



**ЮНИТЕЛ**

Группа компаний НЭК

---

**МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО  
ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ТРАНСФОРМАТОРА  
ЮНИТ-М300-ДЗТ2**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ  
УСТАВОК ЗАЩИТ И АВТОМАТИКИ  
ЮТКБ.656122.609 ДЗТ2.РР1**

**ВЕРСИЯ 0.1 от 30.01.25**

© 2025 Юнител инжиниринг

Москва

Редакция	Дата
0.1	30.01.25

Настоящие методические указания по расчету уставок защит и автоматики относятся к микропроцессорному устройству защиты и автоматики трансформатора ЮНИТ-М300-ДЗТ2.

Компания Юнител Инжиниринг оставляет за собой авторские права на данный документ и на информацию, содержащуюся в нем, включая права на использование патентов. Копирование, использование и передача информации третьим лицам без письменного разрешения компании категорически запрещены.

Данный документ тщательно подготовлен и проверен. Если, несмотря на это читатель найдет какие-либо ошибки, просьба информировать нас.

Содержащаяся здесь информация относится только к текущей версии аппаратуры. Исходя из интересов наших пользователей, мы стараемся улучшать нашу аппаратуру и идти в ногу с новейшими технологиями. Это может привести к различию между аппаратурой и ее техническим описанием или инструкциями по эксплуатации.

Код ОКПД 2: 27.12.23.190

Код ТН ВЭД: 8537 10 980 0

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ . . . . .	4
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ . . . . .	5
2 ВЫБОР УСТАВОК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .	6
3 ВЫБОР УСТАВОК ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .	11
4 ВЫБОР УСТАВОК ФУНКЦИИ БЛОКИРОВКИ УСТРОЙСТВА РПН ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .	12
5 ВЫБОР УСТАВОК ФУНКЦИИ ПУСКА ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .	13
6 ПРИМЕР РАСЧЕТА УСТАВОК ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .	14
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ . . . . .	19

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ABP	–	автоматическое включение резерва;
BH	–	высшее напряжение;
ДЗТ	–	дифференциальная защита трансформатора;
ДТЗт	–	дифференциальный токовый орган с торможением;
ДТО	–	дифференциальная токовая отсечка;
ЗП	–	защита от перегрузки;
КЗ	–	короткое замыкание;
НН	–	низшее напряжение;
ОТ	–	оперативный ток;
ПС	–	предупредительная сигнализация;
РД	–	реле давления;
РЗА	–	релейная защита и автоматика;
РПН	–	устройство регулирования напряжения под нагрузкой;
РТПО	–	реле(орган) тока пуска охлаждения;
ТН	–	трансформатор напряжения;
ТО	–	токовая отсечка;
ТТ	–	трансформатор тока.

## 1 Общие сведения

В данных методических указаниях приведены общие сведения по расчету уставок защит трансформатора с высшим напряжением до 35 кВ.

## 2 Выбор уставок дифференциальной токовой защиты трансформатора

2.1 Функция ДЗТ предназначена для быстрого и селективного отключения объекта защиты при внутренних повреждениях всех видов. Для каждой фазы предусмотрены дифференциальный токовый орган с торможением (ДТЗт) и орган дифференциальной токовой отсечки (ДТО). Состав функции обеспечивает цифровую компенсацию фазного сдвига и выравнивание подводимых токов сторон (плеч). Также обеспечивается отстройка от режима броска намагничивающего тока и режима перевозбуждения трансформатора. Для надежной работы функции при высоком уровне токов внешних КЗ, вызывающих насыщение трансформаторов тока может быть введен дополнительный критерий внешних повреждений на основе сравнения фаз токов по сторонам защищаемого трансформатора. В составе функции ДЗТ также предусмотрен контроль исправности цепей тока для каждой из сторон.

### 2.2 Выбор общих уставок

2.2.1 Функция ДЗТ в устройстве ЮНИТ-М300-ДЗТ2 позволяет подключить до трех плеч защит. В зависимости от количества обмоток защищаемого силового трансформатора необходимо с помощью уставок определить используемые аналоговые входы переменного тока устройства. Например, параметр «Сторона 3», его возможные значения – «Не используется», «Используется». Далее для используемых аналоговых входов сторон определить схему соединения вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока («звезда» или «треугольник»). Необходимо также задать значение базисной мощности, которое допускается принять равным номинальной мощности трансформатора.

2.2.2 Дополнительные параметры приведения сторон (задаются для каждой из используемых сторон). Параметр «Номинальное напряжение стороны п» – должен соответствовать паспортным значениям номинального напряжения стороны п трансформатора. Параметры «Номинальный первичный ток трансформатора тока стороны п» и «Номинальный вторичный ток трансформатора тока стороны п» также должны соответствовать номинальным параметрам используемых в данном плече защиты трансформаторов тока.

2.2.3 По указанным параметрам («Номинальное напряжение стороны п», «Номинальный первичный ток трансформатора тока стороны п» и «Номинальный вторичный ток трансформатора тока стороны п») устройство автоматически определяет коэффициент амплитудного выравнивания для рассматриваемой стороны. Рассмотренные ниже параметры («Компенсация токов 3I0 для стороны п» и «Векторная группа стороны п») используются для определения устройством коэффициентов матрицы компенсации фазового сдвига.

2.2.4 Параметр «Компенсация токов 3I0 для стороны п». Компенсацию токов 3I0 рекомендуется задействовать на стороне силового трансформатора, нейтраль обмотки которой заземлена, для исключения возможности ложного срабатывания ДЗТ при внешних КЗ на землю. При соединении вторичных обмоток ТТ стороны в «треугольник» компенсацию токов 3I0 вводить не следует.

2.2.5 Параметр «Векторная группа стороны п» предназначен для компенсации фазового сдвига между токами, измеряемыми аналоговыми входами разных сторон, обусловленного схемой соединения обмоток защищаемого трансформатора (а также возможным различием в схеме соединения вторичных обмоток ТТ по сторонам трансформатора). Группа соединения, умноженная на 30°, определяет на какой электрический угол по направлению часовой стрелки должен быть сдвинут вектор фазного тока для корректного сравнения. Характерные значения – 0, 1, 5, 6, 11.

### 2.3 Выбор уставок дифференциального токового органа с торможением

2.3.1 Характеристика срабатывания ДТЗт представляет из себя ломаную линию в координатах дифференциального тока и тока торможения (см. рисунок 2.1). Данная характеристика (выделена синим цветом) состоит из трех участков (начальный, первый и второй наклонные), определяется следующими параметрами:

- дифференциальный ток срабатывания начального участка,  $I_{ср(ДТЗт)}$ ;
- значение тока торможения, соответствующее началу первого наклонного участка,  $I_{m1}$ ;
- коэффициент торможения первого наклонного участка,  $K_{m1}$ ;
- значение тока торможения, соответствующее началу второго наклонного участка,  $I_{m2}$ ;
- коэффициент торможения второго наклонного участка,  $K_{m2}$ .

При неисправностях в токовых цепях характеристика закручивается на начальном участке (выделена зеленым цветом). Следует отметить, что параметры тормозной характеристики, заданные по умолчанию подходят в большинстве случаев применения ДЗТ.

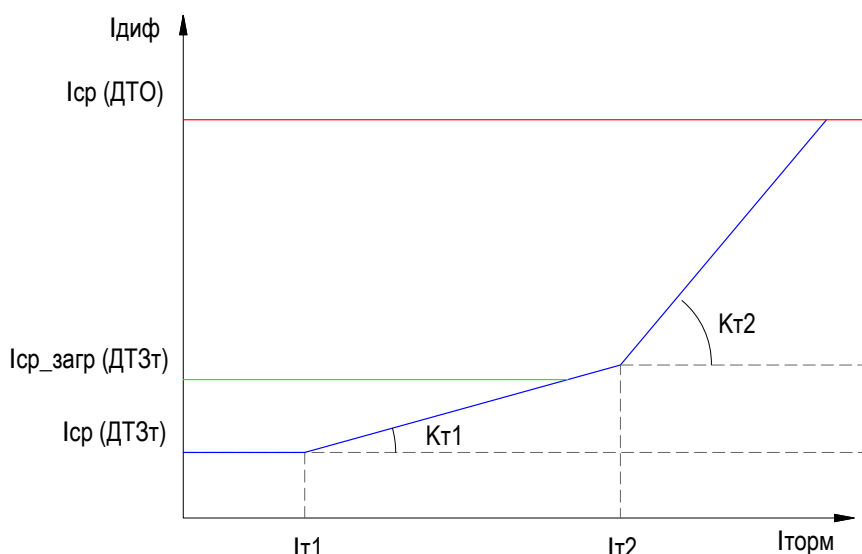


Рисунок 2.1 – Характеристика срабатывания дифференциального токового органа с торможением и дифференциальной токовой отсечки

2.3.2 Согласно [1] токи небаланса (из допущения, что расчет ведется только для периодической составляющей) в общем случае определяются как сумма трех составляющих, которые обусловлены погрешностями измерения, устройством регулирования напряжения и выравниванием токов плеч.

$$I_{\text{нб.расч.}} = I'_{\text{нб.расч.}} + I''_{\text{нб.расч.}} + I'''_{\text{нб.расч.}}, \quad (2.1)$$

$$I'_{\text{нб.расч.}} = k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{одн}} \cdot \epsilon \cdot I_{\text{расч.}}, \quad (2.2)$$

$$I''_{\text{нб.расч.}} = \Delta U_{\text{рег}} \cdot I_{\text{расч.}}, \quad (2.3)$$

$$I'''_{\text{нб.расч.}} = f_{\text{выр}} \cdot I_{\text{расч.}}, \quad (2.4)$$

где  $I'_{\text{нб.расч.}}$  – составляющая тока небаланса, обусловленная погрешностью ТТ;  
 $k_{\text{пер}}$  – коэффициент переходного режима (учитывает наличие аperiodической составляющей);  
 $k_{\text{одн}}$  – коэффициент однотипности трансформаторов тока (рекомендуется принимать с запасом 1,0);  
 $\epsilon$  – относительное значение полной погрешности трансформаторов тока (всегда принимается равным 0,1);  
 $I''_{\text{нб.расч.}}$  – составляющая тока небаланса, обусловленная регулированием напряжения защищаемого трансформатора, при отсутствии регулирования данная составляющая не принимается в расчет, а при постоянной работе трансформатора на конкретной отпайке, необходимо параметр «Номинальное напряжение стороны n» (n – в данном случае сторона, где установлено устройство регулирования) задавать соответствующим данной отпайке;  
 $\Delta U_{\text{рег}}$  – погрешность, обусловленная регулированием напряжения защищаемого трансформатора, принимается равной максимальному отклонению напряжения от номинального в относительных величинах;  
 $I'''_{\text{нб.расч.}}$  – составляющая тока небаланса, обусловленная погрешностью выравнивания токов плеч;  
 $f_{\text{выр}}$  – погрешность выравнивания токов плеч, обусловленная погрешностями измерений; рекомендуется принимать равной 0,03;  
 $I_{\text{расч.}}$  – относительный ток в режиме, для которого ведется расчет.

2.3.3 Начальный участок характеристики определяется минимальным для всей характеристики дифференциальным током срабатывания. Предполагается, что на данном участке трансформатор работает в нагрузоч-

ном режиме. При принятом в устройстве способе формирования тока торможения рекомендуется значение  $I_{т1}$  принимать равным 1,0.

2.3.4 Параметр «Дифференциальный ток срабатывания начального участка» выбирается по условию отстройки от тока небаланса в нагрузочном режиме по выражению:

$$I_{ср} = k_{отс} \cdot I_{нб.расч}, \quad (2.5)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, учитывающий погрешности аналоговых входов терминала, принимается равным 1,1–1,3;

$I_{нб.расч}$  – расчетный ток небаланса в нагрузочном режиме, определяется по формуле (2.1), при этом  $I_{расч}$  принимается равным выбранному  $I_{m1}$ , а параметр  $k_{пер}$  принимается равным 1,0.

2.3.5 Значение  $I_{m2}$  (ток торможения, соответствующий началу второго наклонного участка) рекомендуется выбирать из диапазона 2,0–3,0. Желательно чтобы в данный диапазон тока торможения попадали режимы кратковременных перегрузок (самозапуск двигателей при АВР смежной секции, пусковые токи мощных двигателей, при их наличии на питаемой секции, токи удаленных КЗ или токи КЗ в минимальном режиме).

2.3.6 Коэффициент торможения  $k_{m1}$  первого наклонного участка рекомендуется определять по выражению:

$$k_{m1} = \frac{I_{ср(m2)} - I_{ср}}{I_{m2} - I_{m1}}, \quad (2.6)$$

где  $I_{ср(m2)}$  – расчетный дифференциальный ток, определяемый по выражениям (2.5) и (2.1), при этом параметр  $I_{расч}$  принимается равным выбранному значению  $I_{m2}$ ,  $k_{отс}$  коэффициент отстройки, принимается равным 1,1–1,3, параметр  $k_{пер}$  принимается равным 2,5, если доля двигательной нагрузки более 50%, в остальных случаях принимается равным 1,5–2,0.

2.3.7 Коэффициент торможения  $k_{m2}$  второго наклонного участка рекомендуется определять по выражению:

$$k_{m2} = \frac{I_{ср.макс} - I_{ср(m2)}}{I_{m2макс} - I_{m2}}, \quad (2.7)$$

где  $I_{ср.макс}$  – расчетный дифференциальный ток, определяемый по выражениям (2.5) и (2.1), при этом параметр  $I_{расч}$  принимается равным коэффициенту предельной кратности ТТ при реальной нагрузке (при отсутствии данных допустимо принять равным 20), параметр  $k_{пер}$  принимается равным 3,0–4,0;

$I_{m2}$  – тормозной ток расчетного режима, принимается равным коэффициенту предельной кратности ТТ при реальной нагрузке (при отсутствии данных допустимо принять равным 20).

2.3.8 Значение коэффициента торможения второго наклонного участка должно соответствовать условию:

$$k_{m1} \leq k_{m2} \leq 1. \quad (2.8)$$

2.3.9 Согласно [1] чувствительность защиты определяется при металлическом КЗ на выводах защищаемого трансформатора при его работе на расчетном ответвлении. Расчетными режимами работы подстанции и питающих систем являются реальные режимы, обуславливающие минимальный ток при расчетном виде КЗ. В соответствие с [2] наименьший коэффициент чувствительности должен составлять 2,0. В отдельных случаях, согласно [2] значение требуемого коэффициента чувствительности может быть снижено до 1,5. Для определения коэффициента чувствительности необходимо по значению первичного тока КЗ расчетного режима определить соответствующие ему значения дифференциального тока и тока торможения.

$$I_{дифф} = \frac{I_{КЗмин} \cdot k_{сх} \cdot k_{ампл} \cdot I_{втор.тт}}{I_{перв.тт}}, \quad (2.9)$$

$$I_{торм} = \frac{I_{КЗмин} \cdot k_{сх} \cdot k_{ампл} \cdot I_{втор.тт}}{2 \cdot I_{перв.тт}}, \quad (2.10)$$

$$k_{ампл} = \frac{I_{перв.тт}}{k_{втор.тт} \cdot k_{сх} \cdot I_{баз}}, \quad (2.11)$$



$$I_{баз} = \frac{S_{баз}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.12)$$

где  $I_{КЗмин}$  – ток КЗ расчетного режима;

$I_{перв.тт}$  – номинальный первичный ток трансформатора тока рассматриваемой стороны;

$I_{втор.тт}$  – номинальный вторичный ток трансформатора тока рассматриваемой стороны;

$k_{ампл}$  – коэффициент амплитудного выравнивания стороны трансформатора для которой указан ток КЗ расчетного режима, определяется по выражению (2.11);

$I_{баз}$  – базисный ток трансформатора для рассматриваемой стороны, определяется по выражению (2.12);

$S_{баз}$  – базисная мощность трансформатора;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение рассматриваемой стороны.

По полученному значению  $I_{торм}$  необходимо по графической характеристике определить ток срабатывания ДТЗт. Если  $I_{торм} < I_{m1}$ , ток срабатывания равен току срабатывания горизонтального участка  $I_{ср(ДЗТм)}$ . В случае  $I_{m1} < I_{торм} < I_{m2}$  ток срабатывания определяется по выражению:

$$I_{ср} = I_{ср(ДЗТм)} + k_{m1}(I_{торм} - I_{m1}), \quad (2.13)$$

В случае  $I_{m2} < I_{торм}$  ток срабатывания определяется по выражению:

$$I_{ср} = I_{ср(m2)} + k_{m2}(I_{торм} - I_{m2}), \quad (2.14)$$

Коэффициент чувствительности определяется по выражению:

$$k_{\chi} = \frac{I_{дифф}}{I_{ср}}, \quad (2.15)$$

## 2.4 Выбор уставок функций блокировок по второй и пятой гармоникам дифференциального тока

2.4.1 На основании опыта производителей релейной защиты соотношение токов второй и первой гармоник на уровне 12–15% обеспечивают надежную блокировку дифференциальной токовой защиты с торможением при бросках намагничивающего тока.

2.4.2 В сетях 35 кВ перевозбуждение силового трансформатора маловероятно, поэтому блокировку по наличию пятой гармоники в дифференциальном токе допускается не вводить в работу.

## 2.5 Выбор уставок дифференциальной токовой отсечки

2.5.1 Дифференциальная токовая отсечка предназначена для мгновенного отключения повреждений в зоне действия дифференциальной защиты, сопровождаемых значительными токами КЗ. ДТО является более грубым, чем ДТЗт органом и должна быть отстроена от бросков тока намагничивания и небаланса при внешних КЗ. На рисунке 2.1 характеристика срабатывания ДТО представлена красной линией. Отстройка от бросков тока намагничивания обеспечивается в общем случае при выполнении условия:

$$I_{ср(ДТО)} \geq 6, \quad (2.16)$$

Следует иметь в виду, что чем меньше мощность трансформатора, тем выше значение кратности тока намагничивания. Отстройка от максимального тока небаланса определяется по (2.5) и (2.1), при этом:

- параметр  $I_{расч}$  принимается равным максимальному значению тока внешнего КЗ (как правило трехфазного);
- параметр  $k_{отс}$  принимается равным 1,5;
- параметр  $k_{пер}$  принимается равным 3,0–4,0.

Из полученных по указанным выше условиям значений  $I_{ср(ДТО)}$  в качестве уставки выбирается большее.

## 2.6 Выбор уставок функции контроля цепей тока

2.6.1 В устройстве ЮНИТ-М300-ДЗТ2 существует два способа контроля исправности цепей переменного тока:

- контроль повышенного значения (небаланса) дифференциального тока (является частью функционального блока ДЗТ);

— контроль симметрии подводимых к устройству вторичных цепей трансформаторов тока по сторонам защищаемого трансформатора (является отдельным функциональным блоком КЦТ).

2.6.2 Параметр «Номинальный ток токового входа терминала» – должен соответствовать номинальному току аналоговых входов переменного тока рассматриваемой стороны.

2.6.3 Параметр «Минимальная величина максимального из фазных токов (Lсим)» – должен в общем соответствовать току стороны, соответствующему 10% нагрузки от полной мощности трансформатора. Остальные значения параметров функции можно оставить заданными по умолчанию производителем.

### 3 Выбор уставок защиты от перегрузки трансформатора

3.1 Ток срабатывания защиты от перегрузки стороны высшего (низшего) напряжения трансформатора определяется по выражению:

$$I_{с.з.зп} = \frac{K_{отс}}{K_8} \cdot I_{ном,ст}, \quad (3.1)$$

где  $I_{ном,ст.}$  – номинальное значение тока стороны трансформатора, А;

$K_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,05;

$K_8$  – коэффициент возврата, принимается равным 0,95.

3.2 Защита от перегрузки при наличии обслуживающего персонала на подстанции выполняется с действием на сигнал, выдержку времени в этом случае выбирают из условия отстройки от времени самозапуска электродвигателей, подключенных к секциям шин 6-10 кВ ( $t_{ср} \geq 10с$ ).

3.3 При отсутствии обслуживающего персонала на подстанции возможно выполнение защиты от перегрузки с действием на отключение трансформатора, в этом случае выдержка времени на отключение трансформатора выбирается по перегрузочной характеристике трансформатора в соответствии с [3].

## 4 Выбор уставок функции блокировки устройства РПН трансформатора

4.1 Во избежание поломки устройства РПН трансформатора, необходимо не допускать его работы при превышении максимально допустимого тока через устройство РПН, определяемого его техническими характеристиками. Ток срабатывания функции блокировки РПН определяется по выражению:

$$I_{\text{бл.РПН}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{макс.РПН}}, \quad (4.1)$$

где  $I_{\text{макс.РПН}}$  – максимальное допустимое значение тока устройства РПН, А;

$K_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,95.

4.2 В общем случае, при неизвестных технических характеристиках устройства РПН, допустимо принять его номинальный ток равным номинальному току обмотки стороны, на которой он установлен, тогда ток срабатывания функции блокировки РПН будет определяться по выражению:

$$I_{\text{бл.РПН}} = K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{ном.ст.РПН}}, \quad (4.2)$$

где  $I_{\text{ном.ст.РПН}}$  – номинальное значение тока стороны трансформатора с устройством РПН, А;

$K_{\text{пер}}$  – коэффициент допустимой перегрузки устройства РПН, принимается равным 2,0 (ГОСТ 24126-80);

$K_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,95.

## 5 Выбор уставок функции пуска охлаждения трансформатора

5.1 Функция РТПО применяется на трансформаторах с высшим напряжением 35 кВ, для которых необходим внешний пуск охлаждения по току. В общем случае ток срабатывания функции пуска охлаждения стороны высшего (низшего) напряжения трансформатора определяется по выражению:

$$I_{cp} = K_{отс} \cdot I_{ном.ст.} \quad (5.1)$$

где  $I_{ном.ст.}$  – номинальное значение тока стороны ВН (НН) трансформатора, А;  
 $K_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,95.

5.2 Выбор тока срабатывания для пуска охлаждения трансформатора по отстройке от номинального значения тока стороны трансформатора основан на [4], в случае наличия дополнительных требований к выбору уставки по току для пуска охлаждения от завода-изготовителя трансформатора, их также необходимо учитывать.

## 6 Пример расчета уставок защит трансформатора

### 6.1 Исходные данные

6.1.1 В настоящем примере дан расчет уставок защит и автоматики понижающего двухобмоточного трансформатора типа ТДНС-16000/35 с параметрами, приведенными в таблице 6.1. Поясняющая схема приведена на рисунке 6.1.

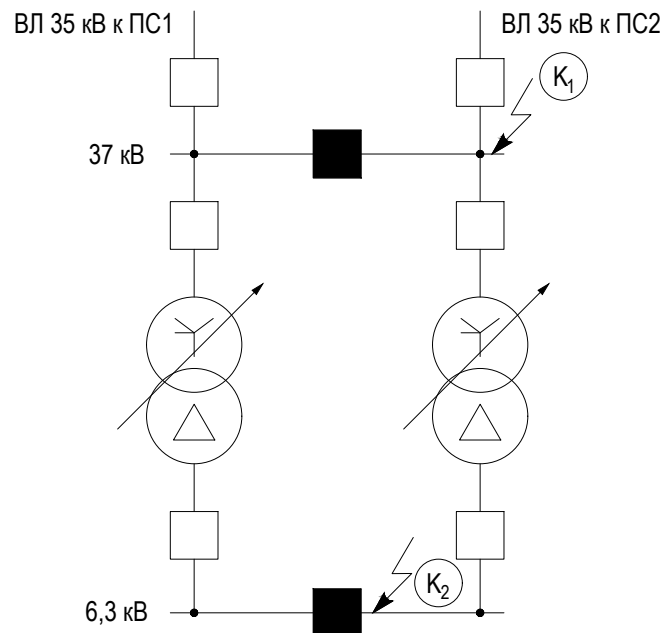
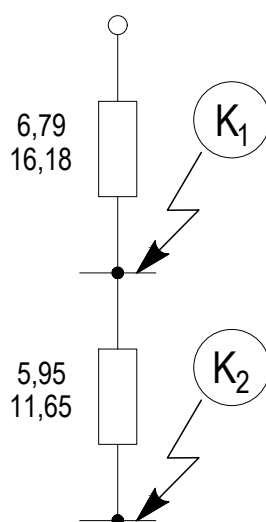


Рисунок 6.1 – Поясняющая схема и схема замещения защищаемого трансформатора

Таблица 6.1 – Параметры защищаемого трансформатора

Параметр	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение
1 Схема соединения	–	–	Y/Δ-11
2 Номинальная мощность	$S_{ном}$	МВА	16
3 Номинальное напряжение обмотки ВН	$U_{ном,в}$	кВ	37
4 Номинальное напряжение обмотки НН	$U_{ном,н}$	кВ	6,3
5 Диапазон регулирования напряжения РПН со стороны ВН	–	–	$\pm 8 \times 1,5\%$
6 Напряжение короткого замыкания	$U_k$	%	10

6.1.2 Схема замещения и расчетные значения токов короткого замыкания приведены на рисунке 6.2.



Результаты расчета токов КЗ

Режим работы системы	Точка КЗ	Ток 3х фазного КЗ (А), приведенный к напряжению	
		35 кВ	6 кВ
Максимальный	К2	1586	8200
Минимальный	К2	840	5400
Максимальный	К1	3145	—
Минимальный	К1	1320	—

## Примечания

1. Сопротивления на схеме замещения указаны в Омах и приведены к напряжению 37 кВ.
2. В схеме замещения:

5,95 - сопротивление в максимальном режиме

11,65 - сопротивление в минимальном режиме

Рисунок 6.2 – Схема замещения защищаемого трансформатора и результаты расчета токов КЗ

6.1.3 На трансформаторе установлены трансформаторы тока на стороне ВН с коэффициентом трансформации 400/5, на стороне НН с коэффициентом трансформации 1500/5. Трансформаторы тока по сторонам ВН и НН собраны в «звезду», полярными выводами к трансформатору.

6.1.4 Номинальный ток трансформатора со стороны ВН:

$$I_{НОМ,В} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ,В}} = \frac{16 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot 10^3} = 250 \text{ (А)},$$

6.1.5 Номинальный ток трансформатора со стороны НН:

$$I_{НОМ,Н} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ,Н}} = \frac{16 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10^3} = 1466 \text{ (А)},$$

## 6.2 Выбор уставок ДЗТ

6.2.1 Параметры из раздела «Общие уставки» не требуют расчетов, принимаются следующие значения с учетом исходных данных и заданных параметров:

**Сторона 1:** 1 = Предусмотрено;

**Сторона 2:** 0 = Не предусмотрено;

**Сторона 3:** 1 = Предусмотрено;

**Схема соединения трансформаторов тока стороны 1:** 0 = «Звезда»;

**Схема соединения трансформаторов тока стороны 3:** 0 = «Звезда»;

**Базисная мощность:** 16,0 МВА.

6.2.2 Дополнительные параметры приведения сторон:

**Номинальное напряжение стороны 1:** 37,0 кВ;

**Номинальный первичный ток трансформатора тока стороны 1:** 400,0 А;

**Номинальный вторичный ток трансформатора тока стороны 1:** 5,0 А;

**Компенсация токов 3И0 для стороны 1:** 0 = Без компенсации;

**Векторная группа стороны 1:** 0;

**Номинальное напряжение стороны 3:** 6,3 кВ;

**Номинальный первичный ток трансформатора тока стороны 3:** 1500,0 А;

**Номинальный вторичный ток трансформатора тока стороны 3:** 5,0 А;

**Компенсация токов 3И0 для стороны 3:** 0 = Без компенсации;

**Векторная группа стороны 3:** 5.

6.2.3 Дифференциальный токовый орган с торможением

Параметр  $I_{m1}$  «Ток торможения, соответствующий началу первого наклонного участка» принимается **равным 1,0**.

Определение тока небаланса по выражению (2.1) для выбора параметра «Дифференциальный ток срабатывания начального участка»:

$$I_{\text{нб.расч.}} = I'_{\text{нб.расч.}} + I''_{\text{нб.расч.}} + I'''_{\text{нб.расч.}} = 0,1 + 0,12 + 0,03 = 0,25 \text{ (о.е.)},$$

где:

— составляющая, обусловленная погрешностью ТТ (2.2):

$$I'_{\text{нб.расч.}} = k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{одн}} \cdot \epsilon \cdot I_{\text{расч}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,1 \cdot 1,0 = 0,1 \text{ (о.е.)},$$

— составляющая небаланса, вносимая устройством регулирования напряжения трансформатора (2.3):

$$I''_{\text{нб.расч.}} = \Delta U_{\text{рег}} \cdot I_{\text{расч}} = 0,12 \cdot 1,0 = 0,12 \text{ (о.е.)},$$

$$\text{где } \Delta U_{\text{рег}} = \frac{|8 \cdot 1,5\%| + |8 \cdot (-1,5\%)|}{2 \cdot 100\%} = 0,12 \text{ (о.е.)},$$

— составляющая, обусловленная погрешностью выравнивания токов плеч (2.4):

$$I'''_{\text{нб.расч.}} = f_{\text{выр}} \cdot I_{\text{расч}} = 0,03 \cdot 1,0 = 0,03 \text{ (о.е.)},$$

По выражению (2.5) определяем параметр «Дифференциальный ток срабатывания начального участка»:

$$I_{\text{ср}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб.расч}} = 1,2 \cdot 0,25 = 0,3 \text{ (о.е.)},$$

Параметр  $I_{\text{ср(дтзм)}}$  «Дифференциальный ток срабатывания начального участка» принимается **равным 0,3**.

Параметр  $I_{\text{м2}}$  «Ток торможения, соответствующий началу второго наклонного участка» принимается **равным 3,0**.

Определение тока небаланса по выражению (2.1) для выбора параметра «Коэффициент торможения первого наклонного участка»:

$$I_{\text{нб.расч.}} = I'_{\text{нб.расч.}} + I''_{\text{нб.расч.}} + I'''_{\text{нб.расч.}} = 0,45 + 0,36 + 0,09 = 0,9 \text{ (о.е.)},$$

где:

— составляющая, обусловленная погрешностью ТТ (2.2):

$$I'_{\text{нб.расч.}} = k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{одн}} \cdot \epsilon \cdot I_{\text{расч}} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,1 \cdot 3,0 = 0,45 \text{ (о.е.)},$$

— составляющая небаланса, вносимая устройством регулирования напряжения трансформатора (2.3):

$$I''_{\text{нб.расч.}} = \Delta U_{\text{рег}} \cdot I_{\text{расч}} = 0,12 \cdot 3,0 = 0,36 \text{ (о.е.)},$$

— составляющая, обусловленная погрешностью выравнивания токов плеч (2.4):

$$I'''_{\text{нб.расч.}} = f_{\text{выр}} \cdot I_{\text{расч}} = 0,03 \cdot 3,0 = 0,09 \text{ (о.е.)},$$

По выражению (2.5) определяем параметр «Дифференциальный ток срабатывания начала второго участка»:

$$I_{\text{ср(м2)}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб.расч}} = 1,3 \cdot 0,9 = 1,17 \text{ (о.е.)},$$

По выражению (2.6) определяем параметр «Коэффициент торможения первого наклонного участка»:

$$k_{\text{м1}} = \frac{I_{\text{ср(м2)}} - I_{\text{ср}}}{I_{\text{м2}} - I_{\text{м1}}} = \frac{1,17 - 0,3}{3,0 - 1,0} = 0,435 \text{ (о.е.)},$$

Параметр  $k_{\text{м1}}$  «Коэффициент торможения первого наклонного участка» принимается **равным 0,45**.

Определение тока небаланса по выражению (2.1) для выбора параметра «Коэффициент торможения второго наклонного участка»:

$$I_{\text{нб.расч.}} = I'_{\text{нб.расч.}} + I''_{\text{нб.расч.}} + I'''_{\text{нб.расч.}} = 6,0 + 2,4 + 0,6 = 9,0 \text{ (о.е.)},$$

где:



— составляющая, обусловленная погрешностью ТТ (2.2):

$$I'_{\text{нб.расч.}} = k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{одн}} \cdot \epsilon \cdot I_{\text{расч}} = 3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,1 \cdot 20,0 = 6,0 \text{ (о.е.)},$$

— составляющая небаланса, вносимая устройством регулирования напряжения трансформатора (2.3):

$$I''_{\text{нб.расч.}} = \Delta U_{\text{рег}} \cdot I_{\text{расч}} = 0,12 \cdot 20,0 = 2,4 \text{ (о.е.)},$$

— составляющая, обусловленная погрешностью выравнивания токов плеч (2.4):

$$I'''_{\text{нб.расч.}} = f_{\text{выр}} \cdot I_{\text{расч}} = 0,03 \cdot 20,0 = 0,6 \text{ (о.е.)},$$

По выражению (2.5) определяем значение расчетного дифференциального тока, соответствующего максимальной предельной кратности ТТ:

$$I_{\text{ср.макс}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб.расч}} = 1,3 \cdot 9,0 = 11,7 \text{ (о.е.)},$$

По выражению (2.7) определяем параметр «Коэффициент торможения второго наклонного участка»:

$$k_{m2} = \frac{I_{\text{ср.макс}} - I_{\text{ср}(m2)}}{I_{m2\text{макс}} - I_{m2}} = \frac{11,7 - 1,17}{20,0 - 3,0} = 0,619 \text{ (о.е.)},$$

Параметр  $k_{m2}$  «Коэффициент торможения второго наклонного участка» принимается **равным 0,7**.

Коэффициент чувствительности определяется по выражению (2.15)

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{дифф}}}{I_{\text{ср}}} = \frac{3,67}{0,68} = 5,39,$$

Условия по чувствительности выполняются,  $k_{\text{ч}} > 2,0$ .

#### 6.2.4 Дифференциальная токовая отсечка

Определение тока небаланса по выражению (2.1) для выбора параметра «Дифференциальный ток срабатывания отсечки»:

$$I_{\text{нб.расч.}} = I'_{\text{нб.расч.}} + I''_{\text{нб.расч.}} + I'''_{\text{нб.расч.}} = 1,67 + 0,67 + 0,167 = 2,507 \text{ (о.е.)},$$

где:

— составляющая, обусловленная погрешностью ТТ (2.2):

$$I'_{\text{нб.расч.}} = k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{одн}} \cdot \epsilon \cdot I_{\text{расч}} = 3,0 \cdot 1,0 \cdot 0,1 \cdot 5,58 = 1,67 \text{ (о.е.)},$$

— составляющая небаланса, вносимая устройством регулирования напряжения трансформатора (2.3):

$$I''_{\text{нб.расч.}} = \Delta U_{\text{рег}} \cdot I_{\text{расч}} = 0,12 \cdot 5,58 = 0,67 \text{ (о.е.)},$$

— составляющая, обусловленная погрешностью выравнивания токов плеч (2.4):

$$I'''_{\text{нб.расч.}} = f_{\text{выр}} \cdot I_{\text{расч}} = 0,03 \cdot 5,58 = 0,167 \text{ (о.е.)},$$

По выражению (2.5) определяем параметр «Дифференциальный ток срабатывания отсечки»:

$$I_{\text{ср(ДТО)}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб.расч}} = 1,5 \cdot 2,507 = 3,76 \text{ (о.е.)},$$

Поскольку значение параметра «Дифференциальный ток срабатывания отсечки» по условиям отстройки от броска тока намагничивания по выражению (2.16) ( $I_{\text{ср(ДТО)}} \geq 6,0$ ), выше чем по условию отстройки от тока небаланса при внешнем КЗ в максимальном режиме ( $I_{\text{ср(ДТО)}} = 3,76$ ), то принимаем параметр  $I_{\text{ср(ДТО)}}$  «Дифференциальный ток срабатывания отсечки» **равным 6,0**.

### 6.3 Выбор уставок защиты от перегрузки

6.3.1 По выражению (3.1) определяется первичный ток срабатывания защиты от перегрузки  $I_{с.з.ЗП}$ :

$$I_{с.з.ЗП} = \frac{K_{отс}}{K_{\epsilon}} \cdot I_{ном.ст.} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 250 = 276 \text{ (A)},$$

Уставка задается в относительных единицах от номинального тока аналогового входа устройства, для этого полученное значение пересчитывается по следующему выражению:

$$I_{ср} = \frac{I_{с.з.ЗП}}{I_{ном.вх.уст}} \cdot \frac{I_{ном.вт.ТТ}}{I_{ном.пер.ТТ}} = \frac{276}{5} \cdot \frac{5}{400} = 0,7 \text{ (о.е.)},$$

где  $I_{ном.вх.уст}$  – номинальный ток аналоговых входов устройства, 1 или 5 А;

$I_{ном.вт.ТТ}$  – номинальный вторичный ток ТТ, А;

$I_{ном.пер.ТТ}$  – номинальный первичный ток ТТ, А.

6.3.2 Параметр  $I_{ср}$  «Ток срабатывания» функции ЗП принимается **равным 0,7**.

6.3.3 Параметр  $T_{ср}$  «Выдержка времени срабатывания» функции ЗП принимается **равным 10 с**.

### 6.4 Выбор уставки токового органа блокировки РПН

Т.к. тип устройства РПН не известен, то принимаем его номинальный ток равным номинальному току стороны, на которой он установлен (то есть сторона ВН).

По выражению (4.2) определяется первичный ток срабатывания блокирующего органа РПН  $I_{бл.РПН}$ :

$$I_{бл.РПН} = K_{отс} \cdot K_{пер} \cdot I_{ном.ст.РПН} = 0,95 \cdot 2,0 \cdot 250 = 475 \text{ (A)},$$

Уставка задается в относительных единицах от номинального тока аналогового входа устройства, для этого полученное значение пересчитывается по следующему выражению:

$$I_{ср} = \frac{I_{бл.РПН}}{I_{ном.вх.уст}} \cdot \frac{I_{ном.вт.ТТ}}{I_{ном.пер.ТТ}} = \frac{475}{5} \cdot \frac{5}{400} = 1,2 \text{ (о.е.)},$$

где  $I_{ном.вх.уст}$  – номинальный ток аналоговых входов устройства, 1 или 5 А;

$I_{ном.вт.ТТ}$  – номинальный вторичный ток ТТ, А;

$I_{ном.пер.ТТ}$  – номинальный первичный ток ТТ, А.

Параметр  $I_{ср}$  «Ток срабатывания» функции ТО РПН принимается **равным 1,2**.

### 6.5 Выбор уставки токового органа пуска охлаждения

По выражению (5.1) определяется первичный ток органа пуска охлаждения  $I_{ср}$ :

$$I_{ср} = K_{отс} \cdot I_{ном.ст.} = 0,95 \cdot 250 = 238 \text{ (A)},$$

Уставка задается в относительных единицах от номинального тока аналогового входа устройства, для этого полученное значение пересчитывается по следующему выражению:

$$I_{ср} = \frac{I_{с.з.ЗП}}{I_{ном.вх.уст}} \cdot \frac{I_{ном.вт.ТТ}}{I_{ном.пер.ТТ}} = \frac{238}{5} \cdot \frac{5}{400} = 0,6 \text{ (о.е.)},$$

где  $I_{ном.вх.уст}$  – номинальный ток аналоговых входов устройства, 1 или 5 А;

$I_{ном.вт.ТТ}$  – номинальный вторичный ток ТТ, А;

$I_{ном.пер.ТТ}$  – номинальный первичный ток ТТ, А.

Параметр  $I_{ср}$  «Ток срабатывания» функции РТПО принимается **равным 0,6**.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ: Расчеты. – М.Энергоатомиздат, 1985.
2. Приложение N 1 к приказу Минэнерго России от 10 июля 2020 года N 546. Об утверждении требований к релейной защите и автоматики различных видов и ее функционированию в составе энергосистемы и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 8 февраля 2019 г. N 80, от 13 февраля 2019 г. N 101.
3. Приложение №1 к приказу Минэнерго России от 4 октября 2022 года №1070. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.
4. РД 34.46.501 Инструкция по эксплуатации трансформаторов.