

Утвержден  
АИПБ.656122.025-080 РРУ-ЛУ

**УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ  
РЕКЛОУЗЕРА 6-10 кВ «ТОР 200 С 10»**

**Рекомендации по расчету уставок  
АИПБ.656122.025-080 РРУ v21.2**

Авторские права на данный документ принадлежат ООО «Релематика», 2022.  
Данный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, скопирован, распространен без разрешения ООО «Релематика».

Адрес предприятия-изготовителя:

428020, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, д. 1, ООО «Релематика»

Тел.: (8352) 24-06-50, факс: (8352) 24-02-43

Сайт: [www.relematika.ru](http://www.relematika.ru)

E-mail: [service@relematika.ru](mailto:service@relematika.ru), [rza@relematika.ru](mailto:rza@relematika.ru)

## Содержание

<b>1 Общие сведения .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Токовая отсечка.....</b>	<b>9</b>
2.1 Выбор уставки по току срабатывания .....	9
2.2 Выбор выдержки времени .....	9
<b>3 Максимальная токовая защита .....</b>	<b>10</b>
3.1 Выбор уставок первой ступени МТЗ.....	11
3.1.1 Выбор уставки по току срабатывания .....	11
3.1.2 Выбор выдержек времени.....	13
3.2 Выбор уставок второй ступени МТЗ.....	14
3.2.1 Выбор уставки по току срабатывания .....	14
3.2.2 Выбор выдержек времени.....	14
3.3 Выбор уставок третьей ступени МТЗ.....	15
<b>4 МТЗ режима «Работа на линии» (МТЗ РНЛ) .....</b>	<b>16</b>
4.1 Выбор уставки по току срабатывания.....	16
4.2 Выбор выдержки времени .....	16
<b>5 Реле направления мощности МТЗ (РНМ МТЗ) .....</b>	<b>17</b>
<b>6 Защита от обрыва проводника по отношению I2/I1 (ЗОП по I2/I1).....</b>	<b>18</b>
6.1 Выбор уставки по току срабатывания.....	18
6.2 Выбор коэффициента несимметрии .....	18
6.3 Выбор выдержек времени .....	18
<b>7 Защита от обрыва токоведущего проводника по I2 (ЗОП по I2) .....</b>	<b>19</b>
7.1 Выбор уставки по току срабатывания.....	19
7.2 Выбор выдержек времени .....	19
<b>8 Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП) .....</b>	<b>20</b>
8.1 Выбор уставки по току срабатывания.....	20
8.2 Выбор выдержек времени .....	22
<b>9 ТЗНП режима «Работа на линии» (ТЗНП РНЛ).....</b>	<b>23</b>
9.1 Выбор уставки по току срабатывания.....	23
9.2 Выбор выдержек времени .....	23
<b>10 Токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП) .....</b>	<b>24</b>
10.1 Выбор уставки по току срабатывания ТНЗНП.....	24
10.2 Выбор выдержек времени .....	24
<b>11 Реле направления мощности ТНЗНП (РНМ ТНЗНП) .....</b>	<b>26</b>
<b>12 Ускорение .....</b>	<b>27</b>
<b>13 Включение на нагрузку (ВНН) .....</b>	<b>28</b>
<b>14 Пуск по напряжению (Пуск по U) .....</b>	<b>29</b>
14.1 Выбор уставки по напряжению срабатывания.....	29
14.2 Выбор выдержки времени .....	30
<b>15 Контроль напряжения линии (Контроль Uл).....</b>	<b>31</b>
15.1 Выбор уставок по напряжению срабатывания.....	31
<b>16 Контроль частоты (Контроль f) .....</b>	<b>32</b>
16.1 Выбор уставок по частоте срабатывания.....	32
<b>17 Орган напряжения обратной последовательности (Орган U2) .....</b>	<b>33</b>

<b>18</b>	<b>Сигнализация замыкания на землю по 3U0 (СЗЗ)</b> .....	<b>34</b>
18.1	Выбор уставки по напряжению срабатывания .....	34
18.2	Выбор выдержки времени .....	34
<b>19</b>	<b>Защита минимального напряжения (ЗМН)</b> .....	<b>35</b>
19.1	Выбор уставок первой ступени ЗМН.....	35
19.2	Выбор уставок второй ступени ЗМН.....	35
<b>20</b>	<b>Защита от повышения напряжения (ЗПН)</b> .....	<b>36</b>
20.1	Выбор уставки по напряжению срабатывания .....	36
20.2	Выбор выдержки времени .....	36
<b>21</b>	<b>Блокировка АЧР и ЗМН по напряжению</b> .....	<b>37</b>
21.1	Выбор уставок блокировки ЗМН по напряжению .....	37
21.2	Выбор уставок блокировки АЧР по напряжению .....	37
<b>22</b>	<b>АЧР/ЧАПВ</b> .....	<b>38</b>
22.1	Ускорение АЧР .....	38
22.2	Скорость изменения частоты (Орган df/dt).....	39
22.3	Блокировка df/dt.....	39
<b>23</b>	<b>Защита от потери питания (ЗПП)</b> .....	<b>40</b>
<b>24</b>	<b>Контроль и управление выключателем</b> .....	<b>41</b>
24.1	Команды управления выключателем.....	41
24.2	Запрет включения .....	41
24.3	Управление выключателем.....	41
24.4	Индикация положения выключателем (ИЧМ выключателя).....	42
24.5	Контроль цепей управления выключателем (Контроль ЦУ) .....	42
24.6	Реле фиксации команд (РФК).....	42
<b>25</b>	<b>Автоматика повторного включения (АПВ)</b> .....	<b>43</b>
25.1	Выбор выдержки времени АПВ .....	43
25.2	Выбор времени готовности АПВ .....	43
<b>26</b>	<b>Сигнализация</b> .....	<b>45</b>
26.1	Сброс сигнализации .....	45
26.2	Аварийная сигнализация.....	45
26.3	Предупредительная сигнализация .....	45
26.4	Местная сигнализация.....	45
<b>27</b>	<b>Автоматическое включение резерва (АВР)</b> .....	<b>46</b>
<b>28</b>	<b>Отключение по АВР (Орган Ул АВР)</b> .....	<b>47</b>
28.1	Выбор уставок по напряжению срабатывания .....	47
28.2	Выбор выдержек времени.....	47
<b>29</b>	<b>Контроль синхронизма (КС)</b> .....	<b>48</b>
<b>30</b>	<b>Определение места повреждения (ОМП)</b> .....	<b>49</b>
30.1	Выбор накладок .....	49
30.2	Анализ топологии ЛЭП и подготовка исходных данных для расчета .....	51
30.3	Расчет уставок ОМП .....	52
30.3.1	Расчет параметров прямой последовательности участков воздушной ЛЭП .....	53
30.3.2	Расчет параметров прямой последовательности участков кабельной ЛЭП .....	54
30.3.3	Расчет параметров нулевой последовательности участков воздушной ЛЭП.....	56
30.3.4	Расчет параметров нулевой последовательности участков кабельной ЛЭП .....	58
30.3.5	Расчет параметров системы слева и системы справа .....	60
30.3.6	Расчет параметров ответвлений .....	60

30.3.7 Расчет сопротивления нулевой последовательности параллельной линии и удельного взаимного сопротивления нулевой последовательности .....	60
30.4 Подготовка исходных данных для терминала.....	61
30.5 Выбор уставок ОМП при отсутствии необходимых сведений о контролируемой линии	63
30.5.1 Расчет удельных параметров линии .....	63
30.5.2 Расчет параметров системы слева и системы справа.....	64
30.5.3 Учет параллельных линий .....	65
<b>31 Диагностика ресурса выключателя (МКРВ).....</b>	<b>67</b>
31.1 Контроль механического ресурса выключателя (МРВ) .....	68
31.2 Контроль коммутационного ресурса выключателя (КРВ).....	68
<b>32 Оперативное управление функциями.....</b>	<b>71</b>
<b>33 Управление режимом ТУ .....</b>	<b>72</b>
<b>34 Учет электроэнергии .....</b>	<b>73</b>
<b>Приложение А (обязательное) Рекомендации по выбору ИТТ и расчет сечений жил контрольных кабелей в цепях защиты линий .....</b>	<b>74</b>
<b>Приложение Б (обязательное) Определение емкостей фаз относительно земли для воздушных линий.....</b>	<b>76</b>
<b>Приложение В (обязательное) Расчет электрических величин для выбора уставок.....</b>	<b>77</b>
<b>Приложение Г (справочное) Методика выбора угла между током нагрузки и током К380</b>	
<b>Приложение Д (справочное) Методика выбора коэффициента броска .....</b>	<b>82</b>
<b>Приложение Е (обязательное) Пример расчета уставок защиты типа «ТОР 200 С 10» ..</b>	<b>85</b>
<b>Список сокращений .....</b>	<b>92</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>94</b>

Данные рекомендации по расчету уставок (РРУ) содержат краткое описание расчета уставок измерительных органов (ИО) и выдержек времени устройств защиты и автоматики реклоузера 6-10 кВ «ТОР 200 С 10», рекомендуемое к использованию как на этапе проектирования, так и на этапе ввода в эксплуатацию.

Приведенные в документе принципы и выражения для расчета уставок носят рекомендательный характер и могут быть уточнены и изменены в зависимости от особенностей защищаемого объекта.

Дополнительная информация о защите, её особенностях и принципах действия может быть получена из руководства по эксплуатации АИПБ.656122.025-080 РЭ2 [1] и также может быть получена благодаря консультациям разработчика, координаты которого приведены выше.

## 1 Общие сведения

Устройство защиты и автоматики «ТОР 200 С 10» предназначено для релейной защиты и автоматики реклоузера 6-10 кВ в типовых схемах открытых распределительных устройств, последовательного секционирования линий с односторонним питанием, последовательного секционирования линий с сетевым резервом.

Открытые распределительные устройства или распределительные пункты подразумевают применение реклоузера в качестве вводных, секционных выключателей или выключателей отходящих присоединений с возможностью использования независимого оперативного питания. Выбор защит не отличается от типовых КРУ.

Последовательное секционирование линий с односторонним питанием используется в радиальных линиях без сетевого резервирования от смежных источников. Схема повышает надежность электроснабжения участков, располагающихся ближе к источнику. Реклоузеры должны быть обеспечены простыми токовыми защитами, отстроенными ступенями селективности, и необходимым количеством циклов автоматического повторного включения.

Последовательное секционирование линий с сетевым резервом используется в радиальных линиях с двумя или несколькими смежными источниками питания. Схема предполагает автоматическое выделение поврежденного участка и автоматическое включение резервного питания. В этом случае линейные реклоузеры и реклоузеры отходящих присоединений должны быть обеспечены направленными защитами от междуфазных повреждений и замыканий на землю с возможностью нескольких циклов повторного включения, а для пунктов секционирования должен предусматриваться АВР.

В устройствах защит «ТОР 200 С 10» заложены следующие функции:

- трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ+) прямого направления;
- трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ-) обратного направления;
- три цикла автоматического повторного включения после работы МТЗ (АПВ МТЗ);
- трехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП+) прямого направления;
- трехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП-) обратного направления;
- три цикла автоматического повторного включения после работы ТНЗНП (АПВ ТНЗНП);
- токовая отсечка (ТО);
- максимальная токовая защита в режиме «Работа на линии» (МТЗ РНЛ);
- токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП);
- токовая защита нулевой последовательности в режиме «Работа на линии» (ТЗНП РНЛ);
- защита от обрыва токоведущего проводника (ЗОП) по I<sub>2</sub>;
- защита от обрыва токоведущего проводника (ЗОП) по I<sub>2</sub>/I<sub>1</sub>;
- ускорение токовых защит и частотной разгрузки;
- определение включения на нагрузку для загробления токовых защит (ВНН);
- пуск защит по напряжению;
- контроль частоты и напряжения линий;
- контроль напряжения обратной последовательности линий (Контроль U<sub>2</sub>);
- сигнализация замыкания на землю по 3U<sub>0</sub> (СЗЗ);
- двухступенчатая защита минимального напряжения (ЗМН);
- автоматическое повторное включение после работы ЗМН (АПВ ЗМН);
- двухступенчатая защита от повышения напряжения (ЗПН);
- автоматическое повторное включение после работы ЗПН (АПВ ЗПН);
- автоматическая частотная разгрузка (АЧР);
- автоматическое повторное включение по АЧР (ЧАПВ);
- орган по скорости изменения частоты (орган df/dt);
- автоматическое включение секционирующего пункта (АВР);
- защита от потери питания (ЗПП);
- контроль синхронизма (КС);

- контроль цепей и управление выключателем;
- оперативный ввод/вывод функций;
- местная, предупредительная и аварийная сигнализация;
- диагностика ресурса выключателя (МКРВ);
- определение места повреждения.

Рекомендации по выбору ИТТ и расчет сечений жил контрольных кабелей в цепях защиты приведены в приложении А. Определение емкостей фаз относительно земли для ВЛ приведено в приложении Б. Расчет электрических величин для выбора уставок приведен в приложении В. Методика выбора угла между токов нагрузки и током КЗ приведена в приложении Г. Методика выбора коэффициента броска тока намагничивания приведена в приложении Д.

Пример расчета уставок приведен в приложениях Е.

Пример схемы подключения терминала приведен на рисунке 1.1.

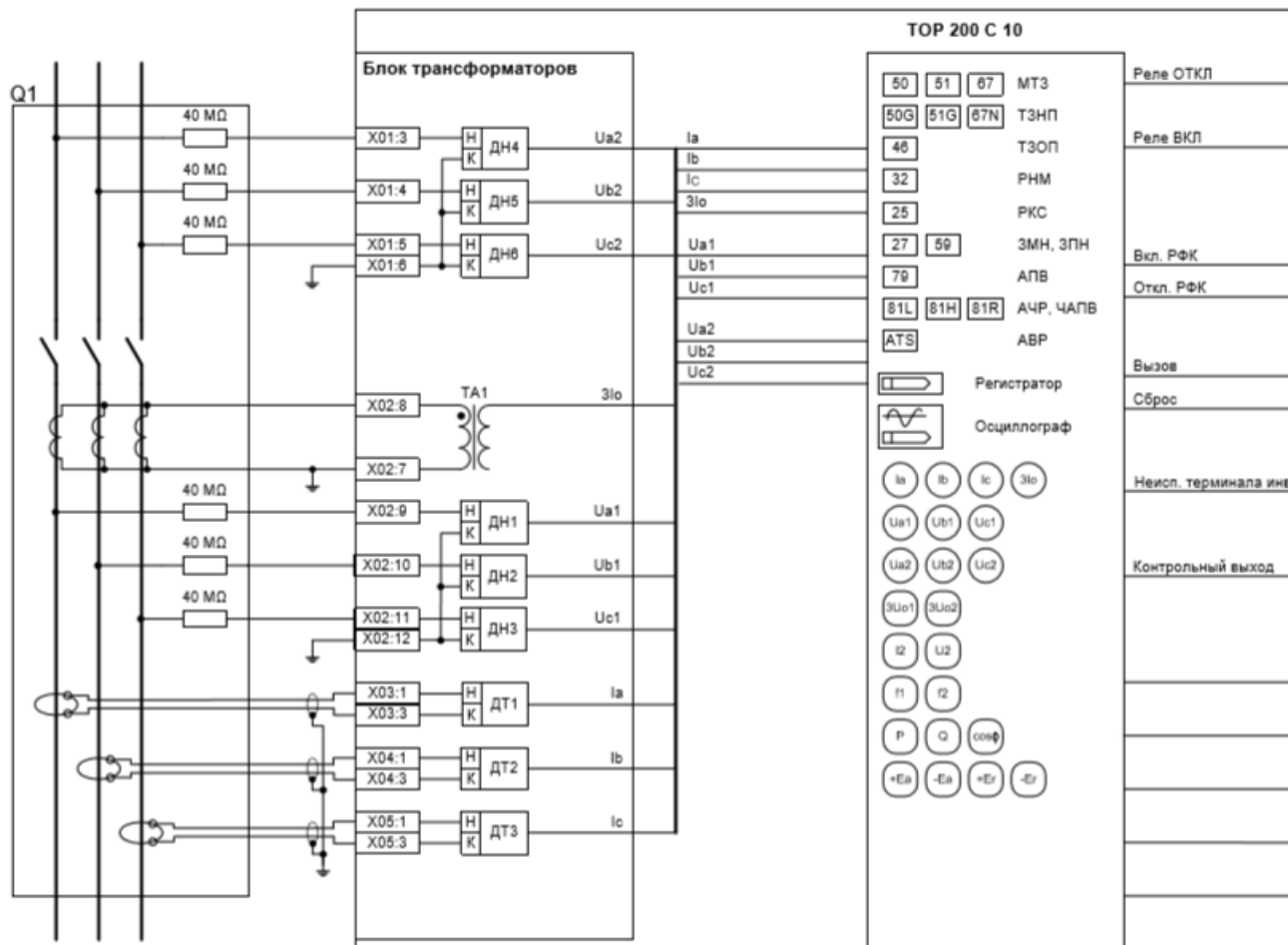


Рисунок 1.1 – Пример схемы подключения терминала типа «TOP 200 C 10»

Промежуточный трансформатор тока ТА1 предназначен для подключения ТТНП или трех фазных ИТТ и выполняется на номинальный ток  $I_{ном}$ , 0,02 А.



## 2 Токовая отсечка

ТО содержит три максимальных ИО тока, включенных на фазные токи. На вход ТО поступают действующие значения фазных токов от блока ЦОС.

Функция вводится в работу с помощью соответствующей программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»). Для оперативного вывода функции из работы предусмотрен логический вход «**Вывод**».

Предусмотрен логический вход «**Блокировка**» для блокировки работы защиты. Ввод блокировки производится с помощью соответствующей программной накладки «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 2.1 Выбор уставки по току срабатывания

Ток срабатывания ТО выбирается по условию отстройки от максимального тока, протекающего в месте установки защиты, при КЗ в конце защищаемой зоны

$$I_{с.з} \geq k_{отс} \cdot I_{КЗ,макс} \quad (2.1)$$

где  $k_{отс} = 1,1-1,2$  – коэффициент отстройки;

$I_{КЗ,макс}$  – максимальный ток КЗ в месте установки защиты при трехфазном КЗ в конце защищаемой зоны, А.

Для линий 6-10 кВ при определении максимального тока КЗ в конце защищаемой зоны рассматривается трехфазное КЗ при работе питающей энергосистемы в максимальном режиме, при котором электрическое сопротивление энергосистемы является минимальным.

При наличии трансформаторов присоединений подстанций, питаемых рассматриваемой линией электропередачи, следует также рассматривать условие отстройки от броска тока намагничивания данных трансформаторов

$$I_{с.з} > k_{отс} \cdot \sum I_{ном,тр}, \quad (2.2)$$

где  $k_{отс} = 3-4$  – коэффициент отстройки;

$\sum I_{ном,тр} = \frac{\sum S_{ном,тр}}{\sqrt{3} \cdot U_c}$  – суммарный номинальный ток силовых трансформаторов, которые

могут одновременно включаться под напряжение по защищаемой линии. Рекомендуется учитывать только около 70 % тока нагрузки трансформаторов, А;

$\sum S_{ном,тр}$  – суммарная мощность силовых трансформаторов, которые могут одновременно включаться под напряжение по защищаемой линии, кВ·А;

$U_c$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты, кВ.

Уставка по току срабатывания принимается равной наибольшему значению из полученных по условиям отстройки от внешнего КЗ (2.1) и от броска намагничивания трансформаторов присоединений подстанций, питаемых рассматриваемой ЛЭП (2.2).

Для ТО без выдержки времени, устанавливаемых на линиях, коэффициент чувствительности должен быть около 1,2 при КЗ в месте установки защиты в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме

$$k_{ч} = \frac{I_{КЗ,мин}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (2.3)$$

где  $I_{КЗ,мин}$  – минимальное значение тока в месте установки защиты при двухфазном металлическом КЗ в минимальном режиме работы питающей системы в расчетном месте КЗ, А.

Примечание – Согласно [2], требования к чувствительности устройства РЗ считаются выполненными, если коэффициент чувствительности превышает 90 % от указанного значения.

Уставка в устройстве обозначается «**Тсраб**» и задается в первичных величинах.

### 2.2 Выбор выдержки времени

Выдержку времени ТО «**Тсраб**» для обеспечения быстрого отключения защищаемой линии при больших кратностях токов КЗ рекомендуется принимать равной минимальному возможному значению, т.е. 0 с.

### 3 Максимальная токовая защита

В терминале реализованы трехступенчатая МТЗ прямого направления (МТЗ+) и трехступенчатая МТЗ обратного направления (МТЗ-). Каждая ступень использует три однофазных ИО (реле тока) максимального действия.

Уставки МТЗ, направленной в шины, рассчитываются аналогично уставкам МТЗ, направленной в линию.

На вход ступеней МТЗ поступают действующие значения фазных токов от блока ЦОС и сигналы от реле направления мощности, необходимые для работы направленных защит.

В устройстве типа «ТОР 200 С 10» все ступени, в соответствии с заданными уставками, могут иметь зависимую или независимую от тока выдержку времени.

Срабатывание реле тока происходит, когда ток в фазе превышает установленное для ступени значение (ток срабатывания). Ток срабатывания рассчитывается и задается в терминал в первичных величинах.

Выбранное для каждой ступени значение тока срабатывания должно соответствовать диапазону изменения уставки, определенному техническими условиями для терминала.

Ступень МТЗ вводится в работу с помощью соответствующей программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Режим направленности ступени МТЗ выбирается при помощи соответствующей программной наклейки «**Нреж**» («0 – ненапр.», «1 – напр.»).

Для каждой ступени предусмотрен логический вход «Блокировка» для блокировки ее работы. Ввод блокировки ступени производится с помощью соответствующей программной наклейки «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

В устройствах «ТОР 200 С 10» предусмотрена возможность увеличения уставки по току срабатывания каждой из ступеней МТЗ на коэффициент «**Кзагр**» при помощи программной наклейки «**Нзагр**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Логика заглубления уставки по току («**Нзагр**», «**кзагр**») для ступеней МТЗ используется в том случае, если питание крупных электродвигателей осуществляется через защищаемую ВЛ.

Коэффициент заглубления рассчитывается как отношение максимального из токов пуска или несинхронного включения ЭД к принятому первичному значению уставки ступени МТЗ по выражению

$$k_{\text{загр}} \geq \frac{I_{\text{загр}}}{I_{\text{с.з}}^I}, \quad (3.1)$$

где  $I_{\text{загр}} = k_{\text{отс}} \cdot \max(I_{\text{нс,вкл}}; I_{\text{пуск}})$  – ток необходимого заглубления ступени МТЗ для исключения излишнего срабатывания во время переходных процессов в питаемых ЭД, возникающих при включении выключателя, А;

$k_{\text{отс}} = 1,8$  – коэффициент отстройки, учитывающий влияние апериодической составляющей переходного процесса в ЭД;

$I_{\text{нс,вкл}}$  – ток несинхронного включения ЭД, рассчитывается по методике, приведенной в приложении В, Ом;

$I_{\text{пуск}}$  – пусковой ток двигателя с учетом сопротивления питающей системы, рассчитывается в приложении В, А.

Примечание – Пусковой ток  $I_{\text{пуск}}$  ЭД, оборудованных устройствами плавного пуска, не учитывается при расчете параметра  $I_{\text{загр}}$ .

Коэффициент заглубления в устройстве обозначается «**Кзагр**». Если рассчитанное значение коэффициента заглубления по формуле (3.1) получилось меньше 1, то коэффициент заглубления «**Кзагр**» в файле уставок задается равным 1 или накладка «**Нзагр**» устанавливается в положение «0».

### 3.1 Выбор уставок первой ступени МТЗ

Первая ступень используется в качестве устройства комплекса МТЗ примыкающей электрической сети, в котором селективный принцип реализуется посредством ступенчатого выбора выдержек времени.

#### 3.1.1 Выбор уставки по току срабатывания

Первая ступень является резервной защитой МТЗ присоединений, которые питаются от рассматриваемой линии. Селективная работа обеспечивается согласованием параметров срабатывания МТЗ. Условия согласования рассмотрены ниже.

При расчете тока срабатывания учитывается нагрузка электропотребителей, питающихся от рассматриваемой линии. Несрабатывание МТЗ достигается выбором тока возврата большим, чем наибольший ток в режиме самозапуска [3]. Ток срабатывания определяется выражением

$$I_{с.з}^I \geq \frac{k_{отс} k_{сзп}}{k_{в}} I_{раб, макс} \quad (3.2)$$

где  $k_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$k_{сзп}$  – коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение тока заторможенной двигательной нагрузки после восстановления напряжения. В предварительных расчетах, а также в случае отсутствия соответствующей информации, данный коэффициент может быть принят равным 1,5–2,5. Для бытовой нагрузки, имеющей в своем составе малую долю электродвигателей, принимают коэффициент самозапуска по опытным данным  $k_{сзп} = 1,2–1,3$ ; для городских сетей общего назначения  $k_{сзп} = 2,5$ ; для сельских сетей  $k_{сзп} = 2$ ;

$k_{в} = 0,95$  – коэффициент возврата;

$I_{раб, макс}$  – максимальный рабочий ток защищаемой линии с учетом ее возможной перегрузки, А.

Уставка должна быть согласована с током срабатывания МТЗ присоединений, отходящих от рассматриваемой линии (а также – от МТЗ СВ, при его наличии в схеме РУ, питаемого от рассматриваемой линии).

Расчетное выражение для определения тока срабатывания по условию согласования защит

$$I_{с.з}^I \geq k_c \cdot k_{ток} \cdot (I_{с.з, пред, макс} + \sum I_{раб, макс}), \quad (3.3)$$

где  $k_c = 1,1–1,4$  – коэффициент надежности согласования, учитывает общее влияние факторов, которые могут вызвать неселективное действие рассматриваемых защит и излишнее срабатывание первой ступени (указанные факторы включают величину тока нагрузки неповрежденных присоединений, отходящих от питаемых секций, погрешности настройки уставок, погрешности ИО, определяемые их техническими характеристиками). Коэффициент принимается равным  $k_c = 1,1$  при согласовании с микропроцессорной защитой или с реле косвенного действия,  $k_c = 1,3–1,4$  при согласовании с реле прямого действия;

$k_{ток}$  – коэффициент токораспределения, равен отношению значения тока в рассматриваемой защите к току в защите смежного объекта при КЗ в конце зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование, протекающего через защиту поврежденного присоединения, с которой производится согласование, к значению тока КЗ, протекающего в месте установки рассматриваемой защиты; принимается минимальное значение коэффициента. Коэффициент токораспределения учитывается при наличии нескольких источников питания, при одном источнике питания принимается равным 1;

$I_{с.з, пред, макс}$  – максимальный из токов срабатывания МТЗ предыдущих смежных элементов, А;

$\sum I_{раб, макс}$  – сумма максимальных значений рабочих токов всех предыдущих смежных элементов, за исключением того смежного элемента, с защитой которого производится согласование, А;

Следует использовать расчетное выражение (3.3) для определения тока срабатывания при согласовании:

- с МТЗ отходящего присоединения, имеющего наибольшее значение тока срабатывания;

- с МТЗ присоединения, имеющего обратно зависимую от тока выдержку времени (для выбора максимально допустимой выдержки времени МТЗ рассматриваемой линии);

- с МТЗ СВ, подключенного к питаемой от рассматриваемой линии секции.

Согласование с МТЗ параллельно работающих смежных присоединений производится по выражению

$$I_{с.з}^I \geq k_c \cdot k_{ток} \cdot \left( \sum_1^n I_{с.з,пред,макс} + \sum_1^{N-n} I_{раб,макс} \right), \quad (3.4)$$

где  $k_c = 1,1-1,4$  – коэффициент отстройки, учитывает общее влияние факторов, которые могут вызвать неселективное действие рассматриваемых защит и излишнее срабатывание первой ступени (указанные факторы включают величину тока нагрузки неповрежденных присоединений, отходящих от питаемых секций, погрешности настройки уставок, погрешности ИО, определяемые их техническими характеристиками). Коэффициент принимается равным  $k_c = 1,1$  при согласовании с микропроцессорной защитой или с реле косвенного действия,  $k_c = 1,3-1,4$  при согласовании с реле прямого действия;

$k_{ток}$  – коэффициент токораспределения, равен отношению значения тока в рассматриваемой защите к току в защите смежного объекта при КЗ в конце зоны действия ступени защиты, с которой производится согласование, протекающего через защиту поврежденного присоединения, с которой производится согласование, к значению тока КЗ, протекающего в месте установки рассматриваемой защиты; принимается минимальное значение коэффициента. Коэффициент токораспределения учитывается при наличии нескольких источников питания, при одном источнике питания принимается равным 1;

$\sum_1^n I_{с.з,пред,макс}$  – наибольшая из сумм токов срабатывания МТЗ  $n$ -параллельно работающих предыдущих элементов, А;

$\sum_1^{N-n} I_{раб,макс}$  – сумма максимальных значений рабочих токов всех предыдущих элементов

(N), за исключением тех, с защитами которых производится согласование, А.

Уставка МТЗ первой ступени принимается равной наибольшему значению, выбранному по условиям отстройки от самозапуска двигательной нагрузки и согласования с защитами смежных элементов.

Уставка в устройстве обозначается «**Исраб**» и задается в первичных величинах.

Согласно [3] коэффициент чувствительности определяется по выражению

$$k_q = \frac{I_{КЗ,мин}}{I_{с.з}^I}, \quad (3.5)$$

где  $I_{КЗ,мин}$  – минимальное значение тока в месте установки защиты при двухфазном металлическом КЗ в минимальном режиме работы питающей системы в расчетном месте КЗ, А.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,2 при выполнении МТЗ функций резервирования и не менее 1,5 при выполнении функций основной защиты (при КЗ в конце зоны действия).

Примечание – Согласно [2], требования к чувствительности устройства РЗ считаются выполненными, если коэффициент чувствительности превышает 90 % от указанного значения.

Если условие обеспечения чувствительности не выполняется, то обязательно должно быть предусмотрено использование третьей ступени.

### 3.1.2 Выбор выдержек времени

Предусмотрена работа ступени как с независимой, так и с обратнoзависимой характеристикой срабатывания. Защита имеет возможность выбора одной из следующих характеристик срабатывания: чрезвычайно инверсная, сильно инверсная, нормально инверсная, длительно инверсная, RXIDG-типа, РТВ-I и РТ-80 (РТВ-IV). Графики обратнoзависимых времятоковых характеристик для токовых защит устройств «ТОР 200 С 10» однотипны и приведены в [1, приложение Д].

Выбор типа характеристики определяется программной накладкой «НтипХар» («0 – независим.», «1 – чрезв. инв.», «2 – сильн. инв.», «3 – норм. инв.», «4 – длит. инв.», «5 – RXIDG-типа», «6 – РТВ-I», «7 – РТ-80 (РТВ-IV)»).

Выдержка времени с обратнoзависимой характеристикой (чрезвычайно инверсная, сильно инверсная, нормально инверсная и длительно инверсная) определяется по формуле

$$t = \frac{k \cdot \beta}{(I/I_{\text{сраб}})^{\alpha} - 1}, \quad (3.6)$$

где  $k = 0,05-1$  – коэффициент времени;

$I$  – входной ток (ток, протекающий в месте установки защиты), А;

$I_{\text{сраб}}$  – первичное значение тока срабатывания первой ступени, А;

$\alpha, \beta$  – коэффициенты, определяющие степень инверсии (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Коэффициенты обратнoзависимых характеристик

Вид характеристики	$\alpha$	$\beta$
Инверсная	0,02	0,14
Сильно инверсная	1,0	13,5
Чрезвычайно инверсная	2,0	80,0
Длительно инверсная	1,0	120,0

Время срабатывания характеристики RXIDG-типа определяется по формуле

$$t = 5,8 - 1,35 \cdot \ln \left( \frac{I}{k \cdot I_{\text{сраб}}} \right), \quad (3.7)$$

где  $k = 0,05-1,00$  – временной коэффициент, задается в списке уставок; если рассчитанное значение коэффициента получилось большим, чем 1,00, то  $k$  принимается равным 1,00.

Примечание – Временной коэффициент в устройстве типа «ТОР 200 С 10» задается в виде уставки «Кврем» в относительных единицах.

Время срабатывания для крутой характеристики типа реле РТВ-1 определяется по формуле

$$t = \frac{1}{30 \cdot (I/I_{\text{сраб}} - 1)^3} + T_{\text{откл}}, \quad (3.8)$$

где  $T_{\text{откл}}$  – уставка по времени срабатывания, с.

Время срабатывания для пологой характеристики типа реле РТ-80 определяется по формуле

$$t = \frac{1}{20 \cdot ((I/I_{\text{сраб}} - 1)/6)^{1,8}} + T_{\text{откл}}. \quad (3.9)$$

При использовании обратнoзависимой характеристики срабатывания реле пускается при токах, превышающих уставку пускового тока, но не более:

- 1,3 от тока уставки для всех видов характеристик, кроме длительно инверсной;
- 1,1 от тока уставки для длительно инверсной характеристики.

Рабочий диапазон токов для длительно инверсной характеристики определяется как  $(2-7) I/I_{\text{сраб}}$ , а для чрезвычайно инверсной, сильно инверсной и инверсной как  $(2-20) I/I_{\text{сраб}}$ .

В рабочем диапазоне токов для всех зависимых характеристик погрешности (в процентах) по времени срабатывания соответствуют значениям, приведенным в [1, таблица 5].

Независимая выдержка времени «Тсраб» выбирается на ступень селективности больше выдержки времени смежного элемента сети

$$t_{с.з}^{II} \geq t_{с.з,смеж} + \Delta t, \quad (3.10)$$

где  $t_{с.з,смеж}$  – выдержка времени защит смежных элементов, с которыми производится согласование, с;

$\Delta t$  – ступень селективности, с. Принимается равной 0,3 с при условии применения однотипных реле серии ТЭМП или ТОР. При согласовании с другими защитами ступень селективности может быть увеличена в зависимости от технических характеристик данных защит. При выполнении защиты предыдущих элементов с зависимой от тока выдержкой времени, время срабатывания  $t_{с.з,смеж}$  принимается для определенного значения тока срабатывания.

## 3.2 Выбор уставок второй ступени МТЗ

Вторая ступень МТЗ предназначена для использования в качестве защиты от перегрузки.

### 3.2.1 Выбор уставки по току срабатывания

Ток срабатывания второй ступени МТЗ рекомендуется рассчитывать по условию отстройки от максимального тока в нагрузочном режиме

$$I_{с.з}^{II} \geq \frac{k_{отс}}{k_B} I_{раб,макс}, \quad (3.11)$$

где  $k_{отс} = 1,05-1,15$  – коэффициент отстройки;

$I_{раб,макс}$  – максимальный нагрузочный ток защищаемой линии, А. Значение тока может определяться номинальными параметрами первичного оборудования, установленной мощностью питаемой электрической нагрузки, условиями надежной работы МТЗ линии;

$k_B = 0,95$  – коэффициент возврата.

При использовании ступени с действием на отключение выполняется проверка чувствительности.

Согласно [3] коэффициент чувствительности определяется по формуле

$$k_{ч} = \frac{I_{КЗ,мин}}{I_{с.з}^{II}}, \quad (3.12)$$

где  $I_{КЗ,мин}$  – минимальное значение тока в месте установки защиты при двухфазном металлическом КЗ в конце резервируемого участка сети, А.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,2 при выполнении МТЗ функций резервирования.

Примечание – Согласно [2], требования к чувствительности устройства РЗ считаются выполненными, если коэффициент чувствительности превышает 90 % от указанного значения.

Уставка в устройстве обозначается «Тсраб» и задается в первичных величинах.

### 3.2.2 Выбор выдержек времени

Предусмотрена работа защиты как с независимой, так и с обратнoзависимой характеристикой срабатывания. Если ступень МТЗ используется с обратнoзависимой характеристикой, то выбор и задание типа характеристики показаны в 3.1.2.

Независимая выдержка времени на отключение защищаемой линии «Тсраб» должна быть выбрана по условию отстройки от успешного отключения КЗ первой ступенью МТЗ

$$t_{с.з}^{II} = t_{с.з}^I + \Delta t, \quad (3.13)$$

где  $t_{с.з}^I$  – выдержка времени первой ступени МТЗ, с;

$\Delta t = 0,2-0,3$  с – степень селективности.

Выдержка времени в устройстве обозначается «Тсраб» и задается в секундах.

### **3.3 Выбор уставок третьей ступени МТЗ**

Выбор уставок третьей ступени МТЗ определяется её назначением.

#### 4 МТЗ режима «Работа на линии» (МТЗ РНЛ)

МТЗ РНЛ предназначена для работы только в режиме «Работа на линии» при активации пятой группы уставок, при этом все функции автоматики выводятся накладками и не зависят от положения оперативных ключей и управления функциями из АСУ.

Функция вводится в работу с помощью соответствующей программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Предусмотрен логический вход «Блокировка» для блокировки работы защиты. Ввод блокировки производится с помощью соответствующей программной накладки «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

##### 4.1 Выбор уставки по току срабатывания

Расчет уставки по току срабатывания производится по условию отстройки от максимального нагрузочного тока линии по выражению (3.2).

При выбранной уставке проверяется коэффициент чувствительности при минимальном токе КЗ в конце защищаемой зоны

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ,мин}}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,5, \quad (4.1)$$

где  $I_{\text{КЗ,мин}}$  – минимальное значение тока в месте установки защиты при двухфазном металлическом КЗ в конце защищаемой зоны, А.

Примечание – Согласно [2], требования к чувствительности устройства РЗ считаются выполненными, если коэффициент чувствительности превышает 90 % от указанного значения.

Уставка в устройстве обозначается «**Исраб**» и задается в первичных величинах.

##### 4.2 Выбор выдержки времени

Выдержку времени МТЗ режима «Работа на линии» «**Тсраб**» рекомендуется принимать равной минимальному возможному значению, т.е. 0 с.



## 5 Реле направления мощности МТЗ (РНМ МТЗ)

РНМ МТЗ формирует сигналы прямого/обратного направления мощности для направленных ступеней МТЗ. На вход РНМ от блока ЦОС поступают фазные токи и междуфазные напряжения основной гармоники в комплексной форме. На выходе РНМ формируются сигналы прямого и обратного направления мощности МТЗ.

Для определения направления мощности реализованы три ИО направленности, использующие 90-градусную схему включения. Каналы фаз А, В, С используют для работы фазные токи и соответствующие междуфазные напряжения ( $I_a$  и  $U_{bc}$  – канал фазы А,  $I_b$  и  $U_{ca}$  – канал фазы В,  $I_c$  и  $U_{ab}$  – канал фазы С).

Предусмотрена возможность блокировки РНМ МТЗ от дискретного сигнала. Ввод/вывод блокировки производится накладкой «Нблок» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Характеристика срабатывания определяется углом максимальной чувствительности «Фмч». На рисунке 5.1 приведена характеристика срабатывания РНМ МТЗ при угле максимальной чувствительности  $45^\circ$ . Сектор срабатывания определяется углом максимальной чувствительности, который откладывается от междуфазного напряжения к соответствующему фазному току. В приведенном примере сектор срабатывания для прямого направления находится в диапазоне от минус  $40^\circ$  до плюс  $130^\circ$ .

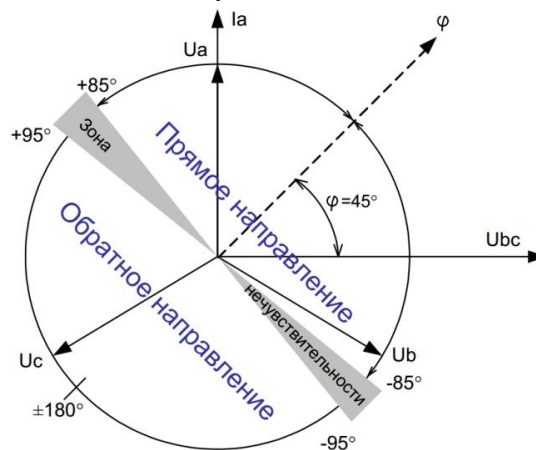


Рисунок 5.1 – Характеристика срабатывания РНМ фазы А

Для корректной работы ИО осуществляется контроль уровней тока и напряжения. Минимальный ток срабатывания ( $I_{сраб}$ ) составляет  $0,05 I_{ном}$ . Минимальное напряжение срабатывания ( $U_{сраб}$ ) составляет  $0,02 U_{ном}$ .

ОНМ имеет элемент «памяти» для обеспечения действия ступеней защит при глубокой посадке напряжения при близких КЗ. При снижении междуфазного напряжения ниже порога чувствительности для расчета направления мощности принимают вектора напряжений, соответствующие предыдущему режиму. Время действия элемента памяти ограничено 2,5 с.

Уставка по углу максимальной чувствительности для МТЗ определяется по следующей формуле

$$\varphi_{м.ч,МТЗ} = 90^\circ - \varphi_{КЗ} = 90^\circ - \arctg\left(\frac{X}{R}\right), \quad (5.1)$$

где  $\varphi_{КЗ} = \arctg\left(\frac{X}{R}\right)$  – аргумент комплексного сопротивления прямой последовательности зоны охвата рассматриваемой защиты, градус;

$X$  – реактивное сопротивление прямой последовательности зоны охвата рассматриваемой защиты, Ом;

$R$  – активное сопротивление прямой последовательности зоны охвата рассматриваемой защиты, Ом.

Уставка в терминале обозначается «Фмч» и задается в градусах.

## 6 Защита от обрыва проводника по отношению I2/I1 (ЗОП по I2/I1)

Защита срабатывает при обрыве токоведущего проводника, при появлении несимметричных режимов работы или при неисправности токовых цепей.

На вход ЗОП по отношению I2/I1 поступают действующие значения токов прямой и обратной последовательностей от блока ЦОС. Принцип работы ЗОП по отношению основан на контроле коэффициента несимметрии, который определяется как частное токов обратной и прямой последовательностей.

Защита вводится в работу программной накладкой «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Предусмотрен логический вход «Блокировка» для блокировки работы защиты. Ввод/вывод блокировки производится накладкой «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 6.1 Выбор уставки по току срабатывания

Работа ЗОП разрешена только в режимах, сопровождающихся достаточным уровнем тока обратной последовательности. Уровень максимального тока I2, при котором возможна работа защиты, задается уставкой «**Исраб**» равной (0,05–0,1) I<sub>перв,ИТТ</sub>.

Уставка в устройстве обозначается «**Исраб**» и задается в первичных величинах.

### 6.2 Выбор коэффициента несимметрии

Пуск ступени происходит при превышении коэффициентом несимметрии уставки срабатывания «**Кнесим**». Уставку «**Кнесим**» рекомендуется принять равной 50 %.

### 6.3 Выбор выдержек времени

Выдержка времени ЗОП по несимметрии на срабатывание должна быть отстроена от максимального времени действия защит при междуфазных КЗ

$$t_{с.з} = t_{рез,макс} + \Delta t, \quad (6.1)$$

где  $t_{рез,макс}$  – максимальное время действия резервных защит элемента электрической сети, питающего рассматриваемую линию, с;

$\Delta t = 0,5–1,0$  – время запаса, с.

Уставка в устройстве обозначается «**Тсраб**» и задается в секундах.

## 7 Защита от обрыва токоведущего проводника по I2 (ЗОП по I2)

ЗОП срабатывает при обрыве токоведущего проводника, при появлении несимметричных режимов работы или при неисправности токовых цепей. Это предотвращает перегрузку двигателей при обрыве фазы со стороны питания подстанции.

Применение защиты на присоединениях ПС с отсутствием двигательной нагрузки оправдано с точки зрения контроля токовых цепей защит.

На вход ЗОП поступает действующее значение тока обратной последовательности от блока ЦОС.

Ввод ЗОП по I2 в работу осуществляется с помощью программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Предусмотрен логический вход «Блокировка» для блокировки работы защиты. Ввод/вывод блокировки производится накладкой «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 7.1 Выбор уставки по току срабатывания

Защита срабатывает при превышении током обратной последовательности уставки срабатывания «**Исраб**». Уставка по току выбирается по условию допустимой несимметрии питающей сети равной 25 %

$$I_{с.з} = 0,25 \cdot I_{ном,л}, \quad (7.1)$$

где  $I_{ном,л}$  – номинальный ток линии, А.

Уставка в устройстве обозначается «**Исраб**» и задается в первичных величинах.

### 7.2 Выбор выдержек времени

Выдержка времени ЗОП по I2 на срабатывание должна быть отстроена от максимального времени действия защит при междуфазных КЗ

$$t_{с.з} = t_{рез,макс} + \Delta t, \quad (7.2)$$

где  $t_{рез,макс}$  – максимальное время действия резервных защит элемента электрической сети, питающего рассматриваемую линию, с;

$\Delta t = 0,5-1,0$  – время запаса, с.

Уставка обозначается в устройстве «**Тсраб**» и задается в секундах.

## 8 Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП)

В терминале реализована ступень ненаправленной ТЗНП, обеспечивающая защиту от однофазных замыканий на землю.

Для реализации ТЗНП в терминале задействован ИО максимального тока. На вход блока ТЗНП заводится действующее значение тока нулевой последовательности  $3I_0$ .

Ввод в работу ТЗНП производится программной накладкой «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Предусмотрен логический вход «Блокировка» для блокировки защиты. Блокировка вводится в работу с помощью программной накладки «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 8.1 Выбор уставки по току срабатывания

Ток срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемой линии при дуговых перемежающихся ОЗЗ [4]

$$3I_{0с.з} = k_{отс} k_{бр} I_{емк}, \quad (8.1)$$

где  $k_{отс} = 1,2-1,3$  – коэффициент отстройки;

$k_{бр}$  – коэффициент «броска», учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения ОЗЗ, а также способность реле реагировать на него; принимается равным  $1,5-2,0$  для микропроцессорных защит;

$I_{емк}$  – емкостной ток линии, А.

Значение емкостного тока линии можно ориентировочно определить по формулам:

– для КЛ

$$I_{емк} = \frac{U_{л} \cdot L_{\Sigma}}{10}; \quad (8.2)$$

– для ВЛ

$$I_{емк} = \frac{U_{л} \cdot L_{\Sigma}}{350}, \quad (8.3)$$

где  $U_{л}$  – номинальное напряжение линии, кВ;

$L_{\Sigma}$  – суммарная длина линии, км.

Для более точного расчета емкостного тока КЛ можно воспользоваться формулой

$$I_{емк} = I_{с,уд} \cdot L \cdot m, \quad (8.4)$$

где  $I_{с,уд}$  – утроенное удельное значение емкостного тока КЛ, А/км. Значения приведены в таблице 8.1;

$L$  – длина линии, км;

$m$  – число кабелей в линии.

Таблица 8.1 – Утроенные удельные значения емкостных токов кабельных линий с бумажной изоляцией

Сечение жил кабеля, мм <sup>2</sup>	Удельное значение емкостного тока $I_{с,уд}$ А/км при напряжении сети	
	6 кВ	10 кВ
16	0,40	0,55
25	0,50	0,65
35	0,58	0,72
50	0,68	0,80
70	0,80	0,92
95	0,90	1,04
120	1,00	1,16
150	1,18	1,30
185	1,25	1,47
240	1,45	1,70

Для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена точное значение удельного емкостного тока необходимо запросить у завода-изготовителя на данную партию кабельной продукции.

Для более точного расчета емкостного тока ЛЭП можно воспользоваться формулой [4]

$$I_{\text{емк}} = 3 \cdot C_{0\text{л}} \cdot L \cdot \omega \cdot U_{\text{ф,ном}}, \quad (8.5)$$

где  $C_{0\text{л}}$  – удельная емкость фазы ЛЭП на землю, Ф/км; методика расчета приведена в приложении Д;

$L$  – длина ЛЭП, км;

$\omega = 2\pi \cdot 50$  – угловая скорость, 1/с;

$U_{\text{ф,ном}}$  – номинальное фазное напряжение сети, В.

Чувствительность защиты при замыканиях на землю на защищаемой линии проверяется по отношению токов, протекающих через место установки защиты, к току срабатывания защиты

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0\text{расч}}}{3I_{0\text{с.з}}}, \quad (8.6)$$

где  $3I_{0\text{расч}}$  – минимальное значение тока  $3I_0$ , протекающего через место установки защиты, при внутреннем металлическом ОЗЗ, А.

Примечание – Согласно [2], требования к чувствительности устройства РЗ считаются выполненными, если коэффициент чувствительности превышает 90 % от указанного значения.

Значение  $3I_{0\text{расч}}$  определяется следующим образом [4]:

– для сети с изолированной нейтралью

$$3I_{0\text{расч}} = I_{\text{с}\Sigma, \text{мин}} - I_{\text{емк}}, \quad (8.7)$$

где  $I_{\text{с}\Sigma, \text{мин}}$  – минимальное значение суммарного емкостного тока сети, А;

$I_{\text{емк}}$  – собственный емкостной поврежденной ЛЭП, А;

– для сети с заземлением нейтрали через резистор

$$3I_{0\text{расч}} = \sqrt{(I_{\text{с}\Sigma, \text{мин}} - I_{\text{емк}})^2 + I_{\text{R}}^2}, \quad (8.8)$$

где  $I_{\text{с}\Sigma, \text{мин}}$  – минимальное значение суммарного емкостного тока сети, А;

$I_{\text{емк}}$  – собственный емкостной ток поврежденной ЛЭП, А;

$I_{\text{R}} = U_{\text{ф,ном}} / R_{\text{N}}$  – активная составляющая тока ОЗЗ (при низкоомном заземлении нейтрали  $I_{\text{R}} \gg I_{\text{с}\Sigma, \text{мин}}$  и  $I_{\text{емк}} \approx I_{\text{R}}$ ), А;

$U_{\text{ф,ном}}$  – номинальное фазное напряжение сети, В;

– для компенсированной сети

$$3I_{0\text{расч}} = \sqrt{(v I_{\text{с}\Sigma} - I_{\text{емк}})^2 + (d I_{\text{с}\Sigma})^2}, \quad (8.9)$$

где  $v = \frac{I_{\text{с}\Sigma} - I_{\text{L}}}{I_{\text{с}\Sigma}}$  – степень расстройки компенсации; при резонансной настройке ДГР  $v = 0$ ;

$I_{\text{с}\Sigma}$  – суммарный емкостной ток сети, А;

$I_{\text{L}}$  – индуктивный ток ДГР, А;

$I_{\text{емк}}$  – собственный емкостной ток присоединения, А;

$d$  – коэффициент успокоения сети, определяется отношением активной составляющей тока ОЗЗ к  $I_{\text{с}\Sigma}$ .

Согласно ПУЭ [5] для кабельных сетей требуется обеспечить наименьший коэффициент чувствительности равный 1,25, для воздушных сетей – 1,5.

Уставка в устройстве обозначается «**3I0сраб**» и задается в первичных величинах.

## 8.2 Выбор выдержек времени

Защита от ОЗЗ на срабатывание должна применяться с минимальной выдержкой времени в следующих случаях:

– в сетях, работающих с низкоомным заземлением нейтрали;

– в сетях, работающих с изолированной нейтралью, с резонансным заземлением нейтрали или высокоомным заземлением нейтрали, где отключение ОЗЗ необходимо по требованиям техники безопасности, или когда ожидаемый ущерб от внезапного отключения поврежденного элемента меньше, чем ущерб от последствий длительного протекания тока ОЗЗ или перехода замыкания в КЗ.

Уставка в устройстве обозначается «**Тсраб**» и задается в секундах.

## 9 ТЗНП режима «Работа на линии» (ТЗНП РНЛ)

ТЗНП РНЛ предназначена для работы только в режиме «Работа на линии» при активации пятой группы уставок, при этом все функции автоматики выводятся накладками и не зависят от положения оперативных ключей и управления функциями из АСУ.

Ввод в работу ТЗНП производится программной накладкой «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Предусмотрен логический вход «Блокировка» для блокировки защиты. Блокировка вводится в работу с помощью программной накладки «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 9.1 Выбор уставки по току срабатывания

Расчет уставки по току срабатывания производится по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемой линии при дуговых перемежающихся ОЗЗ по выражению (8.1).

Чувствительность защиты при замыканиях на землю на защищаемой линии проверяется по отношению токов, протекающих через место установки защиты, к току срабатывания защиты

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{\text{орасч}}}{3I_{\text{ос.з}}}, \quad (9.1)$$

где  $3I_{\text{орасч}}$  – минимальное значение тока  $3I_0$ , протекающего через место установки защиты, при внутреннем металлическом ОЗЗ, А. Значение  $3I_{\text{орасч}}$  определяется как в пункте 8.1.

Согласно ПУЭ [5] для кабельных сетей требуется обеспечить наименьший коэффициент чувствительности равный 1,25, для воздушных сетей – 1,5.

Примечание – Согласно [2], требования к чувствительности устройства РЗ считаются выполненными, если коэффициент чувствительности превышает 90 % от указанного значения.

Уставка в устройстве обозначается «**3I0сраб**» и задается в первичных величинах.

### 9.2 Выбор выдержек времени

Выдержку времени ТЗНП режима «Работа на линии» «**Тсраб**» рекомендуется принимать равной минимальному возможному значению, т.е. 0 с.

## 10 Токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП)

В терминале реализованы три ступени ТНЗНП прямого направления (ТНЗНП+) и три ступени ТНЗНП обратного направления (ТНЗНП–), обеспечивающие защиту от однофазных замыканий на землю. Направленность ТНЗНП обеспечивается блоком РНМНП.

Для реализации ТНЗНП в терминале задействован ИО максимального тока.

Уставки ТНЗНП, направленной в шины, рассчитываются аналогично уставкам ТНЗНП, направленной в линию. Выбор уставок ступеней ТНЗНП зависит от их назначения.

Ввод в работу соответствующей ступени ТНЗНП производится программной накладкой «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Соответствующая ступень ТНЗНП может быть выполнена как направленной, так и ненаправленной. Направленность ступени ТНЗНП выбирается программной наладкой «**Нреж**» («0 – ненапр.», «1 – напр.»).

На вход блока ТНЗНП заводится действующее значение тока нулевой последовательности  $3I_0$ . В ненаправленном режиме работы («**Нреж**» = 0) при превышении током  $3I_0$  заданной уставки «**3I0сраб**» происходит пуск ТНЗНП (сигнал «Пуск»). В направленном режиме для пуска и срабатывания ТНЗНП необходим сигнал от ОНМ, разрешающий работу защиты.

Предусмотрен логический вход «Блокировка» для блокировки работы защиты. Ввод блокировки работы ТНЗНП производится программной накладкой «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 10.1 Выбор уставки по току срабатывания ТНЗНП

Если выбран ненаправленный режим работы (программная накладка «**Нреж**» = 0), уставка по току срабатывания будет рассчитываться согласно 8.1.

Направленная защита от ОЗЗ (программная наладка «**Нреж**» = 1) по принципу действия не требует отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения. Поэтому первичный ток срабатывания защиты определяется из условия обеспечения требуемой чувствительности [4]

$$3I_{0с.з} \leq \frac{I_{с\Sigma} - I_{емк}}{k_{ч,мин,доп}}, \quad (10.1)$$

где  $I_{с\Sigma}$  – суммарный емкостной ток сети, А;

$I_{емк}$  – собственный емкостной ток присоединения, А;

$k_{ч,мин,доп}$  – минимально допустимый коэффициент чувствительности,  $k_{ч,мин,доп} = 1,5$  –

для воздушных сетей;  $k_{ч,мин,доп} = 1,25$  – для кабельных сетей.

Уставка в устройстве обозначается «**3I0сраб**» и задается в первичных величинах.

### 10.2 Выбор выдержек времени

Защита от ОЗЗ с действием на отключение должна применяться с минимальной выдержкой времени в следующих случаях:

- в сетях, работающих с низкоомным заземлением нейтрали;
- в сетях, работающих с изолированной нейтралью, с резонансным заземлением нейтрали или высокоомным заземлением нейтрали, где отключение ОЗЗ необходимо по требованиям техники безопасности, или когда ожидаемый ущерб от внезапного отключения поврежденного элемента меньше, чем ущерб от последствий длительного протекания тока ОЗЗ или перехода замыкания в КЗ.

Уставка в устройстве обозначается «**Тсраб**» и задается в секундах.

Предусмотрена работа ступени, как с независимой, так и с обратнoзависимой характеристикой срабатывания. Характеристика выдержки времени определяется



программной накладкой «**NтипХар**» («0 – независим.», «1 – чрезв. инв.», «2 – сильн. инв.», «3 – норм. инв.», «4 – длит. инв.», «5 – RXIDG-типа», «6 – РТВ-1», «7 – РТ-80 (РТВ-IV)»).

Если ТНЗНП необходимо реализовать с обратозависимой характеристикой срабатывания, то в зависимости от выбранного типа характеристики, выдержки времени будут определяться по аналогичным выражениям, приведенным в 0.

## 11 Реле направления мощности ТНЗНП (РНМ ТНЗНП)

Сигналы прямого/обратного направления мощности для направленных ступеней ТНЗНП формирует РНМ. На вход РНМ от блока ЦОС поступают ток и напряжение нулевой последовательности основной гармоники в комплексной форме. На выходе РНМ формируются сигналы прямого и обратного направления мощности ТНЗНП.

Для определения направления КЗ на землю ИО РНМ использует ток и напряжение нулевой последовательности.

Характеристика срабатывания определяется углом максимальной чувствительности «Фмч», который откладывается от напряжения нулевой последовательности к току нулевой последовательности. На рисунке 11.1 приведена характеристика срабатывания РНМ ТНЗНП при угле максимальной чувствительности  $270^\circ$ . Сектор срабатывания определяется углом максимальной чувствительности, который откладывается от напряжения нулевой последовательности к току нулевой последовательности. В приведенном примере сектор срабатывания для прямого направления находится в диапазоне от  $185^\circ$  до  $335^\circ$ .

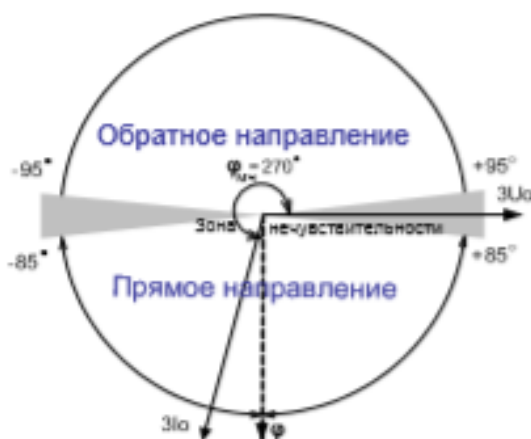


Рисунок 11.1 – Характеристика срабатывания РНМ ТНЗНП

Для корректной работы ИО РНМ осуществляет контроль уровней тока и напряжения нулевой последовательности. Минимальный ток срабатывания ( $I_{сраб}$ ) составляет  $0,005 K_0$ . Минимальное напряжение срабатывания ( $U_{сраб}$ ) составляет  $0,02 U_{ном}$ .

Для сетей с изолированной нейтралью рекомендуется выбирать уставку «Фмч» =  $90^\circ$ , для сетей с компенсированной нейтралью – «Фмч» =  $(300-315)^\circ$ . Для сетей с резистивно заземленной нейтралью с высокоомным заземлением рекомендуется задавать «Фмч» =  $45^\circ$ , а для низкоомного заземления – «Фмч» =  $0^\circ$ .

Предусмотрена возможность блокировки РНМ ТНЗНП от дискретного сигнала. Ввод/вывод блокировки производится накладкой «Нблок» («0 – вывод», «1 – ввод»).

## 12 Ускорение

В устройстве «ТОР 200 С 10» предусмотрено ускорение токовых защит, которое обеспечивает быстрое отключение повреждения при включении на КЗ. Ускорение работает при активном сигнале «РПО» с выдержкой времени на возврат «Туск+1,0» и пуске токовых защит с выдержкой времени «Туск».

Ускорение вводится в работу программной накладкой «Nввод» («0 – вывод», «1 – ввод»). Пуск ускорения производится при пуске ступеней токовых защит, сконфигурированных через матрицу логических сигналов.

Время срабатывания ускорения токовых защит «Туск» выбирается из диапазона (0,1 – 1,5) с. Принятое значение уставки «Туск» должно быть меньше выдержки времени ускоряемой ступени.

### 13 Включение на нагрузку (ВНН)

Функция ВНН определяет включение нагрузки при появлении тока и предназначена для временного заглубления уставок по току ступеней максимальных токовых защит на определенный коэффициент.

Функция вводится в работу с помощью соответствующей программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Предусмотрен логический вход «Блокировка» для блокировки работы защиты. Ввод блокировки производится с помощью соответствующей программной накладки «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

При понижении тока ниже уставки «**Исраб**» происходит пуск ВНН, сигнал срабатывания появляется по истечении времени «**Тсраб**». После появления нагрузки сигнал срабатывания исчезает после истечения времени возврата «**Твозв**».

Уставка по току срабатывания в устройстве обозначается «**Исраб**» и принимается равной рекомендованному значению 30 А (в первичных величинах).

Выдержку времени «**Тсраб**» рекомендуется принимать равной 60 с.

Выдержка времени на возврат в устройстве обозначается «**Твозв**» и принимается равной рекомендованному значению 10 с.

## 14 Пуск по напряжению (Пуск по U)

Ввод в работу органа минимального напряжения осуществляется с помощью программной накладки «Нввод» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Программная накладка «Нреж» задает режим работы («0 – однофаз.», «1 – трехфаз.»).

Блокировка от внешнего дискретного сигнала разрешается программной накладкой «Нблок» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 14.1 Выбор уставки по напряжению срабатывания

Напряжение срабатывания выбирается по двум условиям:

– отстройка от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей нагрузки

$$U_{с.з} = \frac{U_c - \sqrt{3} \cdot I_{сзп} \cdot X_{с,макс}}{k_{отс}}, \quad (14.1)$$

где  $U_c$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты, кВ;

$I_{сзп} = k_{сзп} \cdot I_{нагр,макс}$  – расчетное значение тока самозапуска заторможенных двигателей в составе обобщенной нагрузки, включаемой под напряжение от рассматриваемой линии А;

$k_{сзп}$  – коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение тока заторможенной двигательной нагрузки после восстановления напряжения. В предварительных расчетах, а также в случае отсутствия соответствующей информации, данный коэффициент может быть принят равным 1,5–2,5. Для бытовой нагрузки, имеющей в своем составе малую долю электродвигателей, принимают коэффициент самозапуска по опытным данным  $k_{сзп} = 1,2–1,3$ ; для городских сетей общего назначения  $k_{сзп} = 2,5$ ; для сельских сетей  $k_{сзп} = 2$ ;

$I_{нагр,макс}$  – максимальный нагрузочный ток обобщенной нагрузки, А;

$X_{с,макс}$  – расчетное значение эквивалентного сопротивления КЗ системы, питающей рассматриваемую линию, соответствует минимальному (ослабленному) расчетному режиму, Ом;

$k_{отс} = 1,1–1,2$  – коэффициент отстройки;

Примечание – Если нет значения эквивалентного сопротивления КЗ системы, то минимальное остаточное напряжение  $U_{мин}$ , кВ, можно рассчитать следующим образом [3]

$$U_{мин} = \sqrt{3} \cdot I_{сзп} \cdot X_{нагр}, \quad (14.2)$$

где  $X_{нагр}$  – эквивалентное сопротивление, включающее в себя сопротивление нагрузки и эквивалентной линии, Ом;

– обеспечение возврата реле после отключения КЗ

$$U_{с.з} = \frac{U_{мин}}{k_B \cdot k_{отс}}, \quad (14.3)$$

где  $U_{мин} = k_{мин} \cdot U_c$  – междуфазное напряжение в месте установки защиты в условиях самозапуска после отключения внешнего КЗ, кВ;

$k_{мин} = 0,85–0,90$  – коэффициент;

$U_c$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты, кВ;

$k_B = 1,1$  – коэффициент возврата;

$k_{отс} = 1,1–1,2$  – коэффициент отстройки.

В качестве уставки принимается наименьшее из значений напряжений срабатывания, полученных по выражениям (14.1) и (14.3).

Уставка в устройстве обозначается «Усраб» и задается в первичных величинах.

Определяются значения коэффициента чувствительности ступени

$$k_{ч} = \frac{U_{с.з}}{U_{ост,макс}} \geq 1,5, \quad (14.4)$$

где  $U_{\text{ост, макс}}$  – максимальное значение междуфазного напряжения в месте установки защиты при КЗ в конце зоны защиты (в конце защищаемой линии), кВ.

Примечание – Согласно [2], требования к чувствительности устройства РЗ считаются выполненными, если коэффициент чувствительности превышает 90 % от указанного значения.

## 14.2 Выбор выдержки времени

Для выполнения функции пуска по напряжению токовых защит принимается минимально возможное для терминала значение выдержки времени функции  $t_{\text{с.з}} = 0$  с.

Уставка в устройстве обозначается «Тсраб» и задается в секундах.

## 15 Контроль напряжения линии (Контроль Ул)

Контроль напряжения линий производится органами минимального и максимального напряжения. Работа органов напряжения может блокироваться входным сигналом «Блокировка».

Уставки органа контроля Ул2 рассчитываются аналогично уставкам органа контроля Ул1.

Ввод в работу органа контроля напряжения линии осуществляется с помощью программной накладки «Нввод» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Блокировка от внешнего сигнала вводится программной накладкой «Нблок» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 15.1 Выбор уставок по напряжению срабатывания

Уставка максимального напряжения, запускающая орган минимального напряжения  $U<$ , рассчитывается по следующей формуле

$$U_{с.з} = 0,8 \cdot U_{ном,с}, \quad (15.1)$$

где  $U_{ном,с}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты, кВ.

Уставка в устройстве обозначается «Умакс» и задается первичных величинах.

Уставка минимального напряжения, запускающая орган максимального напряжения  $U>$ , рассчитывается по следующей формуле

$$U_{с.з} = k_n \cdot U_{ном,с}, \quad (15.2)$$

где  $k_n = 1,1 - 1,2$  – коэффициент надежного срабатывания;

$U_{ном,с}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты, кВ.

Уставка в устройстве обозначается «Умин» и задается в первичных величинах.

## 16 Контроль частоты (Контроль f)

Контроль частоты производится органами минимальной и максимальной частоты. Работа органов частоты может блокироваться входным сигналом «Блокировка».

Уставки органа контроля f2 рассчитываются аналогично уставкам органа контроля f1.

Ввод в работу блока контроля частоты осуществляется с помощью программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Блокировка от внешнего сигнала вводится программной накладкой «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 16.1 Выбор уставок по частоте срабатывания

Орган минимальной частоты срабатывает при снижении рассчитанной частоты ниже уровня уставки «**fмакс**». Рекомендованное по ГОСТ Р 58601-2019 значение частоты 50,5 Гц.

Орган максимальной частоты срабатывает при повышении рассчитанной частоты выше уровня уставки «**fмин**». Рекомендованное по ГОСТ Р 58601-2019 значение частоты 49,2 Гц.

Разность частот возврата ИО в устройстве обозначается уставкой «**fвозв**» и принимается равной значению по умолчанию 0,05 Гц.



## 17 Орган напряжения обратной последовательности (Орган U2)

Орган напряжения обратной последовательности срабатывает при повышении входного напряжения обратной последовательности выше значения заданной уставки «U2сраб». Значение напряжения обратной последовательности рассчитывается блоком ЦОС.

Уставки органа U2л2 рассчитываются аналогично уставкам органа U2л1.

Ввод в работу органа напряжения обратной последовательности производится программной накладкой «Nввод» («0 – вывод», «1 – ввод»). Блокировка от внешнего сигнала вводится программной накладкой «Nблок» («0 – вывод», «1 – ввод»). Напряжение срабатывания U2 задается уставкой «U2сраб», время срабатывания задается уставкой «Тсраб».

Уставку по напряжению обратной последовательности рекомендуется принимать равной минимальному значению «U2сраб» = 500 В (в первичных величинах).

Чувствительность проверяется по выражению

$$k_{\text{ч}} = \frac{U_{2\text{расч}}}{U_{2\text{уст}}}, \quad (17.1)$$

где  $U_{2\text{расч}}$  – расчетное значение напряжения обратной последовательности на рассматриваемой секции шин, при металлическом междуфазном КЗ в расчетной точке в режиме работы электрической сети, для которого принимается минимальное значение, В;

$U_{2\text{уст}}$  – значение уставки по напряжению обратной последовательности, В.

Минимальное значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,5 при КЗ на рассматриваемой секции и не менее 1,2 при КЗ в конце наиболее «электрически удаленного» присоединения, отходящего от секции.

Примечание – Согласно [2], требования к чувствительности устройства РЗ считаются выполненными, если коэффициент чувствительности превышает 90 % от указанного значения.

Уставка **Тсраб** принимается равной значению по умолчанию 0,5 с.

## 18 Сигнализация замыкания на землю по 3U0 (СЗЗ)

Орган напряжения нулевой последовательности срабатывает при повышении рассчитанного напряжения нулевой последовательности выше значения заданной уставки «3U0сраб».

Уставки органа СЗЗ2 рассчитываются аналогично уставкам органа СЗЗ1.

Ввод в работу органа напряжения осуществляется с помощью программной накладки «Nввод» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Блокировка от внешнего сигнала разрешается программной накладкой «Nблок» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 18.1 Выбор уставки по напряжению срабатывания

Уставку защиты по напряжению нулевой последовательности рекомендуется определять по выражению [4]

$$U_{с.з} = 0,15 \cdot U_{ф,ном}, \quad (18.1)$$

где  $U_{ф,ном}$  – номинальное фазное напряжение сети, кВ.

Уставка в устройстве обозначается «3U0сраб» и задается в первичных величинах.

### 18.2 Выбор выдержки времени

При выполнении функции в качестве устройства, определяющего возникновение ОЗЗ в электрической сети, выдержку времени «Тсраб» рекомендуется принимать равной 9 с.

## 19 Защита минимального напряжения (ЗМН)

В терминале реализованы ступени ЗМН, обеспечивающие отключение нагрузки при понижении напряжения. Как правило, первая ступень ЗМН срабатывает при симметричном понижении напряжения, вторая ступень ЗМН действует при понижении напряжения в одной из фаз.

Работа ЗМН блокируется при срабатывании блокировки ЗМН по напряжению или наличию сигнала «Блок. ЗМН», сконфигурированного через матрицу логических сигналов, например, при пуске органа напряжения обратной последовательности или отключенных автоматах цепей напряжения. Предусмотрен оперативный вывод ЗМН из работы.

Ввод каждой ступени органа минимального напряжения в работу осуществляется с помощью программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Программная накладка «**Нреж**» («0 – однофаз.», «1 – трехфаз.») для ступеней ЗМН задает режим работы органа: при понижении хотя бы одного входного напряжения ниже уровня уставки («**Нреж**» = 0) или при понижении всех трех входных напряжений ниже уровня уставки («**Нреж**» = 1).

Блокировка от внешнего сигнала ступеней ЗМН разрешается программной накладкой «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 19.1 Выбор уставок первой ступени ЗМН

Уставку по напряжению срабатывания защиты «**Усраб**» рекомендуется принимать равной  $0,65U_{ном,с}$  (в первичных величинах).

Первая ступень ЗМН выполнена с одной независимой выдержкой времени с действием на сигнализацию и выходные реле.

Если первая ступень ЗМН действует на сигнал внешнему устройству, то выдержка времени принимается равной минимальному значению, т.е. 0 с.

Если передается целенаправленный сигнал внешнему устройству на отключение, то выдержка времени принимается равной необходимой расчетной величине.

Выдержка времени в устройстве обозначается «**Тсраб**» и принимается равной значению по умолчанию 0,5 с.

Примечание – При использовании ЗМН для отключения неответственных электродвигателей, выдержка времени первой ступени ЗМН, согласно [4], отстраивается от отсечек электродвигателей и рассчитывается по выражению

$$t_{с.з} = t_{отс} + \Delta t, \quad (19.1)$$

где  $t_{отс}$  – максимальное время срабатывания токовых отсечек среди всех отключаемых электродвигателей, с;

$\Delta t = 0,5$  – ступень селективности, с.

Обычно выдержка времени ЗМН на отключение неответственных электродвигателей устанавливается равной (0,5–1,5) с [4].

Выдержка времени на отключение ответственных электродвигателей принимается равной (10–15) с, для того чтобы защита не действовала на их отключение при снижениях напряжения, вызванных КЗ и самозапуском электродвигателей [4].

При использовании первой ступени ЗМН для иных целей, выдержку времени следует выбирать на основании опыта эксплуатации РЗ распределительной сети или проектного решения.

### 19.2 Выбор уставок второй ступени ЗМН

В зависимости от назначения второй ступени ЗМН уставку по напряжению срабатывания «**Усраб**» рекомендуется выставлять из диапазона значений  $(0,4–0,65)U_{ном,с}$  (в первичных величинах).

Вторая ступень ЗМН выполнена с одной независимой выдержкой времени с действием на сигнализацию и выходные реле и выбирается в зависимости от назначения второй ступени. Выдержка времени в устройстве обозначается «**Тсраб**» и задается в секундах.

## 20 Защита от повышения напряжения (ЗПН)

В терминале реализованы ступени ЗПН, обеспечивающие отключение защищаемого участка при повышении напряжения. Выбор уставок второй ступени ЗПН зависит от ее назначения.

Работа ЗПН блокируется при наличии сигнала «Блок. ЗПН», сконфигурированного через матрицу логических сигналов. Предусмотрен оперативный вывод ЗПН из работы.

Ввод в работу каждой ступени органа максимального напряжения осуществляется с помощью программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Программная накладка «**Нреж**» («0 – однофаз.», «1 – трехфаз.») задает режим работы ступеней органа: при понижении хотя бы одного входного напряжения ниже уровня уставки («**Нреж**» = 0) или при понижении всех трех входных напряжений ниже уровня уставки («**Нреж**» = 1).

Блокировка от внешнего сигнала ступеней ЗПН разрешается программной накладкой «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 20.1 Выбор уставки по напряжению срабатывания

Уставка по напряжению срабатывания защиты выбирается по выражению

$$U_{с.з} \geq k_n \cdot U_{доп}, \quad (20.1)$$

где  $k_n = 1,1 - 1,2$  – коэффициент надежного срабатывания;

$U_{доп} = k_{отс} \cdot U_{ном}$  – величина допустимого напряжения на шинах, к ИТН которых подключена защита, кВ;

$k_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки, значение которого удовлетворяется требованиям, приведенным в [6];

$U_{ном}$  – номинальное напряжение на шинах, к ИТН которых подключена защита, кВ.

Уставка в устройстве обозначается «**Усраб**» и задается в первичных величинах.

### 20.2 Выбор выдержки времени

Выдержка времени ступени защиты в терминале обозначается «**Тсраб**», значение которой рекомендуется принимать равной 0 с.

## 21 Блокировка АЧР и ЗМН по напряжению

Блокировки выполнены с использованием функционального блока органа минимального напряжения.

Ввод в работу блокировки ЗМН и АЧР по напряжению осуществляется с помощью программных накладок «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Программные накладки «**Нреж**» («0 – однофаз.», «1 – трехфаз.») задают режим работы блокировки АЧР и ЗМН по напряжению.

Блокировка от внешнего сигнала разрешается программными накладками «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 21.1 Выбор уставок блокировки ЗМН по напряжению

Уставка по напряжению срабатывания «**Усраб**» должна быть меньше чем минимальная из уставок по напряжению ступеней ЗМН (19). Рекомендуемое значение напряжения срабатывания блокировки ЗМН по напряжению  $0,2U_{ном,с}$  (в первичных величинах).

Выдержка времени блокировки ЗМН по напряжению «**Тсраб**» должна быть меньше, чем минимальная из выдержек времени ступеней ЗМН (19). Выдержка времени в устройстве задается в секундах.

### 21.2 Выбор уставок блокировки АЧР по напряжению

Блокирование АЧР по напряжению задается уставками по напряжению срабатывания «**Усраб**» и времени срабатывания «**Тсраб**».

Согласно федеральному закону «Об электроэнергетике» (статья 14) [7] обязанность за обеспечение функционирования системы автоматического регулирования частоты электрического тока и мощности, системной автоматики и ПА возложена на системного оператора, отвечающего за надежность работы ЕЭС России. Согласно стандарту организации ОАО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.240.001-2010 уставки по частоте АЧР, уставки по времени, мощности АЧР, и пр. задают исполнительный аппарат и филиалы ОАО «СО ЕЭС» ОДУ.

## 22 АЧР/ЧАПВ

В любой объединенной энергосистеме должен быть резерв активной мощности, при этом в системе поддерживается номинальное напряжение и номинальная частота.

Дефицит активной мощности, вызванный отключением части генераторов или включением новых потребителей, повлечет за собой снижение частоты в энергосистеме.

Небольшое снижение частоты (на несколько десятых герца) не представляет опасности для нормальной работы энергосистемы. Снижение же частоты более, чем на (1–2) Гц представляет серьезную опасность и может привести к полному расстройству работы энергосистемы. Устройствам АЧР необходимо исключать возможность даже кратковременного снижения частоты ниже 45 Гц, время работы с частотой ниже 47 Гц не должно превышать 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц – 60 с [8].

При отсутствии вращающегося резерва активной мощности единственным возможным способом восстановления частоты в сети является отключение части наименее ответственных потребителей.

АЧР выполняет отключение нагрузки небольшими объемами – очередями:

- по мере снижения частоты – для прекращения ее снижения;
- по мере увеличения продолжительности существования пониженной частоты – для ее подъема.

При понижении частоты ниже уставки АЧР происходит срабатывание одной из ступеней АЧР и отключение нагрузки. При восстановлении частоты выше уставки ЧАПВ происходит срабатывание ступени ЧАПВ и включение нагрузки.

Работа АЧР может блокироваться от сигнала «Блокировка АЧР», работа ЧАПВ – от сигнала «Блокировка ЧАПВ».

Для ручного включения нагрузки без восстановления частоты до уставки ЧАПВ предназначен входной дискретный сигнал «DI Перестройка на АЧР». При подаче логической «1» на вход выполняется сброс готовности ЧАПВ, если действие входа на схему ЧАПВ разрешено программным ключом «NперАЧР» («0 – вывод», «1 – ввод»). Сброс готовности ЧАПВ разрешается только в том случае, если сработавшие органы АЧР возвратились, т.е. частота восстановилась выше уставки АЧР. После этого возможно оперативное включение.

Предусмотрена возможность отключения очереди от ускорения АЧР с помощью программной накладки «NотклУск» («0 – вывод», «1 – ввод»). В зависимости от положения накладки «NсигнАЧР» («0 – имп.», «1 – длит.»), формируется импульсный или длительный сигнал срабатывания очереди.

Длительность сигнала ЧАПВ задается уставкой «ТсигнЧАПВ».

Блок имеет две независимые уставки на снижение частоты «fсрабАЧР1» и «fсрабАЧР2» для АЧР и одну уставку на повышение частоты «fсрабЧАПВ» для ЧАПВ. Ввод в работу АЧР и ЧАПВ производится программными накладками «NвводАЧР1» («0 – вывод», «1 – ввод»), «NвводАЧР2» («0 – вывод», «1 – ввод») и «NвводЧАПВ» («0 – вывод», «1 – ввод»). Время срабатывания АЧР и ЧАПВ определяется уставками «ТсрабАЧР1», «ТсрабАЧР2» и «ТсрабЧАПВ».

Предусмотрено отключение нагрузки по АЧР от ускорения АЧР через логический вход «Ускорение АЧР» функционального блока в том случае, если после восстановления частоты и включения нагрузки происходит повторное понижение частоты и пуск ступеней АЧР.

Уставки разности частот срабатывания и возврата АЧР1, АЧР2 и ЧАПВ обозначаются в устройстве «fвозвАЧР1», «fвозвАЧР2» и «fвозвЧАПВ» соответственно и принимаются равными значению по умолчанию 0,05 Гц.

### 22.1 Ускорение АЧР

В терминале реализована функция ускорения АЧР. Функция обеспечивает формирование сигнала ускорения АЧР, действующего с уменьшенной выдержкой времени на отключение нагрузки, если после восстановления частоты и включения нагрузки происходит повторное понижение частоты с пуском ступеней АЧР. При срабатывании ускорения АЧР

формируются сигналы «Сброс пуска ЧАПВ» и «Блокировка ЧАПВ», предотвращающие дальнейшую работу ЧАПВ.

Ускорение вводится в работу накладкой «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»), и определяется выдержкой времени «**Тускор**», которая принимается равной значению по умолчанию 0,5 с.

Сброс ЧАПВ вводится в работу накладкой «**НсбросЧАПВ**» («0 – вывод», «1 – ввод»),

Время блокировки в устройстве задается уставкой «**Тблок**» и принимается равным значению по умолчанию 0,5 с.

## 22.2 Скорость изменения частоты (Орган $df/dt$ )

В терминале реализована ступень скорости изменения частоты, обеспечивающая формирование сигнала срабатывания при понижении частоты со скоростью, превышающей уставку по скорости изменения частоты. Значение скорости изменения частоты возврата задано 0,3 Гц/с.

На вход ступени поступает значение скорости изменения частоты от блока ЦОС и логический сигнал «Блок.  $df/dt$ », блокирующий работу ступени. Сигнал срабатывания может быть выведен на блокировку АЧР или отключение через матрицу логических сигналов.

Ввод ступени органа скорости изменения частоты в работу осуществляется с помощью программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Ввод блокировки ступени органа скорости изменения частоты в работу осуществляется с помощью программной накладки «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Уставка по скорости изменения частоты срабатывания органа скорости изменения частоты в устройстве обозначается «**dfdtсраб**».

Выдержка времени срабатывания органа скорости изменения частоты в устройстве обозначается «**Тсраб**».

Время возврата в устройстве обозначается «**Твозв**».

Примечание – Уставки данного органа, как правило, задаются диспетчерской службой.

## 22.3 Блокировка $df/dt$

Блокировка органа  $df/dt$  производится при выполнении одного из следующих условий:

– значение частоты выше уставки «**fсраб**». Блокировка вводится программной накладкой «**Нконтрf**» («0 – вывод», «1 – ввод»). Разность частот срабатывания и возврата задается уставкой «**fвозв**»;

– значение скорости изменения частоты выше уставки «**dfdtсраб**», после возврата органа «**dfdtсраб**» блокировка снимается после восстановления частоты до «**fсброса**». Блокировка вводится программной накладкой «**Нконтрpdfdt**» («0 – вывод», «1 – ввод»). Значение скорости изменения частоты возврата задано 0,3 Гц/с.

Примечание – Уставки данного органа, как правило, задаются диспетчерской службой.

## 23 Защита от потери питания (ЗПП)

ЗПП может использоваться при наличии двигательной нагрузки для исключения подпитки от двигателей внешних КЗ в питающей линии или за силовым трансформатором, а также при выбеге двигателей на обмотки силового трансформатора, потерявшего питание со стороны ВН. Такие режимы характеризуются понижением частоты и изменением направления мощности.

Функция ЗПП работает при изменении направления мощности, а также понижении частоты сети. На вход ЗПП поступает значение частоты сети от блока ЦОС, а также сигнал обратного направления мощности от РНМ. Предусмотрен логический вход «Вывод» для оперативного вывода функции из работы.

Ввод в работу защиты от потери питания осуществляется с помощью программной накладки «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Блокировка работы ЗПП при отсутствии готовности АВР или от матрицы логических сигналов может быть введена с помощью программной накладки «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Пуск ЗПП происходит при изменении сигнала прямого направления мощности. Время срабатывания задается уставкой «**Тсраб**» и принимается равным рекомендуемому значению 1 с. Контроль по падению частоты вводится программной накладкой «**Нконтрf**» («0 – вывод», «1 – ввод»), при этом условием пуска и срабатывания ЗПП является падение частоты ниже уровня уставки «**fсраб**». Значение частоты срабатывания принимается равной рекомендованному значению 49,5 Гц.



## 24 Контроль и управление выключателем

Данный раздел включает в себя описание функций контроля и управления выключателем.

### 24.1 Команды управления выключателем

Функциональный блок принимает внешние сигналы управления выключателем от дискретных входов и АСУ и формирует команды управления выключателем с учетом состояния дискретных входных сигналов «Режим МЕСТ» и «Режим ДИСТ».

Формирование выходных сигналов «РКВ»/«РКО» возможно в следующих случаях:

- при появлении входных дискретных сигналов «Команда ВКЛ»/«Команда ОТКЛ»;
- при появлении сигналов «Вкл. от АСУ»/«Откл. от АСУ», полученных через систему АСУ;
- при управлении выключателем кнопками на лицевой панели терминала.

Команды управления выключателем от кнопок терминала или от дискретных входов формируют выходные сигналы при наличии сигнала «Режим МЕСТ». Команды управления выключателем от АСУ формируют выходные сигналы при наличии сигнала «Режим ДИСТ». Управление командами от дискретных входов или кнопок при этом запрещено, если программная накладка «Ндист» введена, и разрешено, если программная накладка «Ндист» выведена.

Работа кнопок управления активируется программной накладкой «Нкнопки» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 24.2 Запрет включения

В терминале предусмотрен запрет оперативного включения выключателя.

Возможна установка подхвата сигнала «Запр. опер. вкл.» с помощью программной наклейки «Нподхват» («0 – вывод», «1 – ввод»).

На формирование сигнала «Отключить» действует сигнал «Откл. от защит», а также команда оперативного управления «РКО».

Сигналы «Запр. опер. вкл.» и «Откл. от защит» формируются с помощью матрицы логических сигналов.

### 24.3 Управление выключателем

Схема управления выключателем формирует сигналы управления выходными реле терминала, действующими на включение и отключение выключателя. Схема выполнена с использованием функционального блока управления выключателем. Выходные сигналы функционального блока управления выключателем «Реле откл» и «Реле вкл» в соответствии с функциональной схемой терминала действуют на выходные реле управления выключателем.

Сигналы управления выключателем поступают на входы «Включить» и «Отключить» функционального блока управления выключателем. Отключение выключателя производится от защит или оперативной командой. Включение производится оперативной командой или автоматикой включения.

Включение выключателя блокируется при отсутствии сигнала «Автомат ШП», а также при наличии сигналов «Запрет вкл/откл» и «Запрет вкл».

В устройстве предусмотрена возможность блокировки включения выключателя после отключения на определенное время, заданное уставкой «ТзапрВкл». Ввод в работу данной блокировки производится программной накладкой «НзапрВкл» («0 – вывод», «1 – ввод»). Рекомендованное значение уставки «ТзапрВкл» составляет 0 с.

Отключение выключателя блокируется при наличии сигнала «Запрет вкл/откл».

Уставкой «Нреж» («0 – длит.», «1 – имп») можно выбрать один из двух режимов сигнала отключения: импульсный или длительный. Использование импульсного режима («Нреж» = 1) рекомендуется при токах управления катушек включения/отключения не более 0,5 А для исключения выгорания контактов при неисправности выключателя.

При использовании длительного режима («Нреж» = 0) предусмотрен подхват сигнала отключения до полного отключения выключателя (срабатывания РПО). Нажатием кнопки

«Сброс» производится деблокирование подхвата отключающего сигнала. В функциональном блоке предусмотрена блокировка многократных включений.

#### **24.4 Индикация положения выключателем (ИЧМ выключателя)**

Функциональный блок формирует сигналы управления светодиодами индикации положения выключателя с учетом состояния дискретных входов «РПВ» и «РПО», а также состояния реле фиксации команд. При несоответствии состояния РФК с положением выключателя сигналы «Светодиод ВКЛ» и «Светодиод ОТКЛ» будут импульсными с частотой 1 Гц.

Работа светодиодов положения выключателя определяется положением программной накладки «**Нреж**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

#### **24.5 Контроль цепей управления выключателем (Контроль ЦУ)**

Ввод в работу функции контроля цепей управления выключателем производится программной накладкой «**НконтрЦУ**» («0 – вывод», «1 – ввод»). Функция формирует сигнал о возможных неисправностях выключателя и его цепей управления.

Цепи управления выключателем контролируются с помощью дискретных входов «РПВ» и «РПО», которые подключаются параллельно контактам реле отключения и реле включения выключателя соответственно.

Сигнал «Неисп. ЦУ» формируется через 10 с, если РПВ и РПО находятся в состоянии «1», или через 50 с, если находятся в состоянии «0». Сигнал «Неисп. ЦУ» действует на местную и предупредительную сигнализацию.

При отключенном автомате ШП, неготовности или аварии блока управления выключателем, неисправности источника резервного питания или длительном запрете операций включения или отключения через выдержку времени 20 с формируется сигнал неисправности цепей управления, который может действовать на предупредительную сигнализацию, реле «Вызов» и сигнальный светодиод.

При подаче на входы устройства команд включения или отключения в течение времени более 10 с формируется сигнал «Затян. команда», который действует на формирование сигнала «Неисп. ЦУ».

#### **24.6 Реле фиксации команд (РФК)**

В терминале имеется двухпозиционное РФК для фиксации оперативных команд включения и отключения выключателя ключами управления или через АСУ. Схема управления РФК выполнена с применением функционального блока и используется в схемах АПВ, аварийной сигнализации и др.

РФК фиксирует последнюю поданную команду управления выключателем. РФК срабатывает при выполнении оперативной команды включения, а возвращается при выполнении оперативной команды отключения. Переключающие контакты реле могут использоваться как в цепях сигнализации, так и в цепях мигания ламп при аварийных отключениях выключателя или неуспешных операциях включения/отключения.

Квитирование РФК (приведение его в состояние, соответствующее положению выключателя) после подобных событий, а также съём мигания ламп производится командой от входного дискретного сигнала терминала «DI Квитирование РФК», командой АСУ «RI Квитирование РФК» или сигналом «Сброс».

## 25 Автоматика повторного включения (АПВ)

В устройстве предусмотрена функция АПВ с пуском при несоответствии положения выключателя и ранее поданной оперативной команды, а также с контролем срабатывания и отпускания защиты, которая действует на отключение. Для исключения повторного включения при отключении от релейной защиты непосредственно после включения предусмотрен таймер времени готовности АПВ. Последующие циклы АПВ отработывают, если после включения выключателя в предыдущем цикле АПВ происходит повторное отключение выключателя в течение времени готовности АПВ. При этом последующие циклы АПВ во избежание наложения заблокированы сигналом готовности АПВ предыдущих циклов или другими сигналами матрицы логических сигналов.

Ввод в работу АПВ производится подачей сигнала «Ввод АПВ» при установленной программной накладке «Нввод» («0 – вывод», «1 – ввод»). АПВ имеет время готовности (аналог заряда конденсатора) «Тгот», отсчитываемое с момента перехода выключателя во включенное состояние (после срабатывания реле фиксации команд (РФК)) и перевода ключа АПВ в положение «АПВ введено». Выдержка времени готовности обнуляется при появлении сигнала запрета АПВ.

После срабатывания АПВ и пропадания сигнала РПО в течение времени готовности производится проверка успешности АПВ с выдачей соответствующего сигнала.

Запрет АПВ и сброс времени готовности, как правило, производится при оперативном отключении, работе и отключении от определенного вида защит. На пуск АПВ действуют сигналы срабатывания защит, после которых должно происходить повторное включение. Запрет АПВ, блокировка и пуск формируется с помощью матрицы логических сигналов.

Пуск АПВ при отключении выключателя производится по факту несоответствия РФК положению выключателя при условии готовности АПВ. В случае неуспешного первого цикла АПВ возможны последующие циклы АПВ, выполняемые с помощью аналогичного блока.

В терминале предусмотрены три цикла АПВ после работы МТЗ, три цикла АПВ после работы ТНЗНП, АПВ после работы ЗМН и ЗПН.

### 25.1 Выбор выдержки времени АПВ

Выдержку времени срабатывания АПВ рекомендуется выбирать по условиям:

- отстройка от времени готовности привода выключателя

$$t_{с.з} = t_{прив} + t_{зап}, \quad (25.1)$$

где  $t_{прив} = 0,2-1,0$  – время готовности привода выключателя, с;

$t_{зап} = 0,3-0,5$  – время запаса, учитывающее непостоянство  $t_{прив}$  и погрешность реле времени схемы АПВ, с;

- отстройка от времени деионизации среды

$$t_{с.з} = t_{д} + t_{зап}, \quad (25.2)$$

где  $t_{д} = 0,1-0,3$  – время деионизации, с;

$t_{зап} = 0,3-0,5$  – время запаса, учитывающее непостоянство  $t_{прив}$  и погрешность реле времени схемы АПВ, с.

Примечание – Условие (25.2) рекомендуется не учитывать в расчетах.

Уставка АПВ принимается равной максимальному значению из полученных по условиям (25.1) и (25.2).

Расчет по вышеприведенным условиям необходим, если для потребителя длительный перерыв электроснабжения недопустим. В остальных случаях уставку можно выбрать без расчета в диапазоне (3–5) с.

Уставка в устройстве обозначается «Тсраб» и задается в секундах.

### 25.2 Выбор времени готовности АПВ

Для исключения повторного включения при отключении от релейной защиты непосредственно после включения предусмотрен таймер времени готовности АПВ. Время

готовности АПВ отсчитывается с момента перехода выключателя во включенное состояние (после срабатывания РФК) и перевода ключа АПВ в положение «АПВ введено».

Рекомендуемое значение времени готовности АПВ «Т<sub>гот</sub>» – 25 с.

## 26 Сигнализация

В данном разделе приведено описание типов сигнализации и выбор накладок устройстве.

### 26.1 Сброс сигнализации

Сброс цепей подхвата и светодиодной сигнализации производится с помощью функционального блока «Сброс сигнализации». В терминале возможен сброс сигнализации от внешнего дискретного сигнала, от АСУ, от кнопки сброса на лицевой панели терминала, а также при отключении от ВНР.

Возможность сброса сигнализации от дискретного входа предусматривается программной накладкой «**НсбрВход**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Возможность сброса сигнализации при работе автоматики включения предусматривается программной накладкой «**НсбрАвт**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 26.2 Аварийная сигнализация

Сигнал аварийной сигнализации формируется при несоответствии включенного РФК и отключенного положения выключателя.

Импульсный или длительный режим работы аварийной сигнализации определяется положением программной накладки «**Нреж**» («0 – имп.», «1 – длит.»). Длительность сигнала аварийной сигнализации в импульсном режиме определяется уставкой «**Тсигн**». Рекомендованное значение выдержки времени составляет 1 с.

### 26.3 Предупредительная сигнализация

Предупредительная сигнализация формируется при работе защит и автоматики, действие которых не приводит к отключению выключателя, но должно информировать об отклонениях в режиме работы защищаемого оборудования.

Импульсный или длительный режим работы предупредительной сигнализации определяется положением программной накладки «**НсигнДлит**» («0 – имп.», «1 – длит.»). Длительность сигнала предупредительной сигнализации в импульсном режиме определяется уставкой «**ТпредСигн**». Рекомендуемое значение выдержки времени составляет 1,5 с.

### 26.4 Местная сигнализация

Местная сигнализация (сигнал «Вызов») формируется при срабатывании защит, выявлении неисправностей, срабатывании диагностики выключателя.

Сброс сигнала «Вызов» производится сигналом «Сброс».

## 27 Автоматическое включение резерва (АВР)

В терминале реализована функция АВР. Оперативный ввод в работу АВР производится подачей сигнала на дискретный вход терминала «DI Ключ АВР».

АВР имеет время готовности, задаваемое уставкой «ТготАВР». Время готовности набирается при нормальных напряжениях и частоте первой и второй линии (участках линии) и отключенном реклоузере. Напряжения и частоты с двух сторон контролируются с помощью функциональных блоков, описанных в 15 и 16. Отключенное состояние реклоузера контролируется по входному сигналу «DI РПО» терминала.

Время готовности АВР сбрасывается после оперативного включения, через время 5 с после пропадания сигнала о нормальных параметрах линий или появлении сигнала запрета АВР, настроенном через матрицу логических сигналов (например, от дискретного сигнала, неисправности цепей управления или срабатывании определенного вида защиты).

Включение по АВР производится входным дискретным сигналом терминала «DI Пуск АВР» или при понижении напряжения на одном из участков линии. Контроль понижения напряжения и последующий пуск АВР производится органом минимального напряжения «Блок органа U<», описанном в 14.

Выдержка времени должна с некоторым запасом превышать время включения выключателя резервного источника питания

$$t_{\text{гот}} = t_{\text{вкл}} + t_{\text{зап}}, \quad (27.1)$$

где  $t_{\text{вкл}}$  – время включения выключателя резервного источника питания, с;

$t_{\text{зап}} = 0,2 - 0,25$  – время запаса, с.

Выдержка времени в устройстве задается в секундах.

## 28 Отключение по АВР (Орган Ул АВР)

Уставки органа Ул2 АВР рассчитываются аналогично уставкам органа Ул1 АВР.

Ввод в работу органа пуска АВР осуществляется с помощью программных накладок «**Нввод**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Программные накладки «**Нреж**» («0 – однофаз.», «1 – трехфаз.») задают режим работы органа пуска АВР.

Блокировка от внешнего сигнала разрешается программными накладками «**Нблок**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

### 28.1 Выбор уставок по напряжению срабатывания

Напряжение срабатывания органа пуска АВР отстраивается от излишнего срабатывания при удаленном КЗ в электрической сети, питаемой от рассматриваемой секции, и от ложного срабатывания при пуске заторможенных двигателей в составе питаемой обобщенной нагрузки.

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения рассчитывается по выражению [9]

$$U_{с.з} = k_{отс} \cdot U_{ном}, \quad (28.1)$$

где  $k_{отс} = 0,25$  – коэффициент отстройки;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение секции шин, кВ.

Уставка в терминале обозначается «**Усраб**» и задается в первичных величинах.

### 28.2 Выбор выдержек времени

Для органа пуска АВР принимается минимально возможное для терминала значение выдержки времени, т.е. 0 с. Выдержка времени в устройстве обозначается «**Тсраб**».

## 29 Контроль синхронизма (КС)

В терминале реализована возможность ввода КС при РКВ или АПВ выключателя.

КС выполняет следующие функции:

- контроль уровня напряжения на первом и втором участке линии;
- контроль синхронизма.

КС вводится в работу программной накладкой «**Nкс1**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Функция контроля напряжения на участках линии содержит два максимальных ИО и два минимальных ИО междуфазного напряжения.

В зависимости от положения накладки «**Nкс2**» («0 – без проверки», «1 – ОН2 и ОН1», «2 – ОН2/ОН1/ОН», «3 – ОН2», «4 – ОН2/ОН1», «5 – ОН1») при исчезновении одного или двух напряжений  $U_{bc1}$ ,  $U_{bc2}$  формируется сигнал на разрешение включения «Нет напряжения».

Функция КС выдает сигнал разрешения включения, когда напряжения на участках линии близки по частоте и уровню и разность фаз между векторами напряжений участков линии не превышает уставку.

Уставки реле максимального напряжения на первом и втором участках «**Uмакс1**» и «**Uмакс2**» выбираются равными

$$U_{\text{макс1}} = (70 - 100) \% \text{ от } U_c, \quad (29.1)$$

$$U_{\text{макс2}} = (70 - 100) \% \text{ от } U_c,$$

где  $U_c$  – номинальное напряжение электрической сети, кВ.

Уставки реле минимального напряжения на первом и втором участках «**Uмин1**» и «**Uмин2**» выбираются равными

$$U_{\text{мин1}} = (10 - 80) \% \text{ от } U_c, \quad (29.2)$$

$$U_{\text{мин2}} = (10 - 90) \% \text{ от } U_c.$$

Уставки в устройстве задаются в вольтах (первичных).

Считается, что оборудование под напряжением, если величина напряжения превышает установленное значение  $U_{\text{макс1}}$ ,  $U_{\text{макс2}}$  (примерно 80 % от номинального напряжения), и оборудование считается обесточенным, если величина напряжения ниже установленного значения  $U_{\text{мин1}}$ ,  $U_{\text{мин2}}$  (примерно 30 % от номинального напряжения).

Минимальный ИО «**|dU|**» контролирует модуль разности напряжений на участках линии. Уровень срабатывания ИО задается уставкой «**dU**». Уставка «**dU**» выбирается равной максимально допустимой по условию сохранения синхронизма разности напряжений. Это значение обычно задается диспетчерской службой и находится в пределах «**dU**» < (5–100) % от  $U_c$ .

Минимальный ИО «**|dF|**» контролирует модуль разности частот напряжений на участках линии. Уровень срабатывания ИО задается уставкой «**dF**». Уставка выбирается равной максимально допустимой по условию сохранения синхронизма разности частот. Это значение обычно задается диспетчерской службой и находится в пределах  $\Delta f_{\text{синх,макс}} < (0,05-0,4)$  Гц.

ИО, контролирующий модуль разности между фазами двух участков, задается уставкой «**dΦ**». Уставка задается равной максимально допустимому по условиям сохранения синхронизма углу расхождения для рассматриваемой линии. Это значение обычно задается диспетчерской службой и находится в пределах «**dΦ**» < (5–50) °.

Функция КС выдает сигнал разрешения включения, когда напряжения двух участков близки по частоте и уровню, а разность фаз между векторами напряжений двух участков через заданное время «**Ta**» (уставка времени включения выключателя) не превышает уставку «**dΦ**».



### 30 Определение места повреждения (ОМП)

Блок ОМП выполняет следующие функции:

- фиксация параметров аварийного и предаварийного режимов;
- расчет места повреждения односторонним методом;
- определения вида повреждения и величины переходного сопротивления, длительности аварии;
- составление и хранение отчетов ОМП.

Анализ топологии ЛЭП позволяет разбить линию на участки однородности для последующей подготовки исходных данных. Затем по собранным и структурированным исходным данным производится расчет параметров отдельных участков линии и подготавливаются исходные данные для терминала.

Уставки ОМП для терминала задаются в первичных величинах.

Выходные логические сигналы блока ОМП носят информационный характер и не предназначены для применения в функциях защиты и автоматики.

Блок ОМП обрабатывает токи и напряжения контролируемой линии. Все входные аналоговые величины имеют комплексную форму представления.

Погрешность определения расстояния до места повреждения при проверке в лабораторных условиях не превышает 4 % от длины ВЛ при металлических КЗ, известной симметричной нагрузке и соблюдении следующих условий: ток аварийного режима превышает номинальное значение; при симметричном трехфазном замыкании угол между током и напряжением от 40° до 90°; длина ВЛ от 20 до 800 км. При меньшей длине ВЛ погрешность не превышает 0,8 км. Погрешность ОМП на КВЛ нормируется только для воздушной части линии, кабельные вставки пропускаются. Терминал сохраняет точностные параметры при величине кабельной части до 20 % длины линии; при большем соотношении кабельной и воздушной частей КВЛ дополнительная погрешность ОМП не превышает 5 % от длины воздушной части линии.

Дополнительная погрешность устройств в режимах внутреннего замыкания в конце контролируемой ВЛ с токами до  $40 I_{ном}$  при полной погрешности до 10 % включительно, возникающей вследствие насыщения высоковольтных ИТТ, при передаче токов установившегося режима при работе на активную нагрузку не превышает 10 % длины этой ВЛ.

#### 30.1 Выбор накладок

Пуск блока ОМП выполняется при появлении сигнала «Пуск ОМП matr.», формирование которого выполняется с помощью матрицы логических сигналов. Возможно два варианта обработки срабатывания:

– «**НалгПуска**» = 0 – блок ОМП пускается по сигналу «Пуск ОМП matr.». Измерение параметров аварийного режима происходит через время «**Тавар**» относительно момента появления сигнала «Пуск ОМП matr.». Измерение параметров предаварийного режима происходит за 40 мс до появления сигнала «Пуск ОМП matr.», т.е. в предшествующем режиме работы ЛЭП. На рисунке 30.1 показана временная диаграмма пуска;

– «**НалгПуска**» = 1 – задается селективный режим пуска, в котором измерение параметров режима происходит по алгоритму «**НалгПуска**» = 1, но их дальнейшая обработка зависит от сигнала «Подтверждение». Если в течение времени «**Тподтв**» относительно момента появления сигнала «Пуск ОМП matr.» получен сигнал «Подтверждение», то пуск считается подтвержденным, и формируется отчет ОМП. Если сигнал «Подтверждение» поступает после «**Тподтв**», или не поступает, тогда отчет ОМП не формируется. На рисунке 30.2 показана временная диаграмма срабатывания, в которой подтверждающий сигнал поступил до истечения времени «**Тподтв**», что привело к формированию отчета ОМП;

– «**НалгПуска**» = 2 – функция ОМП выводится из работы.

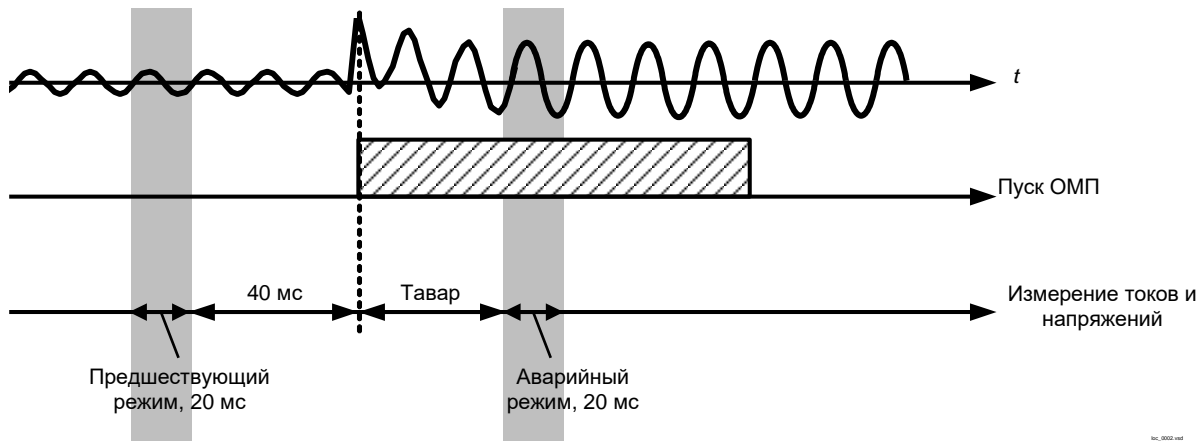


Рисунок 30.1 – Временная диаграмма пуска в режиме независимого пуска

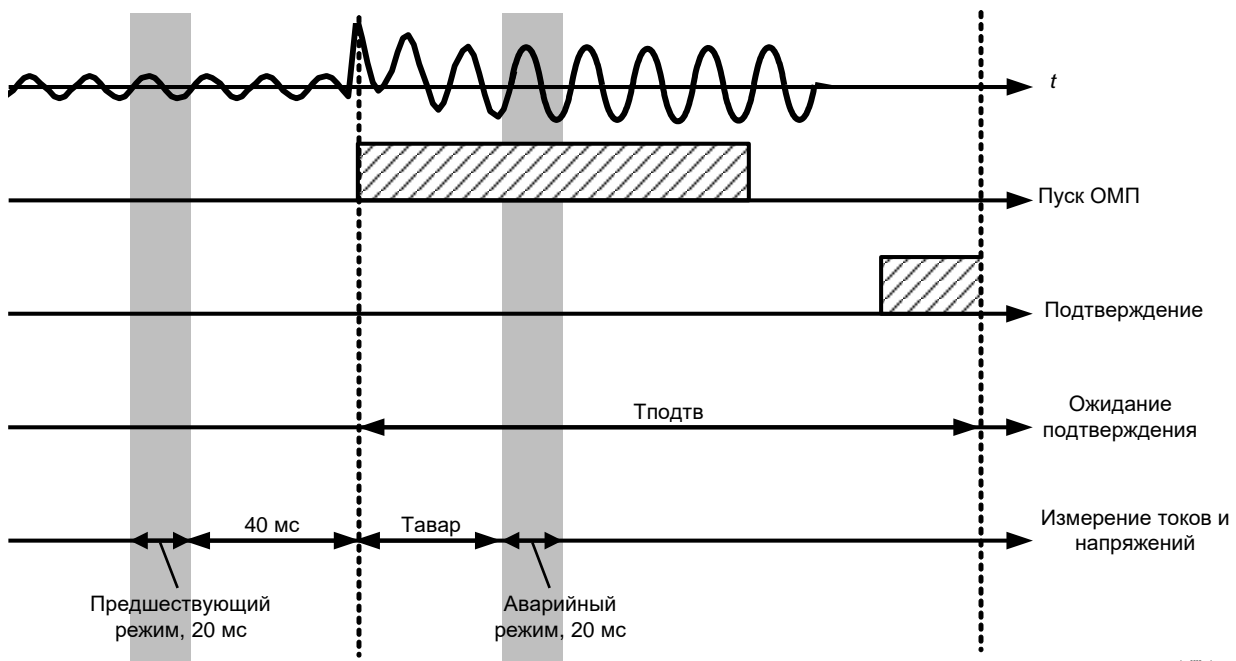


Рисунок 30.2 – Временная диаграмма пуска в режиме селективного пуска

В сложных аварийных процессах, например, при изменении вида повреждения и величины тока КЗ, момент измерения параметров аварийного режима может перемещаться в пределах интервала времени протекания тока КЗ. При этом весь аварийный процесс разбивается на интервалы однородности. Приоритет отдается тому интервалу, на котором обеспечивается наиболее уверенный результат ОМП, попадающий в пределы наблюдаемой зоны. На этом интервале происходит измерение аварийных величин. Для примера на рисунке 30.3 показан аварийный режим, состоящий из двух интервалов. На первом интервале в месте повреждения присутствует переходное сопротивление. На втором интервале переходное сопротивление «выгорает» и ток КЗ увеличивается. Приоритет отдается второму интервалу, поскольку при низкоомном КЗ обеспечивается более точный результат ОМП.

Выходной сигнал «Процесс КЗ» находится в сработавшем состоянии в процессе КЗ. Сигнал появляется в момент появления сигнала «Пуск ОМП», и сбрасывается, если внутренняя логика функции ОМП фиксирует отключение. Если отключение не наблюдается, то сигнал автоматически сбрасывается через 10 с после срабатывания блока ОМП.

При успешной фиксации КЗ блок формирует один из сигналов «Однофаз.КЗ (ф)», «Междуфазн.КЗ (ф)», Двухфазн.КЗ на зем.(ф) или «Трехфазн.КЗ (ф)», соответствующих различным видам повреждения. Эти сигналы устанавливаются после расчета места повреждения и могут быть сброшены сигналом «Сброс сигн.». Вид КЗ автоматически

обновляется при возникновении повторного КЗ. Возможна задержка формирования этих сигналов до нескольких секунд.

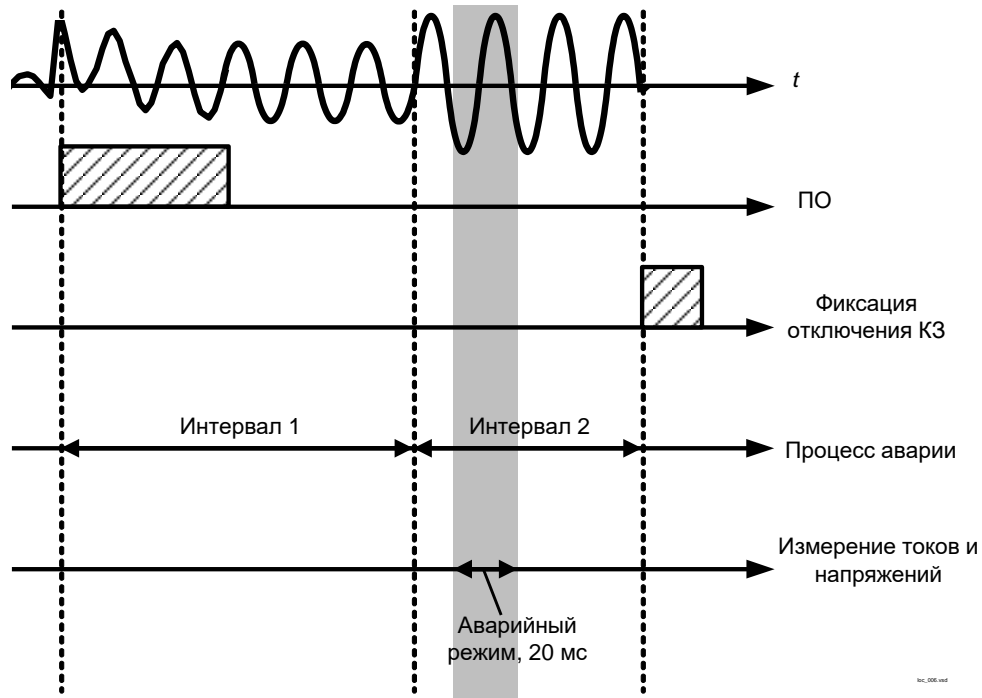


Рисунок 30.3 – Измерение аварийных величин в сложном аварийном процессе

Выбор уставок параметров линии в зависимости от выбранного алгоритма подробно описан в 30.3, 30.4, 30.5.

Формат вывода вида КЗ устанавливается с помощью наклейки «**НобознФ**». Предусмотрена возможность использования обозначения поврежденных фаз с помощью букв «А», «В» и «С» или «Ж», «З» и «К» в разных последовательностях. Наклейка может быть установлена в одно из положений: «1 – А-В-С-Н», «2 – А-В-С-0», «3 – Ж-З-К-0», «4 – Ж-К-З-0», «5 – А-В-С», «6 – Ж-З-К», «7 – Ж-К-З».

Время отстройки для фиксации текущих величин «**Тавар**» определяет отступ в положительную сторону относительно времени появления сигнала «ПО». Данная выдержка времени позволяет отстроиться от переходного процесса, возникающего в момент аварии.

Максимальная выдержка времени (60 мс) может быть выбрана на линиях с большим временем затухания переходного процесса. В остальных случаях рекомендуется выдержку времени выбрать равной 20 мс.

Время ожидания сигнала «Подтверждение» (внешнего сигнала) «**Тподтв**» в режиме селективного пуска выбирается с запасом от максимального времени задержки сигнала. Время отсчитывается от момента получения сигнала «ПО».

Уставку рекомендуется рассчитывать по выражению

$$t_{\text{подтв}} = t_{\text{сигн}} + t_{\text{зап}}, \quad (30.1)$$

где  $t_{\text{сигн}}$  – максимальное время задержки внешнего сигнала, мс;

$t_{\text{зап}} = 100$  – время запаса, предусмотренное для учета возможного запаздывания передачи внешнего сигнала, мс.

Если внешний сигнал принимается от защит линий, то под  $t_{\text{сигн}}$  понимается максимальное время срабатывания защит, охватывающих всю ЛЭП, например, вторых ступеней дистанционных и токовых защит.

## 30.2 Анализ топологии ЛЭП и подготовка исходных данных для расчета

Название наблюдаемой линии задается с помощью параметра «**Название**». Параметры линии задаются с учетом ее особенностей:

- неоднородность удельных параметров линии по длине (в том числе кабельные участки);

- ответвления с разными режимами заземления нейтрали трансформатора;
- индуктивные связи с параллельными линиями, в том числе с привлечением информации о токе нулевой последовательности параллельной линии.

В функции ОМП предусмотрен учет влияния параллельных линий на участок. Если участок индуктивно связан с несколькими линиями, то сначала выбирается та из них, которая оказывает наибольшее влияние на основную. Влияние параллельной линии можно оценить по выражению  $X_{0уд,вз} \cdot 3I_{0,п} \cdot l$ , где  $X_{0уд,вз}$  – удельное сопротивление взаимоиндукции нулевой последовательности основной и параллельной линий,  $3I_{0,п}$  – утроенный ток нулевой последовательности параллельной линии,  $l$  – длина участка основной линии, индуктивно связанного с рассматриваемой параллельной линией. Учет влияния остальных параллельных линии производится косвенно, изменением параметров основной линии на том же участке.

Описание наблюдаемой линии состоит из списка последовательных однородных участков. Максимальное число участков – 6.

Различают участки четырех типов:

- 1 – участок линии (включая кабельный),
- 2 – ответвление,
- 3 – нагрузка (конечный участок линии),
- 4 – участок линии, индуктивно связанный с параллельной линией.

Описание участка подразумевает задание наименования участка (параметр «**Название**»), его типа (параметр «**Тип**») и соответствующих этому типу параметров.

Рекомендуется не выделять участок, если:

- участок отличается от смежного (предшествующего или последующего участка) типом опор и состоит из трех и менее опор;
- участок отличается от смежного маркой провода, типом опор, маркой троса, типом заземления троса или наличием/отсутствием параллельной ЛЭП, но при этом имеет длину менее 1 км;
- участок пересекают автомобильные дороги, железнодорожные пути, другие линии электропередачи, а также ручьи, болота, овраги и т.п.

Если ЛЭП содержит кабельные вставки, эти отрезки должны быть выделены в отдельные участки, чтобы более точно учесть отличие параметров ЛЭП по длине.

Однако необходимо иметь в виду, что каждая ЛЭП весьма индивидуальна, и при ее разбиении на участки однородности возможны отклонения от общих правил, приведенных выше.

Если есть сомнения, то рекомендуется рассчитать суммарные сопротивления прямой и нулевой последовательностей и емкостные проводимости прямой и нулевой последовательностей участка для всех рассматриваемых вариантов разбиения, а затем сравнить полученные данные.

Если отклонение расчетов составляет менее 0,5 %, то из рассмотренных вариантов рекомендуется выбрать наиболее простую конфигурацию. Если отклонение получилось более 0,5 %, то следует выбрать наиболее точный (наиболее сложный) вариант.

### 30.3 Расчет уставок ОМП

В таблице 30.1 приведены все необходимые параметры для задания уставок ОМП в зависимости от типа участка линии.

Таблица 30.1 – Параметры функции ОМП

№ параметра	Тип 1 (Простая линия)	Тип 2 (Ответвление)	Тип 3 (Нагрузка)	Тип 4 (Индуктивная связь)
1	Длина участка « <b>Длина</b> », км			
2	Удельное активное сопротивление ПП « <b>R10</b> », Ом/км			
3	Удельное реактивное сопротивление ПП « <b>X10</b> », Ом/км			
4	Удельное активное сопротивление НП « <b>R00</b> », Ом/км			
5	Удельное реактивное сопротивление НП « <b>X00</b> », Ом/км			
6	Удельная реактивная проводимость ПП « <b>B10</b> », мкСм/км			

№ параметра	Тип 1 (Простая линия)	Тип 2 (Ответвление)	Тип 3 (Нагрузка)	Тип 4 (Индуктивная связь)
7	Удельная реактивная проводимость НП «В00», мкСм/км			
8	Активное сопротивление ПП системы слева «R1s», Ом	Активное сопротивление ПП отвления «R1отв», Ом	Активное сопротивление ПП системы справа «R1r», Ом	Активное сопротивление НП параллельной линии «R0п», Ом
9	Реактивное сопротивление ПП системы слева «X1s», Ом	Реактивное сопротивление ПП отвления «X1отв», Ом	Реактивное сопротивление ПП системы справа «X1r», Ом	Реактивное сопротивление НП параллельной линии «X0п», Ом
10	Активное сопротивление НП системы слева «R0s», Ом	Активное сопротивление НП отвления «R0отв», Ом	Активное сопротивление НП системы справа «R0r», Ом	Удельное взаимное активное сопротивление НП «R0вз», Ом/км
11	Реактивное сопротивление НП системы слева «X0s», Ом	Реактивное сопротивление НП отвления «X0отв», Ом	Реактивное сопротивление НП системы справа «X0r», Ом	Удельное взаимное реактивное сопротивление НП «X0вз», Ом/км
Примечание – В таблице приняты следующие обозначения: ПП – прямая последовательность, НП – нулевая последовательность.				

Ниже приводятся рекомендации по выбору всех параметров таблицы 30.1. Параметры рассчитываются по участкам ЛЭП.

### 30.3.1 Расчет параметров прямой последовательности участков воздушной ЛЭП

Параметры рассчитываются по участкам ЛЭП.

Удельное активное сопротивление прямой последовательности «R10», Ом/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$R_{1уд} = R_{ном} \cdot (1 + 0,004(t^\circ - 20^\circ)), \tag{30.2}$$

где  $R_{ном}$  – удельное активное сопротивление при 20°C, Ом/км;  
 $t^\circ$  – температура окружающей среды, градус.

При расщеплении фазы на  $n$  проводов активное сопротивление  $R_{1уд}$ , Ом/км, уменьшается в  $n$  раз.

Удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности «X10», Ом/км, рекомендуется рассчитывать по одной из формул

$$X_{1уд} = 0,0628 \cdot \ln \left( \frac{d_{cp}}{r_{cp,ф}} \right),$$

$$X_{1уд} = 0,145 \cdot \lg \left( \frac{d_{cp}}{r_{cp,ф}} \right), \tag{30.3}$$

где  $d_{cp} = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{CA}}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами фаз, мм;  
 $d_{AB} = \sqrt{(h_A - h_B)^2 + (d_A - d_B)^2}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами фаз А и В, мм;  
 $d_{BC} = \sqrt{(h_B - h_C)^2 + (d_B - d_C)^2}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами фаз В и С, мм;  
 $d_{CA} = \sqrt{(h_C - h_A)^2 + (d_C - d_A)^2}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами фаз А и С, мм;

$h_A, h_B, h_C$  и  $h_T$  – расстояния от уровня земли до проводов фаз А, В, С (с учетом длины гирлянды изоляторов  $S_{гир}$  рисунок 30.4) и троса, мм;

$d_A, d_B, d_C$  и  $d_T$  – координаты до проводов фаз А, В, С и троса (относительно центра опоры, рисунок 30.4), мм;

$r_{ср,ф}$  – средний геометрический радиус системы проводов одной фазы, мм. Для линий без расщепления  $r_{ср,ф} = K \cdot D/2$ . Для линий с расщепленным проводом рассчитывается по выражению

$$r_{ср,ф} = \sqrt[n]{K \cdot D/2 \cdot a^{n-1}}, \quad (30.4)$$

где  $D$  – диаметр провода, мм;

$a_{ср}$  – среднее геометрическое расстояние между проводами одной фазы, мм;

$n$  – число проводов в фазе;

$K = 0,95$  – коэффициент, учитывающий наличие в реальном проводе внутреннего магнитного поля.

При симметричном расположении проводов в фазе (по углам равностороннего многоугольника при числе проводов больше двух) средний геометрический радиус проводов равен:

– при двух проводах в фазе  $r_{ср,ф} = \sqrt{0,475 \cdot D \cdot a}$ ;

– при трех проводах в фазе  $r_{ср,ф} = \sqrt[3]{0,475 \cdot D \cdot a^2}$ ;

– при четырех проводах в фазе  $r_{ср,ф} = \sqrt[4]{0,475 \cdot D \cdot a^3 \sqrt{2}}$ ,

где  $a$  – расстояние между ближайшими проводами в фазе, мм.

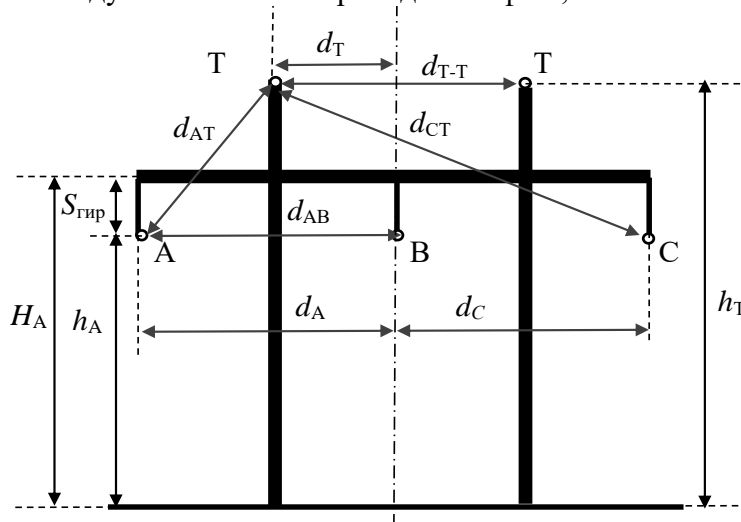


Рисунок 30.4 – Расстояния для опор ВЛ

Удельную емкостную проводимость прямой последовательности «В10», мкСм/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$B_{1уд} = \frac{7,5712}{\lg \frac{d_{ср}}{r_{п}}}, \quad (30.5)$$

где  $d_{ср} = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{CA}}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами, мм;

$r_{ср,ф}$  – средний геометрический радиус системы проводов одной фазы, мм.

### 30.3.2 Расчет параметров прямой последовательности участков кабельной ЛЭП

Для передачи электроэнергии на напряжении 110 кВ и выше находят применение подземные одножильные и трехжильные кабели. Приведенные ниже расчетные формулы пригодны для ориентировочного определения параметров кабельных линий и должны использоваться при отсутствии заводских данных.

Удельное активное сопротивление прямой последовательности одножильного кабеля «**R10**», Ом/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$R_{1уд} = R_{уд,л} + \frac{X_m^2 \cdot R_{уд,об}}{X_m^2 + R_{уд,об}^2}, \quad (30.6)$$

где  $R_{уд,л}$  – удельное сопротивление постоянного тока, Ом/км;

$X_m = 0,145 \cdot \lg \frac{2 \cdot d_{ср}}{\rho_n + \rho_v}$  – сопротивление взаимной индукции между фазными проводами и оболочкой, Ом/км;

оболочкой, Ом/км;

$R_{уд,об} = \frac{s_{уд} \cdot 10^3}{\pi \cdot (\rho_n^2 - \rho_v^2)}$  – активное сопротивление оболочки на фазу, Ом/км;

$d_{ср} = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{CA}}$  – среднегеометрическое расстояние между центрами кабелей (рисунок 30.5), мм;

$\rho_n$  – наружный радиус оболочки, мм;

$\rho_v$  – внутренний радиус оболочки, мм;

$s_{уд}$  – удельное сопротивление материала оболочки, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

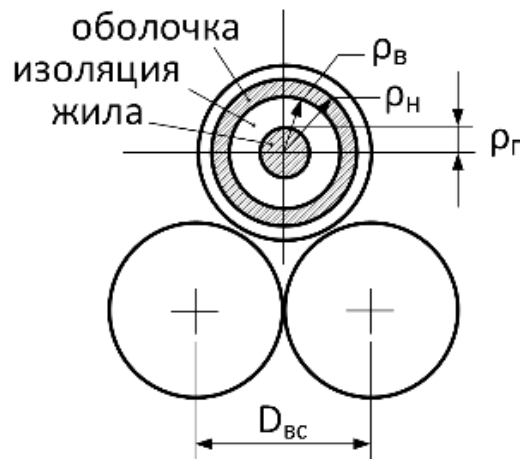


Рисунок 30.5 – Три одножильных кабеля

Удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности одножильного кабеля «**X10**», Ом/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$X_{1уд} = 0,145 \cdot \lg \left( \frac{d_{ср}}{\rho_{эп}} \right) - \frac{X_m^3}{X_m^2 + R_{уд,об}^3}, \quad (30.7)$$

где  $\rho_{эп} = k \cdot \rho_p$  – эквивалентный радиус провода с учетом поверхностного эффекта, мм;

$\rho_p$  – действительный радиус жилы (провода), мм;

$k = 0,9$  – коэффициент, учитывающий наличие внутреннего магнитного поля.

Удельное активное сопротивление прямой последовательности трехжильного кабеля «**R10**», Ом/км, рекомендуется принимать равным удельному активному сопротивлению кабеля (справочные данные).

Удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности трехжильного кабеля «**X10**», Ом/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$X_{1уд} = 0,145 \cdot \lg \left( \frac{d_{ср}}{\rho_{эп}} \right). \quad (30.8)$$

Удельную емкостную проводимость прямой последовательности «**B10**», мкСм/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$B_{1уд} = \omega \cdot C_{1,уд}, \quad (30.9)$$

где  $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$  – угловая частота;

$C_{1,уд}$  – удельная емкость прямой последовательности кабеля (каталожные данные), мкФ/км.

### 30.3.3 Расчет параметров нулевой последовательности участков воздушной ЛЭП

Для линий с разземленной нейтралью 6-35 кВ удельные параметры НП рассчитываются по формулам (30.10) и (30.11). Для таких сетей наличие тросов и параллельно проходящих линий в одном коридоре никакого влияния на параметры нулевой последовательности не оказывают.

Для линий с эффективно заземленной нейтралью:

– удельное активное сопротивление НП линии без учета грозозащитного заземленного троса  $R_{0уд(П)}$ , Ом/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$R_{0уд(П)} = 0,15 + R_{1уд}, \quad (30.10)$$

где  $R_{1уд}$  – удельное активное сопротивление ПП линии, Ом/км;

– удельное индуктивное сопротивление НП линии без учета грозозащитного заземленного троса  $X_{0уд(П)}$ , Ом/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$X_{0уд(П)} = 0,435 \cdot \lg \left( \frac{d_3 \cdot 10^3}{r_{ср,л}} \right), \quad (30.11)$$

где  $d_3 = 935$  – глубина пролегания обратного провода в земле, м;

$r_{ср,л} = \sqrt[3]{r_{ср,ф} \cdot d_{ср}^2}$  – средний геометрический радиус системы трех проводов линии (фазы А, В и С), мм;

$r_{ср,ф}$  – средний геометрический радиус системы проводов одной фазы, мм;

$d_{ср}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами, мм;

– удельное активное сопротивление грозозащитного заземленного троса  $R_{ТОуд}$ , Ом/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$R_{ТОуд} = 0,15 + 3R_{Тном} \cdot (1 + 0,004(t^\circ - 20^\circ)), \quad (30.12)$$

где  $R_{Тном}$  – удельное активное сопротивление троса при  $20^\circ$ , Ом/км;

$t^\circ$  – температура окружающей среды, градус;

– удельное реактивное сопротивление грозозащитного заземленного троса  $X_{ТОуд}$ , Ом/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$X_{ТОуд} = 0,435 \cdot \lg \left( \frac{d_3 \cdot 10^3}{0,475 \cdot D_T} \right), \quad (30.13)$$

где  $d_3 = 935$  м – глубина пролегания обратного провода в земле;

$D_T$  – диаметр троса, мм.

В случае наличия двух тросов на одних опорах вначале выполняют эквивалентирование этих тросов в один, а затем используется обычная методика учета тросов. При двух тросах эквивалентное удельное активное сопротивление определяется по формуле

$$R_{ТОуд} = 0,15 + 1,5R_{Тном} \cdot (1 + 0,004(t^\circ - 20^\circ)). \quad (30.14)$$

При двух тросах, находящихся друг от друга на расстоянии  $d_{Т-Т}$ , эквивалентное индуктивное сопротивление  $X_{ТОуд}$ , Ом/км, определяется по формуле

$$X_{ТОуд} = 0,435 \cdot \lg \left( \frac{d_3 \cdot 10^3}{\sqrt{0,475 \cdot D_T \cdot d_{Т-Т}}} \right), \quad (30.15)$$

где  $d_3 = 935$  м – глубина пролегания обратного провода в земле;

$D_T$  – диаметр троса, мм;



$d_{Т-Т}$  – расстояние между тросами, мм;

– удельное сопротивление взаимной связи  $\underline{Z}_{ПТ\text{ уд}}$ , Ом/км, рекомендуется определять по формуле

$$\underline{Z}_{ПТ\text{ уд}} = 0,15 + j0,435 \cdot \lg\left(\frac{d_3 \cdot 10^3}{d_{ПТ}}\right), \quad (30.16)$$

где  $d_3 = 935$  м – глубина пролегания обратного провода в земле;

$d_{ПТ} = \sqrt[3]{d_{АТ} \cdot d_{ВТ} \cdot d_{СТ}}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами фаз и тросом, мм;

$d_{АТ} = \sqrt{(h_A - h_T)^2 + (d_A - d_T)^2}$  – среднее расстояние между проводом фазы А и тросом, мм;

$d_{ВТ} = \sqrt{(h_B - h_T)^2 + (d_B - d_T)^2}$  – среднее расстояние между проводом фазы В и тросом, мм;

$d_{СТ} = \sqrt{(h_C - h_T)^2 + (d_C - d_T)^2}$  – среднее расстояние между проводом фазы С и тросом, мм;

– удельное сопротивление нулевой последовательности линии с учетом часто заземленного троса  $\underline{Z}_{0\text{ уд}(ТЧ)}$ , Ом/км, будет равно

$$\underline{Z}_{0\text{ уд}(ТЧ)} = \underline{Z}_{0\text{ уд}(Р)} - \frac{(\underline{Z}_{ПТ\text{ уд}})^2}{\underline{Z}_{Т0\text{ уд}}}, \quad (30.17)$$

где  $\underline{Z}_{0\text{ уд}(ТЧ)} = R_{0\text{ уд}(ТЧ)} + jX_{0\text{ уд}(ТЧ)}$  – удельное сопротивление линии с учетом часто заземленного троса, Ом/км;

$\underline{Z}_{0\text{ уд}(Р)} = R_{0\text{ уд}(Р)} + jX_{0\text{ уд}(Р)}$  – удельное сопротивление нулевой последовательности линии без учета троса, Ом/км;

$\underline{Z}_{ПТ\text{ уд}}$  – удельное сопротивление взаимной связи, Ом/км;

$\underline{Z}_{Т0\text{ уд}} = R_{Т0\text{ уд}} + jX_{Т0\text{ уд}}$  – удельное сопротивление троса, Ом/км.

Удельное полное сопротивление нулевой последовательности линии с учетом троса, заземленного по концам линии или участка,  $\underline{Z}_{0\text{ уд}(ТК)}$ , Ом/км, будет равно

$$\underline{Z}_{0\text{ уд}(ТК)} = \underline{Z}_{0\text{ уд}(Р)} - \frac{(\underline{Z}_{ПТ\text{ уд}})^2}{\underline{Z}_{Т0\text{ уд}} \cdot l_T} \cdot X_f, \quad (30.18)$$

где  $\underline{Z}_{0\text{ уд}(ТК)} = R_{0\text{ уд}(ТК)} + jX_{0\text{ уд}(ТК)}$  – удельное сопротивление линии с учетом троса, заземленного по концам линии или участка, Ом/км;

$\underline{Z}_{0\text{ уд}(Р)} = R_{0\text{ уд}(Р)} + jX_{0\text{ уд}(Р)}$  – удельное сопротивление нулевой последовательности линии без учета троса, Ом/км;

$\underline{Z}_{ПТ\text{ уд}}$  – удельное сопротивление взаимной связи, Ом/км;

$\underline{Z}_{Т0\text{ уд}} = R_{Т0\text{ уд}} + jX_{Т0\text{ уд}}$  – удельное сопротивление троса, Ом/км;

$l_T$  – длина троса, км;

$X_f$  – длина участка линии, на конце которого устанавливается виртуальное КЗ, от нуля до длины линии (принимается равным длине линии), км.

Если троса нет или трос заземлен через искровой промежуток («И»), то уставки «**R00**» и «**X00**» принимаются равными  $R_{0\text{ уд}(Р)}$  и  $X_{0\text{ уд}(Р)}$  соответственно.

Если трос часто заземлен («Ч»), то уставки «**R00**» и «**X00**» принимаются равными  $R_{0\text{ уд}(ТЧ)}$  и  $X_{0\text{ уд}(ТЧ)}$ .

Если трос заземлен по концам линии («К»), то уставки «**R00**» и «**X00**» принимаются равными  $R_{0\text{ уд}(ТК)}$  и  $X_{0\text{ уд}(ТК)}$ ;

– удельную емкостную проводимость нулевой последовательности «**B00**», мкСм/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$B_{0уд} = \frac{2,5227}{\lg \frac{D_{cp}}{r_{cp,л}}}, \quad (30.19)$$

где  $D_{cp} = \sqrt[3]{D_{AA}D_{BB}D_{CC}D_{AB}^2D_{BC}^2D_{CA}^2}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами и их отражениями относительно земли, мм;

$$D_{AA} = 2h_A, D_{BB} = 2h_B, D_{CC} = 2h_C, \text{ мм};$$

$$D_{AB} = \sqrt{(h_A - h_B)^2 + (d_A - d_B)^2}, \text{ мм};$$

$$D_{BC} = \sqrt{(h_B - h_C)^2 + (d_B - d_C)^2}, \text{ мм};$$

$$D_{CA} = \sqrt{(h_C - h_A)^2 + (d_C - d_A)^2}, \text{ мм};$$

$r_{cp,л} = \sqrt[3]{r_{cp,ф} \cdot d_{cp}^2}$  – средний геометрический радиус системы трех проводом линии (фазы А, В и С), мм.

Для упрощения параметр  $D_{cp}$  может быть принят приближенно равным удвоенному среднеарифметическому значению высот проводников  $h_A, h_B$  и  $h_C$  с учетом провеса (длины гирлянды изоляторов)

$$D_{cp} = 2/3(h_A + h_B + h_C). \quad (30.20)$$

Наличие тросов увеличивает емкость нулевой последовательности приближенно на 10 %

$$B_{0уд(Т)} = 1,1 \cdot B_{0уд}. \quad (30.21)$$

### 30.3.4 Расчет параметров нулевой последовательности участков кабельной ЛЭП

Удельное полное сопротивление нулевой последовательности одножильного кабеля:

– в случае заземленной оболочки рассчитывается по формуле

$$\underline{Z}_{0уд} = \underline{Z}_{0д} - \frac{\underline{Z}_{0(п-об)}^2}{\underline{Z}_{0об}}, \quad (30.22)$$

где  $\underline{Z}_{0п} = R_{удп} + j0,15 + j0,435 \lg \frac{d_3 \cdot 10^3}{\rho_{cp,п}}$  – собственное сопротивление нулевой

последовательности системы фазных проводов (жил), Ом/км;

$d_3 = 935$  м – глубина пролегания обратного провода в земле;

$\rho_{cp,п} = \sqrt[3]{\rho_{эл} \cdot d_{cp}^2}$  – средний геометрический радиус системы проводов, мм;

$\rho_{эл} = k \cdot \rho_{п}$  – эквивалентный радиус провода с учетом поверхностного эффекта, мм;

$\rho_{п}$  – действительный радиус жилы (провода), мм;

$k = 0,9$  – коэффициент, учитывающий наличие внутреннего магнитного поля;

$d_{cp} = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{AC} \cdot d_{BC}}$  – среднегеометрическое расстояние между центрами кабелей (рисунок 30.6), мм;

$\underline{Z}_{0об} = R_{удоб} + j0,15 + j0,435 \lg \frac{d_3 \cdot 10^3}{\rho_{cp,об}}$  – собственное сопротивление системы оболочек,

Ом/км;

$\rho_{cp,об} = \frac{\rho_{п} + \rho_{в}}{2}$  – средний радиус оболочки, мм;

$\underline{Z}_{0(п-об)} = 0,15 + j0,435 \lg \frac{d_3 \cdot 10^3}{\rho_{cp,об}}$  – сопротивление взаимной индукции нулевой

последовательности между фазными проводами и оболочками, Ом/км;

– в случае незаземленной оболочки рассчитывается по формуле

$$\underline{Z}_{0\text{уд}} = R_{\text{удп}} + R_{\text{удоб}} + j0,435 \lg \left( \frac{\rho_{\text{ср,об}}}{\rho_{\text{ср,п}}} \right). \quad (30.23)$$

Удельное активное сопротивление нулевой последовательности одножильного кабеля «R00», Ом/км, рассчитывается по формуле

$$R_{0\text{уд}} = \text{Re}(\underline{Z}_{0\text{уд}}). \quad (30.24)$$

Удельное реактивное сопротивление нулевой последовательности одножильного кабеля «X00», Ом/км, рассчитывается по формуле

$$X_{0\text{уд}} = \text{Im}(\underline{Z}_{0\text{уд}}). \quad (30.25)$$

Удельное полное сопротивление нулевой последовательности трехжильного кабеля рассчитывается по формуле

$$\underline{Z}_{0\text{уд}} = \underline{Z}_{0\text{п}} - \frac{\underline{Z}_{0(\text{п-об})}^2}{\underline{Z}_{0\text{об}}}, \quad (30.26)$$

где  $\underline{Z}_{0\text{п}} = R_{\text{удп}} + 0,15 + j0,435 \lg \frac{d_3 \cdot 10^3}{\rho_{\text{ср,п}}}$  – собственное сопротивление нулевой

последовательности системы фазных проводов (жил), Ом/км;

$d_3 = 935$  м – глубина пролегания обратного провода в земле;

$\rho_{\text{ср,п}} = \sqrt[3]{\rho_{\text{эл}} \cdot d_{\text{ср}}^2}$  – средний геометрический радиус системы проводов, мм;

$\rho_{\text{эл}} = k \cdot \rho_{\text{п}}$  – эквивалентный радиус провода с учетом поверхностного эффекта, мм;

$\rho_{\text{п}}$  – действительный радиус провода, мм;

$k = 0,9$  – коэффициент, учитывающий наличие внутреннего магнитного поля;

$d_{\text{ср}} = \sqrt[3]{d_{\text{AB}} \cdot d_{\text{AC}} \cdot d_{\text{BC}}}$  – среднегеометрическое расстояние между центрами кабелей (рисунок 30.6), мм;

$\underline{Z}_{0\text{об}} = 3R_{\text{удоб}} + 0,15 + j0,435 \lg \left( \frac{d_3 \cdot 10^3}{\rho_{\text{ср,об}}} \right)$  – собственное сопротивление системы оболочек,

Ом/км;

$\rho_{\text{ср,об}} = \frac{\rho_{\text{н}} + \rho_{\text{в}}}{2}$  – средний радиус оболочки, мм;

$\underline{Z}_{0(\text{п-об})} = 0,15 + j0,435 \lg \frac{d_3 \cdot 10^3}{\rho_{\text{ср,об}}}$  – сопротивление взаимной индукции нулевой

последовательности между фазными проводами и оболочками, Ом/км.

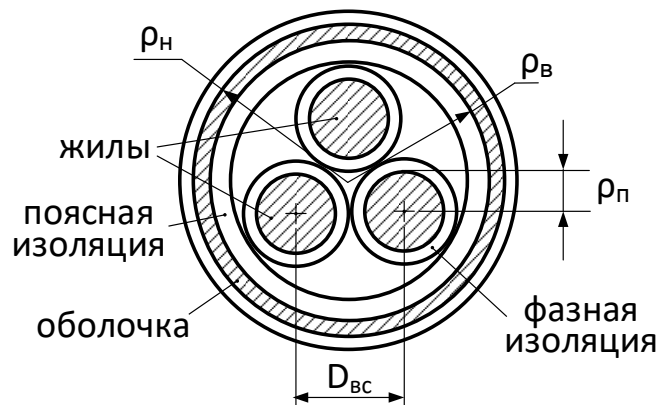


Рисунок 30.6 – Трехжильный кабель

Удельную емкостную проводимость нулевой последовательности «**B00**», мкСм/км, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$B_{0уд} = \omega \cdot C_{0уд}, \quad (30.27)$$

где  $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$  – угловая частота;

$C_{0уд}$  – удельная емкость нулевой последовательности кабеля (каталожные данные), мкФ/км.

### 30.3.5 Расчет параметров системы слева и системы справа

Сопrotивление системы слева (системы «за спиной») «**R1s**», «**X1s**», «**R0s**», «**X0s**» и системы справа (удаленной системы) «**R1r**», «**X1r**», «**R0r**», «**X0r**» определяются исходя из параметров сети. Для линий и систем с разземленной нейтралью параметры НП систем («**R0s**», «**X0s**», «**R0r**», «**X0r**») рекомендуется принимать равными  $10^6$  Ом (1Е6).

Для линий с односторонним питанием сопротивление системы справа (удаленной системы) принимается равным сопротивлению нагрузки.

Если режимы максимальных и минимальных нагрузок различаются значительно, то рекомендуется составлять несколько наборов параметров ОМП и использовать их сезонно.

### 30.3.6 Расчет параметров ответвлений

Сопrotивление прямой последовательности трансформаторной подстанции на ответвлении «**R1отв**» и «**X1отв**» рекомендуется принимать равным

$$\underline{Z}_{1отв} = \underline{Z}_{1тр} + \underline{Z}_{1нг}, \quad (30.28)$$

где  $\underline{Z}_{1тр} = R_{1тр} + jX_{1тр}$  – полное сопротивление трансформатора на ответвлении, Ом;

$\underline{Z}_{1нг} = R_{1нг} + jX_{1нг}$  – полное сопротивление нагрузки прямой последовательности, Ом.

Эквивалентное сопротивление нагрузки прямой последовательности можно рассчитать по выражениям

$$\underline{Z}_{1нг} = \frac{U_{нг}^2}{S_{нг}} (\cos \varphi_{нг} + j \sin \varphi_{нг}), \quad (30.29)$$

$$\underline{Z}_{1нг} = \frac{U_{нг}}{\sqrt{3}I_{нг}} (\cos \varphi_{нг} + j \sin \varphi_{нг}), \quad (30.30)$$

где  $U_{нг}$  – номинальное напряжение контролируемой линии, кВ;

$S_{нг}$  – рабочая мощность нагрузки, кВА;

$I_{нг}$  – рабочий ток нагрузки, приведенный к ступени напряжения контролируемой линии, А;

$\varphi_{нг}$  – угол нагрузки, градус.

Если нейтраль трансформатора заземлена, то сопротивление нулевой последовательности ответвления «**R0отв**» и «**X0отв**» рекомендуется принимать равным сопротивлению трансформатора по нулевой последовательности

$$\underline{Z}_{0отв} = \underline{Z}_{0тр}, \quad (30.31)$$

где  $\underline{Z}_{0тр} = R_{0тр} + jX_{0тр}$  – сопротивление нулевой последовательности трансформатора, Ом.

Если нейтраль разземлена, то активное и реактивное сопротивления НП ответвления рекомендуется принимать, соответственно, равными «**R0отв**» =  $10^6$  Ом (1Е6) и «**X0отв**» =  $10^6$  Ом (1Е6).

### 30.3.7 Расчет сопротивления нулевой последовательности параллельной линии и удельного взаимного сопротивления нулевой последовательности

Сопротивление нулевой последовательности параллельной линии «**R0п**» и «**X0п**» равно

$$\underline{Z}_{0п} = \underline{Z}_{0с,п} + \underline{Z}_{0л,п} + \underline{Z}_{0г,п}, \quad (30.32)$$

где  $\underline{Z}_{0,л} = R_{0,л} + jX_{0,л}$  – комплексное сопротивление нулевой последовательности параллельной линии, Ом;

$\underline{Z}_{0s,л} = R_{0s,л} + jX_{0s,л}$  – комплексное сопротивление нулевой последовательности системы за спиной параллельной линии, Ом;

$\underline{Z}_{0л,л} = R_{0л,л} + jX_{0л,л}$  – комплексное сопротивление нулевой последовательности параллельной линии, которое рассчитывается как суммарное сопротивление всех участков линии, Ом;

$\underline{Z}_{0r,л} = R_{0r,л} + jX_{0r,л}$  – комплексное сопротивление нулевой последовательности удаленной системы параллельной линии, Ом.

Сопротивление нулевой последовательности параллельной линии рассчитывается по формуле

$$\underline{Z}_{0л,л} = \underline{Z}_{0уч1,л} \cdot L_{уч1} + \underline{Z}_{0уч2,л} \cdot L_{уч2} + \underline{Z}_{0учN,л} \cdot L_{учN}, \quad (30.33)$$

где  $N$  – количество участков параллельной линии;

$\underline{Z}_{0уч1,л}, \underline{Z}_{0уч2,л}, \dots, \underline{Z}_{0учN,л}$  – удельные комплексные сопротивления нулевой последовательности  $N$  участков параллельной линии, которые являются результатами расчетов по рекомендациям пункта 30.3.3, Ом/км;

$L_{уч1}, L_{уч2}, \dots, L_{учN}$  – длины  $N$  участков параллельной линии, км.

Удельное сопротивление взаимной индукции нулевой последовательности между основной и параллельной линиями «**Р0вз**» и «**Х0вз**» рекомендуется рассчитывать по формуле

$$\underline{Z}_{0удвз} = 0,15 + j0,435 \lg \frac{d_3}{D_{I-II}}, \quad (30.34)$$

где  $\underline{Z}_{0уд,вз} = R_{0уд,вз} + jX_{0уд,вз}$  – удельное сопротивление взаимной индукции нулевой последовательности основной и параллельной линий, Ом/км;

$d_3 = 935$  м – глубина пролегания обратного провода в земле;

$D_{I-II} = \sqrt[3]{D_{AA} D_{AB} D_{AC} D_{BA} D_{BB} D_{BC} D_{CA} D_{CB} D_{CC}}$  – среднее геометрическое расстояние между фазами параллельных линий I и II, которое определяется расстояниями между каждым проводом (A, B, C) цепи I и каждым проводом (A', B', C') цепи II, м. В упрощенном расчете среднее геометрическое расстояние между проводами фаз основной и параллельной линий можно принять равным  $D_{I-II} = L_{I-II} + 0,5$  м;

$L_{I-II}$  – расстояние до основной ЛЭП, м.

При наличии нескольких параллельных линий необходимо последовательно эквивалентировать каждую из них с основной.

### 30.4 Подготовка исходных данных для терминала

По результатам расчетов параметров всех участков ЛЭП заполняют таблицу 30.2.

При заполнении таблицы необходимо придерживаться следующих рекомендаций.

Участки должны следовать по порядку от того конца линии, на котором установлен данный терминал.

В таблице 30.2 представлены параметры для описания участка каждого типа. Семь параметров задаются независимо от типа: (1) – длина, (2–7) – удельные параметры. Эти параметры характеризуют участок основной линии или линии, соединяющей основную линию с ответвительной подстанцией. Остальные четыре параметра (8–11) задаются в зависимости от типа участка

Для начального участка типа 1 параметры (8–11) описывают параметры системы слева (системы «за спиной» терминала). В последующих участках типа 1 параметры (8–11) следует принять равными 0,01.

Для участка типа 2 параметры (8–11) задают суммарное сопротивление ответвления, учитывая схему соединения обмоток силового трансформатора и сопротивление нагрузки ответвления.

Для участка типа 3 параметры (8–11) описывают сопротивление системы справа (удаленной системы). Участок типа 3 используется однократно – при задании конечного участка линии. Для задания промежуточных участков используются другие типы участков.

Для участка типа 4 параметры (8–11) задают параметры индуктивной связи. Параметры 8, 9 несут информацию о сопротивлении всей параллельной линии, т.е. учитывают сопротивление всех ее участков, а также сопротивления систем слева и справа. Параметры 10, 11 несут информацию о взаимной индукции между основной линией и параллельной. Необходимо учитывать, что ток нулевой последовательности параллельной линии в терминале учитывается для всех участков типа 4 до первого встречного участка типа 1 или 3.

Если первый участок линии должен предусматривать одновременное задание системы слева, что соответствует типу 1, и параллельной линии, что соответствует типу 4, то рекомендуется этот участок разбить на два, заданных в следующем порядке:

- первый участок имеет тип 1, минимальную длину (0,01 км) и, соответственно, включает описание параметров системы слева;

- второй участок имеет тип 4, учитывает всю длину начального участка, и, соответственно, включает описание параметров параллельной линии.

Если последний участок линии должен предусматривать одновременное задание системы справа, что соответствует типу 3, и параллельной линии, что соответствует типу 4, то рекомендуется этот участок разбить на два, заданных в следующем порядке:

- первый участок имеет тип 4, учитывает всю длину последнего участка и, соответственно, включает описание параметров параллельной линии;

- второй участок имеет тип 3, минимальную длину (0,01 км) и, соответственно, включает описание параметров системы слева.

Если вся линия состоит из одного участка и не имеет параллельных линий, то этот участок рекомендуется разделить на два, заданных в следующем порядке:

- первый участок имеет тип 1, длину, равную половине длины линии, и, соответственно, включает описание системы слева;

- второй участок имеет тип 3, длину, равную половине длины линии, и, соответственно, включает описание системы справа.

Если линия состоит из одного участка и имеет параллельную линию, то этот участок рекомендуется разделить на три:

- первый участок имеет тип 1, минимальную длину (0,01 км), и, соответственно, включает описание системы слева;

- второй участок имеет тип 4, длину, равную длине линии, и включает соответствующие данные о параллельной линии;

- третий участок имеет тип 3, минимальную длину (0,01 км), и включает описание системы справа.

Таблица 30.2 – Параметры линии блока ОМП

№ параметра	Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Название линии		Название	до 12 символов	ВЛ Хвойная
<b>Параметры участка линии</b>				
Название участка $n$ ( $n = 1-6$ )		Название	до 12 символов	Хвойная 1
Тип участка (1 – линия, 2 – ответвл., 3 – нагрузка, 4 – инд.связь)		Тип участка	-	1 – линия
1	Длина участка	Длина	от 0,01 до 999 (шаг 0,01)	5
2	Удельное активное сопротивление ПП, Ом/км	R10	от 0 до 1 (шаг 0,001)	0,198
3	Удельное реактивное сопротивление ПП, Ом/км	X10	от 0,01 до 0,6 (шаг 0,001)	0,479

№ параметра	Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
4	Удельное активное сопротивление НП, Ом/км	R00	от 0 до 2 (шаг 0,001)	0,346
5	Удельное реактивное сопротивление НП, Ом/км	X00	от 0,01 до 3 (шаг 0,001)	1,256
6	Удельная реактивная проводимость ПП, мкСм/км	B10	от 0 до 100 (шаг 0,001)	0
7	Удельная реактивная проводимость НП, мкСм/км	B00	от 0 до 100 (шаг 0,001)	0
8	Активное сопротивление ПП участка $n$ , Ом	R1	от 0,01 до $10^6$ (шаг 0,001)	0,01
9	Реактивное сопротивление ПП участка $n$ , Ом	X1	от 0,01 до $10^6$ (шаг 0,001)	6,05
10	Активное сопротивление НП участка $n$ , Ом	R0	от 0,01 до $10^6$ (шаг 0,001)	0,01
11	Реактивное сопротивление НП участка $n$ , Ом	X0	от 0,01 до $10^6$ (шаг 0,001)	2,85

### 30.5 Выбор уставок ОМП при отсутствии необходимых сведений о контролируемой линии

В случае отсутствия всех необходимых данных для расчетов, выбор уставок ОМП может быть произведен согласно следующим рекомендациям.

#### 30.5.1 Расчет удельных параметров линии

Если даны активные и реактивные сопротивления прямой ( $R_1$  и  $X_1$ ) и нулевой ( $R_0$  и  $X_0$ ) последовательностей линии и длина ( $L$ ) контролируемой линии, то соответствующие удельные параметры «R10», «X10», «R00», «X00» могут быть рассчитаны по выражениям

$$R_{1\text{уд}} = R_1 / L, \quad X_{1\text{уд}} = X_1 / L, \quad (30.35)$$

$$R_{0\text{уд}} = R_0 / L, \quad X_{0\text{уд}} = X_0 / L. \quad (30.36)$$

Если соответствующие параметры известны по участкам, то удельные сопротивления рассчитываются по приведенным выше формулам.

В таблице 30.3 представлены диапазоны параметров прямой последовательности в зависимости от напряжения линии и наличия расщепления проводов фаз. В таблице первая граница диапазона указана для проводов с наименьшим радиусом, характерным для данного класса напряжения, а вторая граница – для проводов с наибольшим радиусом. При отсутствии каких-либо данных о линии удельные параметры прямой последовательности «R10», «X10» и «B10» можно принять равными средним значениям из указанных диапазонов.

Таблица 30.3 – Диапазоны параметров ЛЭП

Напряжение линии, кВ	Наличие расщепления	Удельное активное сопротивление прямой последовательности «R10», Ом/км	Удельное реактивное сопротивление прямой последовательности «X10», Ом/км	Удельная емкостная проводимость прямой последовательности «B10», мкСм/км
110	Нет	0,63 – 0,10	0,45 – 0,39	2,53 – 2,91
220	Нет	0,13 – 0,05	0,43 – 0,40	2,66 – 2,84
220	Есть	0,07 – 0,03	0,31 – 0,30	3,64 – 3,70
330	Нет	0,07 – 0,05	0,43 – 0,42	2,67 – 2,71
330	Есть	0,07 – 0,02	0,33 – 0,31	3,44 – 3,58
500	Есть	0,03 – 0,01	0,33 – 0,29	3,42 – 3,85
750	Есть	0,02 – 0,01	0,28 – 0,27	3,99 – 4,07

На основе выбранных удельных параметров прямой последовательности можно рассчитать соответствующие удельные параметры нулевой последовательности. Удельное

активное сопротивление нулевой последовательности «R00» принимается равным  $R_{0уд} = 0,15 + R_{1уд}$ . Удельное реактивное сопротивление нулевой последовательности «X00» может быть рассчитано по таблице 30.4, где даны соотношения  $K = X_0/X_1$ . Тогда  $X_{0уд} = K \cdot X_{1уд}$ .

Таблица 30.4 – Соотношения параметров нулевой и прямой последовательностей ЛЭП

Характеристика линии	$K = X_0/X_1$
Одноцепная линия без тросов	3,5
Одноцепная линия со стальными тросами	3,0
Одноцепная линия с хорошо проводящими тросами	2,0
Двухцепная линия без тросов	5,5
Двухцепная линия со стальными тросами	4,7
Двухцепная линия с хорошо проводящими тросами	3,0

Удельную проводимость нулевой последовательности «B00» можно принять равной  $B_{0уд} = (0,45-0,52)B_{1уд}$ .

### 30.5.2 Расчет параметров системы слева и системы справа

Если отсутствуют сведения о сопротивлениях системы слева («за спиной») и системы справа (удаленной системы), то эти параметры могут быть рассчитаны по известным напряжениям и токам КЗ в максимальном и минимальном режимах.

Для расчета сопротивлений системы слева рассматривается металлическое КЗ на шинах в начале линии при отключенной с двух сторон контролируемой линии (рисунок 30.7), причем параллельные линии и ответвления рекомендуется не отключать.

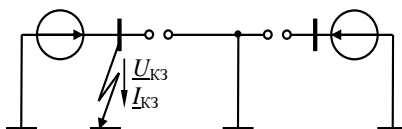


Рисунок 30.7 – Модель расчета сопротивления системы слева

Для расчета сопротивлений системы справа рассматривается металлическое КЗ на шинах в конце линии при отключенной с двух сторон контролируемой линии (рисунок 30.8), причем параллельные линии и ответвления рекомендуется не отключать.

Сопротивление прямой последовательности «R1s» и «X1s» («R1r» и «X1r») рассчитывается по выражению

$$\underline{Z}_1 = \underline{U}_{2 \text{ КЗ}} / \underline{I}_{2 \text{ КЗ}}, \tag{30.37}$$

где  $\underline{U}_{2 \text{ КЗ}}$  и  $\underline{I}_{2 \text{ КЗ}}$  – напряжение и ток обратной последовательности в месте замыкания при междуфазном КЗ или однофазном КЗ на землю.

Сопротивление нулевой последовательности «R0s» и «X0s» («R0r» и «X0r») рассчитывается по выражению

$$\underline{Z}_0 = \underline{U}_{0 \text{ КЗ}} / \underline{I}_{0 \text{ КЗ}}, \tag{30.38}$$

где  $\underline{U}_{0 \text{ КЗ}}$  и  $\underline{I}_{0 \text{ КЗ}}$  – напряжение и ток нулевой последовательности в месте замыкания при однофазном КЗ на землю.

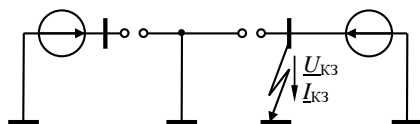


Рисунок 30.8 – Модель расчета сопротивления системы справа

Если для расчетов используется программный комплекс «АРМ СРЗА» или «ТКЗ++», то сопротивления прямой последовательности и нулевой последовательности системы принимаются равными «Суммарным величинам в месте несимметрии»  $\underline{Z}_1$  и  $\underline{Z}_0$  при однофазном КЗ при указанных выше условиях.



Если рассматриваемая линия с односторонним питанием, то сопротивление системы справа « $R_{1r}$ » и « $X_{1r}$ » (« $R_{0r}$ » и « $X_{0r}$ ») можно принять равным сопротивлению нагрузки с учетом сопротивления трансформатора на тупиковой подстанции (формула расчета (30.28) и (30.31)).

### 30.5.3 Учет параллельных линий

Примечание – Влияние взаимной индукции от параллельной линии не учитывается, если эта параллельная линия является тупиковой и питает трансформаторы, обмотки ВН которых разземлены.

Способ учета параллельных линий определяется их числом.

Если на участке одна параллельная линия, то учет ее влияния осуществляется посредством задания типа участка равным 4 («Индуктивная связь») и ввода соответствующих параметров параллельной линии: удельных сопротивлений взаимной индукции « $R_{0вз}$ » и « $X_{0вз}$ » и полных сопротивлений нулевой последовательности параллельной линии « $R_{0п}$ » и « $X_{0п}$ ».

Если параллельных линий несколько, то все параллельные линии считаются равноправными, при этом их влияние рекомендуется учесть расчетным путем: «внесением» их сопротивлений в сопротивление основной линии. Сопротивление участка линии, индуктивно связанного с  $n$  параллельными линиями, может быть рассчитано по выражению

$$\underline{Z}_0 = \frac{1}{(\underline{Z}_{0\text{экв}}^{-1})_{(1,1)}}, \quad (30.39)$$

где  $\underline{Z}_0 = R_0 + jX_0$  – полное (суммарное за участок) сопротивление нулевой последовательности, Ом;

$(\underline{Z}_{0\text{экв}}^{-1})_{(1,1)}$  – первый элемент первой строки матрицы, обратной матрице  $\underline{Z}_{0\text{экв}}$ ;

$$\underline{Z}_{0\text{экв}} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_0 & \underline{Z}_{(01)} & \dots & \underline{Z}_{(0n)} \\ \underline{Z}_{(01)} & \underline{Z}_{(1)} & \dots & \underline{Z}_{(1n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \underline{Z}_{(0n)} & \underline{Z}_{(1n)} & \dots & \underline{Z}_{(n)} \end{bmatrix} \text{ – матрица сопротивлений нулевой последовательности}$$

$n$  индуктивно связанных между собой линий. Матрица является симметричной относительно диагонали;

$\underline{Z}_{(0)}$  – сопротивление нулевой последовательности участка основной линии, на который оказывают влияние рассматриваемые параллельные линии, Ом;

$\underline{Z}_{(1)}, \dots, \underline{Z}_{(n)}$  – полные сопротивления нулевой последовательности параллельных линий, Ом. Каждое сопротивление включает сопротивление нулевой последовательности всей линии в целом и сопротивления систем слева и справа относительно этой линии;

$\underline{Z}_{(01)}, \underline{Z}_{(02)}, \dots, \underline{Z}_{(0n)}$  – взаимные сопротивления нулевой последовательности между контролируемой и параллельными линиями, Ом;

$\underline{Z}_{(12)}, \underline{Z}_{(13)}, \dots, \underline{Z}_{(1n)}, \underline{Z}_{(23)}, \dots, \underline{Z}_{((n-1)n)}$  – взаимные сопротивления нулевой последовательности между соответствующими параллельными линиями, Ом.

Для одной параллельной линии выражение (30.39) дает следующее сопротивление участка контролируемой линии

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{(0)} - \frac{\underline{Z}_{(01)}^2}{\underline{Z}_{(1)}}, \quad (30.40)$$

где  $\underline{Z}_{(0)}$  – полное (суммарное за участок) сопротивление контролируемой линии, Ом;

$\underline{Z}_{(1)}$  – сопротивление нулевой последовательности параллельной линии, которое включает сопротивление нулевой последовательности всей линии в целом и сопротивления систем слева и справа относительно этой линии, Ом;

$\underline{Z}_{(01)}$  – полное (суммарное за участок) сопротивление взаимной индукции между контролируемой и параллельной линиями, Ом.

Для двух параллельных линий выражение (30.39) дает следующее сопротивление участка контролируемой линии

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{(0)} - \frac{\underline{Z}_{(01)}^2 \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(02)}^2 \underline{Z}_{(1)} - 2\underline{Z}_{(01)} \underline{Z}_{(02)} \underline{Z}_{(12)}}{\underline{Z}_{(1)} \underline{Z}_{(2)} - \underline{Z}_{(12)}^2}, \quad (30.41)$$

где  $\underline{Z}_{(0)}$  – полное (суммарное за участок) сопротивление контролируемой линии, Ом;

$\underline{Z}_{(1)}$ ,  $\underline{Z}_{(2)}$  – сопротивления нулевой последовательности параллельных линий, каждое из которых включает сопротивление нулевой последовательности всей линии в целом и сопротивления систем слева и справа относительно этой линии, Ом;

$\underline{Z}_{(01)}$ ,  $\underline{Z}_{(02)}$  – полные (суммарные за участок) сопротивления взаимоиндукции между контролируемой и параллельными линиями, Ом;

$\underline{Z}_{(12)}$  – полное (суммарное за участок) сопротивление взаимоиндукции между двумя параллельными линиями, Ом.

### 31 Диагностика ресурса выключателя (МКРВ)

Функцию диагностики выключателя выполняет функциональный блок «МКРВ» и счетчики. Счетчиками фиксируются:

- количество аварийных отключений от защит;
- количество АПВ;
- количество включений выключателя.

Сброс счетчиков производится программными накладками «**Ноткл**», «**Напв**» и «**Нвкл**» («0 – вывод/сброс», «1 – ввод») путем вывода соответствующего счетчика из работы. Об этом необходимо помнить, т.к. при выводе счетчика его накопленное значение сбрасывается и теряется навсегда.

Остаточный ресурс выключателя оценивается при каждом отключении. Цикл «Включение-Отключение» (В-О) определяется сменой входных дискретных сигналов «DI РПВ» и «DI РПО». Ложная фиксация циклов при кратковременном снижении напряжения оперативного тока и различных помехах исключается контролем подачи команд на отключение выключателя (оперативных или автоматических).

Сигнал «Сигн. от МКРВ» является фиксируемым сигналом и означает пересечение одного из пороговых уровней. Сигнал используется для действия в цепи центральной сигнализации. Сигнал формируется при установленной программной накладке «**Ннеисп**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Сигнал «Блок. от МКРВ» может быть сформирован, если остаточный коммутационный или механический ресурс выключателя снижается до нуля. Сигнал может использоваться для блокировки включения выключателя.

Если уставки блока будут неправильно заданы, то сформируется сигнал «Неисп. МКРВ», который может быть выведен на светодиодную сигнализацию.

Для выключателей коммутационный и механический ресурсы (ГОСТ 18397-86 и ГОСТ Р 52565-2006) регламентируются как показатели надежности. Устройство позволяет контролировать оба параметра выключателя:

- остаточный механический ресурс выключателя (МРВ), который оценивается по числу произведенных коммутаций выключателя;
- остаточный коммутационный ресурс выключателя (КРВ), который дополнительно учитывает величину отключаемых токов.

Диагностика выключателя производится по результатам длительного наблюдения циклов включения и отключения выключателя. Устройство отображает текущий остаточный ресурс выключателя (убывающая во времени величина), который является оценочной величиной, зависит от исходных параметров и может отличаться от истинного состояния конкретного оборудования.

В соответствии с ГОСТ 18397-86:

- срок службы до первого среднего ремонта и между средними ремонтами определяют состоянием выключателя после выработки им ресурса по коммутационной стойкости;
- срок службы до капитального ремонта выключателя определяют состоянием выключателя после выработки им ресурса по механической стойкости.

МКРВ контролирует время включения и отключения выключателя по изменению состояния дискретных входов «DI РПВ» и «DI РПО».

В случае, если время отключения выключателя превышает заданную уставку сигнализации времени отключения «**Тоткл**», в функциональном блоке МКРВ формируется внутренний сигнал «Длит. откл.», действующий на выходной сигнал «Сигн. от МКРВ» блока МКРВ.

В случае, если время включения выключателя превышает заданную уставку сигнализации времени включения «**Твкл**», в функциональном блоке МКРВ формируется внутренний сигнал «Длит. вкл.», действующий на выходной сигнал «Сигн. от МКРВ» блока МКРВ.

Рекомендованные значения выдержек времени «**Твкл**» и «**Тоткл**» составляют 1000 мс.

Номер выключателя выбирается с помощью уставки «**Нвыкл**».

### 31.1 Контроль механического ресурса выключателя (МРВ)

Ресурс по механической стойкости выключателей регламентирует число циклов В-О, производимых без тока в главной цепи при номинальном напряжении на выводах цепей управления. Функция контроля МРВ содержит две сигнальные ступени, каждая из которых реагирует на снижение остаточного ресурса ниже заранее заданных значений. При достижении нулевого значения остаточного ресурса выключателя может производиться блокирование включения выключателя с целью предотвращения его разрушения.

Пороговое число циклов определяется документацией на конкретный выключатель. Для выключателей 6-35 кВ количество циклов механической стойкости составляет не менее 10000.

Устройство фиксирует и отображает на ИЧМ остаточный ресурс выключателя в процентах от допустимого числа циклов В-О, а также число проведенных отключений.

Пользователю предоставляется возможность установки текущего значения МРВ (например, восстановление работоспособности при замене или капитальном ремонте выключателя) при помощи локального пользовательского интерфейса.

Устройство фиксирует циклы В-О по последовательности смены сигналов положения выключателя. Возможна избыточная фиксация или несрабатывание счетчика циклов В-О при нарушении обмена сигналами между комплектом АУВ и выключателем. Погрешность работы пороговых элементов модуля контроля МРВ не превышает 0,1 %.

Уставкой «МдопОткл» задается допустимое число циклов В-О, соответствующих износу выключателя (паспортные данные).

Режим работы контроля механического ресурса задается программной накладкой «НрежМРВ» («0 – вывод», «1 – ввод»).

Уставками «МсрабМРВ1» и «МсрабМРВ2» задаются пороговые уровни срабатывания первой и второй ступеней контроля МРВ. При этом формируются сигналы «Сигнал от МКРВ1» и «Сигнал от МКРВ2» соответственно.

Примечание – Пример для исходных данных «МдопОткл» = 3000, «МсрабМРВ1» = 60 %, «МсрабМРВ2» = 30 %. После 1200 коммутаций сработает первая сигнальная ступень контроля механического ресурса, означающая необходимость первого планового ремонта; после 2100 коммутаций – второго планового ремонта, после 3000 коммутаций – очередного ремонта и блокировании управления.

### 31.2 Контроль коммутационного ресурса выключателя (КРВ)

Ресурс по коммутационной стойкости выключателя определяет число производимых отключений при заданных уровнях токов. Как правило, производителями выключателей задается допустимое количество циклов отключения при номинальном токе выключателя и при номинальном токе отключения. Усредненных параметров по КРВ не существует. Уставки модуля контроля КРВ задаются для каждого конкретного выключателя в соответствии с его паспортными данными.

Функция контроля КРВ содержит две сигнальные ступени, каждая из которых реагирует на снижение остаточного ресурса ниже заранее заданных значений. При достижении нулевого значения остаточного ресурса выключателя может производиться блокирование включения выключателя с целью предотвращения его разрушения.

Расчет остаточного КРВ производится в момент отключения выключателя для каждой фазы (полюса) отдельно. Остаточный коммутационный ресурс уменьшается на величину, определяемую зависимостью числа циклов В-О от уровня коммутируемого тока  $M = f(I_{откл})$ .

Характеристика  $M = f(I_{откл})$  может быть задана одиннадцатью, как показано на рисунке 31.1, либо двумя точками, как показано на рисунке 31.2, в виде пар чисел: число коммутаций – отключаемый ток (уставки «Моткл1» – «Моткл11» и «Iоткл1» – «Iоткл11» – для характеристики, задаваемой одиннадцатью точками). Графически характеристика задается в режиме «Коммутационная характеристика выключателя» в программе задания уставок SE. Выбор характеристики производится при помощи уставки «Нреж». При «Нреж» = 1 расчет производится по двум точкам, при «Нреж» = 2 по одиннадцати точкам.

Характеристика, приведенная на рисунке 31.2, задается следующими уставками: «**Iоткл1**» – номинальный ток отключения выключателя, кА; «**Iоткл2**» – номинальный ток выключателя, кА; «**Mоткл1**» – допустимое количество циклов при номинальном токе отключения; «**Mоткл2**» – количество циклов при номинальном токе выключателя.

Уставками «**МсрабКРВ1**» и «**МсрабКРВ2**» задаются пороговые уровни срабатывания первой и второй ступеней контроля КРВ. При этом формируются сигналы «Сраб. 1ст. КРВ» и «Сраб. 2ст. КРВ» соответственно. Снижение остаточного ресурса ниже порогового значения хотя бы для одной фазы (полюса) выключателя приводит к срабатыванию соответствующей ступени. Сигналы имеют активное состояние все время, пока наблюдается пониженный ресурс выключателя (до ремонта выключателя и сброса счетчиков).

Если остаточный коммутационный ресурс хотя бы для одной фазы (полюса) выключателя снижается до нуля формируется сигнал «Авар. сниж. КРВ».

Режим работы контроля коммутационного ресурса выключателя задается программной накладкой «**НрежКРВ**» («0 – вывод», «1 – ввод»).

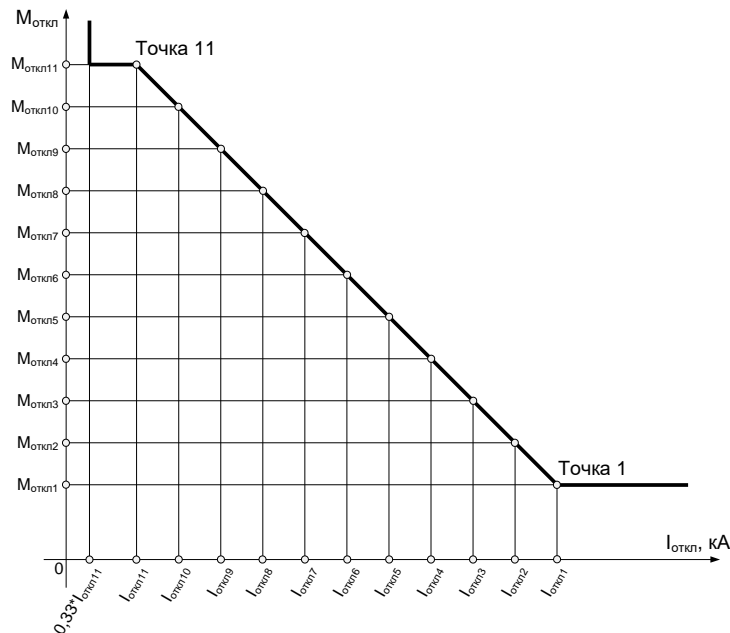


Рисунок 31.1 – Характеристика КРВ, задаваемая одиннадцатью точками

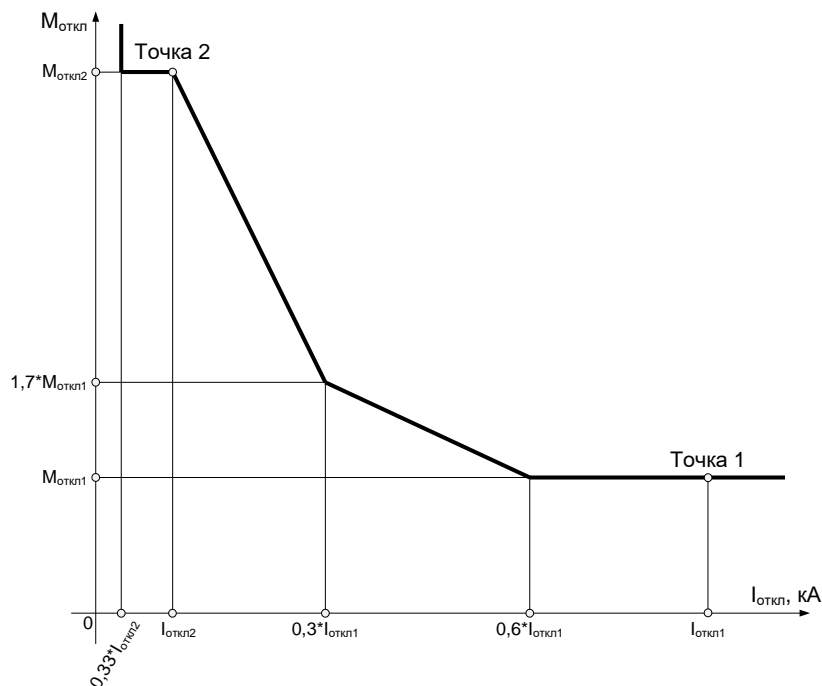


Рисунок 31.2 – Характеристика КРВ, задаваемая двумя точками

При выборе характеристики, задаваемой одиннадцатью точками, значения уставок должны удовлетворять следующим неравенствам:

$$I_{откл1} \geq I_{откл2} \geq I_{откл3} \geq I_{откл4} \geq I_{откл5} \geq I_{откл6} \geq I_{откл7} \geq I_{откл8} \geq I_{откл9} \geq I_{откл10} \geq I_{откл11},$$

$$M_{откл1} \leq M_{откл2} \leq M_{откл3} \leq M_{откл4} \leq M_{откл5} \leq M_{откл6} \leq M_{откл7} \leq M_{откл8} \leq M_{откл9} \leq M_{откл10} \leq M_{откл11}.$$

При выборе характеристики, задаваемой двумя точками, значения уставок должны удовлетворять следующим неравенствам:

$$0,3 \cdot I_{откл1} \geq I_{откл2};$$

$$1,7 M_{откл1} \leq M_{откл2}.$$

Если хотя бы одно из условий не выполняется, то блок выводится из работы и формируется сигнал «Неисп. МКРВ», который может быть выведен на светодиодную сигнализацию.

Пользователю предоставляется возможность установки значения КРВ для каждой фазы в отдельности (например, восстановление работоспособности при замене или ремонте выключателя) при помощи локального пользовательского интерфейса.

В меню ИЧМ Текущий режим/Диагн. выключателя/Токи отключения отображаются токи последнего отключения выключателя для каждой фазы выключателя.

В меню ИЧМ Текущий режим/Диагн. выключателя/Время отключения отображается время отключения каждой фазы выключателя. Расчет ведется с использованием сигналов положения выключателя и токов фаз, а потому является ориентировочным. Максимальная длительность отключения ограничена 1 с.

Устройство фиксирует циклы В-О по последовательности смены сигналов положения выключателя и изменению уровня токов фаз. Возможна избыточная фиксация или несрабатывание счетчика циклов В-О при нарушении обмена сигналами между комплектом АУВ и выключателем. В связи с тем, что ток, как правило, изменяет свое значение в цикле отключения, зафиксированный ток отключения может отличаться от реального тока отключения. Погрешность работы пороговых элементов модуля контроля КРВ не превышает 0,1 %.

## 32 Оперативное управление функциями

Функциональный блок оперативного ключа обеспечивает возможность оперативного управления вводом/выводом функций РЗА как местными, так и удаленными командами управления. Выбор управления определяется сигналом «Ключ М/Д».

Под местной командой управления понимается сигнал ввода или вывода защиты, поступающего на дискретный вход терминала от ключа (на двери шкафа, панели, ячейки и пр.) или от функциональной кнопки ИЧМ.

Под дистанционной командой управления понимается команда управления, поступающая по портам связи с использованием одного из стандартных протоколов (МЭК 60870-5-103/104, Modbus, МЭК 61850).

Результирующий сигнал положения ключа блока управления вводом/выводом действует на ввод/вывод функции РЗА.

В зависимости от положения программных накладок блок работает в следующих режимах:

- «НрежПоз» = 0 – однопозиционные команды с одной кнопкой;
- «НрежПоз» = 1, «НрежСтат» = 0 – двухпозиционные импульсные команды (ключ на три положения);
- «НрежПоз» = 1, «НрежСтат» = 1 – двухпозиционные команды со статическим ключом на два положения.

В терминале предусмотрено оперативное управление функциями АПВ, АВР, АЧР, ТО, МТЗ+, МТЗ-, ЗОП, ТЗНП, ТНЗНП+, ТНЗНП-, ЗПН, ЗМН, ЗПП, СЗЗ, ВНН, Ускорение, Работа на линии, Блок. защит и ТЗНП на сигнал.

### 33 Управление режимом ТУ

Управление режимом работы ТУ может осуществляться через кнопки на лицевой панели терминала или через ключи (дискретные входные сигналы терминала). Изменение режима работы осуществляется изменением положения накладки «НрежТУ» («0 – ИЧМ», «1 – диск.входы»).

Схема управления режимом ТУ приведена на рисунке 33.1.

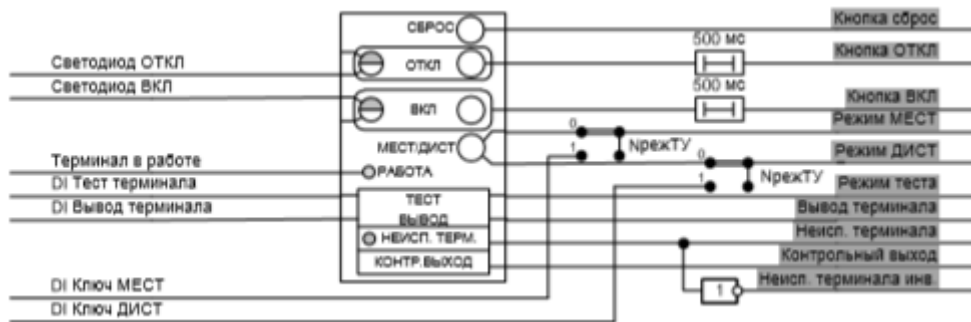


Рисунок 33.1 – Схема управления режимом ТУ



### 34 Учет электроэнергии

Терминал производит учет активной энергии в прямом и обратном направлениях, реактивной энергии в прямом и обратном направлениях на основе вычисленных значений активной и реактивной мощности.

Терминал обеспечивает отображение накопленных значений энергии на ИЧМ, преобразование значений для протоколов связи и их сохранение при перерывах питания.

Накопление значения энергии происходит один раз в 200 мс. При превышении каждым значением энергии величины 99 999 999 999 кВт·ч (квар·ч) его накопление начинается заново.

Расчет мощности и электроэнергии блокируется при понижении входного значения тока ниже 0,1 % и напряжения ниже 0,7 % от выбранного номинала.

При выводе функции из работы дискретным сигналом «Сброс энергии» или накладкой «Nээ» («0 – вывод/сброс», «1 – ввод») накопленные значения электроэнергии сбрасываются. При повторном вводе расчет начинается с нуля.

Терминал может сохранять два независимых профиля мощности (усредненных значений активной и реактивной мощностей в прямом и обратном направлении) с конфигурируемым временным интервалом от 1 до 60 мин. Для каждого профиля задается временной интервал с помощью уставок «Т1» и «Т2» из ряда: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, 60 мин. Запись данных в файл осуществляется в момент времени кратный заданному временному интервалу. Например, если уставка временного интервала задана равной 5 мин, запись данных в профиль мощности осуществляется в ЧЧ:05, ЧЧ:10, ЧЧ:15 и т.д.

Количество сохраняемых в памяти терминала записей с периодичностью, соответствующей заданному временному интервалу профиля, составляет 5000 записей. Для профиля используется два файла на 5000 записей каждый: текущий и предшествующий. При изменении уставки временного интервала файлы соответствующего профиля мощности очищаются.

При корректировке времени за пределы текущего интервала, происходит сохранение данных старого интервала и формирование данных нового интервала с новой меткой времени, при этом в файл профиля мощности заносится новое значение времени начала интервала со служебным символом «\*» после метки времени.

Выгрузка файлов и просмотр значений профилей мощности доступен как в табличном виде, так и в графическом с помощью пользовательского интерфейса ПО «МиКРА».

Ввод/вывод профилей в работу производится программными накладками «N1» и «N2» («0 – вывод», «1 – ввод»).

При выводе профиля мощности из работы или при изменении значения уставки временного интервала соответствующий файл профиля мощности удаляется.

## Приложение А (обязательное)

### Рекомендации по выбору ИТТ и расчет сечений жил контрольных кабелей в цепях защиты линий

Терминалы серии «ГОР 200», применяемые для защиты ЛЭП, должны подключаться ко вторичным обмоткам ИТТ сердечников класса 10Р или 5Р. Для обеспечения точности работы ИО при КЗ в расчетных точках ЭС токовая погрешность ИТТ не должна превышать 10 % [10, стр.61]. Исходя из этого условия должен происходить выбор ИТТ и сопротивления вторичной нагрузки.

Для начала производится выбор первичного тока ИТТ в соответствии со шкалой токов, рекомендованной [11]. Если расчетный рабочий ток сети  $I_{\text{ном,расч,сети}}$  не соответствует шкале, то берется трансформатор с ближайшим большим током  $I_{\text{ном,ИТТ}}$ . Значительное превышение номинального первичного тока ИТТ по сравнению с током сети ведет к увеличению погрешности [10, раздел 28].

Далее необходимо найти расчетную кратность тока  $K_{\text{расч}}$

$$K_{\text{расч}} = \frac{I_{\text{расч}}}{I_{\text{ном,ИТТ}}}. \quad (\text{А.1})$$

Значение  $I_{\text{расч}}$  выбирается в соответствии с типом защиты. Для токовых защит с независимой выдержкой времени  $I_{\text{расч}} = 1,1 \cdot I_{\text{с.з}}$ , где  $I_{\text{с.з}}$  – первичный ток срабатывания защиты.

Предельная кратность тока ИТТ является функцией сопротивления вторичной нагрузки ( $K_{10} = f(Z_{\text{нг}})$ ). Согласно [11], заводы-изготовители в информационных материалах обязаны приводить кривые предельной кратности вторичных обмоток класса Р для вторичных нагрузок от 25 % номинальной и выше. По кривой предельной кратности выбранного ИТТ находится значение допустимого сопротивления нагрузки  $Z_{\text{нг,доп}}$ , соответствующее расчетной кратности тока  $K_{\text{расч}}$ .

В случае отсутствия необходимых данных расчет допустимого сопротивления нагрузки  $Z_{\text{нг,доп}}$  можно произвести вручную по стандартным методикам, использующих номинальные данные ИТТ, вольтамперные характеристики и т.п.

По известному значению допустимого сопротивления нагрузки  $Z_{\text{нг,доп}}$ , осуществляется расчет сечений жил контрольных кабелей в цепях защиты. Независимо от схемы соединения вторичных цепей ИТТ и вида КЗ сопротивление нагрузки (по модулю) можно записать в общем виде [10, стр.67-69]

$$Z_{\text{нг,доп}} = \frac{|aZ_{\phi} + bZ_0 + dR_{\text{каб}}| + R_{\text{пер}}}{m}, \quad (\text{А.2})$$

где  $Z_{\phi}$  – полное сопротивление релейной нагрузки в наиболее загруженной фазе, Ом;

$Z_0$  – полное сопротивление релейной нагрузки в нейтрали при соединении ИТТ по схеме «звезды», Ом;

$R_{\text{каб}}$  – активное сопротивление кабеля от зажимов вторичной нагрузки ИТТ до места установки релейной аппаратуры, Ом;

$R_{\text{пер}}$  – переходное сопротивление соединительных контактов в токовых цепях защит (может быть принято  $R_{\text{пер}} = 0,1$  Ом), Ом;

$a$ ,  $b$ ,  $d$  – коэффициенты, зависящие от схемы соединения обмоток ИТТ, схемы включения нагрузки и вида КЗ;

$m$  – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между последовательно включенными ИТТ. Если используется только один ИТТ, то  $m = 1$ .

Расчетным случаем является трехфазное КЗ. Для ТО, МТЗ используется схема соединения обмоток ИТТ и нагрузки «звезда», коэффициенты принимают следующие значения:  $a = 1$ ,  $b = 0$ ,  $d = 1$  [10, табл. 4-3].

В соответствии с заданными значениями коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $d$  получаем итоговую формулу для расчета сопротивления кабеля

$$R_{\text{каб}} = \frac{Z_{\text{нг,доп}} - (Z_{\phi} + R_{\text{пер}})}{1}. \quad (\text{A.3})$$

Далее, зная необходимую длину проводов ( $l_{\text{пр}}$ ) и удельное сопротивление жил кабеля ( $\rho$ , для меди  $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$  Ом·м), определим расчетное сечение  $S_{\text{расч}}$

$$S_{\text{расч}} = \frac{l_{\text{пр}} \rho}{R_{\text{каб}}}. \quad (\text{A.4})$$

Если полученное значение  $S_{\text{расч}}$  удовлетворяет требованиям, то необходимо выбрать наибольшее ближайшее стандартное сечение, используя специальные каталоги. В противном случае необходимо выбрать другой ИТТ, имеющий большую номинальную предельную кратность и повторить расчет допустимой вторичной нагрузки ИТТ и выбора сечения жил контрольных кабелей.

## Приложение Б (обязательное)

### Определение емкостей фаз относительно земли для воздушных линий

Для ВЛ средняя емкость фазы относительно земли вычисляется по следующим упрощенным формулам, Ф/км:

– трехфазная одноцепная ЛЭП без троса

$$C_{0л} = \frac{1}{a_{11} + 2 \cdot a_{12}} \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^6},$$

где  $a_{11} = 2 \cdot \ln \frac{2 \cdot h_{cp}}{r}$ ,  $a_{12} = 2 \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h_{cp}^2}{D_{cp}^2} + 1}$  – промежуточные значения;

$h_{cp} = \frac{h_A + h_B + h_C}{3}$  – средняя высота подвеса провода над землей;

$h_A, h_B, h_C$  – высота подвеса провода соответствующей фазы;

$D_{cp} = \frac{D_{AB} + D_{AC} + D_{BC}}{3}$  – среднее расстояние между проводами;

$D_{AB}, D_{AC}, D_{BC}$  – расстояние между проводами соответствующих фаз;

$r$  – радиус провода;

– трехфазная одноцепная ЛЭП с одним тросом

$$C_{0л} = \frac{1}{a_{11} + 2 \cdot a_{12} - 3 \cdot a_s} \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^6},$$

где  $a_s = \frac{a_{1s}^2}{a_{ss}^2}$ ,  $a_{1s} = \ln \left( \frac{4 \cdot h_{cp} \cdot h_s}{D_{scp}^2} + 1 \right)$ ,  $a_{ss} = 2 \cdot \ln \frac{2 \cdot h_s}{r_s}$  – промежуточные значения;

$a_{11}, a_{12}, h_{cp}$  – параметры, рассчитываемые по приведенным ранее формулам;

$D_{scp} = \sqrt[3]{D_{As} \cdot D_{Bs} \cdot D_{Cs}}$  – среднее расстояние между проводами и тросом;

$D_{As}, D_{Bs}, D_{Cs}$  – расстояние между тросом и проводом соответствующей фазы;

$h_s$  – высота подвеса троса;

$r_s$  – радиус троса;

– трехфазная двухцепная ЛЭП без тросов

$$C_{0л} = \frac{1}{a_{11} + a'_{11} + 2 \cdot (a_{12} + a'_{12})} \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^6},$$

где  $a'_{11} = 2 \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h_{cp}^2}{D_{cp}^2} + 1}$ ,  $a'_{12} = 2 \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h_{cp}^2}{D_{cp}'^2} + 1}$  – промежуточные значения;

$a_{11}, a_{12}, h_{cp}$  – параметры, рассчитываемые по приведенным ранее формулам;

$D_{cp} = \frac{D'_{AA} + D'_{BB} + D'_{CC}}{3}$  – среднее расстояние между проводами различных цепей;

$D'_{cp} = \frac{D'_{AB} + D'_{BC} + D'_{CA}}{3}$  – среднее расстояние между проводами различных цепей;

$D'_{AA}, D'_{BB}, D'_{CC}, D'_{AB}, D'_{BC}, D'_{CA}$  – расстояние между проводами соответствующих фаз различных цепей;

– трехфазная двухцепная ЛЭП с одним тросом

$$C_{0л} = \frac{1}{a_{11} + a'_{11} + 2 \cdot (a_{12} + a'_{12}) - 3 \cdot a_s} \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^6},$$

где  $a_{11}, a'_{11}, a_{12}, a'_{12}, a_s$  – параметры, рассчитываемые по приведенным ранее формулам.

## Приложение В (обязательное)

### Расчет электрических величин для выбора уставок

Приведём основные соотношения, необходимые для выполнения расчёта уставок релейной защиты ЭД от междуфазных КЗ.

В случае, если номинальный ток двигателя не приведен в паспортных данных, его определяют по формуле

$$I_{\text{ном, дв}} = \frac{P_{\text{ном, дв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном, дв}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \quad (\text{В.1})$$

где  $P_{\text{ном, дв}}$  – номинальная мощность ЭД, кВт;

$U_{\text{ном, дв}}$  – номинальное линейное напряжение ЭД, кВ;

$\eta$  – номинальный КПД ЭД;

$\cos \varphi$  – номинальный коэффициент мощности ЭД.

При расчете следует учитывать, что в момент включения асинхронного электродвигателя кроме периодической составляющей пускового тока кратковременно появляется апериодическая составляющая, обусловленная переходным процессом и током намагничивания. Это приводит к увеличению амплитуды пускового тока в 1,3–1,8 раз (рисунок В.1). Считается, что процесс пуска машины завершен, когда пусковой ток станет ниже значения  $1,25 I_{\text{ном, дв}}$ .

В случае расчета уставок для синхронного двигателя следует учитывать, что пуск машины происходит в асинхронном режиме. Когда частота вращения двигателя достигает значения, близкого к синхронному, выполняют переключение обмотки возбуждения с резистора на напряжение возбуждения и двигатель втягивается в синхронизм.

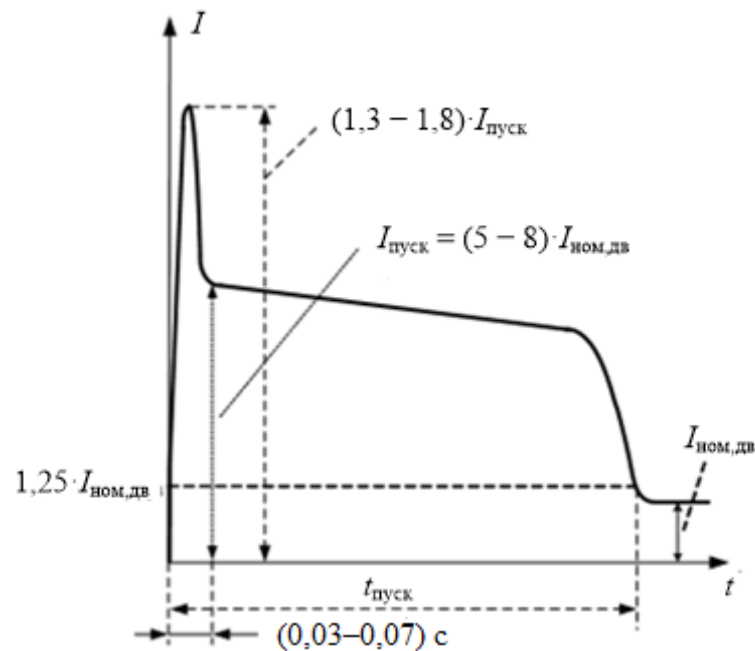


Рисунок В.1 – Изменение тока асинхронного электродвигателя при прямом пуске

В каталогах приводят значение кратности периодической составляющей пускового тока электродвигателя  $k_{\text{дв.пуск.кат}}$  по отношению к его номинальному току при питании двигателя от сети бесконечной мощности. При расчете значения пускового тока электродвигателя следует учитывать внутреннее сопротивление питающей сети. В простейшем случае это можно сделать следующим образом.

Если известно значение тока трехфазного КЗ на шинах питания двигателя  $I_{\text{КЗ,макс}}^{(3)}$ , вычисленное при максимальном режиме работы сети с учетом режима подпитки от других электродвигателей, тогда сопротивление питающей системы будет

$$x_{\text{с,макс}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{КЗ,макс}}^{(3)}}, \quad (\text{В.2})$$

где  $U_{\text{ср}}$  – среднее напряжение шин, от которых питается ЭД, кВ.  
Пусковое сопротивление электродвигателя

$$x_{\text{пуск,дв}} = \frac{U_{\text{ном,дв}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{пуск,дв,кат}}}, \quad (\text{В.3})$$

где  $I_{\text{пуск,дв,кат}}$  – каталожное значение пускового тока двигателя (периодическая составляющая):  $I_{\text{пуск,дв,кат}} = k_{\text{пуск,дв,кат}} \cdot I_{\text{ном,дв}}$ .

В дальнейших расчетах можно использовать полученное каталожное значение пускового тока. Если при этом защита не удовлетворяет требованиям к чувствительности, это значение можно уточнить, приняв во внимание сопротивление сети, приведенное к шинам питания двигателя.

Пусковой ток двигателя с учетом сопротивления питающей системы

$$I_{\text{пуск,дв}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot (x_{\text{пуск,дв}} + x_{\text{с,макс}})}. \quad (\text{В.4})$$

При реакторном пуске пусковой ток с учетом сопротивления питающей системы

$$I_{\text{пуск,дв}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot (x_{\text{пуск,дв}} + x_{\text{р}} + x_{\text{с,макс}})}, \quad (\text{В.5})$$

где  $x_{\text{р}}$  – сопротивление реактора в цепи реактора, Ом.

Расчет тока несинхронного включения ЭД в режиме самозапуска определяется по выражению [12]

$$I_{\text{нс,и}} = \frac{E_q'' + U_{\text{ср}}}{x_{\text{др,и}}'' \cdot \left(1 + \frac{x_{\text{с,макс}}}{x_{\Sigma}''}\right)}, \quad (\text{В.6})$$

где  $E_q''$  – сверхпереходная ЭДС по поперечной оси, кВ. Для определения максимального значения тока самозапуска допускается принимать равным  $E_q'' = 1,05 \cdot U_{\text{ср}}$ ;

$U_{\text{ср}}$  – среднее напряжение шин, от которых питается ЭД, кВ;

$x_{\text{д,и}}''$  – сопротивление рассматриваемого ЭД, участвующего в групповом самозапуске, Ом;

$x_{\text{др,и}}'' = x_{\text{д,и}}'' + x_{\text{р}} \frac{x_{\text{д,и}}''}{x_{\Sigma, \text{г}}''}$  – сопротивление рассматриваемого ЭД, участвующего в групповом

самозапуске с учетом индуктивного сопротивления  $x_{\text{р}}$ , через которое группа двигателей подключена к общим шинам, Ом. Если группа двигателей сразу подключена к общим шинам, то индуктивное сопротивление реактора (трансформатора) равно нулю,  $x_{\text{р}} = 0$ ;

$\frac{1}{x_{\Sigma, \text{г}}''} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{x_{\text{д,г}}''}$  – результирующая проводимость параллельно подключенных двигателей,

питающихся от одного реактора (трансформатора), Ом;

$x_{\text{с,макс}}$  – индуктивное сопротивление питающей системы, Ом;

$\frac{1}{x_{\Sigma}''} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_{\text{др,и}}''} + \sum_{l=1}^m \frac{1}{x_{\text{к,л}}''}$  – результирующая проводимость для всех двигателей, как

синхронных, так и асинхронных, участвующих в самозапуске (при отсутствии синхронных

двигателей в групповом самозапуске первое слагаемое в выражении следует принимать равным нулю ; при отсутствии асинхронных двигателей в групповом самозапуске второе слагаемое в выражении следует принимать равным нулю  $\sum_{l=1}^m \frac{1}{x''_{к,l}} = 0$ ).

Частный случай расчета тока несинхронного включения показанного в выражении (В.6), а именно ток несинхронного включения одиночного ЭД на сборные шины определяется по выражению

$$I_{нс} = \frac{E''_q + U_{ср}}{x''_d + x_{с,макс}}. \quad (В.7)$$

## Приложение Г (справочное)

### Методика выбора угла между током нагрузки и током КЗ

При расчете БК по току часто возникают затруднения при выборе уставки ИО приращения вектора тока прямой последовательности. Как правило, токи КЗ рассчитываются в программных комплексах, в которых не учитывается нагрузочный режим. В этом случае за минимальное приращение тока прямой последовательности принимается минимальное значение тока прямой последовательности при симметричном КЗ. В программных комплексах, где учитывается нагрузочный режим, приращение вектора тока прямой последовательности «**dI<sub>груб</sub>**» можно определить графически с помощью теоремы косинусов.

#### Пример 1

Рассмотрим пример, когда  $I_{КЗ,мин} > I_{раб,макс}$ .

Предположим, что минимальное значение тока прямой последовательности в защите при трехфазном КЗ в конце зоны действия блокировки равен  $I_{1КЗ,мин} = 3I_{ном} \angle 66^\circ$  о.е., а максимальный нагрузочный ток –  $I_{раб,макс} = 1I_{ном} \angle 30^\circ$  о.е. В проектных расчетах угол нагрузки можно принять равным (30–40)°.

Значение приращения вектора тока по прямой последовательности определяется по формуле

$$dI_{1мин} = \sqrt{I_{КЗ,мин}^2 + I_{раб,макс}^2 - 2 \cdot I_{КЗ,мин} \cdot I_{раб,макс} \cdot \cos \varphi} = \sqrt{3^2 + 1^2 - 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \cos 36^\circ} = 2,3 \text{ о.е.}$$

Угол  $\varphi$  (угол между током нагрузки и током прямой последовательности) определяется по рисунку Г.1.

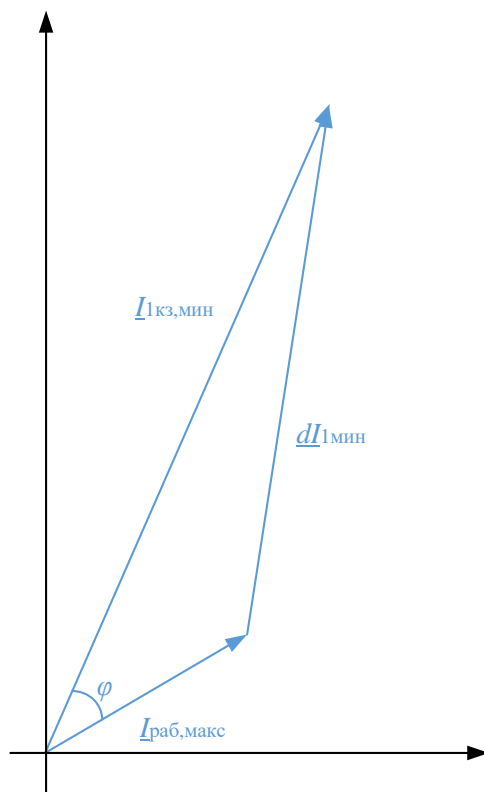


Рисунок Г.1 – Определение угла между током нагрузки и током КЗ

#### Пример 2

Рассмотрим пример, когда  $I_{КЗ,мин} < I_{раб,макс}$ .

Предположим, что минимальное значение тока прямой последовательности в защите при трехфазном КЗ в конце зоны действия блокировки равен  $I_{1КЗ,мин} = 0,5I_{ном} \angle 74^\circ$  о.е., а



максимальный нагрузочный ток –  $I_{\text{раб, макс}} = 1I_{\text{ном}} \angle 30^\circ$  о.е. В проектных расчетах угол нагрузки можно принять равным  $(30\text{--}40)^\circ$ .

Значение приращения вектора тока по прямой последовательности определяется по формуле

$$dI_{1\text{ мин}} = \sqrt{I_{\text{КЗ, мин}}^2 + I_{\text{раб, макс}}^2 - 2 \cdot I_{\text{КЗ, мин}} \cdot I_{\text{раб, макс}} \cdot \cos \varphi} = \sqrt{0,5^2 + 1^2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot \cos 44^\circ} = 0,7 \text{ о.е.}$$

Угол  $\varphi$  (угол между током нагрузки и током прямой последовательности) определяется по рису

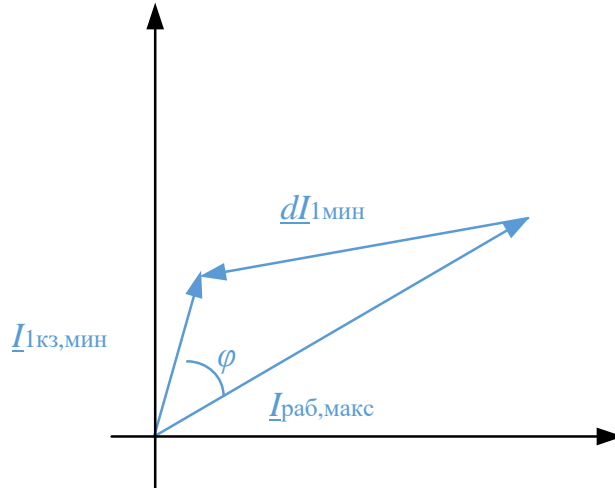


Рисунок Г.2 – Определение угла между током нагрузки и током КЗ

### Пример 3

Рассмотрим пример, когда  $I_{\text{КЗ, мин}} \sim I_{\text{раб, макс}}$ .

Предположим, что минимальное значение тока прямой последовательности в защите при трехфазном КЗ в конце зоны действия блокировки равен  $I_{1\text{ КЗ, мин}} = 1I_{\text{ном}} \angle 74^\circ$  о.е., максимальный нагрузочный ток –  $I_{\text{раб, макс}} = 1I_{\text{ном}} \angle 30^\circ$  о.е.

Значение приращения вектора тока по прямой последовательности определяется по формуле

$$dI_{1\text{ мин}} = \sqrt{I_{\text{КЗ, мин}}^2 + I_{\text{раб, макс}}^2 - 2 \cdot I_{\text{КЗ, мин}} \cdot I_{\text{раб, макс}} \cdot \cos \varphi} = \sqrt{1^2 + 1^2 - 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \cos 44^\circ} = 0,7 \text{ о.е.}$$

Угол  $\varphi$  (угол между током нагрузки и током прямой последовательности) определяется по рисунку Г.3.

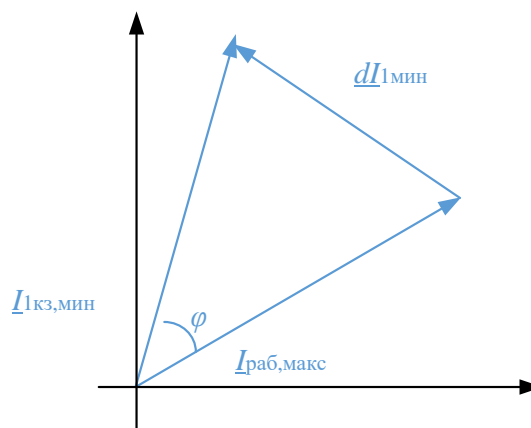


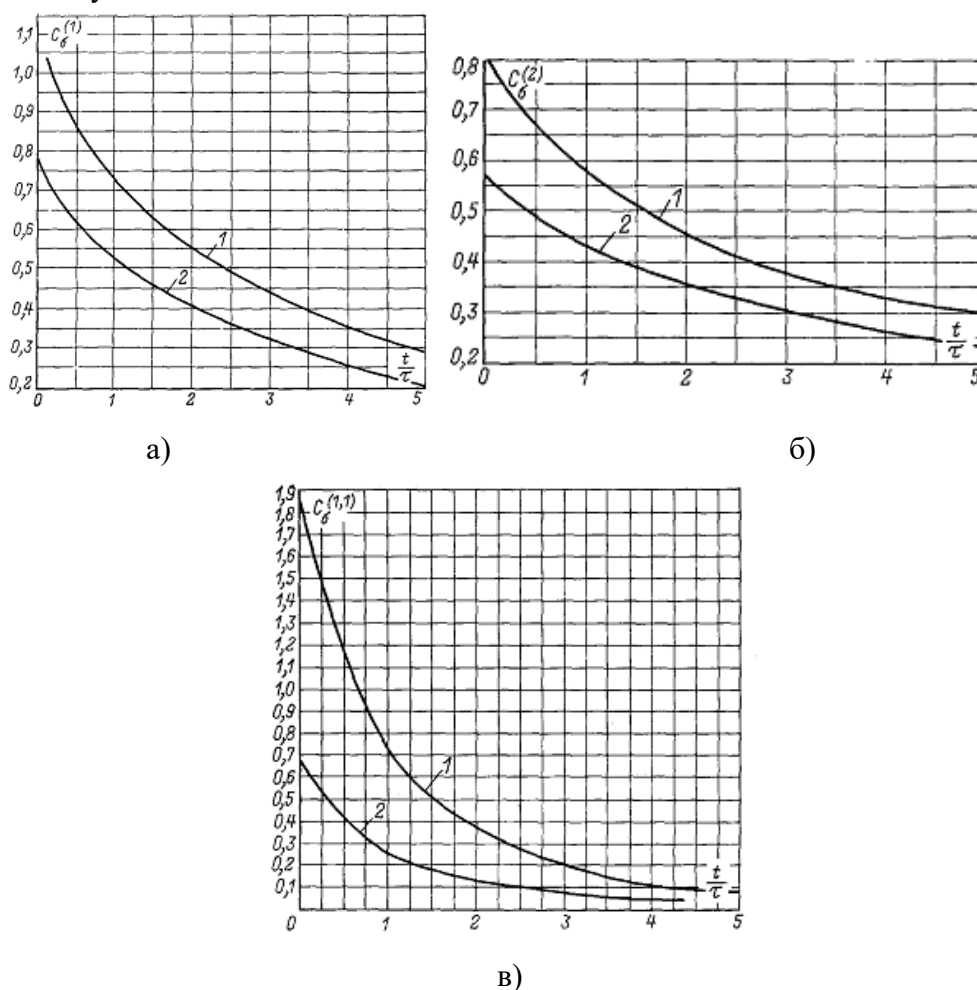
Рисунок Г.3 – Определение угла между током нагрузки и током КЗ

## Приложение Д (справочное)

### Методика выбора коэффициента броска

Значения  $C_6^{(к)}$  в выражении определяются по кривым, приведенным на рисунке Д.1 для расчетных видов включения и для трансформаторов, магнитопроводы которых изготовлены из холоднокатаной и горячекатаной сталей.

При питании от рассматриваемой линии трансформаторов с магнитопроводами, изготовленными как из горячекатаной, так и из холоднокатаной сталей, коэффициенты  $C_6^{(к)}$  следует определять с запасом в предположении, что магнитопроводы всех трансформаторов изготовлены из холоднокатаной стали, т.е. по кривым 1. При необходимости снижения по условиям чувствительности тока срабатывания защиты, выбранного по рассматриваемому условию, можно приближенно определить коэффициенты  $C_6^{(к)}$ , пользуясь двумя отдельными условными схемами замещения, учитывая в одной из них только трансформаторы из холоднокатаной стали, а в другой – только из горячекатаной. При этом ток срабатывания защиты определяется как сумма полученных при расчете токов срабатывания для случаев вышеуказанных условных схем.



а) для однофазного включения трехфазных трехстержневых трансформаторов,

б) для двухфазного включения  $C_6^{(2)}$ ,

в) для одновременного включения двух фаз  $C_6^{(1,1)}$  группы однофазных трансформаторов

Примечание – Кривые 1 даны для холоднокатаной стали, кривые 2 – для горячекатаной стали.

Рисунок Д.1 – Зависимость коэффициента  $C_6^{(к)}$  от отношения  $t/\tau$

Значение отношения  $t/\tau$ , необходимое для определения расчетного значения  $C_6^{(к)}$  по кривым рисунка Д.1, может быть получено исходя из следующего.

Значение времени  $t$ , входящее в указанное отношение, должно приниматься равным расчетному времени срабатывания рассматриваемой ступени защиты.

Значения эквивалентной постоянной времени контура включения  $\tau$  подсчитываются с учетом действительных значений активных и индуктивных сопротивлений элементов сети по выражению

$$\tau = \frac{x_{1c} + x_{T,ЭКВ}^{(1)}}{\omega \cdot (r_{1c} + r_{T,ЭКВ})} = \frac{x_{расч}}{\omega \cdot r_{расч}}, \quad (Д.1)$$

где  $x_{1c}$  – индуктивное сопротивление системы, в целях упрощения принимается равным сопротивлению прямой последовательности (а не сопротивлению контура включения, например, «провод – земля»), что дает некоторый запас в расчетах, Ом;

$x_{T,ЭКВ}^{(1)}$  – эквивалентное сопротивление трансформаторов и линий для однофазного включения, Ом;

$r_{T,ЭКВ}$  – эквивалентное активное сопротивление линии и трансформаторов, рассчитываемое по схеме замещения, аналогично  $x_{T,ЭКВ}^{(1)}$ , Ом;

$r_{1c}$  – активное сопротивление системы, может быть оценено с использованием обобщенных данных таблицы Д.1, Ом;

$\omega = 314 \text{ с}^{-1}$  – угловая частота.

Значения активных сопротивлений элементов сети  $r_{э}$ , необходимых для определения  $r_{T,ЭКВ}$ , принимаются равными активным сопротивлениям этих элементов, указанных в каталогах. При отсутствии соответствующих данных они могут быть грубо приближенно определены с использованием таблицы Д.1 по выражению

$$r_{э} = \frac{x_{э}}{m_{отн}}, \quad (Д.2)$$

где  $x_{э}$  – индуктивное сопротивление соответствующего элемента сети, используемое в схеме замещения для расчета  $x_{T,ЭКВ}^{(1)}$ , Ом;

$m_{отн}$  – отношение индуктивного сопротивления соответствующего элемента сети к активному, оценивается по данным таблицы Д.1.

Таблица Д.1 – Значения  $m_{отн} = x/r$  отдельных элементов электрической системы и результирующих сопротивлений до определенных ее точек

Элемент электрической системы или ее часть	$m_{отн}$
Турбогенераторы мощностью, МВт:	
12–60	50–85
110–500	100–135
Гидрогенераторы:	
без демпферных обмоток	60–90
с демпферными обмотками	40–50
Трансформаторы мощностью, МВ·А:	
5–30	7–17
60–500	20–50
Реакторы 6–10 кВ с номинальным током, А:	
до 1000	15–70
1500 и выше	40–80
Воздушные линии	2–8
Трехжильные кабели с медными и алюминиевыми жилами сечением (3х95–3х185) мм <sup>2</sup>	0,2–0,6
Часть электрической системы	
До сборных шин 6–10 кВ станций с генераторами мощностью 30–60 МВт	40–80
До точки за линейным реактором с номинальным током до 1000 А, присоединенным к шинам 6–10 кВ станций с	20–60

Элемент электрической системы или ее часть	$m_{отн}$
генераторами мощностью 30–60 МВт	
До сборных шин повышенного напряжения станций с трансформаторами мощностью (в единице), МВ·А:	
от 30 до 100	20–50
не менее 100	30–60
До сборных шин пониженного напряжения подстанций с трансформаторами сопротивлением не менее 90 % результирующего сопротивления до шин; мощность трансформаторов, МВ·А:	
от 30 до 100	15–30
не менее 100	20–40
До точек системы, удаленных от генераторов (сборные шины пониженного напряжения подстанций с трансформаторами 20 МВ·А и ниже, сборные шины подстанций в распределительных сетях и др.)	15 и ниже

Таблица Д.2 – Расчетные выражения для определения сопротивления трансформаторов и АТ  $x_{тр,в\%}^{(1)}$  при однофазном включении со стороны высшего напряжения

Рассматриваемый элемент	$x_{тр,в\%}^{(1)}$
<b>Трансформаторы 110 кВ всех мощностей*:</b>	
с обмотками среднего напряжения, расположенными под обмотками высшего и низшего напряжения ( $U_{к,вн-сн} > U_{к,вн-нн}$ )	$3,7 + U_k$
с обмотками среднего напряжения, расположенными между обмотками высшего и низшего напряжения ( $U_{к,вн-сн} < U_{к,вн-нн}$ )	$\frac{13,9 + U_k}{1,38}$
*Включены со стороны среднего напряжения. Примечание – $U_k$ – в процентах для среднего положения регулятора РПН; для трехобмоточных трансформаторов и АТ соответствует наибольшему из напряжений к.з. между обмоткой, со стороны которой производится включение, и одной из двух других обмоток; для АТ должно быть приведено к проходной мощности АТ.	

## Приложение Е (обязательное)

### Пример расчета уставок защиты типа «ТОР 200 С 10»

#### Е.1 Исходные данные

В качестве примера рассматривается расчет уставок реклоузера R напряжением 6 кВ. Схема защищаемого объекта и прилегающей сети приведена на рисунке Е.1. Исходные данные для всех элементов рассматриваемой энергосистемы приведены в таблице Е.1.

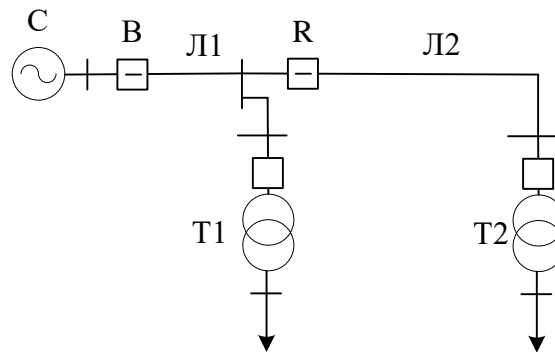


Рисунок Е.1 – Схема защищаемого объекта и прилегающей сети

Таблица Е.1 – Параметры элементов сети

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Параметры трансформаторов Т1, Т2			
Схема соединения	–	–	Д/У-11
Номинальная мощность	$S_{\text{ном}}$	кВА	63
Номинальное напряжение обмотки ВН	$U_{\text{ном,ВН}}$	кВ	6
Номинальное напряжение обмотки НН	$U_{\text{ном,НН}}$	кВ	0,4
Напряжение КЗ	$U_{\text{к}}$	%	3,8
Номинальный ток	$I_{\text{ном,ВН}}$	А	6,06
Параметры питающей системы С в максимальном режиме			
Номинальное напряжение	$U_{\text{ном,макс}}$	кВ	6,3
Сопротивление по прямой последовательности	$x_{\text{с,макс}}$	Ом	1,8
Параметры питающей системы С в минимальном режиме			
Номинальное напряжение	$U_{\text{ном,мин}}$	кВ	6,2
Сопротивление по прямой последовательности	$x_{\text{с,мин}}$	Ом	1,9
Параметры линий Л1, Л2			
Длина линии	$l$	км	10
Удельное активное сопротивление по прямой последовательности	$r_{1,\text{уд}}$	Ом/км	0,443
Удельное реактивное сопротивление по прямой последовательности	$x_{1,\text{уд}}$	Ом/км	0,086
Емкость фазы	$C_{0\text{л}}$	мкФ/км	0,013

Параметры ИТТ:  $k_{\text{ИТТ}} = 100 \text{ А}/5 \text{ А}$ , схема соединения обмоток «звезда».

Параметры ТТНП:  $k_{\text{ТТНП}} = 50 \text{ А}/1 \text{ А}$ .

Параметры ИТН:  $k_{\text{ИТН}} = 6 \text{ кВ}/100 \text{ В}$ .

#### Е.2 ТО

ТО вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Блокировка выводится из работы с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

### Е.2.1 Выбор уставки по току срабатывания

Ток срабатывания ТО выбирается по следующим условиям:

– отстройка максимального тока, протекающего в месте установки защиты, при КЗ в конце защищаемой зоны

$$I_{с.з} > k_{отс} \cdot I_{КЗ,макс} = 1,1 \cdot 112 = 134,4 \text{ А},$$

где  $k_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки;

$I_{КЗ,макс} = 112 \text{ А}$  – максимальный ток КЗ в месте установки защиты при трехфазном КЗ за трансформатором.

– отстройка от броска намагничивающего тока (БНТ) трансформаторов присоединений ПС, питаемых рассматриваемой ЛЭП

$$I_{с.з} > k_{отс} \cdot \sum I_{ном,тр} = 4 \cdot 6,06 = 24,3 \text{ А},$$

где  $k_{отс} = 4$  – коэффициент отстройки;

$$\sum I_{ном,тр} = \frac{\sum S_{ном,тр}}{\sqrt{3} \cdot U_c} = 6,06 \text{ А} \text{ – суммарный номинальный ток силовых}$$

трансформаторов, которые могут одновременно включаться под напряжение по защищаемой линии;

$S_{ном,тр} = 63 \text{ кВА}$  – суммарная мощность силовых трансформаторов, которые могут одновременно включаться под напряжение по защищаемой линии; рассматривается режим, когда все трансформаторы питаются от системы С1;

$U_c = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по току срабатывания ТО принимается равной наибольшему расчетному значению, полученному по приведенным выше условиям, т.е. 135 А.

Проверка чувствительности ТО при междуфазном КЗ в месте установки защиты в минимальном режиме работы системы

$$k_q = \frac{I_{КЗ,мин}}{I_{уст}} = \frac{484}{135} = 3,6 > 1,2,$$

где  $I_{КЗ,мин} = 484 \text{ А}$  – минимальное значение первичного тока в месте установки защиты при междуфазном КЗ в месте установки защиты;

$I_{уст} = 135 \text{ А}$  – принятое значение уставки ТО в первичных величинах.

Чувствительность достаточная.

Уставка по току срабатывания ТО принимается равной «**Тсраб**» = 135 А.

### Е.2.2 Выбор выдержки времени

Выдержку времени ТО «**Тсраб**» для обеспечения быстрого отключения защищаемой линии при больших кратностях токов КЗ рекомендуется принимать на ступень селективности больше быстродействующей защиты трансформатора, т.е. 0,3 с.

## Е.3 МТЗ

### Е.3.1 Выбор уставок первой ступени МТЗ

Ступень МТЗ вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Ступень выбирается ненаправленной с помощью программной накладки «**Нреж**» = 0.

Блокировка ступени выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Заглубление ступени выводится с помощью программной накладки «**Нзагр**» = 0.

Ток срабатывания защиты выбирается по условию учета нагрузки электропотребителей, питающихся от рассматриваемой линии

$$I_{с.з}^I > \frac{k_{отс} \cdot k_{сзп}}{k_b} \cdot I_{раб,макс} = \frac{1,2 \cdot 1,2}{0,95} \cdot 80 = 122 \text{ А},$$

где  $k_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$k_{сзп} = 1,2$  – коэффициент самозапуска,

$k_b = 0,95$  – коэффициент возврата;

$I_{раб,макс} = 80 \text{ А}$  – длительно допустимый ток защищаемой линии.

Коэффициент чувствительности определяется по выражению

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ,мин}}}{I_{\text{уст}}} = \frac{284}{122} = 2,3 > 1,5,$$

где  $I_{\text{КЗ,мин}} = 284 \text{ А}$  – минимальное значение тока в месте установки защиты при двухфазном металлическом КЗ в конце линии в минимальном режиме работы питающей системы (КЗ в конце линии Л2);

$I_{\text{уст}} = 122 \text{ А}$  – принятое значение уставки МТЗ в первичных величинах.

Чувствительность достаточная.

Уставка по току срабатывания МТЗ принимается равной «**Тсраб**» = 122 А.

Выбирается независимая характеристика срабатывания, «**НтипХар**» = 0.

Время срабатывания МТЗ «**Тсраб**» выбирается на ступень селективности больше времени МТЗ смежного трансформатора

$$t_{\text{с.з}} \geq t_{\text{с.з,смеж}} + \Delta t = 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ с},$$

где  $t_{\text{с.з,смеж}} = 0,3 \text{ с}$  – время срабатывания МТЗ трансформатора;

$\Delta t = 0,3 \text{ с}$  – ступень селективности.

Время срабатывания МТЗ принимается равным «**Тсраб**» = 0,6 с.

### Е.3.2 Выбор уставок второй ступени МТЗ

Ступень МТЗ вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Ступень выбирается ненаправленной с помощью программной накладки «**Нреж**» = 0.

Блокировка ступени выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Загрубление ступени выводится с помощью программной накладки «**Нзагр**» = 0.

Ток срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от максимального тока в нагрузочном режиме

$$I_{\text{с.з}}^{\text{II}} > \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб,макс}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 80 = 101 \text{ А},$$

где  $k_{\text{отс}} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$k_{\text{в}} = 0,95$  – коэффициент возврата;

$I_{\text{раб,макс}} = 80 \text{ А}$  – длительно допустимый ток защищаемой линии.

Коэффициент чувствительности определяется по выражению

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ,мин}}}{I_{\text{уст}}} = \frac{155}{101} = 1,53 > 1,5,$$

где  $I_{\text{КЗ,мин}} = 155 \text{ А}$  – минимальное значение тока в месте установки защиты при двухфазном металлическом КЗ в конце защищаемого участка;

$I_{\text{уст}} = 101 \text{ А}$  – принятое значение уставки МТЗ в первичных величинах.

Чувствительность достаточная.

Уставка по току срабатывания МТЗ принимается равной «**Тсраб**» = 101 А.

Выбирается независимая характеристика срабатывания, «**НтипХар**» = 0.

Выдержка времени на отключение защищаемой линии «**Тсраб**» должна быть выбрана по условию отстройки от успешного отключения КЗ второй ступенью МТЗ

$$t_{\text{с.з}}^{\text{II}} = t_{\text{с.з}}^{\text{I}} + \Delta t = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ с},$$

где  $t_{\text{с.з}}^{\text{I}} = 0,6 \text{ с}$  – выдержка времени первой ступени МТЗ;

$\Delta t = 0,3 \text{ с}$  – ступень селективности.

Время срабатывания МТЗ принимается равным «**Тсраб**» = 0,9 с.

### Е.3.3 Выбор уставок третьей ступени МТЗ

Ступень МТЗ выводится из работы с помощью программной накладки «**Нввод**» = 0.

### Е.4 РНМ МТЗ

МТЗ выполняется ненаправленной, следовательно, РНМ МТЗ не используется. Угол максимальной чувствительности «**Фмч**» = 90°.

Вывод блокировки производится программной накладкой «**Нблок**» = 0.

**Е.5 ЗОП по I2/I1**

Защита вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Уровень максимального тока I<sub>2</sub>, при котором возможна работа защиты

$$I_{с.з} = 0,05 \cdot I_{перв,ИТТ} = 0,05 \cdot 100 = 5 \text{ А},$$

где  $I_{перв,ИТТ} = 100 \text{ А}$  – первичный ток ИТТ.

Уставка по току срабатывания принимается равной «**Исраб**» = 5 А.

Уставка «**Кнесим**» принимается равной рекомендуемому значению 50 %.

Выдержка времени на срабатывание ЗОП по несимметрии отстраивается от максимального времени действия защит при междуфазных КЗ

$$t_{с.з} = t_{рез,макс} + \Delta t = 0,96 + 0,5 = 1,46 \text{ с},$$

где  $t_{рез,макс} = 0,96 \text{ с}$  – максимальное время действия резервных защит элемента электрической сети, питающего рассматриваемую линию;

$\Delta t = 0,5 \text{ с}$  – время запаса.

Уставка «**Тсраб**» принимается равной значению 1,46 с.

**Е.6 ЗОП по I2**

Защита вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Уставка по току выбирается по условию допустимой несимметрии питающей сети равной 25 %

$$I_{с.з} = 0,25 \cdot I_{перв,ИТТ} = 0,25 \cdot 80 = 20 \text{ А},$$

где  $I_{ном,л} = 80 \text{ А}$  – номинальный ток линии.

Уставка по току срабатывания принимается равной «**Исраб**» = 20 А.

Выдержка времени ЗОП по I<sub>2</sub> отстраивается от максимального времени действия защит при междуфазных КЗ

$$t_{с.з} = t_{рез,макс} + \Delta t = 0,96 + 0,5 = 1,46 \text{ с},$$

где  $t_{рез,макс} = 0,96 \text{ с}$  – максимальное время действия резервных защит элемента электрической сети, питающего рассматриваемую линию;

$\Delta t = 0,5 \text{ с}$  – время запаса.

Уставка «**Тсраб**» принимается равной значению 1,46 с.

**Е.7 Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП)**

Защита вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Ток срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемой линии при дуговых перемежающихся ОЗЗ

$$3I_{0с.з} = k_{отс} \cdot k_{бр} \cdot I_{емк} = 1,3 \cdot 1,7 \cdot 0,17 = 0,38 \text{ А},$$

где  $k_{отс} = 1,3$  – коэффициент отстройки;

$k_{бр} = 1,7$  – коэффициент «броска», учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения ОЗЗ, а также способность реле реагировать на него;

$$I_{емк} = \frac{U_{л} \cdot L_{\Sigma}}{350} = \frac{6 \cdot 10}{350} = 0,17 \text{ А} \text{ – емкостной ток линии};$$

$U_{л} = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение линии;

$L_{\Sigma} = 10 \text{ км}$  – суммарная длина линии.

Чувствительность защиты при замыканиях на землю на защищаемой линии проверяется по отношению токов, протекающих через место установки защиты, к току срабатывания защиты

$$k_{ч} = \frac{3I_{0расч}}{3I_{0с.з}} = \frac{4,2}{0,386} = 11,3 > 1,5,$$



где  $3I_{0расч} = 4,2 \text{ А}$  – минимальное значение тока  $3I_0$ , протекающего через место установки защиты, при внутреннем металлическом ОЗЗ.

Чувствительность достаточная.

Уставка по току срабатывания ТЗНП принимается равной минимальному возможному значению « $3I_{0сраб}$ » = 0,6 А.

### Е.8 Выбор уставок РНМ ТНЗНП

ТЗНП выполняется ненаправленной, следовательно, РНМ ТНЗНП не используется. Угол максимальной чувствительности « $\Phi_{мч}$ » = 0°. Вывод блокировки производится программной накладкой « $\text{Нблок}$ » = 0.

### Е.9 Ускорение токовых защит

Защита вводится в работу с помощью программной накладки « $\text{Нввод}$ » = 1.

Выдержка времени « $\text{Туск}$ » принимается равной 0,5 с.

### Е.10 ВНН

Защита вводится в работу с помощью программной накладки « $\text{Нввод}$ » = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки « $\text{Нблок}$ » = 0.

Уставка по току срабатывания в устройстве обозначается « $\text{Исраб}$ » и принимается равной рекомендованному значению 30 А.

Выдержка времени « $\text{Тсраб}$ » принимается равной рекомендованному значению 60 с.

Выдержка времени на возврат в устройстве обозначается « $\text{Твозв}$ » и принимается равной рекомендованному значению 10 с.

### Е.11 Пуск по U

Поскольку чувствительность МТЗ достаточная, следовательно, орган пуска по напряжению использовать нет необходимости.

### Е.12 Контроль напряжения линии

Защита вводится в работу с помощью программной накладки « $\text{Нввод}$ » = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки « $\text{Нблок}$ » = 0.

Уставка максимального напряжения, запускающая орган минимального напряжения  $U_{<}$ , рассчитывается по следующей формуле

$$U_{с.з} = 0,8 \cdot U_{ном,с} = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ кВ},$$

где  $U_{ном,с} = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной « $\text{Умакс}$ » = 4800 В.

Уставка минимального напряжения, запускающая орган максимального напряжения  $U_{>}$ , рассчитывается по следующей формуле

$$U_{с.з} = 1,2 \cdot U_{ном,с} = 1,2 \cdot 6 = 7,2 \text{ кВ},$$

где  $U_{ном,с} = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной « $\text{Умин}$ » = 7200 В.

### Е.13 Контроль частоты

Защита вводится в работу с помощью программной накладки « $\text{Нввод}$ » = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки « $\text{Нблок}$ » = 0.

Уставка « $\text{fмакс}$ » принимается равной рекомендованному значению 50,5 Гц.

Уставка « $\text{fмин}$ » принимается равной рекомендованному значению 49,2 Гц.

Разность частот возврата ИО в устройстве обозначается уставкой « $\text{fвозв}$ » и принимается равной значению по умолчанию 0,05 Гц.

### Е.14 Орган $U_{2>}$

Поскольку чувствительность МТЗ достаточная, следовательно, орган напряжения обратной последовательности использовать нет необходимости.

**Е.15 СЗЗ**

Защита вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Уставка защиты по напряжению нулевой последовательности «**Усраб**» принимается равной рекомендуемому значению

$$U_{с.з} = 0,15 \cdot U_{ф,ном} = 0,15 \cdot 3,464 = 0,52 \text{ кВ},$$

где  $U_{ф,ном} = 3,464 \text{ кВ}$  – номинальное фазное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка напряжению нулевой последовательности принимается равной «**ЗУ0сраб**» = 520 В.

Выдержка времени «**Тсраб**» принимается равной рекомендуемому значению равному 9 с.

**Е.16 ЗМН****Е.16.1 Выбор уставок первой ступени ЗМН**

Ступень защиты вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Ступень срабатывает при понижении напряжения во всех трех фазах «**Нреж**» = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Уставка срабатывания выбирается по выражению

$$U_{с.з} = 0,65 \cdot U_{ном,с} = 0,65 \cdot 6 = 3,9 \text{ кВ},$$

где  $U_{ном,с} = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной «**Усраб**» = 3900 В.

Выдержку времени «**Тсраб**» рекомендуется принимать равной 0,5 с.

**Е.16.2 Выбор уставок второй ступени ЗМН**

Ступень защиты вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Ступень срабатывает при понижении напряжения в одной фазе «**Нреж**» = 0.

Блокировка выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Уставка срабатывания выбирается по выражению

$$U_{с.з} = 0,4 \cdot U_{ном,с} = 0,4 \cdot 6 = 2,4 \text{ кВ},$$

где  $U_{ном,с} = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной «**Усраб**» = 2400 В.

Выдержку времени «**Тсраб**» рекомендуется принимать равной 0,5 с.

**Е.17 ЗПН**

Первая ступень вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Ступень срабатывает при понижении напряжения в трех фазах «**Нреж**» = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Уставка по напряжению срабатывания выбирается по выражению

$$U_{с.з} \geq k_n \cdot U_{доп} = 1,2 \cdot 6,6 = 7,92 \text{ кВ},$$

где  $k_n = 1,2$  – коэффициент надежного срабатывания;

$U_{доп} = k_{отс} \cdot U_{ном} = 1,1 \cdot 6 = 6,6 \text{ кВ}$  – величина допустимого напряжения на шинах, к ИТН которых подключена защита;

$k_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки;

$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение на шинах, к ИТН которых подключена защита.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной «**Усраб**» = 7920 В.

Выдержку времени «**Тсраб**» рекомендуется принимать равной минимальному значению, т.е. 0 с.

**Е.18 ЗПП**

Защита вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Контроль по падению частоты вводится в работу с помощью программной накладки «**Нконтрf**» = 1.

Блокировка выводится с помощью программной накладки «**Нблок**» = 0.

Время срабатывания задается уставкой «**Тсраб**» и принимается равным рекомендуемому значению 1 с.

Значение частоты срабатывания принимается равной рекомендованному значению 49,5 Гц.

### Е.19 Автоматика повторного включения (АПВ)

Защита вводится в работу с помощью программной накладки «**Нввод**» = 1.

Выдержку времени срабатывания первого цикла АПВ рекомендуется выбирать по условиям:

- отстройка от времени готовности привода выключателя

$$t_{с.з} = t_{прив} + t_{зап} = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ с},$$

где  $t_{прив} = 0,5 \text{ с}$  – время готовности привода выключателя;

$t_{зап} = 0,5 \text{ с}$  – время запаса, учитывающее непостоянство  $t_{прив}$  и погрешность реле времени схемы АПВ;

- отстройка от времени деионизации среды

$$t_{с.з} = t_{д} + t_{зап} = 0,2 + 0,5 = 0,7 \text{ с},$$

где  $t_{д} = 0,2 \text{ с}$  – время деионизации;

$t_{зап} = 0,5 \text{ с}$  – время запаса, учитывающее непостоянство  $t_{прив}$  и погрешность реле времени схемы АПВ.

Уставка первого цикла АПВ принимается равной максимальному из полученных значений, т.е. 1,0 с.

Уставка «**Тсраб**» принимается равной 1,0 с.

Выдержки времени готовности АПВ «**Тгот**» принимается равной рекомендуемому значению 25 с.

## Список сокращений

АВР	- автоматика ввода резерва;
АПВ	- автоматическое повторное включение;
АСУ	- автоматизированная система управления;
АЧР	- автоматическая частотная разгрузка;
ВЛ	- воздушная линия;
ВН	- высшее напряжение;
ВНН	- включение на нагрузку;
ДГР	- дугогасящий реактор;
ЗМН	- защита минимального напряжения;
ЗПН	- защита от повышения напряжения;
ЗОП	- защита от обрыва проводника;
ЗПП	- защита от потери питания;
ИО	- измерительный орган;
ИТТ	- измерительный трансформатор тока;
ИТН	- измерительный трансформатор напряжения;
ИЧМ	- интерфейс «человек-машина»;
КЗ	- короткое замыкание;
КРУ	- комплектное распределительное устройство;
КЛ	- кабельная линия;
КС	- контроль синхронизма;
ЛЗШ	- логическая защита шин;
ЛЭП	- линия электропередачи;
МКРВ	- модуль контроля ресурса выключателя;
МТЗ	- максимальная токовая защита;
ОЗЗ	- однофазное замыкание на землю;
ОМП	- определение места повреждения;
ОНМ	- орган направления мощности;
ПС	- подстанция;
ПУЭ	- правила устройства электроустановок;
РЗ	- релейная защита;
РКВ	- реле команды «Включить»;
РКО	- реле команды «Отключить»;
РНЛ	- режим «Работа на линии»;
РНМ	- реле направления мощности;
РПВ	- реле положения включено;
РПО	- реле положения отключено;
РРУ	- рекомендации по расчету уставок;
РУ	- распределительное устройство;
РФК	- реле фиксации команд;
РЭ	- руководство по эксплуатации;
СВ	- секционный выключатель;
СЗЗ	- сигнализация замыкания на землю;
ТЗНП	- токовая защита нулевой последовательности;
ТНЗНП	- токовая направленная защита нулевой последовательности;
ТО	- токовая отсечка;
ТТНП	- трансформатор тока нулевой последовательности;
ЦОС	- цифровая обработка сигналов;
ЦУ	- цепи управления;

ЧАПВ - частотное автоматическое повторное включение;  
ШП - шинка питания;  
ЭД - электродвигатель.

## Список литературы

- 1 Устройство защиты и автоматики реклоузера 6-10 кВ «ТОР 200 С 10». Руководство по эксплуатации. Описание устройства и работы терминала. АИПБ.656122.025-080 РЭ2 v21.2.
- 2 Российская Федерация. Приказ Минэнерго от 10.07.2020 № 546 «Об утверждении требований к релейной защите и автоматике различных видов и ее функционированию в составе энергосистемы и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 8 февраля 2019 г. № 80, от 13 февраля 2019 г. № 100, от 13 февраля 2019 г. № 101» / [Электронный ресурс] – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010230038>.
- 3 Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1985. – 296 с.
- 4 Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2001.
- 5 Правила устройства электроустановок. 7-е изд.
- 6 Шабад М.А. Автоматика электрических сетей 6–35 кВ в сельской местности.– Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1979. – 104 с., ил. – (Б-ка электромонтера; Вып.493).
- 7 Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. от 27.12.2018) "Об электроэнергетике" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2019).
- 8 Беркович М.А., Комаров А.Н., Семенов В.А. Основы автоматики энергосистем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 432 с., ил.
- 9 Байтер И.И., Богданова Н.А Релейная защита и автоматика питающих элементов собственных нужд тепловых электростанций, – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989
- 10 Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. – М.: Энергия, 1980.
- 11 ГОСТ 7746-2015. Межгосударственный стандарт. Трансформаторы тока. Общие технические условия – М.: Стандартинформ, 2017. – 42 с.
- 12 Слодарж М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. М., «Энергия», 1977. – 216 с.

