

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Колесников Геннадий Юрьевич,
Ставропольский государственный аграрный университет,
Ставрополь, Российская Федерация,
E-mail: kolesnikovkmvi@yandex.ru

Аннотация. Параметры частичных разрядов позволяют диагностировать оборудование, которое использует трансформаторное масло. Проведенные экспериментальные исследования, направленные на использование частичных разрядов, вместе с методом акустического контроля позволили изучить параметры частичных разрядов в зависимости от состояния изоляционных материалов и определить места дефектов диэлектрика трансформатора на стороне 110 кВ. Была определена локация частичных разрядов с помощью

акустических датчиков, размещенных на поверхности бака трансформатора, и проведен анализ экспериментальных данных. Также было получено уравнение регрессии, которое выражает зависимость амплитуды частичных разрядов от параметров изоляционных материалов.

Ключевые слова: частичные разряды, трансформаторная обмотка, дефект изоляционных материалов, диагностика высоковольтного оборудования, акустическая локация

APPLICATION OF PARTIAL DISCHARGE REGISTRATION FOR DIAGNOSTICS OF HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT

Kolesnikov Gennady Yuryevich,
Stavropol State Agrarian University,
Stavropol, Russian Federation,
E-mail: kolesnikovkmvi@yandex.ru

Abstract. The parameters of partial discharges make it possible to diagnose equipment that uses transformer oil. Experimental studies aimed at using partial discharges together with the acoustic control method made it possible to study the parameters of partial discharges depending on the condition of insulating materials and to determine the places of defects in the transformer dielectric on the 110 kV side. The location of partial discharges was determined

using acoustic sensors placed on the surface of the transformer tank and the experimental data were analyzed. A regression equation was also obtained, which expresses the dependence of the amplitude of partial discharges on the parameters of insulating materials.

Keywords: partial discharges, transformer winding, defect of insulating materials, diagnostics of high-voltage equipment, acoustic location

ВВЕДЕНИЕ

Надежная работа электрооборудования является одной из приоритетных задач систем электроснабжения. При этом известно множество методов диагностики устройств электроэнергетических систем, однако диагностические мероприятия в большинстве случаев оказываются не достаточно эффективными. Поэтому повышение эффективности существующих методов и средств диагностики является актуальной задачей. Применение акустического и электрического методов диагностирования

позволяет получить взаимодополняющие возможности определения мест дефекта [1; 2; 5]. При электрическом диагностировании можно определить значения частичных разрядов, общее количество, расположение разрядов с высокой плотностью расположения: обмотки высокого и низкого напряжения, аппаратура регулирования напряжения под нагрузкой, изоляторы ввода и т. д. (рисунок 1) [3; 6; 7].

При использовании только акустического метода нельзя определить величину частичных разрядов, потому что величина ультразвукового сигнала, воспринимаемого датчиком, зави-

сит только от пути этого сигнала, преодоления барьеров, температуры слоя трансформаторного масла на уровне установки датчика. Но при этом путем регистрации ультразвуковых сигналов частичных разрядов возможно установить точное расположение места разрядов. А также существенным преимуществом акустического метода является защищенность от электромагнитного воздействия, которое присутствует при электрических измерениях в действующих подстанциях [4; 9].

Несмотря на широкое распространение данного способа исследования электрооборудования, работы в области повышения эффективности регистрации и анализа параметров частичных разрядов продолжают.

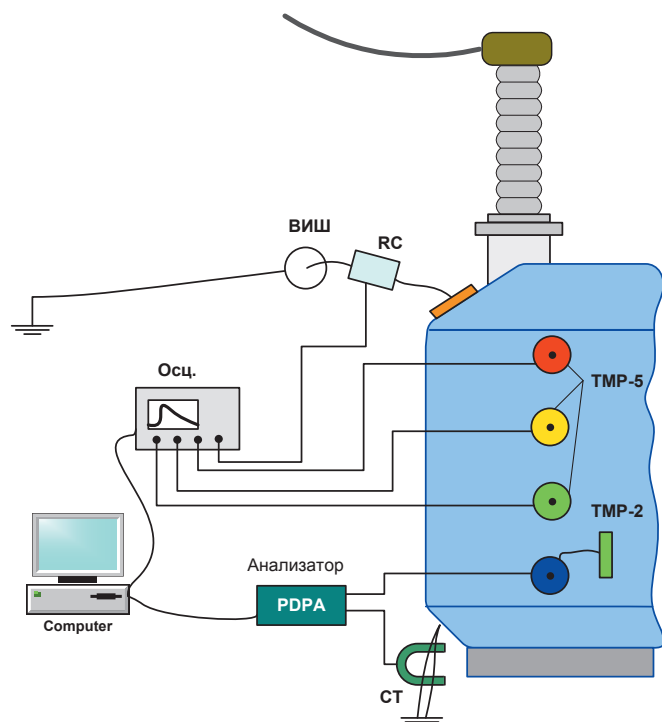


Рисунок 1 – Схемное решение регистрации частичных разрядов методом электрических измерений

Целью исследования в этой области является изучения параметров частичных разрядов в зависимости от параметров диэлектрика [8]. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

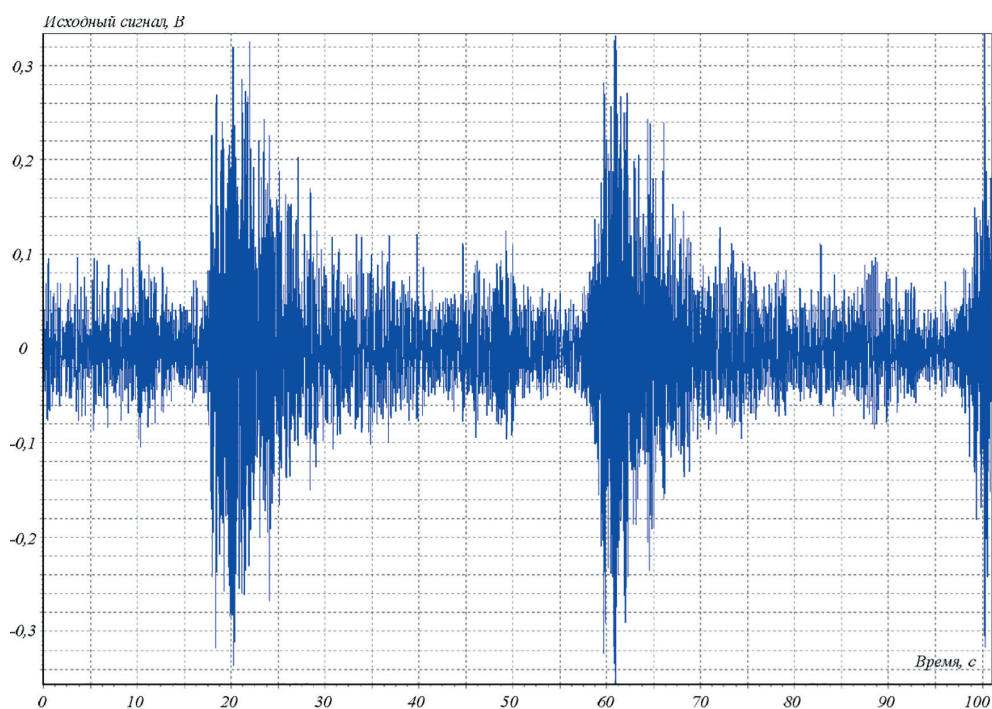


Рисунок 2 – Акустические сигналы частичных разрядов

- разместить ультразвуковые датчики на поверхности бака трансформатора и снять акустические сигналы для определения локации частичных разрядов;
- провести анализ результатов исследований акустических сигналов;
- определить зависимость амплитуды частичных разрядов от параметров изоляционных материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Акустический контроль проводится методом измерения частичных разрядов на основе многоканальной регистрации ультразвукового излучения работающего маслонаполненного оборудования (до нескольких сотен кГц) с помощью регистратора и принимающих датчиков. Акустический датчик частичных разрядов марки AR-Sensor работает в резонансном режиме на частоте установочного резонанса пьезокристалла, равной 40 кГц. При диагностировании датчики прикрепляются к поверхности бака трансформатора в местах высокой вероятности появления частичных разрядов и ведется сбор экспериментальных данных в виде аномалий в ультразвуковом излучении с применением электрического регистратора «R-2000».

Ультразвуковые сигналы, зарегистрированные на трансформаторе 110/10 кВ во время акустического контроля, представлены на рисунке 2. Методом акустического контроля была получена

возможность установить место возникновения частичных разрядов – на стороне высокого напряжения 110 кВ, где определилось присутствие частичных разрядов на фазе «С».

При рассмотрении и анализе частичных разрядов применяется разбиение экспериментальных данных с помощью фильтрации сигналов на высокочастотные и низкочастотные с использованием соответствующих фильтров. Данные фильтры – это наборы коэффициентов пропуска сигналов разного уровня – аппроксимирующих «А» (представление сигнала в грубой форме) и точной детализации «D» (представление сигнала в точной форме) и представляются в виде

$$S = A_n + D_r$$

При выборе набора коэффициентов применяются специальные функции – присваиваются со-

ответствующие индексы. В области исследуемых частот меньшие значения индексов присваиваются высоким частотам, а большие – низким частотам [9; 12; 13; 14; 15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

При получении экспериментальных данных определялся спектр сигнала и производилась обработка сигналов по обратному ряду Фурье (рисунок 3). Для проведения диагностики высоковольтного оборудования и выполнения планового ремонта имеется возможность применять метод частичных разрядов. При использовании данного метода возможно определение локации акустических разрядов и дефектов диэлектрических материалов оборудования.

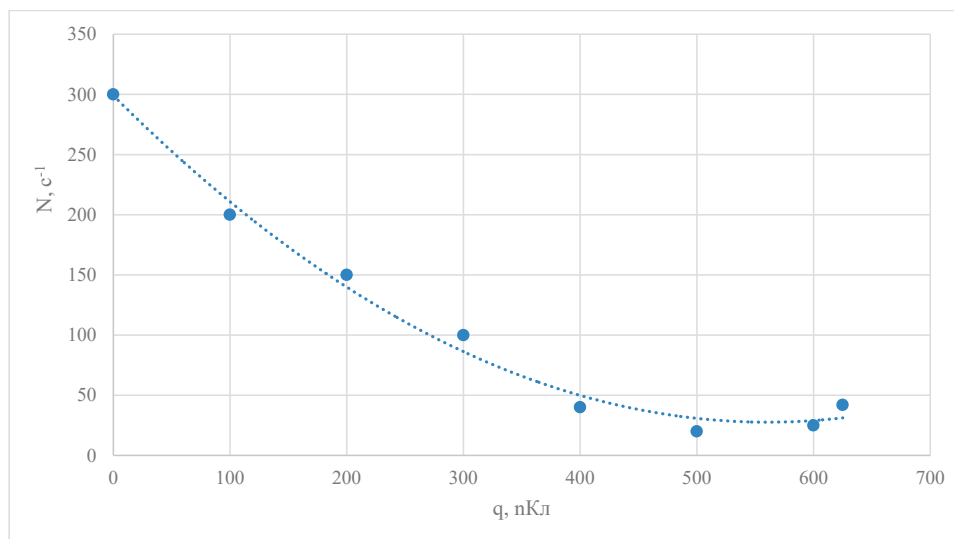


Рисунок 3 – Распределение амплитуды частичных разрядов в зависимости от параметров диэлектрика

Частичные разряды на возрастающих четвертях периода фазного напряжения могут идентифицировать частичные разряды в виде акустических сигналов во время обследования оборудования. При анализе спектра сигнала и обработке экспериментальных данных было получено уравнение регрессии зависимости амплитуды частичных разрядов от параметров диэлектрика. Уравнение регрессии, согласно амплитудам частичных разрядов, определенных экспериментальным путем, представлено ниже:

$$Y = 0,0009x^2 - 0,9683x + 299,02;$$

$$R^2 = 0,9893.$$

При этом установлено, что в трансформаторах с меньшей рабочей мощностью производить акустические исследования проще, что объясняется меньшей степенью воздействия на изоляционные межфазные и межвитковые материалы,

меньшей амплитудой «шумов» и небольшим затуханием акустических всплесков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования, направленные на использование частичных разрядов вместе с методом акустического контроля, позволили изучить параметры частичных разрядов в зависимости от состояния изоляционных материалов и определить места дефектов диэлектрика трансформатора на стороне 110 кВ. Была определена локация частичных разрядов с помощью акустических датчиков, размещенных на поверхности бака трансформатора, и проведен анализ экспериментальных данных. Также было получено уравнение регрессии, которое выражает зависимость амплитуды частич-

ных разрядов от параметров изоляционных материалов.

Анализ проведенных исследований показывает, что метод диагностирования электрооборудования с использованием частичных разрядов

может применяться. В дальнейшем будет проводиться сбор статистических данных, что позволит представить более точную модель зависимости частичных разрядов от состояния диэлектрических материалов трансформатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карташова А. А., Новиков В. Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле. Текст: непосредственный // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 1–2. С. 138–145.
2. Карташова А. А., Новиков В. Ф. Определение фурановых соединений в трансформаторном масле газохроматографическим методом с использованием новых сорбентов. Текст : непосредственный // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 1–2. С. 99–103.
3. Krause Ch., Piovan U., Tschudi D. Building Reliable AC and DC UHV Power Transformers-Dielectric Design Principles, Suitable Pressboard Insulation and Issues Related to HVDC Testing. Текст: непосредственный // Proceedings of International Conference on UHV Transmission. Beijing, China, 2009. P. 28–34.
4. О разработке вариофикационных моделей для представления развития дефектов в силовых маслонаполненных трансформаторах / Г. В. Попов, К. В. Чернов, А. С. Асташов, Ю. М. Овсянников. Текст: непосредственный // Вестник ИГЭУ. 2013. Вып. 1. С. 25–31.
5. Бузаев В. В., Сапожников Ю. М., Смоленская Н. Ю. Методические указания по определению содержания кислорода и водорода в трансформаторных маслах методом газовой хроматографии : методические указания. М. : Издание официальное, 2007. 24 с.
6. IEC 60270:2000 Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов. (IEC 60270:2000 High-voltage test techniques. Partial discharge measurements).
7. Yokenbah E., Borsi H. Condition and diagnosis of power transformers // International conference on condition monitoring and diagnostic. 2008. P. 21–24.
8. Колбасов В.Ф., Савельев С.Ю., Хентшель Й. Электроизоляционные материалы и компоненты силовых трансформаторов: справ. Руководство. Тольятти : Изд-во ООО «ВТ-Энерго», 2018. 64 с.
9. Neubert H., Bödrich T., Disselnkötter R. Transient Electromagnetic– Thermal FE-Model of a SPICE-Coupled Transformer Including Eddy Currents with COMSOL Multiphysics / H. Neubert, T. Bödrich, R. Disselnkötter // Excerpt from the proceedings of the 2011 COMSOL conference in Stuttgart. Stuttgart, 2011.
10. РД 34.43.206–94. Определение содержания производных фурана в электроизоляционных маслах методом жидкостной хроматографии // Методика количественного химического анализа. М. : ОРГРЭС, 1995. 12 с.
11. СТО 56947007-29.180.010.009–2008. Методические указания по определению содержания фурановых производных в трансформаторных маслах методом газовой хроматографии : методические указания. М. : ОАО «ФСК ЕЭС», 2008.
12. Dielectric spectroscopy and gas chromatography methods applied on high-voltage transformer oils / C. Dervos, C. D. Paraskevas, P. Skafidas, N. Stefanou // PhysicsIEEE International Conference on Dielectric Liquids, 2005. Текст: непосредственный.
13. Borges Gilze, Rohwedder J., Bortoni E. A new method to detect fault gas in insulation oil using NIR spectroscopy and multivariate calibration / Gilze Borges, J. Rohwedder, E. Bortoni // Physics. 2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). 2013.
14. Singh S., Bandyopadhyay M. Dissolved gas analysis technique for incipient fault diagnosis in power transformers : a bibliographic survey // S. Singh, M. Bandyopadhyay // Engineering IEEE Electrical Insulation Magazine. 2010.
15. IEC7TR2 61321-1:1994 Методы испытаний при перенапряжении с крутым фронтом импульса. Часть 1: Измерительные системы для перенапряжений с крутым фронтом импульса в подстанциях с металлическим корпусом и газовой изоляцией (IEC/TR2 61321-1:1994 High-voltage testing techniques with very fast impulses • Part 1: Measuring systems for very fast front overvoltages generated in gas-insulated substations).

REFERENCES

1. Kartashova A. A., Novikov V. F. Thin-layer chromatography as a method of control of furan compounds in transformer oil. Text: direct // Izvestia vu-zov. Energy problems. 2016. № 1–2. P. 138–145.
2. Kartashova A. A., Novikov V. F. Determination of furan compounds in transformer oil by gas chromatographic method using new sorbents. Text: direct // News of universities. Energy problems. 2016. № 1–2. P. 99–103.
3. Krause Ch., Piovan U., Tschudi D. Building Reliable AC and DC UHV Power Transformers-Dielectric Design Principles, Suitable Pressboard Insulation and Issues Related to HVDC Testing. Text: direct // Proceedings of the International Conference on UHV Transmission. Beijing, China, 2009. P. 28–34.
4. On the development of vario-modification models to represent the development of defects in power oil-filled transformers / G. V. Popov, K. V. Chernov, A. S. Astashov, Yu. M. Ovsyannikov. Text: direct // IGEU Bulletin. 2013. Issue 1. P. 25–31.
5. Buzaev V. V., Sapozhnikov Yu. M., Smolenskaya N. Yu. Methodological guidelines for determining the oxygen and hydrogen content in transformer oils by gas chromatography : Methodical instructions. M. : Official publication, 2007. 24 p.
6. IEC 60270:2000 High voltage test methods. Measurements of frequency discharges. (IEC 60270:2000 High-voltage test techniques. Partial discharge measurements).
7. Yokenbah E., Borsi H. Condition and diagnosis of power transformers // International conference on condition monitoring and diagnostic. 2008. P. 21–24.
8. Kolbasov V. F., Savelyev S. Yu., Khentshel Y. Electrical insulating materials and components of power transformers : reference. Manual. Togliatti : Publishing House of VT-Energo LLC, 2018. 64 p.
9. Neubert H., Bödrich T., Disselnkötter R. Transient Electromagnetic– Thermal FE-Model of a SPICE-Coupled Transformer Including Eddy Currents with COMSOL Multiphysics // Excerpt from the proceedings of the 2011 COMSOL conference in Stuttgart. Stuttgart, 2011.
10. RD 34.43.206–94. Determination of the content of furan derivatives in electro-insulating oils by liquid chromatography // Methodology of quantitative chemical analysis. M. : ORGRES. 1995. 12 p.
11. STO 56947007-29.180.010.009–2008. Methodological guidelines for determining the content of furan derivatives in transformer oils by gas chromatography // Methodological guidelines. Moscow : JSC FGC UES, 2008.
12. Dielectric spectroscopy and gas chromatography methods applied on high-voltage transformer oils / C. Dervos, C. D. Paraskevas, P. Skafidas, N. Stefanou // Physics International Conference on Dielectric Liquids, 2005. Text: direct.
13. Borges Gilze, Rohwedder J., Bortoni E. A new method to detect fault gas in insulation oil using NIR spectroscopy and multivariate calibration // Physics 2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). 2013.
14. Singh S., Bandyopadhyay M. Dissolved gas analysis technique for incipient fault diagnosis in power transformers: A bibliographic survey // Engineering IEEE Electrical Insulation Magazine. 2010.
15. IEC/TR2 61321-1:1994 Test methods for overvoltage with a steep pulse front. Part 1: Measuring systems for overvoltage with a steep pulse front in substations with a metal casing and gas insulation (IEC/TR2 61321-1:1994 High-voltage testing techniques with very fast impulses. Part 1: Measuring systems for very fast front overvoltages generated in gas-insulated substations).