



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Статья посвящена исследованию зависимостей характеристик частичных разрядов от магнитной индукции. Разработана конструкция экспериментальной установки. Она позволяет прикладывать как высокое напряжение, так и ток, сопоставимый с рабочим. Установка включает в себя источник высокого напряжения (прибор для испытания диэлектриков), схему протекания тока, высоковольтный трансформатор тока и образец кабеля с СПЭ-изоляцией. Работа электрической схемы экспериментальной установки была смоделирована с помощью программного обеспечения. Моделирование показало, что при наличии эксплуатационной электрической прочности изоляции трансформатора тока высоковольтный потенциал не может контактировать с контуром протекания тока. После этого было проведено моделирование магнитного поля внутри изоляционного слоя. На основе разработанной конструкции была создана экспериментальная установка. Для регистрации частичных разрядов в образце кабеля создавался искусственный дефект. Результаты моделирования магнитного поля позволили оценить магнитную индукцию в поле искусственного дефекта кабеля. Далее были проведены экспериментальные исследования по оценке влияния магнитного поля тока жилы кабеля на характеристики частичных разрядов. Результаты измерений показали снижение среднего кажущегося заряда частичных разрядов и мощности частичных разрядов с увеличением тока. Кроме того, сравнивались формы сигналов, но существенных различий не обнаружено. Магнитное поле тока может оказывать влияние на характеристики частичных разрядов в долгосрочной перспективе из-за возможного влияния на направление роста электрической древовидной структуры.

**Ключевые слова:** частичный разряд, магнитное поле, измерение частичных разрядов, характеристики частичных разрядов, дефект изоляции, экспериментальное исследование, моделирование реальных условий эксплуатации кабеля.

**Введение.** Электроэнергетика является одной из ключевых отраслей, обеспечивающих развитие экономики и повышение качества жизни людей. Системы электроснабжения должны обеспечивать стабильную работу промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, объектов социальной сферы и связи. Важной составляющей этой отрасли являются высоковольтные электроустановки и системы изоляции, которые должны работать безупречно для обеспечения надежного электроснабжения.

Высоковольтная электрическая изоляция может быть неоднородной или содержать токопроводящие или газовые включения, возникающие при ее изготовлении или обслуживании. Это приводит к неоднородности электрического поля в областях неоднородностей.

Можно рассмотреть следующие типы дефектов кабеля (рис. 1) [1, 2]:

— дефекты в виде отверстий в наружной оболочке кабеля, проникающих в изоляцию;

— дефекты в виде отверстий во внутренней оболочке кабеля, так же проникающих в изоляцию;

— наличие внутренних пустот внутри кабеля;

— трещины, обнаруженные в оболочке и изоляционном слое кабеля;

— наличие водных триингов [3–5], представляющих собой трещины, заполненные водой, а также водяные мостики, соединяющие наружные слои изоляции с внутренней частью кабеля;

— электрические триинги [6–8], аналогичные водным триингам, но заполненные газом;

— коррозия внешней оболочки кабеля;

— механические повреждения внутренних проводников.

Совершенствование технологий производства может способствовать повышению эксплуатационной надежности новых кабельных линий, в то вре-

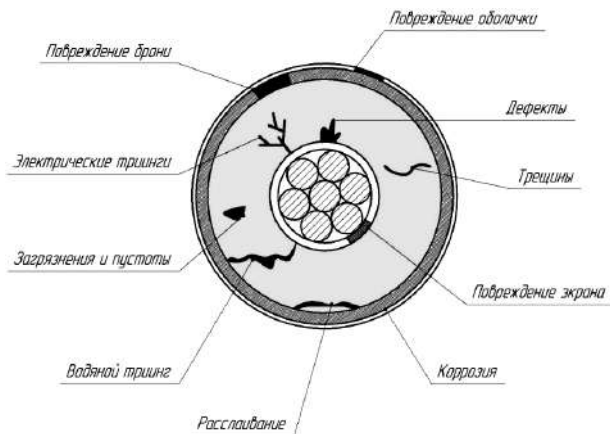


Рис. 1. Типы возможных дефектов кабеля



Рис. 2. Воздействие частичных разрядов на изоляцию

как эксплуатируемые линии требуют периодической оценки состояния для повышения надежности.

Одной из ключевых проблем надежной эксплуатации является возникновение частичных разрядов (ЧР) [9–11], которые могут привести к деградации изоляционных материалов (рис. 2), утечке энергии, а в конечном итоге — к отказам оборудования и технологическим нарушениям.

Регистрация частичных разрядов является эффективным диагностическим методом, позволяющим обнаружить и локализовать дефекты в высоковольтной изоляции [12–15]. Однако явление частичного разряда еще недостаточно изучено. Оно сопровождается комплексом различных процессов, зависящих друг от друга [16–18]. Кроме того, в процессе работы в токопроводящих жилах протекают токи, которые вызывают возникновение магнитного поля. Оно влияет на импульсы тока частичных разрядов под действием сил Ампера и Лоренца. Таким образом, необходимо исследовать зависимость характеристик частичных разрядов от магнитных полей токов.

**Постановка задачи.** Цель работы — исследование влияния магнитного поля на характеристики частичных разрядов. Цель достигалась путем решения следующих задач:

- проектирование экспериментальной установки;
- моделирование электрической схемы экспериментальной установки;
- моделирование распределения магнитного поля в кабеле для оценки магнитной индукции в зоне дефекта кабеля;
- подготовка экспериментальной установки, проведение измерений и анализ результатов.

**Теория.** Экспериментальная установка должна обеспечивать высокое напряжение, приложенное к изоляции, и ток в жиле кабеля, сравнимый с номинальным рабочим током. Прежде всего, необходимо подготовить образец кабеля с искусственным дефектом. При подготовке образца кабеля для испытаний был использован одножильный коаксиаль-

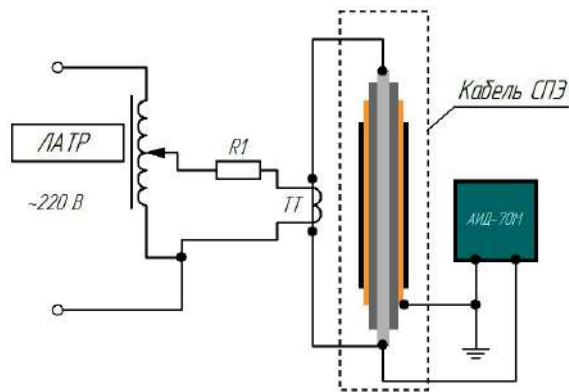


Рис. 3. Блок-схема экспериментальной установки. Моделирование

ный кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ. Он был заделан с помощью специализированного инструмента и в соответствии с инструкцией. После этого с помощью заостренного заземляющего электрода создавался искусственный дефект, который в дальнейшем удалялся из изоляционного слоя.

Для обеспечения высокого напряжения (ВН) использовался лабораторный источник ВН до 50 кВ (АИД-70М — прибор для испытания диэлектриков). Для подачи высокого напряжения к АИД-70М подключались жила кабеля и экран.

Вторая часть экспериментальной установки должна обеспечивать протекание тока в жиле кабеля под высоким напряжением. Поэтому установка должна содержать элемент электрической изоляции между цепью протекания тока и высоковольтной цепью. Для гальванической развязки цепей использовался высоковольтный трансформатор тока 10 кВ 300/5 Ампер. Он подключался к обеим сторонам жилы кабеля. Вторичная обмотка подключалась к лабораторному автотрансформатору через балластное сопротивление. Автотрансформатор имеет ручку для регулирования вторичного напряжения. Таким образом, ток жилы кабеля регулируется напряжением вторичной обмотки лабораторного автотрансформатора. Схема проведения эксперимента представлена на рис. 3.

**А. Моделирование электрической схемы.** Моделирование электрической схемы необходимо для обеспечения безопасной работы экспериментальной установки и исключения возможного контакта высоковольтной цепи с сетью 220 В. Вначале была подготовлена типовая схема (рис. 4).

В схеме лабораторный автотрансформатор был подключен к вторичной обмотке трансформатора тока (ТТ) через сопротивление 50 Ом. Вторичная обмотка ТТ подключена к кабелю сопротивлением около 1 мОм в соответствии с техническими характеристиками кабеля. К источнику высокого напряжения АИД-70М был подключен кабель с емкостью С1, равной 1000 пФ. Он представлен в виде источника напряжения V3 с индуктивностью L4, равной 1 Гн, и сопротивлением R13, равным 95 кОм. В соответствии с разработанной схемой был выбран лабораторный автотрансформатор с возможностью регулирования напряжения с помощью реостата 100 кОм (RV1).

Смоделированная схема показала возможность возникновения тока в жиле кабеля одновременно

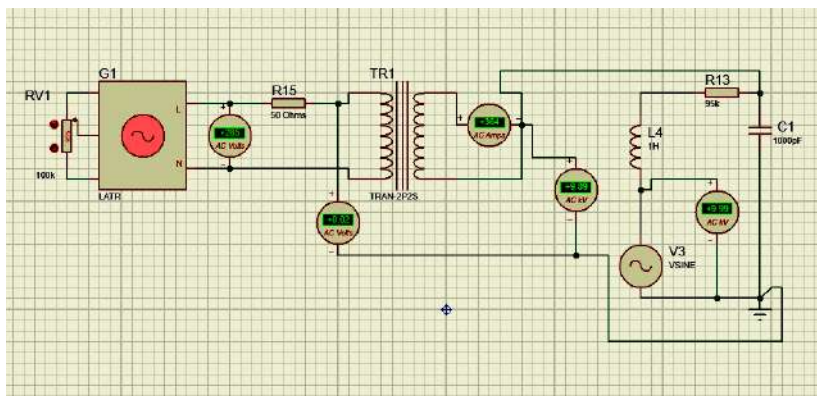


Рис. 4. Модель установки

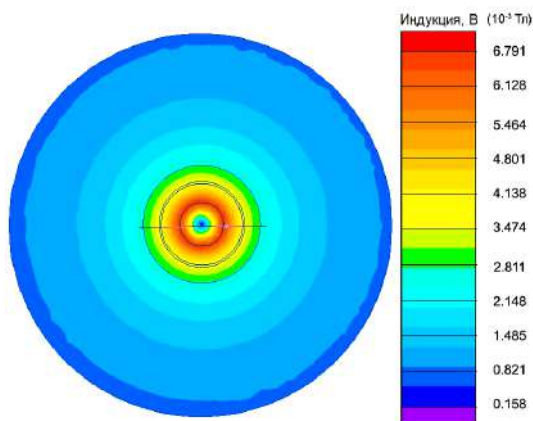


Рис. 5. Распределение магнитного поля в кабеле

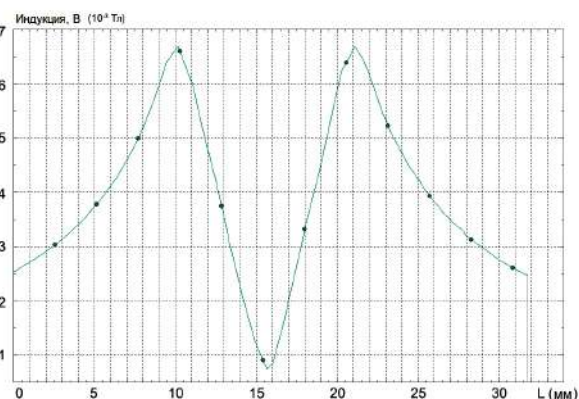


Рис. 6. График распределения магнитной индукции от диаметра кабеля

с высоким напряжением. Кроме того, моделирование подтвердило, что при отсутствии дефектов изоляции трансформатора тока высоковольтная цепь не будет иметь связи с источником напряжения сети 220 В.

**В. Моделирование магнитного поля.** Программный комплекс ELCUT известен как пакет программ, разработанный специально для высокоточного инженерного анализа и двумерного моделирования с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Программа позволяет проводить виртуальное моделирование различных конструкций и систем, что позволяет избежать дорогостоящих и трудоемких физических испытаний. ELCUT используется в различных отраслях промышленности, в том числе и в энергетике. Ее основное назначение — получение точных данных о поведении и характеристиках конструкций на основе математических моделей и численного анализа.

На основе конструкции образца кабеля были подготовлены геометрия и сетка для применения математического анализа. Параметры слоев кабеля задавались в среде ELCUT. При этом рассматривалась задача о стационарном магнитном поле.

Результаты моделирования при токе 200 А приведены на рис. 5. По карте градиента видно, что индукция возрастает на краях токоведущего сердечника и практически равна нулю в его центре. Установив плоскость интегрирования по центру кабеля, мы получили график распределения магнитной индукции (рис. 6).

С учетом описанного ранее искусственного дефекта кабеля мы оцениваем радиальное расположе-

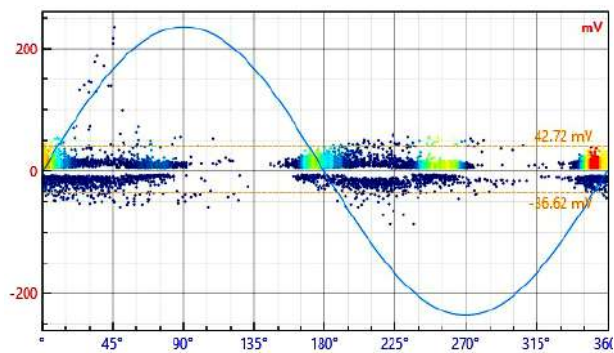


Рис. 7. Амплитудно-фазовая диаграмма ЧР

ние дефекта на расстоянии около 1 мм от поверхности жилы кабеля. Таким образом, при токе 200 А магнитная индукция составляет около 6 мТл.

**Эксперименты и результаты.** Сначала была подготовлена экспериментальная установка по блок-схеме (рис. 3). После этого были проведены испытания установки с использованием отдельно создаваемых токов и высоковольтных приборов. Первичные испытания на протекание тока проводились на образце кабеля длиной около 20 метров. Однако максимальный генерируемый ток составлял около 30 А. Это было обусловлено высоким сопротивлением образца и требовало повышенной мощности трансформатора тока.

После этого длина образца кабеля была уменьшена примерно до 3 м. Сделать его короче, чтобы соблюсти допустимый радиус изгиба, не представ-

Таблица 1

Результаты измерений ЧР в кабеле

Ток, А	Индукция, мТл	Мощность ЧР, мВт	Амплитуда, В
0	0	3,73	0,4348
10	0,32	5,80	0,2455
20	0,63	5,24	0,0696
30	0,95	4,89	0,0464
40	1,26	4,88	0,0489
50	1,58	5,42	0,0513
60	1,90	4,26	0,0537
70	2,21	4,08	0,0769
90	2,53	3,96	0,0684
100	2,84	3,55	0,0391
110	3,16	3,42	0,0464
120	3,48	3,50	0,0464
130	3,79	3,75	0,0403
140	4,11	3,96	0,2125
150	4,42	3,72	0,0256
160	4,74	3,41	0,0403
170	5,06	3,33	0,0293
180	5,37	3,70	0,0940
190	5,69	3,62	0,0721
200	6,00	3,62	0,0464

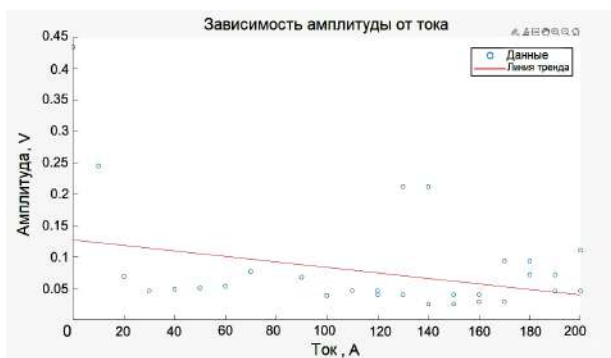


Рис. 8. График зависимости тока от амплитуды частичных разрядов

ляется возможным. При этом второй образец кабеля позволил создать ток до 200 А.

В рамках данного исследования была проведена серия экспериментов в возможном диапазоне токов. Измерения частичных разрядов проводились с помощью серийного прибора DIM-Loc производства компании DIMRUS. Пример полученной амплитудно-фазовой диаграммы ЧР (АФД ЧР) приведен на рис. 7. Результаты измерений сведены в табл. 1.

Зависимости мощности ЧР и средней амплитуды от индукции приведены на рис. 8, 9. Кроме того, на форму импульсов ЧР может влиять и магнитное поле. Они также были зарегистрированы. Сравнение импульсов при 200 А и 0 А приведено на рис. 10.

**Обсуждение результатов.** Результаты моделирования показали возможность работы экспериментальной установки. Кроме того, моделирование магнитного поля позволило оценить магнитную индукцию в области дефекта.

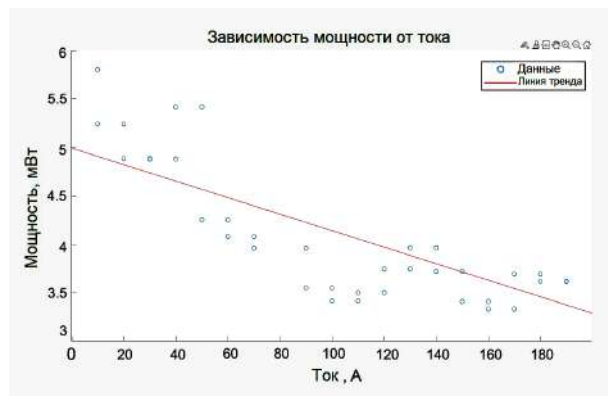


Рис. 9. График зависимости тока от мощности частичных разрядов

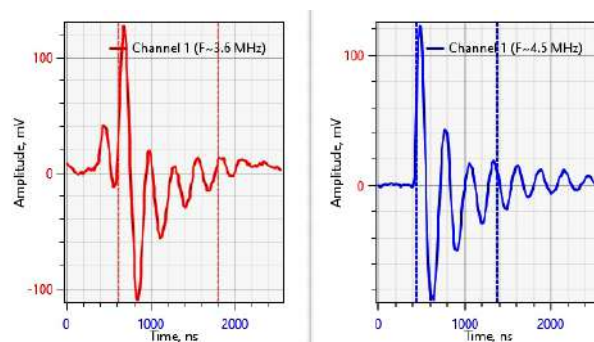


Рис. 10. Сравнение форм импульсов ЧР: 200 ампер (слева), 0 ампер (справа)

Результаты экспериментов показали, что с ростом тока характеристики ЧР уменьшаются. Средняя величина импульса ЧР существенно не уменьшилась. Однако линия тренда показала незначительное снижение с ростом тока. Мощность ЧР снижалась гораздо значительнее. Вероятно, это снижение обусловлено уменьшением количества одиночных импульсов.

Форма импульсов ЧР существенно изменялась с увеличением тока. Сравнение проводилось для импульсов с одинаковой величиной. Таким образом, мы можем оценить частоту колебаний и величину интеграла. С увеличением тока частота колебаний уменьшалась. Интегральное значение импульса изменилось незначительно.

**Заключение.** Проведено моделирование магнитного поля в кабеле. Проведено моделирование протекания тока в жиле кабеля. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для исследования характеристик частичного разряда в одножильном кабеле 10 кВ с СПЭ-изоляцией. Проведены измерения характеристик частичного разряда в образце кабеля под высоким напряжением и в диапазоне токов от 0 до 200 А.

С увеличением тока уменьшалась величина импульса ЧР и мощность ЧР. Кроме того, наличие тока приводило к снижению частоты колебаний импульсов ЧР.

Следует отметить, что в случае длительного протекания тока в жиле кабеля его магнитное поле может оказывать гораздо более существенное влияние на характеристики ЧР. При работе кабеля магнитное поле воздействует на импульсы тока ЧР под действием сил Ампера и Лоренца. Следовательно, от магнитного поля зависит и направление роста

электрической трещины. Кроме того, указанные силы, вероятно, будут направлены вдоль кабеля. Таким образом, магнитное поле может замедлить рост дендритов.

#### Библиографический список

1. Li G., Luo Z., Xiong J. [et al.]. Statistical characteristics of partial discharge caused by typical defects in cable joint under oscillating voltage // 2014 International Conference on Power System Technology. China, 2014. P. 1368–1373. DOI: 10.1109/POWERCON.2014.6993672.
2. Zhao X., Pu L., Ju Z. [et al.]. Partial discharge characteristics and development of typical XLPE power cable insulation defects // 2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD). China, 2016. P. 623–626. DOI: 10.1109/CMD.2016.7757955.
3. Kim C., Jin Z., Jiang P. [et al.]. Investigation of dielectric behavior of thermally aged XLPE cable in the high-frequency range // Polymer Testing. 2006. Vol. 25, no. 4. P. 553–561. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2006.03.009.
4. Boggs S. A. Mechanisms for degradation of TR-XLPE impulse strength during service aging // IEEE Power Engineering Review. 2002. Vol. 17, no. 2. P. 308–312. DOI: 10.1109/MPER.2002.4312059.
5. Tao W., Song S., Zhang Y. [et al.]. Study on the electric-field characteristics of water tree region on the dry or wet condition in XLPE cables // 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE). 2016. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICHVE.2016.7800763.
6. Chen G., Tham C. H. Electrical treeing characteristics in XLPE power cable insulation in frequency range between 20 and 500 Hz // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2009. Vol. 16, no. 1. P. 179–188. DOI: 10.1109/TDEI.2009.4784566.
7. Gulski E., Putter H., Smit J. J. Investigation of water treeing — Electrical treeing transition in power cables // 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis. China, 2008. P. 234–237. DOI: 10.1109/CMD.2008.4580270.
8. Chen X., Mantsch A. R., Gubanski S. M. [et al.]. Electrical treeing behavior of DC and thermally aged polyethylenes utilizing wire-plane electrode geometries // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2014. Vol. 21, no. 1. P. 45–52. DOI: 10.1109/TDEI.2013.004108.
9. Hauschild W., Lemke E. High-voltage test and measuring techniques. 2014. 505 p.
10. Knenicky M., Prochazka R., Hlavacek J. Partial Discharge Patterns during Accelerated Aging of Medium Voltage Cable System // 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE). Greece, 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICHVE.2018.8641847.
11. Yuan Y., Lu G., Wang W. [et al.]. Dielectric loss and partial discharge test analysis of 10 kV XLPE cable // 2013 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. China, 2013. P. 124–127. DOI: 10.1109/CEIDP.2013.6747414.
12. Ahmed Z., Hussain G. A., Lehtonen M. [et al.]. Analysis of partial discharge signals in medium voltage XLPE cables // 2016 17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Czech Republic, 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/EPE.2016.7521817.
13. Korobeynikov S. M., Ridel A. V., Medvedev D. A. [et al.]. Registration and simulation of partial discharges in free bubbles at AC voltage // IEEE Transactions On Dielectrics And Electrical Insulation. 2019. Vol. 26, no. 4. P. 1035–1042. DOI: 10.1109/TDEI.2019.007808.
14. Gómez F. Á., Albarracín-Sánchez R., Garnacho F. [et al.]. Diagnosis of insulation condition of mv switchgears by application of different partial discharge measuring methods and sensors // Sensors. 2018. Vol. 18, no. 3. P. 1–20. DOI: 10.3390/s18030720.
15. Deshpande A. S., Mangalvedekar H. A., Cheeran A. N. Partial discharge analysis using energy patterns // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2013. Vol. 53. P. 184–195. DOI: 10.1016/j.ijepes.2013.04.015.
16. Liu S., Wang Y., Tian F. Prognosis of Underground Cable via Online Data-Driven Method with Field Data // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2015. Vol. 62, no. 12. P. 7786–7794. DOI: 10.1109/TIE.2015.2458300.
17. Bruning F. J., Campbell A. M., Campbell F. J. [et al.]. Insulation aging from simultaneous mechanical strain, polymer-chemical, and temperature interactions in // Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. 1992. P. 74–78. DOI: 10.1109/ELINSL.1992.247048.
18. Celina M., Gillen K. T., Assink R. A. Accelerated aging and lifetime prediction: Review of non-Arrhenius behavior due to two competing processes // Polymer Degradation and Stability. 2005. Vol. 90, no. 3. P. 395–404. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.05.004.

**ПОЛЯКОВ Дмитрий Андреевич**, старший преподаватель кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 2004-2148

AuthorID (РИНЦ): 733001

AuthorID (SCOPUS): 56825433300

Адрес для переписки: polyakowdmitry@yandex.ru

**ХОЛМОВ Михаил Александрович**, магистрант гр. ЭЭМ-213 кафедры «Теоретическая и общая электротехника» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 2561-3270

AuthorID (РИНЦ): 1087396

Адрес для переписки: misha97h@gmail.com

**НИКИТИН Константин Иванович**, доктор технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 3733-8763

AuthorID (РИНЦ): 641865

AuthorID (SCOPUS): 56825489500

Адрес для переписки: nki@ngs.ru

#### Для цитирования

Поляков Д. А., Холмов М. А., Никитин К. И. Исследование влияния магнитного поля на характеристики частичных разрядов // Омский научный вестник. 2024. № 3 (191). С. 110–116. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-191-110-116.

Статья поступила в редакцию 04.12.2023 г.

© Д. А. Поляков, М. А. Холмов, К. И. Никитин

## STUDY OF THE MAGNETIC FIELD EFFECT ON PARTIAL DISCHARGES CHARACTERISTICS

The paper is devoted to the study of the dependences of the characteristics of partial discharges on magnetic induction. The design of the experimental setup has been developed. It allows applying both high voltage and current comparable to the operating one. The setup includes a high voltage source (dielectric tester), a current flow circuit, a high voltage current transformer and a sample of XLPE insulated cable. The operation of the electrical circuit of the experimental setup is simulated using software. The modeling has shown that if the operational electrical strength of the current transformer insulation is present, the high-voltage potential cannot contact the current flow circuit. After this, modeling of the magnetic field inside the insulating layer is carried out. Based on the developed design, an experimental setup is created. To record partial discharges, an artificial defect is created in a cable sample. The results of magnetic field modeling made it possible to estimate the magnetic induction in the field of an artificial cable defect. Next, experimental studies are carried out to assess the influence of the magnetic field of the cable core current on the characteristics of partial discharges. The measurement results have showed a decrease in the average apparent charge of partial discharges and partial discharge power with increasing current. In addition, waveforms are compared, but no significant differences are found. The magnetic field of the current may influence the PD performance in the long term due to its possible influence on the direction of growth of the electrical tree structure.

**Keywords:** partial discharge, a magnetic field, partial discharge measurement, characteristics of partial discharges, insulation defect, experimental study, modeling of real conditions of cable operation.

### References

1. Li G., Luo Z., Xiong J. [et al.]. Statistical characteristics of partial discharge caused by typical defects in cable joint under oscillating voltage // 2014 International Conference on Power System Technology. China, 2014. P. 1368–1373. DOI: 10.1109/POWERCON.2014.6993672. (In Engl.).
2. Zhao X., Pu L., Ju Z. [et al.]. Partial discharge characteristics and development of typical XLPE power cable insulation defects // 2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD). China, 2016. P. 623–626. DOI: 10.1109/CMD.2016.7757955. (In Engl.).
3. Kim C., Jin Z., Jiang P. [et al.]. Investigation of dielectric behavior of thermally aged XLPE cable in the high-frequency range // Polymer Testing. 2006. Vol. 25, no. 4. P. 553–561. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2006.03.009. (In Engl.).
4. Boggs S. A. Mechanisms for degradation of TR-XLPE impulse strength during service aging // IEEE Power Engineering Review. 2002. Vol. 17, no. 2. P. 308–312. DOI: 10.1109/MPER.2002.4312059. (In Engl.).
5. Tao W., Song S., Zhang Y. [et al.]. Study on the electric-field characteristics of water tree region on the dry or wet condition in XLPE cables // 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE). 2016. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICHVE.2016.7800763. (In Engl.).
6. Chen G., Tham C. H. Electrical treeing characteristics in XLPE power cable insulation in frequency range between 20 and 500 Hz // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2009. Vol. 16, no. 1. P. 179–188. DOI: 10.1109/TDEI.2009.4784566. (In Engl.).
7. Gulsli E., Putter H., Smit J. J. Investigation of water treeing – Electrical treeing transition in power cables // 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis. China, 2008. P. 234–237. DOI: 10.1109/CMD.2008.4580270. (In Engl.).
8. Chen X., Mantsch A. R., Gubanski S. M. [et al.]. Electrical treeing behavior of DC and thermally aged polyethylenes utilizing wire-plane electrode geometries // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2014. Vol. 21, no. 1. P. 45–52. DOI: 10.1109/TDEI.2013.004108. (In Engl.).
9. Hauschild W., Lemke E. High-voltage test and measuring techniques. 2014. 505 p. (In Engl.).
10. Knenicky M., Prochazka R., Hlavacek J. Partial Discharge Patterns during Accelerated Aging of Medium Voltage Cable System // 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE). Greece, 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICHVE.2018.8641847. (In Engl.).
11. Yuan Y., Lu G., Wang W. [et al.]. Dielectric loss and partial discharge test analysis of 10 kV XLPE cable // 2013 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena.

China, 2013. P. 124–127. DOI: 10.1109/CEIDP.2013.6747414. (In Engl.).

12. Ahmed Z., Hussain G. A., Lehtonen M. [et al.]. Analysis of partial discharge signals in medium voltage XLPE cables // 2016 17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Czech Republic, 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/EPE.2016.7521817. (In Engl.).

13. Korobeynikov S. M., Ridel A. V., Medvedev D. A. [et al.]. Registration and simulation of partial discharges in free bubbles at AC voltage // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2019. Vol. 26, no. 4. P. 1035–1042. DOI: 10.1109/TDEI.2019.007808. (In Engl.).

14. Gómez F. Á., Albarracín-Sánchez R., Garnacho F. [et al.]. Diagnosis of insulation condition of mv switchgears by application of different partial discharge measuring methods and sensors // Sensors. 2018. Vol. 18, no. 3. P. 1–20. DOI: 10.3390/s18030720. (In Engl.).

15. Deshpande A. S., Mangalvedekar H. A., Cheeran A. N. Partial discharge analysis using energy patterns // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2013. Vol. 53. P. 184–195. DOI: 10.1016/j.ijepes.2013.04.015. (In Engl.).

16. Liu S., Wang Y., Tian F. Prognosis of Underground Cable via Online Data-Driven Method with Field Data // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2015. Vol. 62, no. 12. P. 7786–7794. DOI: 10.1109/TIE.2015.2458300. (In Engl.).

17. Bruning F. J., Campell A. M., Campbell F. J. [et al.]. Insulation aging from simultaneous mechanical strain, polymer-chemical, and temperature interactions in // Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. 1992. P. 74–78. DOI: 10.1109/ELINSL.1992.247048. (In Engl.).

18. Celina M., Gillen K. T., Assink R. A. Accelerated aging and lifetime prediction: Review of non-Arrhenius behavior due to two competing processes // Polymer Degradation and Stability. 2005. Vol. 90, no. 3. P. 395–404. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.05.004. (In Engl.).

**POLYAKOV Dmitry Andreevich**, Senior Lecturer of Theoretical and General Electrical Engineering Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.

SPIN-code: 2004-2148

AuthorID (RSCI): 733001

AuthorID (SCOPUS): 56825433300

Correspondence address: polyakowdmitry@yandex.ru

**KHOLMOV Mikhail Alexandrovich**, Undergraduate, gr. ЭЭМ-213 of Theoretical and General Electrical Engineering Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 2561-3270

AuthorID (RSCI): 1087396

Correspondence address: misha97h@gmail.com

**NIKITIN Konstantin Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of Theoretical and General Electrical Engineering Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 3733-8763

AuthorID (RSCI): 641865

AuthorID (SCOPUS): 56825489500

Correspondence address: nki@ngs.ru

#### For citations

Polyakov D. A., Kholmov M. A., Nikitin K. I. Study of the magnetic field effect on partial discharges characteristics // Omsk Scientific Bulletin. 2024. No. 3 (191). P. 110–116. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-191-110-116.

Received December 4, 2023.

© D. A. Polyakov, M. A. Kholmov, K. I. Nikitin