.

При использовании односторонних выключателей с обеих сторон линии,  $t_{\text{ОТКЛ}(1В)}$  принять равным  $t_{\text{ОТКЛ}(2В)}$ .

Для выключателя, который включается вторым, выдержка времени срабатывания АПВ выбирается по следующему выражению:

$$t_{\text{АПВ}1(2В)} = t_{\text{АПВ}1(1В)} + t_{\text{ВВ.УСК.ЗАЩ}}, \quad (26)$$

где  $t_{\text{АПВ}1(1В)}$  – выдержка времени на срабатывание АПВ выключателя, который включается первым;

$t_{\text{ВВ.УСК.ЗАЩ}}$  – время, в течение которого введено ускорение защиты первого выключателя в случае отключения КЗ вблизи шин противоположной подстанции.

Время ввода ускорения защиты определяется по следующему выражению:

$$t_{\text{ВВ.УСК.ЗАЩ}} = t_{\text{В}(1В)} + t_{\text{В.З}(1В)} + t_{\text{ОТКЛ}(1В)} + t_{\text{ЗАП}}, \quad (27)$$

где  $t_{\text{В.З}(1В)}$  – время действия защиты с ускорением первого выключателя.

8.3.6 Наличие в цепи пуска АПВ контроля отсутствия (наличия) напряжения не избавляет от необходимости учета разновременности действия защит по выражению (25), ибо отбор напряжения с линии производится с одной фазы и напряжение может отсутствовать или присутствовать при еще не отключенном выключателе противоположного конца (отбор от поврежденной или неповрежденной фазы при однофазном КЗ).

8.3.7 Согласно [6], [10], [12], выдержку времени АПВ выключателя, включаемого первым после аварийного отключения линии, следует рассчитывать согласно выражению (25).

Учитывая рекомендации [6] и [12], выдержку времени АПВ выключателя, включаемого вторым, т.е. с контролем синхронизма или наличия напряжения на линии и шинах, следует рассчитывать согласно выражению (26), поскольку контроль синхронизма/напряжения осуществляется с помощью фазного/междуфазного напряжения и, следовательно, наличие синхронизма/напряжения может быть зафиксировано в неповрежденных фазах при неуспешном АПВ противоположного конца линии. Если выдержка времени АПВ будет выбрана согласно выражению (25), то это обусловит повторное включение линии с обоих концов.

8.3.8 Для сохранения ресурса выключателя рекомендуется проводить оперативную смену порядка включения линии при АПВ после аварийного отключения линии. Учитывая разновременные выдержки времени АПВ выключателей обоих концов линии, смену порядка включения выключателей, следуя

рекомендациям [6], необходимо производить «... путем оперативной замены существующих уставок на предварительно введенную в терминал группу уставок, соответствующую требуемому способу АПВ», а также оперативной сменой режима АПВ. Принцип смены набора уставок в терминале рассмотрен в п. 2.3.

8.3.9 При выборе уставок АПВ выключателя, включаемого вторым, следует исходить из следующего:

– НАПВ является самым простым и быстрым из возможных типов АПВ. Однако при применении НАПВ следует проверить его допустимость с точки зрения быстроты ресинхронизации и допустимости электромеханических моментов для основного оборудования энергосистемы. ([10], п. III-3-12). Методика проверки допустимости НАПВ определена директивными материалами 50-х годов прошлого века. Пример расчетов допустимости НАПВ, а также максимально допустимого угла включения выключателя приведены в [12], стр. 149–158, 177–178.

– При недопустимости НАПВ следует применять АПВ ОС на линиях с ограниченным числом обходных связей или АПВ УС на линиях без обходных связей.

– Существенным недостатком АПВ ОС является то, что оно работает только при весьма небольших разностях частот (обычно порядка 0,2 Гц). Такие условия обычно бывают только на линиях с обходными связями.

– АПВ УС работает при больших разностях частот (примерно до 2-х Гц), что делает его применимым на линиях без обходных связей. Однако АПВ УС по принципу не срабатывает при полном отсутствии разности частот, т.е. на линиях с многочисленными обходными связями.

– Учитывая многолетний положительный опыт эксплуатации в нашей стране комбинированных АПВ (АПВ ОС+ АПВ УС), в данном терминале предусмотрена возможность такой комбинации. Комбинированное АПВ применимо и на линиях с обходными связями, и на одиночных линиях. Если после отключения линии синхронизм сохранился, комбинированное АПВ работает как АПВ ОС. Если синхронизм не сохранился, устройство автоматически переходит в режим АПВ УС. При этом, АПВ УС функционирует при частотах скольжения между верхним пределом, отображаемый в меню «Контроль –  $\Delta F_{\text{макс}}_{\text{ус}}$ , и нижним пределом, равным уставки «Контр. синхр. –  $\Delta f(\text{АПВ ОС}), \text{Гц}$ ». АПВ ОС работает при частотах скольжения от нуля до значения, равного заданной уставке для АПВ ОС «Контр. синхр. –  $\Delta f(\text{АПВ ОС}), \text{Гц}$ ».

8.3.10 При АПВ УС необходимо контролировать следующие величины:

– **наличие (отсутствие) напряжения на линии и шинах.** Задаются уставками: «АПВ –  $U_{\text{МАКС. ШИН}}, U_{\text{МИН. ШИН}}, U_{\text{МАКС. ВЛ}}, U_{\text{МИН. ВЛ}}$ ». Рекомендуется выбирать уставку для максимальных реле напряжений на линии и шинах ( $U_{\text{МАКС ШИН}}, U_{\text{МАКС ВЛ}}$ ) – 0,7–0,8  $U_{\text{НОМ}}$ , а для реле минимального напряжения ( $U_{\text{МИН ШИН}}, U_{\text{МИН ВЛ}}$ ) – 0,4–0,5  $U_{\text{НОМ}}$ ;

– **разность модулей напряжений.** Задается уставкой «Контр. синхр. –  $\Delta U/U_{\text{НОМ}}$ ». Рекомендуется выбирать значение с учетом следующего выражения:

$$\Delta U / U_{НОМ} = K_H \cdot \left( \frac{U_{Л.МАКС}}{100} - \frac{U_{Ш.МИН}}{U_{НОМ.ШИН}} \right), \quad (28)$$

где  $K_H$  – коэффициент запаса – рекомендуемое значение 1,05

$U_{Л.МАКС}$  – максимальное расчетное вторичное линейное напряжение на отключенном конце линии;

$U_{Ш.МИН}$  – минимальное эксплуатационное расчетное вторичное линейное напряжение со стороны шин;

$U_{НОМ.ШИН}$  – номинальное напряжение входа, к которому подводится напряжение от ШОН, задается уставкой «*Параметры ТН – Уном.входа, В*»;

– **частоту скольжения.** В алгоритме АПВ УС частота скольжения рассчитывается автоматически исходя из значения максимально допустимого угла включения выключателя и времени опережения, и отображается в меню «*Контроль – ΔFмакс\_ус*»;

– **разность углов между двумя контролируруемыми напряжениями.** Задается уставкой «*Контроль синхронизма – Δφмакс\_доп,град*». Максимально допустимый угол включения выключателя рассчитывается исходя из выражений допустимости несинхронного АПВ (НАПВ). Значение рекомендуется принимать не более  $45^{\circ}$ .

Помимо перечисленных уставок, необходимо также задавать для АПВ УС **собственное время включения выключателя** уставкой «*Контр. синхр. – Tоп,с*».

8.3.11 АПВ ОС применяется при наличии ограниченного числа обходных связей. Рекомендуется применять АПВ ОС при скольжениях меньше 0,2 Гц.

Для АПВ с ожиданием синхронизма необходимо контролировать следующие величины:

– **наличие напряжения на линии и шинах.** Задаются уставками: «*АПВ – Uмакс. шин, В, Uмин. шин, В, Uмакс. вл, В, Uмин.вл, В*». Выбираются аналогично п. 8.3.10;

– **разность модулей напряжений.** Задается уставкой «*Контр. синхр. – ΔU/Uном*». Выбирается аналогично п. 8.3.10;

– **угол срабатывания реле контроля синхронизма при АПВ ОС.** Задается уставкой «*Контроль синхронизма – Δφ (АПВ ОС), град*». Рассчитывается по следующим выражениям:

$$\varphi_{СР.АПВ ОС} = k_H \cdot \varphi_{НАГР.МАКС}, \quad (29)$$

где  $\varphi_{НАГР.МАКС}$  – наибольший угол сдвига фаз сравниваемых напряжений, определяемый мощностью нагрузочного режима;

$k_H$  – коэффициент запаса, рекомендуется принимать равным 1,25–1,3 [12];

– **частоту скольжения.** Задается уставкой «*Контр. синхр. – Δf(АПВ ОС), Гц*». Следуя рекомендациям [12], уставку в первом приближении следует выбирать на основании схемы смежной сети, а именно:

– в случае применения АПВ ОС на важных межсистемных линиях, значение уставки должно быть задано 0,05 Гц;

– при использовании линии с большим количеством обходных связей значение уставки должно быть равно 0,1 Гц;

– при меньшем количестве обходных связей, примерно 1-2 линии, следует принять значение уставки равное 0,2 Гц.

Далее, принятое значение уставки АПВ ОС по частоте скольжения следует проверить по выражению:

$$f_{уст} \leq \frac{\varphi_{вкл. доп} - \varphi_{ср. АПВ ОС}}{360 \cdot t_{вкл}}, \quad (30)$$

где  $\varphi_{вкл. доп}$  – максимально допустимая ошибка включения выключателя, задаваемая уставкой «*Контр. синхр. –  $\Delta\varphi_{МАКС\_ДОП}$ , град*»;

$f_{уст}$  – выбранная уставка АПВ ОС по частоте скольжения.

В том случае, если неравенство не выполняется, значение уставки следует выбрать меньше или равное допустимой частоте скольжения.

8.3.12 Рекомендуемые в большинстве случаев значения уставок для АПВ ОС:

– для максимальных реле напряжений на линии и шинах («*U<sub>макс. шин, В</sub>*», «*U<sub>макс. вл, В</sub>*») – 0,7–0,8  $U_{ном}$ ;

– для реле минимального напряжения («*U<sub>мин. шин, В</sub>*», «*U<sub>мин. вл, В</sub>*») – 0,4–0,5  $U_{ном}$ ;

– угол срабатывания реле контроля синхронизма при АПВ ОС (« *$\Delta\varphi(АПВ ОС), гр$* ») – 20 – 30 град.;

– разность модулей напряжений реле контроля синхронизма при АПВ ОС (« *$\Delta f(АПВ ОС), Гц$* ») – 30%.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)

Расчетные выражения для выбора параметров срабатывания отдельных ступеней дистанционной защиты от междуфазных коротких замыканий

### 1 Выбор уставок первой и второй ступеней ДЗ

В таблице А.1 дана краткая сводка расчетных выражений для выбора параметров срабатывания первых двух ступеней дистанционной защиты. Сводка составлена на основании [4].

Несмотря на то, что источник [4] ориентирован на защиты из состава шкафа ШДЭ-2801, предлагается для защит терминала «Сириус-3-ЛВ-03» использовать те же расчетные выражения, поскольку характерной чертой и шкафа ШДЭ, и терминала является ограничение характеристик ИО ступеней сверху практически горизонтальной прямой линией. Более точно верхняя граница характеристики ИО шкафа ШДЭ наклонена к горизонтали под углом 5 градусов, а верхние границы характеристик ИО терминала наклонены к горизонтали под углом 8 градусов. Углы наклона незначительны, поэтому в первом приближении граничные линии можно считать горизонтальными, что позволяет не учитывать разницу между углом максимальной чувствительности и углом сопротивления на зажимах реле при КЗ. В методике выбора уставок шкафа ШДЭ это отразилось в допустимости принятия входящего в расчетные выражения коэффициента  $d$  равным 1. В [4] утверждается, что подобное упрощение даже создает дополнительный запас по отстройке. То же самое допустимо и для характеристик терминала. Поэтому в приведенных в таблице А.1 расчетных выражениях коэффициент  $d$  принят равным единице. Более того, пренебрежение наклоном верхней граничной линии позволяет вести все расчеты по выражениям таблицы А.1 не с комплексными сопротивлениями  $\underline{Z}$ , а с их реактивными составляющими  $X$ , то есть вести вычисления с действительными числами.

Согласно [1] и [4] выбор первичных сопротивлений срабатывания первой ( $X'_{с.з.}$ ) и второй ( $X''_{с.з.}$ ) ступеней ДЗ линий 110–330 кВ во многом определяется конфигурацией защищаемой электрической сети. Поэтому расчетные выражения таблицы А.1 привязаны к следующим схемам:

- одиночные линии (рисунок А.1);
- двухцепные линии (рисунок А.2);
- линии, работающие по схеме блока «трансформатор (автотрансформатор)–линия», для случая, когда защита линии подсоединяется к измерительному ТН, установленному со стороны обмотки низшего или среднего напряжения трансформатора (рисунок А.3).

Кроме того, при проектировании указанных ступеней ДЗ рассматриваются варианты первичных схем, отличающихся между собой конфигурацией, наличием «подпиток», наличием поперечных защит на параллельных линиях и т.д.

Выражения для параметров срабатывания первой и второй ступеней ДЗ получены для случая металлического КЗ и действительны при использовании защиты как в качестве основной, так и в качестве резервной.

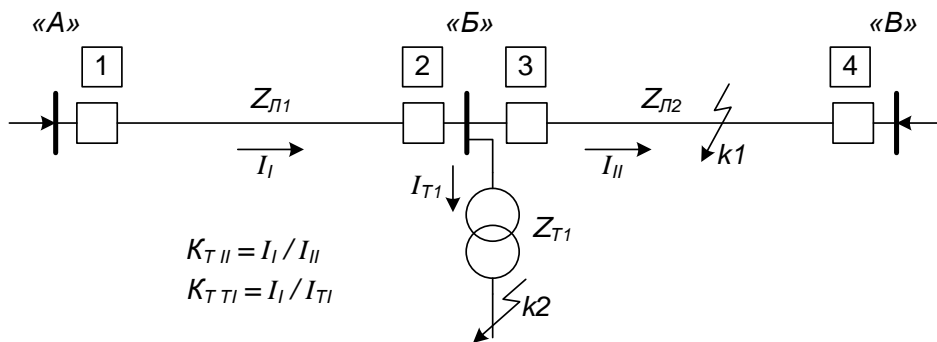


Рисунок А.1, а

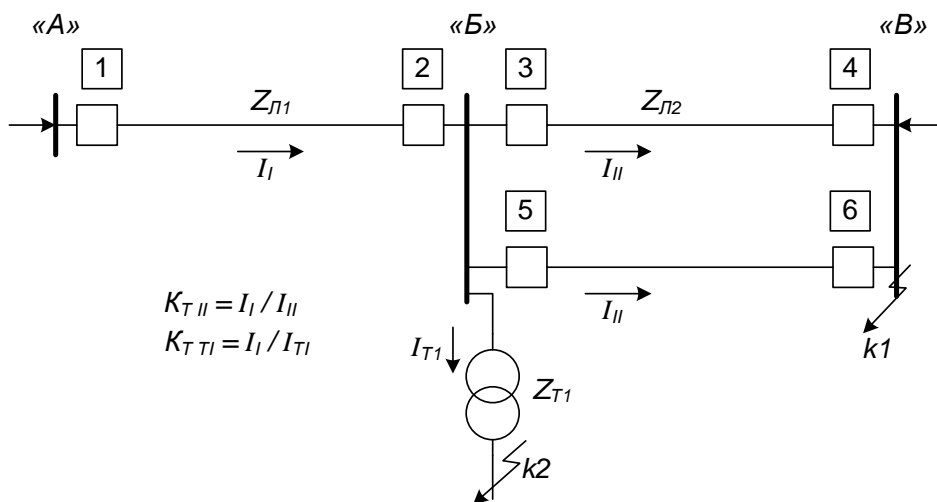


Рисунок А.1, б

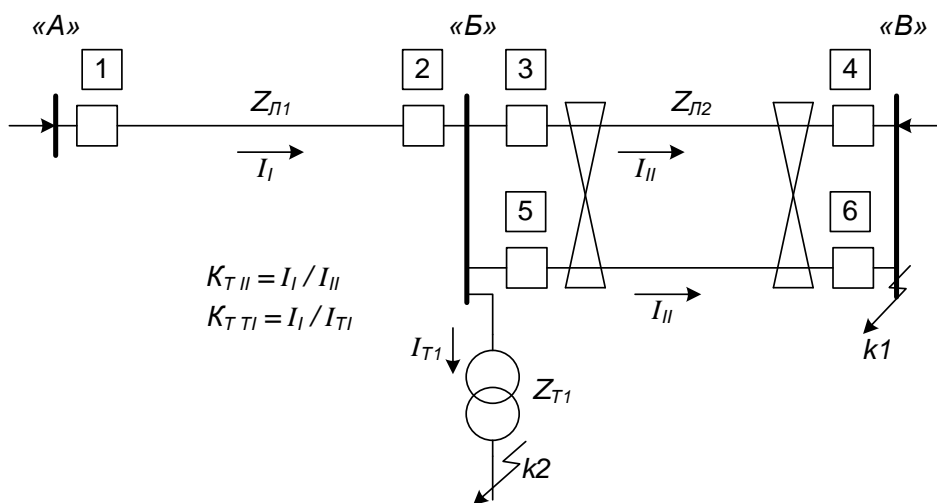


Рисунок А.1, в

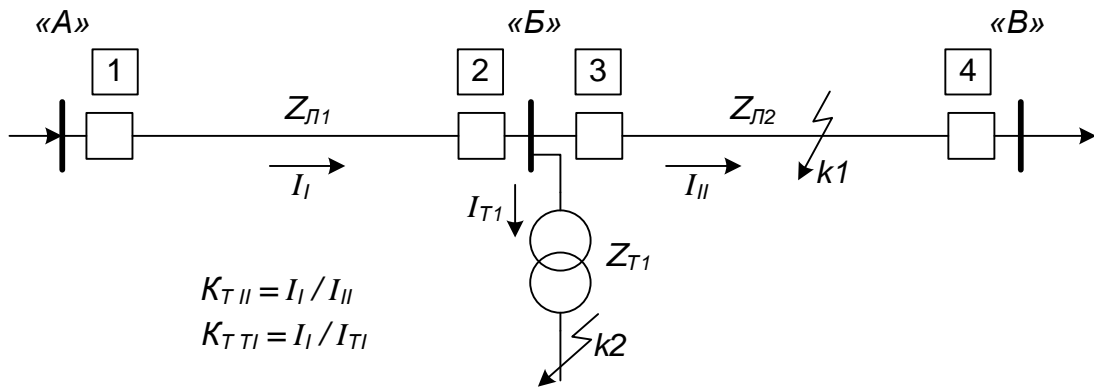


Рисунок А.1, г

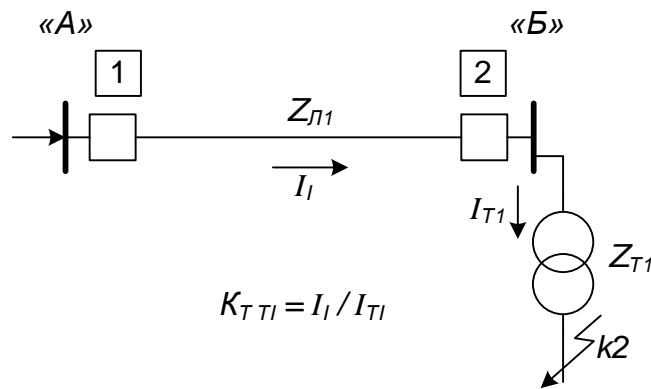


Рисунок А.1, д

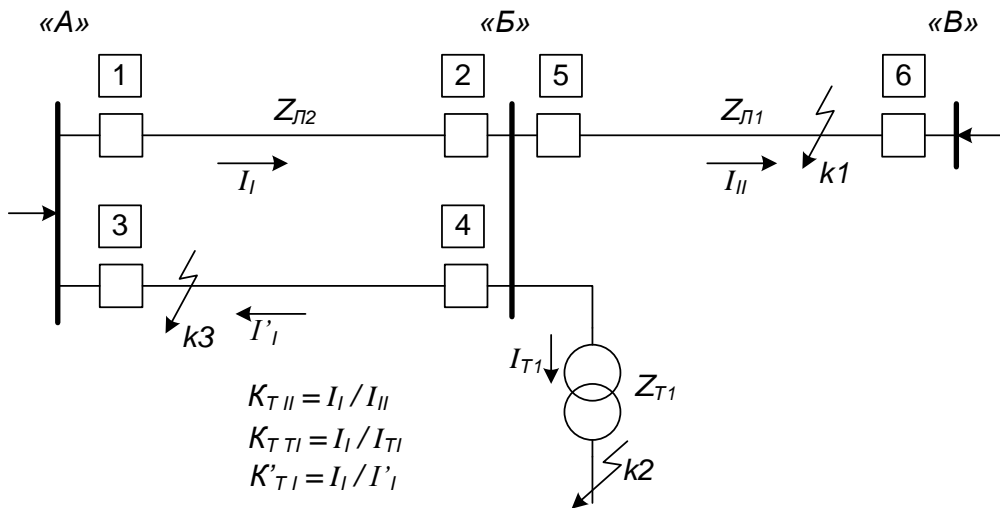


Рисунок А.2, а

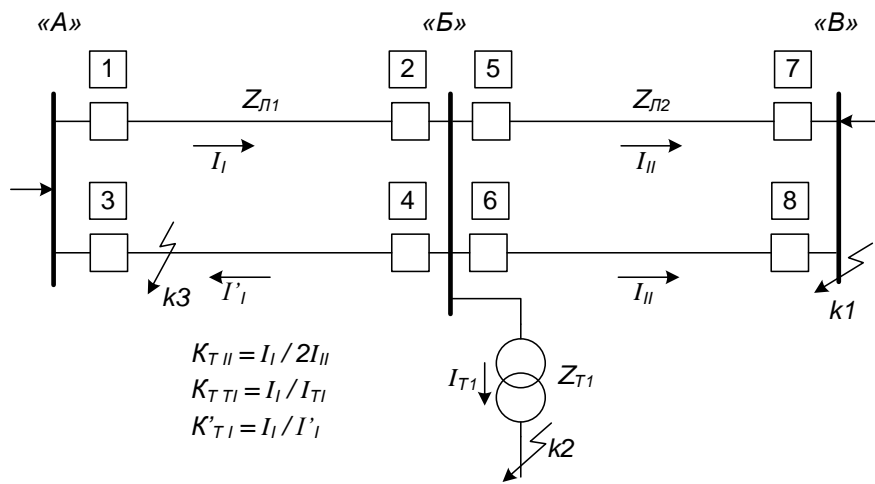


Рисунок А.2, б

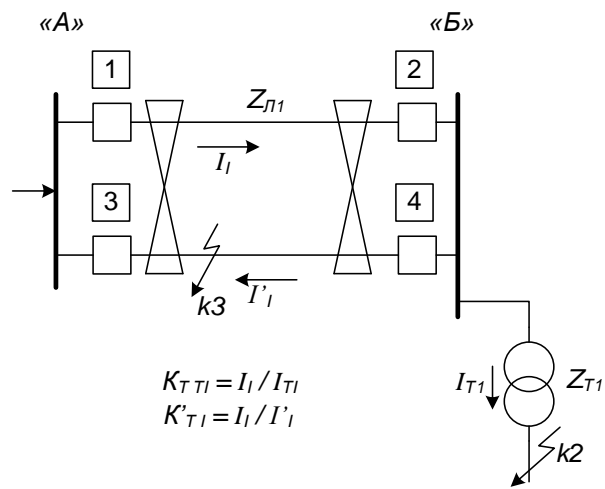


Рисунок А.2, в

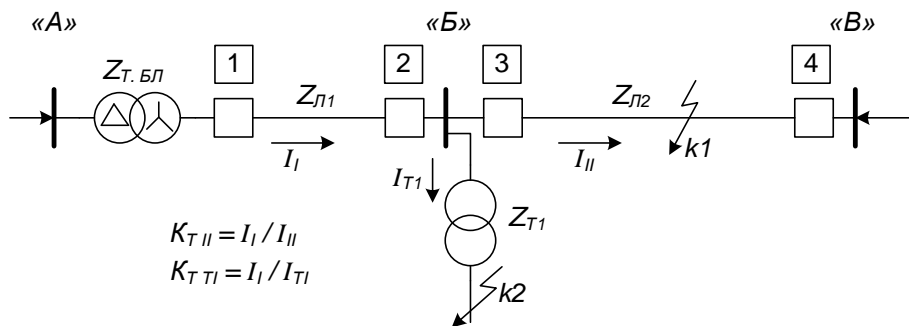


Рисунок А.3, а

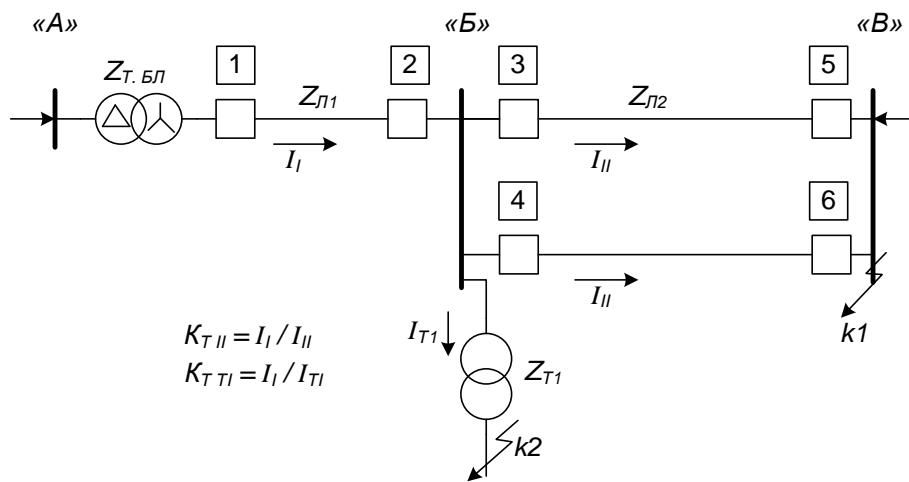


Рисунок А.3, б

Таблица А.1 – Расчетные выражения для выбора уставок 1 и 2-й ступеней ДЗ

Параметр срабатывания	Расчетное условие	Схема сети	Расчетные выражения
$X'_{с.з}$	Отстройка от КЗ на шинах подстанции, примыкающей к противоположному концу линии	Рисунок А.1, а–г	$X'_{с.з.} \leq \frac{1}{K_{отс}} X_{л1}$ П1
		Рисунок А.3, а, б	$X'_{с.з.} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{т.бл} + X_{л1})$ П2
	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения тупиковой подстанции, примыкающей к противоположному концу линии	Рисунок А.1, д	$X'_{с.з.} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{л1} + X_{т1})$ П3
Время срабатывания $t''_{с.з}$	Отстройка от времени срабатывания быстродействующей защиты смежного элемента с учетом УРОВ		$t''_{с.з.1} \geq t_{с.з. \text{ БЫСТР.}} + \Delta t + t_{УРОВ}$ П4
	Отстройка от периода асинхронного режима		$t''_{с.з.2} \geq T_{ас. \text{ РЕЖ.}}$ П5
$X''_{с.з}$	1. Отстройка от КЗ в конце зоны действия первой ступени защиты предыдущей линии	Рисунок А.1, а, г Рисунок А.2, а	$X''_{с.з.1} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{л1} + \frac{1-\alpha}{K_{тII}} X'_{с.з.3(5)})$ П6
		Рисунок А.3, а	$X''_{с.з.1} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{тБл} + X_{л1} + \frac{1-\alpha}{K_{тII}} X'_{с.з.3})$ П7
	2. Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения тупиковой подстанции, примыкающей к противоположному концу линии	Рисунок А.1, а–г, Рисунок А.2, а–в	$X''_{с.з.1} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{л1} + \frac{X_{т1}}{K_{тТ1}})$ П8
		Рисунок А.3, а, б	$X''_{с.з.1} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{тБл} + X_{л1} + \frac{X_{т1}}{K_{тТ1}})$ П9
	3. Отстройка от КЗ на шинах подстанции, примыкающей к дальнему концу предыдущей линии	Рисунок А.1, б, в, Рисунок А.2, б	$X''_{с.з.1} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{л1} + \frac{0.5}{K_{тII}} X_{л2})$ П10

Сопротивление срабатывания $X''_{C.3}$	4. Отстройка от КЗ в конце зоны действия первой ступени защиты, установленной на противоположном конце параллельной линии, при каскадном отключении повреждения на ней	Рисунок А.2, а, б	$X''_{C.3.1} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{Л1} + \frac{1-\alpha}{K'_{Т1}} X'_{C.3.4})$	П11
	5. Отстройка от КЗ в конце зоны действия первой ступени защиты предыдущей линии при выполнении ее с помощью ТО, отсечки по напряжению или комбинированной отсечки по току и напряжению	Рисунок А.1, а, г	$X''_{C.3.1} \leq \frac{1}{K_{отс}} (X_{Л1} + \frac{X_{РАС}}{K_T})$	П12
Граничная точка правой боковой стороны ИО 1-й и 2-й ступеней $R_{ПФФ}$	Отстройка от минимально возможного вектора сопротивления нагрузки в послеаварийном нагрузочном режиме с учетом самозапуска двигателей		$R_{ПФФ} < R_{НАГР.} - \frac{X_{НАГР.}}{tg\varphi}$	П13
	Рекомендованное фирмой ограничение ширины характеристики		$R''_{ПФФ} < 0,75 \cdot X''_{ФФ},$ $n = 1, 2 \text{ (соответственно 1-я и 2-я ступени)}$	П14

Примечания:

- 1 Расчетные выражения (П1–П12) составлены для защиты №1 (см. рисунки А.1–А.3).
- 2  $t_{C.3 \text{ БЫСТР}}$ ,  $t_{УРОВ}$  и  $T_{АС. РЕЖ.}$  – времена срабатывания быстродействующей защиты смежного элемента, УРОВ и время периода асинхронного режима.
- 3 Коэффициент отстройки  $K_{отс}$  можно принимать равным 1,15 [4].
- 4 Коэффициент  $\alpha$  в формулах (П6), (П7) и (П11) учитывает погрешности измерительных ТТ и ТН, а также входных цепей терминала в сторону уменьшения защищаемой зоны (принимается  $\alpha = 0,1$ ).
- 5 Формулы для определения коэффициентов токораспределения  $K_T$  приведены в подписях к рисункам А.1–А.3.
- 6 Расчетные выражения для схем с двухцепными линиями даны для случая равенства между собой сопротивлений параллельных линий одного участка.

## 2 Особенности выбора сопротивления срабатывания второй ступени

2.1 Под сопротивлениями трансформаторов, входящими в расчетные выражения следует понимать минимально возможное (с учетом регулирования напряжения) эквивалентное сопротивление трансформатора, приведенное к стороне высшего напряжения.

2.2 Согласование второй ступени защиты с первой ступенью защиты предыдущей линии при выполнении последней с помощью ТО, отсечки по напряжению или комбинированной отсечки по току и напряжению производится по выражению (П12). При этом под  $X_{РАС}$  подразумевается сопротивление зоны, устойчиво (с коэффициентом  $K_{\text{ч}} = 1,1$ ) охватываемой защитой, с которой производится согласование при металлическом КЗ. Определение этой зоны возможно графически способом, рассмотренным в [1, 4].

2.3 Коэффициенты токораспределения  $K_T$  в расчетных выражениях (П.6)–(П.12) определяются как отношение первичного тока в месте установки защиты к току в смежном с защищаемым участком элементе сети. Эти коэффициенты должны рассчитываться в таком реально возможном режиме работы, в котором они максимальны. Практически это означает, что при каждом расчете необходимо искать режим, в котором через защиту проходит наибольшая доля тока в смежном элементе. Обычно это бывает при максимальном режиме работы эквивалентной системы «за спиной» защиты и при минимальном количестве включенных обходных связей. В частности, при расчете уставок защиты двухцепной линии следует рассмотреть режим с отключением параллельной цепи. Токи КЗ при определении расчетного значения указанных коэффициентов могут рассчитываться для начального момента возникновения КЗ:  $t_{\text{КЗ}} = 0$ .

2.4 При выборе сопротивления срабатывания второй ступени защиты параллельных линий (см. рисунки А.2, а, б) необходимо учитывать следующее:

— согласование с первой ступенью защиты предыдущей линии (защиты № 5, рисунок А.2, а) в соответствии с (П7) должно производиться при отключении второй параллельной линии на участке *подстанция «А» – подстанция «Б»*;

— отстройка от КЗ на шинах подстанции, примыкающей к дальнему (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу предыдущей линии (рисунок А.2, б), учитывающая случаи выведения из действия предусмотренной для шин специальной защиты, ее отказ или отсутствие последней, в соответствии с (П10) должна производиться в режиме, когда на рассматриваемом участке *подстанция «А» – подстанция «Б»* работает одна линия, а на предыдущем участке *подстанция «Б» – подстанция «В»* – две линии;

— отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу линии (в схемах по рисунок А.2, а-в) в соответствии с (П8) должна производиться в режиме, когда на рассматриваемом участке *подстанция «А» – подстанция «Б»* работает одна линия. В схемах по рисунок А.2, б, кроме указанного, дополнительно должен рассматриваться также режим работы одной линии на участке *подстанция «Б» – подстанция «В»* (при этом

расчетным явится тот режим, которому будет соответствовать больший коэффициент токораспределения).

2.5 Чувствительность второй ступени ДЗ оценивается по коэффициенту чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{с.з.}}^{\text{II}}}{Z_3},$$

где  $Z_3$  – первичное сопротивление в месте установки защиты при металлическом КЗ в конце защищаемой линии в режиме, при котором это сопротивление имеет наибольшее значение;

$Z_{\text{с.з.}}^{\text{II}}$  – сопротивление срабатывания второй ступени ДЗ, выбранное по (П1) – (П12).

На линиях, не имеющих ответвлений, с односторонним и двухсторонним питанием значение сопротивления в  $Z_3 = Z_{\text{л}}$ .

В соответствии с [7] значение коэффициента чувствительности  $K_{\text{ч}}$  второй ступени должно иметь величину не менее 1,25.

2.6 В тех случаях, когда вторая ступень защиты, выбранная в соответствии с расчетными условиями, приведенными в таблице А.1, не обеспечивает требуемую чувствительность, ее сопротивление срабатывания и выдержку времени необходимо выбрать с учетом следующего [4]:

а) если определяющим значение сопротивления срабатывания было условие согласования с первой ступенью защиты предыдущей линии (выражение (П7)), то согласование должно производиться со второй ступенью этой же защиты с одновременным согласованием по времени;

б) если определяющим было условие отстройки от КЗ за автотрансформаторами на шинах среднего (высшего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемой линии (выражения (П8) – (П9)), то на этих автотрансформаторах следует предусмотреть ДЗ, согласованную с первыми ступенями ДЗ линий, питающихся от шин среднего (высшего) напряжения указанной подстанции, а рассматриваемое условие должно быть заменено согласованием с ДЗ, установленной на автотрансформаторе. Однако, если указанное потребует установки двух панелей ДЗ на автотрансформаторе с высшим напряжением 220 кВ, то следует попытаться ограничиться установкой одной панели, отстроив вторую ступень ДЗ линии от КЗ на шинах среднего (высшего) напряжения только в нормальном нагрузочном режиме, когда включены все линии, примыкающие к данной подстанции. Если при этом обеспечивается чувствительность второй ступени защиты линии, то на автотрансформаторе предусматривается только одна панель ДЗ, но при этом дифференциальная защита шин среднего (высшего) напряжения может выводиться из работы только в нормальном нагрузочном режиме, который рассматривался в качестве расчетного (при выводе из работы дифференциальной защиты шин в других режимах вводится оперативное ускорение резервных защит автотрансформатора, предотвращающее неселективное действие рассматриваемой второй ступени защиты линии при КЗ на шинах);

в) если определяющим было условие отстройки от КЗ за трансформатором на шинах низшего или среднего напряжения подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу защищаемой линии (выражения (П8) – (П9)), то это условие должно быть заменено согласованием с быстродействующими ступенями защит элементов стороны низшего или среднего напряжения рассматриваемой подстанции, а при отсутствии таковых - со ступенями, имеющими наименьшие выдержки времени;

г) если определяющим было условие отстройки от КЗ на шинах подстанции, примыкающей к дальнему (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу предыдущего участка, состоящего из двух параллельных линий (выражение (П10)), то:

— в схемах по рисунку А.1, б-в выбор уставок и по сопротивлению, и по времени должен производиться по условию согласования со второй ступенью защиты линии предыдущего участка. Если и в этом случае условие чувствительности не обеспечивается или если вторая ступень защиты линий предыдущего участка имеет большую выдержку времени и, следовательно, согласование с ней приводит к чрезмерному увеличению времени действия второй ступени защищаемого участка, то при наличии специальной защиты шин условие отстройки от КЗ на шинах подстанции, примыкающей к дальнему концу предыдущего участка, допустимо не учитывать и сопротивление срабатывания рассматриваемой ступени защиты принимать исходя из условия обеспечения минимального значения коэффициента чувствительности  $K_{\text{ч}}$  в соответствии с п. 2.5. При этом вторая ступень рассматриваемой защиты в схемах по рисункам А.1, б-в должна быть согласована с первой ступенью защиты № 3 при каскадном отключении повреждения на участке *подстанция «Б» – подстанция «В»*. При согласовании должен быть учтен коэффициент возврата дистанционного органа второй ступени защиты № 1, поскольку он может сработать до начала каскадного отключения. Согласование производится по условию (П7), но знаменатель правой части выражения (П7) должен быть умножен на коэффициент возврата  $K_B = 1.05$ .

Если и в этом случае вторая ступень рассматриваемой защиты не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно ее сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать по условию согласования со второй ступенью защиты линии предыдущего участка.

### 3 Уставки третьей ступени ДЗ

#### 3.1 Характеристика ИО третьей ступени ДЗ

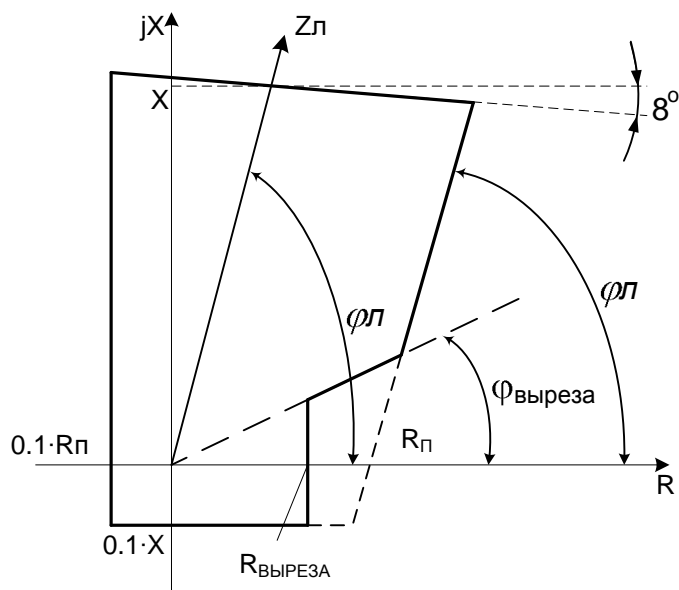


Рисунок А.4 – Характеристика ИО третьей ступени ДЗ терминала «Сириус-3-ЛВ-03»

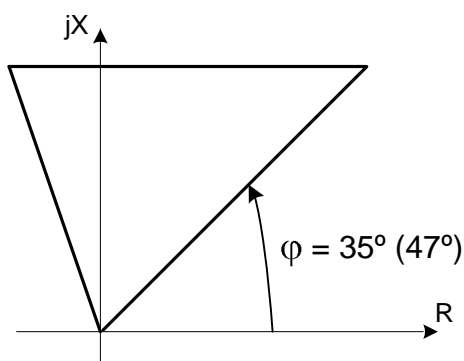


Рисунок А.5 – Характеристика ИО третьей ступени защиты ШДЭ-2801

Характеристика ИО третьей ступени ДЗ показана на рисунке А.4. Ближайшим аналогом является треугольная характеристика защиты ШДЭ, показанная на рисунке А.5. Существенные отличия имеются только в нижней части характеристики, что было вызвано желанием увеличить чувствительность к переходным сопротивлениям при КЗ вблизи начала линии. Для сохранения направленности ИО может контролироваться специальным органом направления мощности, функционирующим только при КЗ вблизи начала линии. Ввод контроля направленности обязателен при использовании ИО в схеме ВЧТО (сигналы № 1 и 2).

Выбор уставок ИО преследует две цели:

— обеспечение срабатывания ИО при КЗ в конце зоны дальнего резервирования;

— обеспечение несрабатывания ИО в нагрузочном режиме и в режиме самозапуска двигателей при успешном АПВ.

Далее рассматриваются сопротивления на зажимах ИО в указанных режимах.

### 3.2 Сопротивления на зажимах ИО при КЗ в конце зоны резервирования.

В зону дальнего резервирования обычно включаются линии, примыкающие к подстанции противоположного конца защищаемой линии и трансформаторы этой подстанции. Например, для защиты 1 сети по рисунку А.2, б в зону резервирования следует включить трансформатор подстанции «Б», линии участка подстанция «Б» – подстанция «В» и параллельную защищаемой линию в режиме каскадного отключения. При КЗ за смежным элементом с сопротивлением  $\underline{Z}_{CM}$  замер ИО равен:

$$\underline{Z}_3 = \underline{Z}_{Л1} + \frac{\underline{Z}_{CM}}{K_{T CM}}. \quad (\text{П15})$$

Введем обозначение:  $\Delta \underline{Z} = \frac{\underline{Z}_{CM}}{K_{T CM}}$ . Тогда:  $\underline{Z}_3 = \underline{Z}_{Л1} + \Delta \underline{Z}$ .

Коэффициенты токораспределения для каждого места КЗ определяются отношением тока в защите к току в поврежденном элементе. В общем случае коэффициенты являются комплексными величинами и только в частном случае (при пренебрежении током нагрузочного режима) они становятся вещественными. Например, если в схеме рисунок А.2, б линии Л1 и Л2 имеют одинаковую длину, системы, примыкающие к подстанциям «А» и «В», имеют одинаковую мощность, а ЭДС систем равны и совпадают по фазе, то по всем четырем линиям подтекают к месту КЗ одинаковые токи и  $K_{T T1} = 0,25$ . При КЗ за трансформатором сопротивление на зажимах ИО равно:  $\underline{Z}_{3, T} = \underline{Z}_{Л1} + 4 X_{T1}$ .

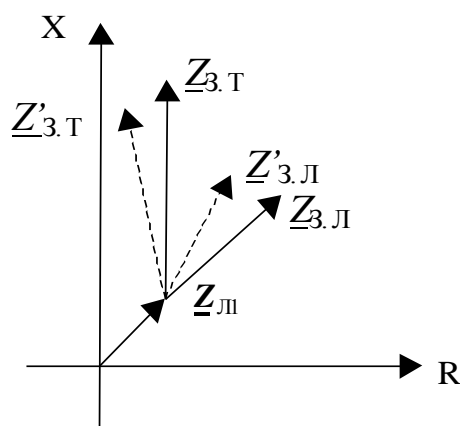


Рисунок А.6 – Сопротивления на зажимах ИО при КЗ за трансформатором и за смежной линией.

Соответствующие диаграммы сопротивлений для случаев КЗ за трансформатором и за смежной линией показаны на рисунке А.6. При отсутствии токов нагрузочного режима коэффициенты токораспределения вещественны и сопротивление смежного элемента прибавляется к сопротивлению линии без

изменения угла. В результате при КЗ за трансформатором на зажимах ИО существует сопротивление  $Z_{3.T}$ , а при КЗ за линией – сопротивление  $Z_{3.L}$ . Под влиянием составляющих нагрузочного режима меняется угол «добавочного» сопротивления. Результирующие сопротивления меняются и становятся равны  $Z'_{3.T}$  и  $Z'_{3.L}$ . На передающем конце линии нагрузочные составляющие поворачивают вектор  $\Delta Z$  по часовой стрелке. На приемном конце – против часовой стрелки. Это объясняет целесообразность расширения характеристик изображенных на рисунках А.4 и А.5 сверху на сильно нагруженных линиях.

3.3 Сопротивления на зажимах ИО в нагрузочном режиме и в режиме самозапуска после АПВ.

Согласно [1, 4] сопротивление на зажимах ИО в нагрузочном режиме и в режиме самозапуска определяется по выражениям:

$$Z_{НАГР.} = \frac{U_{МИН}}{\sqrt{3} \cdot I_{РАБ.МАКС.}}, \quad (\text{П16, а})$$

$$Z_{САМОЗАП.} = \frac{U_{МИН}}{\sqrt{3} \cdot k_{САМОЗАП.} \cdot I_{РАБ.МАКС.}}, \quad (\text{П16, б})$$

где  $k_{САМОЗАП.}$  – коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске. Согласно [1] может приниматься равным 1,5-2 в зависимости от конкретных условий. В литературе имеются рекомендации принимать для линий 330 кВ и выше  $k_{САМОЗАП.} = 1$ .

Согласно [1]  $U_{МИН} \approx 0,9 \cdot U_{НОМ}$  в нагрузочном режиме, а в режиме самозапуска  $(0,7-0,8) \cdot U_{НОМ}$ . Расположение вектора  $Z_{НАГР.}$  на комплексной плоскости определяется соотношением активной и реактивной мощностей нагрузочного режима:

$$\text{tg } \varphi_{НАГР} = Q_{НАГР.} / P_{НАГР.} \quad (\text{П17})$$

Соответственно на передающем конце линии сопротивление нагрузочного режима лежит в первом квадранте комплексной плоскости, на приемном – во втором или в третьем квадрантах. Считается, что сопротивление в режиме самозапуска лежит под углом  $(10-30)^\circ$  к оси R. Характеристика изображенная на рисунке А.5 отстраивается от срабатывания в режиме самозапуска и в нагрузочном режиме на передающем конце углом наклона правой граничной линии:

$$\gamma \geq \varphi_{НАГР.} + \varphi_{ДОП.} \quad (\text{П18})$$

где  $\varphi_{ДОП.}$  – дополнительный угол, который должен превышать с запасом сумму погрешностей характеристики срабатывания по углу  $\gamma$ , погрешности расчета нагрузочного режима, погрешностей измерительных ТТ и ТН. Согласно [4] принимается равным  $12^\circ$ .

У защит типа ШДЭ возможна установка одного из двух значений угла  $\gamma$ :  $35^\circ$  или  $47^\circ$ . Обычно этих значений достаточно для отстройки от срабатывания в режиме самозапуска, а в большинстве случаев и в нагрузочном режиме. Очевидно, тот же подход применим и для выбора угла  $\varphi_{ВЫРЕЗА}$  у характеристики по рисунку А.4, если для улучшения отстройки от рассматриваемых режимов используется вырез характеристики.

Предполагается, что на приемном конце линии отстройка от срабатывания в нагрузочном режиме обеспечена тем, что характеристики по рисункам А.4 и А.5 практически не заходят во второй и третий квадранты комплексной плоскости.

### 3.4 Выбор параметров характеристики третьей ступени ДЗ

Рекомендуется следующий порядок выбора параметров характеристики по рисунку А.4:

— Определяются границы зоны дальнего резервирования, намечаются расчетные точки КЗ. Обычно это концы всех линий, отходящих от подстанции противоположного конца линии, шины НН трансформаторов этой подстанции. Если защищаемая линия имеет ответвления, то и шины НН трансформаторов ответвления. Для каждой из выбранных точек определяется расчетный режим. Поскольку целью является обеспечение нормированной чувствительности в конце зоны резервирования ( $K_{\text{Ч}} \geq 1,2$ ), для каждой точки намечается расчетный режим. Общий принцип выбора режима: через рассматриваемую защиту должна идти наименьшая доля тока в резервируемом элементе. Поэтому у защищаемой линии должно быть включено максимальное число обходных связей, а у резервируемого элемента – минимальное. В частности, в схемах по рисунку А.2 должна быть включена линия, параллельная защищаемой, а у резервируемой линии в пределе целесообразно рассмотреть режим каскадного отключения. В соответствии с общепринятой практикой рассматриваются металлические КЗ в пренебрежении токами нагрузочного режима. Однако для выбора ширины характеристики на сильно нагруженных линиях рекомендуется рассмотреть и режимы максимальных нагрузок (современные программы расчета ТКЗ позволяют сделать это для линий, расположенных вблизи станций, варьируя величины и фазы ЭДС источников).

— Для каждой намеченной точки КЗ и для каждого из намеченных режимов производится расчет токов КЗ с целью определения коэффициентов токораспределения. Затем определяется сопротивление на зажимах ИО защиты по выражению (П15).

— Если было рассмотрено  $N$  режимов, то в общем случае расчеты дают  $N$  значений сопротивления на зажимах ИО защиты, причем для  $i$ -го замера:

$$\underline{Z}_{i3} = R_i + jX_i. \quad (\text{П18})$$

— Для того, чтобы в рассматриваемом режиме обеспечивалась чувствительность третьей ступени, положение верхней граничной линии характеристики должно определяться условием:

$$X_i^{\text{III}} \geq 1,2 \cdot X_i. \quad (\text{П19})$$

— Из всех  $N$  полученных по (П19) значений следует выбрать максимальное – это обеспечит чувствительность во всех точках конца зоны резервирования.

— Для обеспечения того же коэффициента чувствительности по оси  $R$ , положение правой граничной линии характеристики должно определяться условием:

$$Rn_i \geq 1,2 \cdot (R_i - X_i \cdot \cos \varphi_{\text{Л}}) \quad (\text{П20})$$

— Из всех полученных значений  $Rn_i$  тоже следует выбрать максимальное.

Следует оценить отстроенность характеристики с полученными параметрами от срабатывания в нагрузочных и послеаварийных режимах.

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.

Рабочий нагрузочный режим характеризуется сопротивлением на зажимах, величина и угол которого определяются выражениями (П16, а) и (П17). На приемном конце линии сопротивление лежит во втором квадранте и несрабатывание ИО в нагрузочном режиме обеспечивается самой формой характеристики. Несрабатывание ИО без выреза в характеристике в этом режиме на питающем конце линии обеспечивается, если выполняется условие (П13). При одновременном выполнении (П20) и (П13) можно применять ИО с найденной шириной характеристики и без выреза.

Режим самозапуска характеризуется сопротивлением на зажимах, величина которого определяется по (П16, б), а угол равен  $(10-30)^\circ$ . Классическим способом отстройки от срабатывания при самозапуске является отстройка по углу по выражению (П18). Положительный опыт эксплуатации защит типа ШДЭ2801 свидетельствует, что при угле наклона правой границы в  $35^\circ$  или  $47^\circ$  практически на любой линии обеспечено несрабатывание третьей ступени в режиме самозапуска. Эти уставки и могут быть рекомендованы для угла  $\varphi_{\text{ВЫРЕЗА}}$  при применении характеристики с вырезом. Кроме того, при применении выреза следует определить параметр  $R_{\text{ВЫРЕЗА}}$ . Расчетное выражение:

$$R_{\text{ВЫРЕЗА}} \leq R_{\text{САМОЗАПУСКА}} \quad (\text{П21})$$

Опыт эксплуатации защит ШДЭ 2801 показал, что особое внимание следует обратить на режимы выдачи по линии почти одной реактивной мощности, когда угол сопротивления нагрузки больше  $47^\circ$ . Характеристика по рисунку А.5 может быть отстроена от такого режима только опусканием верхней граничной линии. Если верхняя граничная линия выбрана только по (П19) – только по условию чувствительности, то появляется опасность срабатывания в режиме выдачи реактивной мощности, если возможность такого режима не была учтена при выборе уставок.

В [4] рекомендуется проводить отстройку от такого режима по выражению:

$$X_{\text{С.З.}}^{\text{III}} \leq \frac{Z_{\text{НАГР}} \cdot \sin \varphi_{\text{НАГР.}}}{K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{В}}} \quad (\text{П22})$$

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

$$X_{\text{С.З.}}^{\text{III}} \leq 0,758 \cdot X_{\text{НАГР.}} \quad (\text{П23})$$

Окончательное решение о положении верхней граничной линии должно приниматься после сравнения результатов вычислений по (П19) и по (П23).

Этот подход рекомендован в [4] для характеристики по рисунку А.5. Очевидно, он же применим и для характеристики по рисунку А.4.

3.5 Проверка чувствительности второй и третьей ступеней и проверка чувствительности по току точной работы проводится в соответствии со стандартными методиками, описанными в [1] и [4].

## *Литература:*

- 1 Руководящие указания по релейной защите. Вып.7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ.–М.: «Энергия», 1966.
- 2 Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем.–М.: «Энергия», 1976.
- 3 Руководящие указания по релейной защите. Вып.12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ.–М.: «Энергия», 1980.
- 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 1. Рекомендации по расчету защит ВЛ 110-220 кВ.
- 5 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.
- 6 Методические указания по расчетам и выбору уставок микропроцессорных защит ВЛ 110-220 (330)-750 кВ от всех видов КЗ типов REL511 и REL521. Отчет инст. «Энергосетьпроект», № 23тм, Москва, 2000.
- 7 Фабрикант В.Л., Шабанов В.А., Шнейдер Я.А. Выбор уставок дистанционной защиты от коротких замыканий на землю. Электричество,1978, № 2, с.18-21.
- 8 Руководящие указания по релейной защите. Вып.7 (дополнение). Дистанционная защита линий 35-330 кВ.–М.: «Энергия», 1968.
- 9 Микропроцессорное устройство защиты линий 110-220 кВ «Сириус-3-ЛВ-03». Техническое описание и руководство по эксплуатации.– М.: ЗАО «РА-ДИУС Автоматика», 2007.
- 10 Правила устройства электроустановок/Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.: ил.
- 11 Овчинников В.В. Автоматическое повторное включение. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 96 с.
- 12 Богорад А.М., Назаров Ю.Г. Автоматическое повторное включение в энергосистемах. — М.: Энергия, 1969. — 336 с.