

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

№ 3 (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/YBCY7199>

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/JFAV2785>

***Е. Н. Колесников¹, Н. Ш. Жуматаев², А. Н. Новожилов³,
Д. М. Рахимбердинова⁴, Т. А. Новожилов⁵**

^{1,2,3,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

⁵Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск

e-mail : jeka89_pvl@mail.ru

МАГНИТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА С ДВУМЯ МАГНИТОПРОВОДАМИ

В данной статье рассматривается вопрос разработки магнитного преобразователя тока и метода определения его порога срабатывания при известном токе срабатывания защиты. В нем используется контактная система от реле тока РТ-40, два магнитопровода и система крепежных стоек, обеспечивающих его крепление на защищаемой электроустановке в непосредственной близости от токоведущей шины. При этом шина закрепляется на опорных изоляторах и имеет дополнительную накладную изоляцию. В магнитном преобразователе тока (МПП) регулировка порога срабатывания осуществляется путем перемещения его магнитной системы относительно шины с током и рычага. Для определения расстояния h_3 между магнитопроводами и шиной с током, а также положения рычага для выставления порога срабатывания, определяемое на шкале величиной $m_{\text{МПП}}$ при известном токе срабатывания с одной стороны, используется зависимость $B_{\delta, \text{сз}} = f(m_{\text{МПП}})$, получаемая экспериментальным путем, где $B_{\delta, \text{сз}}$ – индукция магнитного поля в воздушном зазоре, при которой происходит срабатывание МПП. С другой стороны, с помощью программного комплекса ELCUT для задаваемых величин h_3 и $m_{\text{МПП}}$ моделирования индукции B_{δ} . Требуемые для установки порога срабатывания величины h_3 и $m_{\text{МПП}}$ получаются при равенстве величин B_{δ} и $B_{\delta, \text{сз}}$.

Ключевые слова: Магнитный преобразователь тока, элементы реле, магнитная система реле, контактная система реле, порог срабатывания, программный комплекс ELCUT.

Введение

Как известно, для реализации токовых защит [1,2] электрических сетей и электроустановок могут использоваться такие устройства как плавкие предохранители [3], автоматические выключатели [2,3], первичные максимальные токовые реле косвенного действия типа РЭВ-570 [1], трансформаторы тока (ТТ) [1,2], катушка Роговского [4] и магнитные трансформаторы тока (МТТ) [5] с вторичными токовыми реле косвенного действия [1,6], магнитные преобразователи тока (МПТ) [7], оптоволоконные, гальваномагнитные и магниторезистивные преобразователи [4], а также герконы [8]. Поэтому область использования токовых защит определена общеизвестными достоинствами и недостатками этих устройств.

Анализ показывает, что одной из наиболее дешевых и простых в установке является токовая защита, в которой используется МПТ, изготавливаемый на базе элементов токового реле РТ-40 [7]. Такой МПТ может устанавливаться на токоведущую шину с помощью изоляции в виде ленты из стеклоткани, пропитанной лаком или эпоксидной смолой. Реализация защит с их использованием не требует дополнительных реле, так как контакты МПТ могут подключаться непосредственно к цепям управления магнитным пускателем или автоматическим выключателем. Однако, его нельзя установить на шину, размеры которой превышают окна магнитопровода токового реле РТ-40. Что, несомненно, ограничивает область его применения.

Материалы и методы

Конструкция МПТ. Этому недостатка лишена конструкция МПТ, приведенная на рисунке 1,а, где в качестве несущего элемента используется алюминиевая стойка 1 имеющая Н – образную форму. С одной стороны на этой стойке монтируются контактная система 2, а с другой стороны на ней с помощью четырех винтов 3 закрепляются магнитопроводы 4 и 5.

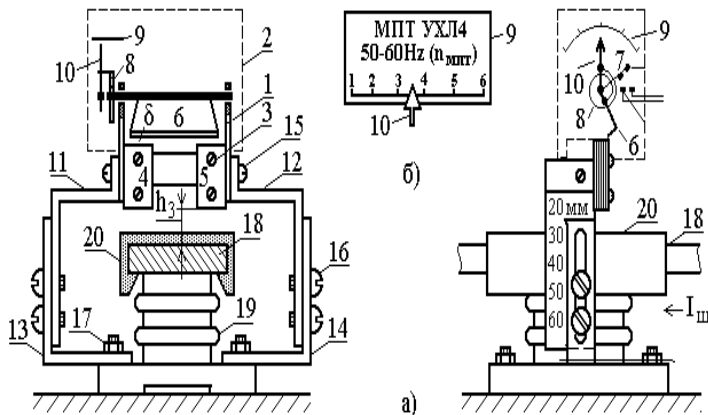


Рисунок 1 – Конструкция и установка МПТ

В качестве контактной системы этого МПТ используется контактная система от токового реле серии РТ-40. Подвижная часть этой системы состоит из Г-образного якоря 6 и указателя 7, связанных между собой с помощью спиральной пружины 8, а также шкалы 9 и подвижных контактов 10. С помощью указателя 7 осуществляется натяжение пружины 8 в контактной системе. Величина ее натяжения определяет порог срабатывания МПТ. При этом порог срабатывания определяется величиной $m_{\text{мп}}$ на шкале 9.

В соответствии с [9] такая контактная система срабатывает в том случае, когда величина B_{δ} индукции в воздушном зазоре достигнет величины $B_{\delta, \text{ср}}$ при заданном положении указателя 7, которое на шкале 9 определено величиной $m_{\text{мп}}$. Разметка шкалы 9 показана на рисунке 1,б. Такая зависимость в численном виде при величине воздушного зазора $\delta = 0,7$ мм якорем 6 и магнитопроводами 4 и 5 приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Величина индукции B_{δ} магнитного поля, приводящая к срабатыванию МПТ при различном положении рычага 10

Величины $m_{\text{мп}}$ на шкале МПТ	1	2	3	4	5	6
Индукция $B_{\delta, \text{ср}}$ перед срабатыванием реле, Тл	0,060	0,075	0,094	0,109	0,128	0,143

Алюминиевая стойка 1 на электрической установке закрепляется с помощью системы стоек 11, 12 и 13, 14 из алюминия, которые между

собой скрепляются с помощью винтов 15, а также винтов 16 и гаек 17. Что обеспечивает возможность перемещения алюминиевой стойки 1 с контактной системой 2 и магнитопроводами 4 и 5 относительно токоведущей шины 18 в достаточно широких пределах, а, следовательно, влияет на величину порога срабатывания. Токоведущая шина 18 к защищаемой электрической установке крепится с помощью опорного изолятора 19. Расстояние h_3 от шины 18 до магнитопроводов 4 и 5 отмеряется по шкале, нанесенной на стойку 11. Для того, чтобы исключить возможность возникновения электрического пробоя между шиной 18 с током и металлическими элементами конструкции МПТ на этой шине закрепляется изоляция в виде пластины 20 П – образной формы из пластика.

Таким образом, в таком МПТ в зависимости от номинального напряжения и мощности защищаемой электроустановки магнитопроводы и шина могут иметь произвольные форму и размеры, а также располагаться на произвольном расстоянии h_3 друг от друга. При этом срабатывание МПТ происходит в том случае, когда индукции B_δ магнитного поля в воздушном зазоре δ между якорем 6 и магнитопроводами 4 и 5 достигнет величины $B_{\delta,сз} = f(m_{мпт})$ а ток в шине достигнет величины I_p .

Определение порога срабатывания МПТ. Определение тока I_p срабатывания МПТ базируется на моделировании индукции магнитного поля в воздушном зазоре B_δ при известных размерах магнитопроводов 4,5 и шины 18, а также расстояния между ними. Однако, в соответствии с [10-12], моделирование индукции B_δ с учетом всех этих требований представляет достаточно сложную математическую задачу. Значительно проще для этих целей воспользоваться программным комплексом ELCUT [13] с использованием расчетной модели МПТ, приведенной на рисунке 2.

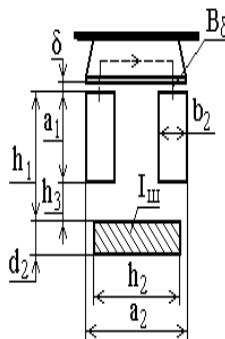


Рисунок 2 – Расчетная схема МПТ

Процесс определения тока $I_{\text{ср}}$ срабатывания МПТ гораздо проще продемонстрировать на конкретном примере. В качестве примера используется МПТ, размеры элементов магнитной системы которого и токоведущей шины приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Размеры элементов магнитной системы МПТ с токоведущей шиной

Размеры элементов магнитопровода МПТ	Величина
Длина a_1 магнитопровода, мм	30
Расстояние a_2 между магнитопроводами, мм	48
Ширина магнитопровода, b_2 , мм	5 и 15
Толщина шины с током, h_2 , мм	10
Ширина шины с током, h_1 , мм	38
Толщина d_1 якоря МПТ в исходном положении, мм	0,016
Величина δ воздушного зазора, мм	0,6

Картины магнитных полей, полученных с помощью программного комплекса ELCUT для расстояний $h_3 = 5$ мм и $h_3 = 40$ мм приведены на рисунках 3,а и 3,б.

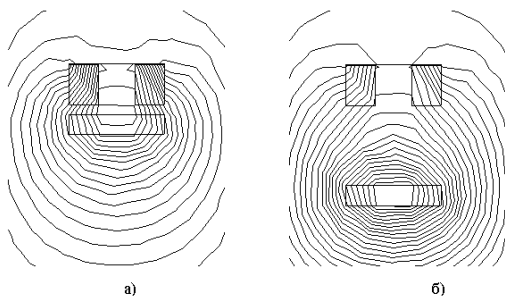


Рисунок 3 – Картины магнитных полей при $h_3 = 5$ мм (а) и $h_3 = 40$ мм (б)

Результаты и обсуждения

Расчетные значения величин токов, при которых происходит срабатывание МПТ в зависимости от расстояния h_3 между торцами магнитопроводов и шиной с током, а также положения рычага 7 задающего порог срабатывания определяемого величины $m_{\text{мпт}}$ на шкале МПТ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные значения величин токов, при которых происходит срабатывание МПТ

Величины $m_{МПТ}$ на шкале МПТ	1	2	3	4	5	6
Расчетный ток в шине $I_{ш}$ при $h_3 = 5$ мм А	4400	5500	6893	7993	9387	10487
Расчетный ток в шине при $h_3 = 20$ мм А	7100	8875	10650	12898	15147	16926
Расчетный ток в шине при $h_3 = 40$ мм А	12500	15625	19583	22708	26667	29791

Зависимости $I_{ш} = f(m_{МПТ})$, построенные по данным из таблицы 3, для h_3 равных 5мм, 20мм и 40мм, приведены на рисунке 4 в виде линий 1, 2 и 3. Таким образом, если известна величина тока $I_{с,з}$ срабатывания защиты, то в этом случае положение $m_{с,з}$ рычага 7 указывающего порог срабатывания определяется так, как показано на рисунке 4. Из этого рисунка видно, что, например, при токе $I_{с,з}$ равном 21000А этот рычаг по шкале следует устанавливать в положение $m_{с,з} = 3,45$. При этом ток срабатывания для максимальной токовой защиты и токовой отсечки по математическим выражениям приведенным [1-2, 14-15].

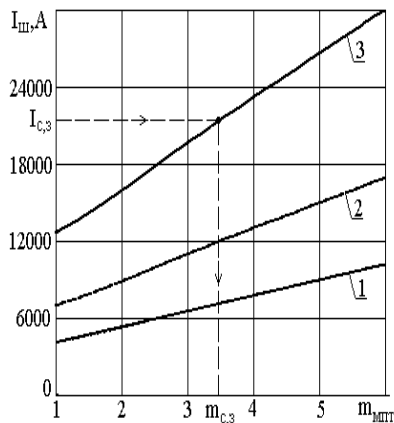


Рисунок 4 – Схема определения положения указателя порога срабатывания МПТ

Информация о финансировании

Это исследование было профинансировано Министерством Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (ИРН АР14972779).

Выводы

Предложенный магнитный преобразователь тока с двумя магнитопроводами позволяет разрабатывать простые и дешевые защиты с токами срабатывания от 4400 А до 30000 А.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Беркович М. А., Молчанов В. В., Семенов В. А.** Основы техники релейных защит. – М. : Изд-во Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.

2 **Андреев В.А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Изд-во Высшая школа, 1991. – 495 с.

3 **Чунихин А. А.** Электрические аппараты. – М.: Изд-во Энергия, 1975. – 647 с.

4 **Новожилов Т. А, Новожилов А. Н., Волгина Е. М.** Измерение переменного тока в проводнике для нужд релейной защиты // Омский научный вестник. – 2016. – № 3 (147). – С. 67.

5 **Новожилов Т. А., Новожилов А. Н., Волгина Е. М.** Область использования магнитных трансформаторов тока в электроэнергетике // Омский научный вестник. – 2018. – №3. – С. 67–73.

6 **Алексеев В. С.** Реле защиты / Алексеев В. С., Варганов Б. И., Панфилов Б. И., Розенблюм Р. З. – Л.: Изд-во Энергия, 1976. – 464 с.

7 **Novozhilov A. N., Assainova D. K., Zhumataev N. Sh., Novozhilov T. A.** Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – № 6. – P. 579–582.

8 **Новожилов Т. А., Новожилов А. Н., Попов А. П., Малинин Н. В.** Максимальная токовая защита на герконе // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 251-253.

9 **Novozhilov A. N., Assainova D. K., Zhumataev N. Sh., Novozhilov T. A.** Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – №6. – P. 579-582.

10 **Гринберг Г. А.** Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений / Гринберг Г. А. – М. : Изд-во АН СССР, 1948. – 83бс.

11 **Туровский Я.** Электромагнитные расчеты элементов электрических машин / Туровский Я. – М.: Изд-во Энергоатомиздат, – 1986. – 201с.

12 **Novozhilov A. N., Novozhilov T. A., Volgina E. M., Kolesnikov E. N.** Magnetic field scattering of a transformer winding on a round rod for a safety relay // Russian Engineering Research, 2020, – № 9. – P. 710–714.

13 ELCUT. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Версия 6.5. Руководство пользователя.

[Электронный ресурс] / ООО «Тор». – Санкт-Петербург, 2021. М. : – URL0 [Electronic resource]: – : https://elcut.ru/downloads/manual_r.pdf.

14 **Бессонов Л. А.** Теоретические основы электротехники. – М. : Изд-во Высшая школа, – 1967. – 775с.

15 **Yazdani-Asrami M., Mirzaie M., Shayegani Akmal A., Gholman S.A.** Life estimation of distribution transformers under non-linear loads using calculated loss by 2D-FEM // Journal of electrical systems, 2010, – № 7(1). – P. 1444–1451.

REFERENCES

1 **Berkovich, M. A., Molchanov, V. V., Semenov, V. A.** Osnovy tekhniki relejnyh zashchit [Fundamentals of relay protection technology]. – Moscow : Izd-vo Energoatomizdat, 1984. – 376 p.

2 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. – Moscow : Izd-vo Vysshaya shkola, 1991. – 495 p.

3 **CHunihin, A. A.** Elektricheskie apparaty [Electrical devices]. – Moscow : Izd-vo Energiya, 1975. – 647 p.

4 **Novozhilov T. A., Novozhilov A. N., Volgina E. M.** Izmerenie peremennogo toka v provodnikedlya nuzhd relejnoj zashchity [Measurement of alternating current in a conductor for the needs of relay protection] // Omskij nauchnyj vestnik. – 2016. – № 3 (147). – p. 67.

5 **Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Volgina, E. M.** Oblast' ispol'zovaniya magnitnyh transformatorov toka v elektroenergetike [The field of use of magnetic current transformers in the electric power industry] // Omskij nauchnyj vestnik. – 2018. – №3. – P. 67–73.

6 **Alekseev, V. S.** Rele zashchity [Protection relay] / Alekseev V. S., Varganov B. I., Panfilov B. I., Rozenblyum R. Z. – L. : Izd-vo Energiya, 1976. – 464 p.

7 **Novozhilov A.N., Assainova D.K., Zhumataev N.Sh., Novozhilov T.A.** Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – № 6. – P. 579–582.

8 **Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Popov, A. P., Malinin, N. V.** Maksimal'naya tokovaya zashchita na gerkone [Maximum current protection on reed switch] // Omskij nauchnyj vestnik. – 2015. – № 3 (143). – P. 251–253.

9 **Novozhilov, A. N., Assainova, D. K., Zhumataev, N. Sh., Novozhilov T.A.** Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – № 6. – P. 579–582.

10 **Grinberg, G. A.** Izbrannye voprosy matematicheskoy teorii elektricheskikh i magnitnyh yavlenij [Selected questions of the mathematical theory of electric and magnetic phenomena] / Grinberg G.A. – Moscow : Izd-vo AN SSSR, 1948. – 836 p.

11 **Turovskij, Y. A.** Elektromagnitnye raschety elementov elektricheskikh mashin [Electromagnetic calculations of elements of electric machines] / Turovskij YA. – Moscow : Izd-vo Energoatomizdat, – 1986. – 201 p.

12 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Volgina, E. M., Kolesnikov, E. N.** Magnetic field scattering of a transformer winding on a round rod for a safety relay // Russian Engineering Research, 2020, – № 9. – P. 710-714.

13 ELCUT. Modelirovanie elektromagnitnyh, teplovyh i uprugih polej metodom konechnykh elementov. Versiya 6.5. Rukovodstvo pol'zovatelya. [Elektronnyj resurs] / ООО «Тор». – Sankt-Peterburg, 2021. URL:[Electronic resource]: – https://elcut.ru/downloads/manual_r.pdf.

14 **Bessonov, L. A.** Teoreticheskie osnovy elektrotekhnik [Theoretical foundations of electrical engineering]. – Moscow : Izd-vo Vysshaya shkola, 1967. – 775 p.

15 **Yazdani-Asrami M., Mirzaie M., Shayegani Akmal A., Gholman S. A.** Life estimation of distribution transformers under non-linear loads using calculated loss by 2D-FEM // Journal of electrical systems, 2010, – №7(1). – P. 1444–1451.

Принято к изданию 18.09.23.

**Е. Н. Колесников¹, Н. Ш. Жуматаев², А. Н. Новожилов³,*

Д. М. Рахимбердинова⁴, Т. А. Новожилов⁵

^{1,2,3,4}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁵Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Ресей, Омбы қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ЕКІ МАГНИТТІК ӨТКІЗГІШ БАР МАГНИТТІК ТОК ТҮРЛЕНДІРГІШ

Бұл мақалада токтың магниттік түрлендірішін жасау және белгілі қорғаныс тогы кезінде оның іске қосылу шегін анықтау әдісі қарастырылады. Ол РТ-40 ток релесінің байланыс жүйесін, екі магниттік сымды және оны қорғалған электр қондырғысында ток өткізгіш шинаға жақын жерде бекітуді қамтамасыз ететін бекіту тіректері жүйесін пайдаланады. Бұл ретте шина тірек оқшаулағыштарға бекітіледі және қосымша үстеме оқшаулағышы болады. Магниттік ток түрлендіргішінде (МРТ) іске қосу шегін реттеу оның магниттік жүйесін шинаға және рычагқа қатысты жылжыту арқылы жүзеге асырылады. Магниттік өткізгіштер мен ток шинасы арасындағы қашықтықты, сондай – ақ бір жағынан

белгілі іске қосу тогындағы шама шкаласында анықталған іске қосу шегін орнатуға арналған тұтқаның орнын анықтау үшін эксперименттік жолмен алынған тәуелділік қолданылады, мұнда МПТ іске қосылатын ауа саңылауындағы магнит өрісінің индукциясы. Екінші жағынан, берілген шамалар мен индукцияны модельдеуге арналған *elcut* бағдарламалық жасақтамасының көмегімен . Іске қосу шегін орнату үшін қажетті шамалар және шамалар тең болған кезде алынады.

Кілтті сөздер: магниттік ток түрлендіргіші, реле элементтері, магниттік реле жүйесі, байланыс реле жүйесі, іске қосу шегі, *ELCUT* бағдарламалық кешені.

*E. N. Kolesnikov¹, N. Sh. Zhumataev², A. N. Novozhilov³,

D. M. Rakhimberdinova⁴, T. A. Novozhilov⁵

^{1,2,3,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁵Omsk State Technical University, Russia, Omsk

Accepted for publication on 18.09.23

MAGNETIC CURRENT CONVERTER WITH TWO MAGNETIC CONDUCTORS

*This article discusses the development of a magnetic current converter and a method for determining its trigger threshold at a known protection trigger current. It uses a contact system from the RT-40 current relay, two magnetic cores and a system of mounting racks that ensure its attachment to a protected electrical installation in the immediate vicinity of the current-carrying bus. In this case, the tire is fixed to the support insulators and has an additional overhead insulation. In a magnetic current converter (MPT), the threshold of operation is adjusted by moving its magnetic system relative to the current bus and lever. To determine the distance between the magnetic cores and the bus with a current, as well as the position of the lever for setting the trigger threshold, determined on a scale by the value at a known trigger current on the one hand, the dependence obtained experimentally is used, where is the induction of the magnetic field in the air gap at which the MPT is triggered. On the other hand, using the *ELCUT* software package for set values and induction modeling. The values required to set the trigger threshold and are obtained when the values and are equal .*

Keywords: Magnetic current converter, relay elements, magnetic relay system, relay contact system, trigger threshold, *ELCUT* software package.

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 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 №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 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 № 4140

«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