

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

№ 2 (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/ABAC7746>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**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., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *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/TCSZ9753>

**\*А. С. Барукин<sup>1</sup>, Б. Е. Машрапов<sup>2</sup>, М. Я. Клецель<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

\*e-mail: [alexbarukin@mail.ru](mailto:alexbarukin@mail.ru)

## **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ТРАНСФОРМАТОРОМ С 2N ВТОРИЧНЫМИ ОБМОТКАМИ И 2N ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ**

*Обосновывается актуальность разработки не использующих трансформаторы тока ресурсосберегающих дифференциальных защит преобразовательных установок. Отмечается, что одним из направлений решения этой задачи является использование магниточувствительных элементов. Упоминается, что в НАО «Торайгыров университет» ранее была предпринята попытка построить устройство дифференциальной защиты преобразовательных установок без трансформаторов тока на герконах. Установлено, что до настоящего времени не предлагались дифференциальные защиты для преобразовательных установок с трансформатором с 2n вторичными обмотками (где n – количество вторичных обмоток трансформатора, соединенных в «звезду» и «треугольник») и 2n выпрямителями. Предлагается запатентованный способ построения такой защиты. Способ заключается в измерении ЭДС на выводах катушек индуктивности, установленных вблизи шин всех фаз со стороны низшего напряжения трансформатора преобразовательной установки, в уравнивании и вычитании ЭДС, наводимых токами в этих шинах, полученных от катушек для одноименных фаз, а также в последующем сравнении полученных разностей с эталонной величиной. Приведена модель устройства, реализующего предлагаемый способ построения защиты, и проанализировано его поведение в различных режимах работы преобразовательной установки. Представлены осциллограммы, полученные путем моделирования при пробое и при обрыве диода одного из 2n выпрямителей.*

*Ключевые слова: преобразовательная установка, трансформатор, дифференциальная защита, катушка индуктивности, шина.*

## **Введение**

В качестве защиты от коротких замыканий в преобразовательных установках (ПУ) традиционно используется максимальная токовая защита без выдержки времени [1], которая отличается простотой, надежностью и невысокой стоимостью, но в ряде случаев обладает недостаточной чувствительностью из-за необходимости отстройки от токов нагрузки, что может приводить к серьезным повреждениям ПУ (вплоть до её полного выхода из строя). Более чувствительными могут быть дифференциальные защиты (ДЗ), разработкам которых посвящены работы, выполненные в России, США, Китае и Швеции [2–6]. Однако во всех этих защитах используются металлоемкие трансформаторы тока (ТТ), имеющие и другие общеизвестные недостатки. Поэтому, начиная с 2000 года, на Международных конференциях по большим энергетическим системам (CIGRE) проблема построения устройств релейной защиты без использования ТТ выделяется как одна из принципиально нерешенных задач мировой электроэнергетики [7–9]. Одним из направлений решения этой задачи является использование магниточувствительных элементов. Так, в НАО «Торайгыров университет», начиная с 80-х годов прошлого века, разработаны принципы и ряд устройств токовых, дифференциальных и дистанционных защит на таких элементах, в том числе была предпринята попытка построить устройство дифференциальной защиты ПУ без ТТ на герконах [10]. Однако, как показала патентная проработка, до настоящего времени не предлагались дифференциальные защиты для ПУ с трансформатором с  $2n$  вторичными обмотками (где  $n$  – количество вторичных обмоток трансформатора, соединенных в «звезду» и «треугольник») и  $2n$  выпрямителями. В данной работе предлагается способ защиты таких установок, и устройство, реализующее его с помощью катушек индуктивности.

## **Материалы и методы**

Способ защиты на катушках индуктивности [11] заключается в том, что вблизи  $6n$  шин, соединяющих с  $2n$  выпрямителями выводы  $2n$  вторичных обмоток трансформатора ПУ со стороны его низшего напряжения, устанавливают  $6n$  катушек индуктивности (КИ) и измеряют ЭДС на их выводах (по которым судят о токах в этих шинах). Сдвигают по фазе ЭДС, полученные от КИ, установленных вблизи шин, соединяющих с  $n$  выпрямителями выводы  $n$  вторичных обмоток трансформатора, соединенных в «звезду». Из полученных после сдвига фаз ЭДС вычитают ЭДС, полученные от КИ, установленных вблизи шин, соединяющих с  $n$  выпрямителями выводы  $n$  вторичных обмоток трансформатора, соединенных в «треугольник». Эти разности сравнивают с эталонной величиной, и, если хотя бы одна из них превышает эту величину, подают сигнал на отключение ПУ от сети.

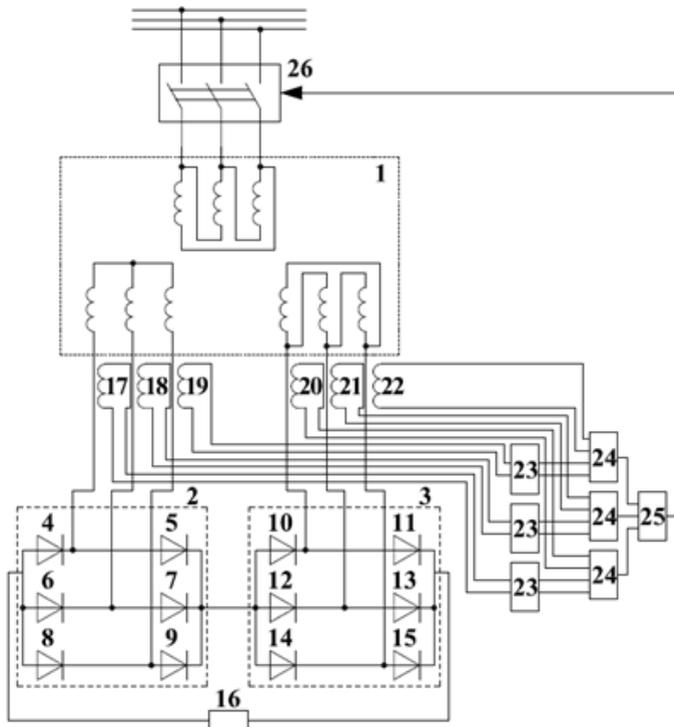


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства защиты

### Результаты и обсуждение

Рассмотрим реализацию этого способа для ПУ, например, с трансформатором 1 (рисунок 1) мощностью  $2,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}$  (номинальное напряжение первичной обмотки 10 кВ) с двумя вторичными обмотками, двумя выпрямителями и выпрямленным напряжением 450 В, с соединением обмоток: со стороны высшего напряжения «треугольник»; со стороны низшего напряжения трансформатора одна обмотка – «звезда», другая – «треугольник». Вторичные обмотки трансформатора 1 подключены к выпрямителям 2 и 3, которые соединены по мостовой схеме Ларионова, содержат по 6 диодов 4–9 и 10–15, соответственно, и включены последовательно. Выходы выпрямителей 2 и 3 подключены к нагрузке 16 мощностью 1,8 МВт. При этой нагрузке токи в шинах, соединяющих выводы обмоток трансформатора со стороны его низшего напряжения с выпрямителями, составляют (получены с помощью модели, рассмотренной ниже): со стороны вторичной обмотки, соединенной в «звезду»,

$$I_{2YA} = 4000e^{-j44^0} \text{ А}, I_{2YB} = 4000e^{j196^0} \text{ А}, I_{2YC} = 4000e^{j76^0} \text{ А};$$

со стороны вторичной обмотки, соединенной в «треугольник»,

$$I_{2\Delta A} = 4000e^{-j14^0} \text{ А}, I_{2\Delta B} = 4000e^{j226^0} \text{ А}, I_{2\Delta C} = 4000e^{j106^0} \text{ А}.$$

Для измерения и преобразования в ЭДС индукции магнитного поля, созданного токами в шинах, соединяющих вторичные обмотки трансформатора с выпрямителями, могут быть использованы КИ 17–22 с количеством витков  $w = 8000$ , площадью поперечного сечения  $s = 0,0007 \text{ м}^2$  и  $l = 0,03 \text{ м}$ . Катушки индуктивности устанавливают под шинами, соединяющими выводы обмоток трансформатора 1 со стороны его низшего напряжения с выпрямителями 2 и 3, например, на безопасном по технике безопасности расстоянии  $h = 0,12 \text{ м}$ . В режиме нагрузки при протекании указанных токов в шинах, соединяющих выводы обмоток трансформатора 1 со стороны его низшего напряжения с выпрямителями 2 и 3, на выводах КИ 17 наводится ЭДС:

$$\underline{E}_1 = \mu_0 f w s \frac{I_{2YA}}{h} e^{-j90^0} = 11,72e^{-j134^0} \text{ В}, \quad (1)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – магнитная постоянная.

$$\text{Аналогично (1), ЭДС на выводах КИ 18–22 } \underline{E}_2 = 11,72e^{j106^0} \text{ В},$$

$$\underline{E}_3 = 11,72e^{-j14^0} \text{ В}, \underline{E}_4 = 11,72e^{-j104^0} \text{ В}, \underline{E}_5 = 11,72e^{j136^0} \text{ В},$$

$$\underline{E}_6 = 11,72e^{j16^0} \text{ В}, \quad \text{соответственно.}$$

ЭДС  $\underline{E}_1 \div \underline{E}_3$  подают на входы фазопоротных схем (ФПС) 23, которые сдвигают их на  $30^0$ . В результате на выходах ФПС 23 появляются ЭДС

$$\underline{E}_{11} = 11,72e^{-j104^0} \text{ В}, \underline{E}_{21} = 11,72e^{j136^0} \text{ В}, \underline{E}_{31} = 11,72e^{j16^0} \text{ В}.$$

$$\text{ЭДС } \underline{E}_{11}, \underline{E}_{21}, \underline{E}_{31}, \underline{E}_4, \underline{E}_5, \underline{E}_6$$

подают на входы схем 24 сравнения разностей ЭДС с эталонной величиной, где вычисляют абсолютное значение разностей ЭДС

$$|\underline{E}_{11} - \underline{E}_4|, |\underline{E}_{21} - \underline{E}_5|, |\underline{E}_{31} - \underline{E}_6|,$$

и сравнивают их с эталонным значением ЭДС, равным  $E_{\text{эт}} = 2 \text{ В}$ . Эта цифра получается в результате отстройки от ЭДС небаланса, которая зависит от погрешности установки КИ 17–22 и погрешности устройства, реализующего способ. Так как в режиме нагрузки указанные разности не превышают эталонное значение ЭДС  $E_{\text{эт}} = 2 \text{ В}$ , то защита не срабатывает.

При двухфазном коротком замыкании (КЗ), например, со стороны низшего напряжения трансформатора 1 между фазами В и С на выводах обмотки трансформатора, соединенной в «звезду», токи

$$I_{2\text{УА}} = 3700e^{-j49^\circ} \text{ А}, I_{2\text{УВ}} = 3700e^{j157^\circ} \text{ А}, I_{2\text{УС}} = 3340e^{j62^\circ} \text{ А},$$

а  $I_{2\Delta\text{А}} = 3700e^{-j28^\circ} \text{ А}, I_{2\Delta\text{В}} = 3340e^{j220^\circ} \text{ А}, I_{2\Delta\text{С}} = 3700e^{j107^\circ} \text{ А}.$

При этом на выводах КИ 17-22 по (1) получаем:

$$\underline{E}_1 = 10,84e^{-j139^\circ} \text{ В}, \underline{E}_2 = 10,84e^{j67^\circ} \text{ В}, \underline{E}_3 = 9,79e^{-j28^\circ} \text{ В},$$

Тогда на выходах ФПС 23  $\underline{E}_{11} = 10,84e^{-j109^\circ} \text{ В},$

$\underline{E}_{21} = 10,84e^{j97^\circ} \text{ В}, \underline{E}_{31} = 9,79e^{j2^\circ} \text{ В},$  а абсолютное значение разностей ЭДС:

$$|\underline{E}_{11} - \underline{E}_4| = |10,84e^{-j109^\circ} - 10,84e^{-j62^\circ}| = 8,64 \text{ В},$$

$$|\underline{E}_{21} - \underline{E}_5| = |10,84e^{j97^\circ} - 9,79e^{j130^\circ}| = 5,95 \text{ В},$$

$$|\underline{E}_{31} - \underline{E}_6| = |9,79e^{j2^\circ} - 10,84e^{-j17^\circ}| = 2,89 \text{ В}.$$

Так как полученные разности превышают эталонное значение ЭДС  $E_{\text{эт}} = 2 \text{ В}$ , то на выходах схем 24 появляются сигналы, которые поступают на входы исполнительного органа 25. Последний срабатывает и подает сигнал на отключение выключателя 26. Отметим, что в случае необходимости (как правило, при малых токах нагрузки) рассмотренное устройство может быть дополнено усилителями, входы которых подключаются к выходам ФПС 23 и к выводам КИ 17-22, а выходы – к входам схем 24.

Значения токов, протекающих при двухфазном КЗ в шинах, соединяющих выводы обмоток трансформатора 1 со стороны его низшего напряжения с выпрямителями 2 и 3, получены (как и при нагрузке) при помощи модели рассматриваемой ПУ, для реализации которой была использована среда динамического моделирования MatLab Simulink с пакетом SimPowerSystems. Адекватность реализации и математического описания всех элементов, входящих в состав данного пакета, проверены канадским производителем электроэнергии, фирмой Hydro-Quebec [12]. Моделирование трансформатора 1 осуществлено при помощи элемента Three-Phase Transformer (Three Windings), для которого задаются такие параметры, как: номинальная мощность (в МВ • А), схема соединения первичной и вторичных обмоток, действующие значения их линейных напряжений (в В), активные сопротивления и индуктивности обмоток (в о.е.), активное сопротивление ветви намагничивания (в о.е.). Выпрямители 2 и 3 реализованы при помощи элементов Universal Bridge. В качестве нагрузки 1б и сглаживающего фильтра (на рисунке 1 не показан) использованы элементы Series RLC Branch. Моделирование электрической сети, к которой подключается трансформатор 1, осуществлено при помощи блока Three-Phase Source, для которого задаются действующие значения линейного напряжения (в В), частота (в Гц), сопротивление сети (в Ом) и ее индуктивность (в Гн). Для моделирования выключателя 2б использован элемент Three-Phase Breaker.

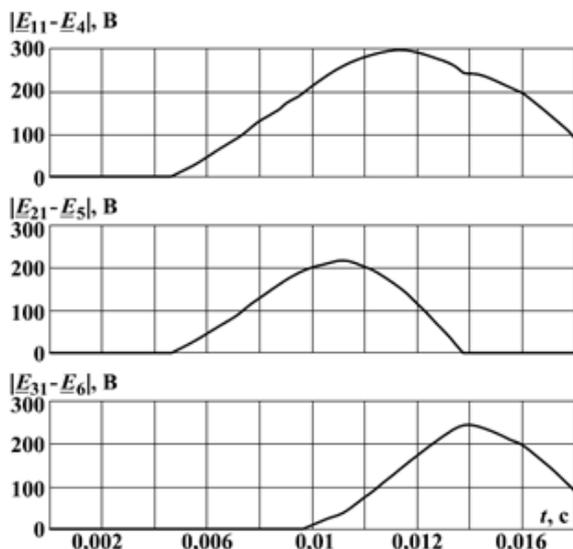


Рисунок 2 – Разности ЭДС при пробое диода 4

Также было смоделировано рассмотренное выше устройство защиты. КИ 17-22 реализованы с помощью элементов Three-Phase VI Measurement, From, Goto, Demux и Gain. Для моделирования ФПС 23 использованы элементы Transport Delay. Схемы 24 сравнения разностей ЭДС с эталонной величиной реализованы с помощью элементов Add, Abs и Compare To Constant. Исполнительный орган 25 выполнен с помощью элемента Logical Operator.

На рисунках 2 и 3 представлены осциллограммы разностей  $|\underline{E}_{11} - \underline{E}_4|$ ,  $|\underline{E}_{21} - \underline{E}_5|$ ,  $|\underline{E}_{31} - \underline{E}_6|$ , полученных путем моделирования при пробое диода 4 и при его обрыве. Величины разностей ЭДС в этих аварийных режимах превышают эталонное значение ЭДС  $E_{\text{эТ}} = 2 \text{ В}$ . Следовательно, защита срабатывает, и исполнительный орган 25 подает команду на отключение выключателя 26.

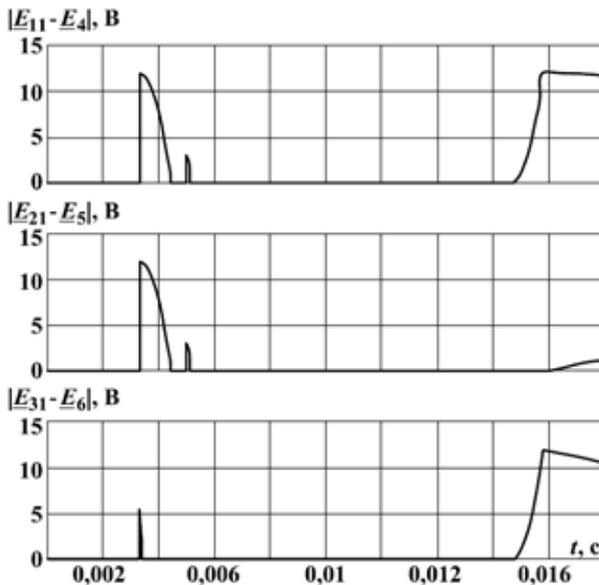


Рисунок 3 – Разности ЭДС при обрыве диода 4

## Выводы

Предложенный в данной работе способ построения дифференциальной защиты преобразовательных установок с силовым трансформатором с 2n вторичными обмотками и 2n выпрямителями позволяет обойтись без трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками, благодаря чему

удастыа значительнo эконоить медь и сталь в технике релейной защиты. Этот способ дает возможность повысить чувствительность дифференциальных защит преобразовательных установок, так как отпадает необходимость в отстройке от бросков тока намагничивания силового трансформатора.

### Список использованных источников

- 1 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 р.
- 2 **Глух, Е. М.** Защита полупроводниковых преобразователей. – М. : Энергоиздат, 1982. – 152 с.
- 3 **Flick, J. R., Sims, C.W.** AC/DC converter fault detector // Патент США №5206801. – 1993.
- 4 **Xiaowei, F., Gang, L., Dong, Z.** Direct current differential protection method of rectification unit // Патент Китая №101764394А. – 2010.
- 5 **Zhang, J.** Differential protection principle for the new converter transformers // Dianli Xitong Zidonghua: Automation of Electric Power Systems, 2011. – Vol. 35. – Issue 4. – P. 46–50.
- 6 **Gajić, Z.** Practical Experience with Differential Protection for Converter Transformers // Study Committee B5 Colloquium CIGRE, Belo Horizonte. – 2013. – P. 315–324.
- 7 **Дьяков, А. Ф., Ишкин, В. Х., Мамиконянц, Л. Г., Семенов, В. А.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – М. : ЗАО Научно-техническая фирма «Энергопрогресс», 2004. – Вып. 4–5. – 176 с.
- 8 **Kozhovich, L.A., Bishop, M.T.** Modern relay protection with current sensors on the basis of Rogovsky Coil // Modern Development of Relay Protection and Power System Automation Systems. Materials of International Scientific and Technical Conf., 2009. – P. 39–48.
- 9 **Клецель, М.Я.** Основы построения релейной защиты на герконах // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем : матер. 4-й междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург, 2013. – С. 1–10.
- 10 **Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Горюнов, В. Н., Ленъков, Ю. А.** Устройство дифференциальной защиты на герконах и магниторезисторе для преобразовательной установки с трансформатором и выпрямителем // Патент Российской Федерации №2614243. – 2017.
- 11 **Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Машрапов, Б. Е., Габдулов, А. У., Никитин, К. И.** Способ защиты преобразовательной установки с

трансформатором с 2n вторичными обмотками и 2n выпрямителями // Патент Российской Федерации №2683266. – 2019.

12 SimPowerSystems. User's Guide. Version 4. – The Math Works, Inc., 2006. – 931 с.

## References

1 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. – Moscow : Vysshaya shkola, 2006. – 639 p.

2 **Gluh, E. M.** Zashchita poluprovodnikovyh preobrazovatelej [Protection of semiconductor converters]. – Moscow : Energoizdat, 1982. – 152 p.

3 **Flick, J. R., Sims, C. W.** AC/DC converter fault detector // Pat. USA №5206801. – 1993.

4 **Xiaowei, F., Gang, L., Dong, Z.** Direct current differential protection method of rectification unit // Pat. China №101764394A. – 2010.

5 **Zhang, J.** Differential protection principle for the new converter transformers // Dianli Xitong Zidonghua : Automation of Electric Power Systems, 2011. – Vol. 35. – Issue 4. – P. 46–50.

6 **Gajić, Z.** Practical Experience with Differential Protection for Converter Transformers // Study Committee B5 Colloquium CIGRE, Belo Horizonte. – 2013. – P. 315–324.

7 **Diakov, A. F., Ishkin, V. Kh., Mamikonians, L. G., Semenov, V. A.** Elektroenergetika mira v nachale XXI stoletia (po mater 39-i sessii SIGRE Parizh) [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials of the 39th session of CIGRE, Paris)] // Energy Abroad. – Moscow : CJSC Scientific and technical firm «Energoprogress», 2004. – Issue 4-5. – 176 p.

8 **Kozhovich, L. A., Bishop, M. T.** Modern relay protection with current sensors on the basis of Rogovsky Coil // Modern Development of Relay Protection and Power System Automation Systems. Materials of International Scientific and Technical Conf., 2009. – P. 39–48.

9 **Kletsel, M. Ya.** Osnovy postroeniya relejnoj zashchity na gerkonah [Fundamentals of building relay protection on reed switches] // Sovremennye napravleniya razvitiya sistem relejnoj zashchity i avtomatiki energosistem: mater. 4-j mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Modern trends in the development of relay protection systems and automation of power systems: mater. 4th Intern. sci.-tech. conf.]. – Ekaterinburg, 2013. – P. 1–10.

10 **Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Goryunov, V. N., Len'kov, Yu. A.** Ustrojstvo differencial'noj zashchity na gerkonah i magnitorezistore dlya preobrazovatel'noj ustanovki s transformatorom i vypryamitelem [Differential

protection device based on reed switches and magnetoresistor for a converter plant with a transformer and a rectifier] // Pat. Russian Federation №2614243. – 2017.

11 Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Mashrapov, B. E., Gabdulov, A. U., Nikitin, K. I. Sposob zashchity preobrazovatel'noj ustanovki s transformatorom s  $2n$  vtorichnymi obmotkami i  $2n$  vypryamitelyami [Protection method of a converter installation with a transformer with  $2n$  secondary windings and  $2n$  rectifiers] // Pat. Russian Federation №2683266. – 2019.

12 SimPowerSystems. User's Guide. Version 4. – The Math Works, Inc., 2006. – 931 p.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

\*А. С. Барукин<sup>1</sup>, Б. Е. Маширапов<sup>2</sup>, М. Я. Клецель<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

## **2N ҚАЙТАЛАМА ОРАМДАРЫМЕН ЖӘНЕ 2N ТҮЗЕТКІШТЕРІМЕН ТРАНСФОРМАТОРЫ БАР ТҮРЛЕНДІРГІШ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ РЕСУРС ҮНЕМДЕЙТІН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ҚОРҒАНЫСЫ**

*Трансформаторларды пайдаланбайтын түрлендіргіш қондырғылардың ресурс үнемдейтін дифференциалды қорғанысын оңдеудің өзектілігі негізделді. Бұл мәселені шешудің бір бағыты магнитке сезімтал элементтерді қолдану болып табылады. «Торайғыров университеті» КЕАҚ-да бұрын геркондарда ток трансформаторларының түрлендіргіш қондырғыларды дифференциалды қорғау құрылғысын жасауға әрекет жасалғаны айтылады. Осы уақытқа дейін  $2n$  екінші реттік трансформаторы бар (мұндағы  $n$  – «жұлдызға» және «үшбұрышқа» қосылған трансформатордың екінші реттік орамаларының саны) және  $2n$  түзеткіштері бар түрлендіргіш қондырғылары үшін дифференциалды қорғаныс ұсынылмағаны анықталды. Мұндай қорғауды құрудың патенттелген әдісі ұсынылады. Бұл әдіс түрлендіргіш қондырғының трансформаторының төменгі кернеуі жсағынан барлық фазаларды шиналарына жақын орналасқан индуктивтілік катушкаларындағы ЭҚК-ны өлшеу, осы шиналардағы токтармен басқарылатын ЭҚК-ны теңестіру және азайту, аттас фазалар үшін катушкалардан алынған, сондай-ақ алынған айырмаларды эталон мәнімен салыстыру болып табылады. Қорғауды құрудың ұсынылған әдісін жүзеге*

*асыратын құрылғының моделі келтірілген және оның түрлендіргіш қондырғының әртүрлі жұмыс режимдеріндегі әрекеті талданған. 2n түзеткіштердің бірінің диоды сынған кезде және үзілген кезде модельдеу арқылы алынған осциллограммалар ұсынылған.*

*Кілтті сөздер: түрлендіргіш қондырғы, трансформатор, дифференциалды қорғаныс, индуктивтілік катушка, шина.*

\*A. S. Barukin<sup>1</sup>, B. E. Mashrapov<sup>2</sup>, M. Ya. Kletsel<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 20.06.23.

## **RESOURCE-SAVING DIFFERENTIAL PROTECTION OF CONVERTER INSTALLATION WITH A TRANSFORMER WITH 2N SECONDARY WINDINGS AND 2N RECTIFIERS**

*The relevance of the development of resource-saving differential protection of converter installations that do not use current transformers is substantiated. It is noted that one of the directions for solving this problem is the use of magnetically sensitive elements. It is mentioned that in NJSC Toraighyrov University an attempt was made earlier to build a differential protection device for converter installations without current transformers on reed switches. It has been established that so far differential protection has not been offered for converter installations with a transformer with 2n secondary windings (where n is the number of secondary windings of the transformer connected in a star and delta connection) and 2n rectifiers. A patented method for constructing such protection is proposed. The method consists in measuring the EMF at the terminals of inductance coils installed near the busbars of all phases on the low voltage side of the transformer of the converter installation, in equalizing and subtracting the EMF induced by currents in these busbars, obtained from coils for the same phases, and also in the subsequent comparison of the obtained differences with reference value. A model of a device that implements the proposed method for constructing protection is presented, and its behavior in various modes of operation of the converter installation is analyzed. The oscillograms are presented, obtained by modeling during a breakdown and during a break in the diode of one of the 2n rectifiers.*

*Keywords: converter installation, transformer, differential protection, inductance coil, busbar.*

Теруге 20.06.2023 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2023 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

17,5 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,67. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4103

Сдано в набор 20.06 2023 г. Подписано в печать 30.06 2023 г.

Электронное издание

17,5 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,67. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4103

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

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

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

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

8 (7182) 67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)