

6. McKee, K., Forbes, G., Mazhar, M. I., Entwistle, R., & Howard, I. (2011). A review of major centrifugal pump failure modes with application to the water supply and sewerage industries. In ICOMS Asset Management Conference Proceedings. Asset Management Council.
7. Skewis, W. H. (2011). Mechanical Seal Failure Modes. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment.
8. <https://www.scribd.com/document/408265237/Handbook-of-Reliability-Prediction-Procedures-for-Mechanical-Equipment-15-May-2011-pp-235-pdf>
9. <https://accendoreliability.com/2-parameter-weibull-distribution-7-formulas/>
10. Sheikh, A. K., Younas, M., & Al-Anazi, D. M. (2002, December). Weibull analysis of time between failures of pumps used in an oil refinery. In The 6th Saudi Engineering Conference (Vol. 4, pp. 475-491). Dahrán, Saudi Arabia: KFUPM.
11. Dhillon, Balbir S. Design reliability: fundamentals and applications. CRC press, 1999.
12. Hashim, N., Hassan, A., & Hamid, M. F. A. (2020, April). Predictive maintenance model for centrifugal pumps under improper maintenance conditions. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2217, No. 1, p. 030170). AIP Publishing LLC.
13. Fernando, V. (2005). Reliability Analysis of Centrifugal Pumps System Justifies Improvements in Gas Plant. Maintenance and Reliability Integrity Engineer, ABB Service, Argentina, 9.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. А.Г. Коротких, профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## **АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДИАГНОСТИКИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

Е.С. Айбасов

Томский политехнический университет  
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ18

Понятие частичного разряда в изоляции охватывает местный разряд на поверхности или внутри изоляции в виде короны, скользящий разряд или пробой отдельных элементов изоляции, шунтирующий часть изоляции между электродами, находящимися под разными потенциалами. Частичные разряды в изоляции возникают в местах с пониженной электрической прочностью (например, в прослойках пропитывающей жидкости или в газовых включениях в толще диэлектрик) [1].

Существует три основных метода диагностики ЧР:

- электрический;
- электромагнитный или дистанционно управляемый микроволновый метод;
- акустический; химический.

### **Электрический метод**

Этот метод требует контакта измерительных приборов с изоляцией. Это позволяет определить большое количество характеристик частичного разряда. Это самый точный из всех методов измерения частичных разрядов.

Преимуществом метода является высокая чувствительность, но для поддержания надлежащей чувствительности необходимо устранить помехи или использовать фильтры. Электрические процедуры не опасны для изоляции оборудования, так как напряжение питания не сильно превышает номинальное.

Электрический метод измерения позволяет получить характеристики ЧР в режиме онлайн без задержек, которыми обладает хроматография. Существует также возможность при-

менения этого метода без отключения тестируемого объекта (для устройств ввода через соответствующие подключаемые устройства), что делает этот метод необходимым для мониторинга работоспособности устройств, находящихся в эксплуатации [2].

Прибор R2200 используется для измерения изоляции в ЧР (рисунок 1).

Принцип работы измерительных приборов основан на преобразовании измерительной информации в сигналы частичного разряда, которые регистрируются датчиками измерительного прибора.

Два основных режима работы:

- режим периодического измерения максимальной амплитуды повторяющегося частичного разряда напряжения и частоты повторных частичных разрядов в 1 секунду;
- режим "временного" наблюдения.

#### **Акустический метод регистрации**

В этом методе используются микрофоны, которые принимают аудиосигналы от работающего устройства. Датчики устанавливаются в сложные распределительные устройства и работают с дистанционным управлением.

Датчик AR 200 используется для регистрации акустического ЧР (рисунок 2).

Устройство включает в себя первичный преобразователь в виде датчика и измерительный прибор. Датчик преобразует импульс давления в электрический сигнал. В основном используются датчики с пьезоэлектрическим преобразователем. Недостаток: небольшие значения ЧР не учитываются.

#### **Дистанционный или электромагнитный метод**

Обнаружение ЧР с помощью метода сверхвысоких частот – это простой и эффективный процесс. Используется направленная антенна, недостатком этого метода является то, что нет возможности измерить значения разряда [3].

Для регистрации ЧР используется HVPD Longshot с датчиком HFCT (рисунок 3).

Обнаружение ЧР с помощью метода сверхвысоких частот – это простой и эффективный процесс.

Обнаружение колебаний электромагнитных волн с помощью радиочастотных датчиков на частотах от 300 МГц до 3 ГГц [4].



*Рис. 1. Измеритель изоляции для CHR R2200*



*Рис. 2. Акустический датчик AR 200*



*Рис. 3. Устройство HVPD Longshot*

Мощные силовые трансформаторы входят в состав систем электроснабжения, а рядом с ними устанавливаются высоковольтные устройства, в которых может присутствовать ЧР. Сигналы от них передаются на управляемый трансформатор. Если к трансформатору подключены линии электропередач, которые подвергаются воздействию грозовых разрядов, сигналы от них регистрируются в изоляции трансформатора при измерении характеристик частичного разряда. Если трансформатор находится на открытой подстанции, то в зависимости от температуры, влажности и других факторов на его внешних токоведущих частях периодически возникают коронарные разряды. Показания, полученные испытательным трансформатором, перекрываются сигналами помех, вызванными работой оборудования, находящегося поблизости. В таких случаях необходимо использовать правильно подобранный метод измерения, чтобы избежать помех от полученных данных о частичном разряде в трансформаторах [5].

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. – Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.
2. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия. Ленингр. Отделение, 1979. – 224 с.
3. Русов В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. – Екатеринбург: УрГУПС, 2011. – 370 с.
4. Потапов А.И., Игнатов В.М., Александров Ю.Б. и др. Технологический неразрушающий контроль пластмасс. Л.: Химия, 1979. – 288 с.
5. Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse / V.Lavrinovich, A. Mytnikov, Li Hongda // Resource-Efficient Technologies. – 2016. – V. 2. – № 3. – P. 111–117.

Научный руководитель: к.т.н. А.В. Мытников, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ОБМОТОК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЗОНДИРОВАНИЕМ НИЗКОВОЛЬТНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В ОДНОСТУПЕНЧАТОМ РЕЖИМЕ**

И.А. Кавун

Томский политехнический университет

ИШЭ, ОЭЭ, группа А1-42

Реализация надежных и чувствительных технологий контроля состояния изоляции обмоток – необходимое условие устойчивой работы трансформаторного оборудования. Соответствующая технология контроля механического состояния была предложена в 1966 и получила название импульсного дефектографирования. Принцип технологии состоит в подаче импульса на одну из обмоток (1,2/50 мкс при амплитуде 500–1000 В), при короткозамкнутых остальных, и снятии отклика переходного процесса, возникающего в обмотке. Далее необходимо обработать снятый сигнал и сравнить начальную нормограмму исправного оборудования с полученной, разница в которых будет свидетельствовать о наличии дефекта в обмотках силового оборудования [1].

Данный метод низковольтных импульсов для повышения точности контроля был модифицирован в метод измерения амплитудно-частотных характеристик. Принцип предложенного амплитудно-частотного метода заключается в подаче синусоидального сигнала со значением амплитуды около 10 В на один из вводов обмотки трансформатора и измерении амплитудно-частотной характеристики с вывода одноименной обмотки [2]. Далее полученные амплитудно-частотные характеристики сравниваются с нормограммами, снятыми на исправном трансформаторном оборудовании. Преимущество данного подхода состоит в отсутствии сильного влияния параметров схемы на результаты измерений. В последствии метод амплитудно-частотных характеристик получил название технологии FRA.

Метод низковольтных импульсов (НВИ) много лет является одним из наиболее чувствительных подходов обнаружения дефектных состояний активных частей силовых трансформаторов, однако нуждается в дальнейшем совершенствовании с целью повышения эффективности выявления дефектов обмоток, так как классический метод НВИ и метод амплитудно-частотных характеристик иногда имеют низкую чувствительность и в ряде случаев не обеспечивают необходимый уровень точности диагностики.

В данной работе представлены результаты совершенствования метода НВИ в направлении одноступенчатого подхода. Повышение эффективности предлагаемого метода НВИ, а именно контроля состояния активных частей высоковольтного трансформатора с помощью