

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ И ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ (ПО ИТОГАМ 47-Й СЕССИИ СИГРЭ)

АВТОР:

А.З. СЛАВИНСКИЙ,
Д.Т.Н.,
ЗАВОД «ИЗОЛЯТОР» —
ООО «МАССА»

В Париже 26–31 августа 2018 г. прошло крупнейшее мероприятие в области электроэнергетики — 47-я Сессия СИГРЭ. 40 докладов, представленных по тематике Иссле-

довательского комитета D1 «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики», достаточно полно характеризуют современное состояние данной отрасли электроэнергетики.

Ключевые слова: Сессия СИГРЭ; системы изоляции HVDC; мониторинг; диагностика; химический анализ растворенных газов; фурановые соединения; наночастицы; гидрофторолефин; элегаз; нанопополнители; трансформаторный парк; распределительные устройства; оператор транспортной системы; системы контроля сквозного тока.



Испытательный центр завода «Изолятор»

ВВЕДЕНИЕ

Исследовательский комитет (ИК) D1 занимается изоляционными материалами и методиками диагностирования основного электрооборудования, которые могут оказывать существенное влияние на надежность работы энергетических систем. Сфера деятельности ИК D1 охватывает новые и существующие материалы, применяемые в электротехнике. Задача комитета — содействие прогрессу в технике и международному обмену информацией. Она решается посредством анализа современных методов исследований, разработки рекомендаций, а также контроля применения новых материалов, методик испытаний и общих концепций диагностики.

Основными направлениями деятельности ИК D1 являются:

- фундаментальные аспекты новых и существующих материалов для электротехники (проводящих и изоляционных материалов для электротехнического использования);
- многокомпонентные изоляционные устройства с одним или несколькими электроизоляционными материалами, используемыми совместно с соответствующими проводящими частями;
- диагностические методы и соответствующие требования к ним;
- новые методы испытаний.

В работе ИК D1 принимают активное участие 350 экспертов из 41 страны. В настоящее время в ИК D1 входят 24 постоянных члена, 9 наблюдателей, 7 консультативных групп, 27 рабочих групп, включая 5 совместных РГ с ИК A2, B1, B3.

Представителем от РФ в ИК D1 является руководитель Подкомитета D1 РНК СИГРЭ, председатель Совета директоров ООО «Масса», д.т.н. А.З. Славинский.

Представители Подкомитета D1 РНК СИГРЭ участвуют в деятельности следующих рабочих групп:

- WG D1.64 «Системы электроизоляции при криогенных температурах» (С.В. Самойленков — генеральный директор ЗАО «СуперОкс»);
- WG D1.70 «Функциональные свойства современных изоляционных жидкостей для трансформаторов и аналогичного электрооборудования» (М.В. Бобрышев — руководитель проектов — инженер отдела поставок технологических материалов ООО «ЭлекТрейд-М»).

Деятельность ИК D1 в ближайшее время будет направлена на изучение новых изоляционных материалов для улучшения их технических характеристик применительно к электротехнике, а также на совершенствование методов испытаний и средств диагностики. Результаты процедур испытаний и измерений, разработанных с использованием знаний о свойствах материалов и электроизоляционных систем при воздействии электрических, тепловых, механических, химических и природных факторов, будут применены для создания новых методов диагностики.

26–31 августа 2018 г. в парижском Дворце Конгрессов прошло крупнейшее международное мероприятие в области энергосистем — 47-я Сессия СИГРЭ. В мероприятии приняло участие более 3500 делегатов и представителей мировых энергетических компаний, научно-исследовательских организаций, регулирующих структур, производителей оборудования и материалов для электроэнергетики, проектных институтов и высших учебных заведений.

На Сессии был продемонстрирован постоянно растущий интерес к исследованиям и новым разработкам

в области систем постоянного и переменного токов высокого напряжения, при этом особое внимание было уделено проблемам надежности оборудования для испытания, мониторинга и диагностики. Трансформаторные парки во многих странах состарились. Нередко половина установленных агрегатов достигала возраста в 30 и более лет. Однако проведенные исследования показывают, что интенсивность отказов все еще поддается контролю (<1 %). Чтобы иметь возможность отложить повторные инвестиции, исследуются стратегии мониторинга для снижения рисков. Генерируются большие объемы данных, применяются статистические и аналитические методы для извлечения важных сведений из имеющихся баз данных. Хорошо отлажены периодические инспекции и измерения. Результаты химического анализа растворенных газов и фурановых соединений позволяют оценивать техническое состояние трансформаторов.

Следует обратить внимание на проявленный интерес участников и посетителей постер-сессии к результатам изысканий российских ученых. Зарубежным коллегам были представлены экспертная система по оценке технического состояния трансформаторов на основе анализа растворенных в нем газов и возможности использования оптической спектроскопии для контроля состояния изоляции трансформатора. Результаты исследований будут способствовать повышению точности и скорости диагностирования состояния силовых трансформаторов.

Материалы с уменьшенным вредным воздействием на окружающую среду касаются альтернативных газовых систем изоляции. Появление новых материалов и изучение процессов их старения позволяют определить характеристики изоляции в реальном оборудовании (устройства, конфигурации электро-

дов, характеристики поверхности, нагрузка напряжением, внешние параметры). Дальнейшие шаги в обработке или определении характеристик материалов необходимы для того, чтобы вывести их из лабораторий в реальную эксплуатацию.

На текущий момент пользователи и производители активно обсуждают разработку и использование решений без SF₆ (элегаз). Сегодня распределительные устройства без SF₆ работают на средних напряжениях с газовой, жидкой и твердой изоляциями (чаще всего в сочетании с вакуумными выключателями) и на высоких напряжениях с альтернативными газами (смесями газов). Если последние годы были посвящены определению подходящих альтернативных газов, то сегодня ведется обсуждение вопросов, связанных с их применением, и в первую очередь в части охраны окружающей среды и промышленной безопасности.

Особое внимание было уделено обсуждению проблем здоровья операторов в связи с использованием основных идентифицированных альтернативных газов SF₆ для людей, работающих на электрическом оборудовании среднего напряжения или вблизи него, и мерам предосторожности, для того чтобы обеспечить их безопасность в случае утечки газа. Основные характеристики NF01234zeE (и его хорошо известная безопасность) показывают, что этот газ может использоваться в качестве диэлектрической среды как альтернатива газу SF₆ для распределительных устройств.

Как и на 46-й Сессии СИГРЭ, на 47-й Сессии не был решен вопрос о необходимости добавления наночастиц к материалам для модификации их свойств.

Изменение объемных характери-

стистик выглядит весьма многообещающим. Вопрос, какие дальнейшие шаги в обработке или определении характеристик необходимы для того, чтобы вывести эти материалы из лабораторий в реальную эксплуатацию, остается открытым.

По тематике ИК D1 СИГРЭ на Сессии было представлено 40 докладов по трем предпочтительным темам:

1. Системы изоляции HVDC (7 докладов), включая:
 - методы измерений для проверки моделирования электрических полей;
 - новая диагностика для технического обслуживания;
 - опыт и требования к новым методам и стандартам испытаний;
 - компактные изоляционные системы (постоянного и переменного токов).
2. Материалы и старение (10 докладов), включая:
 - новые нагрузки, например, от силовой электроники;

- оборудование, работающее с повышенными нагрузками, например, компактные применения;
 - материалы с меньшей степенью воздействия на окружающую среду.
3. Испытания, мониторинг и диагностика (23 доклада), включая:
 - опыт и добавленная стоимость из систем оперативного мониторинга;
 - надежность оборудования и систем для испытаний, мониторинга и диагностики;
 - углубленная оценка состояния оборудования.

Ниже приведен обзор наиболее интересных докладов.

D1-101. Riechert U., Blumenroth F., Straumann U., Kaufman B., Saltzerpehr M. Experiences in dielectric testing of gas-insulated HVDC systems [Опыт испытания в области диэлектрических систем HVDC с газовой изоляцией]; ABB Switzerland Ltd NKT High

НАСТРОЙКА ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО (ЛЕВОГО) И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО (ПРАВСТОРОННЕГО) ПРЕРЫВАНИЯ HVDC GIS, ВКЛЮЧАЯ КАБЕЛЬНУЮ ПЕТЛЮ



Рис. D1-101

Voltage Cables AB, Switzerland [Швейцария]

В этом докладе описан опыт квалификационных испытаний на КРУЭ 320 кВ HVDC. В их число входят электрические испытания, испытания систем изоляции и продолжительные эксплуатационные испытания, включены также концевые муфты кабелей постоянного тока. На рис. D1-101 показана настройка испытания HVDC GIS, включая кабельную петлю. Возрастающий спрос на технологию HVDC требует адаптации распределительных устройств с газовой изоляцией (ГИС) или линий (GIL), которые были первоначально разработаны для сети переменного тока. ГИС особенно актуальны, например, для мегагородов или густонаселенных районов. Специфические типовые стандарты испытаний для систем с газовой изоляцией, характерных для HVDC, пока недоступны. Исследования координации изоляции позволили определить тестовые значения, при этом все технические аспекты были включены в учетную запись.

На основе результатов разработки и исследования в сочетании с опытом обслуживания была разработана философия нового типа, включая испытания изоляции. Производители уже успешно завершили проверочные испытания напряжением 320 и 350 кВ, и технология готова к пилотной установке. Условия нагрузки во время испытаний характеризуются разностью температур между внутренним проводником и корпусом. Необходимо учитывать также гармонические изменения тока. Исходя из результатов успешных испытаний, можно ожидать, что компоненты DC-GIS будут иметь одинаковый срок службы. Компактная установка HVDC-GIS выигрывает по требуемой земельной площади и на коммутационных станциях между воздушными линиями и кабе-

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ИЗОЛЯТОРОВ В ГИС

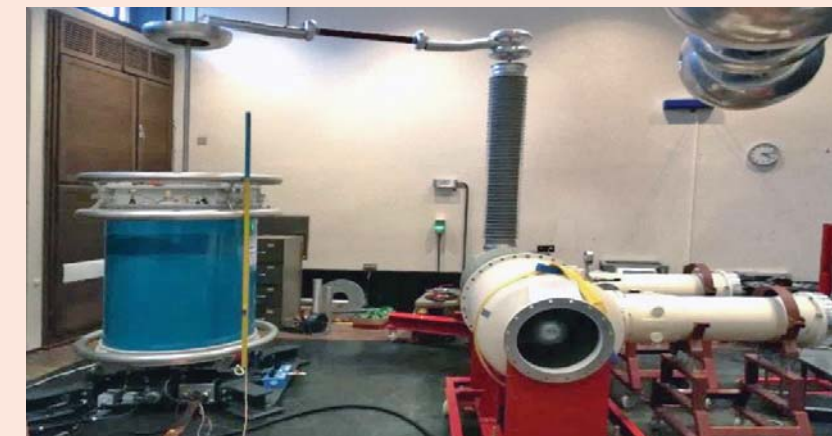


Рис. D1-102

лями, и на наземных преобразовательных станциях.

D1-102. Zhao S., Kindersberger J. Measurement of surface potential at the gas-solid interface for validating electric field simulations in gas-insulated DC systems [Измерение поверхностного потенциала на границе раздела газ — твердое вещество для проверки моделирования электрического поля в газовых системах постоянного тока]; Technical University of Munich Chair of High Voltage Engineering and Switchgear Technology, Germany [Германия]

В докладе была описана измерительная установка, которая позволяет автоматизировать измерение поверхностного потенциала обеих сторон конического изолятора шины. Матрица потенциальных коэффициентов была определена с помощью трехмерной имитационной модели. Были учтены характеристики электростатического вольтметра, так как они могут влиять на распределение электрического поля внутри

установки. На основе измеренного распределения потенциала и матрицы коэффициентов потенциала была рассчитана плотность поверхностного заряда. Не только потенциал, но и распределение плотности заряда не аксиально-симметричны. Распределение плотности заряда также определялось при моделировании. Расчетная и смоделированная плотности заряда находятся в том же диапазоне (10⁻⁶ С/м²). На вогнутой стороне расчетная и смоделированная плотности заряда почти совпадают друг с другом. Однако на выпуклой стороне абсолютная величина расчетной плотности заряда была ниже, чем смоделированная, т.е. дополнительные носители заряда накапливаются на поверхности изолятора через объем газа. В работе описана испытательная установка для измерения поверхностного потенциала изоляторов в ГИС (рис. D1-102). Испытуемая изоляционная система представляет собой типичную прокладку в шине системы газовой изоляции постоянного тока 500 кВ. Вся изоляционная

система, состоящая из конического изолятора, а также внутреннего и внешнего проводников, встроена в сосуд высокого давления. Высокое напряжение создается генератором постоянного тока и подключается к внутреннему проводнику с помощью ввода воздух-элегаз.

D1-103. Yasuoka T., Hoshina Y., Shiiki M., Takei M. Insulation characteristics in DC-GIS: surface charge phenomena on epoxy spacer and metallic particle motions [Характеристики изоляции в DC-GIS: явления поверхностного заряда на эпоксидной поверхности и движение металлических частиц]; Toshiba Corporation, Japan [Япония]

В докладе описывается новая разработка, позволяющая делать DC-GIS для распределительных устройств, имеющие высокую надежность изоляции и компактные размеры. Приведены системы передачи HDVC, характеристики поверхностного заряда и движения металлических частиц под напряжением постоянного тока.

Разработка таких DC-GIS важна для уточнения характеристик изоляции эпоксидных поверхностей с накоплением поверхностного заряда и металлических частиц под напряжением постоянного тока. Распределительное устройство постоянного тока (ГИС) играет важную роль в системе HVDC, поскольку DC-GIS обладает высокой надежностью изоляции и компактными размерами. Однако явления постоянного тока и под напряжением переменного тока имеют разные характеристики, и это различие продемонстрировано на рис. D1-103.1.

Авторами статьи представлена разработанная измерительная система для исследования поверхностного заряда характеристик эпоксидной смолы, содержащей SiO_2 , в SF_6 -газе в течение 100 ч (рис. D1-103.2).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ ПРОКЛАДОК И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ГИС ПРИ ПЕРЕМЕННОМ И ПОСТОЯННОМ ТОКАХ

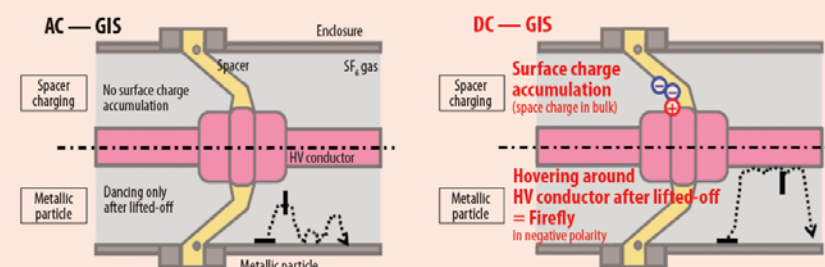
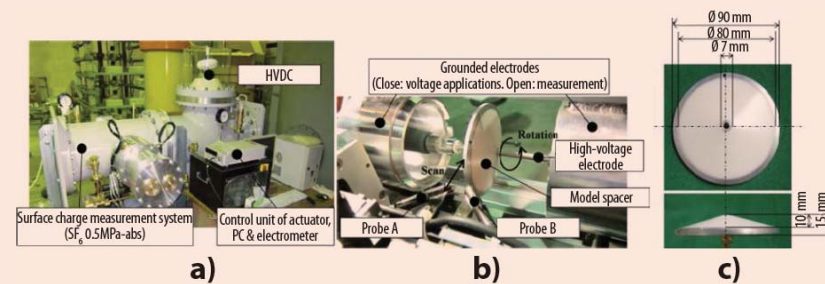


Рис. D1-103.1

СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАРЯДА



а) экспериментальная установка; б) измерительные детали; в) модель (эпоксидная смола, заполненная SiO_2)

Рис. D1-103.2

Эти данные могут быть применены к изоляционным конструкциям для новой DC-GIS 250 кВ в Японии.

D1-202. Stoller P. C., Hengstler J., Doiron C. B., Scheel S., Simka P., Müller P. Environmental aspects of high voltage gas insulated switchgear that uses alternatives to SF_6 and monitoring and long-term performance of a pilot installation [Экологические аспекты высоковольтных газоизоляционных распределительных устройств, кото-

рые используют альтернативы SF_6 , мониторинг и долгосрочная работа пилотной установки]; Switzerland [Швейцария]

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с применением смесей фторкетона с CO_2/N_2 и O_2 в комплектном распределительном устройстве с элегазовой изоляцией.

Газовые смеси, содержащие C_5 -перфторкетон (C_5FK) и фоновый газ, состоящий из CO_2 (или N_2) и O_2 , были

предложены в качестве альтернативы SF_6 в распределительных устройствах с газовой изоляцией (ГИС). В докладе уделено внимание обсуждению разложения и полученных побочных продуктов C_5FK . Рассматривается простой подход, применяемый к существующим стандартам, использующий для оценки общей токсичности газовой смеси токсичность отдельных побочных продуктов и их соответствующих концентраций (рис. D1-202). В докладе описываются два эксперимента, проведенных для определения концентрации побочных продуктов разряда и дугой, в зависимости от заряда и энергии соответственно. Результаты этих экспериментов позволяют сделать вывод о том, что газовые смеси на основе C_5FK можно безопасно и эффективно использовать в ГИС.

В докладе также описывается, как эффективно контролируются смеси C_5FK (или другие газовые смеси, используемые в качестве альтернативы SF_6) с использованием комбинации датчиков давления, температуры и плотности в существующей пилотной установке ГИС.

D1-207. Lashbrook* M., Gyore* A., Martin* R., Cselko R., Nemeth** B. Creepage discharge investigations with biodegradable ester-based liquids and the implications for transmission transformer design [Исследования утечек биоразлагаемых жидкостей на основе сложных эфиров и их последствий для конструкции трансформатора трансмиссии]; *M&I Materials Ltd, UK [Великобритания]; **Budapest University of Technology and Economics, Hungary [Венгрия]**

В докладе описывается недавно проведенное исследование, а также некоторые общие рекомендации для производителей трансформаторов с целью помочь им оптими-

зировать конструкции для сложных эфирных жидкостей. На основе более реалистичного расположения электродов и сравнения ряда различных сложноэфирных жидкостей с минеральным маслом удалось разработать некоторые дополнительные ориентиры для проектирования трансформаторов. Для исследования сравнительного поведения нескольких различных эфирных жидкостей и минерального масла была построена схема, показанная на рис. D1-207 на с. 28.

Испытываемые жидкости включали минеральное масло (Nyro Gemini X), синтетический эфир (MIDEL 7131) и три природных сложноэфирных жидкости (MIDEL eN 1204, MIDEL eN 1215 и еще один соевый природный эфир, обозначенный как NAT ESTER 3).

Для каждой жидкости был проведен полный набор оценок для сравнения

их трех типов, чтобы продемонстрировать поведение жидкостей и показать схожесть при испытании в более реалистичных условиях.

Поскольку использование жидкостей на основе сложного эфира в электрической сети постоянно расширяется, и конечные пользователи начинают осознавать экономию средств, которая может быть в данном случае обусловлена уменьшением необходимой противопожарной защиты, спрос на трансформаторы напряжения передачи с эфиром будет расти.

Опыт в испытании трансформаторов, накопленный к настоящему времени, и лабораторные работы указывают на то, что существуют некоторые различия между жидкостями на основе сложных эфиров и минеральным маслом в терминах диэлектрического поведения. Частично это объясняется различиями

ФОТОГРАФИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОТБОРА ПРОБ ГАЗА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО И АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГАЗА ВО ВРЕМЯ ИСПЫТАНИЙ НА КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ



Рис. D1-202

КОНФИГУРАЦИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА УТЕЧКУ

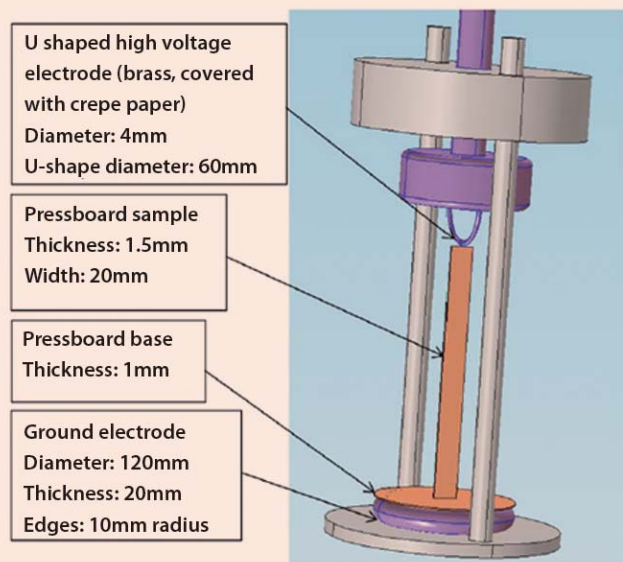


Рис. D1-207

в диэлектрической проницаемости, которые изменяют распределение электрических напряжений при переменном токе. Также был проведен значительный объем фундаментальных исследований, но преобразование этой работы в руководство по проектированию затруднено, поскольку устройства, используемые в лаборатории, не имитируют реальные схемы применения электродов в трансформаторах.

D1-302. Li J., Zhang L., Han X., Hu D. *Impulse test and partial discharge detection for GIS equipment in field [Импульсные испытания и обнаружение частичного разряда для оборудования ГИС в полевых условиях]; State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment Xi'an Jiaotong University, China [Китай]*

Авторы доклада предлагают интересную идею: измерять активность

частичных разрядов (ЧР) во время приложения колебательных грозовых или коммутационных импульсов (КГИ и ККИ) по методу СВЧ. Испытание распределительных устройств

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР (СЛЕВА) И ЭЛЕГАЗОВЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР (СПРАВА)



Рис. D1-302.1

с газовой изоляцией (КРУЭ) в сети импульсами КГИ или ККИ во время пуска-наладки или после ремонта является общепринятой практикой вот уже два десятка лет. Новизна состоит в сочетании его с чувствительным методом измерений ЧР СВЧ. Так как активность ЧР в КРУЭ в существенной степени зависит от формы волны прикладываемого напряжения, импульсы КГИ и ККИ позволяют определить выступы на высоковольтных проводах и изоляторах. Приведены примеры успешного применения этого метода (КГИ/ККИ с измерением ЧР СВЧ) при поиске критических дефектов в КРУЭ.

КРУЭ широко используются, благодаря их высокой надежности, необходимости минимального технического обслуживания и компактным размерам. Однако неизбежные дефекты изоляции в ГИС во время производства, транспортировки, монтажа или эксплуатации могут привести к деградации изоляции системы и даже к повреждению изоляции. То есть полевой эксперимент является важным шагом к обеспечению безопасности ГИС, которые могут выдержать скачки

МОДУЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР В ПОЛЕ



Рис. D1-302.2

переменного тока и импульсные (грозовые или импульсные коммутационные) перенапряжения в реальных условиях работы. Таким образом, испытания импульсным напряжением введены в практику с целью проверки прочности изоляции ультравысоковольтной ГИС в поле. Эффективность методов испытания варьируется в зависимости от различных дефектов изоляции. Наиболее эффективным методом для обнаружения дефектов изоляции является длительное приложение переменного тока (АС) с измерением ЧР. Но испытание импульсным напряжением является более эффективным для выступов на высоковольтных проводах и при загрязнении изолятора из-за плохой стабилизации короны.

Импульсные испытания и испытания переменным напряжением имеют разную результативность для разных дефектов и дополняют друг друга. Данный метод широко практикуется в Китае уже несколько лет, и именно он описан в данном докладе.

Аварии в полевых условиях показывают, что необходимо проводить импульсные испытания для оборудования ГИС. С этой целью применяются модульный автомобильный (с SF₆-изоляцией) импульсный генератор и измеритель ЧР, выполненные на тес-

товой платформе для лабораторных испытаний (рис. D1-302.1, D1-302.2).

D1-303. Kim* J.H., Koo J.Y., Lee** Y.J., Seo*** K.H., Seo*** I.J.** *Development of a wireless PD measurement system enabling to contact directly with 22.9 kV live line*

*of gas switchgear [Разработка беспроводной измерительной системы частичных разрядов, позволяющей контакт с прямой линией газового выключателя 22,9 кВ]; *Calvus Instruments, **Hanyang University, ***KEPCO, Republic of Korea [Республика Корея]*

НОВОЕ УСТРОЙСТВО И СИСТЕМА (СЗ) ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА НА МЕСТЕ ЧР

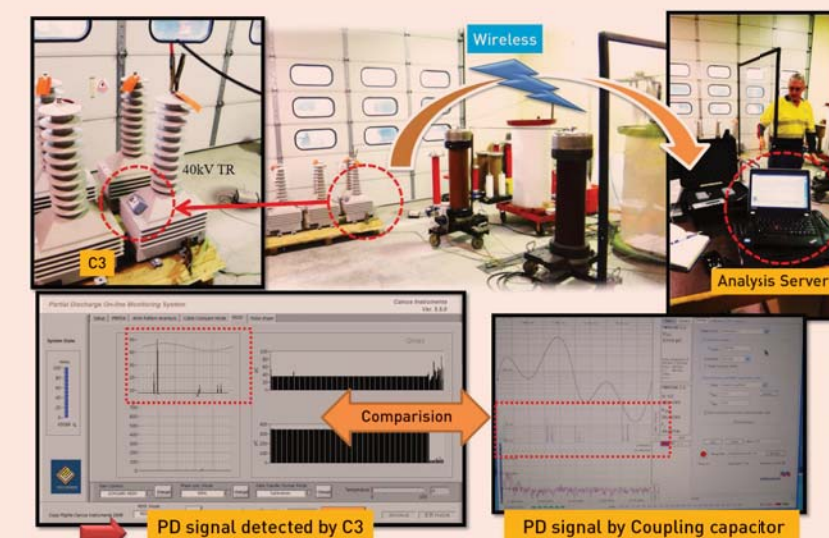


Рис. D1-303.1

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ЧР НА ПОДСТАНЦИИ 33 КВ

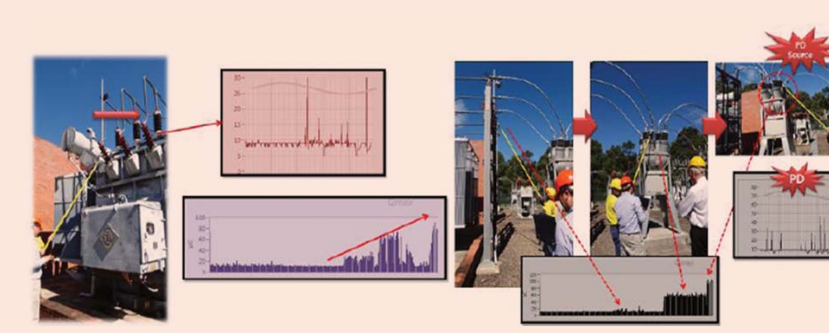


Рис. D1-303.2

В докладе описывается разработка беспроводной системы измерения частичных разрядов (ЧР), которая делает возможным прямой контакт с газовыми выключателями на линии 22,9 кВ.

Сравнительный тест был проведен с использованием трансформатора 40 кВ в лаборатории AUSGRID в Австралии; была получена та же схема ЧР, что и на рис. D1-303.1 на с. 29. Однако в отношении местоположения источника ЧР СЗ выдает истинную информацию путем сканирования поверхности трансформатора, тогда как обычный способ ограничен для распознавания только возникновения ЧР.

Представлены принципы работы этой системы и результаты ее успешного применения в сети (рис. D1-303.2 на с. 29).

Описаны результаты многолетнего применения газовых распределительных устройств (G / S) с изоляцией SF₆, широко использующихся в открытых и закрытых распределительных сетях крупнейшей энергетической системы Республики Кореи KEPCO.

Новая беспроводная «измерительная система ЧР с плавающим типом», позволяющая напрямую связываться с воздушной линией G / S 22,9 кВ в режиме реального времени, впервые в мире была разработана для сети KEPCO.

Ее преимущество состоит в том, чтобы получить лучшее соотношение «сигнал — шум», чем через заземление, когда измерение ЧР выполняется для наружного электрического устройства. Кроме того, был разработан усовершенствованный инструмент диагностики для соответствующей области применения, а также предложены некоторые технические меры для KEPCO.

ТИПИЧНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ HV / MV



Примечание: отказы на стороне MV вызывают высокие токи на стороне HV, но уведомляются TSO только в том случае, если HVCB открывается

Рис. D1-313

D1-313. Scatiggio* F., Serafino* C. A., Tozzi M., Savorelli** E., Salsi** A. TERNA transformer fleet knowledge management through the use of on-line monitors [Управление трансформаторным парком TERNA с помощью онлайн-мониторов]; *Terna Rete Italia Spa, Italy (Италия), **Camlin Power Ltd, N. Ireland, UK [Великобритания]**

Итальянский оператор систем передачи (TSO) TERNA управляет около 800 трансформаторами и автотрансформаторами с интенсивностью отказов по-прежнему намного ниже 1 % в течение нескольких лет. Значительные усилия были предприняты для предотвращения сбоев, а основное внимание было сосредоточено на обслуживании парка, реальном состоянии изоляции трансформатора. Одной из основных причин сбоев было возникновение непредсказуемых внешних событий, таких как перенапряжения, удары молнии и сквозные токи. В докладе описаны разработки и внедрение системы мониторинга сквозного тока короткого замыкания (TFC). По имеющимся в базе данных возможно составление мобильного графика технического обслуживания в целях предотвращения

отказов и уменьшения расходов на техническое обслуживание. Пробная система мониторинга TFC (рис. D1-313) была установлена в конце 2015 г., и она все еще работала в момент написания этого доклада.

Целями проведения работ было, во-первых, снижение затрат на обслуживание, планирование автономных измерений в зависимости от возникновения TFC, во-вторых, достижение чрезвычайно важного соотношения TFC и возможных изменений индуктивности. Так, например, изменение индуктивности в исследуемом трансформаторе было обнаружено во время рутинного теста, проводимого каждые 4 года, и перегрузка по току, вызывающая такое изменение, могла произойти недавно или почти 4 года назад. Информацию о том, когда это произошло, найти нелегко. Оператору для анализа показаний регистратора помех необходимо приложить много усилий для поиска их вручную, прорабатывая данные за 4 года. Пробная система мониторинга TFC могла бы решить эту проблему в режиме онлайн-мониторинга.

D1-317. Pavlov L., Skurčak L., Chovanec J., Lago J., Gbelec J. Check

the insulation state of OHL by means of an on-line monitoring system [Проверка состояния изоляции OHL с помощью системы онлайн-мониторинга]; VUJE a.s., Slovak Republic [Словакия]

Загрязнение и повреждение изоляторов могут вызвать внезапные скачки напряжения. В результате скачка напряжения создается дуга. Это может вызвать повреждение, а также термическое разрушение линейных изоляционных цепей с последующим отказом.

В докладе представлен метод синхронного мониторинга фаз и метод расчета электрических параметров линии. Синхронный мониторинг фаз, т.е. контроль временных параметров напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ и их комплексных фаз выполняется блоком измерения, подключенным к вторичным цепям тока и напряжения трансформатора.

В настоящее время для определения загрязнения изоляционных цепей

применяются офлайн и онлайн-методы. Офлайн-метод оценки загрязнения изоляторов основан на анализе твердых примесей и относится к числу трудоемких. Такой тип загрязнения может быть охарактеризован значениями эквивалентной плотности соли (ESDD) и плотностью нерастворимых компонентов (NSDD).

Применение онлайн-метода все больше становится обычной практикой. Место установки определяется на основе предварительно проведенного анализа соответствующего географического местоположения и уровня загрязнения. Это особенно важно, если линии проходят через грязные промышленные районы. С развитием технологии PMU измерения синхронизированного напряжения тока и фаз тока обеспечивают возможность более точного определения (электрических) параметров OHL.

Измеренные токи и напряжения пропускаются через фильтр сглаживания (с низким уровнем

проникновения). Затем аналоговый сигнал отбирается, дискретизируется и преобразуется в аналого-цифровой. Выборочные данные вместе с данными по времени от сигнала приемника GPS хранятся и обрабатываются микропроцессором по схеме, приведенной на рис. D1-317.

Используемый блок измерения PMU содержит карточку измерения с частотой отсчетов 100 кГц, т.е. 2000 образцов за период временных изменений напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ при частоте сети 50 Гц, что дает возможность более детально отразить события, происходящие в реальной эксплуатации.

D1-320. Li Y., Yan W. Steep-front impulse voltage tests on high-voltage equipment [Испытания высоковольтного оборудования импульсами с крутым фронтом]; National Measurement Institute, Australia [Австралия]

В докладе австралийских специалистов приводятся результаты испытаний высоковольтного оборудования импульсами с крутым фронтом, обсуждается устройство схемы для генерации импульсов с крутым фронтом и разработанная измерительная система (рис. D1-320 на с. 32). Также представлены результаты испытаний 500-миллиметровой секции полимерного изолятора 330 кВ и обмоток статора 11 кВ. Пик напряжения составил 850 кВ, время нарастания — 350 нс. Обмотки статора испытывались пиком в 32 кВ со временем нарастания 260 нс. Погрешность измерений для пикового напряжения и времени нарастания фронта составляла 3 % и 5 % соответственно.

Представленные доклады отражают современное состояние применения систем изоляции HVDC, материалов, методов испытаний, мониторинга и средств диагностики в электрооборудовании.

СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ PMU (БЛОК ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗ)

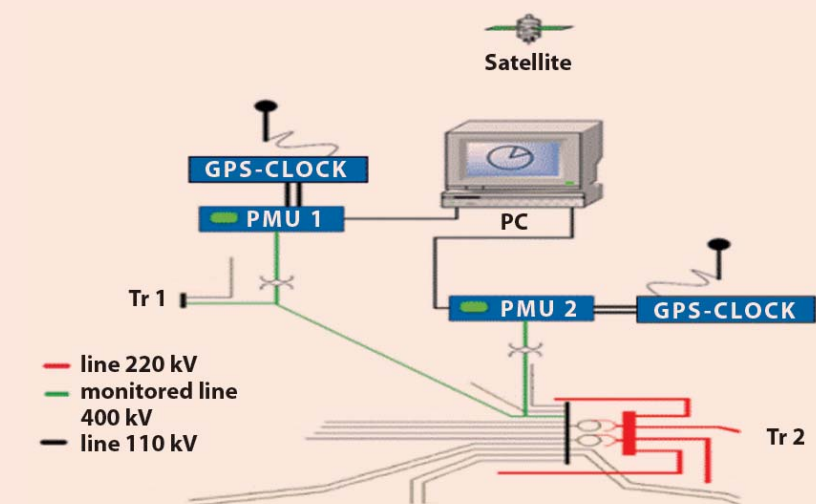
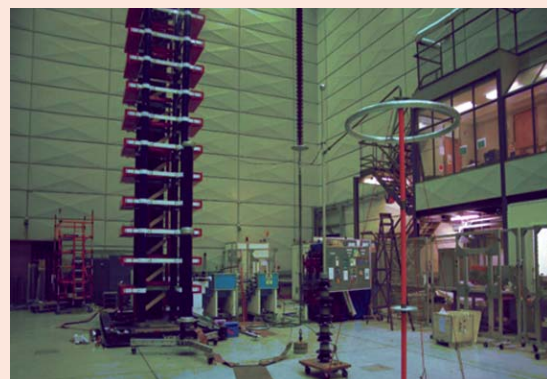


Рис. D1-317

УСТРОЙСТВО ИМПУЛЬСНОГО ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯТОРА КРУТЫМ ФРОНТОМ (А); УСТРОЙСТВО ИМПУЛЬСНОГО ИСПЫТАНИЯ РАЗРЕЗАННЫХ СЕКЦИЙ ИЗОЛЯТОРА КРУТЫМ ФРОНТОМ (Б)



а)



б)

Рис. D1-320

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам 47-й Сессии по Исследовательскому комитету D1 СИГРЭ можно отметить следующие наиболее обсуждаемые ключевые вопросы:

- меры для неуклонного сокращения использования оборудования с SF₆;
- опыт создания моделей старения целлюлозы с временно-зависимыми скоростями старения и учет ее в определении концепции теплового индекса;
- методы, доступные для ускорения оптимизации материалов либо с помощью вычислений, либо с помощью альтернативных режимов и методов испытаний;
- практические характеристики изоляции в реальном оборудовании (устройства, конфигурации электродов, характеристики поверхности, нагрузка напряжением, внешние параметры и др.);
- старение альтернативных газовых смесей при частичных разрядах с учетом электрической

- стойкости и экологической безопасности;
- дальнейшие шаги в обработке или определении характеристик, которые необходимы для того, чтобы вывести эти материалы из лабораторий в реальную эксплуатацию;
- функциональные требования к диэлектрическим материалам для трансформаторов;
- опыт в части электрической прочности различных изоляционных трансформаторных жидкостей;
- оценка технического состояния трансформаторов на основе анализа растворенных в нем газов;
- возможности использования оптической спектроскопии для контроля состояния изоляции трансформатора.

Тенденция, которая существует в рамках СИГРЭ, сосредоточена в основном на электроизоляционных и экологически чистых материалах. Экология сегодня является основным мировым трендом. Важно, что экологичность новых

материалов измеряется не только и не столько на уровне сырья, которое используется в дальнейших переделах, а в том, насколько эти материалы впоследствии смогут сохранять свою экологическую чистоту в ходе эксплуатации и утилизации конечных продуктов. Очень важно просчитать на десятилетия вперед, как поведет себя тот или иной материал.

Представленные доклады отражают современное состояние применения систем изоляции HVDC, материалов, методов испытаний, мониторинга и средств диагностики в электрооборудовании.

Общим итогом работы 47-й Сессии СИГРЭ и всех состоявшихся встреч стали: расширение международных связей по научно-техническому обмену, результативный диалог по актуальным вопросам развития мировой электроэнергетики, формирование договоренностей и планов дальнейшего сотрудничества по направлениям деятельности Исследовательского комитета D1.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

В преддверии нового 2019 года хотелось бы подвести итоги уходящего года.

Одним из важнейших событий в деятельности Научно-технического центра в 2018 г. явилось утверждение Правлением ПАО «ФСК ЕЭС» долгосрочной Стратегии развития АО «НТЦ ФСК ЕЭС» до 2030 г. Документ определяет ключевые стратегические цели компании, а также конкретные действия и мероприятия, необходимые для сбалансированного развития и устойчивого роста.

Особо хотелось бы отметить ряд значимых проектов, реализованных в 2018 г. силами АО «НТЦ ФСК ЕЭС», среди которых:

- реализация «под ключ» проекта по установке средств компенсации реактивной мощности для объектов ОЭС Северо-Запада, выполненных в рамках проекта БРЭЛЛ;
- проектирование интеллектуальной распределительной сети на территории Инновационного центра «Сколково»;
- обеспечение энергоснабжения железнодорожной инфраструктуры при расширении БАМ и Транссиб, газотрубопроводной системы «Сила Сибири» и многих других;
- реализация проекта по внедрению ВТСП кабельной линии постоянного тока в энергосистему Санкт-Петербурга. Получена госэкспертиза на проект, на 2019 г. запланировано начало строительства;
- разработка, изготовление и испытания опытно-промышленного образца блока тиристор-



ных вентилях, предназначенного для замены оборудования на ПС 400 кВ «Выборгская», осуществляющей поставку электроэнергии из России в Финляндию.

Также в рамках национального проекта «Энергоэффективная подстанция» АО «НТЦ ФСК ЕЭС» завершило внедрение энергоэффективных технологий еще на 3 подстанциях 750 кВ.

В текущем году АО «НТЦ ФСК ЕЭС» был получен сертификат ИНТЕРГАЗСЕРТ, позволяющий проводить аттестацию технологического и энергетического оборудования для объектов ПАО «Газпром».

В 2018 г. АО «НТЦ ФСК ЕЭС» приняло активное участие в 47-й Сессии СИГРЭ. В рамках Технической сессии были представлены доклады в различных комитетах СИГРЭ по ключевым разработкам. Инновационные технологии и разработки АО «НТЦ ФСК ЕЭС» были представлены на коллективном стенде РНК СИГРЭ.

Дорогие друзья! Поздравляю Вас с Днем энергетика! Желаю в грядущем 2019 г. новых свершений и реализации намеченных планов.

Генеральный директор
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»
И.А. Косолапов