СИГРЭ. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМИТЕТ D1 «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

АВТОР:

ЯРМАРКИН М.К.,
К.Т.Н.,
ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

В августе 2012 г. в Париже прошла 44-я Сессия Международного Совета по большим электроэнергетическим системам CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques). В рамках сессии проводятся заседания всех исследовательских комитетов (ИК) и рабочих групп CIGRE. В предыдущих номерах мы рассказали о деятельности шести Исследовательских комитетов (ИК): A2 «Трансформаторы», B4 «Оборудование электропередач постоянного тока высокого напряжения и мощной силовой электроники», C6 «Системы распределения электроэнергии и распределенная генерация», B2 «Воздушные линии» и B3 «Подстанции», B1 «Изолированные кабели». В настоящем номере мы представляем отчет о работе Исследовательского Комитета D1 «Новые материалы и технологии».

Ключевые слова: изоляционные материалы, диэлектрики, старение изоляционных материалов, сверхвысокое напряжение, диагностика.

Исследовательский Комитет D1 CIGRE «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики»

Исследовательский комитет ИК D1 («Новые материалы и технологии») СИГРЭ основан в 1927 году. В сфере деятельности комитета находятся вопросы, связанные с разработкой и внедрением в эксплуатацию новых материалов и технологий, создаваемых для электросетевых комплексов. Комитет видит свою миссию в активном содействии международному обмену знаниями и технологиями в области разработки новых материалов и современных методов их испытаний. Деятельность комитета ИК D1 концентрируется на проблемах связанных с мониторингом и оценкой:

- новых и перспективных материалов для электротехники;
- методов диагностики и испытаний, которые предположительно окажут существенное влияние на энергетические системы в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Комитет также активно сотрудничает с другими исследовательскими комитетами СИГРЭ, рассматривая и анализируя представляемые и обсуждаемые в этих комитетах материалы, новые методы испытаний и диагностики.

В данный момент работа в комитете идет по следующим предпочтительным темам направления D1 СИГРЭ:

1. Диэлектрики и старение изоляционных материалов.
2. Испытания на сверхвысоком напряжении, включая постоянное напряжение.
3. Средства диагностики.

По первой предпочтительной теме «Диэлектрики и старение изоляционных материалов» всего было представлено 11 докладов.

В докладе D1-101 Ю.В. Торшина (Россия) «Предсказание импульсного напряжения пробоя трансформаторного масла на основании анализа предразрядных явлений» представлен первый этап создания нового метода инженерного расчета маслонаполненных трансформаторов, который учитывает подробную физическую картину разрушения изоляции. Использован современный комплекс методов исследования разряда в широком диапазоне изменения экспериментальных условий, которые отражают особенности конструкции и эксплуатации главной изоляции силовых трансформаторов. Установлено, что пробою масла предшествует этап возникновения вспышки. Этот механизм сходен в разных сортах минерального масла. В ходе исследования определены критические параметры вспышечной стадии пробоя. Предложен новый метод прогнозирования пробивного напряжения для продуктов переработки нефти, используемых в промышленности.

В докладе D1-102 авторов A. Schaut, S. Eeckhoudt (Бельгия) «Влияние присадок триазола на свойства трансформаторного масла» обсуждаются проблемы, связанные с обнаружением в трансформаторных маслах недекларированных примесей триазола. В ходе лабораторных исследований контролировались стойкости к разложению и окислению и выделение коррозионной серы. Стабильность соединения определяли путем нагрева в соответствии со стандартом IEC 61125. После нагрева масла в течение 24 ч. примеси триазола не обнаруживались. В присутствии медных катушек процесс ускоряется. С целью проверки влияния меди на устойчивость к окислению провели тест в соответствии с IEC 61125, сначала без предварительной обработки, а потом после различной степени очистки ионнообменной смолой. Установлено, что в ходе очистки улучшалась только устойчивость к окислению.

В докладе D1-103 авторов . Y. Bertrand, C. Tran-Duy, V. Murin, (Франция) A. Shaut, S. Autru, S. Eechhoudt (Бельгия) «Распределительные трансформаторы низкого и среднего напряжения: исследование признаков старения бумаги» обсуждается необходимость оценки остаточного ресурса распределительных трансформаторов низкого и среднего напряжения, когда установленный парк является довольно большим, как, например, во Франции. EDF R & D совместно с LABORELEC провели исследование с целью поиска маркеров, позволяющих контролировать процесс старения крафт-бумаги, используемой для изоляции распределительных трансформаторов (рис. 1). Установлено, что метанол MeOH – прекрасный маркер для идентификации ранней стадии деградации бумаги.

В докладе D1-104 авторов B. A. Arafa, A. Nosseir (Египет) «Влияние песчаных бурь на работу полимерных изоляторов» указано, что исходные электрические и физические свойства внешней изоляции могут существенно ухудшаться в условиях пустыни при воздействии сильных песчаных бурь. Частицы песка накапливаются на поверхности изоляторов либо в ходе длительного времени, когда песок постепенно оседает на изоляторе, либо быстро – при песчаных бурях. В пустынных районах почти ежегодно возникают песчаные бури, и песок осаждается на поверхности изолятора в течение нескольких часов. В докладе представлены результаты, полученные при реализации обширного исследовательского проекта. В целях изучения долгосрочного влияния песчаных бурь на физические и электрические характеристики изоляторов из силиконовой резины полимерные

изоляторы были подвержены воздействию искусственных песчаных бурь с размером зерен песка менее 150 мкм и скоростью воздушного потока 5 м/с в течение длительного времени в диапазоне от 30 до 150 часов.

В докладе D1-105 авторов R. Frotsher , D. Dukovic, M. Jovalekic, S. Tenbohlen (Германия), J. Harthun, C. Perrier (Германия/Франция), M. Schafer (Германия) «Поведение синтетических жидких диэлектриков при электрических и тепловых воздействиях — от лабораторных измерений к практическому использованию» указано, что синтетические жидкости могут быть альтернативой обычному минеральному маслу в случаях, когда не требуются высокая экологическая и пожарная безопасность. Опыт эксплуатации, полученный на различных установках, показывает, что синтетические жидкости могут быть успешно использованы в трансформаторах всех размеров. Однако, ввиду различных функциональных требований могут быть использованы электродные системы, создающие однородные или весьма неоднородные электрические поля (рис. 2). Для неоднородных конфигураций синтетические жидкости показывают более низкую диэлектрическую прочность, чем минеральные масла, что приводит к снижению выдерживаемого напряжения. Это обусловлено различиями в механизме распространения разряда в сравнении с минеральным маслом. Природные диэлектрики нуждаются в герметичных уплотнениях, поскольку наличие кислорода влияет на диэлектрические параметры и увеличивает вязкость до неприемлемого уровня. Чтобы сохранить жидкость в определенном состоянии, попадание кислорода и влаги должно быть ограничено. Увеличение вязкости требует определенной корректировки системы охлаждения обмоток трансформатора и пропитки бумажной изоляции.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАСЛА С КРАФТ-БУМАГОЙ В ТРАНСФОРМАТОРЕ

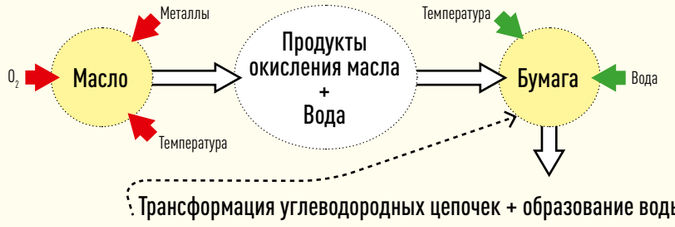

Рис. 1

По той же причине возникают ограничения на применение масла при температуре ниже -10 °C.

В докладе D1-106 авторов Y. Z. Lv, Y. F. Du, J. Q. Zhou, X. X. Li, M. T. Chen, C. R. Li, G. L. Wang (Китай) «Влияние наночастиц на электрическое старение минерального масла» предложен новый тип трансформаторной изоляции на основе минеральных масел с примесью полупроводниковых наночастиц для улучшения стойкости к старению и влагостойкости. В ходе работы было выполнено ускоренное старение изоляции при температуре 130 °C в течение 6 дней. Исследовалось напряжение пробоя при переменном и импульсном напряжении, а также напряжение возникновения частичных разрядов как в чистом минеральном масле, так и в наножидкости с различной влажностью. Установлено, что электрическая прочность при переменном и импульсном напряжении наножидкости оптимального состава выше, чем в чистом масле. Длительность развития пробоя в наножидкости более чем на 60% больше по сравнению с чистым маслом, поскольку заметно снижается скорость

КОНФИГУРАЦИЯ ЭЛЕКТРОДОВ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ НЕОДНОРОДНОСТИ

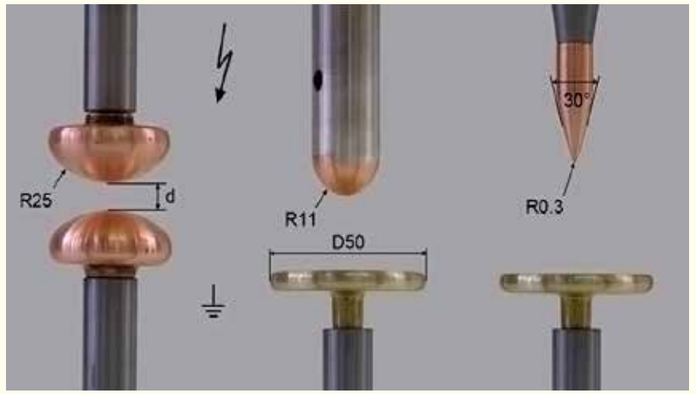

Рис 2

V Всероссийская кадровая конференция ТЭК
«Роль человеческого капитала и социальной политики в энергетической стратегии России»
Минэнерго России

20 НОЯБРЯ 2014 г.

Международный конгрессно-выставочный комплекс «МосЭкспо» (г. Москва, ВДНХ, павильон 75)

В программе конференции:

Панельная дискуссия | Обучающий семинар для специалистов кадровых служб | Круглый стол

Подробная информация о конференции на сайте www.epp-expo.com/ru

реклама

Рис 3. Устройство для измерения способности изолирующих жидкостей поглощать газ, выделяемый при электрическом разряде

распространения стримера между электродами. Следует отметить, что влагостойкость наножидкости значительно улучшается при высоком влагосодержании.

В докладе D1-107 авторов J. Walker, F. Valot (Франция), Z.D.Wang, X. Yi, Q. Liu (Англия) «Новые альтернативные диэлектрические жидкости для трансформаторов на основе монобензолтолуола и дибензолтолуола» рассмотрены свойства вещества моно/дибензолтолуол (M/DBT) на основе синтетических ароматических углеводородов. Это изоляционная жидкость определена стандартом МЭК 60867 как производное метилполиакрилметана. В высоковольтных конденсаторах M/DBT используется более 25 лет. Также он был одобрен для применения в емкостных трансформаторах напряжения и вводах. Исследовались характеристики диэлектрических жидкостей с определенной долей M/DBT (рис. 3). Результаты подтверждают, что при добавлении 3–10% M/DBT прекращается газовыделение, а также могут быть подавлены ЧР как в масле, так и природном эфире. При этом напряжения пробоя и 1%-ное выдерживаемое напряжения исследуемых жидкостей и их смесей практически не меняются.

В докладе D1-108 авторов P. Wiklund, A. Biverstal, B. Pahlavanpour, J. Nunes (Бразилия) «Исследование образования низкомолекулярных кислот при старении целлюлозы в минеральном масле» отмечено, что целлюлоза в виде бумаги и картона в сочетании с минеральным маслом по-прежнему доминирует в системах изоляции в большинстве конструкций трансформаторов. В работе исследовалось совместное старение целлюлозы и масла. Сопоставлены результаты старения целлюлозы в условиях повышенной температуры при наличии бумаги и без нее. Результаты испытаний показали, что на начальной стадии старения бумага может поглотить определенное количество низкомолекулярных (летучих) кислот, которые образуются при окислении масла. Возможно именно поэтому проходит несколько лет до начала какого-либо изменения кислотности масла в новых трансформаторах. Обнаружено, что в присутствии бумаги старение масла существенно замедляется.

В докладе D1-109 авторов Y. Onki, N. Hirai, T. Yamamoto, T. Minakava (Япония) «Опыт обследований и эксплуатации кабелей с полиэтиленовой изоляцией, используемых на атомных станциях в Японии» описаны исследования, выполненные с целью разработки надежного метода мониторинга и оценки степени деградации полимерной изоляции кабелей, позволяющего определить местоположение дефекта в кабеле путем измерения амплитуды и фазового угла в диапазоне частот от 1 до 110 МГц. Для анализа спектров использовали быстрое преобразование Фурье (IFFT). Испытания проводили на отрезке кабеля длиной 25 м с изоляцией из огнестойкого этилен-пропиленового каучука (FR-EPR), часть которого была обработана лучами в течение 4000 часов с интенсивностью 1 кГр/ч при температуре 100 °С (с общей дозой облучения 4 МГр). Результаты показали, что для применения предложенного метода на атомных электростанциях его чувствительность необходимо существенно увеличить.

В докладе D1-110 авторов H. Hama, S. Okabe, M. Miyashita (Япония) «Старение изоляционных материалов в благоприятных условиях внутри компактного газоизолированного оборудования» обсуждается старение изоляционных материалов, используемых для изготовления твердой изоляции и диэлектрических покрытий и в герметизированном оборудовании с элегазовой изоляцией, в том числе функционально-градиентных материалов (ФГМ). Обсуждаются три направления исследований: во-первых, влияние размера микроскопического дефекта внутри твердого изолятора. Установлено, что наиболее опасный тип дефекта – трещина; во-вторых, были исследованы характеристики толстых и тонких диэлектрических покрытий на электродах высокого напряжения, позволяющие в 1,5 раза увеличить напряженность электрического поля по сравнению с электродом без покрытия. В-третьих, исследована возможность расширение срока службы оборудования путем применения изоляторов на основе FGM. Сделан вывод, что совершенствование метода оценки старения твердых изоляционных материалов и диэлектрических покрытий – одно из основных условий для реализации компактного элегазового оборудования.

В докладе D1-111 авторов J.C. Duart (Швейцария), L.C. Bates, E.W. Key (США), R. Asano JR (Бразилия), L. Cheim, D.B. Cherry, C.C. Claiborn (США) «Термическое

старение целлюлозы в натуральных жидких диэлектриках в гибридных изоляционных системах» описана необходимость применения новых и традиционных материалов при изготовлении трансформаторов. Предложено использовать преимущества высокотемпературных материалов, таких как NOMEX® в самых нагретых частях, что позволяет снизить скорость теплового старения, в то время как остальные элементы изоляции выполнены из традиционных материалов на основе целлюлозы. В последнее время всё чаще используются природные эфиры с высоким содержанием олеиновой кислоты, таких как BIOTEMP®. В связи с высокой стабильностью этой жидкости использование гибридных систем возможно при более высокой температуре. Результаты исследований показывают, что старение целлюлозной платы, а также крафт-бумаги в естественном жидком эфире происходит медленнее, чем в минеральном масле.

По второй предпочтительной теме «Испытания на сверхвысоком напряжении, включая постоянное напряжение» всего представлено 5 докладов.

В докладе D1-201 авторов А. Лоханин, А. Корякин, О. Волкова (Россия) «Выбор формы испытательного импульса коммутационных перенапряжений и влияние атмосферных условий на наружную изоляцию сверхвысокого напряжения» приведены результаты экспериментальных исследований электрической прочности изоляционных конструкций оборудования сверхвысокого напряжения (выше 800 кВ). Длина фронта испытательного импульса коммутационных перенапряжений менялась в пределах от десятков мкс до 5500 мкс. Обнаружено, что внешняя изоляция оборудования класса напряжения 1000–1200 кВ обладает минимальной электрической прочностью при длительности фронта апериодического импульса в интервале 400–800 мкс. Для испытания внешней изоляции электрооборудования сверхвысокого напряжения (1000–1200 кВ) предлагается принять в качестве стандартного коммутационного импульса периодический импульс с длительностью фронта 500 мкс и/или однополярный колебательный импульс с длительностью фронта 1000 мкс. Обнаружено также существенное снижение разрядного напряжения внешней изоляции в процессе снижения температуры воздуха до отрицательной (Т <0 °С). Установлено, что рекомендованные МЭК 60060-1 поправочные коэффициенты на атмосферные условия, действительные для области положительных температурах воздуха, не могут быть распространены в область отрицательных температур воздуха.

В докладе D1-202 авторов M. Marzinotto, G. Mazzanti (Италия) «Оценка электрического поля в толще изоляции экструдированных кабелей высокого напряжения постоянного тока на основе измерения объемного заряда» предлагается метод измерения объемных зарядов в полномасштабных образцах экструдированных кабелей HVDC. Цель работы — оценить электрическое поле в изоляции кабеля в различных условиях. Такая процедура может быть использована в предварительных квалификационных испытаниях для получения характеристик кабелей, а результаты могут быть полезны для того, чтобы не проводить испытания новых кабелей, изготовленных с такой же изоляцией и полупроводниковыми элементами, но разной геометрией поперечного сечения. Следует отметить, что общего мнения о пределах пространственного заряда не существует. Однако изменения электрического поля в изоляции по отношению к полю Ла-

ПРИГЛАШАЕМ В НАШ АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ

Широкий охват специалистов электросетевого комплекса, профессиональная площадка для публикации результатов своих исследований, опытно-конструкторских работ, а также практики внедрения и эксплуатации электротехнического оборудования.

Адрес издательства: г. Москва, Каширское шоссе, д. 22, корп. 3.
Тел. редакции: +7 (495) 727-19-09 (доб. 1731).
Факс: +7 (495) 727-19-08.
e-mail: editor@ntc-power.ru

реклама

ИНФОРМАЦИЯ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ ПО БОЛЬШИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ, СИГРЭ

СИГРЭ создан в 1921 г. во Франции и на сегодняшний день является одной из наиболее авторитетных научно-технических ассоциаций, которая объединяет ученых и специалистов-энергетиков всего мира и оказывает сильное влияние на формирование стратегии развития отрасли многих стран. Членами СИГРЭ в настоящее время являются около 80 стран.

Штаб-квартира СИГРЭ расположена в Париже. Президентом СИГРЭ в настоящее время является Клаус Фрелих (Швейцария). В мае 2014 года назначен новый Генеральный секретарь — Филипп Адам (Франция).

Главным мероприятием СИГРЭ является пленарная сессия, проводимая 1 раз в 2 года в Париже. Структура СИГРЭ включает руководящие органы (Генеральная ассамблея, Административный совет, Управляющий комитет и Технический комитет) и 16 постоянно действующих исследовательских комитетов.

Рис. 4. Общий вид установки для исследования грозовых импульсов D1-203

пласа свидетельствует о состоянии изоляции.

В докладе D-203 авторов M. Hinow, R. Pietsch, T. Steiner, H. Scharz (Германия) «Исследование грозовых импульсов в условиях высокой определенности» рассмотрено известное явление наложения колебательного процесса на испытательный грозовой импульс, связанное с действием паразитных индуктивностей в испытательной установке. Это явление известно как выброс напряжения (рис. 4). На установке с хорошо определенными индуктивностями выполнены измерения электрической прочности промежутка «стержень – плоскость» и «сфера-плоскость» в воздухе при воздействии грозового импульса, причем величина выброса по амплитуде менялась в пределах от 5 до 20%, а частота – в пределах от 230 до 800 кГц. При отрицательной полярности пробой происходил на амплитуде импульса. Влияние выброса ограничено временем 0,5 нс после амплитуды. В этих условиях выбросы не оказывают влияния на пробой промежутка, который определяется только амплитудой грозового импульса. Иная ситуация происходит при импульсах положительной полярности. Пробой происходит на «хвосте» импульса, до 2 нс после амплитуды. В этом случае выбросы оказывают большее влияние на пробой изоляционного материала. Поэтому для каждого материала следует определить индивидуальный коэффициент для положительной и отрицательной полярностей импульса.

Доклад D1-204 авторов S. Okabe, T. Tsuboi, G. Ueta, Y. Yamagata, E. Zaima (Япония) «Исследование влияния формы грозовых импульсов при испытаниях оборудования ультравысокого напряжения» состоит из двух разделов. В первом из них обсуждается реально получаемая форма грозового импульса и его соответствие действующим стандартам. Во втором разделе рассмотрена методика оценки коэффициента k, позволяющего сопоставить реальную и нормированную формы грозового импульса. Основные положения доклада:

1. Емкость испытываемого оборудования сверхвысокого напряжения составляет 5–15 пФ и более. В соответствии с фактическими результатами и расчетами, для получения формы импульса с выбросом менее 10% необходимая длина фронта импульса достигает 2,2 мкс и даже превосходит 3,0 мкс.
2. Эксперименты на моделях большого размера показывают, что уменьшение длины фронта импульса менее 3,6 мкс оказывает лишь незначительное влияние на получаемые характеристики изоляции. С другой стороны, электрическую прочность можно проверить на большей длине фронта.
3. Предлагаемый метод, основанный на анализе основной кривой, позволяет оценить коэффициент более точно.
4. В соответствии с экспериментальными результатами, метод оценки коэффициента k достаточно эффективен и для класса сверхвысокого напряжения.
5. Для оценки коэффициента k желательно иметь возможно малую величину, не превосходящую 10%.
6. Поскольку с увеличением размеров оборудования коэффициент k имеет тенденцию уменьшаться, возможно, что в будущем существующая величина должна быть скорректирована для класса сверхвысокого напряжения.

В докладе D1-205 автора Y. Li (Австралия) «Линейность коэффициента деления и ее связь с параметрами формы импульса в импульсных делителях ультравысокого напряжения» представлены результаты испытаний и исследования линейности характеристик делителя напряжения на напряжение до 2400 кВ (рис. 5). Сделан вывод, что уменьшение нелинейности коэффициента деления менее чем на 3% и нелинейности временных параметров менее чем на 5% в диапазоне сверхвысоких напряжений затруднительно. Для получения более точных результатов необходимы другие методы измерений.

По третьей предпочтительной теме «Средства диагностики» всего представлено 14 докладов. Ниже приводится обзор некоторых из них.

В докладе D1-301 авторов A. Anandkuraman, H.G. Sedding (Канада) «Контроль старения кабелей на атомных электростанциях» отмечено, что кабельные системы имеют решающее значение для безопасной, надежной и экономичной эксплуатации атомных электростанций. Обсуждается эффективность различных химических, механических и электрических методов испытания. Оказалось, что электрические методы испытаний, (например, определение выдерживаемого переменного напряжения, измерение уровня частичных разрядов (ЧР) и различные методы измерения диэлектрических потерь) были признаны эффективными для кабелей среднего напряжения. Однако они имеют ограниченное применение для кабелей низкого напряжения в связи с отсутствием определенных точек заземления. Вместо этого более эффективна оценка состояния кабелей низкого напряжения на основе химического анализа материалов изоляции и оболочки кабелей.

В докладе D1-302 авторов G. Csepes, B. Nemeth, C. Voros (Венгрия) «Экспертная система для интерпретации результатов диагностики силовых трансформаторов» рассмотрен спектр методов, используемых для контроля изоляции силовых трансформаторов. Многие классические методы (измерение сопротивления изоляции, коэффициента поглощения, изменение тангенса угла потерь, измерения содержания воды и т. д.) используются в течение многих десятилетий. Диагностика таких сложных систем, как неоднородные изоляции, с учетом температуры, увлажнения и процессов старения чрезвычайно трудна.

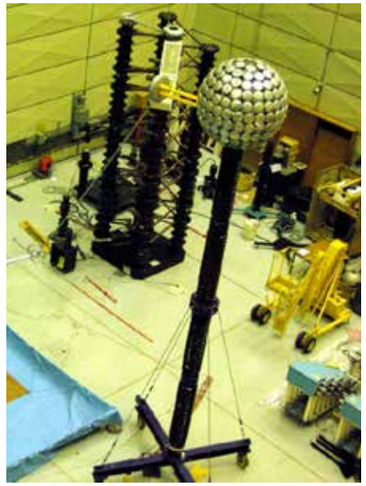

Рис. 5. 2400 кВ импульсный делитель напряжения и 2800 кВ импульсный генератор

В докладе D1-307 авторов S. S. Zheng, C. R. Li, Z. G. Tang, W. Z. Chang, B. Zhou (Китай) «Контроль частичных разрядов в трансформаторах в сверхширокополосном радиодиапазоне» указано, что обнаружение источников ЧР в силовых трансформаторах имеет большое значение для оценки состояния изоляция и диагностики. Акустические и электрические методы в настоящее время часто малоэффективны из-за низкой чувствительности и плохой маневренности. Предложен новый метод определения местоположения источника ЧР на основе временных различий радиочастотных волн в сверхширококом диапазоне изменения частоты. Влияние железного сердечника и медных обмоток на распространение радиоволн моделируется с помощью метода конечных разностей во временной области. Изучен спектр типичных ЧР. Результаты свидетельствуют, что все ЧР происходят в масле на частотах до 4 ГГц. Найдено оптимальное положение датчиков ЧР, позволяющее избежать ошибок, вызванных дифракцией волн на сердечнике. Выполнены полевые испытания на трансформаторе класса 220 кВ. Чувствительность предложенного метода для измерения ЧР в обмотках ниже 500 пКл: погрешность измерения времени не более чем 0,5 нс, погрешность определения места расположения дефекта – не более 0,3 м.

В докладе D1-308 авторов A. Girodet, S. Fifi, D. Gautschi, G. Luna, R. Lebreton (Франция). «Обнаружение дефектов при сверхвысокочастотных измерениях в пофазно экранированных и трехфазных газоизолированных системах, а также в силовых трансформаторах» описано применение техники измерений на сверхвысокой частоте (СВЧ) для контроля состояния газоизолированных систем (ГИС) и силовых трансформаторов. Выполнены измерения затухания на различных компонентах ГИС и в полностью собранном состоянии. Показано, что передача сигналов СВЧ зависит от положения переключающего устройства (замкнут или разомкнут) и от положения устройства внутри подстанции. Силовой трансформатор имеет иную структуру по сравнению с ГИС. Бак трансформатора, магнитный сердечник и обмотки способны изменить распространение СВЧ. В то время как в ГИС, как правило, достаточно иметь два датчика, чтобы найти источник ЧР, то для силовых трансформаторов необходимы четыре СВЧ-датчика, расположенных в исследуемой области. Для силовых трансформаторов с несколькими корпусами установка датчиков СВЧ в сочетание с акустическими в каждом элементе позволяет локализовать даже несколько источников ЧР.

В докладе D1-309 авторов F. Garnacho, M.A. Sanchez-Uran, J. Ortego, F. Alvares, O. Perpinan, E. Puelles, R. Moreno, D. Prieto, D. Ramos (Испания) «Новая методика определения условий работы оборудования высокого напряжения, основанная на измерении частичных разрядов в процессе эксплуатации» описывается новая система измерения уровня ЧР, разработанная в электрическом отделе инженерии Политехнического университета Мадрида и эксплуатируемая в течение последних двух лет в Gas Natural Fenosa (Мадрид). Существенная особенность данной системы – наличие большого количества датчиков ЧР, размещенных в сети высокого напряжения, выделение сигналов ЧР на фоне помех, определение чувствительности измерений ЧР, идентификация и локализация существующих источников ЧР и корреляция между каждым источником ЧР и связанных с ним дефектов.

В докладе D1-310 авторов I.J. Seo, J.Y. Koo, Y.J. Lee, B.W. Lee, J.T. Kim, J.H. Lee (Корея) «Идентификация дефектов изоляции на основе статистического анализа частичных разрядов при постоянном напряжении» отмечена актуальность разработки системы контроля высоковольтного оборудования постоянного напряжения. В 2001 г. авторы предложили метод хаотического анализа ЧР (ХАЧР) для систем переменного тока, основанный на анализе двух последовательных импульсов и включающий контроль соотношения амплитуд импульсов, интервала времени между ними и величины приложенного напряжения. В докладе описан модифицированный метод ХАЧР для анализа ЧР, возникающих в аппаратах постоянного тока во время эксплуатации. На первой стадии исследования были выполнены на искусственно введенных дефектах. Сигналы ЧР улавливались и обрабатывались в соответствии с новым методом.

В докладе D1-312 авторов J.H.Rodriguez-Rodriguez, F.Martinez-Pinon, J.A. Alvarez-Chavez (Мексика) «Измерение влагосодержания бумажно-масляной изоляции в ближнем инфракрасном диапазоне» указано, что измерение и мониторинг влажности имеет важное значение для прогнозирования срока службы и условий работы силовых трансформаторов. Бумажно-масляная изоляция в силовых трансформаторах ухудшается и постепенно стареет под воздействием влаги, а также электрических, химических и механических факторов. Хорошо известно, что влага – основной источник повреждения изоляции в высоковольтных трансформаторах напряжения.

В докладе описаны прямые оптические измерения содержания воды в бумажной изоляции, погруженной в трансформаторное масло. Образцы располагали внутри испытательной камеры, в которой находился источник воды и бумажный капиллярный мост, по которому вода поступала на исследуемый образец. Оптические измерения содержания воды проводили в ближней инфракрасной области от 900 до 1500 нм.

Обсуждаются результаты экспериментальных исследований пропускания света через трансформаторное масло и воду. Предложены критерии для установления наилучшего оптического диапазона для достижения максимальной чувствительности.

Предлагаемая методика может быть использована для мониторинга электрических аппаратов, в которых бумажно-масляная изоляция находится под воздействием сильного электрического поля. Это прямой и быстрый метод контроля влагосодержания бумаги, погруженной в масло может быть реализован с помощью дешевого и компактного оборудования.

В докладе D1-314 авторов C. Zhou, X.J ing, Z. Tang, W. Jiang, B. Alkali, W. Zhou, J. Yu (Китай) «Статистический анализ данных о повреждениях силовых кабелей» анализируются данные по авариям кабелей и определяются ведущие к аварии или деградации стрессовые факторы. Применены и сопоставлены две статистические модели: Вейбулла и Crow-AMSAA. Использованы данные, полученные в высоковольтной кабельной сети в г. Ухань, Китай.

В работе показано, что распределение Вейбулла, который моделирует возраст кабеля до отказа, обеспечивает более точное соответствие в случае малой выборки. Использование модели пропорциональных рисков позволяет выполнить количественную оценку факторов, ведущих к авариям или ускоренной деградации изоляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сессии 2012 года не было представлено каких-либо принципиально новых материалов или технологий. Традиционные материалы (целлюлоза, трансформаторное масло и т. п.) продолжают оставаться основным предметом исследований.

В представленных докладах отсутствуют новые разработки средств измерения с использованием оптоволоконных или опто-кристаллических технологий. В связи с этим крайне важным представляется вывод доклада D1-205 о невозможности обеспечить высокую точность измерения напряжения с помощью обычных делителей напряжения. Это прямое указание на необходимость разработки средств измерения токов и напряжений, построенных на совершенно иных физических эффектах, в частности – оптических измерителей на эффекте Поккельса. ■