

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 (2025)

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/NRPL3020>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

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/NEPW2130>

**Р. М. Машрапова¹, *А. С. Барукин²,
М. Я. Клецель³, Б. Е. Машрапов⁴**

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

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9509-5767>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5969-4030>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4000-8915>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3018-4125>

*e-mail: alexbarukin@mail.ru

ПОПЕРЕЧНАЯ ЗАЩИТА НА МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ КОНТАКТАХ ДЛЯ ПИТАЮЩЕЙ СТОРОНЫ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Предложен вариант решения одной из многочисленных задач принципиально нерешенной проблемы энергетики – построение новой системы релейной защиты без использования громоздких, металлоемких и дорогостоящих трансформаторов тока. Представлены способ построения защиты, устанавливаемой с питающей стороны двух параллельных линий электропередачи, и устройство, его реализующее. Защита выполнена на основе магнитоуправляемых контактов (герконов), благодаря чему не нуждается в указанных традиционных датчиках тока для получения информации о токе в фазах линий. Для выявления поврежденной линии контролируется не только время между срабатываниями герконов установленных вблизи одноименных фаз, как в уже известном способе, но и величины токов в этих фазах. Показано, что для реализации этого принципа необходимо установить вблизи каждой фазы по два магнитоуправляемых контакта. При этом один геркон имеет больший порог срабатывания, чем второй. Геркон, имеющий меньший порог срабатывания, используется для измерения времени, а второй геркон – для измерения тока. Приведена схема защиты на основе логических элементов. Подробно рассмотрено поведение защиты как при отсутствии коротких замыканий на защищаемых параллельных линиях, так и при их наличии.

Ключевые слова: параллельные линии, геркон, защита, время, величина тока, схема.

Введение

Поперечная дифференциальная направленная защита двух параллельных линий, выполняемая на реле тока и реле направления мощности, впервые была применена в начале прошлого столетия [1], и в таком исполнении устанавливается на линиях по сей день. Не смотря на ее постоянное совершенствование, защита имеет ряд общеизвестных недостатков [2]; [3], среди которых необходимость в трансформаторах тока и напряжения. В последние годы были предложены варианты [2]; [3]; [4]; [5] ее построения, лишенные всех недостатков, кроме использования трансформаторов тока. О необходимости построения защит без использования трансформаторов тока неоднократно упоминалось на сессиях СИГРЭ [6]; [7], и одним из возможных путей решения этой задачи указывалось использование в качестве датчиков тока герконов. На их основе уже предложен способ защиты двух параллельных линий [8, с. 2]. Однако он не позволяет строить устройства с требуемой чувствительностью и селективностью. В данной работе сделана попытка создать способ защиты и схему устройства, обладающего более высокой чувствительностью и удовлетворяющего требованию селективности.

Материалы и методы

Способ построения защиты включает следующие операции [9, с. 3]. В каждую полуволну токов i_1 и i_2 в одноименных фазах обеих линий, когда они нарастают, фиксируют моменты, в которые они достигают первого заданного значения $i_{эт1}$, а также их очередность (Рисунок 1). Одновременно измеряют время Δt между этими моментами, и проверяют не превысило ли оно заданного значения $t_{эт1}$. Параллельно ведут отсчет времени $t_{эт2}$ и $t_{эт3}$ с момента фиксации достижения каждым из токов заданного значения $i_{эт1}$. По завершении отсчета времени проверяют достигли ли токи второго заданного значения $i_{эт2}$, которое принимается большим, чем первое. После этого определяют фазы каждой линии, а также их количество, токи в которых достигли $i_{эт2}$. Сигнал на отключение поврежденной, например, первой линии подается по совокупности выполнения следующих условий: если время Δt достигает $t_{эт1}$, i_1 достиг первого заданного значения первым и затем, пока не истекло время $t_{эт2}$, достиг второго заданного значения; Δt меньше, чем $t_{эт1}$, $i_1 \geq i_{эт2}$, а $i_2 < i_{эт2}$; токи во второй линии за время $t_{эт3}$ меньше $i_{эт2}$, токи в двух фазах первой линии за это же время достигли $i_{эт2}$.

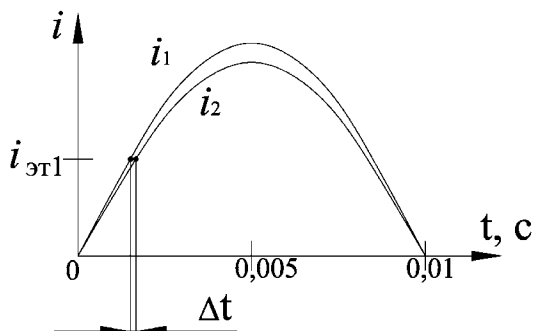


Рисунок 1 – Схема защиты двух параллельных линий на герконах

Предлагаемый способ отличается от известного, подробно описанного в [8], тем, что теперь мгновенные значения токов сравниваются еще и со вторым заданным значением. Эта операция в итоге позволяет уменьшить величину $t_{\text{эт1}}$ и, тем самым, обеспечивает более высокую чувствительность защиты.

Предложенный способ реализуется с помощью устройства, схема которого представлена на рисунке 2. Схема содержит герконы 1–12, антидребезговые схемы 13–24, элементы И 25–30, 55, 57 с одним инверсным входом, реле времени 31–36, 56, 58 элементы ПАМЯТЬ 37–42, 59, 60, И 43–48, ИЛИ 49–54 [10, с. 3].

Результаты и обсуждение

Рассмотрим поведение предлагаемой защиты в различных режимах работы линий. При отсутствии коротких замыканий и протекании по линиям токов нагрузки индукции магнитных полей, созданных ими, недостаточны для срабатывания герконов 1–12. Поэтому пуск защиты не выполняется. Пусть при внешнем трехфазном коротком замыкании (КЗ) величины токов в линиях таковы, что магнитные поля, которые они создают, имеют индукцию $B_{\text{пр}}$ необходимую для срабатывания указанных герконов. При этом герконы 1–6 срабатывают при достижении $B_{\text{пр}}$ значения B_1 , а герконы 7–12 – значения B_2 , причем $B_2 > B_1$. Из-за влияния погрешностей герконы, установленные вблизи одноименных фаз, срабатывают одновременно. Например, если герконы 1, 2, 3 срабатывают первыми, а герконы 4, 5, 6 – вторыми, то на выходах антидребезговых схем 13, 14, 15 сигналы появляются, а на выходах антидребезговых схем 16, 17, 18 в это же время сигналов нет. Поэтому через элементы И 25, 26, 27 с одним инверсным входом запускаются реле времени 31, 32, 33, а элементы И 28, 29, 30 с одним инверсным входом блокируются. После того, как выдадут сигналы герконы 4, 5, 6 (это происходит при их срабатывании), сигналы на выходах логических

элементов И 25, 26, 27 пропадают. Это приводит к тому, что отсчет времени в реле времени 31–33 прекращается до того, как достигнет уставки срабатывания t_1 . Отметим, что уставка t_1 выбирается большей, чем время $t_{нб}$, измеренное с учетом погрешностей при воздействии на герконы индукции B_2 . Из-за отсутствия сигналов на выходах реле времени элементы ПАМЯТЬ 37–42 и И 43–48 не приходят в действие. Одновременно заблокированы и логические элементы И 55 и 57, так как на них поступили сигналы от логических элементов ИЛИ 51 и 52 и схем 13, 14, 15 и 16, 17, 18, на входы которых сигналы поступили от герконов 1, 2, 3 и 4, 5, 6. Поэтому реле времени 56, 58 и элементов ПАМЯТЬ 59, 60 не запускаются, и сигнала на отключение выключателя какой-либо из линий нет.

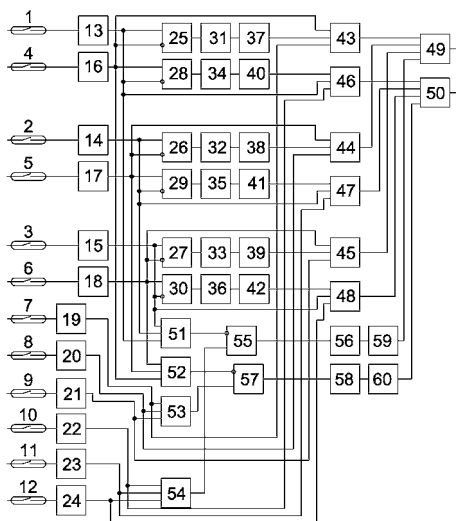


Рисунок 2 – Схема соединения элементов предлагаемой защиты

Рассмотрим вариант, когда при внешнем трехфазном КЗ токи достаточны для срабатывания герконов 1–6, но не герконов 7–12. Пусть герконы 1, 2, 3 замкнули контакты раньше герконов 4, 5, 6. Поскольку индукция, действующая на герконы 1–6 меньше индукции B_2 , при которой рассчитано t_1 , время между срабатываниями герконов 1, 2, 3 и 4, 5, 6 становится больше, чем t_1 . Это приводит к появлению сигналов на двух из трех входах элементов И 43, 44, 45. Однако на оставшихся входах их нет, так как незамкнуты контакты герконов 7, 8, 9. Это приводит к тому, что ни элементы И 43, 44, 45, ни элементы ИЛИ 49 сигналов не выдают. В результате защита бездействует.

Рассмотрим режим, когда на первой линии замкнулись одновременно три фазы. В этом случае токи в ней становятся больше, чем токи в этих же фазах второй линии, что приводит к срабатыванию герконов 1, 2 и 3 до того, как замкнут контакты герконы 4, 5 и 6. Поэтому есть сигналы на выходах схем 13–15, а на выходах схем 16–17 – нет. По сигналу от логических элементов И 25–27 запускаются отсчеты времени в реле 31–33. Поскольку Δt больше t_1 , то они успевают завершить отсчет и выдать сигналы о наличии КЗ. Эти сигналы запоминаются элементами ПАМЯТЬ 37–39, соответственно, чтобы сигнал о наличии КЗ присутствовал на катушке отключения выключателя до размыкания его контактов. Так как на все входы логических элементов И 43, 44, 45 поступают сигналы, то выполняются условия их срабатывания, и запускается элемент ИЛИ 49. Последний выдает сигнал на катушку отключения выключателя.

Пусть повреждена первая линия. При этом произошло замыкание фаз А и В между собой. В этом режиме, если рассматривать классический вариант, токи есть только в фазах А и В обеих линий. Однако величины токов в них разные – в первой линии больше. Это приводит к тому, что сначала замыкают контакты герконы 1 и 2, и только после них – герконы 4 и 5. Дальнейшая работа защиты аналогична режиму трехфазного КЗ. Если указанное замыкание между фазами А и В произошло на участке линий, где защита отключает повреждения только после отключения ближайшего к этому повреждению выключателя, то пока он реле 31, 32 не срабатывают, и сигнала на выходе защиты нет. После отключения указанного выключателя ток КЗ протекает только по фазам А и В первой линии. В результате герконы 4, 5, 10, 11 перестают выдавать сигналы. Поэтому появляется сигнал на выходе логического элемента ИЛИ 53, и элемент И 57 запускает отсчет времени в реле 58. Это реле нужно для обеспечения селективной работы защиты. После того как истечет его выдержка времени, реле 58 замыкает контакты и через элементы ПАМЯТЬ 60, ИЛИ 49 и выходной орган подает сигнал в цепь отключения выключателя первой линии.

Рассмотрим режим, когда происходит замыкание на землю в двух точках сети. При этом примем: замкнулись на землю фаза А второй линии и фаза с линии, которая подключена к тем же шинам подстанции, питающейся защищаемыми линиями, что и рассматриваемые параллельные линии; замыкание на землю фазы А происходит на участке, где повреждения отключаются только после размыкания контактов ближайшего к точке замыкания выключателя. В этом режиме предлагаемая защита, в отличие от традиционной, не срабатывает как до, так и после отключения указанного выключателя. Это объясняется следующим: в первом случае время Δt меньше t_1 , а во втором – не срабатывают герконы 1, 6, 7, 8, 11, 12.

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP22685154).

Выводы

Предложенные способ и схема защиты открывают возможность построения ресурсосберегающей защиты двух параллельных линий без металлоемких и громоздких трансформаторов тока и напряжения, используя для выявления поврежденной линии только герконы. Она обладает более высокой чувствительностью, чем аналогичные. Есть основания полагать, что защита будет вести себя правильно во всех режимах работы линий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ивашенко, Н. Д.** Реле и их применение для защиты электрических установок – М. : Государственное издательство, 1929. – С. 121–123.

2 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Traversal protection of two parallel lines without voltage path // Przegląd Elektrotechniczny. – 2016. – № 92. – P. 168–170.

3 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Differential protection of three and four parallel lines of idling current control Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – №93. – P. 109–112.

4 **Forcan, M., Stojanović, Z.** Transverse differential protection scheme for double-circuit lines with single-pole tripping and reclosing // International Transactions on Electrical Energy Systems. – 2019. – № 30. – Art. No. e12152.

5 **Wang Q. P., Dong X. Z., Bo Z. Q., Caunce B. R. J., Tholomier D., Apostolov A.** Protection scheme of cross differential relay for double transmission lines // IEEE Power Engineering Society General Meeting. – 2005. – № 3. – P. 2697– 2701.

6 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46. – B3–101. – 2016.

7 **Kletsel, M. Ya.** Basics of construction of relay protection on reeds // Modern Development of Relay Protection and Power System Automation Systems. – Ekaterinburg, 2013. – P. 1–10.

8 **Kletsel M., Mashrapova R., Mashrapov B.** Methods for the Construction of Protection with Magnetosensitive Elements for the Parallel Circuits with Single end Supply // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. – Sochi, 2020. – P. 1–6.

9 **Клецель М. Я., Машрапова Р. М., Машрапов Б. Е., Әмірбек Д. Ә.** Способ защиты двух параллельных линий // Пат. 36632 РК МПК H02H 3/08; опубл. 01.04.2024.

10 Клецель М. Я., Машрапова Р. М., Машрапов Б. Е. Устройство для защиты двух параллельных линий на герконах // Пат. 36717 РК МПК Н02Н 3/08; опубл. 26.04.2024.

REFERENCES

1 Ivashchenko, N. D. Rele i ikh primeneniye dlya zashchity elektricheskikh ustanovok. [Relays and their application for the protection of electrical installations] – Moscow : Gosudarstvennoye izdatel'stvo, 1929. – P. 121–123.

2 Kletsel, M., Mashrapov, B. Traversal protection of two parallel lines without voltage path // Przegląd Elektrotechniczny. – 2016. – №92. – P. 168–170.

3 Kletsel, M., Mashrapov, B. Differential protection of three and four parallel lines of idling current control. Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – № 93. – P. 109–112.

4 Forcan, M., Stojanović, Z. Transverse differential protection scheme for double-circuit lines with single-pole tripping and reclosing [Text] // International Transactions on Electrical Energy Systems. – 2019. – № 30. – Art. No. e12152.

5 Wang Q. P., Dong X. Z., Bo Z. Q., Caunce B. R. J., Tholomier D., Apostolov A. Protection scheme of cross differential relay for double transmission lines // IEEE Power Engineering Society General Meeting. – 2005. – № 3. – P. 2697–2701.

6 Kojović, L. A. Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46. – B3–101. – 2016.

7 Kletsel, M. Ya. Basics of construction of relay protection on reeds [Text] // Modern Development of Relay Protection and Power System Automation Systems. – Ekaterinburg, 2013. – P. 1–10.

8 Kletsel, M., Mashrapova, R., Mashrapov, B. Methods for the Construction of Protection with Magnetosensitive Elements for the Parallel Circuits with Single end Supply // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. – Sochi, 2020. – P. 1–6.

9 Kletsel' M. Ya., Mashrapova, R. M., Mashchrapov, B. Ye., Amírbek, D. A. Sposob zashchity dvukh parallel'nykh liniy [Method for protecting two parallel lines] // Pat. 36632 RK МПК N02N 3/08; opubl. 01.04.2024.

10 Kletsel', M. Ya., Mashrapova, R. M., Mashchrapov, B. Ye. Ustroystvo dlya zashchity dvukh parallel'nykh liniy na gerkonakh [Device for protecting two parallel lines on reed switches] // Pat. 36717 RK МПК N02N 3/08; opubl. 26.04.2024.

Поступило в редакцию 04.02.25.

Поступило с исправлениями 17.02.25.

Принято в печать 03.06.25.

*Р. М. Маширапова¹, *А. С. Барукин², М. Я. Клецель³, Б. Е. Маширапов⁴*

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

04.02.25 ж. баспаға түсті.

17.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

03.06.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ПАРАЛЛЕЛЬ ЖЕЛІЛЕРДІҢ ҚОРЕКТЕНДІРУ ЖАҒЫНДАҒЫ МАГНИТПЕН БАСҚАРЫЛАТЫН КОНТАКТІЛЕРДЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЛДЕНЕҢ ҚОРҒАНЫС

Энергетика саласындағы көптеген шешілмеген мәселелердің бірі бойынша шешім нұсқасы ұсынылған – көлемді, металды көп қажет ететін және қымбат ток трансформаторларын пайдаланбайтын жаңа релелік қорғаныс жүйесін құру. Екі тізбекті электр жеткізу желілерінің қоректендіру жағында орнатылатын қорғаныс құру әдісі және оны іске асыратын құрылғы ұсынылған. Қорғаныс магнитпен басқарылатын контактілер (геркондар) негізінде жасалған, сондықтан ол фазалық токтар туралы ақпарат алу үшін дәстүрлі ток датчиктерін қажет етпейді. Зақымдалған желіні анықтау үшін, бұрын белгілі әдістегідей, бір атаулы фазаларға жақын орналасқан геркондардың іске қосылу уақыты ғана емес, сонымен қатар осы фазалардағы токтардың шамасы да бақыланады. Бұл қағидатты іске асыру үшін әрбір фазаға жақын жерде екі магнитпен басқарылатын контакт орнату қажет екені көрсетілген. Мұнда бір герконның іске қосылу шегі екіншісіне қарағанда жоғары болады. Төменгі іске қосылу шегі бар геркон уақытты өлшеу үшін, ал екіншісі токты өлшеу үшін қолданылады. Логикалық элементтер негізіндегі қорғаныс сұлбасы келтірілген. Қорғалатын параллель желілерде қысқа тұйықталулар болмаған және орын алған жағдайларда қорғаныстың әрекеті егжей-тегжейлі қарастырылған.

Кілтті сөздер: параллельді желілер, геркон, қорғаныс, уақыт, ток шамасы, сұлба.

*R. M. Mashrapova¹, *A. S. Barukin², M. Ya. Kletsel³, B. E. Mashrapov⁴*

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

Received 04.02.25.

Received in revised form 17.02.25.

Accepted for publication 03.06.25.

TRANSVERSE PROTECTION BASED ON MAGNETICALLY CONTROLLED CONTACTS FOR THE SUPPLY SIDE OF DOUBLE-CIRCUIT LINES

A solution is proposed for one of the many challenges of a fundamentally unresolved issue in the energy sector – developing a new relay protection system without using bulky, metal-intensive, and expensive current transformers. A method for constructing protection installed on the supply side of double-circuit transmission lines and a device implementing this method are presented. The protection system is based on magnetically controlled contacts (reed switches), which eliminates the need for traditional current sensors to obtain information about the phase currents of the lines. To identify the damaged line, not only the time between the operation of reed switches installed near the corresponding phases is monitored, as in the previously known method, but also the magnitude of the currents in these phases. It is shown that implementing this principle requires installing two magnetically controlled contacts near each phase. In this case, one reed switch has a higher activation threshold than the other. The reed switch with the lower activation threshold is used to measure time, while the other is used to measure current. A protection circuit based on logic elements is presented. The behavior of the protection system is examined in detail for both the absence and presence of short circuits on the protected parallel lines.

Keywords: double-circuit lines, reed switch, protection, time, current magnitude, circuit.

Теруге 09.06.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 25,6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4417

Сдано в набор 09.06.2025 г. Подписано в печать 30.06.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 25,6. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4417

«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

Е-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz