

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ | TECHNICAL SCIENCE

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

Г. Ю. Колесников [G. Y. Kolesnikov]

УДК 621.311.11
DOI: 10.37493/2307-
910X.2022.2.1

**ДИАГНОСТИКА МАСЛОПОЛНЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ РЕГИСТРАЦИИ
ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ**

**DIAGNOSTICS OF OIL-FILLED EQUIPMENT
BY MEANS OF REGISTRATION OF PARTIAL
DISCHARGES**

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорский институт (филиал)
СКФУ, г. Пятигорск, Россия, e-mail: kolesnikovkmvi@yandex.ru/
North Caucasus Federal University, , Russia, e-mail: kolesnikovkmvi@yandex.ru

Аннотация

Одной из основных задач диагностики маслонаполненного оборудования является измерение характеристик частичных разрядов в изоляции. При последующем планировании ремонта, оценке степени опасности и ремонтпригодности дефекта, не менее важным становится знание местоположения очага частичных разрядов. Задачами проводимых экспериментов, результаты которых приводятся в статье, являются определения параметров частичных разрядов в контролируемых зонах трансформаторов и обработка полученной информации. Замеры проводились при помощи прибора регистрации частичных разрядов и определение зон дефектов диэлектрических материалов высоковольтного оборудования. Таким образом, при проведении комплексного обследования трансформаторов, представляется оправданным совмещение измерения электрических характеристик разрядов с их акустической локацией.

Ключевые слова: частичные разряды, обмотка трансформатора, дефекты диэлектрических материалов, комплексное обследование, планирование ремонта

One of the main tasks of diagnostics of oil-filled equipment is to measure the characteristics of partial discharges in isolation. In the subsequent planning of repairs, assessment of the degree of danger and maintainability of the defect, it becomes equally important to know the location of the source of partial discharges. The objectives of the experiments, the results of which are given in the article, are to determine the parameters of partial discharges in the controlled zones of transformers and to process the information received. Measurements were carried out using a device for recording partial discharges and determining defect zones of dielectric materials of high-voltage equipment. Thus, when conducting a comprehensive examination of transformers, it seems justified to combine the measurement of electrical characteristics of discharges with their acoustic location.

Key words: partial discharges, transformer winding, defects of dielectric materials, comprehensive inspection, repair planning

Введение/Introduction

У электрического и акустического методов есть взаимодополняющие особенности. Электрические измерения (рис.1) позволяют определить величину частичных разрядов,

количество, особенности единичных сигналов и их последовательностей и как следствие их местоположение «по-крупному»: ввод, обмотка ВН, обмотка СН, РПН и т.д. Акустический метод ничего не может сказать о величине ЧР, т.к. величина конечного ультразвукового сигнала, принимаемого датчиком, зависит от пути, который этот сигнал прошел, количества преодоленных барьеров, температуры слоя масла на высоте установки датчика и др. Но зато путем регистрации ультразвуковых сигналов ЧР можно установить точное местонахождение очага разрядов. Еще одним существенным преимуществом акустики является защищенность от электромагнитных помех, сопутствующих обычным электрическим измерениям в условиях действующих подстанций.

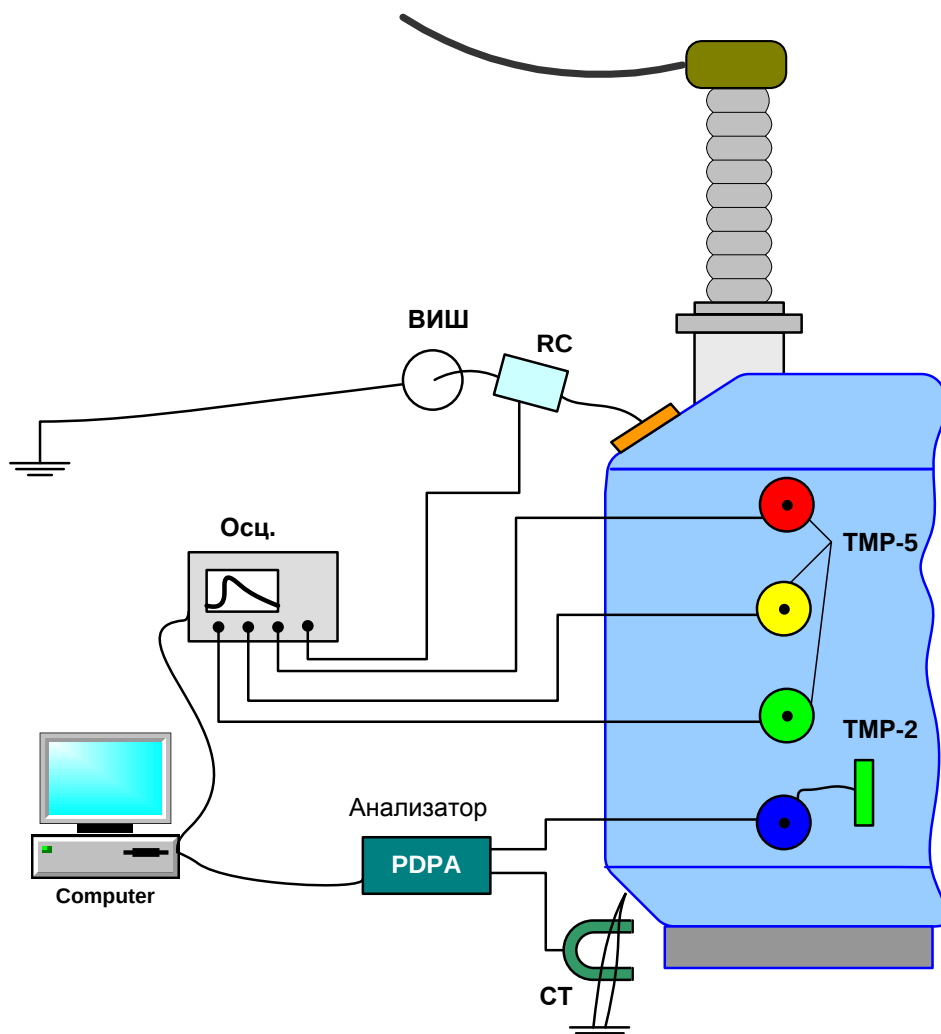


Рисунок 1. Схема регистрации частичных разрядов электрическим методом/ Fig. 1 - Scheme of registration of partial discharges by the electric method

Материалы и методы / materials and methods

Методика акустического контроля частичных разрядов основывается на многоканальной регистрации ультразвукового (до нескольких сотен кГц) излучения работающего трансформатора с помощью датчиков и специального регистратора.

В качестве преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ) используются пьезоэлектрические датчики. При обследовании ПАЭ устанавливаются на поверхность бака трансформатора в местах вероятного возникновения частичных разрядов и ведется поиск аномалий в акустическом излучении. При обнаружении характерных признаков разрядов производится локация источника. Зарегистрированные сигналы подвергаются последующей обработке.

Акустический контроль частичных разрядов был проведен на нескольких десятках одно- и трехфазных трансформаторов и реакторов 110-750 кВ. Пример данных акустических частичных разрядов приведен на рисунке 2. Представленные сигналы были зарегистрированы на одном трансформаторе. Акустическим методом было установлено место возникновения частичных разрядов – сторона 220 кВ фаза «С» (рис.2). После чего электрический регистратор «R-2000» также показал присутствие частичных разрядов на стороне фазы «С».

В связи с тем, что вся активная часть трансформаторного оборудования представляет собой распределенный источник акустических шумов различной интенсивности, выделение на этом фоне сигналов частичных разрядов является непростой задачей. Поэтому для их успешного выявления не обойтись без использования эффективных методов анализа сигналов.

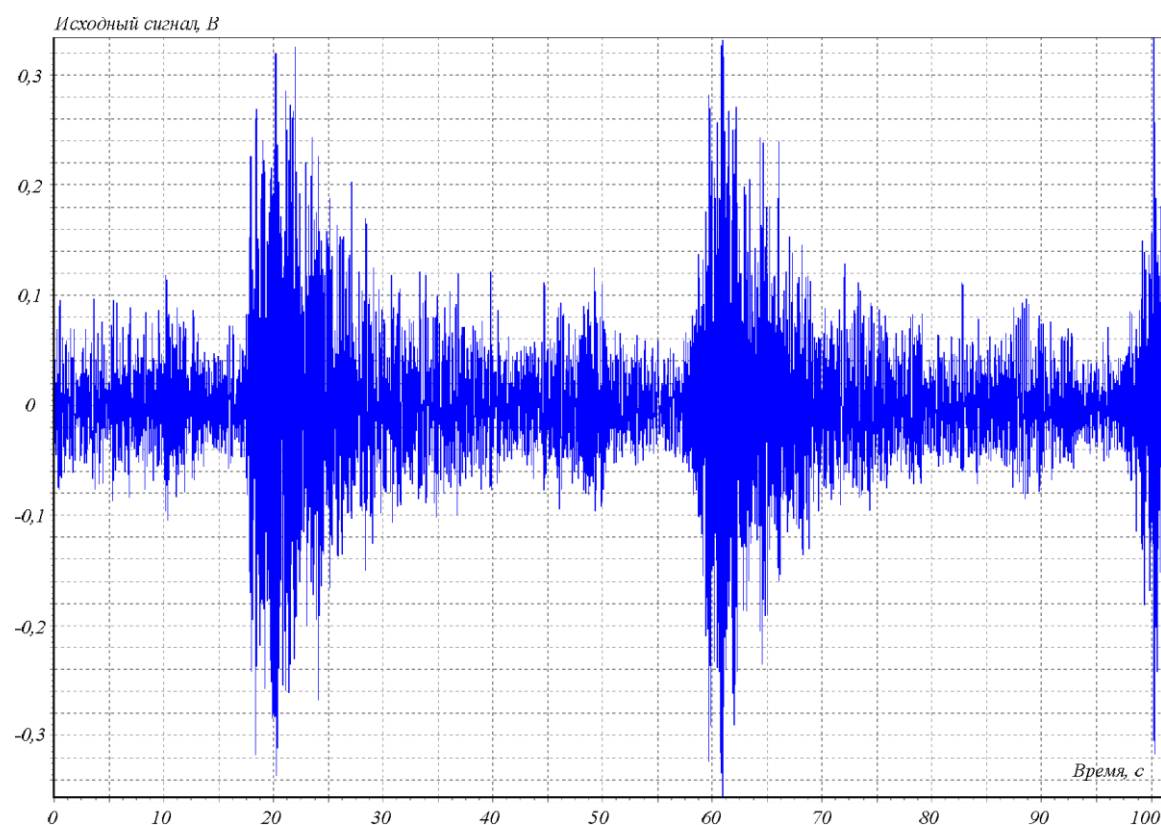


Рисунок 2. Акустические сигналы частичных разрядов/ Fig. 2. Acoustic signals of partial discharges

Для анализа и выявления признаков частичных разрядов используется разбиение набора нескольких сигналов, которое заключается в их фильтрации двумя фильтрами: низкочастотным и высокочастотным. Каждый фильтр представляет собой пару наборов коэффициентов разного уровня – аппроксимирующих «*a*» (грубого представления сигнала) и детализирующих «*d*» (точного представления сигнала), причем

$$S = a_n + di$$

Для создания набора коэффициентов служат особые функции - компактные носители. В частотной области меньшие значения индексов при «*a*» и «*d*» соответствуют высоким частотам, большие значения – низким частотам.

Для оценки технического состояния и диагностирования необходимости ремонта высоковольтного оборудования были определены амплитуды частичных разрядов от четырех датчиков, расположенных на поверхности трансформатора. Предварительно определялся спектр сигнала и в дальнейшем происходила обработка по обратному ряду Фурье.

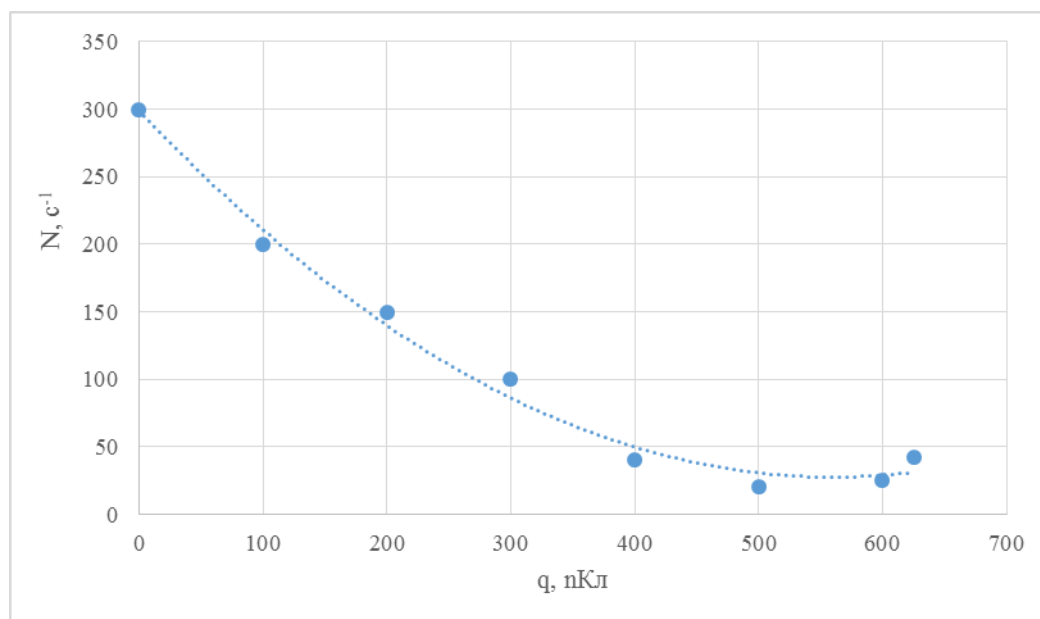


Рисунок 3. Распределение числа частичных разрядов в зависимости от заряда/ Fig.3 . Distribution of the number of partial discharges depending on the charge

Уравнение регрессии, согласно амплитуд частичных разрядов, определенных экспериментальным путем, представлено ниже

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

$$R^2=0,9893$$

Результаты и обсуждения/ results and discussion

При планировании ремонта и диагностирования маслonaполненного оборудования имеется возможность использовать метод частичных разрядов. Данный метод позволяет определить локализацию акустических частичных разрядов и места дефектов изоляционных материалов трансформаторов.

Характерными признаками, позволяющими идентифицировать акустические сигналы частичных разрядов при обследовании оборудования, являются возникновение частичных разрядов на возрастающих четвертях периода фазного напряжения. При определении спектра сигнала и обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии зависимости числа частичных разрядов от заряда.

Установлено, что в маленьких трансформаторах, несмотря на меньшее рабочее напряжение, проводить акустическую локацию проще, что объясняется более простой конструкцией, меньшим «рабочим» шумом и меньшим затуханием акустических сигналов.

Заключение / Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать выводы, что метод частичных разрядов может использоваться при диагностировании электрооборудования. В дальнейшем будет проводиться опробация непосредственно на работающем оборудовании, что позволит составить более точную математическую модель процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле / А.А.Карташова, В.Ф.Новиков. – 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 / А.А. Карташова, В.Ф. Новиков - 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 / Krause Ch., Piovan U., Tschudi D. - Текст: непосредственный // Proceedings of International Conference on UHV Transmission. Beijing, China, 2009. - P. 28–34.
4. Попов Г.В., Чернов К.В., Асташов А.С., Овсянников Ю.М. 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/ В.В. Бузаев, Ю.М. Сапожников, Н.Ю. Смоленская - М.: Издание официальное, 2007. - 24 с. - Текст: непосредственный.
6. Yokenbah E., Borsi H. Condition and diagnosis of power transformers / E.Yokenbah, H.Borsi // International conference on condition monitoring and diagnostic. 2008. - P. 21–24. - Текст: непосредственный.
7. Колбасов В.Ф., Савельев С.Ю., Хентшель Й. Электроизоляционные материалы и компоненты силовых трансформаторов: справ. Руководство/ В.Ф. Колбасов, С.Ю. Савельев, Й. Хентшель - Тольятти: Изд-во ООО «ВТ-Энерго», 2018.- 64 с. - Текст: непосредственный.
8. 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. - Текст: непосредственный.
9. РД 34.43.206-94. Определение содержания производных фурана в электроизоляционных маслах методом жидкостной хроматографии. / Методика количественного химического анализа - М.: ОРГРЭС. 1995. - 12 с. - Текст: непосредственный.
10. 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. - Текст: непосредственный.
11. 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.
12. 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. - Текст: непосредственный.
13. Dissolved gas analysis technique for incipient fault diagnosis in power transformers: A bibliographic survey S. Singh, M. Bandyopadhyay Engineering IEEE Electrical Insulation Magazine 2010. - Текст: непосредственный.

REFERENCES

1. Kartashova A.A., Novikov V.F. Tonkoslojnaja hromatografija kak metod kontrolja furanovyh soedinenij v transformatornom masle / A.A.Kartashova, V.F.Novikov. – Текст: neposredstvennyj // Izvestija vuzov. Problemy jenergetiki. 2016, No 1-2, pp. 138–145.
2. Kartashova A.A., Novikov V.F. Opredelenie furanovyh soedinenij v transformatornom masle gazohromatograficheskim metodom s ispol'zovaniem novyh sorbentov / A.A. Kartashova, V.F. Novikov - Текст: neposredstvennyj // Izvestija vuzov. Problemy jenergetiki.2016, № 1-2, S. 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 / Krause Ch., Piovan U., Tschudi D. - Текст: непосредственный // Proceedings of International Conference on UHV Transmission. Beijing, China, 2009, pp. 28–34.

4. Popov G.V., Chernov K.V., Astashov A.S., Ovsjannikov Ju.M. O razrabotke variofikacionnyh modelej dlja predstavlenija razvitija defektov v silovyh maslonapolnennyh transformatorah / G.V. Popov, K.V. Chernov, A.S. Astashov, Ju.M. Ovsjannikov - Текст: непосредственный // Vestnik IGJeU. 2013, Vyp. 1, pp. 25–31.

5. Buzaev V.V., Sapozhnikov Ju.M., Smolenskaja N.Ju. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju soderzhaniya kisloroda i vodoroda v transformatornyh maslah metodom gazovoj hromatografii: Metodicheskie ukazaniya/ V.V. Buzaev, Ju.M. Sapozhnikov, N.Ju.: Smolenskaja - M.: Izdanie oficial'noe, 2007, pp 24 , Текст: непосредственный.

6. Yokenbah E., Borsi H. Condition and diagnosis of power transformers / E.Yokenbah, H.Borsi // International conference on condition monitoring and diagnostic. 2008, pp. 21–24, Текст: непосредственный.

7. Kolbasov V.F., Savel'ev S.Ju., Hentshel' J. Jelektroizoljacionnye materialy i komponenty silovyh transformatorov: sprav. Rukovodstvo/ V.F. Kolbasov, S.Ju. Savel'ev, J. Hentshel' , Tol'jatti: Izd-vo OOO «VT-Jenergo», 2018, pp 64, Текст: непосредственный.

8. Transient Electromagnetic- Thermal FE-Model of a SPICE-Coupled Trans-former 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, Текст: непосредственный.

9. RD 34.43.206-94. Opredelenie soderzhaniya proizvodnyh furana v jelektroizoljacionnyh maslah metodom zhidkostnoj hromatografii. / Metodika kolichestvennogo himicheskogo analiza, M.: ORGRJeS. 1995, pp 12, Текст: непосредственный

10. STO 56947007-29.180.010.009-2008. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju soderzhaniya furanovyh proizvodnyh v transformatornyh maslah metodom gazovoj hromatografii. / Metodicheskie ukazaniya, M.: OAO «FSK EJeS», 2008, Текст: непосредственный

11. 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.

12. 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. - Текст: непосредственный.

13. Dissolved gas analysis technique for incipient fault diagnosis in power transformers: A bibliographic survey S. Singh, M. Bandyopadhyay Engineering IEEE Electrical Insulation Magazine 2010. - Текст: непосредственный.

ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Колесников Геннадий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры физики, электротехники и электроэнергетики Инженерного факультета ПИ (филиал) СКФУ в г. Пятигорске. E-mail: kolesnikovkmvi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5320-9225>

Gennady Kolesnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Electrical Engineering and Electric Power Engineering of the Faculty of Engineering of PI (branch) of NCFU in Pyatigorsk. E-mail: kolesnikovkmvi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5320-9225>.

Дата поступления в редакцию: 12.04.2022

После рецензирования: 13.05.2022

Дата принятия к публикации: 18.06.2022