

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

ПМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 1811-1858

№ 2 (2020)

Павлодар

V. P. Kismereshkin¹, E. S. Ritter², A. A. Savostin³, D. V. Ritter⁴

Investigation of resonance vibrators system efficiency for uniform distribution of E_{00} wave field

¹Faculty of Radio Engineering,
Omsk State Technical University,
Omsk, 644000, Russian Federation;

^{2,3,4}Faculty of Engineering and Digital Technology,
M. Kozybayev North Kazakhstan State University
Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan.
Material received on 04.06.20.

Мақалада қайта сәуле шығару тәртібінде E_{00} толқын өрісін зерттелгенінің нәтижесі көрсетілген. E_{00} толқын өрісінің қайта сәуле шығаруы резонансты дірілдеткіштердің сым толқын арнасымен ортақ білікті топ арқылы жүзеге асырылады. Эксперименттік зерттеулерде әртүрлі тәртіпте жұмыс істейтін бір талды сымды сызықпен өріс бойына бөлу деректері келтірілген. Қайта сәуле шығару өрісінің және оның реттелуінің жоғары тымділігі мүмкіндігі көрсетілген. Осыған орай мақалада резонансты дірілдеткіштердің бір-біріне байланысты орналасырылуының кестесі көрсетіліп отыр.

The article presents the results of the study of the E_{00} wave field in the re-radiation mode. Re-radiation of the E_{00} wave is performed by group of resonant vibrators coaxial with waveguide wire. Data of experimental studies of field distribution along single-wire transmission line operating in different modes are given. Possibility of increasing efficiency of re-radiated field and its adjustment is shown. In accordance with it, the article describes the arrangement of resonant vibrators relative to each other.

ГРНТИ 44.29.31

М. Я. Клещель¹, Б. Е. Машрапов², О. М. Талипов³

¹д.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²PhD, асоц. профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³PhD, асоц. профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ²bokamashrapov@mail.ru; ³talipov1980@mail.ru

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В КОМПЛЕКТНЫХ ТРЁХФАЗНЫХ ТОКОПРОВОДАХ

Экспериментально доказано, что величины индукций магнитных полей, созданных токами в шинах комплектных токопроводов, достаточны для срабатывания геркона, закрепляемого внутри них при построении защит электроустановок от коротких замыканий.

Измерены индукции магнитных полей в различных точках вдоль шин токопровода и в шести точках на середине длины токопровода вблизи перегородок. Показано, что герконы необходимо располагать на расстоянии не меньше 50 см от краев оболочки токопровода, и оболочка токопровода уменьшает индукцию магнитного поля, созданного током в его шине, в 1,4 раза в сравнении с индукцией при ее отсутствии, а перегородки искажают магнитное поле внутри токопровода, из-за чего геркон необходимо устанавливать как можно дальше от них. Предложена установка для исследования электромагнитного поля внутри трубчатого проводника.

Ключевые слова: комплектный токопровод, шина, ток, индукция магнитного поля.

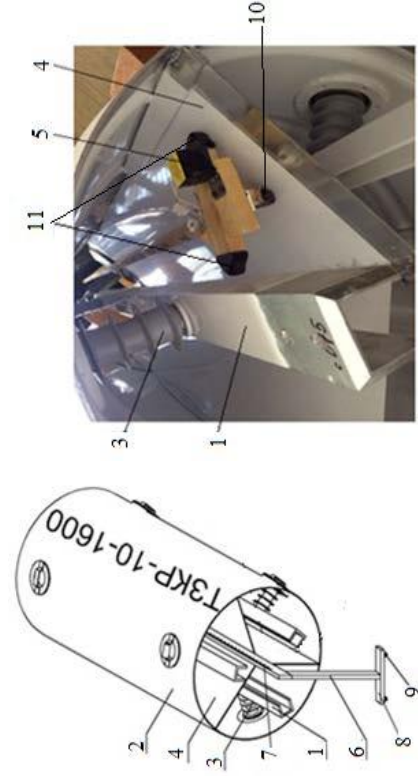
ВВЕДЕНИЕ

На конференциях СИГРЭ неоднократно отмечалось, что нужно разрабатывать защиты, не использующие для получения информации трансформаторы тока [1–3]. Одним из путей решения этой задачи является применение магниточувствительных элементов в качестве датчиков тока. Нами выбраны герконы, так как они обладают некоторыми преимуществами

перед другими магниточувствительными элементами [1]. На их основе уже разработаны принципы построения максимальной токовой защиты [4], дифференциально-фазных защит электродвигателя [5], трансформатора [6] и шин [7], принципы выявления симметричных составляющих токов [8] и т.д. Указанные защиты, в основном, применяются в сетях 6–35 кВ, где электроустановки подключаются к шинам через ячейки комплектных распределительных устройств (КРУ) или комплектные трехфазные токопроводы (шины собственных нужд к трансформатору собственных нужд). При этом магнитные поля внутри ячеек КРУ и комплектных токопроводов, куда придется устанавливать герконы, не исследовались. В данной работе сделана попытка провести эти исследования путем натурального эксперимента в комплектном токопроводе типа ТЗКР-10-1600.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Трёхфазный комплектный токопровод, типа ТЗКР-10-1600-81, напряжением до 10 кВ на ток 1600 А состоит из трех токоведущих шин 1 (рис. 1) швеллерного типа (П-образного сечения) и оболочка 2 [9]. Токоведущие шины 1 крепятся к опорным изоляторам 3 внутри оболочки 2 по вершинам равнобедренного треугольника. Комплектный токопровод имеет три междуфазные разделительные перегородки 4, выполненных из алюминиевых листов толщиной по 4 мм и сваренных друг с другом под углом 120°. Разделительные перегородки 4 предназначены для исключения перехода однофазного замыкания на землю в междуфазное короткое замыкание.



а) б)
Рисунок 1 – Трёхфазный токопровод с помещенной внутри него конструкцией для установки КИ в заданную точку

Для проведения экспериментов в шины 1 токопровода подавался ток от 100 А до 600 А с шагом 100 А. Для измерения величины индукции магнитного поля применялась катушка индуктивности 5 (рис. 1б), с количеством витков $w = 10000$, к выводам которой подключался вольтметр (на рис. 4 не показан). Для её размещения и перемещения внутри токопровода использовалась запатентованная конструкция [10]. Она представляет собой две рейки 6 и 7, выполненные из диэлектрического материала и скрепленные под углом 90°. На конце рейки 6 жестко закреплена горизонтальная планка 8 с колесами 9 (рис. 1а). На рейку нанесена шкала с шагом 1 см. На конце рейки 7 закреплены колеса 10 и конструкция для установки катушки индуктивности 5 (КИ), по торцам которой расположены колеса 11. В результате КИ 5 располагается на 12,5 см от шины, что соответствует минимально допустимому расстоянию по технике безопасности.

В первом эксперименте определялись точки вдоль шин токопровода, в которых влияние внешних помех минимально. Для этого в шины подавался ток от 100 до 600 А и через каждые 10 см длины токопровода измерялась индукция магнитного поля, созданного указанным током. В результате установлено, что значения магнитного поля от концов трёхфазного комплектного токопровода сильно отличаются на расстоянии равным 30 см в обоих положениях установки КИ 5, а в точках 30 см от середины токопровода – показания значительнее отличаются от 3 до 5 %.

Затем было исследовано влияние перегородок и оболочки токопровода на распределение магнитного поля внутри токопровода. Для этого измеряли индукции магнитных полей, созданных токами в шинах токопровода, закрепив КИ 5 в точках 1–6 вплотную к перегородкам (рис. 2) на середине длины токопровода. Ток подавали в две и три шины, имитируя двух – и трехфазные КЗ. Измерения проводили в следующих режимах: при наличии оболочки и перегородок; при наличии только перегородок, а затем и только оболочки; при отсутствии оболочки и перегородок. Измеренные значения приведены в таблице 1. Из таблицы 1 видно, что оболочка лишь уменьшает индукции магнитных полей в 1, 4 раза, а перегородка искажает их. Поэтому при построении защиты необходимо устанавливать геркон как можно дальше от перегородки, не нарушая при этом технику безопасности.

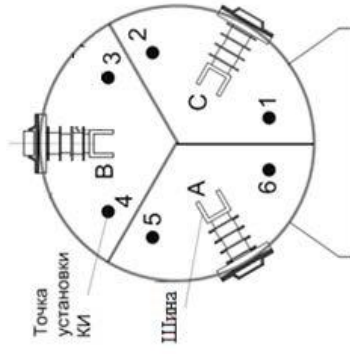


Рисунок 2 – Точки 1–6 установки КИ для измерения э.д.с. возле переродок токопровода

Таблица 1 – Значения магнитной индукции для шести точек на разделительной переродке, при различных режимах короткого замыкания и различных величинах силы тока в токоведущих шинах токопровода

Комплектность токопровода	Вид к.з.	Значение тока в шине, А	Значение магнитной индукции наводимой на катушке индуктивности, В, 10 ⁻⁴ Тл					
			Слева от ф.А	Справа от ф.А	Слева от ф.В	Справа от ф.В	Слева от ф.С	Справа от ф.С
с переродкой и оболочкой	3-х фазное	2780	4,29	2,5	4,85	3,13	4,56	2,84
	2-х фаз. АВ	2138	2,33	2,44	2,76	2,39	0,47	0,51
без переродки, но с оболочкой	3-х фазное	2715	2,89	2,72	2,74	2,78	2,84	2,76
	2-х фаз. АВ	2162	1,56	2,63	2,76	1,4	1,12	1,24
с переродкой, но без оболочки	3-х фазное	2723	4,92	3,64	5,28	3,08	4,58	3,54
	2-х фаз. АВ	2184	3,45	3,89	3,87	2,98	0,57	0,62
без оболочки и без переродки	3-х фазное	2680	3,96	4,1	4,12	4,04	4,05	3,94
	2-х фаз. АВ	2100	1,99	3,8	3,83	1,87	1,65	1,71

ВЫВОДЫ

Экспериментальные исследования проведенные на токопроводе показали возможность создания токовых защит на герконах для электроустановок, подключенных к нему.

При установке геркона внутри трехфазного комплектного токопровода, необходимо закреплять его как можно дальше от переродок и на

расстоянии, как минимум, 50 см от конца секции токопровода. При выборе уставок срабатывания нужно учитывать, что оболочка токопровода уменьшает действующую на геркон индукцию в 1,4 раза.

Разработанная и апробированная в данной работе лабораторная установка, с помощью которой проводились эксперименты, может быть использована в дальнейших исследованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Клецель, М. Я. Основы построения релейной защиты на герконах // Сборник докладов конференции, CIGRE. – 2013.
- 2 Дьяков, А. Ф. Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по материалам 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – № 4–5.
- 3 Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т. (Cooper Power Systems, США). Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского. // Сборник докладов конференции CIGRE. – 2009. – С. 49–59.
- 4 Клецель, М. Я. О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока./ М. Я. Клецель, В. В. Мусин // Электротехника. – 1987. – № 4. – С. 11–13.
- 5 Клецель, М. Я. Дифференциально-фазная защита мощных электродвигателей на герконах. / М. Я. Клецель, А. Г. Калтаев, Б. Е. Машрапов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – № 1–2. – 2014. – С. 306–309.
- 6 Клецель, М. Я. Особенности построения дифференциально-фазных защит трансформаторов / М. Я. Клецель, П. Н. Майшев // Электротехника. – 2007. – № 12. – С. 2–7.
- 7 Kletsel, M., Protection of busbar based on reed switches / M. Kletsel, N. Kabdualiyev, B. Mashrapov, A. Neftissov // Przeglad Elektrotechniczny. – 2014. – № 1. – P. 88–89.
- 8 Kletsel, M. New filters for symmetrical current components / M. Kletsel, A. Zhanblesova, P. Mayushev, B. Mashrapov, D. Issabekov // Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – № 101. – P. 85–91.
- 9 Дорошев, К. И. Токопроводы и шинопроводы для электростанций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 646 с.
- 10 Патент 181523 Российской Федерации, МПК G09B 23/18. Установка для исследования электромагнитного поля внутри трубчатого проводника / Клецель М. Я., Талипов О. М., Кислов А. П., Сулайманов А. О.; заявл. 18.04.2017; опубл. 17.07.2018, Бюл. № 20.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

М. Я. Клещель¹, Б. Е. Маширапов², О. М. Талипов³

Жинақы үш фазалы ток өткізгіштердегі магниттік өрістер

^{1,2,3}Энергетикалық факультет,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы.
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

М. Ya. Kletsel¹, B. E. Mashrapov², O. M. Talipov³

Magnetic fields in complete three-phase currents

^{1,2,3}Faculty of Energy Engineering,
S. Toraihytov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.
Material received on 04.06.20.

Жинақы ток өткізгіштерінің ишаларында токтармен пайда болатын магниттік өрістер индукцияларының өлшемдері, қысқа тұйықтаудан электр қондырғыларын қорғауларды құру барысында олардың ішінде бекітілген, герконның іске қосылуына жеткілікті екені тәжірибелік түрде дәлелденген. Ток өткізгіштің ишалар бойындағы әртүрлі нүктелерінде және аралық бөлімдеріне жақын орналасқан ишалар ұзындығының ортасында алты нүктеде магниттік өрістердің индукциялары өлшенді. Геркондар ток өткізгіштің қабығының шеттерінен кемінде 50 см қашықтықта орналасуы керек екені көрсетілген, және ток өткізгіштің қабығы оның инасындағы токпен пайда болатын магниттік өрістің индукциясын оның жоғ кезіндегі индукциямен салыстырғанда 1,4 есеге азайтады, ал аралық бөлімдер ток өткізгіш ішінде магниттік өрісті бұрмалайды, сондықтан герконды олардан мүмкіндігінше алыс орналастыру керек. Тұрба тәрізді өткізгіш ішіндегі электромагниттік өрісті зерттеу үшін қондырғы ұсынылған.

It has been experimentally proved that the magnitudes of the magnetic field inductions created by the currents in the busbars of the complete conductors are sufficient for the operation of the reed switch, which is fixed inside them when constructing electrical installations against short circuits. Inductions of magnetic fields were measured at various points along the busbars and at six points in the middle of the length of the busbar near the partitions. It is shown that the reed switches must be located at

a distance of not less than 50 cm from the edges of the conductor sheath, and the sheath of the conductor reduces the induction of the magnetic field created by the current in its busbar by 1.4 times compared with the induction in its absence, and the partitions distort the magnetic field inside conductor, because of which the reed switch must be installed as far as possible from them. A setup is proposed for studying the electromagnetic field inside a tubular conductor.

Теруге 04.06.2020 ж. жіберілді. Басуға 26.06.2020 ж. қол қойылды.
Пішімі 70x100 $\frac{1}{16}$. Кітап-журнал қағазы.
Шартты баспа табағы 29,3. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Жумабекова
Тапсырыс № 3643

Сдано в набор 04.06.2020 г. Подписано в печать 26.06.2020 г.
Формат 70x100 $\frac{1}{16}$. Бумага книжно-журнальная.
Усл. печ. л. 29,3. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректоры: А. Р. Омарова, Д. А. Жумабекова
Заказ № 3643

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
e-mail: kereku@psu.kz
www.vestnik.psu.kz