

4. Арбеков, А.Н. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок / А.Н. Арбеков, А.Ю. Вараксин, В.Л. Иванов, Э.А. Манушин, В.Е. Михальцев, В.Д.Моляков, М.И. Осипов, И.Г. Суровцев, Н.И. Троицкий .– Москва: МГТУ им. Баумана, 2017. – 678 с.
5. Denver F.Cheddie International Journal of Hydrogen Energy / Volume 36, Issue 2, January 2011, Pages 1702-1709.
6. Denver F.Cheddie, Renique Murray Journal of Power Sources / Volume 195, Issue 24, 15 December 2010, Pages 8134-8140.

Научный руководитель: д.х.н. Н.Д. Чичирова, профессор АТЭС ИТЭ КГЭУ, к.х.н. Д.Ф. Гайнутдинова, доцент ХВ ИТЭ КГЭУ.

## **МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

А.С. Кукушкин

Томский политехнический университет  
ИШЭ, ОЭЭ, группа А2-42

Бумажно-пропитанная изоляция одна из самых распространенных видов изоляций кабельных линий на все классы напряжений, которая обладает высокими диэлектрическими свойствами. Однако имеет такие недостатки, как: тяжелый и низкопроизводительный процесс изготовления, ограничения при монтаже и прокладке таких линий, а металлическая оболочка значительно утяжеляет вес изделия.

Эти недостатки устраняются использованием в качестве изоляции кабелей полимерных материалов. Полимеры – это высокомолекулярные соединения, состоящие из длинных молекул, образованных многократным повторением мономерных звеньев.

Разрушение полимерных материалов под воздействием электрического поля сопровождается проводящим каналом, который располагается между электродами.

Степень дефекта данной конструкции можно определить по характеристике частичных разрядов, которые наиболее опасны при переменном и импульсном напряжении.

Пробой диэлектрика, возникающий при появлении дендрита – ветвистого побега, который развивается от одного электрода к другому, характерен при долгом воздействии напряжения на полимерную изоляцию. Вид типичного дендрита приведен на рисунке 1 [1].

Дендрит зарождается инжектированием объемного заряда, который возникает при локальном увеличении напряженности поля, механических повреждениях, водном триинге, либо накоплением такого заряда при приложении постоянного напряжения.



*Рис. 1. Срез изоляции полиэтиленового кабеля с дендритом*

Заряд накапливается в зонных структурах в которых много ловушечных уровней, где застревают электроны.

Определение этих зон с накопленным зарядом не представляем возможным, так как это происходит на молекулярном уровне, поэтому диагностика в полимерной изоляции сводится к определению есть ли дендрит или нет.

Нарушение целостности материала, которое возникает при появлении дендрита характеризуется рядом факторов: частичные разряды, акустические и тепловые эффекты и др. Дальнейшее развитие дендритов в полимерной изоляции происходит из-за воздействия ЧР на каналы дендрита, что является ключевым и взаимосвязанным моментом для определения остаточного ресурса изоляционного материала.

С учетом ранее известных выполненных исследований объективными и достоверными диагностическими методами контроля рабочего состояния полимерной изоляции, находящихся в эксплуатации, являются: тепловизионная (инфракрасная) дефектоскопия; акустическая дефектоскопия; электромагнитный; электрический.

Тепловизионный контроль оборудования основан на регистрации инфракрасного излучения от нагретых частей изоляции вследствие зарождения дендритов. Недостатками метода являются низкая точность измерения и сложность использования в реальных условиях (интенсивные осадки, солнечные лучи, ветер и т. д.).

Для определения ЧР акустическим методом используются сверхчувствительные микрофоны, которые улавливают звуковые волны, расположенные в диапазоне частот выше порога слышимости. Данный метод является дистанционным и позволяет располагать датчики и сенсоры в устройствах открытой конструкции, например, ячейках КРУ и шинопроводах, однако для определения ЧР малой интенсивности, чувствительности метода может не хватить.

При возникновении ЧР в небольшом объеме, пробой происходит очень быстро со скачком напряжения за наносекунду. Такие короткие аномалии могут быть обнаружены СВЧ-датчиками по колебаниям электромагнитных волн на частотах 300 МГц – 3 ГГц. Важно разместить датчики в наиболее подходящем месте, чтобы измерения были непрерывными и достаточно точными для практического применения. Недостатком метода являются электромагнитные волны, излучаемые от другого оборудования, что не позволяет получить точную оценку ЧР.

Электрический метод позволяет снимать наибольшее количество параметров ЧР и дает возможность всесторонне изучить объект исследования. Но данный способ требует прямого контакта измерительных приборов с объектом измерения, что делает его не самым удобным.

Анализ электромагнитных импульсов ЧР является самым информативным способом оценки состояния полимерной изоляции, однако стохастический характер самих ЧР не позволяет получить точных результатов. Поэтому разработка новых методов обнаружения ЧР в полимерной изоляции является актуальной задачей.

**Экспериментальное исследование обнаружения ЧР в высоковольтной изоляции с помощью внешних прямоугольных импульсов.**

Данный подход предполагает подачу импульса на часть высоковольтной изоляции через конденсатор связи, содержащий ячейку с ЧР. В экспериментах применялись импульсы длительностью 520 наносекунд. Элемент, имитирующий ЧР, представлял фрагмент полиэтиленовой изоляции с искусственной порой внутри диаметром 1 мм. Напряжение 6 кВ подавалось на ячейку от испытательного трансформатора. Таким образом, был организован ЧР в поре остаточной атмосферы в полиэтилене. Возникновение и горение ЧР контролировалось визуально. Блок-схема экспериментов по диагностике ЧР внешним наносекундным импульсом представлена на рисунке 2.

Схема эксперимента: генератор импульсов генерирует зондирующий импульс наносекундной длительности, который подается на детекторную ячейку. Осциллограф измеряет зондирующий импульс, подаваемый на ячейку. Сначала зондирующий импульс длительностью 520 нс подается на ячейку без ЧР. Затем в схему помещается ячейка с ЧР.

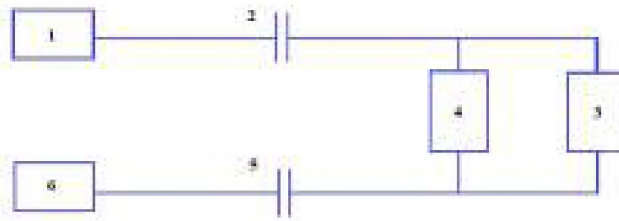


Рис. 2. Блок-схема экспериментов:

1 – генератор зондирующих импульсов наносекундной длительности, 2, 5 – конденсаторы связи, 3 – высоковольтный трансформатор, 4 – ячейка с частичным разрядом, 6 – осциллограф Tektronix TDS 1012

Конденсаторы связи обеспечивают безопасность работы генератора импульсов и осциллографа [2]. Форма волны импульса, подаваемого на ячейку без ЧР, показана на рисунке 3а. Та же ситуация с ЧР в виде поры в полимерной изоляции показана на рисунке 3б

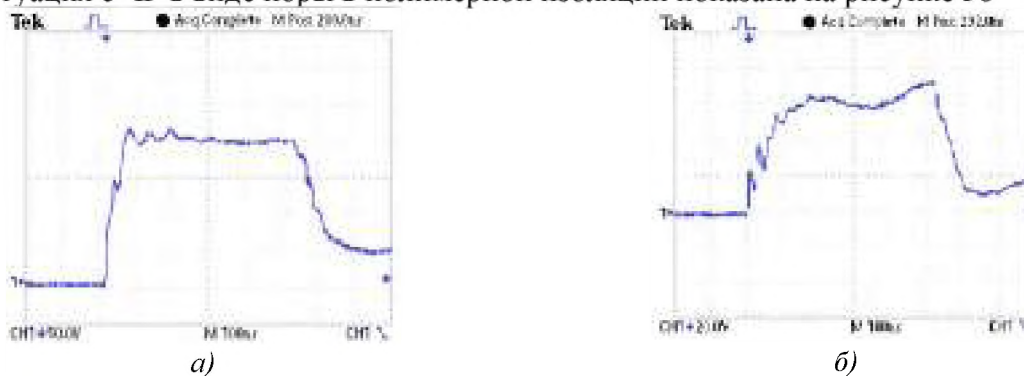


Рис. 3. Форма волны импульса длительностью 520 нс

а) частичный разряд отсутствует, б) наличие частичного разряда в поре полиэтилена

Таким образом, на основании результатов экспериментов, изложенных выше, можно заключить, что метод импульсного зондирования, успешно применяемый для диагностики обмоток трансформаторов, может выступить в качестве удачной альтернативы традиционным методам обнаружения ЧР. Один из путей такого подхода подача на обследуемый участок изоляции импульса квазипрямоугольной формы, генерируемый специальным генератором. Этот путь диагностики частичного разряда основан на технологии последовательного импульсного дефектографирования, применяемой для контроля состояния обмоток трансформатора. Последовательное сравнение наносекундных импульсов позволяет контролировать наличие частичного разряда на обследуемом участке высоковольтной изоляции. Применение предложенной технологии может быть реализовано в рабочем режиме без снятия напряжения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. – Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.
2. Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse / V.Lavrionovich, 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.