

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/SMUR2431>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/FTXF3182>***А. С. Барукин**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

е-mail: alexbarukin@mail.ru

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ГЕРКОНАХ С БЛОКИРОВКОЙ ПО ВТОРОЙ ГАРМОНИКЕ

Обсуждаются достоинства и недостатки традиционных дифференциальных защит преобразовательных установок и защит на герконах. Предлагается дифференциальная защита с герконами, чувствительность которой обеспечивается путем блокировки по второй гармонике при броске намагничивающего тока силового трансформатора установки. Она отличается от других еще и тем, что для получения информации о токе в фазах со стороны высшего напряжения трансформатора используются обмотки герконов, установленных вблизи их токопроводов (при этом герконы могут служить измерительными органами максимальных токовых защит). Дается методика выбора уставок подобных защит и оценивается их чувствительность. Особое внимание уделяется выбору параметров герконов, установленных вблизи токопровода постоянного тока, а также их управляющих обмоток, подключенных к выходам двухполупериодных выпрямителей, получающих питание от обмоток герконов со стороны высшего напряжения трансформатора. Рассмотрено поведение защиты в различных режимах работы преобразовательной установки. С помощью предложенной методики установлено, что пока область использования защиты ограничена преобразовательными установками с трансформаторами мощностью $0,25 \div 10$ МВА, а при больших мощностях для определения её чувствительности требуется проведение дополнительных исследований.

Ключевые слова: преобразовательная установка, дифференциальная защита, геркон, бросок тока намагничивания, вторая гармоника, чувствительность.

Введение

Замена в релейной защите трансформаторов тока (ТТ) на какие-то миниатюрные датчики позволила бы получить значимую экономию меди, стали и изоляционных материалов, уменьшить вес и габариты устройств, и избавиться от других известных недостатков ТТ. Поэтому задача построения защит без ТТ не раз называлась на сессиях СИГРЭ принципиально нерешенной проблемой энергетики. В НАО «Торайгыров университет» ведутся работы в направлении решения этой задачи на основе использования герконов – магнитоуправляемых контактов (длиной от 0,7 до 5 см, весом не более 3 г), устанавливаемых на безопасном расстоянии от токоведущих шин электроустановки. Так предложены [1–9] и разрабатываются [10–14] защиты на герконах для различных электроустановок. Что касается дифференциальных защит преобразовательных установок (ПУ), то запатентовано девять таких схем. Однако одни из них имеют недостаточную чувствительность в основном из-за необходимости отстройки от броска тока намагничивания, другие – надежность из-за сложности выполнения такой отстройки, третьи – решают задачу лишь частично (у них ТТ со стороны высшего напряжения ПУ сохранены). К тому же в этих патентах не представлена методика выбора уставок. В данной работе предлагается защита, в которой в той или иной мере исключены указанные недостатки.

Материалы и методы

Схема предлагаемой защиты отличается от известных тем, что информацию о токах в фазах со стороны высшего напряжения трансформатора 1 ПУ (рисунок 1, где 2 – выпрямитель; 3 – нагрузка) получают от обмоток 4–6 герконов 7–9, установленных под её токопроводами. Для этого используется ЭДС, наводимая на выводах обмоток 4–6, которые подключены к усилителям 10–12. С выходов усилителей напряжения через двухполупериодные выпрямители 13–15 и резисторы 16–18 подаются на обмотки 19–21 герконов 22–24, закрепленных в магнитном поле (МП) шин токопровода 25 постоянного тока ПУ. Эти же напряжения используются для определения наличия второй гармоники в токе. Для этого входы фильтров 26–28 второй гармоники через разделительные трансформаторы 29–31 подключены к усилителям 10–12, а выходы – к пороговым элементам 32–34. Также схема защиты содержит блок 35 функциональной диагностики и блок 36 логики. В состав блока 35 входят схемы сравнения 37–39 и элементы И 40–42; в состав блока 36 – элементы И 43–46, ИЛИ 47 и 48, ПАМЯТЬ 49 и ВРЕМЯ 50. Необходимо отметить, что герконы 7–9 со стороны высшего напряжения трансформатора 1 ПУ могут использоваться для выполнения функций максимальной токовой защиты (путем подключения контактов герконов к блоку логики).

В случае исправности всех элементов схемы в нагрузочных режимах ПУ и при внешних коротких замыканиях (КЗ) выполняется условие $V_{cp} > V_y - V_d$ где V_{cp} – индукция МП, необходимая для срабатывания герконов 22–24; V_y – индукция МП, созданного постоянным током I_y в обмотке управления каждого из них; V_d – индукция МП, созданного током I_d в токопроводе 25. Так как токи I_y в обмотках 19–21 одинаковы, то на выходах схем сравнения 37–39 сигналы отсутствуют.

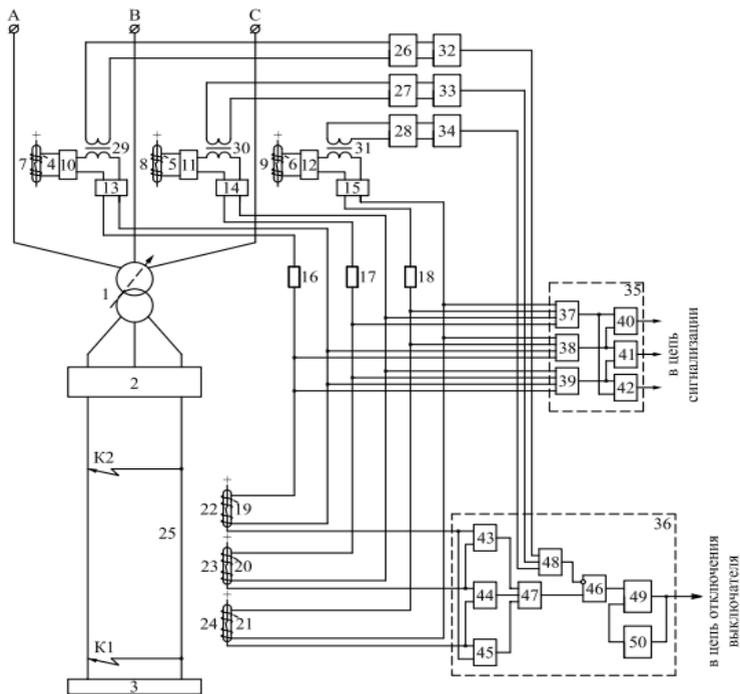


Рисунок 1 – Схема предлагаемой защиты

В случае обрыва в цепях выпрямителя 15 или при междуфазном КЗ в нем, либо в цепи «выпрямитель 15 – обмотка 21», либо при обрыве в обмотке 6 выходное напряжение выпрямителя 15 снизится и схемы 37 и 38 выдадут сигналы, так как уровень выходных напряжений выпрямителей 13 и 14 не изменился. Элемент И 40 сработает и выдаст сигнал о неисправности, поступающий в цепь сигнализации. Если обрыв происходит в цепи «выпрямитель 15 – обмотка 21», его выходное напряжение увеличивается, схемы 37 и 38 выдают сигналы и элемент И 40 срабатывает, сигнализируя

о неисправности. Если при этом выполняется условие $B_d > B_{cp} - (B_y = 0)$, то геркон 24 срабатывает, и на второй и первый входы элементов И 44 и 45, соответственно, поступают сигналы. Однако выключатель ПУ (на рисунке 1 не показан) не отключается, так как на других входах указанных элементов И сигналы отсутствуют.

В качестве примера рассмотрим КЗ в выпрямителе 2. В этом аварийном режиме ток в обмотках 4–6 увеличится, а в токопроводе 25 уменьшится. При этом выполняется условие $B_y - B_{кз} > B_{cp}$ (где B_k – действующая вдоль продольной оси герконов 22–24 индукция МП, созданного током в токопроводе 25 при КЗ в выпрямителе). Срабатывают герконы 22–24 (либо только два из них, например, 22 и 23, в том случае, когда неисправен геркон 24, или поврежден выпрямитель 15, или обмотка 21, либо кабель, соединяющий выпрямитель и обмотку). На входы хотя бы одного из элементов И 43–45 поступают сигналы, которые через элемент ИЛИ 47 подаются на прямой вход элемента И 46 (на его инверсном входе сигнал отсутствует). С выхода последнего сигнал поступает на вход записи элемента ПАМЯТЬ 49, который подает сигнал в цепь отключения выключателя ПУ и запускает элемент ВРЕМЯ 50. Через время $t = 0,1$ с сигнал с его выхода поступает на вход сброса элемента ПАМЯТЬ 49.

При включении трансформатора 1 под напряжение или восстановлении напряжения после отключения внешнего КЗ происходит бросок тока намагничивания, для которого характерно значительное содержание в нем второй гармоники (относительно первой оно всегда выше 17 %). Герконы 22–24, как и при КЗ в защищаемой зоне, срабатывают, и на прямом входе элемента И 46 появляется сигнал. Пороговые элементы 32–34 также выдают сигналы, через элемент ИЛИ 48 поступающие на инверсный вход элемента И 46. Таким образом, на его выходе сигнал отсутствует, и защита не срабатывает.

Использование фильтров 26–28, пороговых элементов 32–34, элементов И 46 с одним инверсным и одним прямыми входами и ИЛИ 48 позволяет (в сравнении с известными схемами) повысить чувствительность защиты за счет её блокировки при бросках тока намагничивания, вследствие чего не требуется отстройка от них уставки срабатывания.

Результаты и обсуждение

Разработанная автором (совместно с доктором технических наук, профессором Клецелем М. Я.) методика выбора уставок защиты сводится к следующему.

1. Намечается один из типов замыкающих герконов 22–24 с управляющими обмотками 19–21 (например, с наименьшей каталожной величиной индукции B_{cp} магнитного поля, необходимой для их срабатывания),

выпускаемых АО «Рязанский завод металлокерамических конструкций» (г. Рязань, Российская Федерация), которые предполагается установить в МП шин токопровода 25 постоянного тока (аналогично намечаются к установке вблизи токопроводов фаз со стороны высшего напряжения трансформатора 1 ПУ герконы 7–9 с обмотками 4–6). Для выбранных герконов с обмотками, помимо величины B_{cp} , известны количество витков $w_{омв}$ обмотки, её длина $i_{омв}$, а также сопротивление $R_{омв}$. Необходимо отметить, что герконы 22–24 целесообразно устанавливать не в начале длины токопровода 25 (т.е. сразу после выпрямителя 2, рисунок 1), а в её конце – это позволит расширить зону действия защиты, так как она будет реагировать не только на КЗ на выводах высшего и низшего напряжения трансформатора 1, и на повреждения в выпрямителе 2, но и срабатывать при КЗ на большей части длины шин токопровода 25.

2. Согласно общепринятым требованиям, коэффициент чувствительности $k_{\text{д}}$ дифференциальной защиты должен быть больше или равен 2. Величину $k_{\text{д}}$ рассматриваемой защиты при КЗ в конце защищаемой зоны (точка К2, рисунок 1), с учетом того, что индукция, создаваемая током в шинах токопровода 25, в данном режиме не воздействует на герконы 22–24, предлагается, по аналогии с традиционными дифференциальными защитами, определять по следующей формуле:

$$k_{\text{д}} = \frac{B_{\text{у, шин}}^{\text{внутр. КЗ}}}{B_{\text{с.з.}}}, \quad (1)$$

где $B_{\text{у, шин}}^{\text{внутр. КЗ}}$ – индукция МП, созданная при минимальном токе внутреннего КЗ током $I_{\text{у, шин}}^{\text{внутр. КЗ}}$ рв управляющей обмотке геркона, действующая вдоль его продольной оси.

В традиционных дифференциальных защитах всегда идет отстройка от токов небаланса. В нашем случае токам соответствуют индукции созданных ими МП. Тогда для того, чтобы герконы 22–24 не срабатывали ложно при внешних КЗ, необходимо выполнение условия:

$$B_{\text{ср}} \geq B_{\text{нб}} = k_{\text{отс.1}} \left(B_{\text{у, макс}}^{\text{внеш. КЗ}} - B_{\text{д, макс}}^{\text{внеш. КЗ}} \right), \quad (2)$$

где $k_{\text{отс.1}} = 1,5$ – коэффициент отстройки; $B_{\text{у, макс}}^{\text{внеш. КЗ}}$ – индукция МП, созданная при максимальном токе внешнего КЗ (например, при КЗ в точке К1, рисунок 1) током $I_{\text{у, макс}}^{\text{внеш. КЗ}}$ в управляющей обмотке геркона, действующая вдоль его продольной оси; $B_{\text{д, макс}}^{\text{внеш. КЗ}}$ – результирующая индукция МП,

созданная током $I_{d, макс}^{внеш.КЗ}$ (по сути равным току максимального внешнего КЗ) в шинах токопровода 25, которая также действует вдоль продольной оси геркона.

При этом индукция $B_{с.з.}$, являющаяся параметром срабатывания защиты, должна удовлетворять условию:

$$B_{с.з.} \geq k_{отс.2} B_{ср}, \quad (3)$$

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

Для каждого из герконов 22-24 значение индукции $B_{у, мин}^{внутр.КЗ}$ может быть определено по формуле:

$$B_{у, мин}^{внутр.КЗ} = \frac{\mu_0 I_{у, мин}^{внутр.КЗ} W_{обм.19}}{l_{обм.19}}, \quad (4)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость воздуха; $W_{обм.19}$ и $l_{обм.19}$ и – количество витков и длина обмотки 19 (20; 21).

Из рассмотрения схемы защиты (рисунок 1) ток $I_{у, мин}^{внутр.КЗ}$ определяется как:

$$I_{у, мин}^{внутр.КЗ} = \frac{k_{ус} E_{4, мин}^{внутр.КЗ}}{R_{16} + R_{обм.19}}, \quad (5)$$

где $k_{ус}$ – коэффициент усиления усилителя 10 (11; 12); $E_{4, мин}^{внутр.КЗ}$ – ЭДС на выводах обмотки 4 (5; 6), индуцируемая МП минимального тока $I_{1т, мин}^{внутр.КЗ}$ в токопроводе фазы А (В, С) трансформатора 1 со стороны его высшего напряжения при КЗ в конце защищаемой зоны; $R_{обм.19}$ – сопротивление обмотки 19 (20; 21); R_{16} – сопротивление резистора 16 (17; 18), величина которого на начальном этапе неизвестна.

В (5) ЭДС $E_{4, мин}^{внутр.КЗ}$ определяется следующим образом:

$$E_{4, мин}^{внутр.КЗ} = 4,44 B_{1т, мин}^{внутр.КЗ} f W_{обм.4} S_{обм.4}, \quad (6)$$

где $B_{1т,мин}^{внутр.КЗ}$ – индукция МП, созданного током $I_{1т,мин}^{внутр.КЗ}$; $f=50$ Гц – частота промышленного тока; $w_{обм.4}$ и $S_{обм.4}$ – количество витков и площадь поперечного сечения обмотки 4 (5; 6).

Индукция $B_{1т,мин}^{внутр.КЗ}$ в (6) определяется по закону Био-Савара-Лапласа:

$$B_{1т,мин}^{внутр.КЗ} = \frac{\mu_0 I_{1т,мин}^{внутр.КЗ}}{2\pi h}, \quad (7)$$

где h – безопасное расстояние от токопровода фазы А (В; С) до точки установки геркона 7 (8; 9) с обмоткой 4 (5; 6).

Таким образом, значение индукции $B_{у,мин}^{внутр.КЗ}$ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} B_{у,мин}^{внутр.КЗ} &= \frac{4,44\mu_0^2 f w_{обм.4}^2 S_{обм.4} w_{обм.19} k_{ус} I_{1т,мин}^{внутр.КЗ}}{2\pi h l_{обм.19} (R_{16} + R_{обм.19})} = \\ &= k_1 \frac{I_{1т,мин}^{внутр.КЗ}}{R_{16} + R_{обм.19}} \end{aligned} \quad (8)$$

Принимая $kч=2$, из совместного рассмотрения (1) и (8) определяется требуемая величина сопротивления R_{16} :

$$R_{16} = \frac{k_1 I_{1т,мин}^{внутр.КЗ}}{2,6 B_{сп}} - R_{обм.19}. \quad (9)$$

После расчета R_{16} по (9), величина сопротивлений резисторов 16-18 принимается равной ближайшему меньшему значению из каталожного ряда резисторов, что позволяет с некоторым запасом обеспечить требуемый коэффициент чувствительности защиты.

3. Далее необходимо определить координаты точки установки геркона относительно шин 51 и 52 (рисунок 2) токопровода 25 постоянного тока, при которых, с учетом окончательно принятого значения R_{16} , выполняется условие (2) несрабатывания защиты при внешних КЗ.

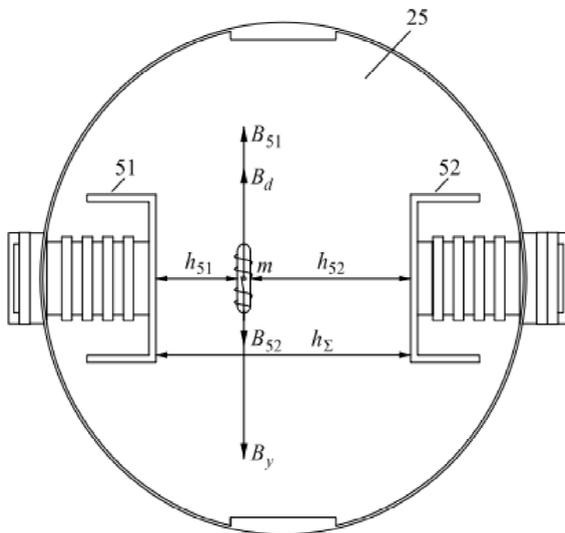


Рисунок 2 – Расположение геркона внутри токопровода 25 постоянного тока

Для расчета индукции $B_{d,макс}^{внеш.КЗ}$ используется формула (8), в которой индексы «внутр.КЗ» и «мин» заменяются на «внеш.КЗ» и «макс», соответственно. Величина индукции $B_{d,макс}^{внеш.КЗ}$ при установке геркона в точке m (совпадающей с центром его тяжести) на безопасных расстояниях h_{51} и h_{52} от шин 51 и 52, соответственно, под углом $\gamma=0$ между его продольной осью и плоскостью, параллельной шинам, на основе закона Био-Савара-Лапласа и рассмотрения рисунка 2 определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 B_{d,макс}^{внеш.КЗ} &= B_{51,макс}^{внеш.КЗ} - B_{52,макс}^{внеш.КЗ} = \\
 &= \frac{\mu_0 I_{d,макс}^{внеш.КЗ}}{2\pi} \left(\frac{1}{h_{51}} - \frac{1}{h_{52}} \right) = k_2 \left(\frac{1}{h_{51}} - \frac{1}{h_{52}} \right), \quad (10)
 \end{aligned}$$

где $B_{51,макс}^{внеш.КЗ}$ и $B_{52,макс}^{внеш.КЗ}$ – индукции МП, созданные, соответственно, током $I_{d,макс}^{внеш.КЗ}$, протекающим в шине 51 по направлению от площади

рисунка 2 к нам, и тем же самым током, протекающим в шине 52 по направлению от нас.

Из (2), с учетом (10) и описанной замены индекса в (8), для нахождения h_{51} получаем квадратное уравнение вида:

$$ah_{51}^2 - bh_{51} + c = 0, \quad (11)$$

где $a = \left(\frac{k_{отс.1} k_1 I_{1т.макс}^{внеш.КЗ}}{R_{16} + R_{обм.19}} - B_{ср} \right) / k_2$, $b = -(2 + ah_{\Sigma})$, $c = h_{\Sigma} -$

коэффициенты уравнения; – расстояние между шинами 51 и 52 токопровода 25; – максимальный ток в токопроводе каждой из фаз трансформатора 1 со стороны его высшего напряжения при внешнем КЗ.

Далее уравнение (11) решается, и определяются величины h_{51} и h_{52} после чего настройка защиты считается завершенной. В том случае, если полученное значение h_{51} оказывается меньшим требуемого по условиям безопасности, необходимо принять меры по вводу дополнительной изоляции – например, залить геркон с управляющей обмоткой и соединительные провода компаундом.

Если считать, что предлагаемая защита будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к быстрдействию, надежности и селективности, то область её использования может оцениваться чувствительностью, а чувствительность – по приведенной выше методике. В данной работе была проведена оценка чувствительности защиты для ПУ, осуществляющих питание потребителей с токами нагрузки, не превышающими 6,3 кА. В таких случаях токопроводы постоянного тока выполняются в виде двух одиночных шин, расположенных друг напротив друга (рисунок 2). На нынешнем этапе были рассмотрены магнитные поля, создаваемые токами в этих шинах при КЗ на них, и разработаны устройства для крепления герконов вблизи указанных шин (например, [15-17]). При токах нагрузки свыше 6,3 кА токопроводы постоянного тока выполняются в виде пакета шин, что требует проведения дополнительных исследований, так как в таких токопроводах, помимо рассмотренных КЗ, возможны замыкания нескольких проводников между собой или их обрывы.

Выводы

1 Предложенная в данной работе дифференциальная защита преобразовательных установок позволяет за счет использования герконов решить задачу ухода от трансформаторов тока, что обеспечит экономию меди, стали и изоляционных материалов.

2 Разработана методика выбора уставок такой защиты. Её отличительной особенностью является то, что мы оперируем индукциями магнитных потоков, а не токами, как это принято в традиционных защитах. При этом для определения параметров исходим из индукции $B_{\text{кр}}$ срабатывания имеющихся герконов и считаем, что защита будет иметь коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}=2$

3 Благодаря введенной блокировке по второй гармонике защита в сравнении с известными схемами на герконах обладает более высокой чувствительностью.

4 С помощью предложенной методики установлено, что область использования защиты пока ограничена ПУ мощностью $0,25 \div 10 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, и для её построения могут быть использованы все типы замыкающих герконов и герконовых реле, выпускаемых АО «Рязанский завод металлокерамических приборов». При больших мощностях ПУ для определения чувствительности защиты требуется проведение дополнительных исследований.

REFERENCES

1 Kletsel, M., Kaltayev, A., Mashrapov, B. Resource-saving protection of powerful electric motors // *Przeglad Elektrotechniczny*, 2017. – Vol. 93. № 5. – P. 40–43.

2 Kletsel, M., Barukin, A. Talipov, O. About the Biot-Savart-Laplace law and its use for calculations in high-voltage AC installations // *Przeglad Elektrotechniczny*, 2017. – Vol. 93. – № 11. – P. 129–132.

3 Kletsel, M., Zhantlesova, A., Mayshev, P., Mashrapov, B., Issabekov, D. New filters for symmetrical current components // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2018. – Vol. 101. P. 85–91.

4 Kletsel, M., Borodenko, V., Barukin, A., Kaltayev, A., Mashrapova, R. Constructive features of resource-saving reed relay protection and measurement devices // *Rev Roumaine des Sciences Techniques-Series Electrotechnique et Energetique*, 2019. – Vol. 64. № 4. P. 309–315.

5 Kletsel, M., Mashrapova, R. Mashrapov, B. Methods for the construction of protection with magnetosensitive elements for the parallel circuits with single end supply // *Proc. of 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 2020. – P. 1–6.

6 Mashrapov, B., Talipov, O., Mashrapova, R. Overcurrent Protection Scheme Utilising Reed Switches Instead of Current Transformers // *Proc. of 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, 2020. – P. 291-295.

7 Kletsel, M., Barukin, A., Gabdulov, A. Construction of Resource-Saving Differential Protections for Converter Units with Transformers with 2N Secondary

Windings and 2N Rectifiers // Proc. of 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2020. – P. 264–268.

8 **Kletsel, M., Barukin, A., Amirbek, D.** Reed Switch and Magneto Resistor-Based Differential Protection Featuring Test Diagnostics for Converters // Proc. of 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2020. – P. 1–6.

9 **Mashrapov, B.** Improving the Reliability of Diagnosing Reed Switch-Based Overcurrent Protection Circuits // Proc. Of 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2020. – P. 1–5.

10 **Bogdan, A.V., Kletsel', M.Ya., Nikitin, K.I.** Adaptive back-up overcurrent protection for tapped lines with single-end fud // *Elektrichestvo*, 1991. – № 2. – P. 51–54.

11 **Kletsel', M.Ya., Nikitin, K.I.** Analysis of the sensitivity of back-up protections for distribution networks in power systems // *Elektrichestvo*, 1992. – № 2. – P. 19–23.

12 **Kletsel, M.Ya., Nikitin, K.I.** Back-up line protection that responding to the difference in magnitudes of the phase currents and their increment // *Elektrichestvo*, 1993. – № 10. – P. 23–26.

13 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Traversal protection of two parallel lines without voltage path // *Przeglad Elektrotechniczny*, 2016. – Vol. 92(2). – P. 168–170.

14 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Differential protection of three and four parallel lines of idling current control // *Przeglad Elektrotechniczny*, 2017. – Vol. 93. № 10. – P. 109–112.

15 **Kaltayev, A., Mashrapov, B., Talipov, O.** Designs for Mounting Reed Switches in Closed Complete Current Conductors and on Cable Lines // Proc. of 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020. – P. 1–5.

16 **Kletsel, M., Barukin, A., Mashrapov, B.** Designs for Mounting Reed Switches in Vicinity of AC and DC Buses // Proc. of 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2020. – P. 285–290.

17 **Barukin, A., Berguzinov, A., Talipov, O.** Mounting Measuring Devices of Reed Switch Protection Near Conductors of Electrical Installations // Proc. Of 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2020. – P. 1–6.

Принято к изданию 28.11.23.

**А. С. Барукин*

¹Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Басып шығаруға 28.11.23 қабылданды.

ЕКІНШІ ГАРМОНИКА БОЙЫНША ҚҰЛЫПТЫЛЫҒЫ БАР ГЕРКОНДАРДА ТҮРЛЕНДІРГІШ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ҚОРҒАНЫСЫ

Дәстүрлі дифференциалды түрлендіргіш қондырғылардың мен геркондарда орындалған қорғаныстардың артықшылықтары мен кемшіліктері талқыланады. Геркондары бар дифференциалды қорғанысы ұсынылады, оның сезімталдығы қондырғының күштік трансформаторының магниттеу тогын жұлқиган кезінде екінші гармоника бойынша құлыптау арқылы қамтамасыз етіледі. Бұл басқалардан ерекшеленеді, өйткені трансформатордың жоғары кернеуі жағынан фазалардағы ток туралы ақпарат алу үшін олардың өткізгіштерінің жанында орнатылған геркондардың орамалары қолданылады (бұл жағдайда геркондар максималды ток қорғаныстың өлшеуіш органдары бола алады). Мұндай қорғаныстардың тағайынамаларын таңдау әдісі беріледі және олардың сезімталдығы бағаланады. Тұрақты ток өткізгіштің жанында орнатылған геркондарының параметрлерін, сондай-ақ олардың басқару орамаларын, қайсысы трансформатордың жоғары кернеуі жағынан геркондарының орамаларынан қоректендіру алатын қос жартылай периодты түзеткіштердің шығыстарына қосылған, таңдауға ерекше назар аударылады. Түрлендіргіш қондырғының әртүрлі жұмыс режимдеріндегі қорғаныс әрекеті қарастырылды. Ұсынылған әдістеменің көмегімен қорғанысты пайдалану аймағы трансформаторлары қуаты $0,25 \div 10$ МВА болатын түрлендіргіш қондырғылармен шектелетіні анықталды, ал үлкен қуаттылықта оның сезімталдығын анықтау үшін қосымша зерттеулер жүргізу қажет.

Кілтті сөздер: түрлендіргіш қондырғысы, дифференциалды қорғанысы, геркон, жұлқиган магниттеу тогы, екінші гармоника, сезімталдығы.

**A. S. Barukin¹*

¹Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Accepted for publication on 28.11.23

DIFFERENTIAL PROTECTION OF CONVERTER INSTALLATIONS ON REED SWITCHES WITH SECOND HARMONIC BLOCKING

The advantages and disadvantages of traditional differential protections of converter installations and reed switch protections are discussed. Differential protection with reed switches is proposed, the sensitivity of which is ensured by blocking at the second harmonic when the magnetizing current of the power transformer of the installation is inrush. It also differs from others in that to obtain information about the current in the phases on the higher voltage side of the transformer, the windings of reed switches installed near their current conductors are used (in this case, the reed switches can serve as measuring elements for maximum current protection). A method for selecting the settings of such protections is given and their sensitivity is assessed. Particular attention is paid to the selection of parameters of reed switches installed near the DC current conductor, as well as their control windings connected to the outputs of full-wave rectifiers receiving power from the reed switch windings on the higher voltage side of the transformer. The behavior of protection in various operating modes of the converter installation is considered. Using the proposed methodology, it has been established that for now the scope of use of protection is limited to converter installations with transformers with a power of $0.25 \div 10$ MVA, and at higher powers additional research is required to determine its sensitivity.

Keywords: converter installation, differential protection, reed switch, magnetizing inrush current, second harmonic, sensitivity.

Теруге 28.11.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.12.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4175

Сдано в набор 28.11.2023 г. Подписано в печать 29.12.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4175

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz