

Некоммерческое партнерство «Российский национальный комитет Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения» (РНК СИГРЭ) 109074, Россия, г. Москва, Китайгородский проезд, дом 7, стр.3. ОГРН 1037704033817. ИНН 7704266666 / КПП 770401001. Тел.: +7 (495) 627-85-70. E-mail: [cigre@cigre.ru](mailto:cigre@cigre.ru)

## ОТЧЕТ

Об участии в Совместном Коллоквиуме «О последних тенденциях и инновациях в A2, B2 и D1». Нью-Дели, Индия 16-23 ноября 2019 г.



Отчет подготовил:

**Славинский Александр Зиновьевич**  
д.т.н., Представитель РНК СИГРЭ в  
Исследовательском Комитете D1,  
Руководитель НИК D1 РНК СИГРЭ  
«Материалы и разработка новых методов  
испытаний и средств диагностики»  
Генеральный директор ООО «Завод «Изолятор»

Контактные данные:

E-mail [alexander.slavinskiy@mail.ru](mailto:alexander.slavinskiy@mail.ru)

Дата составления отчета:

Декабрь 2019 г.

Москва 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Обзор докладов	4
3. Учебные программы по материалам и новым методам испытаний (Tutorials)	22
4. Заседание Исследовательского комитета D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»	24
5. Техническая выставка	25
6. Технический визит	25
7. Заключение	25

## **1. Введение**

### **С 16 по 23 ноября 2019 года в г. Нью-Дели (Индия) прошел Совместный коллоквиум «О последних тенденциях и инновациях в А2, В2 и D1»**

Индийский национальный комитет СИГРЭ пригласил Исследовательские комитеты А2 «Силовые трансформаторы и реакторы»; В2 «Воздушные линии»; D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» для проведения ежегодных совещаний. В связи с этими совещаниями, исследовательские комитеты А2, В2 и D1 организовали совместный коллоквиум, обучающие программы и выставки. Мероприятие проводилось под эгидой Исследовательских комитетов СИГРЭ А2 «Силовые трансформаторы и реакторы»; В2 «Воздушные линии» и D1 «Материалы и новые методы испытаний» при поддержке

Коллоквиум объединил инженеров, руководителей, экономистов, ученых, и других заинтересованных лиц в области силовых, специальных, распределительных и измерительных трансформаторов. Международный Коллоквиум - прекрасная возможность для обмена знаниями и опытом с большим количеством отраслевых экспертов со всего мира, возможность принять участие в обучающих программах, ознакомиться с результатами новейших исследований, определить направления сотрудничества, а также посетить выставку оборудования и технологий.

**Страны-участницы:** Австралия, Австрия, Бразилия, Канада, Китай, Чехия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Исландия, Индия, Италия, Япония, Намибия, Нидерланды, Норвегия, Польша, Португалия, Россия, Сербия, Словения, Испания, Швеция, Швейцария, Великобритания, США.

Государственный министр (IC) (энергетика, новые и возобновляемые источники энергии) и государственный министр (развитие навыков и предпринимательства) Shri R.K. Singh открыл международный коллоквиум 21 ноября 2019 года.

НИК D1 РНК СИГРЭ на Коллоквиуме представлял руководитель комитета, представитель от РФ в SC D1, генеральный директор ООО «Завод «Изолятор», доктор технических наук Александр Зиновьевич Славинский.

В течении четырех дней (**16-19 ноября 2019 г.**) прошли встречи рабочих групп Исследовательских комитетов А2, В2, D1 в соответствии с программой коллоквиума. С отчетами о работе консультативных и рабочих групп выступили председатели JWG и WG групп.

**19 ноября 2019 года** состоялись заседания Исследовательских комитетов (SC) А2, В2, D1. Участникам Коллоквиума по SC А2, В2, D1 **20 ноября 2019г.** представлены обучающие программы (Tutorials):

#### **Учебные программы по трансформаторам и реакторам**

1. Анализ режима отказа проходного изолятора R.K. Tyagi, Chief GM, POWERGRID
2. Последние тенденции / достижения в конструировании трансформаторов S.V. Kulkarni
3. Индекс работоспособности Ms. Tara-Lee, MacArthur

#### **Учебные программы по Воздушным линиям**

1. Использование робототехники для контроля и обслуживания OHLs – ТВ 731, 2018, Ms Cécile

2. Опыт работы с механическими характеристиками нетрадиционных проводников ТВ 695, 2017 - Mr. Pierre Van Dyke

3. Конструкции ЛЭП с полимерным волокном - FRP WG B2.61, 2018 - Mr. Janos Toth

#### **Учебные программы по материалам и новым методам испытаний воздушных линий**

1. Новые изоляционные материалы, Dr. Jens Seifert (Германия)

2 Методы диагностики и новые методы испытаний, Mr. Ralf PIETSCH, Chairman, CIGRE SC D1

В соответствии с технической программой **21-22 ноября 2019 г.** на совместном коллоквиуме были представлены доклады по тематике SC A2, B2, D1.

На Коллоквиуме по ИК A2, B2, D1 было представлено около 70 докладов из 29 стран мира (Австралия, Австрия, Бразилия, Канада, Китай, Чехия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Исландия, Индия, Италия, Япония, Намибия, Нидерланды, Норвегия, Польша, Португалия, Россия, Сербия, Словения, Испания, Швеция, Швейцария, Великобритания, США).

#### **Предпочтительные темы ИК D1:**

##### **PS 1: Долгосрочные характеристики систем изоляции (переменного и постоянного тока)**

- Газо-изолированные линии переменного и постоянного тока - новые изоляционные материалы
- HVDC GIS – новый тип технологий
- UHV Композитные изоляторы, изолирующие системы, нанокompозиты.

##### **PS 2: Методы испытаний UVH, включая HVDC**

- Испытательные схемы и испытательные напряжения для оборудования HVDC
- Проверка напряжения для оборудования HVDC.
- Корреляционные исследования по измерениям ЧР
- Формы импульсного напряжения, испытания на влажность, атмосферная коррекция

##### **PS 3: Передовые методы диагностики**

- Оценка старения материала и обнаружение дефектов в UVH. Композитные изоляторы, материалы морских и подводных применений.
- On-line / off-line мониторинг энергетического оборудования.
- Исследования старения новых изоляционных материалов.
- Новые датчики применительно к расширенной диагностике.

#### **2. Обзор докладов, представленных по тематике Коллоквиума ИК D1**

##### **1) The Practice of Using the Power Transformers and Reactors for On-site High-Voltage Tests** (*Опыт использования силовых трансформаторов и реакторов для высоковольтных испытаний в эксплуатации*) Anato ly Shkolnik, (Израиль)

В докладе представлены примеры испытаний высоковольтного оборудования (силовых трансформаторов, электрических машин, кабелей) напряжением промышленной частоты. Высоковольтные испытания электрооборудования и кабелей являются обязательной или желательной частью приемочных испытаний после установки или после ремонта, либо для выявления повреждений на месте. Необходимость испытаний повышенным напряжением требуется для проверки запаса прочности изоляции испытуемого объекта и для обнаружения повреждения и дефектов.

В качестве примера автор проводит оценку схем испытания силовых трансформаторов.

Обмотки трансформатора, соединенные в треугольник, могут быть испытаны с помощью приложенного напряжения от внешнего источника. Обмотки, соединенные звездой с выведенной нейтралью, ограничены уровнем напряжения нейтрали.

Используя трехфазное индуцированное напряжение промышленной частоты, можно добиться увеличения напряжения обмотки, которое будет меньше стандартного значения, но тем не менее позволит подтвердить определенный уровень надежности и при этом должен быть измерен уровень частичных разрядов.

В качестве примера рассмотрен трансформатор на подстанции, который был отключен при срабатывании дифференциальной токовой защиты и газового реле.

При напряжении порядка 80% от номинального наблюдалось сильное повышение уровня частичных разрядов и испытания были приостановлены.

При вскрытии трансформатора и разборке поврежденной обмотки, был обнаружен локальный пробой между витками (рис.1). Другой пример: однофазный автотрансформатор на подстанции отключался при срабатывании дифференциальной токовой защиты.

Повреждение автотрансформатора было вызвано снижением уровня масла в баке из-за разрыва мембраны в расширителе и закрытие соединительной трубки между резервуаром и расширителем. С понижением температуры в ночное время, уровень масла в баке уменьшился и произошел электрический пробой на нижнее основание третичных изоляторов. После замены мембраны трансформатор был испытан с плавным повышением напряжения до номинального значения на третичной обмотке, применив регулятор напряжения и промежуточный трансформатор. Результат получили положительный, но при повторных испытаниях с переменным заземлением одной из клемм третичной обмотки изоляция была повреждена. При последующем вскрытии изоляторов третичной обмотки были обнаружены прогары на нижней поверхности изоляторов (рис.2).



рис.1



рис.2

Примеры высоковольтных испытаний электрических машин.

Высоковольтные двигатели и генераторы, как правило, выполняются с внешним соединением концов фазных катушек- звезда.

Это позволяет проводить испытания между катушками и изоляцией, между каждой катушкой и корпусом статора. Следует иметь в виду, что изоляция между катушками и корпусом выбирается на основании расчета фазного напряжения, а между катушками - из расчета линейного напряжения. В работе подробно описана схема испытаний и

параметры, влияющие на результат испытаний. На рис.3 продемонстрированы повреждения и местоположения ЧР.

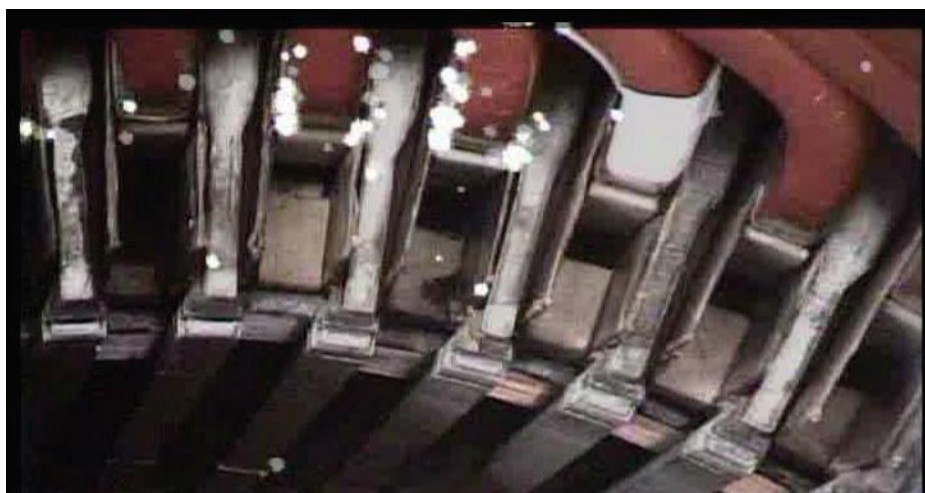


рис.3

Автор доклада делает вывод, что использование представленных схем для испытаний высоковольтного оборудования позволяет проводить высоковольтные испытания на промышленной частоте без привлечения специальных испытательных систем.

## **2) Dielectric Long-term Behaviour and Testing of Gas-insulated HVDC Systems**

*(Диэлектрические характеристики и испытания систем HVDC с газовой изоляцией)*  
**UWE RIECHERT and MICHAEL GATZSCHE, (Швейцария)**

По результатам исследований и разработок в сочетании с опытом обслуживания в докладе продемонстрирована разработанная новая философия диэлектрических испытаний систем HVDC с газовой изоляцией. В статье подробно описаны проведенные испытания, опыт и полученные результаты.

Сегодня растущий спрос на соединения HVDC как для морских, так и для наземных применений связан с затратами, стремлением быть более экологически чистым является причиной разработки новых систем газовой изоляции HVDC. Высокий уровень качества ГИС-технологий обеспечивает надежность поставок и высокую доступность электроэнергии.

Конструкция изолирующих элементов для HVAC GIS оптимизирована для емкостного распределения поля. Разница между переменным и постоянным током, в том, что при постоянном проводимость изоляционных материалов сильно зависит от температуры, в то время как их диэлектрическая проницаемость изменяется незначительно.

Новые изоляторы постоянного тока для систем с газовой изоляцией HVDC были разработаны путем геометрической оптимизации.

Как и в системах питания переменного тока, технология DC-GIS охватывает ряд распределительных устройств компонентов как показано на рис 4 например, шинопроводы и высоковольтные проводники постоянного тока (A), разъединение и заземление переключателя (B), вводы (C) и кабельные муфты (D), трансформаторы тока (E) и напряжения (F); и разрядники (G).

Эти компоненты могут применяться в различных приложениях HVDC, таких как оборудование постоянного тока в преобразователе HVDC станции, включая распределительную станцию постоянного тока, линии электропередачи с газовой

изоляция и переход с кабельной линии на воздушную линию рис.4, обеспечивая безопасность поставок и высокую доступность электроэнергии.

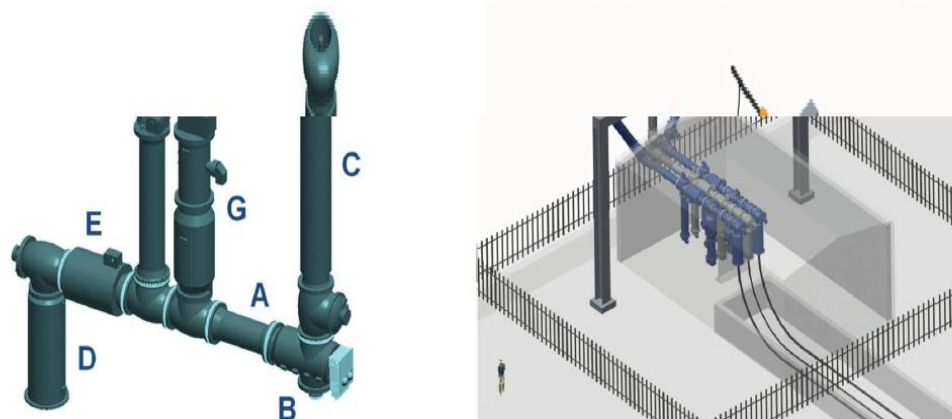


Рис.4. Компоненты ГИС HVDC (слева) и пример подсоединения при переходе с кабельной линии на воздушную (справа)

До сих пор опыт работы с системами HVDC с газовой изоляцией был незначительным (рис.5). Первая коммерческая HVDC-GIS была установлена в 2000 году в Японии. Преобразовательная станция HVDC-GIS Анан  $\pm 500$  кВ Shikoku Electric Power состояла из разъединителей и одной шины. Шина постоянного тока с постоянным напряжением  $\pm 150$  кВ работает с 1983/1987 года в Готланде (Швеция). В 1986 году ABB и ВРА совместно разработали HVDC-GIS  $\pm 500$  кВ.

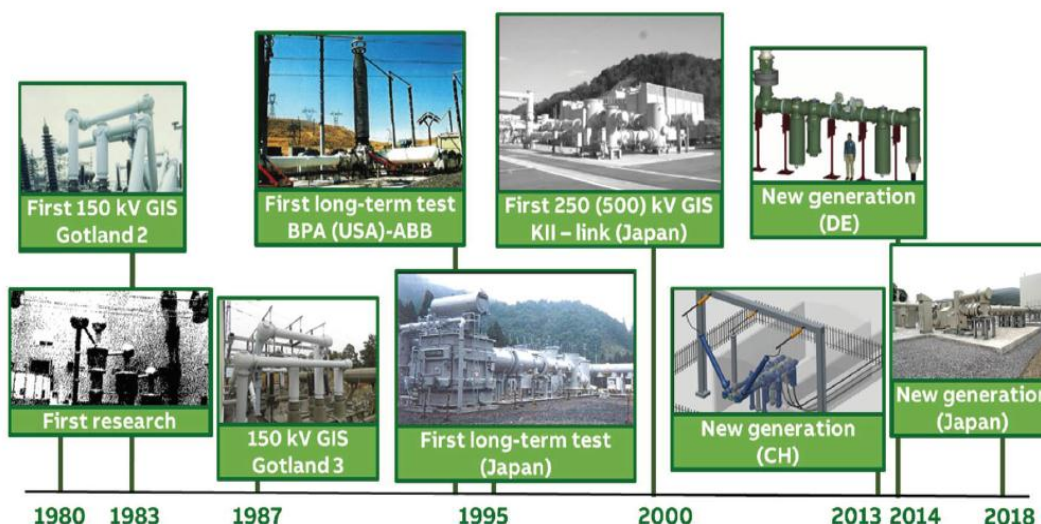


рис. 5: История ГИС HVDC

С 1990 по 1995 годы долгосрочные испытания в испытательном центре ВРА были проведены, как показано на рис.6 центр и справа. Главной заботой были диэлектрические характеристики компонентов. Этот проект был выполнен с использованием комбинации оборудования переменного тока 550 кВ и оборудования переменного тока 800 кВ. Все оборудование было модифицировано для применения постоянного тока путем установки

специальных ГИС изоляторов. Долгосрочные испытания были успешно завершены в 1996 году.



Рис.6 Gotland 2, Svenska Kraftnät, подключение трансформатора к клапану (слева) и долгосрочные испытания в испытательном центре ВРА (в центре) и испытательная установка (справа).

Новое, более компактное поколение ГИС HVDC было разработано и испытано в 2010-х годах. CIGRE SC D1 создал рабочую группу, которая должна предоставить рекомендации по испытаниям газо-изолированных систем HVDC: JWG D1 / B3.57 «Диэлектрические испытания газовой изоляции систем HVDC». В рамках JWG были выполнены работы, с особым акцентом на твердые диэлектрические изоляторы.

В работе по диэлектрическим испытаниям для систем HVDC с газовой изоляцией, основное внимание уделялось электрическому сопротивлению всего связанного оборудования, учитывая внутреннюю разницу между переменным и постоянным током, а именно проводимости изоляционных материалов постоянного тока, которая очень мала, но сильно зависит от температуры, в то время как их диэлектрическая проницаемость слабо изменяется с температурой. Следовательно, времена релаксации становятся очень длинными, и температурные градиенты могут значительно влиять на локальные величины электрических напряжений при постоянном токе. Кроме того, необходимо учитывать накопление пространственного и поверхностного заряда и удельное сопротивление при приложении импульсных напряжений.

В рамках испытаний газоизоляционного оборудования HVDC также была проведена прокладка кабеля в направлении ГИС HVDC, которая была ранее разработана и испытана. На рис.7 приведена схема испытаний одновременно в вертикальном режиме горизонтальном положении соответственно.



Рис.7

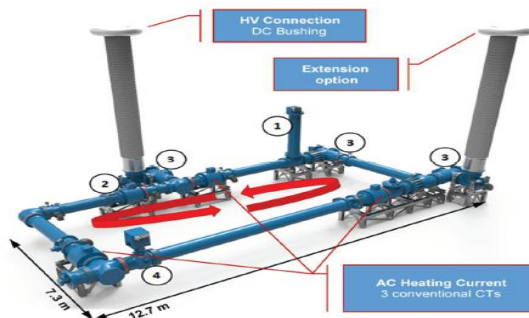


Рис.8

Рис.7 Испытательная установка для вертикальной (слева) и горизонтальной (справа) HVDC ГИС, включая кабельные петли



Рис.8 Высоковольтная установка прототипа ГИС

На рис. 8 представлен полномасштабный прототип для испытаний. Цель испытания установки прототипа состоит в проверке надежных диэлектрических характеристик ГИС постоянного тока в реальных условиях эксплуатации.

Под руководством независимой лаборатории проводились различные испытания на прототипе установки для проверки полной системы HVDC ГИС. Испытания начались в январе 2019 и планируется завершить до мая 2020 года.

Результаты, полученные на настоящее время подтверждают, что компоненты HVDC GIS будет иметь такой же длительный срок службы и минимальные требования к обслуживанию, как в HVAC-GIS. Установка герметичной и компактной HVDC GIS приведет к значительному сокращению требуемой площади земли для переключения станций между воздушными линиями, кабелями, а также в распределительных станциях, где пространство имеет высокую цену.

### **3) Comparison of Electrical Testing Philosophies at the Interface of Gas-solid HVDC (Insulated Systems)** *(Сравнение философии электрических испытаний на границе раздела газо-твердых изоляционных систем HVDC)*

*MARKUS SALTZER, UWE RIECHERT, UELI STRAUMANN, PEHR BERGELIN (Швеция)*

В этой статье представлены потенциальные подходы к квалификационным испытаниям GIS DC. В первой части изложены различные подходы и даны рекомендации, а именно предложение от JWG D1 / B3.57 по испытаниям кабельной системы HVDC. Во второй части на одном примере ГИС-устройства HVDC, используемого для сравнения подходов к квалификационным испытаниям, исследовались параметры при воздействии максимально возникающих напряжений. На основании этого результата указывается, что испытание кабельной системы HVDC охватывает все нагрузки при электрических испытаниях на границе раздела газо-твердых систем HVDC.

Кроме того, растущая интеграция систем HVDC (ветроэнергетика) в современных электрических сетях, возрастающие высокие напряжения этих систем, например  $\pm 320$  кВ,  $\pm 525$  кВ и даже  $\pm 640$  кВ. и выше, потребуют большего воздушного зазора клапана преобразователя и, следовательно, большего (возможно, слишком большого) размера станции постоянного тока. Системы с газовой изоляцией представляют один из способов уменьшения размера, что особенно желательно в ситуациях с явным ограничением пространства, например, на морских конверторных станциях.

Моделирование, выполненное в этой статье, применимо только для обсуждения.

Тем не менее, окончательные выводы по этому вопросу и сопоставимость философии испытания должны быть оценены экспертным сообществом и рассмотрены в работе по стандартизации. Для этого создана JWG B1 / B3.74 с акцентом на «Рекомендации для диэлектрических испытаний постоянного тока высокого напряжения с газовой изоляцией систем кабельных концевых муфт». В этом смысле настоящий доклад представляет собой вклад в JWG D1 / B3. 56 и может дать первое направление для предстоящей совместной рабочей группы B1/B3.74.

### **4) User Guide for Selection of Metallic Sheath Type for Power Cables** *(Руководство пользователя по выбору типа металлической оболочки для силовых кабелей)*

В докладе сделан акцент на вопрос, какой тип металлической оболочки должен быть выбран для кабеля в зависимости от его применения и условий прокладки. Эта статья

предлагает различные типы металлических оболочек и их эффективность в отношении функциональных требований к металлической оболочке в силовых кабелях.

**5) Simulation and Practical Testing of Substation Composite Post Insulators for Extreme Conditions– Results and Analysis** (*Моделирование и практические испытания подстанции Композитные опорные изоляторы для экстремальных условий. Результаты и анализ*), Venkataraman, S Vikas Jalan, Нидерланды

В докладе приведены результаты исследований по композитным опорным изоляторам. Высоковольтные изоляторы в электрической системе выполняют двойную роль: обеспечивают механическую поддержку и электрическую изоляцию. Как правило, для этого применения используются силиконовые композитные материалы, фарфор и стекло для обеспечения изоляции. Традиционно высоковольтные изоляторы, которые использовались во всем мире, были в основном стеклянными /фарфоровыми до конца 1960-х годов. Многочисленные проблемы, с которыми сталкивались во всем мире, прежде всего, связанные с загрязнением привели к разработке композитных изоляторов в конце 60-х годов. Во всем мире многочисленные страны, такие как Китай, Швейцария начали использовать композитные изоляторы в конце 70-х годов, применяя как длинные стержневые, так и композитные опорные изоляторы для железных дорог и так далее. Программное обеспечение для динамического моделирования нагрузки на основе хорошо определенной модели функции воздействия, изложено в издании CIGRE. Моделирование показало положительные результаты с гашением колебаний в очень короткое время, подчеркивая стабильность композитных опорных изоляторов. Уровни тока для фактического испытания на короткое замыкание были выбраны намного выше, чем существующие уровни короткого замыкания подстанции. Лабораторные тесты были смоделированы и выполнялись на основе фактического расположения трубчатых шин подстанции с промежутками между каждым композитным опорным изолятором и расстоянием между шинами типичным для расположения на подстанции. Тесты четко продемонстрировали, что композитные опорные изоляторы очень устойчивы при высоких воздействиях. Рисунки с 9 по 12 показывают схему испытаний и фотографии до и после испытаний на короткое замыкание для силиконовых композитных опорных изоляторов 132 кВ и 220 кВ.



Рис.9 Испытательное устройство 132 кВ перед испытанием на короткое замыкание

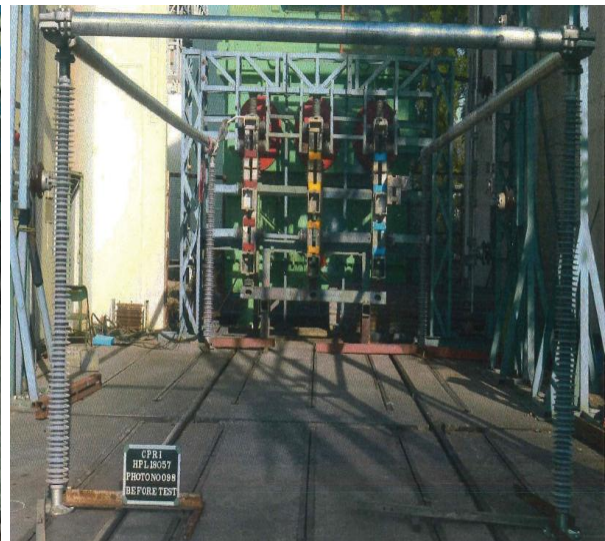


Рис.10 Испытательное устройство 220 кВ перед испытанием на короткое замыкание



Рис 11 После испытаний на к.з. 132 кВ



рис.12 После испытаний на к.з. 220 кВ

Испытания на короткое замыкание, очевидно, подтвердили, что композитные опорные изоляторы демонстрируют превосходную стабильность в экстремальных условиях короткого замыкания. Эти результаты еще раз подтверждает Публикация CIGRE.

**6) Electrical Equipment Reliability with Ultrasound** (*Проверка надежности электрооборудования с помощью ультразвуковой диагностики*) Manohar Chidurala UE Systems, Inc.

В этой статье обсуждается, что такое ультразвуковая технология и как она используется для проверки электрооборудования, такого как трансформаторы, распределительные устройства и подстанции. Скриншот из программного обеспечения для анализа спектра ультразвука вставлен, чтобы показать, как правильно диагностировать электрические аномалии с помощью ультразвукового сканирования.

Когда ультразвук и инфракрасный свет используются вместе с большей вероятностью возможно обнаружение аномалий, которые потенциально могут быть пропущены при использовании только одной технологии.

**7) Modular DC Test Systems for Testing Long DC Cables -Supplemented by a Breakdown Location System and a Water Controlled Discharge Resistor** (*Модульные испытательные системы постоянного тока для испытания длинных кабелей постоянного тока - Дополненный системой определения местоположения пробоя и разрядником с водяным сопротивлением*)

R. PIETSCH, E. BILINSKI, M. HENSEL and TH. STEINER, Германия

В докладе представлена концепция и приведены примеры использования мобильных модулей постоянного тока для испытаний длинных кабелей постоянным током. Из-за растущего использования систем передачи постоянного тока (HVDC) в Европе с уровнями напряжения в диапазоне от 150 кВ до 525 кВ потребность в модульных и мобильных системах испытания постоянного тока резко возросла за последние 10 лет.

Кабельные системы постоянного тока (в основном на основе экструдированных кабелей) и их компоненты должны быть проверены в соответствии с различными стандартами (IEC) или рекомендациями (CIGRE). Эти испытания включают заводские и эксплуатационные испытания экструдированных кабельных систем постоянного тока.

Модули могут быть соединены последовательно для увеличения напряжения с шагом 400 кВ. Поэтому испытательное напряжение до 1200 кВ или 1600 кВ легко реализуется при максимальном реализуемом напряжении 2200 кВ.

Увеличить испытательный ток и, следовательно, испытательную мощность, модули 400 кВ также могут, работая параллельно. Для создания компактной испытательной системы с предпочтительно небольшой занимаемой площадью была разработана несколько лет назад модульная испытательная система постоянного напряжения 400 кВ.

Так как, испытательная система построена из нескольких одинаковых и наращиваемых постоянных модулей, это позволяет подключать модули как последовательно до 2200 кВ, так и параллельно, чтобы увеличить зарядный ток. Например, при параллельном соединении двух модулей 400 кВ ток может быть увеличен с 40 мА до 80 мА.

Основные компоненты (трансформатор, реверсивный выпрямитель, сглаживающий конденсатор и делитель постоянного напряжения) устанавливаются в один изолированный резервуар, изготовленный из армированного волокonnого пластика (FRP).

Двусторонняя схема на основе Delon (рис.13) служит основной цепью, что также позволяет уменьшить пульсации в генерируемом испытательном напряжении (ниже 2%).

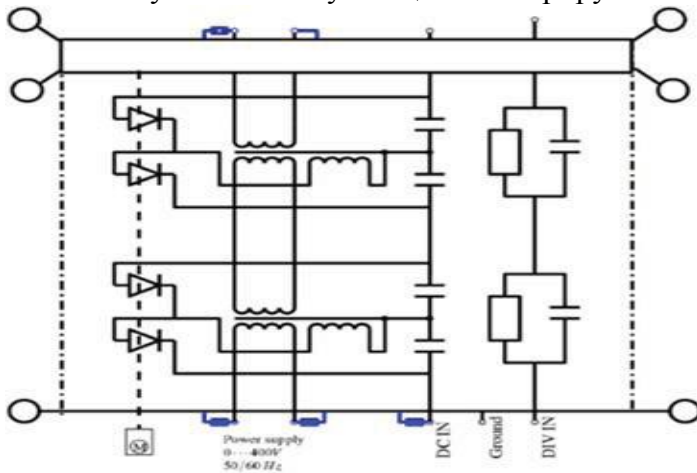


Рис. 13 Принципиальная схема для модуля постоянного тока 400 кВ:

На рис.14 представлены модульные системы постоянного тока 400 кВ и 800 кВ соответственно.



Рис. 14 Модули постоянного напряжения 400 кВ (слева) и 800 кВ (справа)

На рис.15 представлена испытательная система постоянного тока до 2200 кВ. в основном для испытаний вводов до 1100 кВ постоянного тока. Рутинные испытания на заводе и испытания на месте во время ввода в эксплуатацию представляют собой очень разные требования к технологии испытаний постоянного тока. Это влияет на требуемые уровни напряжения, длительности испытаний, зарядные токи и компоненты для испытаний.



Рис.15



рис.16

На рис.16 представлена мобильная система постоянного тока для испытания длинных кабелей на месте: (А) источник DC 800 кВ, (В) защитный резистор, (С) разрядный резистор, (D) транспортный контейнер для шкафа управления, контроллер и система кондиционирования воды.

Подробно процедура и результаты испытаний изложены в докладе. Концепция испытаний постоянного тока отвечает всем требованиям испытаний для выполнения разработки, типовых, заводских и эксплуатационных испытаний кабелей. Модульность испытания систем постоянного тока также упрощает реализацию и расширяет возможность будущих мощностей в эксплуатации.

### 8) PD Measurement Experience in HV Test Transformers (Опыт измерения частичных разрядов в высоковольтных испытательных трансформаторах)

*J.A.A.S. Cardoso and O.V. Olive Ira , Бразилия, Gam M. lin , Швейцария*

В докладе изложены процедуры и результаты проведенной оценки состояния бумажно-масляной изоляции четырех испытательных трансформаторов 375 кВ в конструкции изолирующего цилиндра с измерением уровня ЧР. Испытываемые трансформаторы прошли длительную обработку для удаления влаги из изоляции.

Цель данной работы состоит в том, чтобы поделиться и обсудить методологию, принятую для оценки состояния изоляции однофазных испытательных трансформаторов после процесса сушки, основанного на циркуляции горячего масла.

На рис. 17 представлена испытательная установка в лаборатории Serpel. Индуктивная компенсация 75 кВА была использована для уменьшения тока, подаваемого регулятором. Чтобы минимизировать корону, было обеспечено дополнительное экранирование, главным образом с помощью тороидального электрода на верхнем разьеме для экранирования верхней части трансформатора и соединений с конденсатором, как показано на рис. 17. На рис.18 представлена иллюстрация плохого параллельного

контакта. Плохое соединение параллельного контакта путем изоляции провода высокого напряжения на стороне делителя (желтая стрелка). Провод ВН должен быть изолирован от поверхности верхнего электрода на стороне делителя.



Рис.17



рис 18

На рис.19 видны коронные разряды, (а)- в вертикальном положении кронштейны – черные стрелки, (б)- пыли и грязи на изоляционном цилиндре, (с)- напряжение на верхней части делителя и (d)- ВН соединение. После снятия скобок, изоляционного цилиндра и улучшения подсоединения верхнего электрода, и подсоединение проводов ВН, коронирующие разряды были значительно минимизированы

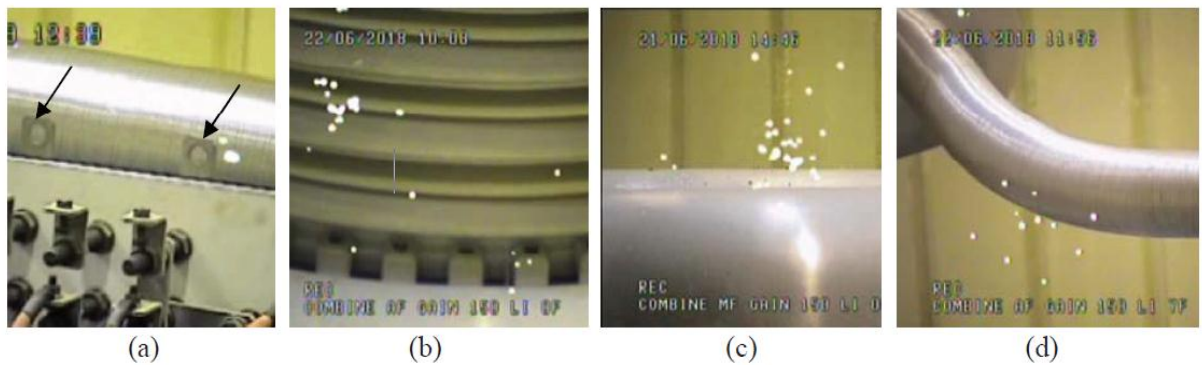


Рис.19

До начала всех измерений ЧР был проанализирован фоновый шум ЧР в качестве эталонного. Один из примеров ЧР и результат измерения фона показан на рисунке 20.

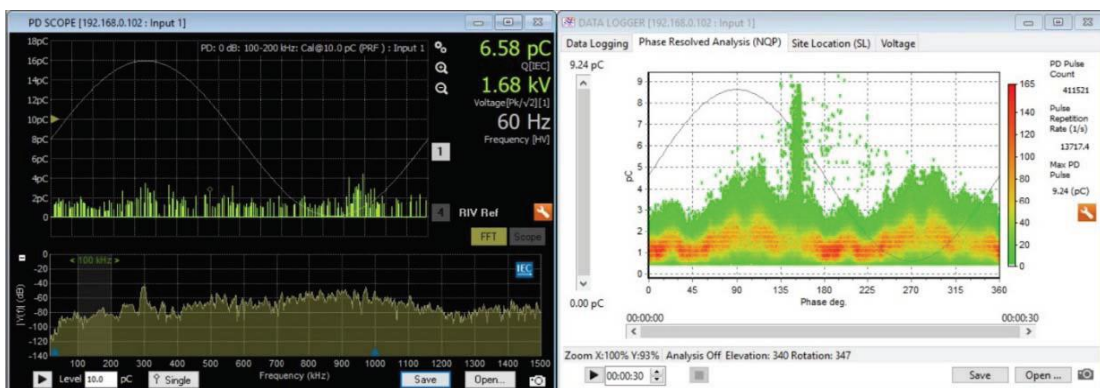


Рис.20

Внутренние уровни ЧР трансформаторов измерялись менее 10 пКл или в пределах уровня фонового шума. Наблюдались некоторые сигналы с более высокими амплитудами, но они не характеризовались как внутренние сигналы ЧР. Измерения ЧР четырех трансформаторов с масляной изоляцией 375 кВ были возможны, хотя и проводились в лаборатории класса 230 кВ.

Специальная подготовка и корректирующие действия были необходимы для минимизации помех на измерениях ЧР, главным образом связанные с пылью и грязью на изолирующей поверхности цилиндра, на тороидальных верхних электродах коллектора и цепи испытания.

**9) Calibration of UHF PD Measurements for Power Transformers** (*Калибровка СВЧ-ЧР измерений для силовых трансформаторов*)

*S. TENB OHLEN, M. SIEGEL, S. COENEN, M. BELTLE, U. KEMPF, S. HOECK, M. WEBER, R. SCHWARZ, J. FUHR, P. FEHLMANN and T. LINN, Германия, Швейцария, США*

Непрерывное обслуживание электрических сетей зависит от надежности их активов, например, мощности трансформатора. Местные дефекты изоляции могут привести к сбоям в обслуживании, таким как поломки с серьезными последующими расходами. Предотвращение таких событий имеет решающее значение. Следовательно, частичные разряды (ЧР) в силовых трансформаторах оцениваются непосредственно на заводе перед отправкой. Кроме того, активность ЧР может контролироваться во время обслуживания используя ультравысокочастотный (УВЧ) метод. В этом докладе предлагается процедура калибровки УВЧ метода.

Процесс калибровки необходим для обеспечения воспроизводимости и сопоставимости УВЧ измерения: в дополнение к МЭК 60270 может быть введена только калибровочная процедура на приемочных испытаниях силовых трансформаторов. Предлагаемый метод калибровки учитывает два фактора: влияние чувствительности УВЧ-датчика и характеристик записывающего устройства, включая такие аксессуары как демпфирования кабеля, предварительного усилителя и т. д. Практическая оценка предлагаемой процедуры калибровки выполняется в лабораторной установке с использованием различных UHF ЧР систем записи.

**10) Progress on Partial Discharge Detection under DC Voltage Stress** (*Достижения в обнаружении частичных разрядов при напряжении постоянного тока*)

*A. ABB ASI, Швеция, J. CASTELLON, Франция, A. CAVALLINI, Италия, F. ESTERL, Германия, T. GÖTZ M. KHAREZY, Швеция, S. MARKALOUS, Германия, S. NEUHOLD, Швейцария, R. PIETSCH, Германия, A. PIRKER, Австрия, R. PLATH, Германия, U. RIECHERT, Швейцария, M. ROSSNER, Германия, M. SELTZER-GRANT, Великобритания, R. FRITSCHER, M. GEISSLER, M. KOSSE and M. REUTER, Германия, B. HOCHBRÜCKNER and A. KÜCHLER, Германия*

Для оборудования и компонентов переменного тока измерение частичного разряда (ЧР) является практически единственным эффективным методом обнаружения и локализации небольших, но критических дефектов в системе изоляции.

В отличие от этого, международные стандарты для измерений ЧР на оборудовании DC все еще довольно редки. Существуют ограничения, например, для преобразовательных трансформаторов (МЭК/стандарт IEEE 60076-57-129:2017) и вводов постоянного тока (МЭК 65700-19-03/c IEEE:2014).

Рабочая группа CIGRÉ D1.63 была основана для обсуждения диагностики ЧР с системах постоянного тока, оборудования, использующего различные изоляционные материалы. Основная задача этой рабочей группы - обобщить опыт конкретного поведения ЧР при постоянным напряжением и фактические методы измерения и диагностики. Поэтому эта рабочая группа была разделена на четыре целевые группы (TF):

- обсудить фундаментальную физику ЧР под напряжением постоянного тока (TF1), и проанализировать поведение ЧР DC в
- твердой полимерной изоляции (TF2),
- изоляции масло-бумага (TF3) и
- системы газовой изоляции (TF4).

В этой статье представлены основные физические принципы, относящиеся к ЧР DC. Более подробное обсуждение физики постоянного тока для трех систем изоляции, представляющие интерес (TF2-TF4), будут приведены в заключительной брошюре.

Имеющиеся на данный момент результаты показывают, что именно свойства материала системы изоляции определяют поведение ЧР под напряжением постоянного тока, когда ЧР вызывают дефекты. Во-вторых, рабочие условия, точнее температура и температурные градиенты, влияют на постоянный ток.

В общем, частота повторения ЧР увеличивается с ростом температуры. На величину ЧР влияние изменения температуры незначительно.

Поведение изоляционных материалов под напряжением постоянного тока чрезвычайно сложное. Пока при воздействии переменного тока электрическое распределение поля практически не зависят от температуры, экстремальная температурная зависимость проводимости от постоянного тока приводит к распределениям электрического поля, которые трудно предсказать. Очевидно, что существует нетривиальная связь между ЧР при постоянном токе и риском выхода из строя системы изоляции. Нет никаких общих доказательств того, что типично низкая скорость ЧР так же вредна для изоляции, как и AC ЧР. С другой стороны, ЧР переменного или постоянного тока всегда указывают на локальное слабое место. На данный момент мы не можем исключить возможность того, что такие слабые места приведут к пробоем в долгосрочной перспективе. Приведен пример электрического тринга в твердой полимерной изоляции, который, будучи однажды инициирован, обязательно будет расти и в конечном итоге приведет к пробоем под напряжением постоянного тока, и должно служить предупреждением того, что недооценивать ЧР DC нельзя.

При сравнении эффективности измерений ЧР переменного и постоянного тока на (искусственных) дефектах оборудования или моделей HVDC,

Существуют типы дефектов, которые не могут быть обнаруженным при измерениях ЧР постоянного тока - по крайней мере, при разумных уровнях испытательного напряжения. При переменном токе эти дефекты могут быть обнаруженным.

## **11) Functional Dielectric Coating on HV Conductors of Gas Insulated Switchgear**

*(Функциональное диэлектрическое покрытие высоковольтных проводников распределительного устройства с газовой изоляцией)*

*SUKUMAR ROY, M. MOHANA RAO, SARAVANAN SUBBIAHRAJ and PRAVEEN C. RAMAMURTHY, Индия*

В данной статье описывается конструкция трехслойной структуры, которая должна быть нанесена на поверхность алюминиевых сплавов ВН экранов путем выбора конкретных диэлектрических материалов для каждого слоя. Далее описывается, как химический процесс вместе с его технологическими параметрами был успешно применен для того, чтобы выбранный диэлектрический материал, который широко используются в



установках ГИС, нанести на поверхность экрана из алюминиевого сплава. Указанные диэлектрические материалы применяются последовательно один на другой на поверхности проводника, причем каждый диэлектрический материал имеет свою уникальную роль в разработке трехслойной структуры сэндвича в конце процесса. Минимальная толщина, которая может быть достигнута в указанной трехслойной покрытой структуре, составляет около 100 мкм, хотя толщина может быть дополнительно увеличена в зависимости от технической необходимости и области применения и т. д.

Эти диэлектрические слои были реализованы на экранах секции с газовой изоляцией сверхвысокого напряжения и рассчитаны на выдерживаемое напряжение промышленной частоты в течение одной минуты. Измерения, относящиеся к характеристике материала диэлектрического покрытия и уровни частичных разрядов после нанесения функционального диэлектрического покрытия на экраны высокого напряжения в модели ГИС описано в этой статье.

На рис.21 показано диэлектрическое покрытие ВТ-экранов на различных этапах обработки.

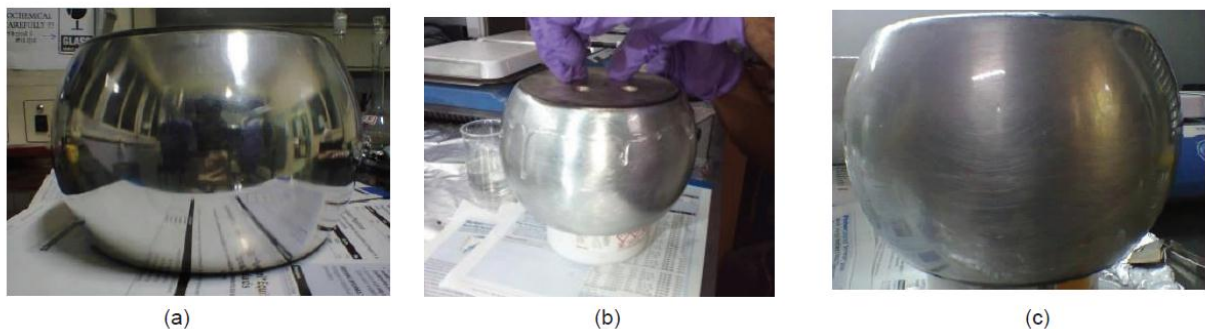


Рис. 21 АТ-экраны из алюминиевого сплава (а) до нанесения покрытия, (б) во время нанесения покрытия, (с) после нанесения покрытия

Эта работа установила химический процесс для покрытия поверхности металлических проводников, используя соответствующие диэлектрические материалы, которые содержат «трехслойную композиционную многослойную структуру».

## 12) Study of Managing Assets Support Techniques for Electric Power Equipment by Considering Life Cycle Cost (Изучение методов управления активами для электроэнергетического оборудования с учетом стоимости жизненного цикла) Т. Takahashi, Япония

В статье автор суммирует основную концепцию и одну программу поддержки с простым графическим интерфейсом для выбора лучших сценариев обслуживания масляного силового трансформатора. Автор пытается оценить по стоимости два вида затрат, один - это расходы на техническое обслуживание в обычном режиме и другой - это стоимость устранения неисправностей, включая штрафные санкции за отключение электричества. Первый представляет собой реальный денежный поток, а второй - статистически ожидаемую стоимость. Статистически ожидаемая стоимость - это не фактический денежный поток, а его оценка, учитывая важность оборудования и влияние того, когда происходит сбой.

В качестве инструмента поддержки управления активами для погруженных в масло трансформаторов и программы на основе Microsoft Excel с помощью простого графического интерфейса была разработана оценка LCC (стоимости жизненного цикла). Принята простая модель расходов на техническое обслуживание, чтобы обеспечить легкое

понимание. Выбранные сценарии проверок основаны на времени обновления в нескольких возрастах с капитальным ремонтом и без, и немедленное обновление.

**13) Data Analytics for Decision-making about Preventive Replacement and Incident Evaluation with Ageing Assets** (*Анализ данных для принятия решений о профилактической замене и оценке инцидентов с устаревшими активами*)

*R. ROSS and P.A.C. YPMA, Нидерланды*

Срок действия многих активов на северо-западе Европы составляет около полувека, в то время как их запланированный технический срок службы был изначально 40 лет. Замена является капиталоемкой, однако отключение электроэнергии является также дорогостоящим и может иметь последствия, такие как репутация и ущерб. Важная дискуссия о том, в какой степени активы могут быть сохранены в эксплуатации сверх запланированного срока эксплуатации. Как мы можем сказать, достигла ли популяция активов свой предел надежной работы? Какие стратегии эффективны при принятии решений? Насколько хорошо работают такие меры, как резервирование ненадежных активов? Что касается структуры настоящего документа, в первую очередь обсуждаются стили обслуживания или философии, которые определяют вид необходимых решений, во-вторых, статистические методы для анализа данных рассматриваются в связи с обслуживанием. В-третьих, проблема просроченных не диагностируемых активов решается для определения надежности с точки зрения оставаться ниже критического уровня опасности.

**14) Cellulose Ageing and Water Content Estimations -Correlations of Experimental Transformers Ageing to Real Transformers in Service and Post-Mortem Analyses** (*Оценки старения целлюлозы и содержания воды - соотношения экспериментальных трансформаторов с возрастом к реальным трансформаторам в сервисном и после эксплуатационном анализе*)

*Jelena Lu kic, Valentina Vasov ic, Draginja Mihajlov ic, Bran ko Pejov ic, and Srdjan Milosavljev ic  
Zoran Radakovic and Uros Radoman, Сербия*

Оценка состояния силовых трансформаторов, оценка потребляемого ресурса тесно связана с адекватной диагностикой состояния изоляции целлюлозы. Температурный цикл трансформаторов в эксплуатации, неравномерное распределение температур и содержание воды в системе изоляции, а также состояние масла, различия в растворении маркеров старения бумаги в масле вносят вклад в сложность оценки потребляемого трансформаторами ресурса на основе твердой изоляции старения.

При оценке оставшегося срока службы трансформатора, помимо данных о состоянии изоляции бумаги, необходимо знать кинетику старения масляной пропитанной целлюлозной изоляции, которая зависит от температуры и содержания воды в бумаге. Кинетика старения бумаги чаще всего описывается уравнением Аррениуса.

**15) The Development of Low-viscosity Silicone Liquid-immersed Transformer with On-load Tap Changer** (*Разработка низковязкого силиконового жидкостного трансформатора с переключателем под нагрузкой*) *H. Miyahara, A. Yamagishi, M. Kadowaki and Y. Shirasaka, T. Umezawa, Япония*

В данной статье описывается опыт производства низковязких силиконовых жидкостных трансформаторов с устройством РПН (64,5 кВ, 25 МВА). Ориентируясь на

инновации, трансформатор предназначен для пожаробезопасной работы и без вредных воздействий на окружающую среду. Основные характеристики силиконовой жидкости с низкой вязкостью заключаются в следующем.

- (1) Имеет высокую температуру воспламенения  $\geq 300$  ° С для огнестойкости.
- (2) Имеет безвредное воздействие на окружающую среду (гидролизует в почве) и пригоден для вторичной переработки.
- (3) Обладает высокой степенью устойчивости к окислению в течение длительного срока службы.
- (4) Обладает низкой вязкостью (20 мм<sup>2</sup> / с при 25 ° С) для хорошей производительности охлаждения.
- (5) Позволяет использовать трансформатор меньшего размера с помощью высокотемпературных систем изоляции.

Расходы на техническое обслуживание и эксплуатацию также снижаются за счет исключения блока масляного фильтра, вместо этого используется конструкция вакуумного клапана с синтетическим эфирным маслом, которое имеет высокую температуру воспламенения и низкую нагрузку на окружающую среду (биоразлагаемый).

Более высокая вязкость эфирных жидкостей позволяет иметь отличную смазочную способность, которая была доказано механическими испытаниями на выносливость на полных OLTC. Смазывающая способность низковязкой силиконовой жидкости уступает по сравнению с минеральным маслом и эфирными жидкостями.

Окончательное решение состояло в том, чтобы заполнить устройство РПН синтетическим эфиром и заполнить трансформатор силиконовой жидкостью с низкой вязкостью.

Синтетический сложный эфир был применен для смазывающей способности к селектору отводов OLTC силиконовая жидкость с низкой вязкостью была применена для охлаждения трансформатора. Прототип охлаждающего трансформатора ONK 66 кВ, 6000 кВА, используемый для проверки повышения температуры для сравнение силиконовой жидкости с низкой вязкостью и минерального масла показан на рисунке 23. Максимальное повышение температуры жидкости и повышение средней температуры обмотки для маловязкой силиконовой жидкости она практически эквивалентна минеральному маслу



Рис. 22 Огнестойкий трансформатор 64,5 кВ 25 МВА с OLTC.

Рис.23 Прототип низковязкого силиконового трансформатора с жидкостным погружением, 66 кВ 6MVA ONAN.

#### **16) Failure Modes of the Transformer During Short Circuit Withstand Testing (Режимы отказа трансформатора при коротком замыкании .)**

*Pra bakara n T, B M Mehra , Sum bul Munsh i, Hima ngshu Roy, Saumitra Patha k and Vipul Sharma Central Power Research Institute, STDS, Bhopal*

В этой статье рассматриваются некоторые типичные случаи отказа трансформатора во время испытаний на стойкость к короткому замыканию. Трансформатор - одно из важнейших устройств энергосистемы, определяющей надежность всей системы. Он испытывает различные электрические, механические и термические напряжения во время своей работы. Одной из причин этих напряжений является внешнее короткое замыкание, которое создает большие токи, которые представляют потенциальную угрозу его работе. Следовательно, способность выдерживать огромные токи короткого замыкания считается одной из основных характеристик трансформатора. Все элементы конструкции трансформатора проверяются во время испытаний на короткое замыкание по значению токов короткого замыкания. В дополнение к этому, процесс проектирования и проверки качества должны также стремиться контролировать силы и напряжения, создаваемые током короткого замыкания. Бак трансформатора содержит масло, которое может загореться или иногда бак может лопнуть из-за сильного давления на бак, вызванного током короткого замыкания, который может вызвать повреждение / отказ соседнего оборудования. Таким образом, испытание трансформатора на устойчивость к короткому замыканию является методом повышения надежности трансформатора.

Для предотвращения деформации из-за короткого замыкания обмотки закреплены под верхним и нижним зажимом участка с помощью стяжек. Осевая тяга в условиях повреждения минимизирует подходящий баланс ампер-витков по длине обмоток. Зажим обмоток обеспечивает механическая прочность отдельных проводников для предотвращения их изгиба. Величина силы подобна синусоидальной схеме и, следовательно, напряжение сжатия, хранящееся в обмотке, как сила приближается к нулю. Эта сила будет действовать против сердечников и концевой структуры изоляции. Все еще наиболее важным критерием является то, что все обмотки должны иметь возможность избежать смещения между собой. На рис. 24 показана радиальная и осевая сила на обмотке трансформатора.

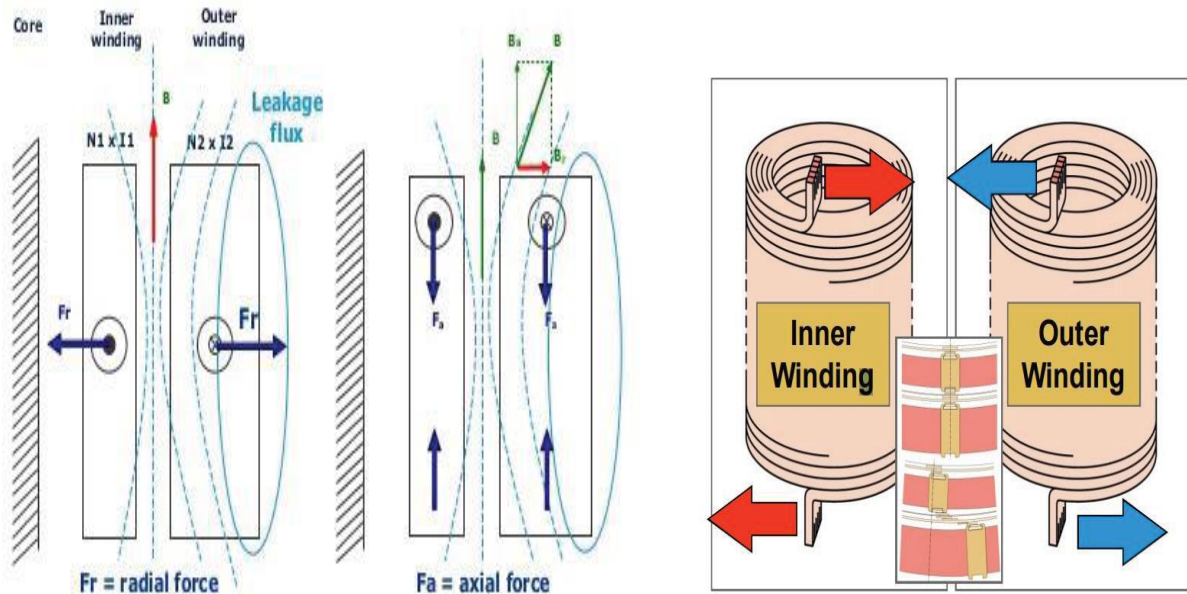


Рис. 24 Радиальная и осевая сила на трансформаторе

На рис. 25 показана обмотка трансформатора 630 кВА после испытания на стойкость к короткому замыканию. В лаборатории проверили трансформаторы до 630 кВА и 11 кВ. Для распределительных трансформаторов значение реактивного сопротивления по стандарту не должно превышать 2% или 7,5% в зависимости от типа обмоток. В большинстве случаев причиной отказа во время испытания на стойкость к короткому замыканию является изменение реактивного сопротивления обмотки (обычно увеличение).



рис. 25 Обмотка трансформатора 630кВА

После испытания, во время осмотра вне резервуара обнаружены дефекты, такие как смещение несущей конструкции, как показано на рис. 26-28. Это ставит под угрозу безопасную работу трансформатора



Рис. 26 Отказ из-за осевой силы рис.27 Утечка масла через бак Рис. 28 Возгорание на трансформаторе

Это очень важное и критическое испытание, что даже небольшая ошибка в сборке и подбору материала повлияют на результаты. Отказы трансформаторов в обслуживании общеизвестны, но причина отказа часто не ясна. Анализ отказов позволит подготовить точный сценарий и позволит разработать правильную рекомендацию, чтобы предотвратить повторение отказов в работе трансформаторов в эксплуатации.

### 3. Tutorials on Materials and Emerging Test Techniques. Учебные материалы по новым методам испытаний.

#### 1) Materials, Technologies, Testing and Diagnosis for Polymeric Overhead Lines Insulators

(Материалы, технологии, испытания и диагностика для полимерных изоляторов воздушных линий) Jens M. Seifert

Учебное пособие представлено от имени бывшей рабочей группы D1.27 (с 2009 по 2013 годы). Работа была сосредоточена на испытаниях на трекинг и эрозию материала для полимерных наружных изоляционных материалов в условиях воздействия напряжения постоянного тока. Представлен анализ результатов, полученных рабочей группой D1.27. Были проанализированы динамическое испытание на падение (ДДТ) для количественного определения удержания гидрофобности при постоянном напряжении и деградации поверхности полимерных материалов при длительных условиях эксплуатации. Был сделан вывод, что тест полезен и применим. Но результаты все еще показывают высокий недопустимый разброс. Таким образом, было решено продолжить работу в новой рабочей группе (D1.58) и улучшить настройку испытаний и спецификацию испытаний. Типичные методы диагностики для полимерных изоляторов воздушных линий были изучены и была дана рекомендация по их применению в технической брошюре. Рекомендуемые методы диагностики применимы для всех видов полимерных материалов переменного и постоянного тока.

#### 2) High-Voltage On-Site Testing with Partial Discharge Measurement (Высоковольтные испытания на площадке с измерением частичного разряда), R. Pietsch

Учебное пособие представлено от имени бывшей рабочей группы D.1.33.

В процессе цикла эксплуатации высоковольтного оборудования или систем выполняется большое количество различных испытаний и измерений для определения состояния изоляции. Результаты таких испытаний и измерений должны заноситься в «учетные записи об эксплуатации», обеспечивающие информации о тенденциях диагностики значений.

Представлены примеры испытаний высоким напряжением на площадке с измерением ЧР (рис.29).

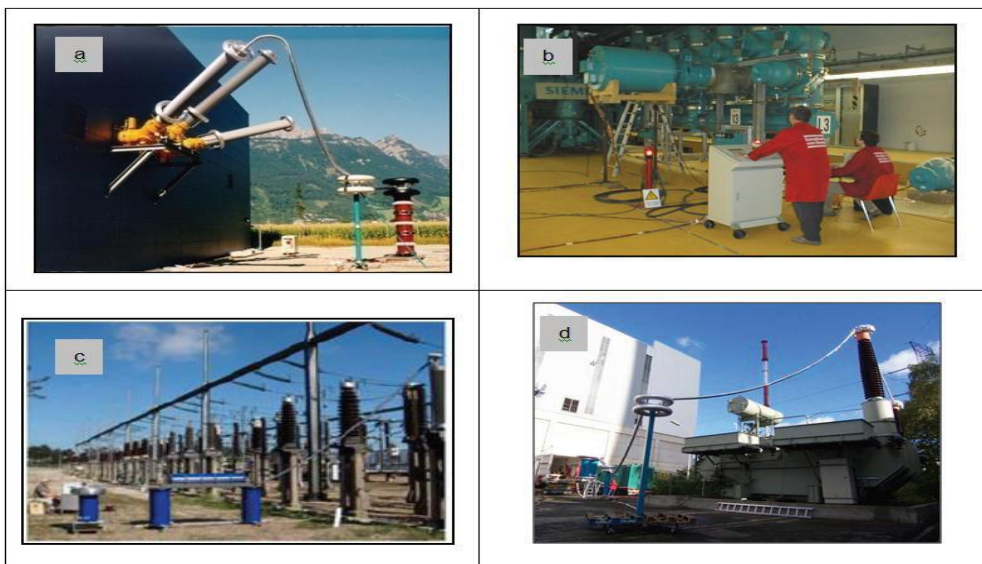


Рис.29

- (a) Испытание газозащищенного распределительного устройства (GIS) 400 кВ с использованием системы испытаний модульных реакторов (резонансная схема с настраиваемой частотой)
- (b) Испытание газозащищенного распределительного устройства (GIS) 400 кВ с использованием системы испытаний с реактором прямого подключения
- (c) Испытание системы высоковольтных кабелей 150 кВ с использованием системы испытаний (затухающее переменное напряжение)
- (d) Испытание силового трансформатора 400 кВ/433 МВА с использованием статического преобразователя частоты.

На Рисунке 30 представлена мобильная измерительная система на основании преобразователя частоты при испытании ступенчатого трансформатора 400 МВА. Все испытания контролируются компьютером.

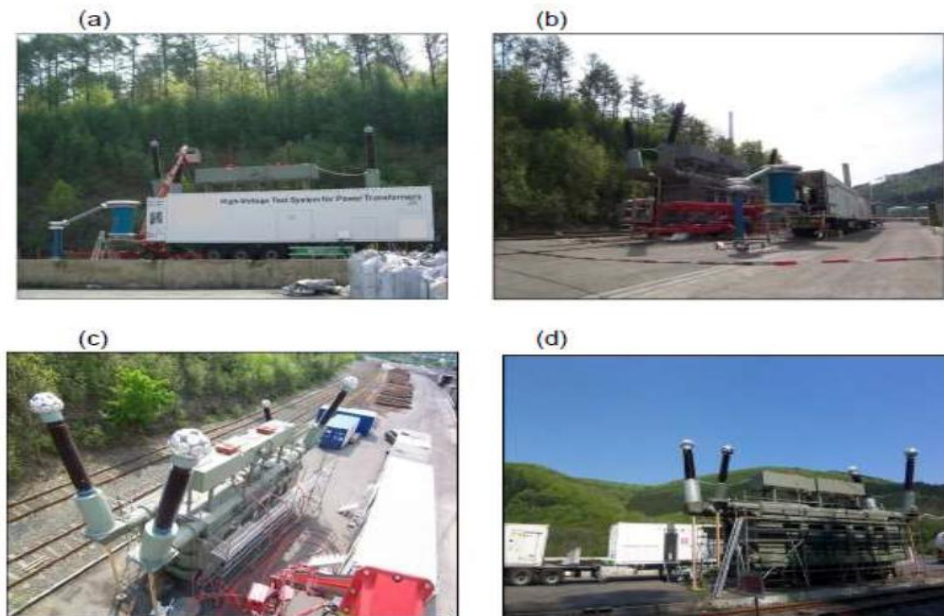


Рис. 30 Мобильная испытательная система на основании преобразователя частоты при испытании ступенчатого трансформатора 400 МВА. На Рисунках (a) и (b) показано испытание подаваемым напряжением, а на рисунках (c) и (d) представлено испытание наведенным напряжением.

В полном объеме результаты исследований представлены в ТБ 502, 2015 год, На основании практических примеров в данной брошюре рассматриваются эффективные испытания высоким напряжением на площадке в сочетании с измерением частичного разряда (ЧР). Целью данного документа является представление информации и рекомендаций для выполнения таких испытаний для различного типа оборудования. Испытание высоким напряжением на электрическую прочность играет важную роль для обеспечения качества высоковольтного оборудования. Тем не менее дополнительные измерения диэлектрических свойств, таких как значимые величины ЧР и коэффициент потерь  $\tan \delta$ , могут повысить надежность и увеличить оставшийся срок эксплуатации электрической изоляции. В данном документе представлены типовые методы, используемые для испытания на площадке высоковольтного оборудования, такого как системы с газовой изоляцией (GIS), кабельные системы, вращающееся машинное оборудование и силовые трансформаторы. Также рассматриваются преимущества и

ограничения для испытаний данного оборудования высоким напряжением на площадке в сочетании с измерением ЧР.

#### **4. Заседание Исследовательского комитета D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»**

**19 ноября 2019 года** состоялось закрытое заседание Исследовательского комитета D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики».

В заседании приняли участие регулярные и наблюдательные члены исследовательского комитета D1 – представители национальных комитетов стран участников СИГРЭ, а также гости, присутствие которых было одобрено руководством исследовательского комитета D1.

На закрытом заседании комитета были рассмотрены, в частности, следующие вопросы:

##### **4.1 Активность исследовательского комитета D1 в 2018 году:**

Сообщено об изменениях в работе рабочих групп:

##### **Создана новая рабочая группа:**

D1.72 «Испытание сопротивления материала искрению поверхности под постоянным током»

##### **Расформированы РГ:**

D1.48 «Свойства изоляционных материалов под напряжением сверхнизкой частоты»

D1.51 «Диэлектрические характеристики систем с газовой изоляцией»

D1.52 «Измерение влажности электроизоляционных жидкостей и изоляции трансформаторов – оценка твердотельных датчиков и химических методов».

D1.53 «Старение модернизированной целлюлозы и целлюлозы, пропитанной эфиром жидкостей и других жидкостей»

Общее количество активных РГ, СРГ: 24 (19 РГ D1, 3 СРГ D1 / X, 2 JWG A2 / D1

##### **4.2 Публикации в 2018 году документы Electra - исключая резюме**

ТВ), справочные документы, технические брошюры, документы CSE.

SIGRE TB 730 «Диэлектрические показатели экологически безопасных газоизолированных систем» (РГ D1.51), июнь 2018 г.

SIGRE TB 738 «Старение пропитанной жидкостью целлюлозы в трансформаторах» (РГ D1.53), август 2018 г.

SIGRE TB 741 «Измерение и оценка влажности электроизоляционных жидкостей и трансформаторов - оценка химических методов и влагоемкость датчики », (WG D1.52), август 2018 г.

##### **Публикации на 2019 год**

ТВ xxx Требования к методам испытаний UHV (РГ D1.36)

ТВ xxx Достижения в интерпретации DGA (JWG D1 / A2.47)

ТВ xxx Системы мониторинга DGA (JWG D1 / A2.47)

ТВ 751 Электрические свойства изоляционных материалов под напряжением сверхнизкой частоты (РГ D1.48), 02/2019

ТВ xxx Коэффициенты атмосферной и высотной коррекции для воздушных зазоров и чистоты изоляторов (РГ D1.50)

ТВ xxx Принципы и методы измерения сопротивления переменного и постоянного тока проводники кабелей и воздушных линий (РГ D1.54)

ТВ xxx Оценка поля в системах электроизоляции (WG D1.56)

ТВ xxx Диэлектрические испытания систем HVDC с газовой изоляцией (СРГ D1 / B3.57)

ТВ xxx Гармонизированный тест для измерения остаточных легковоспламеняющихся газов в изоляционных материалах методом газовой хроматографии (JWG D1 / B1.49),



будет опубликовано в 1 квартале 2020 года

#### **4.3. Сообщение о деятельности IEEE Transformer Committee**

У SC D1 сложились хорошие отношения с соответствующими техническими комитетами IEC; часто эксперты CIGRE SC D1 работают в рабочих органах IEC и наоборот.

Основными партнерами IEC являются:

ТС2 «Вращающиеся машины»

ТС 9 «Координация изоляции и проектирование систем»,

ТС10 «Жидкости для электротехнического применения»

ТС14 «Силовые трансформаторы»

Т С 36 «Изоляторы»

ТС 90 «Сверхпроводимость»

ТС 112 «Оценка и пригодность электрических изолирующих материалов и систем».

#### **4.4 Конкретные действия по подбору молодых специалистов Место женщин в ИК**

Особое внимание уделяется этим вопросам. Существует общее мнение, что SC D1 должен быть открытым молодым специалистам в максимально возможном количестве групп, и женщины-эксперты приветствуются.

#### **4.5 Веб-сайт SC:**

Веб-сайт D1 содержит соответствующую информацию для членов D1 и экспертов (РГ).

Веб-сайт обновляется всякий раз, когда необходимо внести изменения.

#### **5. Техническая выставка**

В рамках коллоквиума прошла техническая выставка. Среди павильонов крупные международные компании, таких как: ABB, SIEMENS, ENPAU, TBEA, TRENCH и другие.

#### **6. Технический визит**

Для участников Коллоквиума состоялся технический визит на терминалы постоянного тока  $\pm 800$  кВ в Агре.

Терминал Agra HVDC является инверторной станцией первого в мире проекта HVDC  $\pm 800$  кВ мощностью 6000 МВт и общей длиной линии около 1700 км. Одна станция с бипольным выпрямителем расположена в Бисванате Чариали (Ассам), а вторая - в Алипурдуаре (Западная Бенгалия). Этот проект HVDC был предусмотрен для передачи большой мощности из северо-восточного региона Индии. Северо-восточный регион Индии обладает большим гидроэнергетическим потенциалом порядка 50 ГВт, который требуется для передачи в центры нагрузки северных / западных и южных районов Индии. Каждый полюс многополюсного проекта HVDC имеет непрерывную мощность 2000 МВт, то есть возможность перегрузки 33%, которая может быть использована для компенсации полной мощности при потере одного полюса путем увеличения потока мощности на трех других доступных полюсах.

#### **7. Заключение**

По итогам совместного Коллоквиума по Исследовательскому комитету D1 СИГРЭ можно отметить следующие наиболее обсуждаемые ключевые вопросы:

- разработка новой философии диэлектрических испытаний систем HVDC с газовой изоляцией;
- режимы отказа трансформаторов при коротком замыкании;
- опыт производства низковязких силиконовых жидкостных трансформаторов;
- достижения в обнаружении частичного разряда при напряжении постоянного тока;
- модульные испытательные системы постоянного тока для испытания длинных кабелей постоянного тока;
- диэлектрические характеристики и испытания систем HVDC с газовой изоляцией

Совместный коллоквиум предоставил прекрасную возможность пообщаться с большим количеством технических специалистов со всего мира.