

–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

№ 1 (2024)

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/KOTB8442>

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.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А.И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Кошкеков К.Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е.В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.,	<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

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/LXOX6883>**Б. Е. Машрапов, М. Я. Клецель, *Р. М. Машрапова**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: rizka1504@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ МЕЖДУ СРАБАТЫВАНИЯМИ ГЕРКОНОВ И ИХ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИТ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Отмечено, что построение защит без использования традиционных трансформаторов тока до сих пор остается одной из актуальных задач современной электроэнергетики. Приведены известные предложения по построению таких защит на различных магниточувствительных элементах. Рассмотрен принцип действия защиты двух параллельных линий, использующей в качестве датчиков тока магнитоуправляемые контакты – герконы. Обосновано, почему для получения информации о токах в фазах линий выбраны именно герконы, а не другие магниточувствительные элементы. Приведены методики проведения экспериментов по исследованию времени между срабатываниями герконов, а также их помехоустойчивости к переменным магнитным полям разной частоты. Представлена лабораторная установка для проведения этих экспериментов. Даны экспериментально полученные зависимости интервалов времени с момента перехода синусоиды магнитной индукции через ноль до момента срабатывания герконов от ее кратности к индукции срабатывания. Даны экспериментально полученные зависимости индукции переменного магнитного поля помехи, действующей вдоль оси геркона, от максимальной частоты при которой он не срабатывает. Показано, что частота поля помехи, при которой

геркон не замыкает контакты, зависит от его времени срабатывания.

Ключевые слова: защита, геркон, время между срабатываниями, помехоустойчивость, частота, время срабатывания.

Введение.

Для защиты параллельных линий электропередачи традиционно предлагается использовать поперечную дифференциальную токовую направленную защиту, обладающую различными недостатками [1]. Способы устранения большинства из них изложены в [2, 3]. При этом все они основаны на получении информации о токах в линиях от трансформаторов тока, из-за недостатков которых на сессиях СИГРЭ [4, 5], а также в высокорейтинговых журналах [6], неоднократно поднимался вопрос о необходимости построения защит без их использования. Анализ публикаций показал, что в настоящее время для построения некоторых защит в качестве датчиков тока предлагается использовать различные магнитоуправляемые элементы: катушки Роговского [7], датчики Холла [8], герконы [6; 9] и т.д. Для построения защиты двух параллельных линий нами выбраны герконы [10], так как они имеют ряд преимуществ перед другими магнитоуправляемыми элементами [6]. Однако в [10] изложен лишь принцип действия, а вопросы его реализации не рассмотрены. В данной работе сделана попытка частично восполнить этот пробел.

Материалы и методы

Принцип действия защиты, изложенный в [10], основан на контроле времени Δt между срабатываниями герконов 1 и 2, установленных вблизи одноименных фаз линий (рисунок 1), и очередности их срабатывания. Они настраиваются так, что срабатывают при одинаковых токах в линиях. Время Δt является своеобразным аналогом дифференциального тока в поперечной дифференциальной направленной защите. По величине Δt определяется, где произошло короткое замыкание (КЗ) – на линиях или нет. По очередности срабатывания герконов – поврежденная линия. Если первым сработал геркон 1 (2), то КЗ на линии Л1 (Л2). Покажем это. При внешних КЗ (точка К1 на рисунке 1,а) токи I_1 и I_2 в линиях равны (погрешности измерения и расчетов пока не учитываются), и на герконы действуют магнитные поля с одинаковыми индукциями B_1 и B_2 . Поэтому они замыкают контакты одновременно, $\Delta t=0$, и защита не приходит в действие. При КЗ, например, на линии Л1 (точка К2) $I_1>I_2$. Теперь $B_1>B_2$ (рисунок 1,б). Геркон 1 срабатывает первым (точка 1 на рисунке 1,б) и подает сигнал, начиная отсчет времени Δt до срабатывания геркона 2 (точка 2 на рисунке 1,б). После его срабатывания определяется время Δt . Так как

$\Delta t > 0$ и есть сигнал от геркона 1, то подается сигнал на отключение выключателя Q_1 линии Л1.

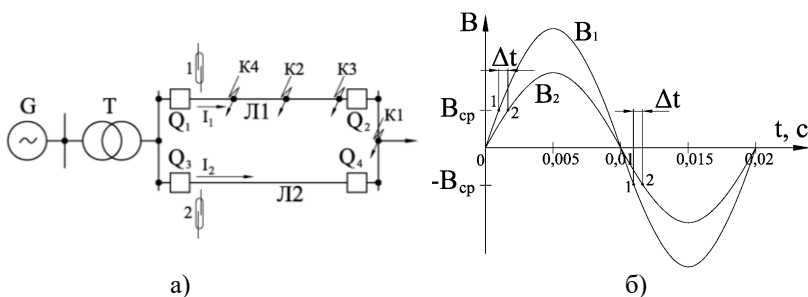


Рисунок 1 – Схема участка сети с двумя параллельными линиями (а) и моменты срабатывания герконов 1 и 2 при коротком замыкании на первой линии (б).

Исследование времени Δt между срабатываниями герконов. Для упрощения и унификации методики определения Δt это время представим как разность времен t_1 и t_2 (t_1 (t_2) – время с момента перехода тока в линии Л1 (Л2) через ноль до момента срабатывания геркона 1 (2) (рисунок 1,б)). Тогда для каждого из герконов 1 и 2 нужно лишь снять зависимость t_1 (t_2) от кратности $k = B_{пр}/B_{ср}$ ($B_{пр}$ – индукция, действующая вдоль продольной оси геркона, $B_{ср}$ – индукция его срабатывания), и далее с помощью них находить Δt при заданных кратностях k . Чтобы снять эти зависимости для различных типов герконов была собрана лабораторная установка (рисунок 2), содержащая источники 1 и 2 постоянного и переменного тока, катушку индуктивности 3, с помощью которой имитировалось магнитное поле от тока в фазе линии, вольтметр 4 на переменное напряжение, осциллограф 5, два резистора 6 и 7, звуковой индикатор (на рисунке 2 не показан) замыкания контактов геркона.

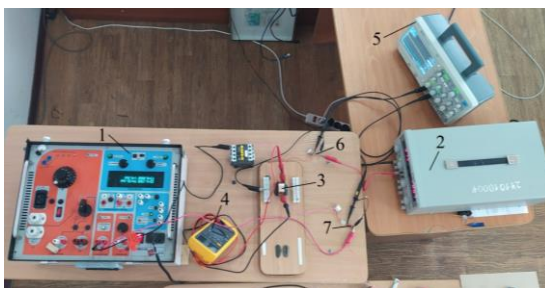


Рисунок 2 – Лабораторная установка

Эксперименты выполнялись следующим образом. Было произвольно выбрано по 3 геркона 10 типов (4 – фирмы HSI Sensing и 6 – Рязанского завода металлокерамических приборов). Геркон устанавливали внутрь катушки индуктивности 3 (рисунок 2), фиксируя его положение для исключения смещения в процессе проведения экспериментов. В катушку 3 сначала подавалось постоянное напряжение от источника 1. При этом оно постепенно увеличивалось от нуля с шагом 10 мВ. Фиксировали напряжение U_1 , при котором геркон срабатывает (появляется звуковой сигнал при замыкании контактов). Затем на катушку 3 подают переменное напряжение U_2 промышленной частоты от источника 2, кратность k амплитуды которого к U_1 изменялась от 1 до 17. Срабатывание геркона при воздействии на него переменного магнитного поля фиксировалось с помощью осциллографа 5. Измерялось время t_3 с момента перехода тока в катушке индуктивности 3 через ноль до момента замыкания контактов геркона (рисунок 2). Последнее осуществлялось по кривым напряжения, снятым осциллографом 5 на резисторах 6 и 7. На резисторе 6 напряжение появляется в виде импульса только, когда контакты геркона замкнуты. На резисторе 7 напряжение снималось, так как оно совпадает по фазе с током в катушке индуктивности 3.

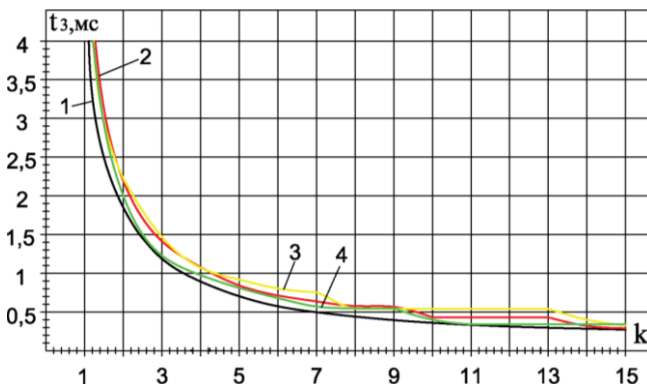


Рисунок 3 – Зависимости t_3 от кратности k для герконов типа МКА-07101 (кривая 1), МКА-14103 (2), HSR-1015RT (3), HSR-042RT (4)

Исследование помехоустойчивости герконов. Для этого использовалась лабораторная установка на рис. 1. В катушку 3 подавалось напряжение частотой f от 50 до 1000 Гц и кратностью k_1 амплитуды U_3 к U_1 от 1 до 9. При каждом значении k_1 изменялась f до тех пор пока геркон не перестанет срабатывать, что фиксировалось по осциллографу 5. На рис. 4 представлена зависимость f от индукции B магнитного поля, действующего на герконы с различными $t_{ср}$.

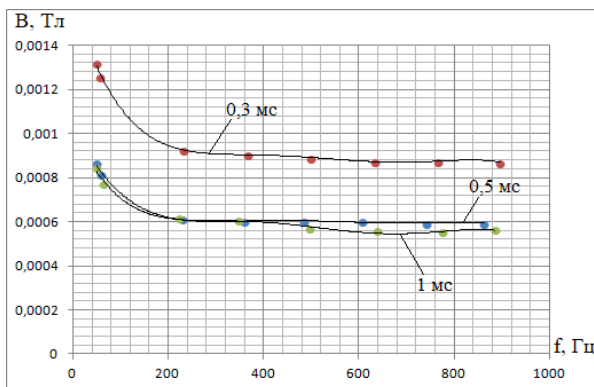


Рисунок 4 – Зависимости индукции магнитного поля, при которой геркон не срабатывает, от частоты поля при $t_{ср}=0,3; 0,5; 1$ мс

Результаты и обсуждение

Анализ времени t_3 (рисунок 3) показал, что в зависимости от кратности k оно изменяется ступенчато. При этом даже у однотипных герконов может отличаться количество ступеней и значения $B_{пр}$, при которых они начинаются. Позже всех (при $k=9$) появляется первая ступень у герконов с паспортным временем срабатывания $t_{ср}=0,3$ мс, как у произведенных на РЗМПК, так и HSI Sensing. Изменение t_3 при $k>5$ не превышает 20%. Поэтому при построении защиты герконы надо подбирать с такими $B_{ср}$, чтобы при КЗ на границе зоны каскадного действия, когда B_1 и B_2 (рисунок 1,б) отличаются незначительно, обеспечивалось $k<5$.

Анализ зависимостей на рисунке 4 показал, что чем больше f , тем меньше индукция магнитного поля помехи, на которую реагирует геркон. При этом максимальная f ограничена временем срабатывания геркона.

Выводы

Для построения защит параллельных линий нужно обеспечить кратность индукции магнитного поля, действующей вдоль оси геркона, к индукции его срабатывания не превышающую 5. Устойчивость герконов к переменным магнитным полям помех зависит от частоты этого поля, величины его индукции и времени срабатывания геркона.

Информация о финансировании

Это исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP13268753).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.

2 **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.

3 **Forcan M., Stojanovic Z.** Transverse differential protection scheme for double-circuit lines with single-pole tripping and reclosing // *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2019. – Vol. 30, Issue 1. e12152.

4 **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.

5 **Kojojić, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // *CIGRE Session 46*, 2016.

6 **Goryunov V., Kletsel M., Mashrapov B., Mussayev Zh., Talipov O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts // *Alexandria Engineering Journal*, 2021. – Vol. 61, Issue 8 – P. 6061-6069.

7 **Nurmansah, A. P., Hidayat, S.** Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application // *2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, Sanur, 2017. – P. 493-497.

8 **Guan-Jie Huang, Nanming Chen, Kun-Long Chen** Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer // *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, Boston, MA, 2016. – P. 1-5.

9 **Teng J., Luan S., Huang W., Lee D., Huang Y.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2015. – Vol. 65. – P. 357-366

10 **Клецель, М. Я., Машрапов, Б. Е., Машрапова, Р. М., Сулайманова, В. А.** Способ защиты параллельных линий // Патент № 33003 РК МПК H02H 7/22; опубл. 06/08/2018.

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

3 **Forcan M., Stojanovic Z.** Transverse differential protection scheme for double-circuit lines with single-pole tripping and reclosing // *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2019. – vol. 30, Issue 1. e12152.

4 **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.

5 **Kojić, L.A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // *CIGRE Session 46*, 2016.

6 **Goryunov V., Kletsel M., Mashrapov B., Mussayev Zh., Talipov O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts // *Alexandria Engineering Journal*, 2021. – Vol. 61, Issue 8 – P. 6061-6069.

7 **Nurmansah, A. P., Hidayat, S.** Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application // *2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, Sanur, 2017. – P. 493-497.

8 **Guan-Jie Huang, Nanming Chen, Kun-Long Chen** Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer // *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, Boston, MA, 2016. – P. 1-5.

9 **Teng J., Luan S., Huang W., Lee D., Huang Y.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2015. – Vol. 65. – P. 357-366

10 **Kletsel, M. Ya., Mashrapov, B. E., Mashrapova, R. M., Sulaimanova, V. A.** Sposob zashchity parallelnykh liniy [Parallel line protection method] // *Pat. 33003 RK IPC H02H 7/22; publ. 06/08/2018.*

Поступило в редакцию 06.02.24.

Поступило с исправлениями 08.02.24.

Принято в печать 04.03.24.

*Б. Е. Маширапов, М. Я. Клецель, *Р. М. Маширапова*

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
06.02.24 ж. баспаға түсті.

08.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ПАРАЛЕЛЬ ЛИНИЯЛАРДЫҢ ҚОРҒАНЫСЫҢ ҚҰРУ ҮШІН ГЕРКОНДАРДЫҢ ҚОСУ АРАСЫНДАҒЫ УАҚЫТТЫҢ ЖӘНЕ КЕДЕРГІГЕ ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Дәстүрлі ток трансформаторларын қолданбай қорғаныс салу қазіргі заманғы электр энергетикасының өзекті мәселелерінің бірі болып қала беретіні атап өтілді. Әртүрлі магниттік сезімтал элементтерде осындай қорғаныстарды салу бойынша белгілі ұсыныстар берілген. Ток датчигі ретінде магнитті басқарылатын контактілерді - геркондарды қолданатын екі параллель линиялардың қорғанысының жұмыс принципі қарастырылады. Неліктен линиялардың фазалардағы токтар туралы ақпаратты алу үшін басқа магниттік сезімтал элементтер емес, қамыс қосқыштары таңдалғаны негізделген. Геркондардың қосу арасындағы уақытты, сондай-ақ олардың әртүрлі жиіліктегі айнаымалы магнит өрістеріне бөгеуіл төзімділігін зерттеуге арналған эксперименттерді жүргізу әдістері ұсынылған. Бұл тәжірибелерді орындауға арналған зертханалық қондырғы ұсынылған. Магниттік индукциялық синусоид нөлден өткен сәттен бастап герконның жұмыс істейтін сәтке дейінгі уақыт интервалдарының оның еселіктен іске қосу индукциясына дейін эксперименталды түрде алынған тәуелділіктері берілген. Герконның осі бойымен әрекет ететін айнаымалы магнит өрісінің индукциясының ол жұмыс істемейтін максималды жиілікке эксперименталды түрде алынған тәуелділіктері берілген. Герконның контактілерді жаппайтын кедергі өрісінің жиілігі оның іске қосылуы уақытына байланысты екені көрсетілген.

Кілтті сөздер: қорғаныс, геркон, іске қосу арасындағы уақыт, кедергіге төзімділік, жиілік, іске қосылуы уақыты.

*B. E. Mashrapov, M. Ya. Kletsel, *R. M. Mashrapova*

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 06.02.24.

Received in revised form 07.02.24.

Accepted for publication 04.03.24.

STUDY OF THE TIME BETWEEN ACTIVATIONS OF REED SWITCHES AND THEIR NOISE IMMUNITY FOR BUILDING PROTECTION OF PARALLEL LINES

It is noted that the construction of protection without the use of traditional current transformers still remains one of the pressing problems of modern electric power industry. Well-known proposals for constructing such protections on various magnetically sensitive elements are presented. The principle of operation of protection of two parallel lines using magnetically controlled contacts - reed switches - as current sensors is considered. It is justified why reed switches, and not other magnetically sensitive elements, were chosen to obtain information about currents in line phases. Methods for conducting experiments to study the time between actuations of reed switches, as well as their noise immunity to alternating magnetic fields of different frequencies, are presented. A laboratory setup for performing these experiments is presented. The experimentally obtained dependences of the time intervals from the moment the magnetic induction sinusoid passes through zero until the moment the reed switches operate from its multiplicity to the actuation induction are given. The experimentally obtained dependences of the induction of the alternating magnetic field of interference acting along the axis of the reed switch on the maximum frequency at which it does not operate are given. It is shown that the frequency of the interference field at which the reed switch does not close the contacts depends on its response time.

Keywords: protection, reed switch, time between operations, noise immunity, frequency, response time.

Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №4204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«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