

Торайғыров университетінің  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2020)

---

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

KZ19VRY00029272

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**

---

**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

**А. Н. Новожилов<sup>1</sup>, Е. М. Волгина<sup>2</sup>, Т. А. Новожилов<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>3</sup>Омский государственный технический университет,

Российская Федерация, г. Омск

## **УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ БЛОКА «ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ» ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ТОКОПРОВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*Электроснабжение электролизного производства чаще всего осуществляется с помощью регулировочного трансформатора и блока «выпрямительный трансформатор». Традиционно защита трансформаторов с токопроводами от коротких замыканий осуществляется с помощью максимальной токовой защиты, токовой отсечки, дифференциальной защиты и газовой защиты. Однако каждая из этих защит обладает определенными недостатками. В статье предложено устройство защиты блока выпрямительных трансформаторов электролизного производства и токопровода переменного тока с использованием магнитных трансформаторов тока.*

*Ключевые слова: электролиз, трансформатор, токопровод, магнитный трансформатор тока, релейная защита.*

### **Введение**

Как известно [1, 2] электроснабжение электролизного производства чаще всего осуществляется с помощью регулировочного трансформатора и блока «выпрямительные трансформаторы». Схема такого электроснабжения приведена на рисунке 1. Из этого рисунка видно, что в качестве первичных обмоток каждого из трансформаторов этого блока используются обмотки высокого напряжения, которые соединяются в прямую и обратную «звезду».

### **Материалы и методы**

Фундаментальные положения теоретических основ математики, электротехники и электрических машин, а также теория построения релейной защиты и натурный эксперимент.

### Результаты и обсуждения

Обмоток низкого напряжения на каждом трансформаторе блока две. Они выполняются одинаковыми. При этом вторичные обмотки первого трансформатора соединяются в прямой и обратный треугольник, а вторичные обмотки второго – в прямую и обратную «звезду». В результате чего на выходе блока «выпрямительные трансформаторы» образуется двенадцатифазная система переменного тока.

Из мировой практики эксплуатации трансформаторов известно, что на короткие замыкания (КЗ) в них приходится до 52 % от общего числа их повреждений. Из этих КЗ примерно 48–86 % составляют витковые замыкания (ВЗ) [3, 4].

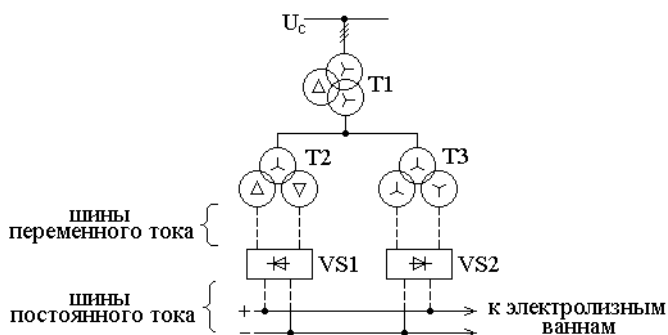


Рисунок 1 – Схема электроснабжения электролизного производства

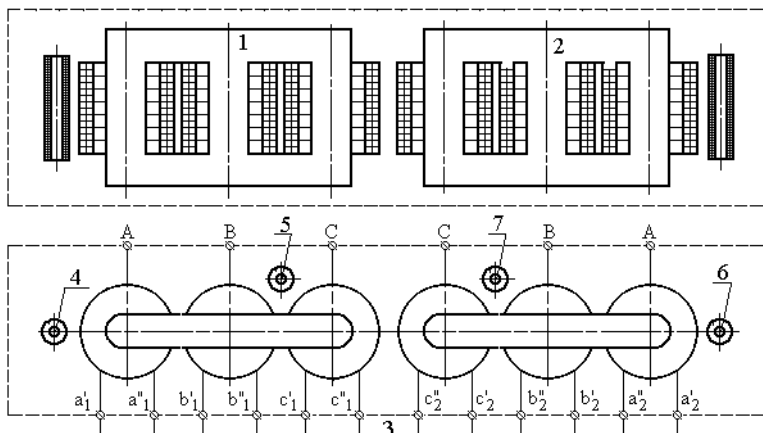


Рисунок 2 – Схема размещения МТТ  
в блоке «выпрямительные трансформаторы»

Традиционно защита трансформаторов с токопроводами от КЗ осуществляется с помощью максимальной токовой защиты (МТЗ), токовой отсечки (ТО), дифференциальной защиты (ДЗ) и газовой защиты (ГЗ) [5, 6]. Однако МТЗ и ТО не реагируют на ВЗ в трансформаторе, а ДЗ обладают низкой чувствительностью к этому виду замыкания. При этом ДЗ трансформатора, а также МТЗ и ТО токопроводов сложной конструкции часто невозможно реализовать из-за недостаточности места для установки трансформатора тока или из-за необходимости установки их на большое количество выводов вторичной обмотки трансформатора.

В значительной мере этих недостатков лишена релейная защита блока «выпрямительные трансформаторы» с токопроводом [7], взаимное расположение трансформаторов 1, 2 и магнитных трансформаторов тока (МТТ) 4–7 в котором показано на рисунке 2. В такой реализации защиты МТТ 4 и 6 имеют по две обмотки, а МТТ 5 и МТТ 7 – по одной обмотке. Все обмотки этих МТТ одинаковы.

На рисунке 3 приведена принципиальная схема защиты. По ней в защите первого трансформатора и для сравнения ЭДС обмоток 8 и 9 МТТ 4 и 5 используются переменный резистор 10 и реле 11. Нормально разомкнутый контакт 12 этого реле подключается к цепи отключения 13 выключателя и блоку индикации 14. А его нормально замкнутый контакт 15 подключен к цепи отключения выключателя 16 и блоку индикации 14.

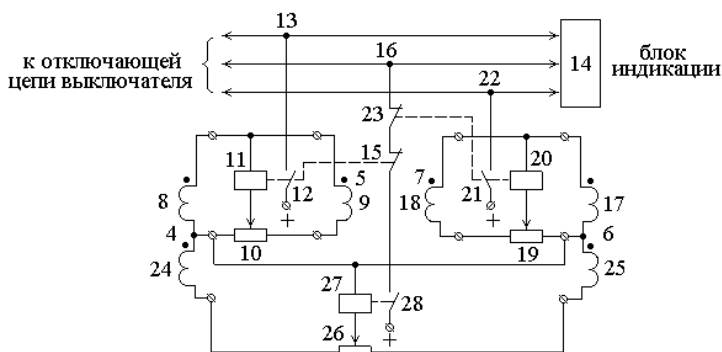


Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства защиты блока из двух выпрямительных трансформаторов электролизного производства и их шинпровода

В защите второго трансформатора для сравнения ЭДС обмоток 17 и 18 МТТ 6 и МТТ 7 используется переменный резистор 19 и реле 20. Нормально разомкнутый контакт 21 этого реле подключается к цепи 22 отключения

выключателя и блоку индикации 14. А его нормально замкнутый контакт 23 подключен к цепи отключения выключателя 16 и блоку индикации 14.

В защите токопровода для сравнения ЭДС обмоток МТТ 24 и 25 используется переменный резистор 26 и реле 27. Нормально разомкнутый контакт 28 реле 27 через контакты 15 и 23 подключается к цепи 16 отключения выключателя и блоку индикации 14.

В произвольном эксплуатационном режиме работы блока «выпрямительные трансформаторы» в обмотках всех МТТ токами в обмотках выпрямительных трансформаторов индуктируются одинаковые ЭДС. Поэтому токи в реле 11, 20 и 27 будут равны нулю, а их контакты находится в том положении, которое указано на рисунке 3. В результате сигнал в цепях 13, 18 и 22 отключения выключателя будет отсутствовать. Блок «выпрямительный трансформатор» с токопроводом остается в работе, а блок информации высветит «НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ».

При ВЗ, например, в одной из обмоток фазы А первого выпрямительного трансформатора в ней образуется дополнительный контур с током, величина которого на порядок больше тока в остальной части этой обмотки. В связи с этим ЭДС в обмотках 8 и 24 МТТ 4 станут больше ЭДС в обмотках остальных МТТ. В цепях реле 11 и 27 появится ток и они сработают. При этом их нормально разомкнутые контакты 12 и 28 замкнутся, а нормально замкнутый контакт 15 разомкнется. Замкнувшийся контакт 12 через цепь 13 подаст сигнал на отключение первого выпрямительного трансформатора от сети и на блок информации 13, который высветит «ВЗ В ПЕРВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ». В свою очередь разомкнувшийся контакт 15 заблокирует подачу сигнала в цепь 16. Что обеспечивает защите первого трансформатора абсолютную селективность, то есть она будет срабатывать только при ВЗ в его обмотках. Очевидно, при ВЗ в обмотках остальных фаз этого трансформатора его защита будет действовать аналогично.

При ВЗ в одной из обмоток второго выпрямительного трансформатора ток появится в цепях реле 20 и 27 и они сработают. При этом их нормально разомкнутые контакты 21 и 28 замкнутся, а нормально замкнутый контакт 23 разомкнется. Замкнувшийся контакт 21 через цепь 22 подаст сигнал на отключение второго выпрямительного трансформатора от сети и на блок информации 14, который высветит «ВЗ ВО ВТОРОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ». В свою очередь разомкнувшийся контакт 23 заблокирует подачу сигнала в цепь 16. Что обеспечивает защите второго трансформатора абсолютную селективность.

При КЗ в шинопроводе 3, например выводами  $a'_1$  и  $a''_1$  на рисунке 2, из-за значительно возросшего тока в обмотке фазы А первого трансформатора ЭДС в обмотках 8, 9 и 24 МТТ 4 и 5 4 станут больше ЭДС в обмотках остальных МТТ. При этом ЭДС в обмотках 8 и 9 МТТ 4 и 5 будут одинаковы.

В цепи реле 27 появится ток и оно сработает. Его нормально разомкнутый контакт 28 замкнется и через цепь 16 сформирует сигнал на отключение выпрямительных трансформаторов от сети и на блок информации, который высветит «КЗ В ШИНОПРОВОДЕ».

В связи с неточностью изготовления и установки катушек трансформатора и МТТ в эксплуатационном режиме работы в реле 11, 20 и 27 протекает ток небаланса определяемый как

$$I_{\text{нб}11} = \frac{E_{\text{МТТ}8} - E_{\text{МТТ}9}}{(Z_{\text{po}} + Z_{\text{МТТ}} + R_{\text{б}}/2)}, \quad I_{\text{нб}20} = \frac{E_{\text{МТТ}17} - E_{\text{МТТ}18}}{(Z_{\text{po}} + Z_{\text{МТТ}} + R_{\text{б}}/2)} \quad (1)$$

$$\text{и } I_{\text{нб}27} = \frac{E_{\text{МТТ}24} - E_{\text{МТТ}25}}{(Z_{\text{po}} + Z_{\text{МТТ}} + R_{\text{б}}/2)},$$

где  $E_{\text{МТТ}8}$  и  $E_{\text{МТТ}9}$ ,  $E_{\text{МТТ}17}$  и  $E_{\text{МТТ}18}$ ,  $E_{\text{МТТ}24}$  и  $E_{\text{МТТ}25}$  – ЭДС в обмотках 8 и 9, 18 и 19, 24 и 25 МТТ; где  $Z_{\text{po}}$  и  $Z_{\text{МТТ}}$  – полное сопротивление реагирующего органа и МТТ;  $R_{\text{б}}$  – величина балансных сопротивлений 10, 19 и 26.

В связи с этим порог срабатывания реле 11, 20 и 27 рассчитывается как  $I_{\text{ср}11} = k_{\text{н}} I_{\text{нб}11, \text{нам}}$ ,  $I_{\text{ср}20} = k_{\text{н}} I_{\text{нб}20, \text{нам}}$  и  $I_{\text{ср}27} = k_{\text{н}} I_{\text{нб}27, \text{нам}}$ , (2)

где  $k_{\text{н}}$  – коэффициент надежности равный 1,3-1,6;  $I_{\text{нб}11, \text{нам}}$ ,  $I_{\text{нб}20, \text{нам}}$  и  $I_{\text{нб}27, \text{нам}}$  – ток небаланса при включении трансформатора в сеть.

### Выводы

Проверка работоспособности защиты блока из двух выпрямительных трансформаторов и их шинпровода от повреждений осуществленного в лабораторных условиях. Она показала, что разработанная защита вполне удовлетворяет требованиям, которые обычно предъявляют к устройствам релейной защиты.

### Список использованных источников

- 1 **Свенчанский, А. Д.** Электроснабжение и автоматизация электротермических установок. – М. : Энергия, 1980. – 320 с.
- 2 **Тормасов, В. В.** Электротехнология основных производств. М. : Высшая школа, 1970. – 288 с.
- 3 **Новожилов, А. Н., Новожилов, Т. А.** Релейная защита однофазного трансформатора на магнитных трансформаторах тока. – Павлодар : Изд-во Кереку, 2017. – 117 с.
- 4 **Засыпкин, А. С.** Релейная защита трансформаторов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.

- 5 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Высшая школа, 1991. – 495 с.
- 6 **Беркович, М. А.** Основы техники релейных защит. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.
- 7 Пат. 26738 РК. Устройство защиты трехфазного трансформатора от замыканий обмоток / Новожилов А. Н., Колесников Е. Н., Новожилов Т. А. и др.; опубл. 15.03.13, Бюл. № 3. – 4 с.
- 8 **Волгина, Е. М., Новожилов, А. Н., Колесников, Е. Н., Новожилов, Т. А.** Моделирование работы трехфазного трехобмоточного трансформатора // Вестник ПГУ. – 2019. – № 2. – С. 62–74.
- 9 Пат. RU 2705213 С1 МПК H02N 3/28. Устройство максимальной токовой защиты электрической установки / Никитин К. И., Иванов Г. В., Волгина Е. М. и др.; опубл. 06.11.19 Бюл. № 31. – 10 с.
- 10 Пат. 32511 РК. Устройство максимальной токовой защиты электрической установки / Новожилов А. Н., Новожилов Т. А., Волгина Е. М.; опубл. 30.11.17, Бюл. № 22. – 4 с.
- 11 **Новожилов, А. Н., Волгина, Е. М.** Магнитный трансформатор тока для максимальной токовой защиты // Интернаука : сб. ст. по матер. 7-й междунар. науч.-практ. конф. – М., 2018. – С. 128–133.
- 12 **Казанский, В. Е.** Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. – М. : Энергия, 1969. – 184 с.
- 13 А.с. 1860027А1. СССР. Дифференциальный датчик для измерения тока / В. Е. Казанский, А. П. Кузнецов; опубл. 13.10.66, Бюл. №18. – 4 с.
- 14 **Volgina, E. M., Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Kolesnikov, E. N. & Rakhimberdinova, D. M.** Magnetic Field Scattering of a Transformer Winding on a Round Rod for a Safety Relay // Russian Engineering Research. – 2020. – № 40. – P. 710–713.

## References

- 1 **Svenchanskij, A. D.** Elektrosnabzhenie i avtomatizaciya elektrotermicheskikh ustanovok [Power supply and automation of electrothermal installations]. – Moscow : Energiya, 1980. – P. 320.
- 2 **Tormasov, V. V.** Elektrotekhnologiya osnovnyh proizvodstv [Electrotechnology of the main industries]. – Moscow : Vysshaya shkola, 1970. – P. 288.
- 3 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A.** Relejnaya zashchita odnofaznogo transformatora na magnitnyh transformatorah toka [Relay protection of a single-phase transformer on magnetic current transformers]. – Pavlodar : Kereku, 2017. – P. 117.



4 **Zasytkin, A. S.** Relejnaya zashchita transformatorov [Relay protection of transformers]. – Moscow : Energoatomizdat, 1989. – 240 p.

5 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniy. [Relay protection and automation of power supply systems]. – Moscow : Vysshaya shkola, 1991. – P. 495.

6 **Berkovich, M. A.** Osnovy tekhniki relejnyh zashchit [Fundamentals of relay protection technology]. – Moscow : Energoatomizdat, 1984. – p. 232.

7 Pat. 26738 RK. Ustrojstvo zashchity trekhfaznogo transformatora ot zamykanij obmotok [Three-phase transformer protection device against winding faults]. Novozhilov A. N., Kolesnikov E. N., Novozhilov T. A. i dr. Opubl. 15.03.13. – Byul. № 3. – P. 4.

8 **Volgina, E. M., Novozhilov, A. N., Kolesnikov, E. N., Novozhilov, T. A.** Modelirovanie raboty trekhfaznogo trekhobmotochnogo transformatora [Modeling the operation of a three-phase three-winding transformer] [Text] In Vestnik PGU. – 2019. – № 2. – P. 62–74.

9 Pat. RU 2705213 C1 MPK N02N 3/28. Ustrojstvo maksimal'noj tokovoj zashchity elektricheskoy ustanovki [Overcurrent protection device for electrical installation]. Nikitin K. I., Ivanov G. V., Volgina E. M. et al. Opubl. 06.11.19. Byul. № 31. – P. 10.

10 Pat. 32511 RK. Ustrojstvo maksimal'noj tokovoj zashchity elektricheskoy ustanovki [Overcurrent protection device for electrical installation]. Novozhilov A. N., Novozhilov T. A., Volgina E. M. Opubl. 30.11.17. Byul. № 22. – P. 4.

11 **Novozhilov, A. N., Volgina, E. M.** Magnitnyj transformator toka dlya maksimal'noj tokovoj zashchity [Magnetic current transformer for overcurrent protection] [Text] In Internauka : sb. st. po mater. 7-j mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Moscow, 2018. – P. 128–133.

12 **Kazansky, V. E.** Transformatory toka v skhemah relejnoj zashchity. [Current transformers in relay protection circuits]. – Moscow : Energiya, 1969. – P. 184.

13 A.s. 1860027A1. SSSR. Differencial'nyj datchik dlya izmereniya toka [Differential current sensor]. V. E. Kazanskij, A. P. Kuznecov. Opubl. 13.10.66. Byul. № 18. – P. 4.

14 **Volgina, E. M., Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Kolesnikov, E. N. & Rakhimberdinova, D. M.** Magnetic Field Scattering of a Transformer Winding on a Round Rod for a Safety Relay. In Russian Engineering Research. – 2020. – № 40. – P. 710–713.

Материал поступил в редакцию 30.09.20.

А. Н. Новожилов<sup>1</sup>, Е. М. Волгина<sup>2</sup>, Т. А. Новожилов<sup>3</sup>

## **Электролиз өндірісінің түзеткіш трансформатор қондырғысы мен айнымалы ток өткізгіштің қорғаныс құрылғысы**

<sup>1,2</sup>Торайғыров университеті,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;  
<sup>3</sup>Омск мемлекеттік техникалық университеті,  
Ресей Федерациясі, Омбы қ.  
Материал 30.09.20 баспаға түсті.

A. N. Novozhilov<sup>1</sup>, E. M. Volgina<sup>2</sup>, T. A. Novozhilov<sup>3</sup>

## **Unit protection device «Rectifier transformers» electrolysis production and AC circuits**

<sup>1,2</sup>Toraighyrov University,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar;  
<sup>3</sup>Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk.  
Material received on 30.09.20.

*Электролиз өндірісі үшін электрмен жабдықтау көбінесе басқару трансформаторы мен түзеткіш трансформатор қондырғысының көмегімен жүзеге асырылады. Әдеттегідей, трансформаторларды шиналардың қысқа тұйықталуынан қорғау шамадан тыс ток, қорғаныс және газдан қорғаныс арқылы жүзеге асырылады. Алайда, осы қорғаудың әрқайсысының белгілі бір кемшіліктері бар. Мақалада электролиз өндірісінің түзеткіш трансформатор блогын және магниттік ток трансформаторларын қолданатын айнымалы ток өткізгіштің қорғаныс құрылғысы ұсынылған.*

*Кілтті сөздер: электролиз, трансформатор, өткізгіш, магниттік ток трансформаторы, релелік қорғаныс.*

*Electricity supply for electrolysis production is most often carried out using a regulating transformer and a rectifier transformer unit. Traditionally, protection of transformers with busbars against short circuits is carried out by means of overcurrent protection, overcurrent cutoff, differential protection and gas protection. However, each of these protections has certain disadvantages. The article proposes a protection device for the rectifier transformer block of the electrolysis production and the alternating current conductor using magnetic current transformers.*

*Keywords: electrolysis, transformer, current lead, magnetic current transformer, relay protection.*

Теруге 30.09.2020 ж. жіберілді. Басуға 14.10.2020 ж. қол қойылды.  
Электронды баспа  
2,99 Мб RAM  
Шартты баспа табағы 23,30. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы  
Корректор: А. Р. Омарова  
Тапсырыс № 3707

Сдано в набор 30.09.2020 г. Подписано в печать 14.10.2020 г.  
Электронное издание  
2,99 Мб RAM  
Усл. печ. л. 23,30. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы  
Корректор: А. Р. Омарова  
Заказ № 3707

«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  
www.vestnik.tou.edu.kz