

УДК 620.1.08

## ПРОБОЙ ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИИ, ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ (ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДАМ)

Котиков Ф. С., магистрант гр. ЭПм-181, I курс  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В электроизоляционной технике широкое распространение получили твердые диэлектрики. Такие достоинства, как высокие электрические свойства, возможность использования в качестве конструкционных материалов, высокие термические возможности - всё это позволяет широко использовать твердые диэлектрики во всевозможных конструкциях, приборах. Проводимость твердой изоляции определяется перемещением ионов и зависит от материала диэлектрика, наличие примесей, изменения кристаллической решетки [1].

Пробой твердой изоляции происходит с образованием сквозного канала или со значительным разрушением структуры диэлектрика. Различают три механизма пробоя – электронный, тепловой и ионизационный пробой. Рост потерь в твердой изоляции при увеличении температуры приводит к дальнейшему разогреванию диэлектрика. С увеличением температуры растет теплоотдача с поверхности диэлектрика. При нарушении темпа тепловыделения над темпом отвода тепла может наступить процесс термического разрушения материала с его пробоем. Данный вид пробоя носит название – тепловой пробой [1].

Напряженность поля, при которой возникает электрический пробой, определяется физической структурой диэлектрического материала и лежит в пределах  $10^6 - 10^7$  кВ/см. Свободные электроны проводимости приобретают энергию с ростом напряженности поля. Перемещаясь в толще диэлектрика, свободные электроны рассеивают свою энергию путем взаимодействия с молекулами кристаллической решетки. С ростом величины напряженности, энергия накапливаемая электроном увеличивается и становится больше рассеиваемой, и после этого возникают условия для непрерывного роста энергии электрона и ионизации, в результате чего появляются новые свободные электроны из-за разрушения структуры кристаллической решетки. Пробой носит лавинно-стримерный характер и завершается проплавлением канала в диэлектрике [1].

Твердая неоднородная изоляция имеет местные включения в виде газовых или инородных вкраплений, пор, полостей, трещин. Данные участки представляют собой области с пониженной электрической прочностью. Поля этих включений имеют повышенные напряженности. Поэтому в неоднородной изоляции появляются ионизационные процессы в виде частичных разрядов, короны или скользящих разрядов. Действие частичных разрядов обуславливает местное разрушение изоляции, сопровождающееся выделением проводящих и химически активных веществ (озона или окислов азота). С ростом напряжения в твердой изоляции вначале возникают частичные разряды слабой интенсивности ( $q_x = 10^{-12} - 10^{-14}$  Кл) – так называемые начальные. При дальнейшем росте напряжения, интенсивность частичных разрядов увеличивается и возрастает на 3-4 порядка – и именуются критическими частичными разрядами. Представляют собой мощные стримерные разряды ( $q_x = 10^{-6} - 10^{-9}$  Кл) [1].

Регистрация частичных разрядов оборудования энергосистем при эксплуатации последних широко используется для диагностики. Контроль энергетического оборудования по частичным разрядам является весьма эффективным. Известны следующие методы регистрации частичных разрядов:

- электрический метод, основой которого, является измерение сигналов в электрических цепях, контролируемого объекта;
- электромагнитный метод, который заключается в регистрации электромагнитного излучения в СВЧ-диапазоне;
- акустический метод, основанный на измерении акустических колебаний;
- оптический метод, основе которого лежит регистрация оптического излучения частичных разрядов [2].

Оценить состояние кабельной изоляции линии возможно по характеру частичных разрядов. Основная задача сводится к обнаружению развития мест повреждений и включений в кабельных линиях, в которых может произойти пробой. Отсутствие правильного технологического процесса сборки муфт и концевых заделок ведёт к образованию в толще изоляции ионизируемых, заполненных газом полостей и зазоров, а так же локальных областей с повышенной напряженностью электромагнитного поля, вследствие чего при номинальном значении напряжения появляются частичные разряды. Дефекты и повреждения, вызванные частичными разрядами, диагностируются при помощи установки «OWTS». Суть данного метода заключается в следующем: объект, подлежащий диагностике, за несколько секунд заряжается линейно изменяющимся напряжением. Далее выполняют закорачивание резонансной катушкой. Колебания рабочей частоты напряжения приводят в кабеле к частичным разрядам, которые затем подлежат измерению и обработке. Немаловажной является задача определения остаточного ресурса службы изоляции до её выхода из строя. [3].

Состояние и срок службы бумажно-масляной изоляции трансформаторов определяется образованием и развитием частичных разрядов. Развитие дефектов в толще изоляции обусловлено появлением мощных частичных разрядов, которые перекрывают масляный канал и вызывают механические воздействия. Такие частичные разряды «прокалывают» изоляцию сопровождением характерных щелчков [4].

Частичные разряды в электрических вращающихся машинах происходят в местах, где диэлектрические свойства изоляции неоднородны. Повышение напряженности поля с наличием газового включения в данных местах приводит к частичному пробою изоляции. Изоляция статора высоковольтных машин восприимчива к частичным разрядам, но это обусловлено несовершенством технологии производства или изменением физико-химических свойств [5].

Выявление и анализ дефектов, возникающих от частичных разрядов, позволяет дать техническую оценку состояния электротехнического устройства и определить вероятность его безотказной работы. Эксплуатация электротехнических устройств предполагает необходимость обнаружения и контроля частичных разрядов, так как это связано с дороговизной оборудования и отсутствием продолжительного простоя устройства на ремонте.

Таким образом, для диагностирования начальных частичных разрядов возможно применение современных комплексов оборудования. Один из них PD/TD90 – измеритель характеристик частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования с измерением тангенса угла диэлектрических потерь. Технический комплекс представляет собой два измерителя. PD – измеритель частичных разрядов и TD – измеритель тангенса угла диэлектрических потерь. Измеритель PD/TD90 позволяет выявить локализацию мест появления частичных разрядов в кабелях и кабельных муфтах.

Данный измеритель определяет и записывает следующие параметры:

- калибровочный импульс перед началом диагностики;
- фоновые помехи, шумы и наводки;
- напряжение зажигания частичных разрядов;
- уровень частичных разрядов;
- напряжение прекращения частичных разрядов [6].

Технические характеристики системы измерения частичных разрядов со встроенным блоком измерения тангенса угла диэлектрических потерь PD/TD90 представлены в таблице.

Таблица

Диапазон скорости распространения импульса ЧР	10-150 м/мкс
Максимальная длина линии	100 км
Погрешность определения места повреждения	1%
Полоса пропускания импульсов ЧР	100 МГц
Частота дискретизации	200 МГц
Температура использования	-5 до +45

Применение инновационных современных комплексов для контроля и выявления частичных разрядов позволяет выполнять диагностику и составлять прогноз службы электротехнического устройства, тем самым предупреждая непредвиденные пристои электротехнического оборудования что дает возможность снизить необоснованные затраты на выполнение ремонта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанчук К. Ф., Тиняков Н. А. Техника высоких напряжений / 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш.школа, 1982. 367 с.
2. Карандаев А. С., Евдокимов С. А., Карандаева О. И. Мостовой С. Е. Черткоусов А. А., Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования. 2008. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/kontrol-tehnicheskogo-sostoyaniya-silovyh-transformatorov-metodom-akusticheskogo-diagnostirovaniya> (дата обращения 10.02.2019г.)
3. Полуянович Н. К., Дубяго М. Н., Разработка метода диагностики и прогнозирования остаточного ресурса кабельных линий в результате старения изоляции, вызванного частичными разрядами. 2018. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/razrabotka-metoda-diagnostiki-i-prognozirovaniya-ostatochnogo-resursa-kabelnyh-liniy-v-rezultate-stareniya-izolyatsii-vyzvannogo> (дата обращения 10.02.2018г.)
4. Давиденко И. В. Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонаполненного электрооборудования: автореф. на соиск. ученой степ. докт. техн. наук: 05.14.12 – Техника высоких напряжений М., 2009. 46 с.
5. ГОСТ IEC/TS 60034-27-2015. Машины электрические врачающиеся. Измерения частичного разряда на изоляции статорной обмотки отключенных от сети вращающихся электрических машин. М.: Стандартинформ, 2016. 42с.
6. ООО «Электроприбор» / Каталог приборов и оборудования / Система измерения частичных разрядов со встроенным блоком тангенса угла диэлектрических потерь PD/TD90

[https://www.electronpribor.ru/catalog/211/pd\\_td90.htm#about](https://www.electronpribor.ru/catalog/211/pd_td90.htm#about) (дата обра-  
щения 12.02.2019г.)

Заявка