

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДРЕМОНТНОЙ И ПОСЛЕРЕМОНТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

К.т.н. Крупенин Н.В., Голубев А.В., к.т.н. Завидей В.И. - ГУП ВЭИ
Головичер В. А., Ген. Директор, Вихров М.А. - «ЗАО Панатест»,

Высокая степень износа действующего оборудования электрических станций, низкий коэффициент обновления оборудования главных схем выдачи мощности повышает роль создания эффективной системы ремонта и технического обслуживания, а также диагностики технического состояния таких дорогостоящих объектов к которым относятся турбогенераторы высокой мощности [1,2].

Одним из важных этапов при проведении ремонта генератора с частичной или полной заменой стержней является определение степени загрязненности, локального износа изоляции и полупроводящего слоя стержней. Демонтированные стержни или стержни из ремонтного запаса, могут иметь дефекты изоляции и покрытия, что требует их обнаружения, локализации дефектных зон и последующего восстановительного ремонта.

В настоящей работе представлены некоторые результаты практического применения новых методов и систем измерений перспективных в неразрушающем контроле стержней и статорных обмоток мощных турбогенераторов при проведении ремонтов.

Для изоляции электрических машин основная причина повреждений обмоток - термомеханические воздействия. Под их влиянием, а также от вибраций в условиях повышенных температур, происходят механические повреждения изоляции в виде расслоения или образование трещин. Это вызывает внутри диэлектрика в газовых включениях появление частичных разрядов, которые и обуславливают в конечном итоге пробой изоляции. Таким образом, частичные разряды, наряду с токами утечки характеризуют характер и степень развития дефектов [4].

Диагностика катушек (стержней) до укладки.

1) При ступенчатом подъеме напряжения от постороннего источника, с низким уровнем собственных частичных разрядов, измеряются характеристики частичных разрядов в изоляции стержня (распределение $n(q)$).

2) Если дефекты порождают частичные разряды превышающие уровень 500 пКл, проводится их геометрическая локация по времени запаздывания сигналов с датчиков ЧР, размещенных на концах стержня.

3) По результатам диагностики определяется объем работ по восстановлению изоляции стержня.

Обследование стержней проводят по схеме показанной на рис.1.

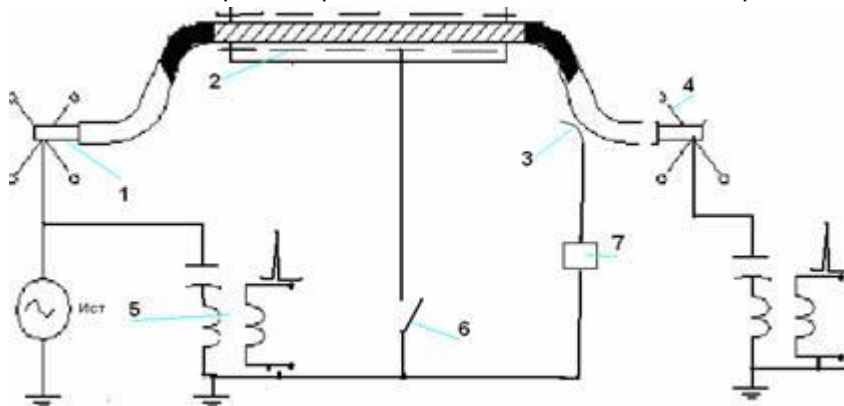


Рис.1. Схема проведения высоковольтных испытаний отдельных стержней от постороннего источника.

Низкоомный слой (2) изоляции стержня (1) покрыт алюминиевой фольгой, которая электрически связана с заземлением и источником напряжения. Подобная конструкция

обеспечивает формирование условий «короткой» линии в части стержня (пазовой) покрытой фольгой по которой электромагнитные импульсы от места возникновения разрядов движутся к торцам стержня и через согласующие устройства (5) регистрируются высокочастотным осциллографом (200-500МГц), а также анализатором импульсов. По временной задержке между приходами импульсов к торцам стержня определяется место дефекта. Для снижения помех короны концы стержня закрыты антикоронирующими электродами (4).

Для определения дефектов в концевых зонах изолирующего покрытия стержня, схема (рис.1) несколько модифицируется, высокий потенциал от постороннего источника подается на электрод 3, при заземленном стержне, при этом фиксируется токи утечки в изоляции устройством 7 в качестве которого может применяться прибор КВИС-40 [3].

В качестве иллюстрации на рис.2а и 2б показаны диаграммы распределения числа частичных разрядов регистрируемых в объеме изоляции стержня в зависимости от их амплитуды при испытаниях стержня от постороннего источника [5]. В идеальном случае (рис2б), в силу статистического характера распределения микродефектов в изоляции, в полулогарифмическом масштабе координат ($Y=\ln N(q)$ $X= q$) кривая распределения имеет линейный характер несколько отличаясь по уровню на положительной и отрицательной полярности. Отклонение от линейности (наличие локальных максимумов) свидетельствует о наличии локальных дефектов в изоляции или ее деградации.

Местоположение сосредоточенного дефекта может быть определено из анализа осциллограммы (рис.2б) по длительности прихода импульсов генерируемых частичными разрядами в области дефекта. При данном методе контроля точность определения места дефекта зависит от временного разрешения осциллографа TDS224 ($\gg 0,5$ нс) и точности настройки измерительных каналов и реально составляет величину $\gg 20$ см.

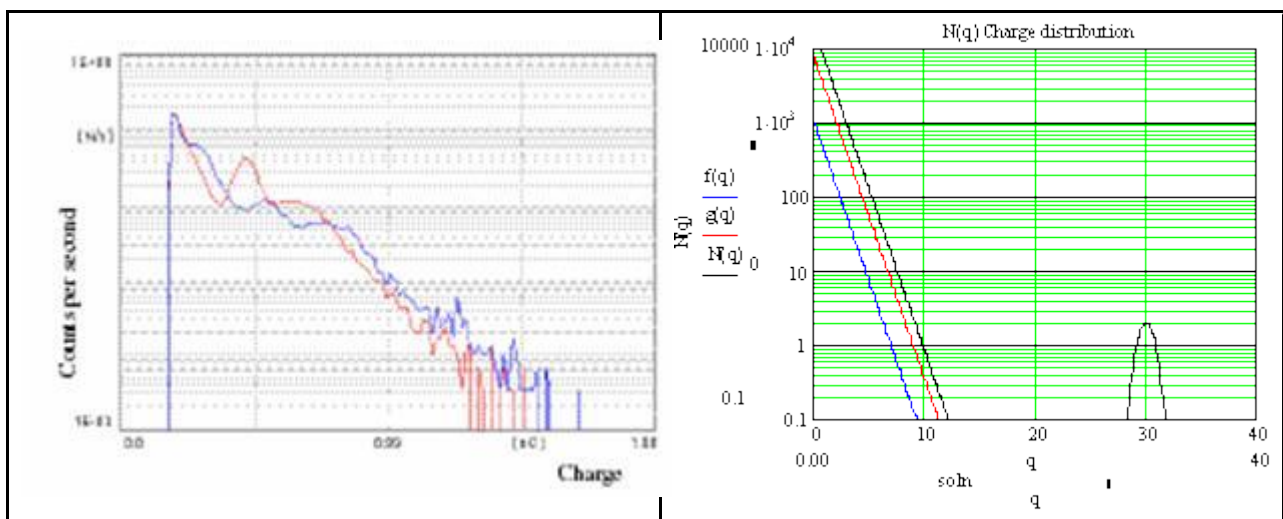


Рис.2. Зависимость числа импульсов частичных разрядов в изоляции $N(q)$ от амплитуды q (а) и (б). (— красная (синяя) кривая рис.2а) показывает распределение ЧР на положительной полярности (отрицательной), по [5] черная кривая на рис.2б при наличии деградации изоляции и локализованного дефекта.

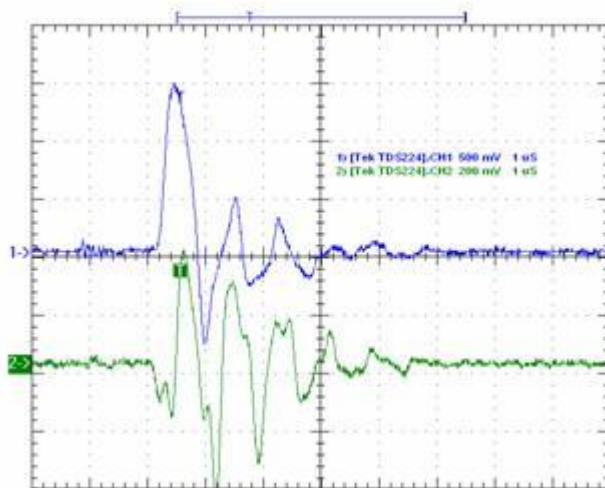


Рис. 3. Характерная осциллограмма импульсов регистрируемых на концах стержня при определении области расположения дефекта по его длине .

Локализация развитых дефектов отдельного стержня при испытаниях от постороннего источника может быть осуществлена по данным тепловизионного контроля путем непосредственного измерением температуры поверхности низкоомного покрытия. Данному методу контроля благоприятствует высокая излучательная способность низкоомного углеродного покрытия и относительно невысокий коэффициент теплопроводности основной изоляции. Для выявления местного увеличения тангенса диэлектрических потерь, мест пробоя изоляции или поверхностных токовых дорожек в концевых зонах стержня следует использовать тепловизоры с повышенной температурной разрешающей способностью 0,02-0,03 °С, например тепловизор серии ТН-9100. Контроль температуры поверхности стержня проводят после минутного воздействия напряжения от постороннего источника. Для повышения чувствительности измерений следует использовать метод вычитания термограмм поверхности до и после воздействия напряжения постороннего источника. Термограмма фрагмента поверхности стержня с дефектом при локальном пробое изоляции приведена на рис.4.

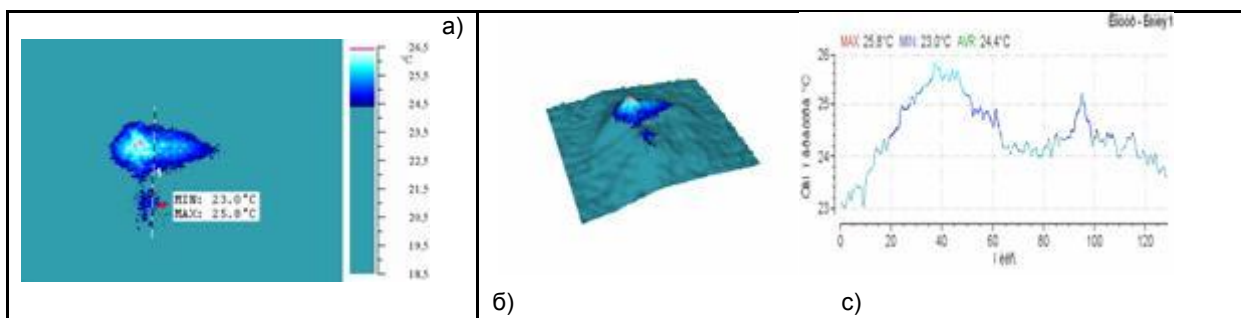


Рис.4.Термограмма (а), трехмерное изображение теплового дефекта (б) и линейный профиль температуры в области пробоя изоляции при испытании стержня от постороннего источника.

В соответствии с «Объемами и нормами испытания ...» [4] после проведения ремонта статорных обмоток генератора проводятся цикл высоковольтных испытаний, где наряду с контролем электрических параметров обмотки проводится ее визуальный осмотр и фиксируется очаги возможной поверхностной коронной активности. Следует отметить на достаточно расплывчатые критерии оценки степени поверхностного загрязнения обмотки и дефектов оцениваемые по цвету короны. В связи с появлением на Российском рынке современной системы контроля ультрафиолетового излучения [6] становится возможным создание корректного методического обоснования проведения измерительных операций при проведении оценки технического состояния обмотки до проведения ремонта, контроль состояния отдельных стержней и оценки качества проведенного ремонта.

Актуальной задачей является также создание методики контроля и оценки технического состояния мощных двигателей, например двигателей ГЦН АЭС.

Представленные ниже результаты применения системы ультрафиолетового контроля получены с использованием камеры DayCog II компании OFIL (Израиль-США) позволяющей в реальном времени одновременно регистрировать оптическое излучение в видимой и ультрафиолетовой части спектра. Особенностью камеры является регистрация процесса в

цифровом формате, а также возможность количественной оценки интенсивности ультрафиолетового излучения связанного с электроразрядными процессами. Система контроля ультрафиолетового излучения короны DayCor II использовалась для определения дефектов в изоляции при испытании отдельных стержней, как из ремонтного запаса, так и демонтированных после десятилетней эксплуатации, а также оценки состояния обмотки после проведения капитального ремонта.

Диагностика стержней после укладки в пазы и распайки.

После установки стержней (катушек) в пазы и их монтажа производится повторное измерение характеристик электроразрядной активности. Целью и результатом которых является выявление дефектов и повреждений при проведении монтажных работ. Об этом может свидетельствовать неизменность характеристик частичных разрядов обмотки и уровень коронной активности. Критерием успешности проведенного ремонта также является отсутствие новых дефектов или их допустимый уровень.

На рис. 5, рис.6 и рис.7 приведены иллюстрации различных фрагментов турбогенератора при проведении послеремонтных испытаний.



Рис. 5. Коронная активность различных фрагментов (в пределах выделенной квадратом области) уложенных в пазы стержней при испытаниях обмотки статора ТВВ-800 после ремонта. Испытания от постороннего источника при 31кВ (разрядная активность в области выхода 9-стержня из паза.

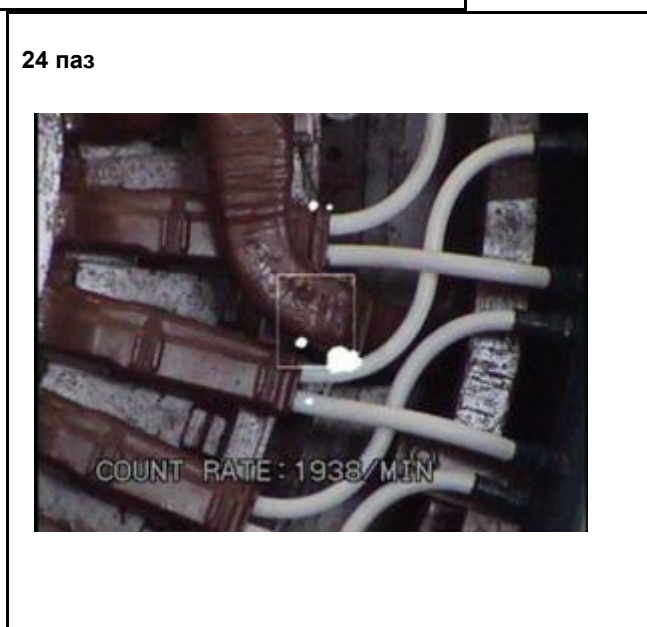


Рис.6. Ультрафиолетовая фотография фрагмента поверхности лобовой части в зоне выхода трубок водяного охлаждения (вид со стороны возбуждателя) при 31 кВ (область 24 паза с повышенным уровнем поверхностного загрязнения) ($N(q) - 1938$ /мин.)

При проведении испытаний статора в сборе оказалось возможным обнаружить данным методом разряды недоступных для прямого оптического визирования, что по видимому связано с процессом выброса ионизованного газа из области разряда в зону наблюдения, где происходит рекомбинация возбужденных молекул с излучением ультрафиолета (рис.7а,б).



Рис.7. Ультрафиолетовая фотография фрагментов поверхности лобовой части на пресуемом диэлектрическом кольце при 31кВ в увеличенном виде (область № 32 и16 паза) разрядные области выхода стержней из паза оптически недоступны.(число разрядов –1423- 938 /мин.)

На рис. 8 представлены данные обработки коронной активности при высоковольтных испытаниях обмотки турбогенератора ТВВ-800 МВТ после проведенного ремонта. Распределение числа электроразрядных импульсов короны приведено в координатах (ось У- число электроразрядных импульсов в мин) по различным зонам поверхности обмотки с привязкой к номерам пазов статора (осьХ- 42 паза) для трех уровней испытательного напряжения .

Как видно, несмотря на несколько повышенный уровень коронной активности на отдельных элементах обмотки и связанных с ней элементов (трубки охлаждения стержней) зоны 21, 24; и 31 пазов уровень коронной активности не превышает 3000 имп/мин при испытаниях повышенным напряжением 31кВ. Последнее свидетельствует о хорошем качестве проведенного ремонта турбогенератора.

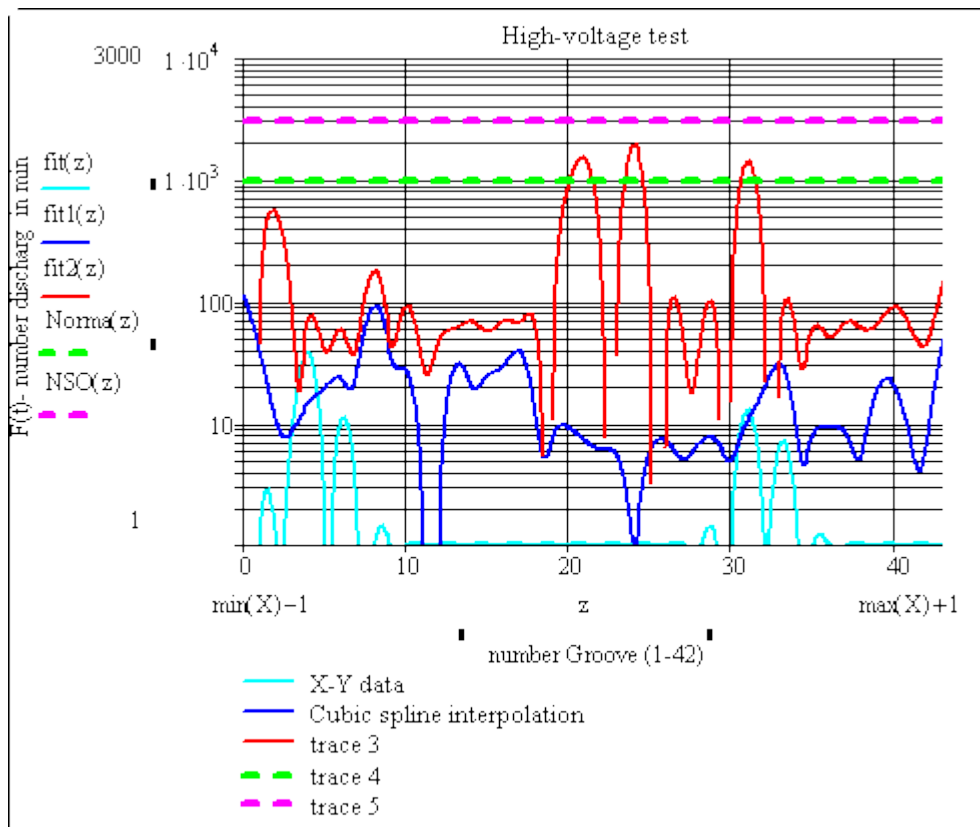


Рис.8. Распределение числа электроразрядных импульсов короны (ось Y- число электроразрядных импульсов в мин) по различным зонам поверхности обмотки с привязкой к номерам пазов статора (ось X- 42 паз) для различных уровней испытательного напряжения .

Fit(z)- при возбуждении линейным напряжением 6 кВ (бирюзовый).

Fit1(z)- при возбуждении линейным напряжением в диапазоне 9-21 кВ (синий).

Fit2(z)- при возбуждении линейным повышенным напряжением в диапазоне 31 кВ (красный).

Norma(z) - нижний допустимый уровень (до 1000 имп./ мин техническое состояние «Норма» (зеленый пунктир).

NSO(z) - средний допустимый уровень (от 1000 имп./ мин-до3000имп/мин) техническое состояние «Норма с отклонениями» (зеленый пунктир).

Выводы

Описанные методы диагностики обмоток генераторов позволяют в короткие сроки определить объем и глубину необходимых ремонтных операций, а при применении их на всех этапах проведения работ обеспечить надежность и высокое качество проведения ремонта одного из важнейших составляющих элементов турбогенератора- статорной обмотки.

Литература

- 1.Справочник по ремонту турбогенераторов / Под ред. д.э.н., проф. Х.А.Бекова, к.э.н. проф. В.В. Барило.- М.: ИПКгосслужбы, ВИПКэнерго, 2006.-724с.
- 2.Алексеев Б.А. Определение состояний (диагностика) крупных турбогенераторов.-М.:НЦ ЭНАС, 2001. 152.
- 3..Гордов В.В., Лашитский А.П., Самородов Ю.Н. Новые средства для диагностирования состояния изоляции статоров мощных электрических машин// Энергетик 2003, №9.
4. Объем и нормы испытаний электрооборудования . РД 34.45-51.300-97 / Под общей редакцией Б.А. Алексеева, Ф.Л.Когана, Л.Г.Мамиконянца.- 7 изд.- М.:НЦ ЭНАС, 2002.
5. Detlev W. Gross Partial Discharge «Measurement and Monitoring on Rotating Machines». *Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA USA, April 7-10, 2002.*
- 6.Завидей В.И., Вихров М.А., Крупенин Н.В., Голубев А.В. Электронно-оптическое оборудование при контроле технического состояния элементов сетей и подстанций на рабочем напряжении.// Электро, 2006, №1.