



MiCOM P63x

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА
ТРАНСФОРМАТОРА (АВТОТРАНСФОРМАТОРА)**

Рекомендации по выбору уставок

Устройства дифференциальной защиты Р63х предназначены для быстрой и селективной защиты от коротких замыканий в трансформаторах, автотрансформаторах электродвигателях и генераторах, а также прочих объектов, подключаемых к энергосистеме с двух, трех или четырех сторон. Семейство Р63х состоит из устройств четырех типов: устройства Р631 и Р632 предназначены для защиты объектов с двусторонним питанием, устройства Р633 и Р634 - для защиты устройств с трех- и четырехсторонним питанием.

1. Амплитудное согласование

Для обеспечения амплитудного согласования необходимо установить одинаковую базисную мощность для всех сторон защищаемого объекта. В качестве базисной мощности устанавливается для всех сторон номинальная мощность защищаемого трансформатора (автотрансформатора). Если обмотки трансформатора (автотрансформатора) имеют разную мощность, в качестве базисной для всех сторон принимается мощность наиболее мощной обмотки трансформатора.

Исходя из установленной базисной мощности, устройство Р63х рассчитывает при помощи заданного первичного напряжения этой обмотки базисный ток.

$$I_{БАЗ,А} = \frac{S_{БАЗ}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ,А}} \quad I_{БАЗ,В} = \frac{S_{БАЗ}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ,В}} \quad (1.1)$$

$$I_{БАЗ,С} = \frac{S_{БАЗ}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ,С}} \quad I_{БАЗ,Д} = \frac{S_{БАЗ}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ,Д}}$$

где

$S_{БАЗ}$ - базисная мощность;

$I_{БАЗ,А...Д}$ - базисные токи сторон А ... Д;

$U_{НОМ,А...Д}$ - номинальные напряжения сторон А ... Д.

Базисный ток соответствует номинальному току защищаемой стороны при протекании по ней номинальной мощности трансформатора.

Базисная мощность, номинальные напряжения сторон трансформатора задаются в качестве уставок.

На основании вычисленных базисных токов устройство Р63х рассчитывает коэффициенты согласования токов по амплитуде:

$$k_{АМ,А} = \frac{I_{НОМ,А}}{I_{БАЗ,А}} \quad k_{АМ,В} = \frac{I_{НОМ,В}}{I_{БАЗ,В}} \quad k_{АМ,С} = \frac{I_{НОМ,С}}{I_{БАЗ,С}} \quad k_{АМ,Д} = \frac{I_{НОМ,Д}}{I_{БАЗ,Д}} \quad (1.2)$$

где

$k_{АМ}$ - амплитудный коэффициент защищаемой обмотки;

$I_{НОМ}$ - первичный номинальный ток трансформатора тока стороны защиты.

Коэффициенты амплитудного согласования должны быть $0,5 \leq k_{АМ} \leq 16$.

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

2. Согласование токов по фазе

Так как вторичные токи ТТ на стороне низшего напряжения защищаемого трансформатора отстают от вторичных токов ТТ на стороне его высшего напряжения на угол, соответствующий группе соединения обмоток защищаемого трансформатора, то в устройстве производят согласование групп соединений, чтобы вновь добиться совпадения фаз вторичных токов сторон дифференциальной защиты.

В устройстве Р63х согласование групп соединений осуществляется математически. Трансформаторы тока на всех сторонах собираются в звезду, что уменьшает погрешность трансформаторов тока. Устройство Р63х реализует изменение группы за счет образования геометрических разностей фазных токов $I_a - I_b$, $I_b - I_c$ и $I_c - I_a$ на стороне низшего напряжения (сторона В, С или D). При нечетных группах соединения обмоток для сохранения ранее полученного амплитудного согласования эта разность умножается на коэффициент $1/\sqrt{3}$. Таким образом, производится выравнивание по фазе и дополнительное выравнивание по величине.

Уставка согласования групп соединений осуществляется путем задания номера группы соединения обмоток защищаемого трансформатора, при условии стандартного подключения фазных токов на сторонах высшего и низшего напряжения - включение по схеме звезды с нормальной фазировкой трансформаторов тока.

3. Фильтрация токов нулевой последовательности

Для предотвращения ложной работы дифференциальной защиты, при внешних КЗ на землю, из-за попадающих в защиту токов нулевой последовательности, протекающих к месту КЗ через заземленную нейтраль обмотки трансформатора, подключенной к сети с КЗ, необходимо из вторичных фазных токов, подаваемых на защиту вычитать эти токи нулевой последовательности (выполнять компенсацию фазных токов током нулевой последовательности).

В соответствии с теорией симметричных составляющих ток нулевой последовательности образуется следующим образом:

$$I_{AM,0,Z} = \frac{1}{3} \cdot [I_{AM,A,Z} + I_{AM,B,Z} + I_{AM,C,Z}]$$

где:

z - сторона А, В, С или D;

I_{AM} - согласованный по амплитуде ток фаз А, В и С.

Так как токи нулевой последовательности в каждой фазе имеют одну и ту же величину и один и тот же угол, то при геометрическом вычитании токов любых двух фаз, что имеет место для трансформаторов с нечетными группами соединения обмоток, происходит автоматическая компенсация токов нулевой последовательности. Для трансформаторов, имеющих четные группы соединения обмоток, необходимо дополнительно из каждого фазного тока вычитать ток нулевой последовательности.

В устройстве Р63х предусмотрено вычитание из фазных токов стороны А, а в случае всех четных групп соединения из фазных токов сторон В, С и D соответствующего тока нулевой последовательности, который выделяется устройством из всех фазных токов соответствующей стороны. В случае незаземленной нейтрали выделение тока нулевой последовательности можно отключить отдельно для каждой обмотки трансформатора с четными группами соединения обмоток.

Фильтрация токов нулевой последовательности должна быть введена для тех сторон трансформатора, на которых возможно заземление нейтрали по условиям режима работы сети.

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

4. Выбор уставок дифференциальной защиты

Процесс протекания токов в защищаемом объекте описывается законом Кирхгоффа. В идеальных условиях, согласно этому закону, векторная сумма токов всех сторон равна нулю. Только при возникновении замыкания в зоне дифференциальной защиты, сумма токов будет отличаться от нуля, а именно равна дифференциальному току I_d . В действительности, дифференциальный ток присутствует даже при отсутствии замыкания и обусловлен конструкцией трансформатора

Характеристика срабатывания дифференциальной защиты терминалов Р63х в координатах I_d и I_r представляет собой ломаную линию, состоящую из горизонтального и двух наклонных участков. Терминал содержит защиту - $I_{d>>}$, работающую без блока стабилизации тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора и блока стабилизации при перевозбуждении защищаемого трансформатора, и дифференциальную отсечку $I_{d>>>}$, которая работает независимо от величины тока торможения и от срабатывания блока стабилизации.

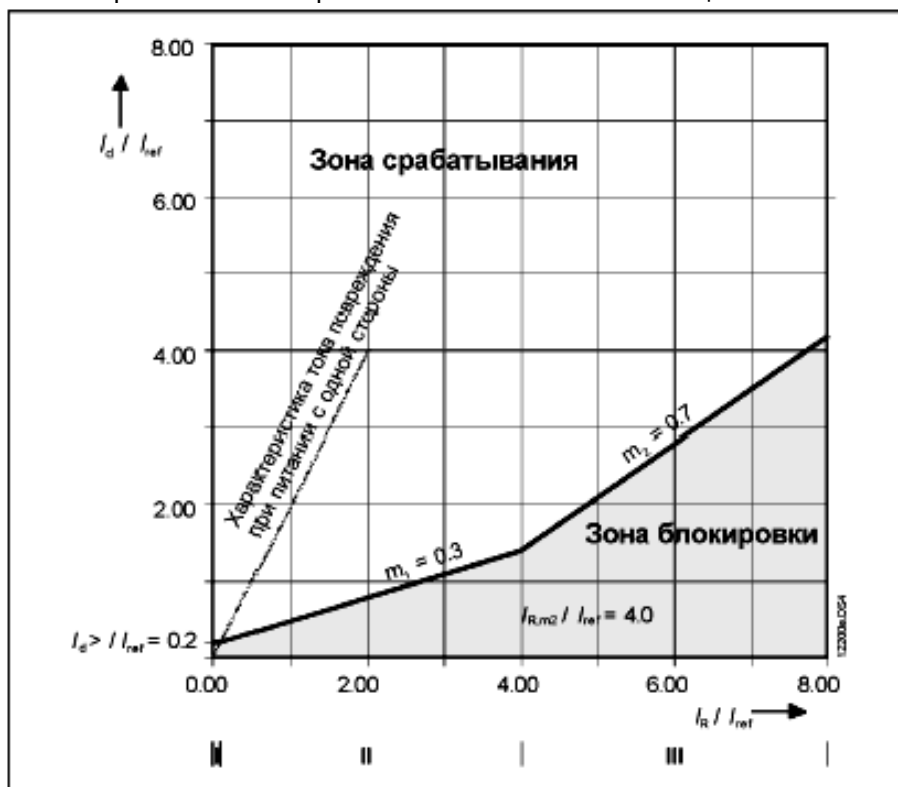


Рис. 1. Характеристика срабатывания дифференциальной защиты при симметричном трехфазном питании

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ I_d и I_r

Согласно первому закону Кирхгоффа дифференциальный ток защиты I_d всегда равен геометрической сумме входных токов.

$$I_d = |I_A + I_B + I_C + \dots| \quad (4.1)$$

Ток торможения I_r для случая дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора (терминалы Р631-Р632) равен векторной сумме токов:

$$I_r = \frac{1}{2} |I_A - I_B| \quad (4.2)$$

В случае питания КЗ в зоне защиты с двух сторон токами одинаковой амплитуды и фазы, токи взаимно уничтожаются, т.е. тормозной ток становится равным нулю и эффект торможения отсутствует. Исчезновение тормозного эффекта при замыканиях в защищаемой зоне – это желаемый результат, поскольку в этом случае дифференциальная защита приобретает максимальную чувствительность. В действительности идеального случая быть не может, поэтому мы рекомендуем принимать тормозной ток равным току небаланса в максимальном режиме.

Ток торможения (стабилизации) I_r в случае дифференциальной защиты для трансформатора более чем с двумя обмотками (Р633-Р634) равен арифметической полусумме входных токов:

$$I_r = \frac{1}{2} \cdot (|I_A| + |I_B| + |I_C| + \dots) \quad (4.3)$$

В этом случае, тормозной эффект никогда не исчезнет в случае внутреннего замыкания; тормозной эффект даже увеличивается в случае подпитки КЗ с нескольких сторон. Однако коэффициент $\frac{1}{2}$ в формуле расчета тормозного тока означает, что дифференциальный ток I_d будет в два раза больше тормозного тока I_r , что гарантирует надежное отключение при подпитке замыкания с нескольких сторон.

Первый участок характеристики является самым чувствительным диапазоном характеристики срабатывания и представляет собой горизонтальный участок с регулируемой уставкой $I_{d>}$. Значение уставки, устанавливаемое по умолчанию равно 0,2, должно учитывать ток намагничивания трансформатора, который протекает даже в режиме холостого хода и составляет не более 5% от номинального тока трансформатора. Уставка $I_{d>}$ выбирается по условию отстройки от тока небаланса в номинальном нагрузочном режиме:

$$I_{d>} \geq K_{отс} \times I_{НБ,НОМ,НАГР} \quad (4.4)$$

Где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности терминала, ошибки расчета и необходимый запас, может быть принят $\sim 1,2 \div 1,5$.

$$I_{НБ,РАСЧ} = I'_{НБ,НОМ,НАГР} + I''_{НБ,НОМ,НАГР} + I'''_{НБ,НОМ,НАГР} \quad (\text{согласно РУ - 13Б}).$$

$I'_{НБ,НОМ,НАГР}$ - составляющая, обусловленная погрешностью ТТ при токах, соответствующих номинальному нагрузочному режиму;

$I''_{НБ,НОМ,НАГР}$ - составляющая, обусловленная регулированием напряжения защищаемого АТ при токах, соответствующих номинальному нагрузочному режиму;

$I'''_{НБ,НОМ,НАГР}$ - составляющая, обусловленная погрешностью цифрового выравнивания токов плеч защиты при токах, соответствующих номинальному нагрузочному режиму.

$$I_{НБ,РАСЧ} = K_{ПЕР} \times K_{ОДН} \times \varepsilon \times I_{НОМ,НАГР} + \Delta U \times I_{НОМ,НАГР} + \Delta f_{ВЫР} \times I_{НОМ,НАГР} \quad (4.5)$$

Где $K_{ПЕР}$ – коэффициент, учитывающий переходный режим, рекомендуем принимать равным 1;

$K_{ОДН}$ – коэффициент однотипности трансформатора тока, принимается равным $0,5 \div 1$; (0,5 принимается в случаях, когда трансформаторы тока обтекаются мало различающимися между собой токами и примерно одинаково нагружены, во всех остальных случаях $K_{ОДН}$ следует принимать равным 1)

ε - относительное значение полной погрешности трансформаторов тока, рекомендуем принимать при 5%-ой погрешности 0,05, а при 10%-ой погрешности 6,5-10% (см. ранее).

ΔU - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения на сторонах защищаемого объекта и принимается равной половине используемого диапазона регулирования на соответствующей стороне.

$\Delta f_{ВЫР}$ - коэффициент, учитывающий погрешность цифрового выравнивания и составляет для данного терминала 5%.

$I_{НОМ,НАГР}$ - номинальный нагрузочный ток.

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

Первый участок характеристики проходит горизонтально до пересечения с линией нагрузки при одностороннем питании. Это облегчает выполнение наладочных работ и проверок. При одностороннем питании требуемая характеристика всегда соответствует заданной базовой уставке $I_{d>}$ и соответственно не требуется выполнение предварительных расчетов для проверки уставки.

Ток начала торможения в терминалах Р63х не задается и является функцией минимального тока срабатывания защиты:

$$I_{r,m1} = \frac{1}{2} \cdot I_{d>} \quad (4.6)$$

Для отстройки от броска тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора в терминале Р63х используется стабилизация (блокировка) по второй гармонике. Устройство Р63х производит фильтрацию дифференциального тока. При этом в дифференциальном токе определяются составляющие основной и второй гармоник. Если отношение тока второй гармоники к току основной гармоники превышает уставку, то производится блокировка срабатывания ДЗТ (по выбору):

- общая для всех трех измерительных систем дифзащиты;
- селективная для системы, в которой измерен высокий процент вторых гармоник.

Блокировка не выполняется, если дифференциальный ток превышает $I_{d>>}$.

Если величина второй гармоники неизвестна, то рекомендуем принимать уставку $I_{(2f_0)}/I_{(f_0)} = 20\%$. В отдельных случаях для выполнения ступени более чувствительной рекомендуем принимать от 10-15 %.

Второй участок характеристики срабатывания перекрывает диапазон нагрузочных токов, таким образом, что на этом участке мы должны отстроиться не только от тока намагничивания, но и от дифференциального тока небаланса.

Если рассчитать погрешность в самом неблагоприятном случае для трансформаторов класса 10Р, то максимальная допустимая погрешность в соответствии со стандартом DIN EN 60044-1 составляет 3% от номинального тока. Угловая погрешность может быть принята на уровне 20 при номинальном токе. Суммарная максимальная погрешность при номинальном токе может быть примерно оценена как $(0,0-3+\sin 20) \approx 6,5\%$. При увеличении тока до предела, определяющего максимальную погрешность, то для трансформаторов тока класса 10Р она достигает максимум 10%. Погрешность не лимитируется при превышении предела максимальной кратности тока, ограниченного максимально допустимой погрешностью.

Терминал дает возможность иметь характеристику срабатывания с двумя наклонными участками с разными углами наклона (коэффициентами торможения). Рекомендуем принимать ток торможения, соответствующий переходу на больший коэффициент чувствительности, равным $I_{r,m2} = 1,5$ – минимально возможная уставка.

Коэффициент торможения первого наклонного участка выбирается по условию обеспечения отстройки от тока небаланса в диапазоне токов до $1,5I_{баз}$. Под коэффициентом торможения понимается отношение приращения дифференциального тока к приращению полусуммы входных токов в условиях срабатывания, задается уставкой m_1 :

$$m_1 = \frac{k_{отс} \times I_{НБ,РАСЧ} - I_{d>}}{0,5 \sum I_r - I_{r,m1}} \quad (4.7)$$

Где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности терминала, ошибки расчета и необходимый запас, может быть принят $\sim 1,2 \div 1,5$.

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

$$I_{НБ.РАСЧ} = I'_{НБ,ВНЕШ.КЗ} + I''_{НБ,ВНЕШ.КЗ} + I'''_{НБ,ВНЕШ.КЗ} \quad (\text{согласно РУ - 13Б}).$$

$I'_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$ - составляющая, обусловленная погрешностью ТТ при токах, соответствующих режиму внешнего короткого замыкания;

$I''_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$ - составляющая, обусловленная регулированием напряжения защищаемого АТ при токах, соответствующих режиму внешнего короткого замыкания;

$I'''_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$ - составляющая, обусловленная погрешностью цифрового выравнивания токов плеч защиты при токах, соответствующих режиму внешнего короткого замыкания.

$$I_{НБ.РАСЧ} = K_{ПЕР} \times K_{ОДН} \times \varepsilon \times I_{ВНЕШ.КЗ} + \Delta U \times I_{ВНЕШ.КЗ} + \Delta f_{ВЫР} \times I_{ВНЕШ.КЗ} \quad (4.8)$$

Где $K_{ПЕР}$ – коэффициент, учитывающий переходный режим, рекомендуем принимать, для обеспечения недействия защиты от тока небаланса переходного режима внешнего КЗ, равным $1 \div 1,5$. Меньшее значение принимается при использовании на разных сторонах защищаемого оборудования однотипных трансформаторов тока (только встроенных или только выносных) и одинаковой схемы их соединения (например, в звезду). Большое значение принимается при использовании для защиты различных трансформаторов тока и разных схем их соединения (на одной из сторон в звезду, на другой — в треугольник).

$K_{ОДН}$ – коэффициент однотипности трансформатора тока, принимается равным $0,5 \div 1$; ($0,5$ принимается в случаях, когда трансформаторы тока обтекаются мало различающимися между собой токами и примерно одинаково нагружены, во всех остальных случаях $K_{ОДН}$ следует принимать равным 1)

ε - относительное значение полной погрешности трансформаторов тока, рекомендуем принимать при 5%-ой погрешности $0,05$, а при 10%-ой погрешности $6,5-10\%$ (см. ранее).

ΔU - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения на сторонах защищаемого объекта и принимается равной половине используемого диапазона регулирования на соответствующей стороне.

$\Delta f_{ВЫР}$ - коэффициент, учитывающий погрешность цифрового выравнивания и составляет для данного терминала 5%.

$I_{ВНЕШ.КЗ} = I_{r,m2}$ - ток внешнего короткого замыкания для первого наклонного участка будет величина тормозного тока, при котором происходит переход на второй наклонный участок, $1,5I_{баз}$.

$I_{d>}$ - минимальный ток срабатывания защиты;

$$0,5 \sum I_r = 0,5 \times (I_{ВНЕШ.КЗ, А} + I_{ВНЕШ.КЗ, В} + I_{ВНЕШ.КЗ, С} + I_{ВНЕШ.КЗ, D})$$

Где $I_{ВНЕШ.КЗ, А}$, $I_{ВНЕШ.КЗ, В}$, $I_{ВНЕШ.КЗ, С}$, $I_{ВНЕШ.КЗ, D}$ - максимальный ток внешнего короткого замыкания по стороне А, В, С и D защищаемого объекта.

$I_{r,m1}$ - ток начала торможения для первого наклонного участка.

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

Третий участок характеристики срабатывания

Второй наклонный участок соответствует большему коэффициенту торможения при высоких кратностях токов КЗ, ведущих к насыщению ТТ.

Коэффициент торможения второго наклонного участка определяется аналогично первому наклонному участку, задается уставкой m_2 .

$$m_2 = \frac{k_{ОТС} \times I_{НБ,РАСЧ} - I_{d,m2}}{0,5 \sum I_r - I_{r,m2}} \quad (4.9)$$

$$I_{НБ,РАСЧ} = I'_{НБ,ВНЕШ.КЗ} + I''_{НБ,ВНЕШ.КЗ} + I'''_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$$

$I'_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$ - составляющая, обусловленная погрешностью ТТ при токах, соответствующих режиму внешнего короткого замыкания;

$I''_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$ - составляющая, обусловленная регулированием напряжения защищаемого АТ при токах, соответствующих режиму внешнего короткого замыкания;

$I'''_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$ - составляющая, обусловленная погрешностью цифрового выравнивания токов плеч защиты при токах, соответствующих режиму внешнего короткого замыкания.

$$I_{НБ,РАСЧ} = K_{ПЕР} \times K_{ОДН} \times \varepsilon \times I_{ВНЕШ.КЗ} + \Delta U \times I_{ВНЕШ.КЗ} + \Delta f_{ВЫР} \times I_{ВНЕШ.КЗ} \quad (4.10)$$

Где $K_{ПЕР}$ – коэффициент, учитывающий переходный режим, рекомендуем принимать, для обеспечения недействия защиты от тока небаланса переходного режима внешнего КЗ, равным $1,5 \div 2$. Меньшее значение принимается при использовании на разных сторонах защищаемого оборудования односторонних трансформаторов тока (только встроенных или только выносных) и одинаковой схемы их соединения (например, в звезду). Большое значение принимается при использовании для защиты различных трансформаторов тока и разных схем их соединения (на одной из сторон в звезду, на другой — в треугольник).

$K_{ОДН}$ – коэффициент односторонности трансформатора тока, принимается равным $0,5 \div 1$; ($0,5$ принимается в случаях, когда трансформаторы тока обтекаются мало различающимися между собой токами и примерно одинаково нагружены, во всех остальных случаях $K_{ОДН}$ следует принимать равным 1)

ε - относительное значение полной погрешности трансформаторов тока, рекомендуем принимать при 5%-ой погрешности $0,05$, а при 10%-ой погрешности $6,5-10\%$ (см. ранее).

ΔU - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения на сторонах защищаемого объекта и принимается равной половине используемого диапазона регулирования на соответствующей стороне.

$\Delta f_{ВЫР}$ - коэффициент, учитывающий погрешность цифрового выравнивания и составляет для данного терминала 5%.

$I_{ВНЕШ.КЗ}$ - максимальный ток внешнего короткого замыкания

$$0,5 \sum I_r = 0,5 \times (I_{ВНЕШ.КЗ, А} + I_{ВНЕШ.КЗ, В} + I_{ВНЕШ.КЗ, С} + I_{ВНЕШ.КЗ, D})$$

Где $I_{ВНЕШ.КЗ, А}$, $I_{ВНЕШ.КЗ, В}$, $I_{ВНЕШ.КЗ, С}$, $I_{ВНЕШ.КЗ, D}$ - максимальный ток внешнего короткого замыкания по стороне А, В, С и D защищаемого объекта.

$I_{d,m2}$ - ток начала торможения второго наклонного участка по оси дифференциального тока, определяется геометрическим способом.

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

Чувствительность защиты проверяется при металлическом расчетном виде КЗ на выводах защищаемого трансформатора при работе его на расчетном ответвлении. Расчетными режимами работы подстанции и питающих систем являются реальные режимы, обуславливающие минимальный ток при расчетном виде КЗ.

В соответствии с ПУЭ требуется обеспечить наименьший коэффициент чувствительности примерно 2,0 (снижение коэффициента до 1,5 возможно в ряде случаев, которые описаны в РУ-13Б).

Чувствительность определяем согласно характеристике срабатывания по следующей формуле:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ,МИН}}}{I_{d>(d,m2)} + m_{1(2)} \times (0,5 \sum I_r - I_{r,m1(m2)})} \quad (4.11)$$

Формула представлена для двух вариантов расчета, первый вариант – при попадании тормозного тока короткого замыкания на первый наклонный участок, второй – при попадании тормозного тока короткого замыкания на второй наклонный участок характеристики срабатывания.

Дифференциальная токовая отсечка

Если дифференциальный ток защиты превышает уставку $I_{d>>}$, устройство срабатывает без учета действия блока стабилизации дифференциального тока при броске тока намагничивания и блока стабилизации при перевозбуждении защищаемого трансформатора (автотрансформатора).

Первичный ток срабатывания определяется отстройкой от максимального первичного тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора (автотрансформатора). В зависимости от сети и параметров оборудования рекомендуем принимать $I_{d>>} = (5 \div 10) I_{\text{НОМ}}$ (4.12)

При превышении дифференциальным током уставки $I_{d>>>}$ на работу дифференциальной защиты не оказывают влияния ток торможения и работа дискриминатора насыщения.

Первичный ток срабатывания отсечки определяется отстройкой:

- от максимального первичного тока небаланса при переходном режиме сквозного КЗ:

$$I_{d>>>} \geq K_{\text{ОТС}} \times K_{\text{НБ}} \times I_{\text{СКВ}} \quad (4.13)$$

Где $K_{\text{ОТС}}$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности терминала, ошибки расчета и необходимый запас, может быть принят 1,1;

$K_{\text{НБ}}$ – коэффициент небаланса, равен 1.

В том случае, если $I_{d>>>}$ окажется ниже $I_{d>>}$, то ступень $I_{d>>>}$ можно не использовать.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ОШИНОВКИ НИЗШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

В качестве дифференциальной защиты ошиновки низшего напряжения используется терминалы Р631 и Р632, предназначенные для двустороннего питания.

Выбор параметров настройки защит ошиновки НН аналогичен выбору параметров настройки защит ДЗТ за исключением следующих моментов:

1. Амплитудное согласование.

В большинстве случаев в зону защиты ДЗО НН входит токоограничивающий реактор, поэтому в качестве базисного тока рекомендуем принимать номинальный ток реактора. Следовательно, для двух сторон будем иметь одинаковый базисный ток.

2. Согласование токов по фазе.

При задании группы соединения сторон защищаемого объекта, необходимо обратить внимание на схему соединения ТТ и в линейные или фазные провода на стороне низшего напряжения АТ встроены ТТ.

3. Фильтрация токов нулевой последовательности.

Поскольку при внешних коротких замыканиях на землю токи нулевой последовательности не попадают в защиту, то компенсация фазных токов током нулевой последовательности не требуется.

4. Выбор уставок дифференциальной защиты ошиновки НН

4.1. Первичный минимальный ток срабатывания чувствительного органа защиты при отсутствии торможения определяется по условию отстройки от расчетного первичного тока небаланса при токах, соответствующих номинальному нагрузочному режиму:

$$I_{d>} \geq K_{OTC} \times I_{НБ,НОМ.НАГР}$$

Где k_{OTC} - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности терминала, ошибки расчета и необходимый запас, может быть принят $\sim 1,2 \div 1,5$.

$$I_{НБ,НОМ.НАГР} = I'_{НБ,НОМ.НАГР} + I'''_{НБ,НОМ.НАГР} \quad (\text{согласно РУ - 13Б}),$$

Где $I'_{НБ,НОМ.НАГР}$ - составляющая, обусловленная погрешностью ТТ при токах, соответствующих номинальному нагрузочному режиму;

$I'''_{НБ,НОМ.НАГР}$ - составляющая, обусловленная погрешностью цифрового выравнивания токов плеч защиты при токах, соответствующих номинальному нагрузочному режиму.

$$I_{НБ,НОМ.НАГР} = K_{ПЕР} \times K_{ОДН} \times \varepsilon \times I_{НОМ.Р} + \Delta f_{ВЫР} \times I_{НОМ.Р}$$

Где $K_{ПЕР}$ - коэффициент, учитывающий переходный режим, рекомендуем принимать 2,5;

$K_{ОДН}$ - коэффициент однотипности трансформатора тока, принимается равным $0,5 \div 1$;

ε - относительное значение полной погрешности трансформаторов тока, рекомендуем принимать при 5%-ой погрешности 0,05, а при 10%-ой погрешности 6,5-10% (см. ранее).

$\Delta f_{ВЫР}$ - коэффициент, учитывающий погрешность цифрового выравнивания и составляет для данного терминала 5%.

$I_{НОМ.Р}$ - номинальный ток реактора.

4.2. Коэффициент торможения первого наклонного участка выбирается по условию обеспечения недействия защиты от тока небаланса переходного режима внешнего КЗ или тока качаний. Под коэффициентом торможения понимается отношение приращения дифференциального тока к приращению полусуммы входных токов в условиях срабатывания:

$$m = \frac{k_{OTC} \times I_{НБ,РАСЧ} - I_{d>}}{0,5 \sum I_r - I_{r,m}}$$

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

Где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности терминала, ошибки расчета и необходимый запас, может быть принят $\sim 1,2 \div 1,5$.

$$I_{НБ,РАСЧ} = I'_{НБ,ВНЕШ.КЗ} + I''_{НБ,ВНЕШ.КЗ} \quad (\text{согласно РУ - 13Б}).$$

$I'_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$ - составляющая, обусловленная погрешностью ТТ при токах, соответствующих режиму внешнего короткого замыкания;

$I''_{НБ,ВНЕШ.КЗ}$ - составляющая, обусловленная погрешностью цифрового выравнивания токов плеч защиты при токах, соответствующих режиму внешнего короткого замыкания.

$$I_{НБ,РАСЧ} = K_{ПЕР} \times K_{ОДН} \times \varepsilon \times I_{ВНЕШ.КЗ} + \Delta f_{ВЫР} \times I_{ВНЕШ.КЗ}$$

Где $K_{ПЕР}$ – коэффициент, учитывающий переходный режим, рекомендуем принимать, для обеспечения недействия защиты от тока небаланса переходного режима внешнего КЗ, равным 3.

$K_{ОДН}$ – коэффициент однотипности трансформатора тока, принимается равным $0,5 \div 1$; ($0,5$ принимается в случаях, когда трансформаторы тока обтекаются мало различающимися между собой токами и примерно одинаково нагружены, во всех остальных случаях $K_{ОДН}$ следует принимать равным 1)

ε - относительное значение полной погрешности трансформаторов тока, рекомендуем принимать при 5%-ой погрешности $0,05$, а при 10%-ой погрешности $6,5-10\%$ (см. ранее).

$\Delta f_{ВЫР}$ - коэффициент, учитывающий погрешность цифрового выравнивания и составляет для данного терминала 5%.

$I_{ВНЕШ.КЗ}$ - максимальный ток внешнего короткого замыкания.

$I_{d>}$ - минимальный ток срабатывания защиты;

$$0,5 \sum I_r = 0,5 \times (I_{ВНЕШ.КЗ, А} + I_{ВНЕШ.КЗ, В})$$

где $I_{ВНЕШ.КЗ, А}$, $I_{ВНЕШ.КЗ, В}$ - ток внешнего короткого замыкания по стороне А и В защищаемого объекта.

$I_{r,m}$ - ток начала торможения.

Коэффициент торможения второго наклонного участка рекомендуем принимать равным коэффициенту торможения первого наклонного участка $m_1 = m_2$.

Ток торможения, соответствующий переходу на больший коэффициент чувствительности принимаем $I_{r,m2} = 4$ – максимально возможная уставка.

4.3. Чувствительность защиты проверяется при металлическом расчетном виде КЗ в зоне действия защиты.

$$k_{ч} = \frac{I_{КЗ,МИН}}{I_{d>} + m \times (0,5 \sum I_r - I_{r,m})}$$

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

4.4. Дифференциальная токовая отсечка

Если дифференциальный ток защиты превышает уставку $I_{d>>}$, устройство срабатывает без учета действия блока стабилизации дифференциального тока при броске тока намагничивания и блока стабилизации при перевозбуждении защищаемого трансформатора (автотрансформатора).

Первичный ток срабатывания определяется отстройкой от максимального первичного тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора (автотрансформатора).

В зависимости от сети и параметров оборудования рекомендуем принимать $I_{d>>} = (5\div 10) I_{НОМ}$ (4.12)

При превышении дифференциальным током уставки $I_{d>>>}$ на работу дифференциальной защиты не оказывают влияния ток торможения и работа дискриминатора насыщения.

Первичный ток срабатывания отсечки определяется отстройкой:

- от максимального первичного тока небаланса при переходном режиме внешнего КЗ или качаниях:

$$I_{d>>>} \geq K_{ОТС} \times K_{НБ} \times I_{ВНЕС.КЗ} \quad (4.13)$$

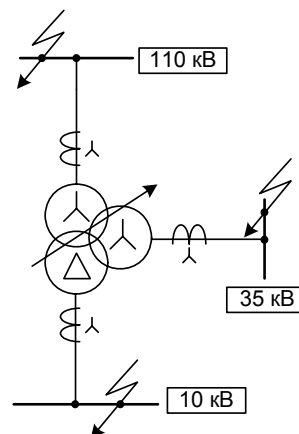
Где $K_{ОТС}$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности терминала, ошибки расчета и необходимый запас, может быть принят 1,1;

$K_{НБ}$ – коэффициент небаланса, равен 1.

В том случае, если $I_{d>>>}$ окажется ниже $I_{d>>}$, то ступень $I_{d>>>}$ можно не использовать.

Пример расчета дифференциальной защиты трансформатора

Трансформатор типа ТДТН-40000/110 У1
 Уном = 115/38,5/11 кВ.
 Регулирование на стороне СН ± 6х2%.



Наименование величин	Формула для определения	Числовые значения для сторон		
		115 кВ	38,5 кВ	11,0 кВ
		А	В	С
Базисный ток на стороне защищаемого трансформатора, соответствующий базисной мощности	$I_{БАЗ,А} = \frac{S_{БАЗ}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ,А}}$	$\frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 200,8 \text{ А}$	$\frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 599,8 \text{ А}$	$\frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 2099,5 \text{ А}$
Схема соединения обмоток трансформатора		Y	Y	Δ
Схема соединения обмоток ТТ		Y встроенные	Y встроенные	Y встроенные в линейные провода
Согласование токов сторон по группе соединения		А-В - 0 А-С - 11		
Коэффициенты трансформации ТТ	k_t	1000/5	600/5	3000/5
Коэффициент коррекции по току (выравнивающий вторичные токи)	$k_{AM} = \frac{I_{НОМ}}{I_{БАЗ}}$	$\frac{1000}{200,8} = 4,9$	$\frac{600}{599,8} = 1,0$	$\frac{3000}{2099,5} = 1,4$
Условия проверки коэффициента согласования выполняются: $0,5 \leq k_{AM} \leq 16$				
Необходимость использования компенсации тока нулевой последовательности		Да	Да	Нет

Для удобства и наглядности расчета рекомендуем выбор уставок вести в относительных величинах по отношению к базисным величинам.

T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

1. Выбор параметров характеристики срабатывания:

1.1 Минимальный ток срабатывания защиты определяется по формуле (4.4) и (4.5), где номинальный нагрузочный ток принимаем равным номинальному (базисному) току трансформатора, приведенного к высокой стороне.

$$I_{НБ,НОМ.НАГР} = (1 \times 1 \times 0,05 + 0,12 + 0,05) \times 201 = 0,22 I_{баз}$$

$$I_{d>} \geq 1,5 \times 0,22 = 0,33 I_{баз}$$

Принимаем уставку: $I_{d>} = 0,4 I_{баз}$

1.2. Блокировка по второй гармонике: $I_{(2f_0)}/I_{(f_0)} = 20\%$

1.3. Ток начала торможения находим по формуле (4.6): $I_{r,m1} = 0,5 I_{d>} = 0,2 I_{баз}$

1.4. Коэффициент торможения первого наклонного участка выбирается по формуле (4.7), все необходимые величины известны кроме $I_{НБ,РАСЧ}$, который определяется по формуле (4.8):

$$I_{НБ,РАСЧ} = (1 \times 1 \times 0,065 + 0,12 + 0,05) \times 1,5 I_{баз} = 0,35 I_{баз}$$

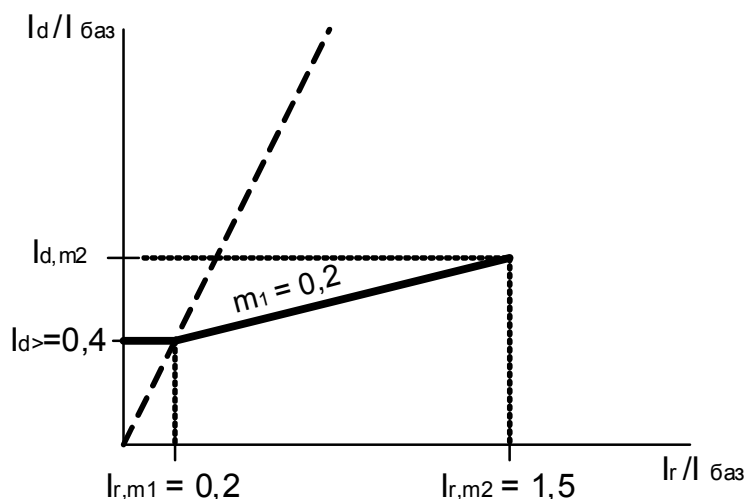
$$m_1 = \frac{1,5 \times 0,35 - 0,4}{1,5 - 0,2} = 0,096$$

Принимаем уставку: $m_1 = 0,2$

1.5. Коэффициент торможения второго наклонного участка выбирается по формуле (4.9), расчетный ток небаланса определим по формуле (4.10). Где максимальный ток внешнего короткого замыкания примем ток трехфазного короткого замыкания на стороне ВН – 4100 А, приведенный к 110 кВ, в относительных единицах 20,4 $I_{баз}$.

$$I_{НБ,РАСЧ} = (1,5 \times 1 \times 0,1 + 0,12 + 0,05) \times 20,4 = 6,5 I_{баз}$$

$I_{d,m2}$ - ток начала торможения второго наклонного участка по оси дифференциального тока, определяется геометрическим способом. Построим два первых участка характеристики срабатывания:



$$m_1 = \operatorname{tg} \alpha = \Delta I_d / \Delta I_r \rightarrow 0,2 = \Delta I_d / 1,3 \rightarrow \Delta I_d = 0,26 \rightarrow I_{d,m2} = 0,66$$

$$m_2 = \frac{1,5 \times 6,5 - 0,66}{20,4 - 1,5} = 0,48$$

Принимаем уставку: $m_2 = 0,6$

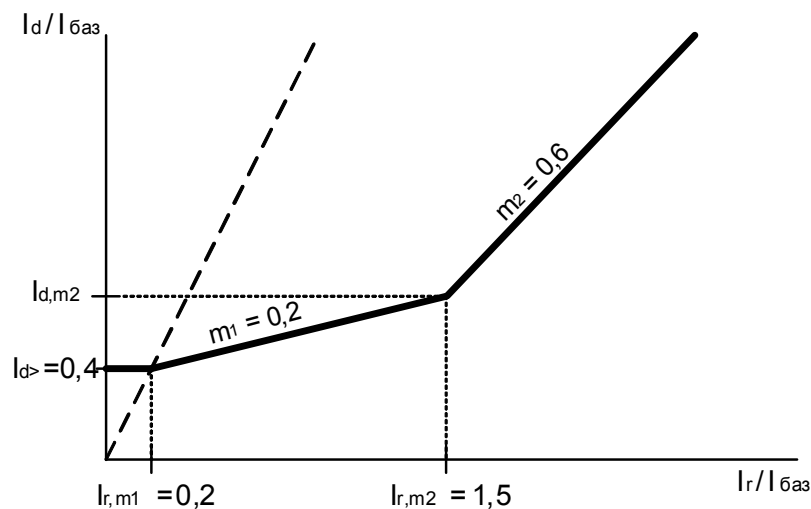
T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

2. Проверка чувствительности выполняется по формуле (4.11)



2.1. Однофазное КЗ на выводах 110 кВ, нормальный режим:

$I_{КЗ.МИН} = 3,9 I_{баз}$ $I_r = 0,5 \cdot 3,9 = 1,95 I_{баз} \rightarrow$ второй наклонный участок

$$k_{ч} = \frac{3,9}{0,66 + 0,6 \times (1,95 - 1,5)} = 4,2$$

2.2. Двухфазное КЗ на выводах 10 кВ в режиме опробования:

$I_{КЗ.МИН} = 1,8 I_{баз}$ $I_r = 0,5 \cdot 1,8 = 0,9 I_{баз} \rightarrow$ первый наклонный участок

$$k_{ч} = \frac{1,8}{0,4 + 0,2 \times (0,9 - 0,2)} = 3,3$$

Чувствительность обеспечивается.

3. Дифференциальная отсечка выбирается по формуле (4.12) и (4.13):

3.1. Принимаем уставку $I_{d>>} = 6 I_{баз}$

3.2. $I_{d>>} \geq 1,1 \times 1 \times 15,2 = 16,7 I_{баз}$, где 15,2 $I_{баз}$ – максимальный сквозной ток КЗ на

стороне 110 кВ.

Принимаем уставку $I_{d>>} = 17 I_{баз}$.

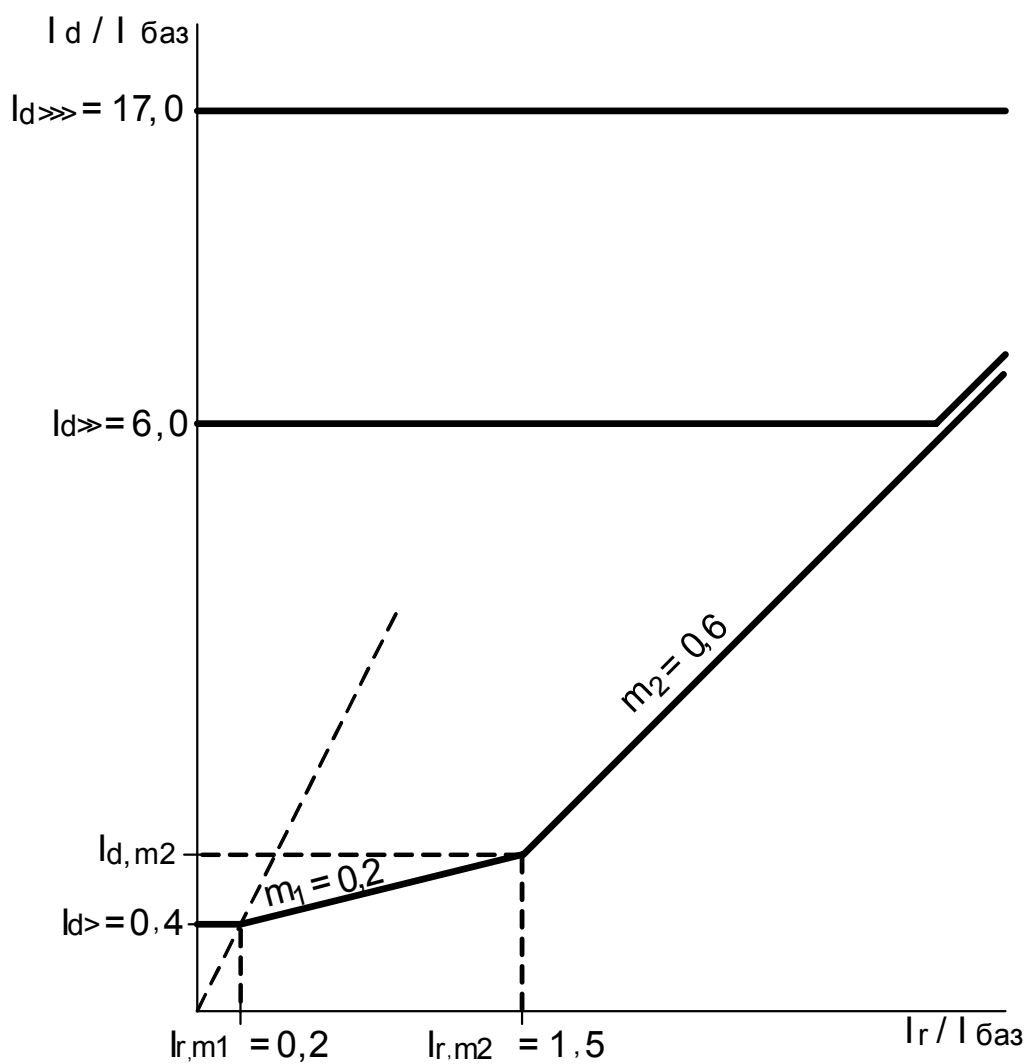
T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation

4. Построение характеристики срабатывания по выбранным уставкам:



T&D

105318, Россия, Москва, ул. Электrozаводская, 32А

Тел.: (+7-495) 589-34-82 Fax: (+7-499) 748-12-65 www.arevatd.ru

International Sales, Service and Country Organisation



AREVA T&D Automation
107023, Москва, ул. Электrozаводская, 32А
Тел: +7 (495) 589 34 82 Факс: +7 (499) 748 12 65
www.arevatd.ru