

4.3.2 Дифференциальная защита двухобмоточных трансформаторов TR2PTDF, ступень с торможением и отсечка

4.3.2.1 Обозначение

Описание функции	Обозначение МЭК 61850	Обозначение МЭК 60617	Обозначение ANSI/IEE C37.2
Дифференциальная защита двухобмоточных трансформаторов, ступень с торможением и отсечка	TR2PTDF	3dI>T	87T

4.3.2.2 Функциональный блок

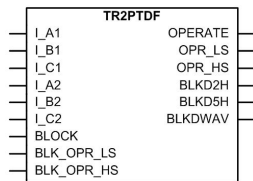


Рисунок 165. Функциональный блок

4.3.2.3 Функциональные возможности

Дифференциальная защита трансформатора TR2PTDF предназначена для защиты двухобмоточных трансформаторов и блоков генератор-трансформатор. Функция TR2PTDF включает две ступени: чувствительную ступень (с торможением) и грубую ступень (отсечку).

Чувствительная ступень с торможением обеспечивает быстрое устранение повреждений, оставаясь стабильной при высоких величинах тока, проходящих через защищенную зону, увеличивающих погрешность при измерении тока. Алгоритм торможения по второй гармонике, а также алгоритм торможения по форме сигнала обеспечивает несрабатывание

чувствительной ступени при бросках тока при включении трансформатора. Торможение по пятой гармонике обеспечивает несрабатывание ступени при полном дифференциальном токе, вызванным неопасным перевозбуждением трансформатора.

Грубая ступень (отсечка) обеспечивает очень быстрое устранение повреждений с большим дифференциальным током, независимо от гармонических составляющих.

Можно увеличить чувствительность характеристики путем компенсации положения РПН. Коррекция коэффициента трансформации в результате изменения положения РПН выполняется автоматически на базе информации о состоянии РПН.

4.3.2.4 Принцип действия

Функция может быть введена/выведена уставкой *Активизация*, с соответствующими значениями – *ВКЛ* и *ВЫКЛ*.

Действие дифференциальной защиты трансформатора можно описать при помощи схемы. Все имеющиеся в схеме модули описаны в последующих разделах.

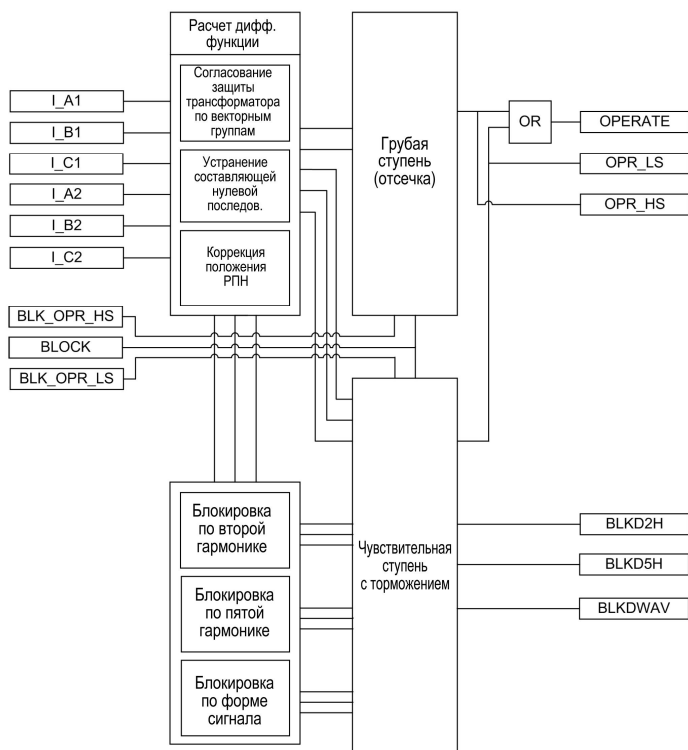


Рисунок 166. Функциональная схема модуля. I_{x1} и I_{x2} – фазные токи обмотки 1 и обмотки 2

Дифференциальный расчет

Функция TR2PTDF действует пофазно на разность входящих и выходящих токов. Прямым направлением считается таковое по направлению к защищаемому объекту.

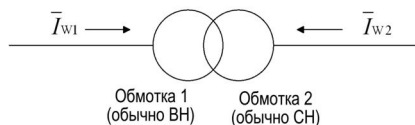


Рисунок 167. Прямое направление токов

$$I_d = |\bar{I}_{w1} + \bar{I}_{w2}| \quad (32)$$

В нормальной ситуации в области, защищенной функцией TR2PTDF, повреждений нет. Токи $\bar{I}_{w1}$ и $\bar{I}_{w2}$ равны, а дифференциальный ток I_d равен нулю. Однако на практике в стандартной ситуации дифференциальный ток отклоняется от нулевого значения. В защите силового трансформатора дифференциальный ток вызван погрешностью ТТ, изменением положения РПН (при отсутствии компенсации), током холостого хода и кратковременным бросками тока трансформатора. Увеличение тока нагрузки вызывает возникновение дифференциального тока в результате погрешности ТТ и изменения положения РПН, который изменяется с таким же процентным отношением.

В устройстве дифференциальной защиты с торможением при нормальной работе или при внешних повреждениях, чем выше сквозной ток, тем выше дифференциальный ток, требуемый для отключения. При внутренних повреждениях токи на обеих сторонах протекают в направлении защищаемого объекта. Это приводит к тому, что тормозной ток становится значительно меньше, что делает более чувствительным срабатывание при внутренних повреждениях.

$$I_b = \frac{|\bar{I}_{w1} - \bar{I}_{w2}|}{2} \quad (33)$$

Если тормозной ток мал по сравнению с дифференциальным током, или если фазный угол между фазными токами обмотки 1 и обмотки 2 токов близок к нулю (в нормальной ситуации, разность фаз составляет 180 градусов), то повреждение, скорее всего, произошло в области, защищенной интеллектуальным устройством дифференциальной защиты. В этом случае значение срабатывания, установленное для грубой ступени (отсечки), автоматически уменьшается вдвое, и сигналы внутренней блокировки ступени с торможением запрещаются.

Согласование защиты по векторным группам трансформатора

Угол сдвига фаз токов обмотки 1 и обмотки 2, вызванный векторной группой силового трансформатора, компенсируется цифровым путем. Согласование угла сдвига фаз основано на фазовом сдвиге и цифровом соединении в треугольник внутри реле. Параметр *Обмотка 2* определяет подключение обмоток на стороне низкого напряжения ("y", "yn", "d", "z", "zn"). Подобным образом, параметр *Обмотка 1* определяет подключение обмотки 1 ("Y", "YN", "D", "Z", "ZN").

Согласование по векторным группам можно реализовать либо на обеих обмотках, 1 и 2, либо только на обмотке 1 или на обмотке 2, с интервалом 30°, при помощи уставки *Группа соединения*.

Когда согласование по векторным группам – Yy0, а уставка *Тип подключения ТТ* задана по типу 2 (**"Type 2"**), угол между фазными токами, подключенными к реле, не изменяется. Когда согласование по векторным группам – Yy6, фазные токи в реле поворачиваются на 180°.

Пример 1

Согласование по векторным группам силового трансформатора на обмотке 1, подключенного по типу Ynd11, *Тип подключения ТТ* – по типу 1. Уставка *Обмотка 1* имеет значение **"YN"**, *Обмотка 2* имеет значение **"d"**, а уставка *Группа соединения* – **"Группа 11."** Это компенсируется внутренним путем, что дает обмотке 1 внутреннюю компенсацию +30°, а обмотке 2 – внутреннюю компенсацию со значением 0°;

$$\begin{aligned}\bar{I}_{L1mHV} &= \frac{\bar{I}_{L1} - \bar{I}_{L2}}{\sqrt{3}} \\ \bar{I}_{L2mHV} &= \frac{\bar{I}_{L2} - \bar{I}_{L3}}{\sqrt{3}} \\ \bar{I}_{L3mHV} &= \frac{\bar{I}_{L3} - \bar{I}_{L1}}{\sqrt{3}}\end{aligned}\tag{34}$$

Пример 2

Но если векторная группа – Yd11, уставка *Тип подключения ТТ* задана на тип 1, компенсация имеет несколько другой вид. Значение уставки *Обмотка 1* – **"Y,"** уставки *Обмотка 2* – **"d"**, а уставки *Группа соединения* – **"Группа 11."** Это компенсируется внутренним путем, значение внутренней компенсации обмотки 1 составляет 0°, значение внутренней компенсации обмотки 2 составляет -30°:

$$\begin{aligned}\bar{I}_{L1mHV} &= \frac{\bar{I}_{L1} - \bar{I}_{L3}}{\sqrt{3}} \\ \bar{I}_{L2mHV} &= \frac{\bar{I}_{L2} - \bar{I}_{L1}}{\sqrt{3}} \\ \bar{I}_{L3mHV} &= \frac{\bar{I}_{L3} - \bar{I}_{L2}}{\sqrt{3}}\end{aligned}\tag{35}$$

Токи на стороне «Y» остаются без изменения, тогда как токи на стороне «d» компенсируются для согласования токов, протекающих в обмотках.

В данном примере отсутствует ток в нейтрали на каждой из сторон трансформатора (если не установлены заземляющие трансформаторы). Однако в предыдущем примере

согласование проводится иначе, чтобы одновременно производилась компенсация тока в нейтрали обмотки 1.

Исключение составляющей тока нулевой последовательности

Уставка *Группа соединения* – “Группа 2”, “Группа 4”, “Группа 6”, “Группа 8” или “Группа 10”, согласование по векторным группам всегда выполняется в обеих обмотках, 1 и 2. Сочетание в результате дает правильную компенсацию. В этом случае составляющая нулевой последовательности всегда убирается автоматически на обеих сторонах. Параметр *Вычитание Io* этого изменить не может.

Если *Группа соединения* – “Группа 1”, “Группа 5”, “Группа 7” или “Группа 11”, согласование по векторным группам выполняется только на одной стороне. Возможная составляющая нулевой последовательности фазных токов при замыканиях на землю вне зоны действия защиты убирается в цифровом соединении в треугольник, прежде будут рассчитаны дифференциальный и тормозной токи. Поэтому согласование по векторным группам почти всегда выполняется на стороне, имеющей соединение «звездой», трансформаторов, подключенных по типу «Ynd» и «Dyn».

Если *Группа соединения* – “Группа 0” или “Группа 6”, Составляющая нулевой последовательности фазных токов не убирается автоматически ни на какой из сторон. Следовательно, составляющую нулевой последовательности на стороне с соединением звездой, то есть, заземленной в точке нейтрали звезды, нужно убрать при помощи параметра *Вычитание Io*.

Тот же параметр нужно использовать для устранения составляющей нулевой последовательности, например, в случае заземления трансформатора на стороне с соединением в треугольник силового трансформатора типа «Ynd» в защищаемой области. В этом случае согласование по векторным группам обычно выполняется на стороне, имеющей соединение звездой. На стороне, имеющей соединение в треугольник, устранение составляющей нулевой последовательности необходимо выбирать отдельно.

При помощи параметра *Вычитание Io* составляющая нулевой последовательности рассчитывается для каждого фазного тока

$$\begin{aligned}\bar{I}_{L1m} &= \bar{I}_{L1} - \frac{1}{3}x(\bar{I}_{L1} + \bar{I}_{L2} + \bar{I}_{L3}) \\ \bar{I}_{L2m} &= \bar{I}_{L2} - \frac{1}{3}x(\bar{I}_{L1} + \bar{I}_{L2} + \bar{I}_{L3}) \\ \bar{I}_{L3m} &= \bar{I}_{L3} - \frac{1}{3}x(\bar{I}_{L1} + \bar{I}_{L2} + \bar{I}_{L3})\end{aligned}\tag{36}$$



Во многих случаях, когда обмотка «wye» имеет заземленную нейтраль, можно выполнить компенсацию таким образом, чтобы составляющая нулевой последовательности фазных токов убиралась автоматически. Например, если это трансформатор типа «Ynd», компенсация выполняется на стороне обмотки 1, чтобы автоматически убирать составляющую нулевой последовательности фазных токов на этой стороне (а на стороне «d» их нет). В таком случае явно заданное удаление не требуется.

Компенсация положения РПН

Положение РПН, используемое для управления напряжением, может компенсироваться, а данные о положении предоставляются функции защиты с помощью индикации положения РПН, TPOSSLTC1.

Обычно РПН находится на стороне обмотки высокого напряжения, то есть, обмотки 1 силового трансформатора. Параметр *Обмотка с РПН* указывает к какой обмотке – на стороне высокого или низкого напряжения – подключен РПН. Этот параметр также используется для включения и отключения автоматической адаптации положения РПН. Возможные режимы: «Не используется»; «Обмотка 1»; «Обмотка 2».

Параметр *Номин. ответвление* указывает номер ответвления, что, в результате, дает номинальное напряжение (и ток). Когда текущее положение ответвления отклоняется от этого значения, входные значения тока на той стороне, на которой находится РПН, масштабируются, чтобы они соответствовали токам на другой стороне.

Правильность масштабирования определяется количеством шагов, а направление отклонения от номинального ответвления и изменение напряжения в процентах является результатом отклонения одного шага ответвления. Значение в процентах задается с использованием параметра *Шаг регулирования* parameter.

Рабочий диапазон РПН определяется параметрами *Миним. ответвление* и *Максим. ответвление*. Параметр *Миним. ответвление* указывает номер положения ответвления, указывающий минимальное действующее количество витков обмотки на той стороне трансформатора, где подключен РПН. Соответственно, параметр *Максим. ответвление* указывает номер положения, при котором действует максимальное количество витков обмотки.

Параметры *Миним. ответвление* и *Максим. ответвление* помогают алгоритму компенсации положения «узнать», в каком направлении выполняется компенсация. Если же по какой-либо причине данные о текущем положении РПН повреждены, функция автоматической адаптации положения РПН не пытается приспособиться к нереальным значениям положения.

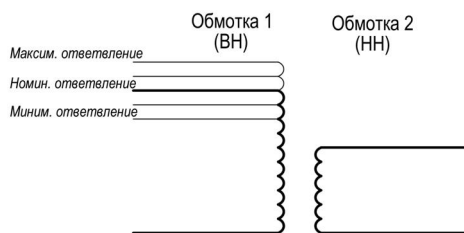


Рисунок 168. Упрощенное представление обмоток высокого и среднего напряжения с указанием параметров *Максим. ответвление*, *Миним. ответвление* и *Номин. ответвление*

Значение положения можно увидеть через меню «Данные мониторинга» МИЧМ или при помощи других инструментов связи функции индикации положения РПН. Если значение

TAP_POS недостоверно, данные о положении в **TAP_POS** не используются, вместо них используется последнее достоверное значение. Кроме того, минимальная чувствительность ступени с торможением, определяемая уставкой *Уставка срабатыв.*, автоматически загружается вместе со всем диапазоном коррекции положения РПН. Новое действующее значение *Основной уставки*:

$$\text{Desensitized Low operate value} = \text{Low operate value} + \text{ABS}(\text{MaxWinding tap} - \text{Minwinding tap}) \times \text{Step of tap} \quad (37)$$

Загруженное значение уставки Основная уставка = Основная уставка + Абс. значение (Максим. ответвление - Миним. ответвление) × Шаг регулирования

Блокировка по второй гармонике

Броски тока намагничивания трансформатора происходят при включении трансформатора. При броске тока намагничивания величина тока может во много раз превышать номинальный ток, а время его уменьшения наполовину может составлять до нескольких секунд. Для дифференциальной защиты бросок тока представляет собой дифференциальный ток, который может привести к срабатыванию защиты практически в каждом случае при подключении трансформатора к сети. Обычно в броске тока намагничивания большое содержание вторых гармоник.

Блокировка ступени с торможением при броске тока намагничивания основана на отношении амплитуды второй гармоники, полученной цифровым путем из дифференциального тока, и амплитуды дифференциального тока основной частоты (I_{d2f} / I_{d1f}).

Данная блокировка также предотвращает нежелательное срабатывание при восстановлении и индуцированных бросках тока намагничивания. При броске тока во время восстановления ток намагничивания защищаемого трансформатора мгновенно возрастает после возврата напряжения к нормальному значению после устранения повреждения за пределами защищаемой зоны. Индуцированный бросок тока вызван включением другого трансформатора, работающего параллельно с защищаемым трансформатором, который уже подключен к сети.

Отношение второй гармоники к основной гармонике может существенно различаться в разных фазах. Особенно при выполнении компенсации схемы соединения трансформатора, подключенного по принципу Ynd1, токи при бросках в двух фазах равны по величине, но противоположны по фазному углу, вычитание фаз при компенсации схемы соединения дает в результате очень небольшое количество второй гармоники.

Чтобы избежать нежелательного отключения фазы со слишком низким отношением второй гармоники к основной частоте, необходимо принять определенные меры. Один из способов – блокировка всех фаз при выполнении условий блокировки по второй гармонике, как минимум в одной фазе. Другой способ – расчет весовых коэффициентов второй гармоники по отношению к основной частоте для каждой фазы с использованием

исходного отношения в каждой фазе. Здесь используется второй вариант. Данные о величине второй гармонике $I_{2H_RAT_x}$ приводятся в меню «Данные мониторинга».

Таким образом, отношение, которое должно использоваться для блокировки по второй гармонике, рассчитывается как средневзвешенное значение на базе отношений, рассчитанных на основании дифференциальных токов трех фаз. Отношение соответствующей фазы – самое большое средневзвешенное значение по сравнению с отношениями двух других фаз. В этом интеллектуальном устройстве, если весовые коэффициенты – четыре, один и один, то коэффициентом соответствующей фазы будет четыре. Срабатывание ступени с торможением соответствующей фазы блокируется, если весовой коэффициент этой фазы выше заданного предела блокировки *2 гармоника, блокир.*, и если блокировка активна, что определяется параметром *Режим торможения*.

Использование отдельной блокировки для каждой фазы и средневзвешенные значения, рассчитанные для отдельных фаз, обеспечивают схему блокировки, которая будет устойчивой к броскам тока при включении.

Если максимальное значение дифференциального тока очень высоко, то есть, если $I_r > 12$ р.и. (относительных единиц), то предел для блокировки по второй гармонике загроубляется (в соответствующей фазе) путем его пропорционального повышения по отношению к максимальному значению дифференциального тока.

При возникновении замыкания внутри защищаемой области при включении силового трансформатора, защиты не имеют задержки на отключение, так как в такой ситуации блокировка по второй гармонике в дифференциальном токе предотвращается отдельным алгоритмом на базе формы сигнала и скорости изменения стандартного броска тока и броска тока в токе повреждения. Этот алгоритм устраняет блокировку при бросках тока только при наличии повреждения в защищенной области.

Обычно при броске тока в дифференциальном токе существуют периоды с небольшим током. Во время таких периодов скорость изменения дифференциального тока также очень мала. При отсутствии этих свойств в дифференциальном токе можно говорить о наличии повреждения в трансформаторе. Этот метод отмены блокировки по второй гармонике используется, например, в случае включения на повреждение. Это свойство включается /отключается при помощи параметра *Деблокир. по 2 гарм.*

Блокировка по пятой гармонике

Запрет срабатывания реле при перевозбуждении основан на отношении пятой гармоники к основной гармонике в дифференциальном токе (I_{d5f}/I_{d1f}). Отношение рассчитывается отдельно для каждой фазы без использования весового коэффициента. Если коэффициент превышает заданное значение уставки *5 гармоника, блокир.*, и если блокировка включена при помощи параметра *Режим торможения*, срабатывание ступени с торможением реле в соответствующей фазе блокируется. Отношения блокировки по пятой гармонике $I_{5H_RAT_x}$ можно просмотреть в данных мониторинга.

При опасных уровнях перенапряжения, которые могут вызвать повреждение трансформатора, блокировку можно автоматически убрать. Если отношение пятой гармоники к основной гармонике в дифференциальном токе превышает значение уставки **5 гармоника, деблок.**, блокировка выводится. Деблокировка может включаться и отключаться также при помощи параметра **Деблокир. по 5 гарм.**

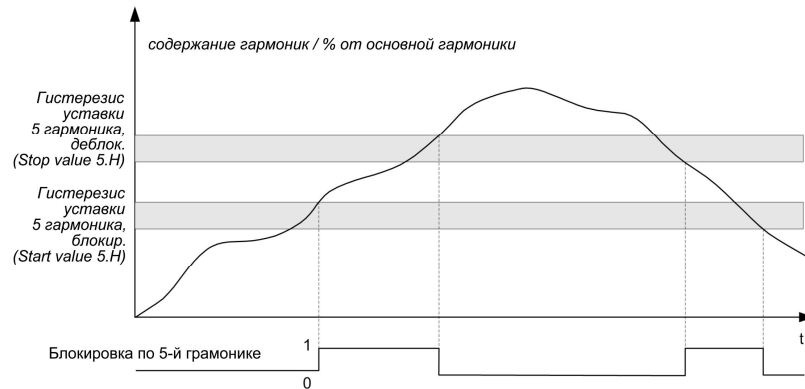


Рисунок 169. Пределы срабатывания блокировки по пятой гармонике, когда функции блокировки/деблокировки включаются при помощи параметра управления **Деблокир. по 5 гарм.**

Чтобы избежать колебаний между значениями «TRUE» и «FALSE», блокировка по пятой гармонике имеет гистерезис. Блокировка также имеет счетчик, который подсчитывает количество последовательных выполнений определенного условия. Если условие не выполняется, значение счетчика уменьшается (если оно >0).

Блокировка по пятой гармонике также имеет гистерезис и счетчик, который считает количество последовательных выполнений условия. При невыполнении условия значение счетчика уменьшается (если оно >0).

Состояние блокировки по форме волны

Чувствительная ступень с торможением всегда может блокироваться при помощи блокировки по форме сигнала. Эту ступень нельзя блокировать при помощи параметра **Режим торможения**. Этот алгоритм состоит из двух частей. Первая часть предназначена для внешних повреждений, тогда как вторая часть используется при бросках тока. Этот алгоритм имеет критерии, учитывающие периоды малых токов при бросках тока, где также контролируется дифференциальный ток (не являющийся производным).

Чувствительная ступень с торможением

Дифференциальная токовая защита должна быть выполнена с торможением, так как дифференциальный ток может возникать не в результате повреждения трансформатора (или генератора), а в результате других явлений.

В защите трансформатора ложный дифференциальный ток может появляться в результате:

- Погрешностей ТТ

- Изменения положения РПН (при отсутствии автоматической компенсации)
- Тока холостого хода трансформатора
- Бросков тока при включении трансформатора
- Перевозбуждения трансформатора при перенапряжении
- Понижения частоты
- Насыщения ТТ при высоких токах, проходящих через трансформатор.

Дифференциальный ток, вызванный погрешностями ТТ или изменением положения РПН, увеличивается пропорционально току нагрузки.

В защите генераторов ложные дифференциальные токи возникают по следующим причинам:

- Погрешности ТТ
- Насыщение ТТ при высоких токах, проходящих через генератор.

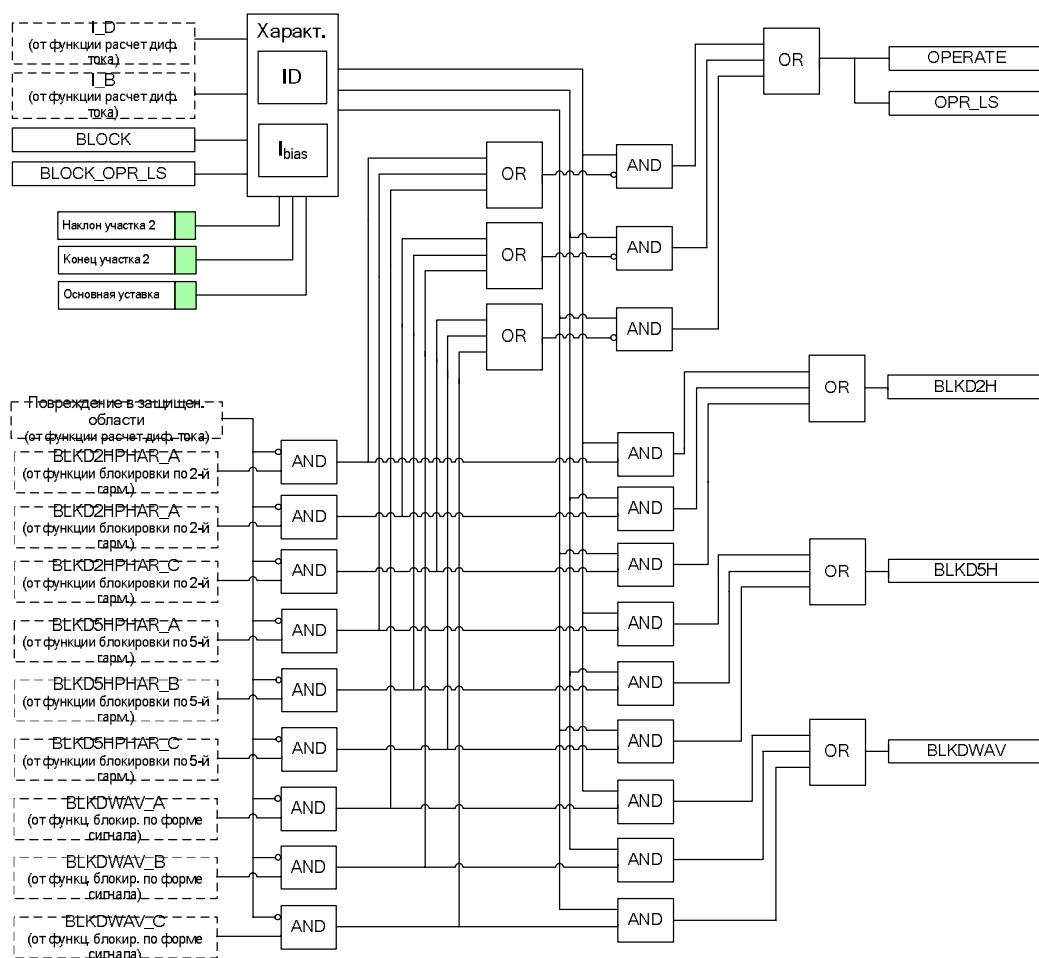


Рисунок 170. Логика срабатывания ступени с торможением

Высокие значения токов, проходя через защищаемый объект, могут быть вызваны короткими замыканиями за пределами защищаемой области, большими токами от трансформатора при запуске двигателя или бросками тока при включении трансформатора. Следовательно, срабатывание дифференциальной защиты по току нагрузки тормозится. В дифференциальной защите с торможением, чем выше сквозной ток, тем выше дифференциальный ток, необходимый для срабатывания защиты.

Характеристика срабатывания ступени с торможением определяется уставкой *Основная уставка*, *Наклон 2 участка* и уставкой второй точки наклона характеристики срабатывания *Конец 2 участка* (первая поворотная точка и наклон последней части характеристики являются фиксированными). Уставки одинаковы для всех фаз. Когда дифференциальный ток превышает значение срабатывания, определяемое заданной характеристикой, дифференциальная функция становится активной. Если дифференциальный ток превышает величину срабатывания в течение соответствующего периода времени, который в 1,1 раза больше периода основной частоты, активируется выход **OPR_LS**. Выход **OPERATE** всегда становится активным после активации выхода **OPR_LS**.

Эту ступень можно блокировать внутренним путем, путем торможения по второй или пятой гармонике, или при помощи специальных алгоритмов, обнаруживающих броски тока или насыщение трансформатора тока при внешних повреждениях. Когда срабатывание ступени с торможением блокируется функцией блокировки по второй гармонике, выход **BLKD2H** становится активным.

Когда срабатывание ступени с торможением блокируется функцией блокировки по пятой гармонике, становится активным выход **BLKD5H**. Соответственно, когда срабатывание ступени с торможением блокируется функцией блокировки по форме сигнала, становится активным выход **BLKDWAV**, в зависимости от данных по фазам.

Выходы срабатывания ступени с торможением могут блокироваться внешними управляющими сигналами **BLK_OPR_LS** или **BLOCK**.

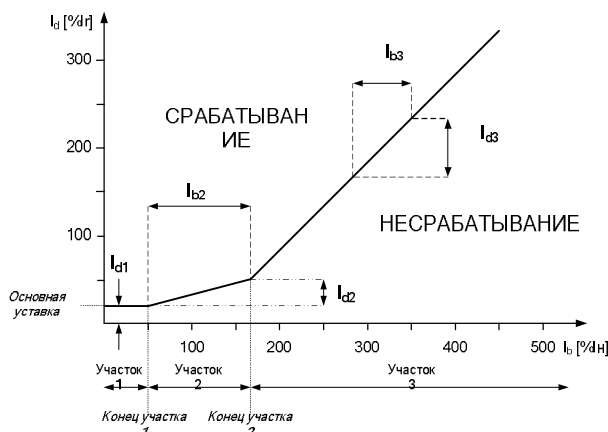


Рисунок 171.

Характеристика срабатывания функции дифференциальной защиты трансформатора с торможением TR2PTDF

Основная уставка ступени с торможением дифференциальной защиты определяется в соответствии со следующей характеристикой срабатывания:

$$\text{Основная уставка} = Id1$$

Наклон участка 2 определяется соответственно:

$$\text{Наклон участка 2} = Id2/Ib2 \times 100\% \quad (\text{Уравнение 38})$$

Вторая поворотная точка *Конец 2 участка* может устанавливаться в диапазоне от 100% до 500%.

Наклон кривой срабатывания дифференциальной функции меняется в различных частях диапазона.

- На участке 1 (где $0 \% I_{ном} < I_b < \text{Конец участка 1}$, *Конец участка 1* – фиксированное значение, 50 % от $I_{ном}$), дифференциальный ток, требуемый для отключения, является постоянной величиной. Значение дифференциального тока – такое же, как значение уставки *Основная уставка*, выбранной для этой функции. Уставка *Основная уставка*, в принципе, допускает ток холостого хода трансформатора и небольшие погрешности трансформаторов тока, но она также может использоваться для воздействия на общий уровень характеристики срабатывания. При номинальном токе потери при холостом токе силового трансформатора составляют около 0,2 %. Если напряжение питания силового трансформатора внезапно увеличится в результате аномальных режимов при работе, также увеличивается ток намагничивания трансформатора. В целом, плотность магнитного потока трансформатора довольно высока при номинальном напряжении, и увеличение напряжения на несколько процентов приводит к увеличению тока намагничивания на десятки доли процента. Это необходимо учитывать в уставке *Основная уставка*.
- Участок 2, где $\text{Конец участка 1} < I_b/I_{ном} < \text{Конец участка 2}$, называемый областью воздействия уставки *Конец участка 2*. На этом отрезке изменение пускового значения влияет на наклон характеристики, то есть, насколько большим должно быть изменение дифференциального тока, требуемого для отключения, по сравнению с изменением тока нагрузки. В пусковом значении должны учитываться погрешности ТТ и изменения положения РПН трансформатора (при отсутствии компенсации). Нужно избегать использования слишком больших значений, так как чувствительность защиты для определения межвитковых КЗ зависит, в основном, от пускового значения.
- На участке 3, где $I_b/I_{ном} > \text{Конец участка 2}$, наклон характеристики является постоянной величиной. Наклон составляет 100%, что означает, что увеличение дифференциального тока равно соответствующему увеличению тока торможения.

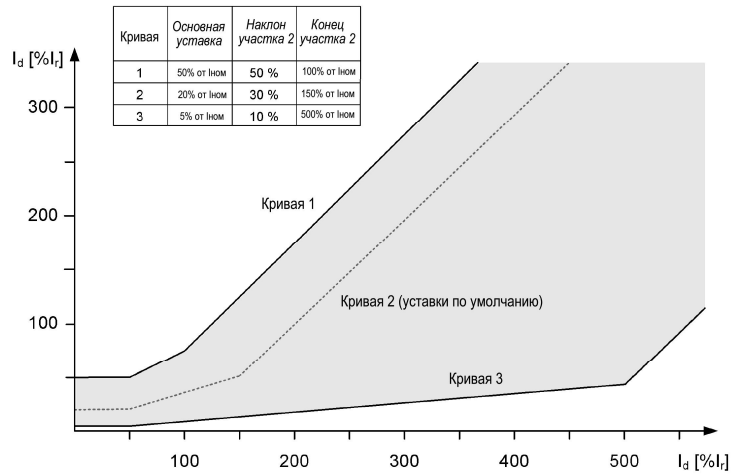


Рисунок 172. Диапазон уставок для ступени с торможением

Если ток торможения опустится ниже 30% от дифференциального тока, или фазный угол между фазными токами обмотки 1 и обмотки 2 будет близок к нулю (в нормальной ситуации разность фаз составляет 180 градусов), то наиболее вероятно, что в зоне действия дифференциальной защиты TR2PTDF произошло повреждение. В этом случае внутренние блокирующие сигналы ступени с торможением запрещаются.

Отсечка

Срабатывания грубой ступени (отсечки) можно вводить/выводить при помощи параметра *Ввод грубой ступени*. Соответствующие значения этого параметра – «TRUE» и «FALSE».

Действие отсечки не тормозится. При срабатывании отсечки выход **OPR_HS** становится активным, когда амплитуда составляющей основной частоты дифференциального тока превышает заданное значение уставки *Уставка дифотсечки*, или когда мгновенное значение дифференциального тока превышает в 2,5 раза значение уставки *Уставка дифотсечки*. Коэффициент 2,5 ($=1,8 \times \sqrt{2}$) получен на основании максимального несимметричного тока повреждения.

Если тормозной ток мал по сравнению с дифференциальным током, или если фазный угол между фазными токами обмотки 1 и обмотки 2 токов близок к нулю (в нормальной ситуации, разность фаз составляет 180 градусов), то повреждение, скорее всего, произошло в области, защищенной интеллектуальным устройством дифференциальной защиты. В этом случае значение срабатывания, установленное для грубой ступени (отсечки), автоматически уменьшается вдвое, и сигналы внутренней блокировки ступени с торможением запрещаются.

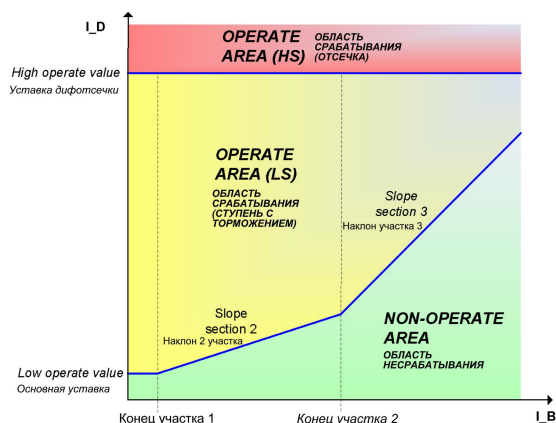


Рисунок 173. Характеристика срабатывания защиты. (LS) - ступень с торможением, (HS) – отсечка

Выход **OPERATE** становится активным всегда, когда активен выход **OPR_HS**.

Сигналы внутренней блокировки дифференциальной защиты не предотвращают сигнал срабатывания дифференциальной отсечки. Когда требуется, выходы срабатывания отсечки могут блокироваться внешними управляющими сигналами **BLK_OPR_HS** и **BLOCK**.

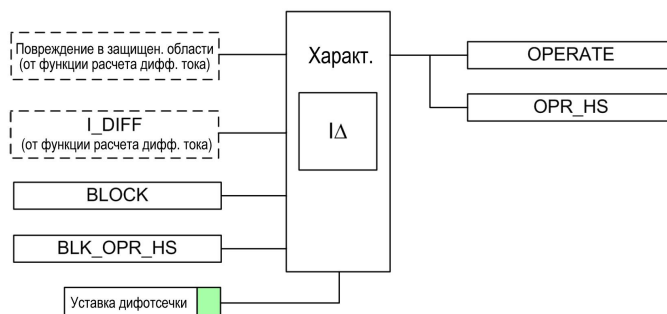


Рисунок 174. Логика срабатывания отсечки

Сброс сигналов блокировки (деблокирование)

Все три блокирующих сигнала, т.е. сигнал блокировки по форме сигнала, по второй и пятой гармонике, имеют счетчик, который удерживает блокировку в течение определенного времени после прекращения условий блокировки. Деблокирование происходит после того как истечет время, определяемое этим счетчиком. Это стандартный вариант деблокирования.

Сигналы блокировки могут сбрасываться моментально, если измерение показало очень высокий дифференциальный ток, или если угол сдвига фаз сравниваемых токов (угол между сравниваемыми токами) близок к нулю после выполнения автоматического согласования защиты по векторным группам. Однако это не сбрасывает счетчики, удерживающие блокировку, поэтому сигналы блокировки могут вернуться, после того как эти условия больше не будут действительными.

Функция внешней блокировки

Функция TR2PTDF имеет три входа для блокировки.

- Когда активен вход **BLOCK** («ИСТИНА»), действие функции блокируется, но измерение выходных сигналов обновляется.
- Когда активен вход **BLK_OPR_LS** («ИСТИНА»), функция TR2PTDF срабатывает стандартно, за исключением случаев, когда выход **OPR_LS** неактивен или активируется при любых обстоятельствах. Кроме того, выход **OPERATE** может активироваться только быстродействующей ступенью (отсечкой) (если она также не заблокирована).
- Когда активен вход **BLK_OPR_HS** («ИСТИНА»), функция TR2PTDF срабатывает стандартно, за исключением случаев, когда выход **OPR_HS** неактивен или активируется при любых обстоятельствах. Кроме того, выход **OPERATE** может активироваться только ступенью с торможением (если она также не заблокирована).

4.3.2.5 Назначение

TR2PTDF – это функция защиты с абсолютной селективностью, которая служит в качестве основной защиты трансформаторов в случае повреждения обмотки. В зону дифференциальной защиты входит трансформатор, шины или кабели между трансформатором тока и силовым трансформатором. Когда для устройства дифференциальной защиты используются ТТ, встроенные во ввод, в зону защиты не входят шины или кабели между выключателем и силовым трансформатором.

На некоторых подстанциях имеется дифференциальная токовая защита шин. Защита шин включает шины или кабели между выключателем и силовым трансформатором. Внутренние КЗ в электрических цепях – очень серьезные повреждения, которые могут привести к прямому ущербу. Короткие замыкания и замыкания на землю в обмотках и на зажимах обычно и обнаруживаются дифференциальной защитой. Также обнаруживаются межвитковые КЗ, представляющие собой перекрытие между проводниками одной обмотки, если закорачивается достаточное для определения количество витков. Межвитковые замыкания – самые сложные для обнаружения защитами повреждения обмотки трансформатора. Небольшое межвитковое КЗ, затрагивающее всего лишь несколько витков обмотки, может в результате привести к появлению тока, который невозможно определить до тех пор, пока не разовьется КЗ на землю. Следовательно, важно, чтобы дифференциальная защита имела большой уровень чувствительности и была возможность использования чувствительной уставки без непредусмотренного срабатывания при внешних повреждениях.

Исключительно важно как можно скорее отключить поврежденный трансформатор. Так как функция TR2PTDF представляет собой функцию защиты с абсолютной селективностью, она предназначена для быстрого отключения, обеспечивая, таким

образом, селективное отключение поврежденного трансформатора. Функция TR2PTDF никогда не должна срабатывать при повреждениях за пределами защищаемой зоны.

Функция TR2PTDF сравнивает ток на входе в трансформатор с токами на выходе трансформатора. Правильный анализ условий повреждения функцией TR2PTDF должен включать изменения напряжений, токов и фазных углов. Традиционные функции дифференциальной защиты трансформатора требуют наличия вспомогательных трансформаторов для коррекции фазового сдвига и коэффициента трансформации. Алгоритм дифференциальной защиты на базе использования цифрового микропроцессора, реализованный в функции TR2PTDF, обеспечивает компенсацию коэффициента трансформации и фазового сдвига внутренним путем, при помощи программного обеспечения.

При наличии правильной компенсации коэффициента трансформации и фазового сдвига при нормальной нагрузке или при внешних повреждениях дифференциальный ток теоретически должен быть равен нулю. Однако, кроме внутренних повреждений, существует несколько различных явлений, которые могут вызвать появление нежелательных или ложных дифференциальных токов. Основными причинами появления таких токов могут быть:

- Несоответствие из-за изменения положения РПН
- Различные характеристики, нагрузки и рабочие условия трансформаторов тока
- Токи нулевой последовательности, протекающие только с одной стороны силового трансформатора
- Стандартные токи намагничивания
- Броски токов намагничивания
- Токи намагничивания при перевозбуждении.

Функция TR2PTDF предназначена, главным образом, для защиты двухобмоточных трансформаторов. Функция TR2PTDF также может использоваться для защиты блоков генератор-трансформатор, а также для защиты коротких кабельных и воздушных линий. Если расстояние между точками измерения относительно большое, могут потребоваться промежуточные ТТ, чтобы снизить нагрузку на трансформаторы тока.

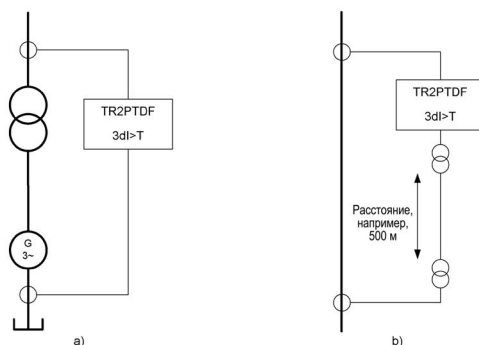


Рисунок 175. Дифференциальная защита блока «генератор-трансформатор» и короткой кабельной/воздушной линии

Функция TR2PTDF также может использоваться для защиты трехобмоточных трансформаторов, или для защиты двухобмоточных трансформаторов с двумя отходящими фидерами.

На стороне силового трансформатора, на которой находится два фидера, ток двух ТТ в каждой фазе должен суммироваться путем параллельного подключения двух ТТ каждой фазы. Обычно это требует установки промежуточных ТТ для обработки векторной группы и/или несоответствия между двумя обмотками/фидерами.

Номинальная предельная кратность промежуточных ТТ должна отвечать тем же требованиям, что и таковая основных ТТ. Обратите внимание, что промежуточные ТТ налагают дополнительную нагрузку на основные ТТ.

Наиболее важным правилом в таких случаях применения является следующее: как минимум 75% мощности КЗ должно подаваться на ту сторону силового трансформатора, на которой имеется только одно подключение к интеллектуальному устройству.

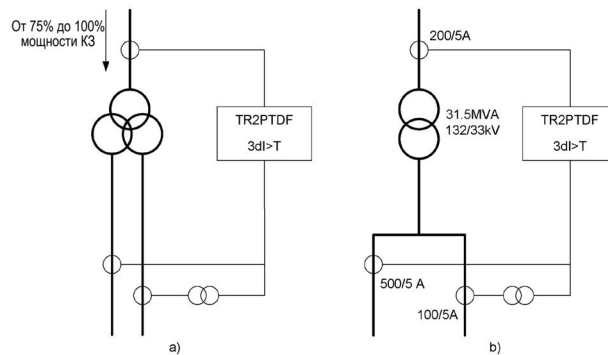


Рисунок 176. Дифференциальная защита трехобмоточного трансформатора и трансформатора с двумя отходящими фидерами

Коррекция коэффициента трансформации ТТ

Вторичные токи ТТ часто отличаются от номинального тока при номинальной нагрузке силового трансформатора. Коэффициенты трансформации ТТ можно скорректировать с обеих сторон силового трансформатора при помощи уставок *Корр.Ктт, обмотка 1* и *Корр.Ктт, обмотка 2*.

Сначала необходимо рассчитать номинальную нагрузку силового трансформатора на обеих сторонах, когда известна полная мощность и междуфазное напряжение.

$$I_{nT} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} \quad (39)$$

I_{nT}	Номинальная нагрузка силового трансформатора
S_n	Номинальная мощность силового трансформатора
U_n	Номинальное междуфазное напряжение

Далее необходимо рассчитать уставку коррекции коэффициента трансформации ТТ.

$$CT_{ratio_correction} = \frac{I_{1n}}{I_{nT}} \quad (40)$$

I_{1n} Номинальный первичный ток трансформатора тока

После коррекции коэффициента трансформации ТТ значения измеренных токов и соответствующих уставок функции TR2PTDF выражаются как кратное номинального тока силового трансформатора $I_{ном}$ ($\times I_{ном}$) или в виде процентного значения $I_{ном}$ ($\%I_{ном}$).

Пример

Номинальная мощность трансформатора составляет 25 МВ·А, коэффициент трансформации трансформаторов тока на стороне 110 кВ – 300/1, а на стороне 21 кВ – 1000/1.

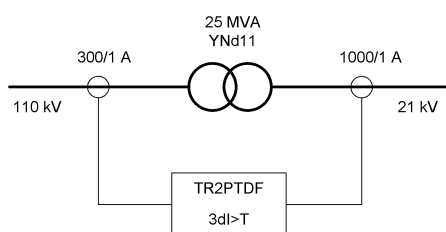


Рисунок 177. Пример дифференциальной защиты двухобмоточного силового трансформатора

Номинальная нагрузка трансформатора рассчитывается так:

На стороне ВН: $I_{nT_Wnd1} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А} / (1.732 \times 110 \text{ кВ}) = 131,2 \text{ А}$

На стороне НН: $I_{nT_Wnd2} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А} / (1.732 \times 21 \text{ кВ}) = 687,3 \text{ А}$

Уставки:

Корр.Ктт, обмотка 1 = $300 \text{ А} / 131,2 \text{ А} = "2,29"$

Корр.Ктт, обмотка 2 = $1000 \text{ А} / 687,3 \text{ А} = "1,45"$

Согласование защиты по векторным группам и устранение составляющей нулевой последовательности

Для векторной группы силового трансформатора выполняется численное согласование на сторонах высокого и низкого напряжения при помощи уставок *Обмотка 1*, *Обмотка 2* и *Группа соединения*. Таким образом, если в защищенной зоне находится только силовой трансформатор, не требуется промежуточных ТТ. В основе согласования – сдвиг фаз и цифровое соединение треугольником в устройстве. Если нейтраль силового трансформатора, соединенного звездой, заземлена, то любое замыкание на землю в сети воспринимается интеллектуальным устройством как дифференциальный ток. Устранение составляющей нулевой последовательности может выбираться для этой обмотки при помощи параметра *Вычитание I_0* .

Таблица 266. Параметры настройки TR2PTDF в зависимости от группы соединения обмоток трансформатора и вычитания составляющей нулевой последовательности

Схема соединения обмоток	Обмотка 1	Обмотка 2	Номер группы соединения	Вычитание I_0
Yy0Y	Y	y	Группа 0	Нет необходимости
YNy0	YN	y	Группа 0	Сторона ВН
YNyn0	YN	yn	Группа 0	Сторона ВН и НН
Yyn0	Y	yn	Группа 0	Сторона НН
Yy2	Y	y	Группа 2	Нет необходимости
YNyn2	YN	yn	Группа 2	Нет необходимости
Yyn2	Y	yn	Группа 2	Нет необходимости
Yy4	Y	y	Группа 4	Нет необходимости
YNy4	YN	y	Группа 4	Нет необходимости
YNyn4	YN	yn	Группа 4	Нет необходимости
Yyn4	Y	yn	Группа 4	Нет необходимости
Yy6	Y	y	Группа 6	Нет необходимости
YNyn6	YN	Y	Группа 6	Сторона ВН
YNyn6	YN	yn	Группа 6	Сторона ВН и НН
Yyn6	Y	yn	Группа 6	Сторона НН
Yy8	Y	y	Группа 8	Нет необходимости
YNy8	YN	y	Группа 8	Нет необходимости
YNyn8	YN	yn	Группа 8	Нет необходимости
Yyn8	Y	yn	Группа 8	Нет необходимости
Yy10	Y	Y	Группа 10	Нет необходимости
YNy10	YN	y	Группа 10	Нет необходимости
YNyn10	YN	yn	Группа 10	Нет необходимости
Yyn10	Y	yn	Группа 10	Нет необходимости
Yd1	Y	d	Группа 1	Нет необходимости
YNd1	YN	D	Группа 1	Нет необходимости
Yd5	Y	d	Группа 5	Нет необходимости
YNd5	YN	d	Группа 5	Нет необходимости
Yd7	Y	d	Группа 7	Нет необходимости
YNd7	YN	d	Группа 7	Нет необходимости
Yd11	Y	d	Группа 11	Нет необходимости
YNd11	YN	d	Группа 11	Нет необходимости
Dd0	D	d	Группа 0	Нет необходимости
Dd2	D	d	Группа 2	Нет необходимости
Dd4	D	d	Группа 4	Нет необходимости
Dd6	D	d	Группа 6	Нет необходимости
Dd8	D	d	Группа 8	Нет необходимости
Dd10	D	d	Группа 10	Нет необходимости
Dy1	D	y	Группа 1	Нет необходимости
Dyn1	D	yn	Группа 1	Нет необходимости

Схема соединения обмоток	Обмотка 1	Обмотка 2	Номер группы соединения	Вычитание I_0
Dy5	D	y	Группа 5	Нет необходимости
Dyn5	D	yn	Группа 5	Нет необходимости
Dy7	D	y	Группа 7	Нет необходимости
Dyn7	D	yn	Группа 7	Нет необходимости
Dy11	D	y	Группа 11	Нет необходимости
Dyn11	D	yn	Группа 11	Нет необходимости
Yz1	Y	z	Группа 1	Нет необходимости
YNz1	YN	z	Группа 1	Нет необходимости
YNzn1	YN	zn	Группа 1	Сторона НН
Yzn1	Y	zn	Группа 1	Нет необходимости
Yz5	Y	z	Группа 5	Нет необходимости
YNz5	YN	z	Группа 5	Нет необходимости
YNzn5	YN	zn	Группа 5	Сторона НН
Yzn5	Y	zn	Группа 5	Нет необходимости
Yz7	Y	z	Группа 7	Нет необходимости
YNz7	YN	z	Группа 7	Нет необходимости
YNzn7	YN	zn	Группа 7	Сторона НН
Yzn7	Y	zn	Группа 7	Нет необходимости
Yz11	Y	z	Группа 11	Нет необходимости
YNz11	YN	z	Группа 11	Нет необходимости
YNzn11	YN	zn	Группа 11	Сторона НН
Yzn11	Y	zn	Группа 11	Нет необходимости
Zy1	Z	y	Группа 1	Нет необходимости
ZNyn1	ZN	yn	Группа 1	Нет необходимости
ZNy1	ZN	y	Группа 1	Сторона ВН
Zy5	Z	y	Группа 1	Нет необходимости
Zyn5	Z	yn	Группа 5	Нет необходимости
Zyn5	Z	yn	Группа 5	Нет необходимости
ZNyn5	ZN	yn	Группа 5	Сторона ВН
ZNy5	ZN	y	Группа 5	Нет необходимости
Zy7	Z	y	Группа 7	Нет необходимости
Zyn7	Z	yn	Группа 7	Нет необходимости
ZNyn7	ZN	yn	Группа 7	Сторона ВН
ZNy7	ZN	y	Группа 7	Нет необходимости
Zy11	Z	y	Группа 11	Нет необходимости
Zyn11	Z	yn	Группа 11	Нет необходимости
ZNyn11	ZN	yn	Группа 11	Сторона ВН
ZNy11	ZN	y	Группа 11	Нет необходимости
Dz0	D	z	Группа 0	Нет необходимости
Dzn0	D	zn	Группа 0	Сторона НН
Dz2	D	z	Группа 2	Нет необходимости
Dzn2	D	z	Группа 2	Нет необходимости

Схема соединения обмоток	Обмотка 1	Обмотка 2	Номер группы соединения	Вычитание I_0
Dz4	D	z	Группа 4	Нет необходимости
Dzn4	D	zn	Группа 4	Нет необходимости
Dz6	D	z	Группа 6	Нет необходимости
Dzn6	D	zn	Группа 6	Сторона НН
Dz8	D	z	Группа 8	Нет необходимости
Dzn8	D	zn	Группа 8	Нет необходимости
Dz10	D	z	Группа 10	Нет необходимости
Dzn10	D	zn	Группа 10	Нет необходимости
Zd0	Z	d	Группа 0	Нет необходимости
ZNd0	ZN	d	Группа 0	Сторона ВН
Zd2	Z	d	Группа 2	Нет необходимости
ZNd2	ZN	d	Группа 2	Нет необходимости
Zd4	Z	d	Группа 4	Нет необходимости
ZNd4	ZN	d	Группа 4	Нет необходимости
Zd6	Z	d	Группа 6	Нет необходимости
ZNd6	ZN	d	Группа 6	Сторона ВН
Zd8	Z	d	Группа 8	Нет необходимости
ZNd8	ZN	d	Группа 8	Нет необходимости
Zd10	Z	d	Группа 10	Нет необходимости
ZNd10	ZN	d	Группа 10	Нет необходимости
Zz0	Z	z	Группа 0	Нет необходимости
ZNz0	ZN	z	Группа 0	Сторона ВН
ZNzn0	ZN	zn	Группа 0	Сторона ВН и НН
Zzn0	Z	zn	Группа 0	Сторона НН
Zz2	Z	z	Группа 2	Нет необходимости
ZNz2	ZN	z	Группа 2	Нет необходимости
ZNzn2	ZN	zn	Группа 2	Нет необходимости
Zzn2	Z	zn	Группа 2	Нет необходимости
Zz4	Z	z	Группа 4	Нет необходимости
ZNz4	ZN	z	Группа 4	Нет необходимости
ZNzn4	ZN	zn	Группа 4	Нет необходимости
Zzn4	Z	zn	Группа 4	Нет необходимости
Zz6	Z	z	Группа 6	Нет необходимости
ZNz6	ZN	z	Группа 6	Сторона ВН
ZNzn6	ZN	zn	Группа 6	Сторона ВН и НН
Zzn6	Z	zn	Группа 6	Сторона НН
Zz8	Z	z	Группа 8	Нет необходимости
ZNz8	ZN	z	Группа 8	Нет необходимости
ZNzn8	ZN	zn	Группа 8	Нет необходимости
Zzn8	Z	zn	Группа 8	Нет необходимости
Zz10	Z	z	Группа 10	Нет необходимости
ZNz10	ZN	z	Группа 10	Нет необходимости

Схема соединения обмоток	Обмотка 1	Обмотка 2	Номер группы соединения	Вычитание I_0
ZNzn10	ZN	zn	Группа 10	Нет необходимости
Zzn10	Z	zn	Группа 10	Нет необходимости
Yy0	Y	y	Группа 0	Нет необходимости
YNy0	YN	y	Группа 0	Сторона ВН
YNyn0	YN	yn	Группа 0	Сторона ВН и НН
Yyn0	Y	yn	Группа 0	Сторона НН
Yy2	Y	y	Группа 2	Нет необходимости
YNy2	YN	y	Группа 2	Нет необходимости
YNyn2	YN	yn	Группа 2	Нет необходимости
Yyn2	Y	yn	Группа 2	Нет необходимости
Yy4	Y	y	Группа 4	Нет необходимости
YNy4	YN	y	Группа 4	Нет необходимости
YNyn4	YN	yn	Группа 4	Нет необходимости
Yyn4	Y	yn	Группа 4	Нет необходимости
Yy6	Y	y	Группа 6	Нет необходимости
YNy6	YN	y	Группа 6	Сторона ВН
YNyn6	YN	yn	Группа 6	Сторона ВН и НН
Yyn6	Y	yn	Группа 6	Сторона НН
Yy8	Y	y	Группа 8	Нет необходимости
YNy8	YN	y	Группа 8	Нет необходимости
YNyn8	YN	yn	Группа 8	Нет необходимости
Yyn8	Y	yn	Группа 8	Нет необходимости
Yy10	Y	y	Группа 10	Нет необходимости
YNy10	YN	y	Группа 10	Нет необходимости
YNyn10	YN	yn	Группа 10	Нет необходимости
Yyn10	Y	yn	Группа 10	Нет необходимости
Yd1	Y	d	Группа 1	Нет необходимости
YNd1	YN	d	Группа 1	Нет необходимости
Yd5	Y	d	Группа 5	Нет необходимости
YNd5	YN	d	Группа 5	Нет необходимости
Yd7	Y	d	Группа 7	Нет необходимости
YNd7	YN	d	Группа 7	Нет необходимости
Yd11	Y	d	Группа 11	Нет необходимости
YNd11	YN	d	Группа 11	Нет необходимости
Dd0	D	d	Группа 0	Нет необходимости
Dd2	D	d	Группа 2	Нет необходимости
Dd4	D	d	Группа 4	Нет необходимости
Dd6	D	d	Группа 6	Нет необходимости
Dd8	D	d	Группа 8	Нет необходимости
Dd10	D	d	Группа 10	Нет необходимости
Dy1	D	y	Группа 1	Нет необходимости
Dyn1	D	yn	Группа 1	Нет необходимости

Схема соединения обмоток	Обмотка 1	Обмотка 2	Номер группы соединения	Вычитание I_0
Dy5	D	y	Группа 5	Нет необходимости
Dyn5	D	yn	Группа 5	Нет необходимости
Dy7	D	y	Группа 7	Нет необходимости
Dyn7	D	yn	Группа 7	Нет необходимости
Dy11	D	y	Группа 11	Нет необходимости
Dyn11	D	yn	Группа 11	Нет необходимости
Yz1	Y	z	Группа 1	Нет необходимости
YNz1	YN	z	Группа 1	Нет необходимости
YNzn1	YN	zn	Группа 1	Сторона НН
Yzn1	Y	zn	Группа 1	Нет необходимости
Yz5	Y	z	Группа 5	Нет необходимости
YNz5	YN	z	Группа 5	Нет необходимости
YNzn5	YN	zn	Группа 5	Сторона НН
Yzn5	Y	zn	Группа 5	Нет необходимости
Yz7	Y	z	Группа 7	Нет необходимости
YNz7	YN	z	Группа 7	Нет необходимости
YNzn7	YN	zn	Группа 7	Сторона НН
Yzn7	Y	zn	Группа 7	Нет необходимости
Yz11	Y	z	Группа 11	Нет необходимости
YNz11	YN	z	Группа 11	Нет необходимости
YNzn11	YN	zn	Группа 11	Сторона НН
Yzn11	Y	zn	Группа 11	Нет необходимости
Zy1	Z	y	Группа 1	Нет необходимости
Zyn1	Z	yn	Группа 1	Нет необходимости
ZNyn1	ZN	yn	Группа 1	Сторона ВН
ZNy1	ZN	y	Группа 1	Нет необходимости
Zy5	Z	y	Группа 5	Нет необходимости
Zyn5	Z	yn	Группа 5	Нет необходимости
ZNyn5	ZN	yn	Группа 5	Сторона ВН
ZNy5	ZN	y	Группа 5	Нет необходимости
Zy7	Z	y	Группа 7	Нет необходимости
Zyn7	Z	yn	Группа 7	Нет необходимости
ZNyn7	ZN	yn	Группа 7	Сторона ВН
ZNy7	ZN	y	Группа 7	Нет необходимости
Yy0	Y	y	Группа 0	Нет необходимости

Ввод в действие

Правильность уставок параметров *Тип подключения ТТ*, *Обмотка 1*, *Обмотка 2* и *Группа соединения* для компенсации группы соединения можно проверить путем контроля величин углов $I_ANGL_A1_B1$, $I_ANGL_B1_C1$, $I_ANGL_C1_A1$, $I_ANGL_A2_B2$, $I_ANGL_B2_C2$, $I_ANGL_C2_A2$, $I_ANGL_A1_A2$,

$I_ANGL_B1_B2$ и $I_ANGL_C1_C2$ при подаче тока в трансформатор. Величины углов рассчитываются на базе компенсированных токов. Смотрите описание сигналов в таблице «Данные мониторинга».

При наличии на станции трансформатора собственных нужд, его можно использовать для подачи тока на обмотки стороны высокого напряжения, тогда как обмотки на стороне низкого напряжения закорачиваются. Таким образом, ток может проходить и по обмоткам высокого напряжения, и по обмоткам низкого напряжения. Испытательные сигналы можно получить также и другим путем. Минимальный ток, предусмотренный для мониторинга фазного тока и угла, составляет $0,015 I_{ном}$.

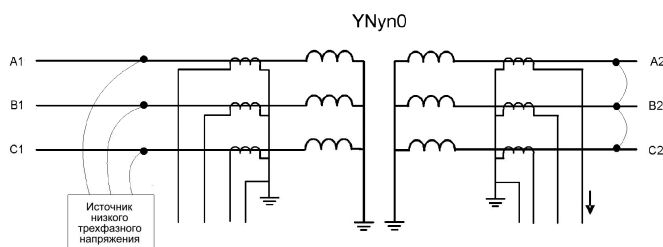


Рисунок 178. Испытательная схема низкого напряжения. Источником низкого трехфазного напряжения может быть стационарный трансформатор собственных нужд

Пример

Управляющий параметр *Обмотка с РПН* должен устанавливаться в значение «Не используется», чтобы убедиться, что значения контролируемого тока не масштабируются функцией автоматической адаптации положения РПН. Когда требуются только угловые значения, параметр *Обмотка с РПН* не требуется, так как на величины углов адаптация положения РПН никакого воздействия не оказывает.

При подаче токов в обмотку высокого напряжения, величины углов $I_ANGL_A1_B1$, $I_ANGL_B1_C1$, $I_ANGL_C1_A1$, $I_ANGL_A2_B2$, $I_ANGL_B2_C2$ и $I_ANGL_C2_A2$ должны иметь значение +120 градусов. В противном случае порядок чередования фаз может быть неправильным или полярность трансформатора тока может отличаться от полярности других трансформаторов тока на той же стороне.

Если величины углов имеют значение $I_ANGL_A1_B1$, $I_ANGL_B1_C1$ и $I_ANGL_C1_A1$ -120 градусов, порядок чередования фаз будет неверным на стороне высокого напряжения. Если величины углов $I_ANGL_A2_B2$, $I_ANGL_B2_C2$ и $I_ANGL_C2_A2$ имеют значение -120 градусов, порядок чередования фаз будет неправильным на стороне низкого напряжения. Если величины углов $I_ANGL_A1_B1$, $I_ANGL_B1_C1$ и $I_ANGL_C1_A1$ не имеют одинакового значения +120 градусов, полярность трансформатора тока может быть неправильной. Например, если полярность ТТ при измерении фазы IL2 неверная, $I_ANGL_A1_B1$ показывает значение -60 градусов, $I_ANGL_B1_C1$ – значение -60 градусов, а $I_ANGL_C1_A1$ – значение +120 градусов.

Когда порядок чередования фаз и значения величин углов правильны, углы **I_ANGL_A1_A2**, **I_ANGL_B1_B2** и **I_ANGL_C1_C2** обычно имеют значение 0 градусов. Может быть несколько причин, по которым эти значения могут отличаться от нуля градусов. Если значения равны ± 180 градусов, Возможно, неправильно задано значение параметра *Тип подключения ТТ*. Если угловые значения другие, возможно, неправильно задан параметр *Группа соединения*. Еще одна причина заключается в том, что комбинация параметров *Обмотка 1* и *Обмотка 2* не соответствует параметру *Группа соединения*. Это означает, что полученная группа соединения не поддерживается.

Пример

Если параметр *Обмотка 1* установлен в значение "Y", Параметр *Обмотка 2* – в значение "y", а параметр *Группа соединения* – в значение "Группа 1", полученная группа "Yy1" представляет собой комбинацию, которая не поддерживается. Так же, если параметр *Обмотка 1* установлен в значение "Y", *Обмотка 2* – в значение "d", а *Группа соединения* – в значение "Группа 0", полученная группа соединения "Yd0" представляет собой комбинацию, которая не поддерживается. Все комбинации параметров *Обмотка 1*, *Обмотка 2* и *Группа соединения*, которые не поддерживаются, в результате приведут к выводу используемой по умолчанию группы соединения "Yy0".

Рекомендации по выбору трансформаторов тока

Чем важнее защищаемый объект, тем большее внимание следует уделять трансформаторам тока. Обычно невозможно выбрать трансформатор тока таким образом, чтобы он повторял токи с высоким уровнем апериодических составляющих без насыщения при высоком магнитном потоке. Функция TR2PTDF срабатывает надежно даже при частичном насыщении трансформаторов тока.

Рекомендуемый класс точности трансформаторов тока, используемый с функцией TR2PTDF – 5P, в котором предел токовой погрешности при номинальном первичном токе составляет 1%, а предельное значение сдвига фаз составляет 60 минут. Предел полной погрешности трансформатора при предельном первичном токе для данной номинальной погрешности составляет 5%.

Приблизительное значение номинальной предельной кратности F_a , соответствующее фактической нагрузке трансформатора тока, можно рассчитать на базе номинальной предельной кратности $F_{ном}$ при номинальной нагрузке $S_{ном}$, внутренней нагрузке S_{in} и фактической нагрузке S_a трансформатора тока.

$$F_a = F_n \times \frac{S_{in} + S_n}{S_{in} + S_a} \quad (41)$$

F_a Приблизительное значение номинальной предельной кратности (ALF), соответствующее фактической нагрузке ТТ

F_n Номинальная предельная кратность при номинальной нагрузке ТТ

S_n Номинальная нагрузка ТТ

S_{in} Собственная нагрузка ТТ

S_a Фактическая нагрузка ТТ

Пример 1

Номинальная нагрузка S_n трансформатора тока 5P20 составляет 10 ВА, вторичный номинальный ток – 5А, внутреннее сопротивление $R_{in} = 0,07$ Ом, а номинальная предельная кратность $F_{ном}$, соответствующая номинальной нагрузке, составляет 20 (5P20). Таким образом, собственная нагрузка трансформатора тока равна $S_{in} = (5A)^2 \cdot 0,07 \text{ Ом} = 1,75 \text{ ВА}$. Входное полное сопротивление интеллектуального устройства при номинальном токе 5А составляет < 20 мОм. Если измерительные проводники имеют сопротивление 0,113 Ом, фактическая нагрузка трансформатора тока составляет $S_a = (5A)^2 \cdot (0,113 + 0,020) \text{ Ом} = 3,33 \text{ ВА}$. Таким образом, номинальная предельная кратность F_a , соответствующая фактической нагрузке, равна приблизительно 46.

Нагрузка ТТ может существенно увеличиться при номинальном токе 5А. Фактическая нагрузка ТТ снижается при номинальном токе 1А при одновременном улучшении воспроизводимости.

При повреждениях в защищаемой зоне токи могут быть очень большими по сравнению с номинальными токами трансформаторов тока. Благодаря быстродействующей ступени (отсечке) функционального блока дифференциальной защиты, достаточно, что трансформаторы тока способны передать ток, требуемый для мгновенного отключения во время первого периода.

Таким образом, обычно трансформаторы тока могут передавать несимметричный ток повреждения без насыщения в течение следующих 10 мс после возникновения повреждения, чтобы обеспечить соответствие времени срабатывания ИЭУ времени задержки.

Номинальная предельная кратность, соответствующая фактической нагрузке фазного ТТ, который должен использоваться в дифференциальной защите, отвечает следующему требованию.

$$F_a > K_r \times I_{k_{max}} \times (T_{dc} \times \omega \times (1 - e^{-\frac{T_m}{T_{dc}}}) + 1) \quad (42)$$

$I_{k_{max}}$ Максимальный сквозной ток повреждения (в I_R), при котором защита имеет запрет на срабатывание

T_{dc} Постоянная времени апериодической составляющей первичной обмотки по отношению к $I_{k_{max}}$

ω Угловая частота, т.е., $2 \cdot \pi \cdot f_{ном}$

T_m Время до насыщения, т.е. продолжительность правильной трансформации до насыщения трансформатора

K_r Коэффициент остаточной намагниченности $1/(1-r)$, где r – максимальная остаточная магнитная индукция в относительных единицах от магнитной индукции насыщения

Номинальная предельная кратность, соответствующая фактической нагрузке фазного ТТ, используется в дифференциальной защите.

Параметр r – максимальная остаточная магнитная индукция в сердечнике ТТ в относительных единицах от магнитной индукции насыщения. Значение параметра r зависит от используемого магнитного материала и конструкции ТТ. Например, если значение $r=0,4$, остаточная магнитная индукция может быть 40 % от магнитной индукции насыщения. Если требуется очень точное значение параметра r , необходимо обратиться к производителю трансформатора. Значение $r=0,4$ рекомендуется использовать при отсутствии точного значения.

Требуемое минимальное время до насыщения T_m в функции TR2PTDF составляет половину периода основной частоты (10 мс при $f_{ном} = 50$ Гц).

Для определения достаточно точного значения номинальной предельной кратности (F_a) рассматриваются два типовых случая:

1. Повреждение на станционной шине:

Защита должна быть устойчивой при повреждениях, возникающих при нормальной рабочей ситуации. Повторное включение трансформатора на фоне повреждения шины приводит к возникновению очень больших токов и тепловому напряжению, и, следовательно, повторное включение в таком случае является нежелательным. Таким образом, величиной остаточного магнитного потока можно пренебречь. Максимальный сквозной ток повреждения $I_{k_{max}}$ обычно составляет $10 I_{ном}$ для основного трансформатора подстанции. При коротком замыкании вблизи питающего трансформатора постоянная времени апериодической составляющей (T_{dc}) тока повреждения почти одинакова с таковой трансформатора, типичным значением является 100 мс.

$I_{k_{max}}$	$10 I_R$
T_{dc}	100 мс
ω	100π Гц
T_m	10 мс
K_r	1

При подстановке значений в уравнение 42 получим следующий результат:

$$F_a > K_r \times I_{k_{max}} \times (T_{dc} \times \omega \times (1 - e^{-T_m/T_{dc}}) + 1) \approx 40$$

2. Повторное включение на фоне повреждения в более отдаленной части сети:

Защита должна быть устойчивой при повторном включении на фоне повреждения в линии. В таком случае наличие остаточного магнитного потока очень вероятно. Здесь он принимается за 40 %.

С другой стороны, теперь ток повреждения меньше, и, так как в этом месте отношение активного сопротивления к реактивному больше, полное смещение апериодической составляющей невозможно. Более того, постоянная времени апериодической составляющей (T_{dc}) тока повреждения теперь меньше, здесь принимается за 50 мс.

Допустим, что максимальный ток повреждения на 30% ниже, чем при повреждении на шине, и смещение апериодической составляющей – максимум 90%.

$I_{k_{\max}}$	$0,7 \cdot 10 = 7 (I_{\text{ном}})$
T_{dc}	50 мс
ω	100π ГЦ
T_m	10 мс
K_r	$1/(1-0,4) = 1,6667$

Подставив значения в уравнение, получим следующее:

$$F_a > K_r \times I_{k_{\max}} \times 0,9 \left(T_{dc} \times \omega \times (1 - e^{-T_m/T_{dc}}) + 1 \right) \approx 40$$

Если фактическую нагрузку ТТ (S_a) из Уравнения 41 невозможно снизить настолько, чтобы обеспечить достаточное значение для F_a , существует два варианта решения такой задачи:

- можно выбрать ТТ с более высокой номинальной нагрузкой S_n (что также означает повышение номинальной предельной кратности $F_{\text{ном}}$)
- можно выбрать ТТ с более высоким номинальным предельным током I_{1n} (но с такой же номинальной нагрузкой).

Пример 2

Допустив, что были использованы два описанных выше варианта для улучшения номинальной предельной кратности, получим

$$F_a = \frac{I_r CT}{I_r TR} \times F_n \quad (43)$$

$I_r TR$ 1000 А (номинальный ток на стороне вторичной обмотки силового трансформатора)

$I_r CT$ 1500 А (номинальный первичный ток ТТ на стороне вторичной обмотки трансформатора)

F_n 30 (номинальная предельная кратность ТТ)

F_a $(I_r CT / I_r TR) \cdot F_{\text{ном}}$ (фактическая номинальная предельная кратность в результате выбора большего трансформатора тока) $= (1500/1000) \cdot 30 = 45$

В функции TR2PTDF очень важно, чтобы значения номинальной предельной кратности F_a фазных трансформаторов тока на обеих сторонах соответствовали друг другу, т.е., нагрузки ТТ на обеих сторонах должны быть равны насколько это возможно. Если через защищенный объект, когда он подключен к сети, пройдут броски тока или пусковые токи с большим содержанием апериодических составляющих, необходимо особое внимание к работе и нагрузкам трансформаторов тока, а также к выбору уставок этого функционального блока.

4.3.2.6 Подключения ТТ и коррекция коэффициента трансформации

Подключения первичных трансформаторов тока обозначены как «Тип 1» и «Тип 2».

- Если положительные направления токов интеллектуальных устройств обмотки 1 и обмотки 2 противоположны, значение параметра *Тип подключения ТТ* – «Тип 1». Примеры подключения по типу 1 показаны на Рисунках 179 и 180.
- Если положительные направления токов устройств обмотки 1 и обмотки 2 одинаковы, параметр *Тип подключения ТТ* имеет значение «Тип 2». Примеры подключения по типу 2 показаны на Рисунках 181 и 182.
- По умолчанию используется «Тип 1».

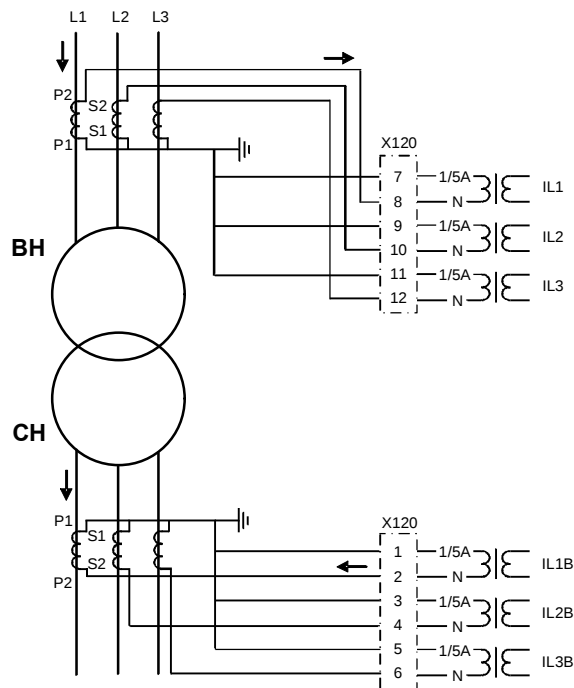


Рисунок 179. Пример подключения ТТ «Тип 1»

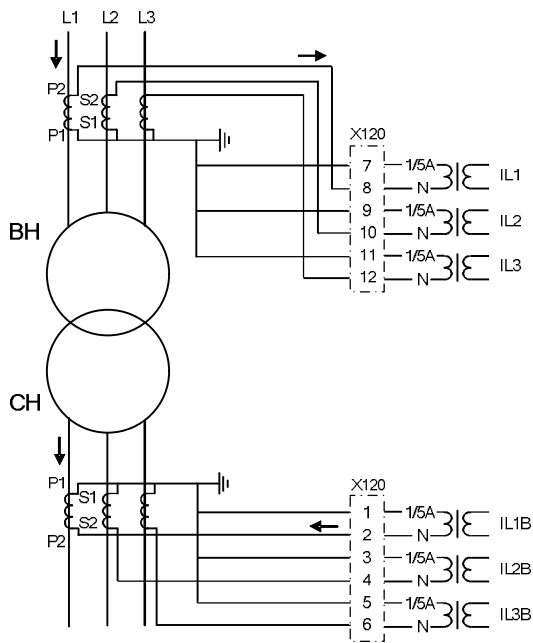


Рисунок 180. Пример альтернативного подключения ТТ по типу 1

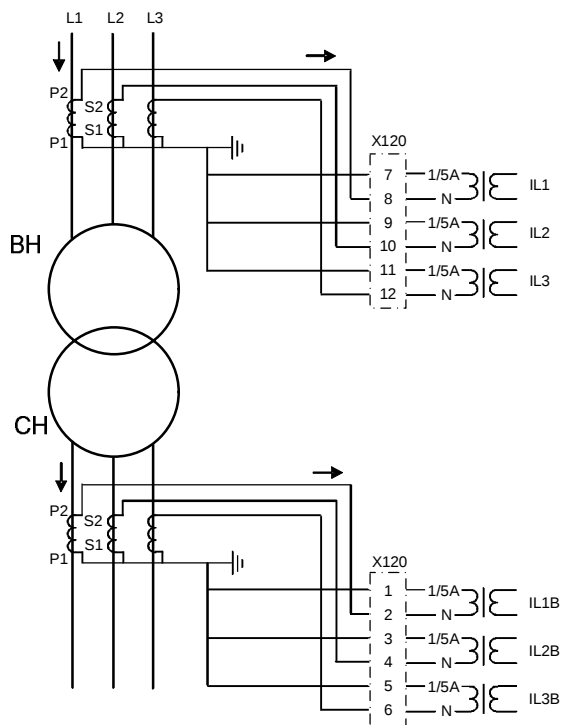


Рисунок 181. Подключение ТТ «Тип 2» и пример токов при внешнем повреждении

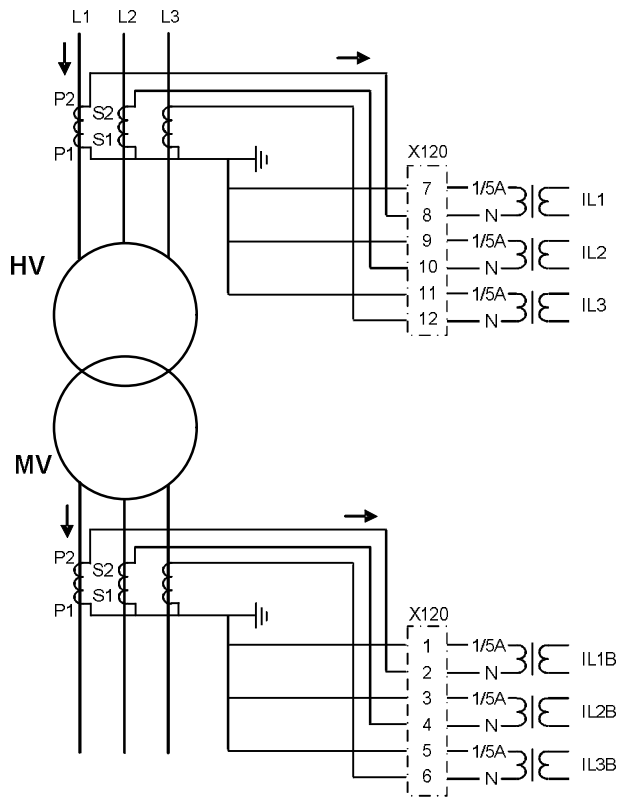


Рисунок 182. Пример альтернативного подключения ТТ по типу 2

Вторичные токи ТТ часто отличаются от номинального тока при номинальной нагрузке силового трансформатора. Коэффициенты трансформации ТТ могут корректироваться на обеих сторонах силового трансформатора при помощи параметров *Корр.Ктт, обмотка 1* и *Корр.Ктт, обмотка 2*.

4.3.2.7 Сигналы

Таблица 267. Входные сигналы функции TR2PTDF

Обозначение	Тип	По умолчанию	Описание
I_A1	SIGNAL	0	Первичный ток в фазе А
I_B1	SIGNAL	0	Первичный ток в фазе В
I_C1	SIGNAL	0	Первичный ток в фазе С
I_A2	SIGNAL	0	Вторичный ток в фазе А
I_B2	SIGNAL	0	Вторичный ток в фазе В
I_C2	SIGNAL	0	Вторичный ток в фазе С
BLOCK	BOOLEAN	0=Выведен	Блокировка
BLK_OPR_LS	BOOLEAN	0=Выведен	Блокировка выходов срабатывания ступени с торможением
BLK_OPR_HS	BOOLEAN	0=Выведен	Блокировка выходов срабатывания мгновенной ступени

Таблица 268. Выходные сигналы функции TR2PTDF

Обозначение	Тип	Описание
OPERATE	BOOLEAN	Срабатывание
OPR_LS	BOOLEAN	Срабатывание ступени с торможением
OPR_HS	BOOLEAN	Срабатывание мгновенной ступени (дифотсечки)
BLKD2H	BOOLEAN	Состояние блокировки по 2 гармонике
BLKD5H	BOOLEAN	Состояние блокировки по 5 гармонике
BLKDWAV	BOOLEAN	Состояние блокировки по форме волны

4.3.2.8 Уставки

Таблица 269. Групповые уставки функции TR2PTDF

Параметр	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Шаг	По умолч.	Описание
Уставка дифотсечки	500...3000	%I _{ном}	10	1000	Уставка срабатывания дифференциальной отсечки
Ввод грубой ступени	0=Вывод 1=Ввод			1=Ввод	Ввод в работу дифотсечки
Основная уставка	5...50	%I _{ном}	1	20	Основная уставка срабатывания ступени с торможением
Наклон участка 2	10...50	%	1	30	Наклон 2 участка тормозной характеристики
Конец 2 участка	100...500	%I _{ном}	1	150	Точка перегиба между 2 и 3 участком тормозной характеристики
Режим торможения	-1= 2 и 5 гарм.+форма волны 5=форма волны 6=2 гарм.+ форма волны 7= 5 гарм.+ форма волны			-1=2 и 5 гарм.+форма волны	Режим торможения
Деблокир. по 2 гарм.	0=Ложь 1=Истина			1=Истина	Деблокировка по 2 гармонике при включении на повреждение
2 гармоника, блокир.	7...20	%	1	15	Относительное значение 2 гармоники для блокировки
5 гармоника, блокир.	10...50	%	1	35	Относительное значение 5 гармоники для блокировки
Деблокир. по 5 гарм.	10...50	%	1	35	Относительное значение 5 гармоники для деблокировки
Деблокир. по 5 гарм.	0=Ложь 1=Истина			0=Ложь	Деблокировка по 5 гармонике при значительном перенапряжении

Таблица 270. Общие уставки функции TR2PTDF

Параметр	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Шаг	По умолч.	Описание
Активизация	1=вкл 5=выкл			1=вкл	Активизация вкл/выкл
Тип подключения ТТ	1=Тип 1 2=Тип 2			1=Тип 1	Тип подключения ТТ. Определяется направлением подключенных ТТ
Обмотка 1	1=Y 2=YN 3=D 4= Z 5=ZN			1=Y	Схема обмоток на стороне ВН
Обмотка 2	1=y 2=yn 3=d 4= z 5=zn			1=y	Схема обмоток на стороне НН
Группа соединения	0=Группа 0 1=Группа 1 2=Группа 2 4=Группа 4 5=Группа 5 6=Группа 6 7=Группа 7 8=Группа 8 10=Группа 10 11=Группа 11			0=Группа 0	Установка сдвига фаз между стороной ВН и НН с группой соединения для подключения; компенсация группы соединения (например, Dyn11 -> 11)
Вычитание I ₀	1=Не вычитается 2=Обмотка 1 3=Обмотка 2 4= Обмотки 1 и 2			1=Не вычитает ся	Вычитание тока нулевой последовательности
Миним. ответвление	-36...36		1	36	Номер ответвления, при котором используется минимальное количество витков обмотки, на которой установлен РПН.
Максимальное ответвление	-36...36		1	0	Номер ответвления, при котором используется максимальное количество витков обмотки, на которой установлен РПН.
Номин. ответвление	-36...36		1	18	Номин. положение РПН, при котором получается номинальный коэфф.

Параметр	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Шаг	По умолч.	Описание
					трансформации силового трансформатора (как без РПН)
Обмотка с РПН	1=Не используется 2=Обмотка 1 3=Обмотка 2			1=Не используется	Обмотка, к которой подключен РПН
Шаг регулирования	0,60...9,00	%	0,01	1,50	Изменение напряжения в %, соответствующее шагу регулирования РПН
Корр.Ктт, обмотка 1	0,40...4,00		0,01	1,00	Коррекция коэффициента трансформации ТТ, обмотка 1
Корр.Ктт, обмотка 2	0,40...4,00		0,01	1,00	Коррекция коэффициента трансформации ТТ, обмотка 2

4.3.2.9 Контролируемые данные

Таблица 271. Контролируемые данные функции TR2PTDF

Параметр	Тип	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Описание
OPR_A	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Срабатывание по фазе А
OPR_B	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Срабатывание по фазе В
OPR_C	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Срабатывание по фазе С
BLKD2H_A	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по 2 гармонике по фазе А
BLKD2H_B	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по 2 гармонике по фазе В
BLKD2H_C	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по 2 гармонике по фазе С
BLKD5H_A	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по 5 гармонике по фазе А
BLKD5H_B	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по 5 гармонике по фазе В
BLKD5H_C	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по 5 гармонике по фазе С
BLKDWAV_A	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по форме волны по фазе А
BLKDWAV_B	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по форме волны по фазе В
BLKDWAV_C	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Состояние блокировки по форме волны по фазе С
BLKD2HPHAR	BOOLEAN	0=Ложь		Общий сигнал блокировки по 2

Параметр	Тип	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Описание
		1=Истина		гармонике функции PHAR LN
BLKD2HPHAR_A	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Сигнал блокировки по 2 гармонике функции PHAR LN, фаза А
BLKD2HPHAR_B	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Сигнал блокировки по 2 гармонике функции PHAR LN, фаза В
BLKD2HPHAR_C	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Сигнал блокировки по 2 гармонике функции PHAR LN, фаза С
BLKD5HPHAR	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Общий сигнал блокировки по 5 гармонике функции PHAR LN
BLKD5HPHAR_A	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Сигнал блокировки по 5 гармонике функции PHAR LN, фаза А
BLKD5HPHAR_B	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Сигнал блокировки по 5 гармонике функции PHAR LN, фаза В
BLKD5HPHAR_C	BOOLEAN	0=Ложь 1=Истина		Сигнал блокировки по 5 гармонике функции PHAR LN, фаза С
I_AMPL_A1	FLOAT32	0,00...40,00	$\times I_{\text{ном}}$	Компенсированный по группе соединения ток стороны ВН, фаза А
I_AMPL_B1	FLOAT32	0,00...40,00	$\times I_{\text{ном}}$	Компенсированный по группе соединения ток стороны ВН, фаза В
I_AMPL_C1	FLOAT32	0,00...40,00	$\times I_{\text{ном}}$	Компенсированный по группе соединения ток стороны ВН, фаза С
I_AMPL_A2	FLOAT32	0,00...40,00	$\times I_{\text{ном}}$	Компенсированный по группе соединения ток стороны 2, фаза А
I_AMPL_B 2	FLOAT32	0,00...40,00	$\times I_{\text{ном}}$	Компенсированный по группе соединения ток стороны 2, фаза В
I_AMPL_C2	FLOAT32	0,00...40,00	$\times I_{\text{ном}}$	Компенсированный по группе соединения ток стороны 2, фаза С
ID_A	FLOAT32	0,00...80,00	$\times I_{\text{ном}}$	Дифференциальный ток по фазе А
ID_B	FLOAT32	0,00...80,00	$\times I_{\text{ном}}$	Дифференциальный ток по фазе В
ID_C	FLOAT32	0,00...80,00	$\times I_{\text{ном}}$	Дифференциальный ток по фазе С
IB_A	FLOAT32	0,00...80,00	$\times I_{\text{ном}}$	Ток торможения в фазе А
IB_B	FLOAT32	0,00...80,00	$\times I_{\text{ном}}$	Ток торможения в фазе В
IB_C	FLOAT32	0,00...80,00	$\times I_{\text{ном}}$	Ток торможения в фазе С
I_2H_RAT_A	FLOAT32	0,00...1,00		Относительная 2 гармоника в дифференциальном токе, фаза А
I_2H_RAT_B	FLOAT32	0,00...1,00		Относительная 2 гармоника в дифференциальном токе, фаза В
I_2H_RAT_C	FLOAT32	0,00...1,00		Относительная 2 гармоника в дифференциальном токе, фаза С
I_ANGL_A1_B1	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Сдвиг фаз между фазами А и В, обмотка 1
I_ANGL_B1_C1	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Сдвиг фаз между фазами В и С, обмотка 1

Параметр	Тип	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Описание
I_ANGL_C1_A1	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Сдвиг фаз между фазами С и А, обмотка 1
I_ANGL_A2_B2	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Сдвиг фаз между фазами А и В, обмотка 2
I_ANGL_B2_C2	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Сдвиг фаз между фазами В и С, обмотка 2
I_ANGL_C2_A2	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Сдвиг фаз между фазами С и А, обмотка 2
I_ANGL_A1_A2	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Угол сдвига фаз между обмоткой 1 и 2, фаза А
I_ANGL_B1_B2	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Угол сдвига фаз между обмоткой 1 и 2, фаза В
I_ANGL_C1_C2	FLOAT32	-180,00... 180,00	град	Угол сдвига фаз между обмоткой 1 и 2, фаза С
I_5H_RAT_A	FLOAT32	0,00...1,00		Относительная 5 гармоника в дифференциальном токе, фаза А
I_5H_RAT_B	FLOAT32	0,00...1,00		Относительная 5 гармоника в дифференциальном токе, фаза В
I_5H_RAT_C	FLOAT32	0,00...1,00		Относительная 5 гармоника в дифференциальном токе, фаза С
TR2PTDF	Enum	1= вкл 2=заблокировано 3= Тестирование 4= Тест/Заблокировано 5=выкл		Состояние

4.3.2.10 Технические данные

Таблица 272. Технические данные функции TR2PTDF

Характеристики		Значение		
Погрешность срабатывания		В зависимости от частоты измеряемого тока: $f_{\text{ном}} \pm 2 \text{ Гц}$		
		$\pm 3,0 \text{ \%}$ от уставки или $\pm 0,002 \times I_{\text{ном}}$		
Время пуска ¹⁾²⁾	чувствительная ступень	Минимальное	Типовое	Максимальное
		34 мс	40 мс	44 мс
		21 мс	22 мс	24 мс
грубая ступень				
Время возврата		< 40 мс		
Коэффициент возврата		типовой 0,96		
Подавление гармоник		Фурье: -50 дБ при $f=n \times f_{\text{ном}}$, где $n = 2, 3, 4, 5 \dots$		

- 1) Ток до повреждения = 0,0, $f_{\text{ном}} = 50$ Гц, результаты на базе статистического распределения 1000 измерений
- 2) Включает задержку на выходном контакте. Когда дифференциальный ток = $2 \times$ заданное значение срабатывания, а $f_{\text{ном}} = 50$ Гц.