



Проблемы трансформаторостроения на совместном коллоквиуме комитетов А2 и С4 СИГРЭ в 2013 г.¹

ЛАРИН В.С.

Обзор докладов постер-сессии. ПТ1 «Взаимодействие между трансформатором и электрической системой».

ID018. *Renewable Energy Integration in SOA.* Yousef Al-Sharif. – Saudi Electricity Company, Саудовская Аравия)/Интеграция возобновляемых источников энергии в южном энергорайоне компании SEC.

В докладе рассмотрены вопросы электроснабжения удаленных небольших населенных пунктов и островов, подключение которых к основной энергосистеме экономически не оправдано. В таких объектах имеются свои небольшие сети, для повышения надежности электроснабжения потребителей этих сетей актуальной задачей являются установка и интеграция возобновляемых источников энергии. Приведен опыт реализации проекта солнечной электростанции Farasan, в том числе — технические параметры оборудования, вопросы совместной работы станции и существующей небольшой сети и основные результаты проекта.

ID029. *Design of Reactors with consideration to interaction with DC/GIC excitation; Specificity compared to Power Transformers.* Triomphant Ngnegueu — ALSTOM GRID (Франция); Joao Baldauf — ALSTOM GRID (Бразилия)/Проектирование реакторов с учетом подмагничивающего действия геомагнитного-индуктированных токов: специфика по сравнению с силовыми трансформаторами.

В докладе рассмотрены вопросы проектирования шунтирующих реакторов с учетом возможного подмагничивающего действия геомагнитно-индуктированных токов (ГМИТ²). Отмечено, что в отличие от силовых трансформаторов шунтирующие реакторы имеют более линейные вольт-амперные характеристики в области рабочего напряжения, что определяет меньшее искажение тока намагничивания вследствие протекания ГМИТ и, как следствие, меньшее влияние ГМИТ на конструкцию реакторов. Представлены два примера расчетного моделирования шунтирующего реактора 50 Мвар и автотрансформатора 550 МВА с учетом различных уровней ГМИТ.

ID030. *Design of Testing Transformers for Switching Duty Test of On Load Tapchangers.* T.V. Sridhar — CTR Manufacturing Industries Ltd (Индия)/Проектирование испытательных трансформаторов для испытательной коммутационной способности переключателей РПН.

В докладе представлены требования и описание конструкции трансформаторов для проведения испытаний коммутационной способности устройств регулирования под нагрузкой (РПН) по МЭК 60214-1:2003 (п. 5.2.2).

ID034. *Direct current in transformers: experience, compensation.* F. Bachinger, P. Hamberger — Siemens AG Österreich, Transformers Linz; A. Leikermoser — ARS Adaptive Regelsysteme GmbH; Leber3, H. Passath — Siemens AG Österreich, Transformers Weiz (Австрия)/Постоянный ток в трансформаторах: опыт и компенсация.

В докладе рассмотрены вопросы, связанные с подмагничивающим действием постоянных токов при протекании по обмоткам трансформаторов. Отмечено, что отрицательными эффектами протекания постоянных токов в трансформаторах является возможность насыщения магнитной системы в одном из полупериодов, значительное увеличение потерь холостого хода и уровня звука трансформатора. Для устранения отрицательных эффектов предложен метод активной компенсации подмагничивания постоянным током путем управляемого введения постоянной магнитодвижущей силы обратного знака. Представлены примеры использования метода в полевых условиях на двух трансформаторах, где предположительной причиной появления постоянных токов были ГМИТ (первый пример) и работа силовых преобразователей статического компенсатора реактивной мощности (второй пример).

ID037. *Risk evaluation for power transformers during solar storms.* J. Raith, B. Wagner, S. Ausserhofer — Siemens AG Österreich Transformers Weiz (Австрия)/Оценка рисков для силовых трансформаторов от солнечных бурь.

В докладе представлены результаты моделирования потерь и перегревов обмоток, прессующих пластин и балок при воздействии ГМИТ на примере трех трансформаторов. По результатам моделирования получено, что наибольшие перегревы в

¹ Продолжение. Начало см. «Электричество» № 5, 2014.

² Данная аббревиатура использована во всех последующих документах.

рассмотренных примерах имеют место в прессующих пластинах стержней магнитной системы. На основании этого авторами сделан вывод о том, что при воздействии ГМИТ прессующие пластины являются наиболее критичными элементами конструкции трансформаторов. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния ГМИТ на двух автотрансформаторах мощностью 133 МВА. Автотрансформаторы были соединены параллельно по стороне высшего напряжения и запитаны со стороны обмоток низшего напряжения. Постоянный ток инжектировался со стороны нейтралей этих автотрансформаторов от источника постоянного напряжения. Для трех уровней постоянного тока 10, 20 и 30 А представлены результаты измерений превышения средних температур и температур наиболее нагретых точек прессующих пластин и балок, обмоток, верхних и нижних слоев масла. Отмечено хорошее согласие результатов моделирования и измерений. Даже при малых значениях ГМИТ получены значительные перегревы прессующих пластин магнитопровода. Так, при токе 30 А превышение их температуры составило 67 К.

ID045. *Analysis of DC bias on leakage fluxes and electromagnetic forces in windings of power transformers based on three dimensional finite element models.* S.A. Mousavi, G. Engdahl — Royal Institute of Technology, КТН (Швеция)/Анализ влияния подмагничивания постоянным током на поток рассеяния и электромагнитные силы в обмотках силовых трансформаторов на основе трехмерных конечно-элементных моделей.

В докладе рассмотрено влияние ГМИТ на магнитный поток рассеяния и электромагнитные силы в обмотках. Отмечено, что протекание ГМИТ по обмоткам может приводить к насыщению стали магнитопровода и увеличению электромагнитных сил по сравнению с нормальными условиями эксплуатации. По результатам моделирования с использованием трехмерной конечно-элементной модели получено, что в случае одностержневой магнитной системы возможно увеличение электромагнитных сил в несколько раз. Вместе с тем, эти силы малы по сравнению с электродинамическими силами при коротких замыканиях, в расчете на которые проектируются основные элементы активной части.

ID049. *Design and dynamic analysis of Shell form transformers under short-circuit conditions.* Emanuel Almeida, Pedro Pedro — EFACEC Power Transformers; Joro Cardoso — Universidade Nova de Lisboa; Rui Ribeiro — Amplitude Acoustics (Португалия)/Проектирование и динамический анализ броневых трансформаторов при коротких замыканиях.

В докладе представлены результаты теоретической работы по описанию динамических процессов в активной части броневых трансформаторов при КЗ с целью создания расчетного инструмента для борьбы с вибрациями обмоток и баков трансформаторов. Приведены предлагаемые расчетные модели для описания динамического поведения элементов активной части и бака при воздействии токов КЗ, а также характеристика разработанного программного обеспечения GROPTI, предназначенного для оценки вибраций и оптимального выбора конструкции элементов жесткости броневых трансформаторов.

ID051. *Towards ultra-low noise Shell form shunt reactors.* Emanuel Almeida, Pedro Pedro — EFACEC Power Transformers; Miguel Lopes — dBLab Acoustics & Vibrations (Португалия)/На пути к броневому шунтирующему реактору с ультранизким уровнем шума.

В докладе сообщалось о разработке однофазных броневых шунтирующих реакторов 230 кВ мощностью 23,3 Мвар для электросетевой компании REN (Португалия), к которым предъявлялись жесткие требования в части уровня вибраций и шума. Представлены принятые технические решения, результаты трехмерного моделирования в системе ANSYS и заводских измерений уровня вибраций и шума, по которым уровень шума не превышает 60 дБА.

ID057. *Dry-type subtransmission transformer installations and potential grid interactions.* Martin Carlen — ABB Management Services (Швейцария); Mariano Berrogain — ABB s.a. (Испания)/Установка сухих трансформаторов для распределительных сетей высокого напряжения и возможные взаимодействия с сетью.

В докладе представлена инновационная разработка компании АBB — сухой трансформатор с наибольшим рабочим напряжением 72,5 кВ для применения в распределительных сетях высокого напряжения. Представлены три примера установки сухих трансформаторов. В первом примере описана установка трансформатора с номинальным напряжением 69 кВ мощностью 25 МВА совместно с КРУЭ на закрытой распределительной подстанции, расположенной под ареной футбольного стадиона Fonte Nova Arena (Бразилия); трансформатор снабжен устройством РПН и имеет диапазон регулирования +4/-12 ступеней по 1,25% (+5/-15%). Во втором примере представлен трансформатор 45 кВ мощностью 10 МВА с регулированием напряжения с помощью ПБВ, установленный на гидроэлектростанции для питания собственных нужд. В третьем примере представлен трансформатор 45 кВ мощностью 16 МВА для наружной установки, установ-

ленный на открытой подстанции; трансформатор имеет защитный кожух со степенью защиты IPX4D; обмотки изготовлены по технологии RESIBLOC, что обеспечивает нижнюю рабочую температуру $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ID062. *A Case Study on Transformer Internal Resonance with GIS Transient Overvoltages.* Ji Hong Kim, Seong Il Kim, Soo Nam Kim, Young Chan Choi. – Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. (Южная Корея)/Анализ примера внутреннего резонанса в трансформаторе, вызванного переходными перенапряжениями в КРУЭ.

В докладе описан пример расчета резонансных перенапряжений в связанном с КРУЭ блочном трансформаторе 380 кВ мощностью 225 МВА. Представлены результаты моделирования высокочастотных перенапряжений в КРУЭ с использованием программы Electromagnetic transient program (EMTP) и сделан анализ амплитуд и частотного состава этих перенапряжений. Приведены результаты моделирования частотных характеристик обмоток трансформатора и передаточных функций, характеризующих передачу напряжения от линейного зажима обмотки высшего напряжения (ВН) к регулировочной обмотке (РО). Расчеты выполнены с использованием детализированной RLC-модели трансформатора³, параметры которой были получены с помощью программы VLN. Приведены полученные расчетные резонансные частоты и значения передаточных функций на этих частотах. На основе сравнений частот высокочастотных перенапряжений и резонансных частот передаточных функций от обмотки ВН к обмотке РО сделан вывод о несовпадении этих частот и малой вероятности возникновения резонансов в обмотках по причине переходных перенапряжений вследствие работы выключателей и разъединителей в КРУЭ. Отмечено, что моделирование переходных перенапряжений в сети с использованием детализированных моделей трансформаторов может быть полезным для исследования возможности внутренних резонансов в обмотках трансформаторов на стадии проектирования, а также при анализе внутренних повреждений трансформаторов.

³ Поскольку в программе EMTP имеется ограничение на число элементов в импортируемой RLC-схеме замещения, использованная детализированная модель трансформатора была значительно упрощена и «загрублена». Так, обмотка ВН с вводом в середину представлена 9+9 RLC-элементами, регулировочная обмотка – 5+5 RLC-элементами, а обмотки НН1 и НН2 – по 6 RLC-элементам, что сказалось на отсутствии в расчетных частотных характеристиках резонансов в области высоких частот и ставит под сомнение возможность анализа высокочастотных перенапряжений при взаимодействии с КРУЭ с использованием этой упрощенной расчетной модели трансформатора (Прим. Автора).

ID085. *The Protection for Radial Transmission Systems which have Power Transformer vector group YNyn0 (d1).* Anantachai Pongthavornsawad, Ruengsak Prohchan – Provincial Electricity Authority (Тайланд)/Защита для радиальных магистральных сетей, имеющих силовые трансформаторы со схемой и группой соединения Y_n/Y_n-0 ($Y_n/D-1$).

В докладе рассмотрены вопросы реализации релейной защиты от однофазных коротких замыканий магистральных сетей с двухсторонним питанием, имеющих силовые трансформаторы со схемой соединения обмоток Y_n/Y_n-0 или $Y_n/D-1$.

ПТ2 «Опыт эксплуатации фазопоротных трансформаторов».

ID108. *Differences to standard substation transformers.* Herbert Schinnerl – Siemens AG Österreich Transformers Weiz. (Австрия)/Отличия фазопоротных трансформаторов от обычных подстанционных трансформаторов.

В докладе отражены основные отличия фазопоротных трансформаторов от обычных силовых трансформаторов для достижения лучшего понимания и для помощи в обсуждениях между заинтересованными сторонами. Рассмотрены вопросы изменения фазового сдвига от нагрузки, условия работы магнитной системы при разных фазовых сдвигах, вопросы выбора РПН, параллельной работы и специальных испытаний фазопоротных трансформаторов.

ID115. *Application of Shell-Type Phase Shifting Transformer.* Koji Shinya, Shingo Kano, Takuya Horiguchi, Yoshiyuki, Kono, Yoshinari Fuse – Mitsubishi Electric Corporation (Япония); Craig Swinderman – Mitsubishi Electric Power Product, Inc. (США)/Применение броневых фазопоротных трансформаторов.

Рассмотрены технические особенности фазопоротных трансформаторов разработки Японии и США, а также сравнение этих трансформаторов с другими способами управления фазовым сдвигом. Описаны три варианта исполнения фазопоротных трансформаторов броневой конструкции, включая фазопоротный автотрансформатор, и указаны их преимущества. Отмечено, что с помощью предложенных решений по конструкции фазопоротных трансформаторов можно достичь существенного снижения занимаемой площади, массы и размеров, а также потерь электроэнергии этих трансформаторов.

ПТ3 «Планирование сетей в контексте парка стареющих трансформаторов».

ID024. *On-site condition assessment of on-load tap changers with dynamic resistance measurements.* R.A. Jongen – Onsite hv solutions AG, B. Quak – Seitz

Instruments AG (Швейцария)/*Оценка состояния РПН на месте установки с помощью измерений динамического сопротивления.*

В докладе рассмотрены применение диагностического метода на основе измерений динамического сопротивления и интерпретация результатов этих измерений для оценки состояния РПН и выявления часто встречающихся отказов. Отмечено, что данный метод обеспечивает получение данных для выявления наличия контактных пленок, пиролитического углерода, износа контактов и оплавлений. Кроме того, с помощью данного метода может быть выполнена оценка работы механической системы РПН, включая скорость и ускорение контактов, мощность привода, сигналы защитного реле.

ID026. *Replacement criteria for distribution transformers.* Jos Wetzter – DNV KEMA Energy & Sustainability (Нидерланды)/*Критерии замены для распределительных трансформаторов.*

Рассмотрены вопросы принятия решений о замене или дальнейшей эксплуатации распределительных трансформаторов. Отмечено, что в отличие от дорогостоящих силовых трансформаторов, распределительные трансформаторы являются сравнительно недорогими изделиями широкого потребления, а потому альтернатива их замене должна также быть малозатратной, что в настоящее время зачастую может быть достигнуто лишь в случае большого парка трансформаторов. Предположительно данная ситуация может измениться в случае широкого применения недорогих устройств мониторинга, интегрированных в новые распределительные трансформаторы.

ID038. *Localizing partial discharges in power transformers – practical experience with triggering the acoustical method by electrical and UHF signals.* A. Kraetge, S.M. Hoek – OMICRON electronics GmbH (Австрия)/*Локация частичных разрядов в силовых трансформаторах – практический опыт синхронизации акустического метода с электрическими и ультравысокочастотными сигналами.*

В докладе рассмотрены различные аспекты применения акустического метода для локации частичных разрядов (ЧР). Приведено описание измерения акустическим методом с синхронизацией по сигналам частичных разрядов, полученным электрическим или ультравысокочастотным (УВЧ) методом измерений. Представлены практические примеры измерений и локации частичных разрядов. Так, в первом примере на автотрансформаторе 230 кВ мощностью 500 МВА акустические измерения ЧР, проводимые в процессе заводских испытаний, были синхронизированы с сигналом по элек-

трическому методу и отстроены на уровень запуска по кажущемуся заряду 60 пКл – 2000 пКл. В результате последовательных приближений датчиков было установлено предположительное место ЧР; разборка трансформатора выявила точечные следы ЧР на барьере из электрокартона. При повторных испытаниях трансформатора после замены дефектного барьера ЧР не были выявлены. Во втором примере измерения выполнены на трансформаторе 230/20 кВ мощностью 100 МВА, при этом акустические измерения были синхронизированы с сигналами ультравысокочастотных датчиков ЧР. Также представлен пример локации ЧР акустическим методом на трансформаторе 220 кВ, проведенной на месте установки.

ID047. *Condition Monitoring of Power Transformers by using of UHF PD Technology.* B. Dolata – ALSTOM Grid (Германия); G. Luna – ALSTOM Grid (Франция); M. Siegel – University of Stuttgart, Institute of Power Transmission and High Voltage Technology (IEN) (Германия)/*Мониторинг состояния силовых трансформаторов с использованием УВЧ технологии регистрации ЧР.*

Представлен опыт он-лайн-мониторинга силовых трансформаторов с УВЧ регистрацией ЧР в полевых условиях и в условиях лаборатории, а также опыт измерений с помощью двух типов датчиков. Отмечено, что при использовании систем мониторинга данные по результатам измерений интенсивности ЧР с помощью УВЧ метода могут быть визуализированы с целью более удобной их интерпретации и сопоставлены с другими данными, например условиями нагрузки, работой РПН, содержанием растворенных газов.

ID058. *Flux density simulation and temperature calculations in leakage flux collectors.* Tomas Lindstedt, Lars Pettersson, Erik Forsberg, Tony Polander, Andreas Gustafsson – ABB (Швеция)/*Моделирование магнитного поля и тепловой расчет магнитных шунтов.*

Затронуты вопросы оценки возможных перегрузок старых трансформаторов и рассмотрены вопросы расчета индукции магнитного поля рассеяния, потерь и температур в магнитных шунтах из нелинейного и анизотропного материала, расположенных сверху и снизу обмоток и предназначенных для канализации магнитного поля рассеяния. Представлены результаты расчеты индукции, потерь и перегревов, выполненных с помощью трехмерной конечно-элементной модели при изменении тока нагрузки в диапазоне 95–120% номинального значения.

ID086. *Critical measures in connection with relocation of an aged transformer.* Karin Gustafsson,

Lars Pettersson, Lena Melzer – АВВ (Швеция)/*Ключевые меры применительно к перестановке старых трансформаторов.*

В докладе рассмотрены вопросы, связанные с перестановкой (перекаткой) старых трансформаторов, например в пределах подстанции. Отмечено, что при перестановке следует уделить внимание состоянию твердой изоляции и оценить степень ее полимеризации, поскольку в результате старения механическая прочность изоляции снижается и растет риск ее повреждения вследствие механических воздействий при перестановке трансформатора. В докладе описан теоретический метод оценки степени полимеризации твердой изоляции и опыт применения метода частотного анализа реакции для оценки механического состояния активной части до и после перекатки трансформатора.

ID088. *Fleet screening of a large transformer population with a limited amount of data.* Karin Gustafsson, Lars Pettersson, Kjell Carrander, Lena Melzer – АВВ (Швеция)/*Массовое обследование большого парка трансформаторов на основе ограниченного объема данных.*

В докладе рассмотрены вопросы анализа состояния большого парка трансформаторов с целью принятия решения о замене или продлении срока их эксплуатации. Описан метод массового обследования трансформаторов с применением специализированной программы, которая позволяет оценить возможные риски различных видов повреждений (тепловых, механических и электрических, а также повреждений вспомогательного оборудования). Показаны результаты оценки состояния парка трансформаторов по ограниченному объему исходных данных.

ID091. *Optimized Model for the Estimation of Safe Overloading Conditions in Power Transformers. Part II Moisture Migration.* Enrique Betancourt, Omar Mendez, Berenice Bahena – Prolec GE; Roberto Liñan, David Ponce – ПЕ (Мексика)/*Оптимизированная модель для оценки условий безопасных перегрузок в силовых трансформаторах. Часть II – миграция влаги.*

В докладе представлена основанная на экспериментах математическая модель для оценки распределения влаги по высоте обмоток при различных условиях работы трансформатора. Модель учитывает изменение влагосодержания в масле, температуру верхних слоев масла, а также параметры конструкции трансформатора и условия старения изоляционной системы. Для подтверждения расчетной модели миграции влаги использована среднемасштабная экспериментальная установка, включающая в себя несколько катушек обмотки однофазно-

го автотрансформатора мощностью 75 МВА. Конструкция установки позволяла проводить нагрев индивидуально каждой катушки и обеспечить конвективное движение масла в осевых и радиальных охлаждающих каналах. Для подтверждения расчетной модели распределения влаги по высоте обмотки использована другая среднемасштабная экспериментальная установка, содержащая обмотку из 40 катушек по 40 витков в каждой и маслобак размером 2,2 м³ и позволяющая обеспечить приближенное к реальному распределение температур обмотки.

ID094. *Localization of Partial Discharges using electromagnetic Signals.* Sebastian Coenen, Sebastian Wirtheim, Rüdiger Kutzner – Siemens AG (Германия)/*Локация частичных разрядов с использованием электромагнитных сигналов.*

В докладе рассмотрены вопросы локации частичных разрядов УВЧ-методом в силовых трансформаторах по времени распространения электромагнитных сигналов. Отмечено, что, как правило, число УВЧ-датчиков ограничено числом имеющихся запорных вентилях для заливки масла. При этом точность локации растет с увеличением числа УВЧ-датчиков. Применение двух датчиков является достаточным для определения того, в какой из фаз трансформатора находится источник ЧР, либо того, что источник находится в переключающем устройстве. Представлены метод локации частичных разрядов с помощью двух датчиков и практический пример его успешного применения. Также рассмотрены вопросы и пример использования четырех и шести УВЧ-датчиков.

ID095. *Efficient Use of Operating and Measurement Data from Power Transformers.* Sebastian Coenen, Uwe Thiess, Silvana Labric – Siemens AG (Германия)/*Эффективное использование данных эксплуатации и обслуживания силовых трансформаторов.*

В докладе рассмотрено применение компьютерной системы управления данными, предназначенной для сбора и анализа информации о трансформаторах в процессе эксплуатации, технического обслуживания и диагностики повреждений с целью администрирования парка трансформаторов. На примере системы управления данными компании Сименс рассмотрены структура базы данных, хранение статических и динамических данных, расчет параметров и анализ трендов, а также оценка рисков.

ID097. *Recent Findings Related to Copper Sulphide Formation Mechanism and Mitigation Techniques.* J.M. Lukic, D.P.Mihajlovic, J.U. Jankovic, V.M. Mandic – Electrical Engineering Institute Nikola Tesla (Сер-

бия)/*Новые результаты, связанные с механизмом и мерами предотвращения образования сульфида меди.*

В докладе представлено краткое изложение результатов исследований, связанных с механизмом образования сульфида меди в бумажной изоляции и побочными эффектами применения антикоррозионных присадок в трансформаторном масле, а также результатов обработки масла, проведенной для удаления реакционно-способной серы из масла. Отмечены возможные риски повреждения трансформаторов из-за отложений сульфида меди в витковой изоляции, что может привести к снижению электрической прочности изоляции, а также отложений на металлических частях, что может привести к перегреву посеребренных контактов переключателей РПН.

ID101. *Optimal Thermal Management with Oil-forced Flow and Air-forced Flow for Power Transformer Applications.* Min-gu Kim, Tae-Won Park, Dong-Jin Hong and Joong-Kyoung Kim – Power & Industrial Systems R&D Center, Hyosung Co. (Южная Корея)/*Оптимальное терморегулирование с принудительным потоком масла и принудительным потоком воздуха для применения в силовых трансформаторах.*

В докладе рассмотрены вопросы оптимального управления тепловым режимом и определения подходящего режима охлаждения силовых трансформаторов путем аналитических вычислений, численного моделирования и экспериментальной оценки охлаждающей способности радиаторов. Представлены аналитические выражения для оценки охлаждающей способности радиаторов, результаты расчетов по аналитическим выражениям и с использованием специализированного коммерческого программного обеспечения FLUENT v.13 (ANSYS Inc.). Также представлены результаты измерений охлаждающей способности радиаторов, которые были получены на экспериментальной установке, содержащей масляный бак с нагревателями общей мощностью 300 кВт, маслонасосы и исследуемые радиаторы. Испытания проведены в режимах с естественным и принудительным воздушным и масляным охлаждением: ONAN, ONAF, ODAN и ODAF по классификации МЭК 60076-1 (М, Д, НМЦ, НДЦ по ГОСТ Р 52719 соответственно). В сравнении с экспериментальными результатами оценочные значения охлаждающей способности радиаторов по аналитическим выражениям в режиме с естественным воздушным охлаждением оказались ниже на 18–27%, что авторы связывают с принятыми при оценке допущениями о постоянстве поверхностной температуры и представлением радиаторов в виде плоских пластин. Оценка по программному обеспечению FLUENT оказалась

более близкой к экспериментальным результатам – ниже всего на 11–15%.

ID105. *Research of aged 500 kV transformer protection relay reforming and In-Service condition monitoring.* Song Yang – China Southern Grid Extra High Voltage Transmission Company (Китай)/*Исследования с целью модернизации релейной защиты старых трансформаторов 500 кВ и мониторинг состояния в условиях эксплуатации.*

В докладе затронуты вопросы повреждений трансформаторов сверхвысокого напряжения компании China Southern Power Grid и отмечены особенности эксплуатируемых трансформаторов. Приведен ряд мероприятий, направленных на предотвращение повреждений старых трансформаторов, в том числе предложения по настройке работы релейной защиты.

ID118. *Suitability of Ultra High Frequency Partial Discharge Measurement for Quality Assurance and Testing of Power Transformers.* Stefan Tenbohlen, Martin Siegel, Michael Beltle, Martin Reuter – University of Stuttgart (Германия)/*Возможность применения измерений частичных разрядов ультравысокочастотным методом для контроля качества и испытаний силовых трансформаторов.*

В докладе поднят вопрос о применении УВЧ-метода регистрации ЧР при заводских приемосдаточных испытаниях силовых трансформаторов. В настоящее время стандартами предусмотрено применение электрического метода измерения ЧР при проведении заводских испытаний, что связано с возможностью калибровки применяемого измерительного оборудования. УВЧ-метод, в отличие от электрического метода, является менее чувствительным к внешним сигналам, что делает его пригодным для измерений в заводских условиях и в условиях эксплуатации. В докладе отмечено, что для того чтобы УВЧ-метод стал сопоставимым с электрическим методом, требуется стандартизация измерительного оборудования в части калибровки или проверки чувствительности УВЧ-антенн.

Практические семинары. В рамках совместного коллоквиума комитетов А2 и С4 состоялись практические семинары, проводимые представителями рабочих групп (РГ):

РГ D1.30 – «Oxidation Stability of Transformer Insulating Oils» («Стабильность жидкостей к окислению») – докладчик Ivanka Atanasova-Hoehlein;

РГ А2.33 – «Transformer Fire Safety Practices» («Практика пожаробезопасности») – докладчик Arne Petersen;

совместная РГ А2/С4.39 (309) – «Electrical transient interaction between transformer and power system» («Электрическое взаимодействие трансфор-

маторов и электрической системы) — докладчик Angelica Rocha и другие члены рабочей группы;

РГ А2.36 — «Guide for Transformer Procurement Process» («Руководство по процессу закупки трансформаторов») — докладчик Tom Breckenridge;

РГ С4.307 — «Resonance and Ferroresonance in Power Networks and Transformer Energization Studies» («Резонансы и феррорезонансы в электрических сетях») — докладчики Zia Emin и Marta Val Escudero.

Рабочие группы и публикации ИК А2 «Трансформаторы». В рамках закрытого заседания ИК А2 состоялось обсуждение работы рабочих групп:

РГ А2.38 — «Transformer Thermal modeling» («Тепловое моделирование трансформаторов»);

РГ А2.37 — «Transformer Reliability Survey» («Исследование надежности трансформаторов»);

РГ А2.40 «Copper Sulphide Long-Term Mitigation and Risk Assessment» («Длительное подавление сульфида меди и оценка риска»);

совместной РГ А2/D1.41 — «HVDC transformer insulation — Oil conductivity» («Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения — проводимость масла»);

РГ А2.42 «Transformer Transportation» («Транспортирование трансформаторов»);

РГ А2.44 — «Transformer Intelligent Condition Monitoring» («Интеллектуальный мониторинг состояния трансформаторов»);

РГ А2.43 — «Transformer Bushing Reliability» («Надежность трансформаторных вводов»);

РГ А2.45 — «Transformer failure investigation and post-mortem analysis» («Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ»);

совместной РГ А2-D1.46 — «Field experience with transformer aging markers» («Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов»);

совместной РГ А2-С4.39 — «Electrical transient interaction between transformer and power system» («Электрические переходные взаимодействия между трансформатором и электрической системой»).

В 2013 г. начали свою работу новые рабочие группы:

РГ А2.48 — «Shunt Reactor» («Шунтирующие реакторы»);

РГ А2.49 — «Transformer Condition Assessment» («Оценка состояния трансформаторов»);

А2.50 — «Reverse power flow» («Обратный поток мощности»).

Озвучено приглашение заинтересованным экспертам к участию в указанных новых рабочих группах.

В 2013 г. завершена работа РГ А2.36 «Guide for Transformer Procurement Process» «Руководство по

процессу закупки трансформаторов»; по итогам работы в 2013 г. были опубликованы три брошюры:

№ 528 — «Transformer Procurement Process: Guide to Preparation of Specifications for Power Transformers» («Процесс закупки трансформаторов: Руководство по подготовке спецификации на силовые трансформаторы»);

№ 529 — «Transformer Procurement Process: Guide to Design Review for Power Transformers» («Процесс закупки трансформаторов: Руководство по анализу конструкции силовых трансформаторов»);

№ 530 — «Transformer Procurement Process: Guide to the Assessment of the Capability of a Transformer Manufacturer» («Процесс закупки трансформаторов: Руководство по оценке возможностей изготовителей трансформаторов»).

В 2013 г. завершила свою работу и РГ А2.33 «Transformer Fire Safety Practices» («Практика пожаробезопасности» с публикацией соответствующей брошюры) № 537 — «Guide for Transformer Fire Safety Practices» («Руководство по практике пожаробезопасности»).

Кроме того, консультативной группой А2.5 «UHV AC & DC transformer» («Трансформаторы для сетей ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока») в 2013 г. подготовлена и опубликована брошюра № 542 «Insulation coordination for UHV AC system» («Координация изоляции для систем ультравысокого напряжения переменного тока»).

Мероприятия с участием комитета А2 СИГРЭ в 2014–2015 г.

45-я сессия СИГРЭ. В период с 24 по 29 августа 2014 года в г. Париже (Франция) состоится 45-я сессия, в рамках которой по комитету А2 «Трансформаторы» запланировано рассмотрение докладов по следующим предпочтительным темам.

ПТ1 «Передовая практика управления ресурсом»: индикатор состояния как инструмент для оценки состояния, применения ранжирования парка трансформаторов по состоянию и важности;

передовой опыт стратегий обслуживания и новых инвестиций, маркеров старения твердой изоляции, он-лайн-мониторинга и диагностики, роль анализа причин повреждений при вскрытии трансформаторов;

методики минимизации последствий от наиболее значимых событий, требования и практика использования резервных трансформаторов.

ПТ2 «Трансформаторы специального применения»: применение фазоповоротных, преобразовательных, промышленных, морских/подводных транс-

форматоров, управляемых шунтирующих реакторов и пр.;

технические требования, проектирование, изготовление и испытания;

характеристики, надежность, эксплуатация и обслуживание.

ПТЗ «Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий»:

опыт с новыми изоляционными жидкостями, газами и твердыми диэлектриками (обслуживание, характеристики, диагностика, затраты полного срока эксплуатации), улучшенные материалы и технологии для обмоток и магнитопровода;

опыт с новыми технологиями для компонентов (вводов, РПН и др.);

опыт и применение трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводимостью.

С программой, тематикой заявленных докладов и другой информацией о 45-й сессии СИГРЭ можно ознакомиться на официальном сайте СИГРЭ — <http://www.cigre.org/Events/Session/Session-2014>.

Третья Международная конференция «Transformer Research and Asset Management» («Исследования и управление ресурсом трансформаторов») пройдет с 15 по 17 октября 2014 г. в г. Сплит (Хорватия) под эгидой комитета А2 «Трансформаторы» и национального комитета СИГРЭ Хорватии. Предпочтительные темы конференции.

Численное моделирование — электромагнитные поля, связанные полевые задачи, переходные процессы, численное моделирование при проектировании и др.;

Материалы, компоненты и новые технологии — изоляционные и магнитные материалы, компоненты для трансформаторов, новые технологии, уровень звука и др.;

Управление ресурсом трансформаторов — мониторинг, диагностика, повреждения, управление ресурсом и др.

Дополнительная информация по конференции представлена на специальном сайте <http://www.hro-cigre.hr/eng/3colloquium.aspx/>

Коллоквиум комитета А2 СИГРЭ в 2015 г. Очередной коллоквиум комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ запланирован на период с 20 по 25 сентября 2015 г. в г. Шанхай (Китай). Предварительные предпочтительные темы коллоквиума следующие.

ПТ1 «Оборудование и компоненты для сетей сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока»;

ПТ2 «Технологии для оборудования сетей будущего»;

ПТЗ «Лучшее использование существующих систем».

Техническая выставка.

В период с 9 по 11 сентября 2013 г. в рамках совместного коллоквиума комитетов А2 и С4 СИГРЭ в основном вестибюле ЕТН состоялась техническая выставка, на которой были представлены широко известные компании: ABB Schweiz AG, ALSTOM Grid AG, Cargill Ltd, ETN Swiss Fed. Institute of Technology, Haefely Test AG, MGC Moser-Glaser AG, MR Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, MTE Meter Test Equipment AG, Omicron electronics GmbH, Pfisterer Sefag AG, SGB-SMIT Transformers, Siemens Schweiz AG, Weidmann Electrical Technology AG.

Выводы. 1. По итогам совместного коллоквиума комитетов А2 и С4 СИГРЭ можно отметить следующие наиболее обсуждаемые ключевые темы:

взаимодействие трансформаторов с электрической системой и связанные с ним перенапряжения; применение новых типов трансформаторного оборудования;

применение новых изоляционных материалов для повышения экологической чистоты, взрыво- и пожаробезопасности;

повышение надежности эксплуатируемого трансформаторного оборудования.

2. В части взаимодействия трансформаторов с электрической системой следует отметить интерес к проблеме резонансных перенапряжений в обмотках трансформаторов и решению следующих задач:

повышение достоверности моделирования переходных процессов;

применение детализированных моделей трансформаторов и развитие методов моделирования высокочастотных перенапряжений в обмотках трансформаторов с учетом внешней схемы;

разработка мероприятий по защите от резонансных перенапряжений.

3. В части новых типов трансформаторного оборудования следует отметить имеющийся интерес к применению фазоповоротных трансформаторов и управляемых шунтирующих реакторов для управления потоками мощности в сетях.

4. В части повышения надежности работы трансформаторного оборудования усилия мировой науки направлены на развитие:

методов диагностики, оценки фактического состояния находящегося в эксплуатации трансформаторного оборудования и принятия решений о дальнейшей его эксплуатации;

систем мониторинга трансформаторного оборудования и его составных частей.

5. В части применения новых изоляционных материалов для повышения экологической чистоты, взрыво- и пожаробезопасности можно отметить следующие тенденции:

применение жидких диэлектриков, альтернативных традиционному трансформаторному маслу (например натуральных эфиров);

применение в силовых трансформаторах высокотемпературной гибридной изоляции;

повышение класса напряжения сухих трансформаторов вплоть до 110 кВ, разработка сухих трансформаторов на напряжения для применения в сетях среднего и высокого напряжения.

Автор: Ларин Василий Серафимович окончил Институт электроэнергетики МЭИ (ТУ) в 2004 г. В

2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка эффективного метода расчета внутренней изоляции силовых трансформаторов» в МЭИ (ТУ). Начальник отдела трансформаторов ФГУП ВЭИ, регулярный член и представитель Российского национального комитета СИГРЭ в комитете А2 «Трансформаторы» СИГРЭ.

Author: Larin Vasily Serafimovich graduated from the Power Engineering Department of the Moscow Power Institute in 2004. In 2007 he received the degree of Cand. Techn. Sce. He is Head of the Transformers Department of the All-Russian Electrotechnical Institute, the Regular member and the Representative of the Russian National Committee CIGRE in the Research Committee A2 «Transformers» CIGRE.

* * *

Зарубежная подписка

на журнал «Электричество»
оформляется через фирмы-партнеры ЗАО «МК-Периодика» или непосредственно
в ЗАО «МК-Периодика» по адресу:

Россия, 111524 Москва, Электродная ул., 10, стр. 3

ЗАО «МК-Периодика»;

тел. (495) 672-70-12; факс (495) 306-37-57

E-mail: info@periodicals.ru

Internet: <http://www.periodicals.ru>

To effect subscription it is necessary to address to one of the partners of JSC «MK-Periodica» in your country or to JSC «MK-Periodica» directly.

Address: Russia, 111524 Moscow; 10, str.3, Elektrodная ul.

JSC «MK-Periodica»

Tel.: (495) 672-70-12; fax (495) 306-37-57

E-mail: info@periodicals.ru

Internet: <http://www.periodicals.org>