



ISBN 978-5-89873-597-5



9 785898 735975

**Электронный сборник статей
по материалам конференции**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

1



**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

**Международная молодежная научная конференция
(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)**

**Электронный сборник статей
по материалам конференции**

В трех томах

ТОМ 1

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**

**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022 «ЭНЕРГЕТИКА И
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция
(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В трех томах

ТОМ 1

*Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э. Ю. Абдуллазянова*

Казань 2022

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

М43

Рецензенты:

заведующий кафедрой ЭиЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

доктор технических наук, доцент К. В. Суслов;

проректор по РиИ ФГБОУ ВО «КГЭУ»,

доктор технических наук, доцент И. Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

Э. Ю. Абдуллазянов (гл. редактор); И. Г. Ахметова (зам. гл. редактора),

Е. С. Дремичева

М43 Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный сборник статей по материалам конференции: [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2022. – Т. 1. – 736 с.

ISBN 978-5-89873-597-5 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-600-2

В электронном сборнике представлены статьи по материалам Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло-и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Статьи публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание статей возлагается на авторов.

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

ISBN 978-5-89873-597-5 (т. 1)

© КГЭУ, 2022

ISBN 978-5-89873-600-2

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ш.Ф. Рахманкулов¹, В.О. Садыков²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹shamil74000@mail.ru, ²svo-1999@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. М.Ш. Гарифуллин

В тезисе предложена система диагностики неисправностей силовых трансформаторов на базе их акустических характеристик и нейронных сетей. Трансформатору присуще большое количество эмиссий акустического характера, благодаря которым можно сделать определенные выводы о состоянии электрооборудования в целом. Вибрации, которые возникают в результате работы внутренних вибрационных источников в обмотках и сердечниках, можно проанализировать на предмет возникновения частичных разрядов, локализации их местоположения и их интенсивности. Глубину девиации звуковых волн можно оценить с помощью применения нейронных сетей.

Ключевые слова: акустические эмиссии, нейронные сети, вибрации трансформатора.

Вибрация емкости трансформатора связана с акустическими эмиссиями трансформатора и его эксплуатационным состоянием, т.е. степенью его износа. Поэтому важно понимать, как происходит передача вибрации от внутренних вибрационных источников в обмотках и сердечниках к трансформаторному резервуару. Характеристики этой передачи определяются по особенностям соединения между внутренними конструкциями и емкостью, а также воздействию через взаимодействие жидкости и структуры, вызванное охлаждающим маслом трансформатора [1]. Передача вибрации экспериментально рассматривается в трансформаторе напряжением 110 кВ с охлаждающим маслом и без него. При соответствующем механическом и электрическом возбуждении одновременно можно измерить вибрацию внутренних конструкций и бака трансформатора, т. е. внешней части его конструкции. Полученные результаты позволяют оценить эффективность передачи вибрации от внутренних конструкций к баку, а также влияние сцепления текучей структуры на трансмиссию аудиосигналов [2].

Внутри больших масляных трансформаторов есть многослойные среды, а взаимодействие между ними и отражением/проекцией звуковых волн в среде, когда звуковая волна распространяется между различными веществами. Таким образом, требуется определить общее воздействие среднего импеданса, разницы в жесткости и средних параметров на звук распространение в общем контексте при анализе распространения звукового поля для системы в сложных условиях среды [3].

Установка датчиков соответствует следующей концепции, показанной на рис. 1.

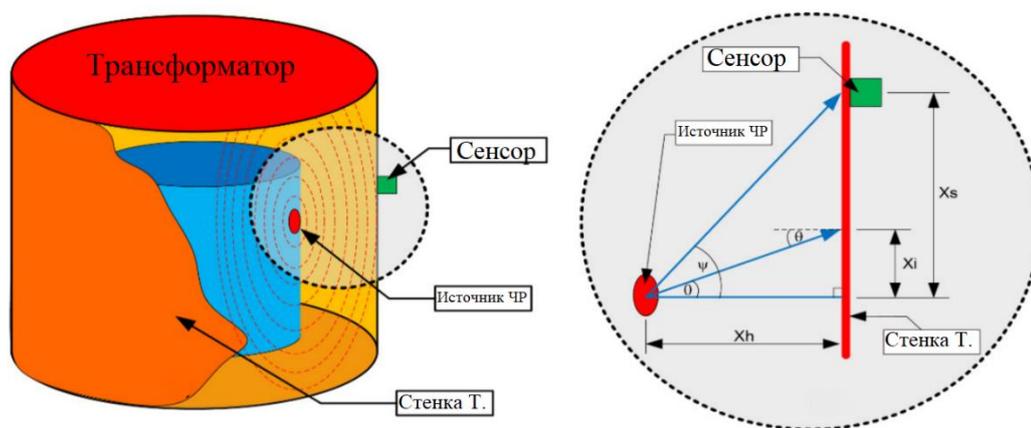


Рис. 1. Технология получения сигнала с бака трансформатора

Для более точного получения расположения аудиосигналов и локализации источника акустических эмиссий необходимо соблюдать определенную геометрию расположения датчиков для соблюдения метода триангуляции, как показано на рисунке 2 [4].

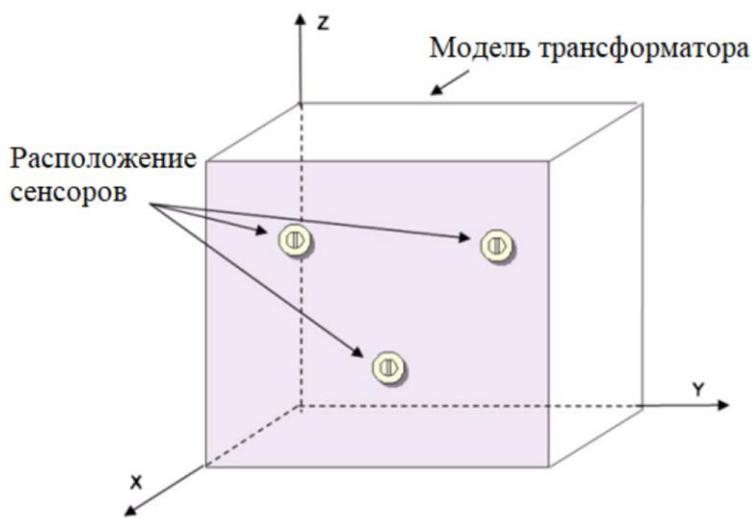


Рис. 2. Геометрия расположения датчиков на баке трансформатора

Благодаря 3-м датчикам можем составить следующие уравнения, которые описывают метод триангуляции для получения местоположения сигнала:

$$\begin{aligned}(x - x_{s1})^2 + (y - y_{s1})^2 + (z - z_{s1})^2 - (A + VS * Ta_{s1})^2 &= 0, \\(x - x_{s2})^2 + (y - y_{s2})^2 + (z - z_{s2})^2 - (A + VS * Ta_{s2})^2 &= 0, \\(x - x_{s3})^2 + (y - y_{s3})^2 + (z - z_{s3})^2 - (A + VS * Ta_{s3})^2 &= 0,\end{aligned}$$

где x, y, z – это координаты возникновения акустической аномалии, координаты с x_{sn}, y_{sn}, z_{sn} и это координаты расположения датчиков на баке трансформатора; V_s – константа, которая отвечает за среднюю скорость распространения звука в среде; Ta_{sn} – время регистрации акустической аномалии в соответствующем датчике.

Можно провести эффективную интеграцию нейронных сетей в систему акустического контроля. Задача определения аномалий решается за счет мел-кепстральных коэффициентов, которые позволяют разбить частотную характеристику звуковой волны на квадранты, которые могут отсеивать аномальные проявления. Дефрагментация, к примеру, частичных разрядов в изоляции сопровождается затухающими колебаниями порядка 5 миллисекунд [5].

Источники

1. Guozhi, Z.; Xiaoxing, Z.; Ju, T.; Hongtu, C. Study on localization of transformer partial discharge source with planar arrangement UHF sensors based on singular value elimination // AIP Adv. 2018. №8. Pp. 105232–105243.
2. Junhyuck S., Hui M., Tapan K.S. An Improved Spatial Intersection Method for Partial Discharge (PD) Source Localization in Power Transformer // In Proceedings of the IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials. Xi'an. China, 20–24 May 2018.
3. Plueksawan W., Apiratikul P., Fuangsoongnern U. Partial Discharge Analysis for Power Distribution Transformer Model // In Proceedings of the EECOM-31. 31st Electrical Engineering Conference, Nakornnayok, Thailand, 29–31 October 2008. P. 299–302.
4. Rutgers, W.R.; Fu, Y.H. UHF PD-Detection in a Power Transformer // In Proceedings of the 10th International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal, QC, Canada, 24–30 August, 1997. Pp. 219–222.

5. Tikakosol, K.; Tanitteerapa, T.; Mungkung, N. Application of the integrated AE and HFCT sensors for online Dry-type Transformer Partial Discharge Monitoring // Prz. Elektrotech. 2021. 97. P. 105–111.

УДК 676.254

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Р.А. Саяхутдинов¹, Г.Ф. Нигматуллина²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹Hard_modes@mail.ru, ²fandamovna@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.К. Козлов

В работе рассматривается влияние влаги и масла на свойства бумажной изоляции маслонаполненного трансформатора. При помощи высокочувствительного оптоволоконного спектрофотометра был измерен спектр отражения света от трансформаторной бумаги.

Ключевые слова: твердая изоляция трансформатора, влагосодержание, полоса поглощения, спектрофотометр AvaSpec-2048XL, спектр отражения.

Твердая изоляция трансформатора, после утраты части своих первоначальных свойств, не всегда может быть подвергнута регенерации. Если влага из бумажной изоляции может быть устранена в процессе её сушки тем или иным образом, то утрата механических свойств бумажной изоляции не подлежит восстановлению в процессе эксплуатации. Влажность бумаги увеличивает скорость термического старения, способствует разрушению молекул целлюлозы, ухудшает механические характеристики. При содержании воды 1,5 % в изоляции начинают появляться признаки старения, и снижается электрическая прочность [1]. Процесс старения и процесс окисления изоляции становятся опасными для эксплуатации при содержании влаги в бумажной изоляции более 3,3 %. Значение содержания влаги целлюлозной изоляции эксплуатируемых трансформаторов не должно превышать 2 % по массе, а трансформаторов после капитального ремонта и трансформаторов, вновь вводимых в эксплуатацию не должно превышать 1 %. Содержание влаги твердой изоляции для эксплуатируемых трансформаторов, отработавших срок службы, установленный технической документацией, допускается до 4 % по массе, а для трансформаторов, прошедших капитальный ремонт допускается значение 2 % [2].