

Рекомендации по выбору дополнительных уставок функции продольной дифференциальной защиты линии электропередачи (ДЗЛ), используемой в терминалах БЭ2704 09х, БЭ2502Б 21хх и в шкафах серий ШЭ2607 09х, ШЭ2607 29х, при работе на линиях с ответвлениями

ЭКРА.650323.043Д7

Редакция 1.0

Авторские права на данную документацию принадлежат НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары).
Снятие копий или перепечатка разрешается только по согласованию с разработчиком.

Содержание

Введение	5
1 Продольная дифференциальная защита линии	7
1.1 Принцип действия дифференциальной защиты	7
1.2 Логика работы дифференциальной защиты	8
1.3 Работа на ВЛ с ответвлениями	9
2 Работа на ВЛ с ответвлениями с контролем по сопротивлению	9
2.1 Определение параметров реле сопротивления ответвления	9
2.2 Определение параметров реле направления мощности нулевой последовательности	15
3 Работа на ВЛ с ответвлениями с контролем по напряжению	18
3.1 Реле напряжения обратной последовательности	18
3.2 Реле напряжения прямой последовательности	18
4 Пример расчета	20
Приложение А (рекомендуемое). Сопротивления трансформаторов	29
Список литературы	30
Принятые сокращения	31

Введение

В настоящем документе рассмотрены вопросы выбора уставок дифференциальной защиты линии (ДЗЛ), входящей в состав функций устройств релейной защиты, реализованных в микропроцессорных терминалах БЭ2704 производства ООО «НПП «ЭКРА».

Рассматриваются вопросы выбора параметров дополнительных пусковых и измерительных органов ДЗЛ, предназначенных для работы защиты на линии электропередачи, имеющей ответвления.

1 Продольная дифференциальная защита линии

1.1 Принцип действия дифференциальной защиты

Принцип действия дифференциальной защиты [1] двухконцевой линии основан на пофазном сравнении суммы токов в начале и в конце защищаемого объекта (дифференциальный ток) с определенной пороговой величиной $I_{Д0}$. Векторные значения токов передаются между полуккомплектами защиты по цифровым каналам связи.

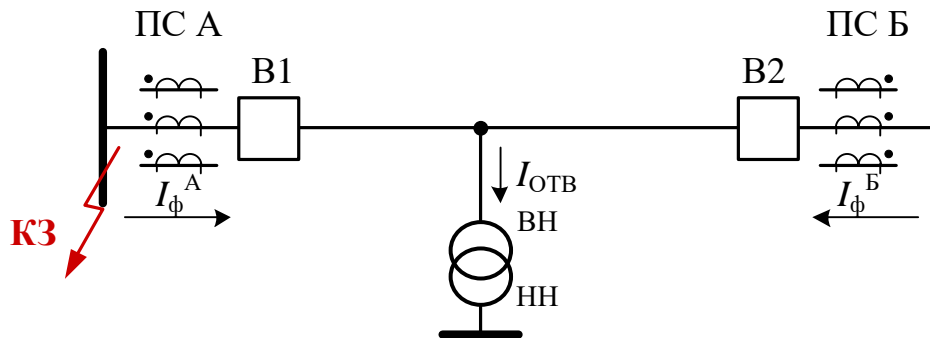


Рис. 1 – Принцип действия ДЗЛ

Дифференциальный ток определяется по формуле (рисунок 1):

$$I_{Д(\Phi)} = |i_{\Phi}^A + i_{\Phi}^B|, \quad (1)$$

где Φ – фаза А, В или С.

В случае применения схемы с двумя выключателями расчёт дифференциального тока производится следующим образом:

$$I_{Д(\Phi)} = |i_{В1\Phi}^A + i_{В2\Phi}^A + i_{В1\Phi}^B + i_{В2\Phi}^B|. \quad (2)$$

где индексы В1, В2 – обозначают принадлежность токов к цепям выключателя В1 или В2.

Величины всех токов в ДЗЛ определяются в относительных единицах (о.е.)

$$I^* = \frac{I}{I_B}, \quad (3)$$

где I_B – базисный ток дифференциальной защиты.

Базисный ток предназначен для выравнивания токов плеч защиты во вторичных величинах при различных коэффициентах трансформации ТТ.

Расчет уставок ПО и ИО ДЗЛ подробно рассмотрен в ЭКРА.650323.037Д7 [2].

1.2 Логика работы дифференциальной защиты

Логическая схема работы ДЗЛ приведена на рисунке 2. На линиях с ответвлениями без питания на концах, защита работает в режиме «Работа на ВЛ с ответвлениями» (программная накладка ХВ1, рисунок 2). В данном режиме используются две дополнительные группы пусковых органов. К ним относятся:

- реле максимального напряжения обратной последовательности – **U₂ макс** (или **РН2 макс**), реле минимального напряжения прямой последовательности - **U₁ мин** (или **РН1 мин**)
- реле сопротивления ответвления – **Z_{отв}** (или **РС отв**), реле направления мощности нулевой последовательности разрешающее - **М0 разр** (или **РНМНП разр**).

Данные пусковые органы разрешают действие ДЗЛ при КЗ на линии или на ответвлениях.

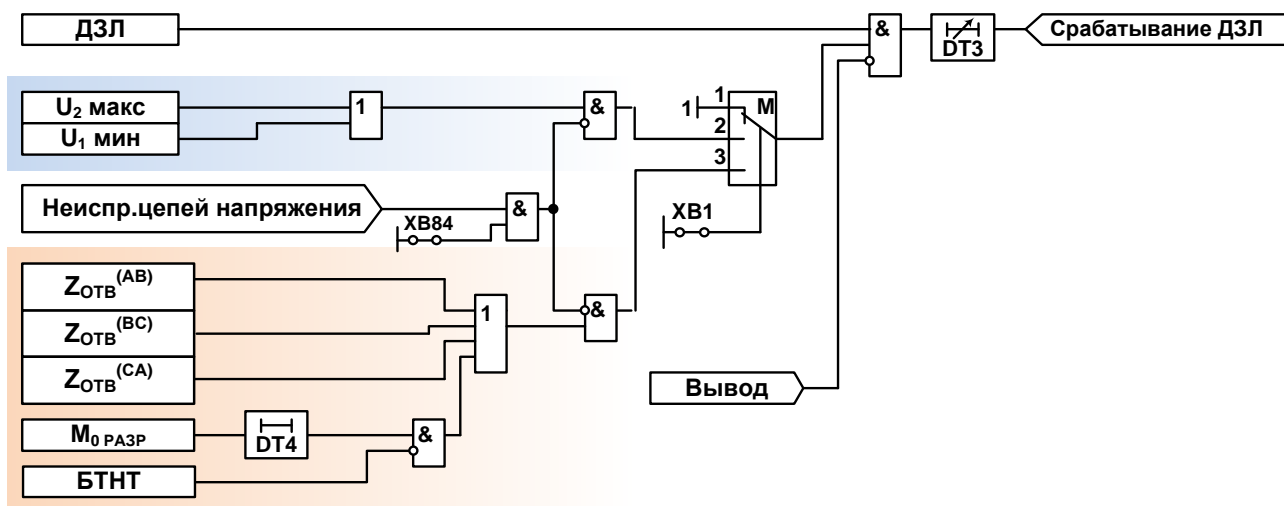


Рис. 2 – Логическая схема ДЗЛ

При малой длине защищаемой линии и небольшой мощности трансформаторов ответвления, отстройка от КЗ на стороне низкого напряжения трансформатора может осуществляться использованием пуска ДЗЛ по напряжению обратной последовательности и по минимальному напряжению прямой последовательности, пункт меню терминала **ДЗЛ / Логика работы / Работа с ответвлениями | по U** или **EKRASMS – Регулируемые параметры / ДЗЛ / Логика работы / ХВ1_ДЗЛ Работа на ВЛ с ответвлениями | по U**.

В других случаях может применяться дополнительный комплект измерительных органов, состоящий из трех реле междуфазного сопротивления и реле направления мощности нулевой последовательности, отстроенного от броска тока намагничивания трансформаторов, пункт меню терминала **ДЗЛ / Логика работы / Работа с ответвлениями | по РС** или **EKRASMS – Регулируемые параметры / ДЗЛ / Логика работы / ХВ1_ДЗЛ Работа на ВЛ с ответвлениями | по РС**.

1.3 Работа на ВЛ с ответвлениями

В общем случае, в нагрузочном режиме работы ВЛ, небаланс в дифференциальном токе с учетом всех составляющих определяется следующим выражением:

$$I_{\text{НБ}} = \frac{1}{I_{\text{Б}}} \cdot \left[(2 \cdot \varepsilon + 2 \cdot \varepsilon_{\text{изм}} + \delta_{\text{КС}}) \cdot I_{\text{РАБ МАКС}} + \sum I_{\text{ОТВ}} + \frac{I_{\text{ЁМК}}}{2} \right], \quad (4)$$

где ε – погрешность ТТ: $\varepsilon = 0,01$ – для ТТ класса 5Р, $\varepsilon = 0,03$ – для ТТ класса 10Р,

$I_{\text{РАБ МАКС}}$ – максимальное значение тока в нагрузочном режиме,

$\varepsilon_{\text{изм}}$ – небаланс, определяемый погрешностями измерений тока в каждом терминале двух полуккомплектов ДЗЛ, $\varepsilon_{\text{изм}} = 0,01$,

$\sum I_{\text{ОТВ}}$ – суммарный ток всех ответвлений, А (в первичных величинах),

$I_{\text{ЁМК}}$ – расчётный ёмкостный ток линии, А (в первичных величинах),

$\delta_{\text{КС}}$ – небаланс, вызванный асимметрией мультиплексированного канала связи.

При наличии на линии ответвления с трансформаторами, уставка срабатывания дифференциальной защиты должна быть отстроена от тока, протекающего в ответвлении в нагрузочном режиме, что определяется слагаемым $\sum I_{\text{ОТВ}}$. Более подробно выражение (4) описано в ЭКРА.650323.037Д7 [2].

Для режима работы ДЗЛ на линии с ответвлениями необходимо, дополнительно, выбрать группу измерительных органов, обеспечивающих отстройку от КЗ на стороне низкого напряжения (НН) трансформаторов установленных на ответвлении:

- реле сопротивления от междуфазных КЗ и реле направления мощности нулевой последовательности (НП) для отстройки от внешних КЗ с землей при заземленной нейтрали трансформаторов;

- реле напряжения обратной последовательности (ОП) и трехфазное реле минимального напряжения (для трехфазных КЗ).

2 Работа на ВЛ с ответвлениями с контролем по сопротивлению

2.1 Определение параметров реле сопротивления ответвления

Характеристика срабатывания реле сопротивления ответвления

Уставки представлены характеристикой РС в комплексной плоскости сопротивлений (рисунок 3):

$X_{\text{ОТВ УСТ}}$ – уставка по оси X,

$R_{\text{ОТВ УСТ}}$ – уставки по оси R,

φ_1 – угол наклона правой части характеристик срабатывания РС,

- φ_2 – угол наклона нижней части характеристик срабатывания РС,
- φ_3 – угол наклона левой части характеристик срабатывания РС,
- R_H – уставка по оси R для отстройки от максимальной нагрузки (вырез нагрузки),
- φ_H – уставка по углу для отстройки от максимальной нагрузки (вырез нагрузки),

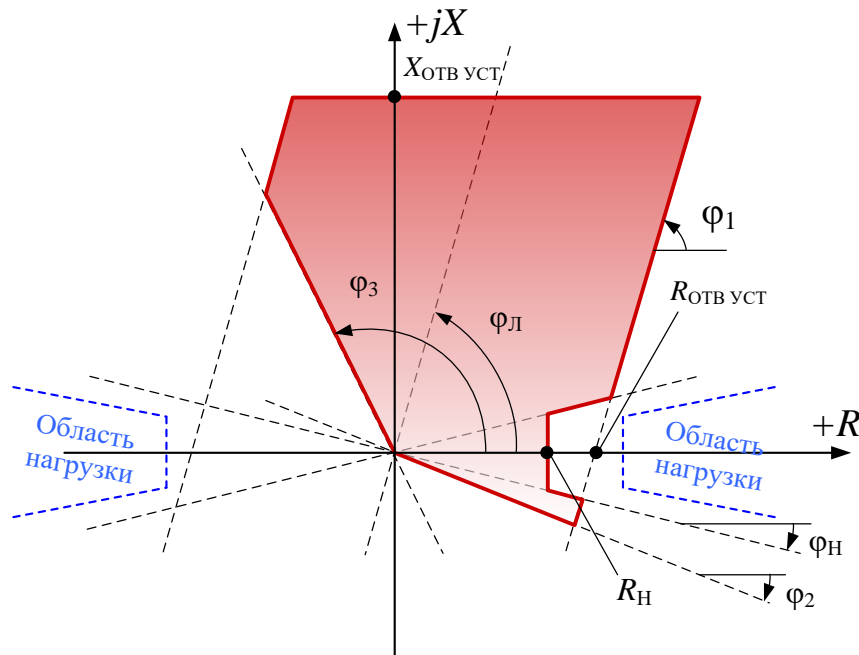


Рис. 3 – Характеристика срабатывания Z_{OTB}

Расчет уставки по реактивной составляющей сопротивления

Реле сопротивления ответвления предназначено для разрешения работы ДЗЛ при трехфазном, междуфазном или междуфазном КЗ на землю, находящемся в пределах защищаемой линии либо на линии ответвления до шин ВН трансформатора (рисунок 4). При КЗ на стороне НН трансформатора РС срабатывать не должно. Замер сопротивления при КЗ на шинах ВН и НН трансформатора отличается на сопротивление трансформатора $Z_{ТР}$.

Для оценки возможности использования РС в данных условиях в первую очередь необходимо рассчитать значение уставки по реактивной составляющей X_{OTB} . Расчет уставки по реактивной составляющей сопротивления X_{OTB} производится исходя из следующих двух критериев:

- надежный охват характеристикой РС всей длины линии,
- отстройка от КЗ за трансформаторами ответвлений.

Уставка по первому условию определяется как

$$X'_{OTB \text{ УСТ}} = 1,5 \cdot x_1 \cdot L_L, \quad (5)$$

где x_1 – удельное сопротивление линии ПП;

L_L – длина линии.

Для выполнения второго условия необходимо определить значение уставки исходя из параметров ответвлений:

$$X''_{\text{ОТВ УСТ } i} = 1,5 (x_1 \cdot L_{\text{Л-ОТВ } i} + x_{1 \text{ ОТВ } i} \cdot L_{\text{ОТВ } i}) \quad (6)$$

где $L_{\text{Л-ОТВ } i}$ – длина линии до i -го ответвления,

$x_{1 \text{ ОТВ } i}$ – удельное сопротивление линии i -го ответвления ПП,

$L_{\text{ОТВ } i}$ – длина i -го ответвления,

и выбрать максимальное из рассчитанных значений:

$$X''_{\text{ОТВ УСТ}} = \max(X''_{\text{ОТВ УСТ } i}).$$

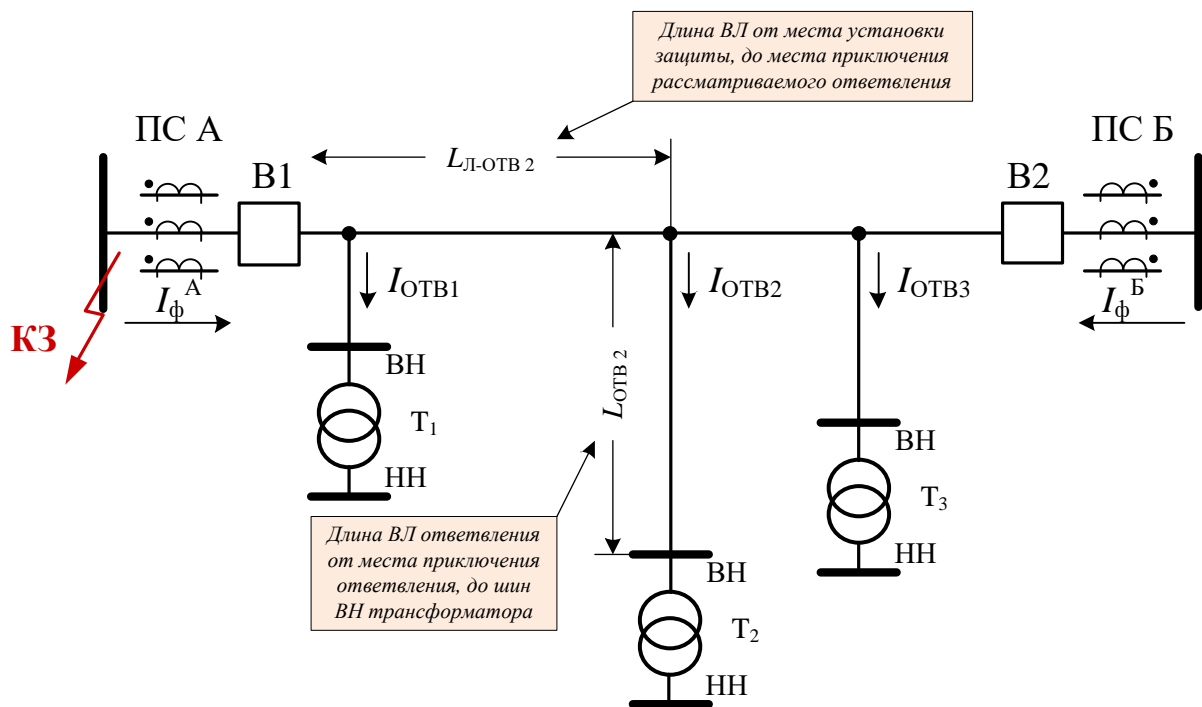


Рис. 4 – Пример ВЛ с ответвлениями

Далее необходимо проверить отстройку от КЗ за трансформаторами для каждого ответвления. Для этого необходимо рассчитать сопротивление при КЗ на шинах НН:

$$X_{\text{ОТВ } i} = \frac{x_1 \cdot L_{\text{Л-ОТВ } i} + x_{1 \text{ ОТВ } i} \cdot L_{\text{ОТВ } i} + X_{\text{ТР } i}}{K_{\text{Н}}}, \quad (7)$$

где $X_{\text{ТР } i}$ - реактивное сопротивление трансформатора установленного на ответвлении.

$K_{\text{Н}}$ – коэффициент надежности, равный 1,2,

и выбрать минимальное из рассчитанных значений:

$$X_{\text{ОТВ}} = \min(X_{\text{ОТВ } i}).$$

Примечание - Приблизительное значение сопротивления трансформатора $X_{Тр}$, можно определить по таблице А.1 исходя из номинальной мощности трансформатора, либо, предпочтительнее, произвести расчет схемы замещения трансформатора [3].

Возможность применения РС на данной ВЛ определяется исходя из соотношений:

$$\begin{cases} X'_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \\ X''_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}. \end{cases} \quad (8)$$

Если соотношения (8) выполняются, то можно сделать вывод о возможности применения РС на данной ВЛ.

Окончательно значение уставки принимается равным:

$$X_{\text{ОТВ УСТ}} = \max(X'_{\text{ОТВ УСТ}}, X''_{\text{ОТВ УСТ}}). \quad (9)$$

Если условие (8) не выполняется, то в случае

$$\begin{cases} X'_{\text{ОТВ УСТ}} > X_{\text{ОТВ}}, \\ X''_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \end{cases}$$

при отстройке от КЗ за трансформаторами, будем иметь недоохват характеристикой РС защищаемой линии.

В случае если

$$\begin{cases} X'_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \\ X''_{\text{ОТВ УСТ}} > X_{\text{ОТВ}}, \end{cases}$$

будем иметь переохват характеристикой РС самого короткого ответвления, т.е. граница характеристики РС выйдет за шины НН.

И третий вариант

$$\begin{cases} X'_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \\ X''_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \end{cases}$$

когда мы имеем одновременно оба выше указанных случая. Во всех случаях, когда условие (8) не выполняется, использование РС недопустимо.

Пример

На ВЛ 110 кВ длиной 130 км имеет место три ответвления (рисунок 4). Параметры ответвлений и трансформаторов установленных на них сведены в таблице 1.

Таблица 1

Ответвление	№1	№2	№3
Расстояние до ответвления, км	5	60	65
Длина линии ответвления, км	0,4	26	19
Мощность трансформатора, МВА	16	6,3	6,3
Удельное активное сопротивление ПП, Ом/км	0,03	0,03	0,03
Удельное реактивное сопротивление ПП, Ом/км	0,35	0,35	0,35

Удельные параметры самой ВЛ такие же, как и удельные параметры ВЛ ответвлений.
Для линии $L_{Л} = 130$ км уставка по выражению (5) будет:

$$X'_{\text{ОТВ УСТ}} = 1,5 \cdot x_1 \cdot L_{Л} = 1,5 \cdot 0,35 \cdot 130 = 68,25 \text{ Ом.}$$

Далее произведем расчет уставки для трех ответвлений по выражению (6):

$$X''_{\text{ОТВ УСТ } 1} = 1,5 (0,35 \cdot 5 + 0,35 \cdot 0,4) = 2,835 \text{ Ом,}$$

$$X''_{\text{ОТВ УСТ } 2} = 1,5 (0,35 \cdot 60 + 0,35 \cdot 26) = 45,15 \text{ Ом,}$$

$$X''_{\text{ОТВ УСТ } 3} = 1,5 (0,35 \cdot 65 + 0,35 \cdot 19) = 44,1 \text{ Ом.}$$

Максимальным значением из трёх является значение для 2-го ответвления 45,15 Ом.

Далее по формуле (7) рассчитаем сопротивление до КЗ на шинах НН:

$$X_{\text{ОТВ } 1} = (0,35 \cdot 5 + 0,35 \cdot 0,4 + 87)/1,2 = 74,075,$$

$$X_{\text{ОТВ } 2} = (0,35 \cdot 60 + 0,35 \cdot 26 + 221)/1,2 = 209,25,$$

$$X_{\text{ОТВ } 3} = (0,35 \cdot 65 + 0,35 \cdot 19 + 221)/1,2 = 208,67.$$

Минимальным значением из трёх является значение для 1-го ответвления 74,075 Ом.

Видим, что условие выражения (8) выполняется

$$\begin{cases} X'_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \\ X''_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 68,25 < 74,075, \\ 45,15 < 74,075. \end{cases}$$

Принимаем окончательно значение $X_{\text{ОТВ УСТ}} = 68,25$ Ом.

Пример

На той же ВЛ 110 кВ длиной 130 км увеличим мощность трансформатор Т1 с 16 МВА до 25 МВА (рисунок 4). Остальные параметры задачи те же. Произведем расчет.

Расчетные значения уставок по условиям (5) и (6) будут иметь теми же:

$$X'_{\text{ОТВ УСТ}} = 68,25 \text{ Ом,}$$

$$X''_{\text{ОТВ УСТ}} = 45,15 \text{ Ом.}$$

Сопротивления до КЗ на шинах НН, по формуле (7), будут те же, за исключением первого ответвления:

$$X_{\text{ОТВ } 1} = (0,35 \cdot 5 + 0,35 \cdot 0,4 + 56)/1,2 = 48,24,$$

$$X_{\text{ОТВ } 2} = 209,25,$$

$$X_{\text{ОТВ } 3} = 208,67.$$

Минимальным значением из трёх является значение для 1-го ответвления 48,24 Ом.

Видим, что в данном случае одно из условий выражения (8) не выполняется

$$\begin{cases} X'_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \\ X''_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 68,25 > 48,24, \\ 45,15 < 48,24. \end{cases}$$

Таким образом, использование РС для данной линии недопустимо.

Расчет уставки по активной составляющей сопротивления

Правая часть области срабатывания РС предназначена для обеспечения срабатывания РС при КЗ через активное переходное сопротивление R_{Π} в месте КЗ.

Примечание – Расчет уставки по активной составляющей сопротивления детально рассмотрен в [4].

Для междуфазных РС при двухфазных КЗ и двухфазных КЗ на землю для линий с односторонним и двусторонним питанием R_{Π} определяется сопротивлением электрической дуги и равно:

$$R_{\Pi} = 0,5 \frac{U_{\text{Д}}}{I_{1 \text{ МИН}}} \quad (10)$$

где $U_{\text{Д}}$ – напряжение электрической дуги,

$I_{1 \text{ МИН}}$ – ток КЗ в месте установки защиты (в начале линии) в режиме с минимальными токами КЗ.

При этом расчётным режимом является режим одностороннего питания, так как падение напряжения на дуге не зависит от тока через дугу, и при отсутствии подпитки линии с противоположного конца R_{Π} максимально.

Уставки по активной составляющей сопротивления определяется формулой:

$$R_{\text{ОТВ УСТ}} = \frac{R_{\Pi}}{K_{\text{ЗАП}}} \quad (11)$$

где $K_{\text{ЗАП}}$ – коэффициент запаса, принимается равным из диапазона от 0,8 до 0,9.

Также можно руководствоваться типичными значениями отношения R/X для воздушных и кабельных линий [5]:

Таблица 2

Тип линии	R/X
Короткие кабели (0,5 – 3 км)	3 – 5
Длинные кабели (> 3 км)	2 – 3
Короткие воздушные линии (<10 км)	2 – 5
Воздушные линии (< 100 км)	1 – 2
Длинные воздушные линии (100 – 200 км)	0,5 – 1
Линии сверх высокого напряжения (> 200 км)	0,5

Расчет уставок по углам характеристики реле сопротивления ответвления

Угол между током и напряжением при металлическом КЗ на линии (угол максимальной чувствительности) равен углу линии и определяется по формуле:

$$\varphi_L = \arctg\left(\frac{x_1}{r_1}\right) \quad (12)$$

где x_1, r_1 – удельные индуктивное и активное сопротивления ПП линии.

Угол φ_1 наклона характеристики в первом квадранте, в общем случае, отличается от угла линии, так как токи КЗ в начале и в конце зоны срабатывания РС различны, а значит различны и величины переходного сопротивления в начале $R_{ПН}$ и в конце $R_{ПК}$ зоны работы срабатывания [4].

Угол наклона φ_1 определяется формулой:

$$\varphi_1 = \frac{\arctg(X)}{X \cdot \operatorname{ctg}(\varphi_L) + R_{ПК} - R_{ПН}} \quad (13)$$

где $R_{ПН}$ и $R_{ПК}$ рассчитываются в соответствии с формулами (10) и (11).

Для большинства случаев угол нижней части характеристики срабатывания φ_2 , а также угол наклона левой части характеристики срабатывания φ_3 , могут быть приняты равными -15 и 115° соответственно.

Более детально расчеты углов характеристики реле сопротивления, а также выреза нагрузки описаны в [4].

2.2 Определение параметров реле направления мощности нулевой последовательности

Характеристика срабатывания реле направления мощности

Уставки РНМНП разрешающего представлены его характеристиками (рисунок 5):

$3U_{0\text{УСТ}}$ – уставка по напряжению НП,

$3I_{0\text{УСТ}}$ – уставки по току НП,

$\varphi_{\text{мч}}$ – угол максимальной чувствительности, равен 250° ,

$\Delta\varphi$ – ширина зоны, равна $\pm 180^\circ$,

$k_{\text{ВЫН}}$ – коэффициент выноса ТН (определяет значение $3I_{0\text{СМ}}$).

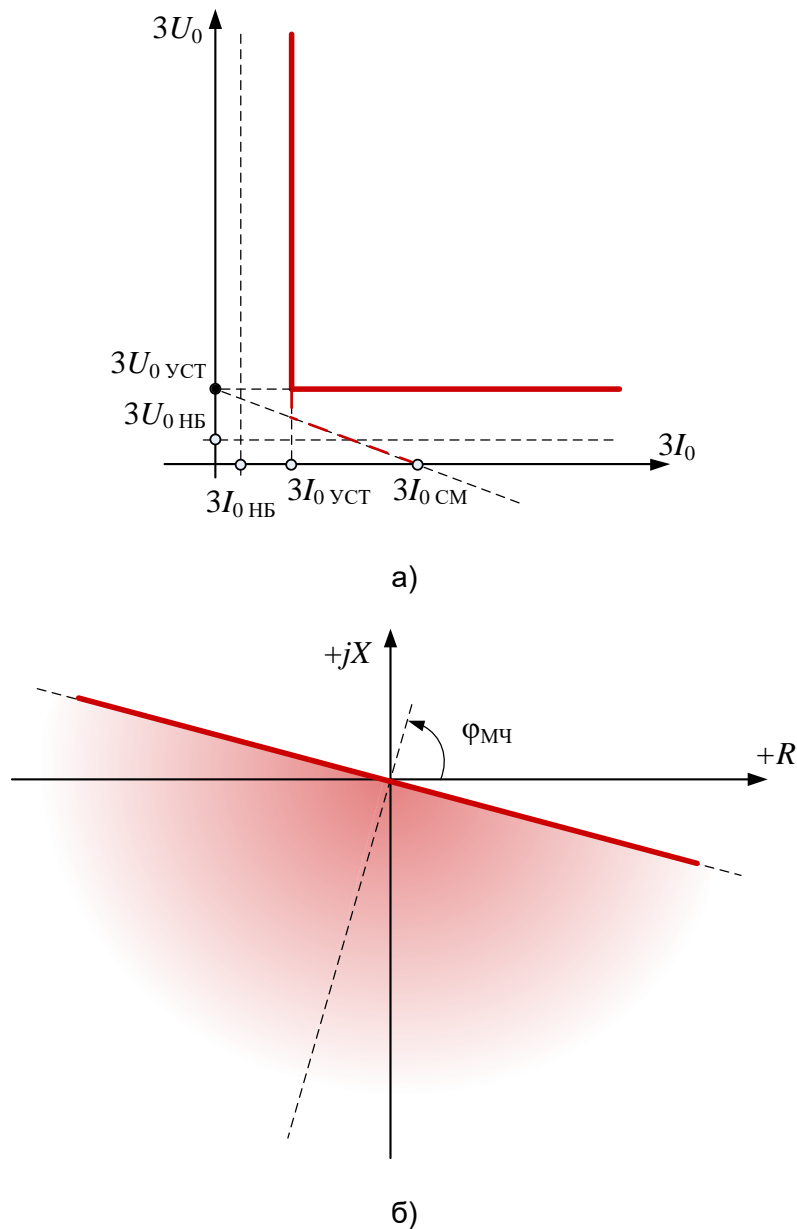


Рис. 5 – Вольт-амперная – а), и угловая – б) характеристики РНМНП

Расчет уставки РНМНП по току

Уставка по току нулевой последовательности $3I_{0\text{уст}}$ выбирается исходя из отстройки от тока небаланса нулевой последовательности, определяемого погрешностью трансформаторов тока $3I_{0\text{нбтт}}$ в максимальном рабочем режиме, от тока небаланса НП, вызванного несимметрией в первичной сети $3I_{0\text{нбнесим}}$.

$$3I_{0\text{уст}} = K_{\text{отс}} \frac{3I_{0\text{нбтт}} + 3I_{0\text{нбнесим}}}{K_{\text{в}}}, \quad (14)$$

где $K_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки (принимается равным 1,25),

$K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата (принимается равным 0,9).

Небаланс вызванный погрешностями ТТ определяется по формуле:

$$3I_{0\text{НБ ТТ}} = 3 \cdot K_{\text{ОДН}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{НАГР}}, \quad (15)$$

где $K_{\text{ОДН}}$ - коэффициент однотипности, принимается равным 0,5, если ТТ по концам линии однотипные, иначе равен 1,

ε – полная погрешность ТТ ($\varepsilon = 0,01$ для ТТ класса 5Р, $\varepsilon = 0,03$ для ТТ класса 10Р),

$I_{\text{НАГР}}$ – ток нагрузки.

Округленно можно принять

$$3I_{0\text{НБ ТТ}} = 0,05 \cdot I_{\text{НАГР}}.$$

Ток небаланса вызванный несимметрией первичной сети равен

$$3I_{0\text{НБ НЕСИМ}} = 0,02 \cdot I_{\text{НАГР}}. \quad (16)$$

Коэффициент чувствительности ИО направления мощности нулевой последовательности по току определяется по формуле:

$$K_{\text{Ч}} = \frac{3I_{0\text{КЗ МИН}}}{3I_{0\text{УСТ}}}, \quad (17)$$

где $3I_{0\text{КЗ МИН}}$ – наименьший ток НП при КЗ в зоне.

Коэффициент чувствительности должен быть больше 2

$$K_{\text{Ч}} > 2.$$

Если $K_{\text{Ч}}$ получается больше 3, то уставка закругляется до значения $K_{\text{Ч}} = 3$.

Расчет уставки РНМНП по напряжению

Уставка по напряжению НП выбирается исходя из отстройки от напряжения небаланса:

$$3U_{0\text{УСТ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot \frac{3U_{0\text{НБ ТН}} + 3U_{0\text{НБ НЕСИМ}}}{K_{\text{В}}}, \quad (18)$$

где $K_{\text{ОТС}}$ – коэффициент отстройки (принимается равным 1,25),

$3U_{0\text{НБ ТН}}$ – напряжение небаланса вызванного ТН (принимается равным $0,03 \cdot U_{\text{НОМ } \Delta}$),

$3U_{0\text{НБ НЕСИМ}}$ – напряжение небаланса вызванного несимметрией первичной сети (принимается равным $0,04 \cdot U_{\text{НОМ } \Delta}$ [8]),

$K_{\text{В}}$ – коэффициент возврата (принимается равным 0,9),

$U_{\text{НОМ } \Delta}$ - номинальное значение напряжения в масштабе линейных величин при вычислении напряжения НП из фазных напряжений звезды, либо номинальное значение напряжения разомкнутого треугольника ТН при измерении напряжения НП.

Коэффициент чувствительности ИО направления мощности нулевой последовательности по напряжению определяется по формуле:

$$K_{\text{Ч}} = \frac{3U_{0\text{КЗ МИН}}}{3U_{0\text{УСТ}}}, \quad (19)$$

где $3U_{0\text{КЗ МИН}}$ - минимальное напряжение НП при КЗ в зоне действия.

Если чувствительность разрешающего РНМНП по напряжению при удалённом КЗ не обеспечивается, то рассматривается возможность искусственного выноса (смещения) точки подключения ТН в линию на величину сопротивления смещения Z_{CM} . Определение коэффициента выноса $k_{ВЫН}$ соответствующего расчетному значению Z_{CM} детально рассмотрено в [4].

РНМНП работает совместно с блокировкой от бросков тока намагничивания трансформатора БТНТ (рисунок 2). В связи с этим отсутствует необходимость проверки отстройки уставок РНМНП от броска тока намагничивания.

3 Работа на ВЛ с ответвлениями с контролем по напряжению

В случае если при расчете параметров реле сопротивления $Z_{ОТВ}$ или РНМНП выявлена невозможность их использования по условиям отстройки или чувствительности, необходимо проверить второй вариант с применением реле минимального напряжения прямой последовательности РН1 мин и реле максимального напряжения обратной последовательности РН2 макс.

3.1 Реле напряжения обратной последовательности

При КЗ на линии, напряжение ОП меняется в значительной степени при всех видах КЗ за исключением трехфазного. При КЗ на стороне НН трансформатора ответвления изменения напряжения ОП не значительны. В связи с этим уставка реле напряжения ОП выбирается исходя из отстройки от короткого замыкания на стороне НН трансформатора ответвления. Если имеет место несколько ответвлений, то расчётным выбирается КЗ при котором напряжение ОП в месте установки защиты будет наибольшим.

$$U_{РН2 \text{ УСТ}} \geq \frac{U_{2 \text{ МАКС}}}{K_H}, \quad (20)$$

где $U_{2 \text{ МАКС}}$ – максимальное напряжение ОП на шинах при КЗ за трансформатором,
 K_H – коэффициент надежности, принимается равным $K_H = 0,8$.

3.2 Реле напряжения прямой последовательности

Уставка реле напряжения минимального выбирается исходя из нескольких условий. Первое условие – отстройка от короткого замыкания стороне НН трансформатора ответвления. Если имеет место несколько ответвлений, то расчётным выбирается КЗ при котором напряжение прямой последовательности в месте установки защиты будет наименьшим.

$$U_{РН1 \text{ УСТ}} \leq \frac{U_{1 \text{ МИН}}}{K_H}, \quad (21)$$

где $U_{1 \text{ МИН}}$ – минимальное остаточное напряжение ПП на шинах при КЗ за трансформатором,

K_H – коэффициент надежности, принимается равным $K_H = 1,2$.

Второе условие – отстройка от снижения напряжения возникающего при самозапуске электродвигателей ПС ответвления:

$$U_{PH1\text{ уст}} \leq \frac{U_{1\text{ с3}}}{K_H}, \quad (22)$$

где $U_{1\text{ с3}}$ – остаточное напряжение на шинах при самозапуске двигателей ПС ответвления,
 K_H – коэффициент надежности, принимается равным $K_H = 1,2$.

4 Пример расчета

На ВЛ 110 кВ ПС Никольское – ПС Парусное в качестве основной защиты установлена дифференциальная защита линии (рисунок 6). Исходные данные для расчета приведены в таблицах 1 - 3.

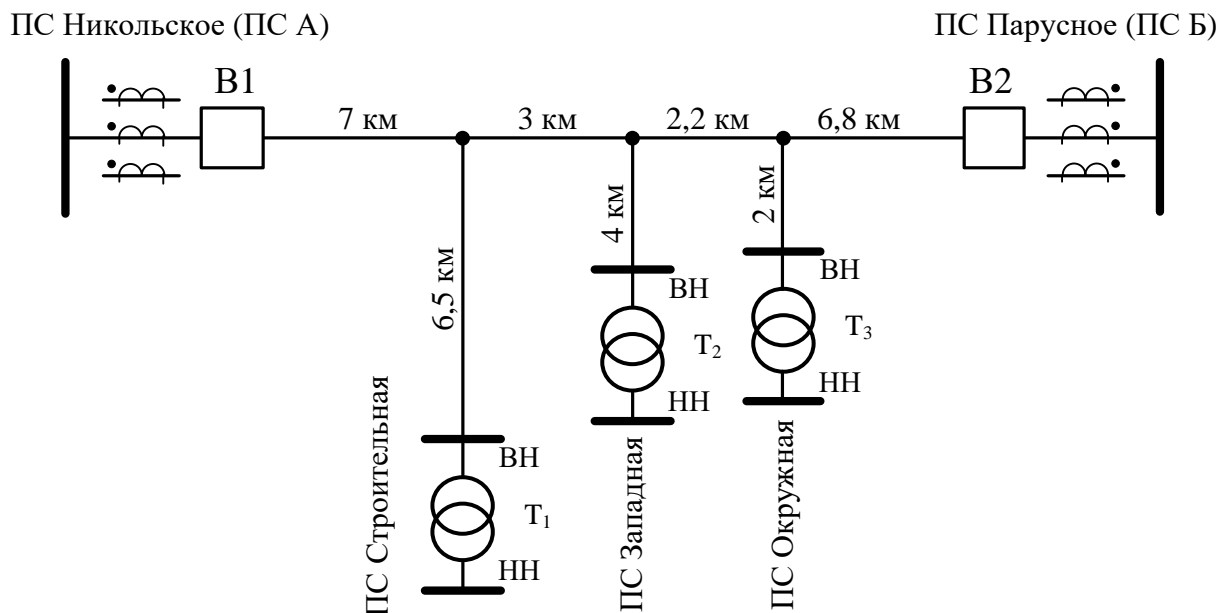


Рис. 6 – ВЛ 110 кВ ПС Никольское – ПС Парусное

Таблица 1 – Режимы работы сети

Наименование параметра	Значение
Максимальный рабочий ток, А	580
Минимальный ток при КЗ в начале ВЛ, А	1030
Минимальный ток при КЗ в конце ВЛ, А	950
Минимальный ток НП при КЗ в зоне, А	332
Минимальное напряжения НП при К(1), кВ (междуфазное)	26,5
Максимальное напряжение ОП при КЗ НН, кВ	3,7
Минимальное напряжения ПП при КЗ НН, кВ	53,8
Мин. остаточное напряжение в режиме самозапуска ЭД, кВ	57,2

Таблица 2 – Параметры ВЛ

Наименование параметра	Значение
Длина ВЛ, км	19
Удельное активное сопротивление ПП, Ом/км	0,3
Удельное реактивное сопротивление ПП, Ом/км	0,42
Удельное активное сопротивление НП, Ом/км	0,39
Удельное реактивное сопротивление НП, Ом/км	1,46
Расстояние между проводами, м	3,5

Таблица 3 – Параметры ответвлений

Ответвление	№1	№2	№3
Расстояние до ответвления, км	7	10	12,2
Длина линии ответвления, км	6,5	4	2
Мощность трансформатора, МВА	10	6,3	2,5
Удельное активное сопротивление ПП, Ом/км	0,3	0,3	0,3
Удельное реактивное сопротивление ПП, Ом/км	0,42	0,42	0,42
Максимальный ток нагрузки, А	45	30	20

Трансформаторы напряжения на ПС А и ПС Б одинаковые, установлены на шинах и имеют коэффициент трансформации для цепи «звезда» 110 кВ / 100 В в масштабе линейных величин или 63 кВ / 57 В в масштабе фазных величин.

Для цепи «открытый треугольник», соответственно, коэффициент трансформации равен 110 кВ / 173 В в масштабе линейных величин или 63 кВ / 100 В в масштабе фазных величин.

Трансформаторы тока на ПС А и ПС Б одинаковые, имеют коэффициент трансформации 800 / 1.

Расчет параметров РС

Удельные параметры самой ВЛ такие же, как и удельные параметры ВЛ ответвлений. Для линии $L_{\text{Л}} = 19$ км уставка по выражению (5) будет:

$$X'_{\text{ОТВ УСТ}} = 1,5 \cdot x_1 \cdot L_{\text{Л}} = 1,5 \cdot 0,42 \cdot 19 = 11,97 \text{ Ом} \approx 12 \text{ Ом.}$$

Далее произведем расчет уставки для трех ответвлений по выражению (6):

$$X''_{\text{ОТВ УСТ 1}} = 1,5 (0,42 \cdot 7 + 0,42 \cdot 6,5) = 8,50 \text{ Ом,}$$

$$X''_{\text{ОТВ УСТ 2}} = 1,5 (0,42 \cdot 10 + 0,42 \cdot 4) = 8,82 \text{ Ом,}$$

$$X''_{\text{ОТВ УСТ 3}} = 1,5 (0,42 \cdot 12,2 + 0,42 \cdot 2) = 8,95 \text{ Ом.}$$

Максимальным значением из трёх является значение для 3-го ответвления 8,95 Ом.

Далее по формуле (7) рассчитаем сопротивление до КЗ на шинах НН:

$$X_{\text{ОТВ 1}} = (0,42 \cdot 7 + 0,42 \cdot 6,5 + 139)/1,2 = 120,56 \text{ Ом,}$$

$$X_{\text{ОТВ 2}} = (0,42 \cdot 10 + 0,42 \cdot 4 + 221)/1,2 = 189,07 \text{ Ом,}$$

$$X_{\text{ОТВ 3}} = (0,42 \cdot 12,2 + 0,42 \cdot 2 + 510)/1,2 = 429,97 \text{ Ом.}$$

Минимальным значением из трёх является значение для 1-го ответвления 120,56 Ом.

Видим, что условие выражения (8) выполняется

$$\begin{cases} X'_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \\ X''_{\text{ОТВ УСТ}} < X_{\text{ОТВ}}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 12 < 120,56, \\ 8,95 < 120,56. \end{cases}$$

Принимаем окончательно значение $X_{\text{ОТВ УСТ}} = 12 \text{ Ом}$.

Правая часть области срабатывания РС предназначена для обеспечения срабатывания РС при КЗ через активное переходное сопротивление R_{Π} в месте КЗ.

Примечание – Расчет уставки по активной составляющей сопротивления детально рассмотрен в [4].

Напряжение на дуге:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{д уд}} \cdot l_{\text{д}} = 1050 \cdot 3,5 = 3675 \text{ В.}$$

где $U_{\text{д уд}}$ – удельное напряжение на дуге [7],

$l_{\text{д}}$ – длина дуги.

Для междуфазных РС R_{Π} определяется сопротивлением электрической дуги. Определим переходное сопротивление в конце ВЛ:

$$R_{\Pi} = 0,5 \frac{U_{\text{д}}}{I_{1 \text{ МИН}}} = 0,5 \frac{3675}{950} = 1,93 \text{ Ом.}$$

Уставки по активной составляющей сопротивления определяется формулой:

$$R_{\text{ОТВ УСТ}} = \frac{R_{\Pi}}{K_{\text{ЗАП}}} = \frac{1,93}{0,8} = 2,41 \text{ Ом.}$$

Окончательно принимаем значение $R_{\text{ОТВ УСТ}} = 2,5 \text{ Ом}$.

Угол линии определяется по формуле:

$$\varphi_{\text{Л}} = \arctg\left(\frac{x_1}{r_1}\right) = \arctg\left(\frac{0,42}{0,3}\right) = 54,46^\circ.$$

Угол наклона φ_1 принимаем равным углу линии $\varphi_{\text{Л}} = 54^\circ$:

Углы φ_2 и φ_3 принимаем равными 115° и -15° соответственно.

Расчет параметров РНМНП

Уставка по току нулевой последовательности $3I_{0 \text{ УСТ}}$ выбирается исходя из отстройки от тока небаланса нулевой последовательности. Небаланс вызванный погрешностями ТТ определяется по формуле:

$$3I_{0 \text{ НБ ТТ}} = 3 \cdot K_{\text{ОДН}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{НАГР}} = 3 \cdot 0,5 \cdot 0,03 \cdot 580 = 26,1 \text{ А.}$$

Ток небаланса вызванный несимметрией первичной сети равен

$$3I_{0 \text{ НБ НЕСИМ}} = 0,02 \cdot 580 = 11,6 \text{ А.}$$

Рассчитаем уставку по току НП:

$$3I_{0 \text{ УСТ}} = K_{\text{ОТС}} \frac{3I_{0 \text{ НБ ТТ}} + 3I_{0 \text{ НБ НЕСИМ}}}{K_{\text{В}}} = 1,25 \cdot \frac{26,1 + 11,6}{0,9} = 52,4 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности ИО направления мощности нулевой последовательности по току определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ МИН}}}{3I_{0 \text{ УСТ}}} = \frac{332}{52,4} = 6,34.$$

Коэффициент чувствительности больше 2.

Если $K_{\text{ч}}$ получается больше 3, то уставка закругляется до значения $K_{\text{ч}} = 3$.

$$3I_{0 \text{ УСТ}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ МИН}}}{K_{\text{ч}}} = \frac{332}{3} = 110,67 \text{ А},$$

где $3I_{0 \text{ КЗ МИН}}$ – наименьший ток НП при КЗ в зоне.

Принимаем $3I_{0 \text{ УСТ}} = 110,7 \text{ А}$.

Расчет уставки РНМП по напряжению

Уставка по напряжению НП выбирается исходя из отстройки от напряжения небаланса:

$$\begin{aligned} 3U_{0 \text{ УСТ}} &= K_{\text{отс}} \cdot \frac{3U_{0 \text{ НБ ТН}} + 3U_{0 \text{ НБ НЕСИМ}}}{K_{\text{В}}} = K_{\text{отс}} \cdot \frac{(0,03 + 0,04) \cdot U_{\text{НОМ}}}{K_{\text{В}}} = \\ &= 1,25 \cdot \frac{(0,03 + 0,04)}{0,9} \cdot 110 = 10,7 \text{ кВ. (междуфазная величина)} \end{aligned}$$

Коэффициент чувствительности ИО направления мощности нулевой последовательности по напряжению определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{3U_{0 \text{ КЗ МИН}}}{3U_{0 \text{ УСТ}}} = \frac{26,5}{10,7} = 2,47.$$

где $3U_{0 \text{ КЗ МИН}}$ - минимальное напряжение НП при КЗ в зоне действия,

$3U_{0 \text{ УСТ}}$ - напряжение срабатывания органа направления мощности НП.

Принимаем $3U_{0 \text{ УСТ}} = 10,7 \text{ кВ}$.

Реле напряжения обратной последовательности

Уставка реле напряжения ОП выбирается исходя из отстройки от короткого замыкания на стороне НН трансформатора ответвления.

$$U_{\text{РН2 УСТ}} = \frac{U_{2 \text{ МАКС}}}{K_{\text{Н}}} = \frac{3,7}{0,8} = 4,62 \text{ кВ}$$

где $U_{2 \text{ МАКС}}$ – максимальное напряжение ОП на шинах при КЗ на шинах НН трансформатора,

$K_{\text{Н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным $K_{\text{Н}} = 0,8$.

Принимаем $U_{\text{РН2 УСТ}} = 4,7 \text{ кВ}$

Реле напряжения прямой последовательности

Отстройка от короткого замыкания стороне НН трансформатора ответвления.

$$U_{PH1\text{ УСТ}} = \frac{U_{1\text{ МИН}}}{K_H} = \frac{53,8}{1,2} = 44,8 \text{ кВ},$$

где $U_{1\text{ МИН}}$ – минимальное остаточное напряжение ПП при КЗ на шинах НН трансформатора,

K_H – коэффициент надежности, принимается равным $K_H = 1,2$.

Отстройка от снижения напряжения возникающего при самозапуске электродвигателей ПС ответвления.

$$U_{PH1\text{ УСТ}} = \frac{U_{1\text{ СЗ}}}{K_H} = \frac{57,2}{1,2} = 47,7 \text{ кВ},$$

где $U_{1\text{ СЗ}}$ – остаточное напряжение на шинах при самозапуске электродвигателей ПС ответвления,

K_H – коэффициент надежности, принимается равным $K_H = 1,2$.

Принимаем $U_{PH1\text{ УСТ}} = 44,8 \text{ кВ}$.

Зададим уставки для обоих полукомплектов ДЗЛ согласно таблиц 4 - 11.

Унифицированные идентификаторы в первых столбцах таблиц используются в серии терминалов 400 (и выше). В устройствах серии 200 и 300 они отсутствуют.

Таблица 4 - Первичная/вторичная величина датчиков аналоговых входов

Идентификатор	Наименование параметра (диапазон), размерность [шаг]	Значения по умолчанию	Значения
050201	Первичная величина датчика аналогового входа Ia B1 (0.001-1000000.000), A [0.001]	1000.000	800.000
050202	Вторичная величина датчика аналогового входа Ia B1 (1 - 5), A [0.1]	5.0	1.0
050203	Первичная величина датчика аналогового входа Ia B2 (0.001 - 1000000.000), A [0.001]	1000.000	800.000
050204	Вторичная величина датчика аналогового входа Ia B2 (1 - 5), A [0.1]	5.0	1.0
050205	Первичная величина датчика аналогового входа 3I0// (0.001 - 1000000.000), A [0.001]	1000.000	1000.000 ¹
050206	Вторичная величина датчика аналогового входа 3I0// (1 - 5), A [0.1]	5.0	5.0 ¹
050207	Первичная величина датчика аналогового входа Ua (0.001 - 1000000.000), B [0.001]	110000.000	110000.000
050208	Вторичная величина датчика аналогового входа Ua (0.001 - 1000000.000), B [0.001]	100.000	100.000
050209	Первичная величина датчика аналогового входа Уни (0.001 - 1000000.000), B [0.001]	110000.000	110000.000
050210	Вторичная величина датчика аналогового входа Уни (0.001 - 1000000.000), B [0.001]	173.203	173.203

¹ - параллельной линии нет, цепь не используется, устанавливается значение по умолчанию

Таблица 5 – цепи тока ТТ

Идентификатор	Наименование параметра (диапазон)	Значения по умолчанию	Значения
050251	Токовая цепь В2 (используется, не используется)	используется	не используется
050252	Токовая цепь 3I0 // линии (используется, не используется)	используется	не используется²

² - параллельной линии нет, цепь не используется

Таблица 6 - Параметры линии (паспортные данные линии, задаются в первичных величинах).

Идентификатор	Наименование параметра (диапазон), размерность [шаг]	Значения по умолчанию		Значения	
		Перв.	Втор.	Перв.	Втор.
050341	Длина линии L_L (0.00 – 10000.00), км [0.01]	100.00		19.00	
050343	Удельное активное сопротив. прямой последовательности r_1 (0.0001 – 100.0000) $I_{НОМ}$, Ом/км [0.0001]	0.1960	0.0178	0.0600	0.0436
050344	Удельное реактивное сопротив. прямой последовательности x_1 (0.0001 – 100.0) $I_{НОМ}$, Ом/км [0.0001]	0.4220	0.0767	0.4200	0.3055
050346	Удельное активное сопротив. нулевой последовательности r_0 (0.0001 – 100.0000) $I_{НОМ}$, Ом/км [0.0001]	0.2480	0.0451	0.2000	0.1455
050347	Удельное реактивное сопротив. нулевой последовательности x_0 (0.0001 – 100.0000) $I_{НОМ}$, Ом/км [0.0001]	1.1790	0.2144	0.8500	0.6182
050348	Удельное активное сопротив. взаимоинд. нулевой послед r_{0M} (0.0001 – 100.0000) $I_{НОМ}$, Ом/км [0.0001]	0.0940	0.0171	0.0001	0.0001
050349	Удельное реактивное сопротив. взаимоинд. нулевой послед x_{0M} (0.0001 – 100.0000) $I_{НОМ}$, Ом/км [0.0001]	0.3160	0.0575	0.0001	0.0001

Таблица 7 - ДЗЛ

Идентификатор	Наименование параметра (диапазон), размерность [шаг]	Значения по умолчанию		Значения	
		Перв.	Втор.	Перв.	Втор.
101231	Базисный ток (0.1 – 16.0) $I_{НОМ}$, А [0.1]	1000.0	5.0	800.0	1.0
101232	Иср ПО ДЗЛ $I_{Д0}$ (0.20 – 2.00), о.е. [0.01]	0.40		0.59	
101233	Вид торможения ДЗЛ (сумма модулей, модуль разности векторов, сектор)	сумма модулей		сумма модулей	
101234	Коэффициент торможения дифф. защиты k_1 (0.10 - 0.90), о.е. [0.01]	0.50		0.5	
101235	Коэффициент торможения дифф. защиты k_2 (0.30 - 3.00), о.е. [0.01]	0.75		0.5	
101236	Ток начала торможения I_{S2} (0.40 - 20.00), о.е. [0.01]	2.00		12.2³	
101251	Угол сектора блокирования (10 - 89), ° [1]	70		70⁴	
101261	Компенсация емкостного тока (не предусмотрена, предусмотрена)	не предусмотрена		предусмотрена	
101271	Иср ПО ДТО $I_{ДДТО}$ (2.00 - 40.00), о.е. [0.01]	8.00		7.1	
101272	Иср ПО контроля обрыва цепей тока $I_{ДКЦТ}$ (0.04 - 2.00), о.е. [0.01]	0.10		0.39	
101273	Уср РН1 мин. (фазное) (10.00-60.00), В [шаг 0.01]	44000	40.0	44800,0	40,8
101274	Уср РН2 (фазное) (1.00-20.00), В [шаг 0.01]	6600.0	6.00	4700,0	4,27

³ – Значение тока начала торможения больше тока отсечки, поэтому на работу защиты значение не влияет.

⁴ - Если характеристика типа «сектор» не используется, значение угла устанавливается по умолчанию.

Таблица 8 - Уставки времени

Идентификатор	Наименование параметра (диапазон), размерность [шаг]	Значения по умолчанию	Значения
101321	DT1_ДЗЛ Задержка на срабатывание ДЗЛ (0.000 - 0.150), с [0.001]	0.000	0.000⁵
101322	DT2_ДЗЛ Задержка на срабатывание ДТО (0.00 - 2.00), с [0.01]	0.00	0.00⁶
101323	DT3_ДЗЛ Задержка срабатывания КЦТ (0.05 - 27.00), с [0.01]	10.00	10.00⁷

⁵ - Требования по согласованию времени действия ДЗЛ с другими защитами нет.

⁶ - Требования по согласованию времени действия ДТО с другими защитами нет.

⁷ - Если нет специальных требований, то выбирается значение по умолчанию.

Таблица 9 - Логика работы

Идентификатор	Наименование параметра (диапазон)	Значения по умолчанию	Значения
101351	XB1_ДЗЛ Работа на ВЛ с ответвлениями (не предусмотрена, по U, по РС)	не предусмотрена	по U / по РС⁸
101352	XB2_ДЗЛ Блокировка режима с ответвлениями (не предусмотрена, при неискр. цепей U)	при неисправности цепей U	при неисправности цепей U
101353	XB3_ДЗЛ Дифференциальная токовая отсечка (не предусмотрена, предусмотрена)	предусмотрена	предусмотрена
101355	Совместная работа с ДЗЛ серии 200 и ранее (не предусмотрена, предусмотрена)	не предусмотрена	не предусмотрена

⁸ – Можно выставить любую из уставок, в примере рассмотрены оба варианта.

Таблица 10 - Уставки РС

Идентификатор	Наименование параметра (диапазон),размерность [шаг]	По умолчанию		Значения	
		Перв	Втор	Перв	Втор
101301	Хуст ИО Z, ответвления (1.000-250.000) /Ином,Ом [шаг 0.001]	22.000	4.000	12,000	8,727
101302	Руст ИО Z, ответвления (1.000-250.000) /Ином,Ом [шаг 0.001]	11.000	2.000	2,5	1,818
101303	Наклон ИО Z, ответвления (45.00 .. 89.00) , ° [шаг 0.01]	70.00		54,00	

Таблица 11 - Уставки РМ

Номер сигнала	Наименование параметра (диапазон),размерность [шаг]	По умолчанию		Значения	
		Перв	Втор	Перв	Втор
108252	Иср ИО М0, разрешающий (0.04-0.50) Ином,А [шаг 0.01]	200.00	1.00	110,7	0,14
108254	Уср ИО М0, разрешающий (0.5-5.0) ,В [шаг 0.1]	2540.4	4.0	10700	9,7⁹
108255	Коэффициент выноса ТН на линию для ИО М0 (0.00 .. 0.50) ,о.е. [шаг 0.01]	0.00		0.00	

⁹ – Уставка задается в масштабе линейных величин.

Приложение А (рекомендуемое). Сопротивления трансформаторов

Все данные приложения А о сопротивлениях являются средними значениями из ряда справочников.

Таблица А.1

Номинальная мощность, МВА	Сопротивление, Ом
Номинальное напряжение 110 кВ	
2,5	510
4	396
6,3	221
10	139
16	87
25	56
32	46
40	35
63	23
80	18
Номинальное напряжение 220 кВ	
25	233
32	198
40	158
63	101
80	84

Список литературы

1 Шкаф дифференциальной защиты линии типа ШЭ2607 091. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.871 РЭ. [Текст] – Чебоксары: ООО НПП «ЭКРА», 2018.

2 Рекомендации по выбору уставок функции продольной дифференциальной защиты линии электропередачи (ДЗЛ), используемой в терминалах БЭ 2704 09х, БЭ2704 59х, БЭ 2502Б 21хх, и в шкафах серий ШЭ2607 09х, ШЭ2710 59х и ШЭ2607 29х. Редакция 2.0. ЭКРА.650323.037Д7. [Текст] – Чебоксары: ООО НПП «ЭКРА», 2017.

3 Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник для вузов. [Текст] – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.

4 Рекомендации по расчету уставок резервных защит ЛЭП ВН на базе шкафов НПП «ЭКРА». [Текст] – Чебоксары: ООО НПП «ЭКРА», 2012.

5 Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. Перевод с англ. Под ред. Дьякова А.Ф. [Текст] – М.: Энергоиздат, 2005.

6 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия. [Текст]: ГОСТ 1983-2015. – Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартиформ, 2016.

7 Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. [Текст] – М.: Энергия, 1976.

8 Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. [Текст]: ГОСТ 54149-2010. – Введ. 2010-12-21. – М.: Стандартиформ, 2012.

Принятые сокращения

ВЛ – воздушная линия электропередачи;

ВН – высокое напряжение;

ДЗЛ – дифференциальная защита линии;

ДТО – дифференциальная токовая отсечка;

ИО – измерительный орган;

КЗ – короткое замыкание;

КС – канал связи;

НН – низкое напряжение;

НП – нулевая последовательность;

ОВТ – отношение векторов тока;

ОП – обратная последовательность;

ПО – пусковой орган;

ПП – прямая последовательность;

ПУЭ – правила устройств электроустановок;

РН – реле напряжения;

РНМНП – реле направления мощности нулевой последовательности;

РС – реле сопротивления;

СН – среднее напряжение;

ТТ – трансформатор тока;

УРЗ – устройство релейной защиты;

ЭД – электродвигатель;

ЭДС – электродвижущая сила.

Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	Номер документа	Входящий номер сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	изменённых	заменённых	новых	аннулированных					