СИГРЭ. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМИТЕТ B3 «ПОДСТАНЦИИ»

АВТОРЫ:

ДАРЬЯН Л.А.,
Д.Т.Н.,
ЗАО «ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНСПЕКЦИЯ ЕЭС»

В августе 2014 г. в Париже прошла 45-я Сессия Международного Совета по большим электроэнергетическим системам CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques). В рамках сессии проводятся технические, административные и пленарные заседания всех входящих в эту конференцию исследовательских комитетов (ИК) и рабочих групп (РГ). В настоящем номере мы представляем отчет о работе Исследовательского комитета B3 «Подстанции».

Ключевые слова: Smart Grid; мониторинг; оценка состояния; системы автоматизации ПС.

Исследовательский комитет B3 CIGRE «Подстанции»

ВВЕДЕНИЕ

1. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМИТЕТ ИК B3, ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Стратегическими целями деятельности Исследовательского комитета (ИК) B3 «Подстанции» являются содействие инженерному развитию, расширению информационной базы и международному обмену информацией в области проектирования, строительства, технического обслуживания и управления подстанциями, а также анализ опыта эксплуатации и разработка рекомендаций для реализации наилучших решений.

В своей деятельности ИК B3 выделяет следующие актуальные направления:

- проектирование подстанций и высоковольтных сетей переменного и постоянного тока;
- Smart Grid и повышение уровня автоматизации сетей;
- повышение информативности по рискам активов;
- повышение мощности подстанций и модернизация существующих активов;
- новые материалы и технологии;
- опыт эксплуатации высоковольтных сетей;
- безопасность и охрана окружающей среды;
- экономические аспекты строительства и ремонта.

Текущая работа комитета осуществляется в рабочих группах (далее — РГ), которых в настоящее время насчитывается 19:

- РГ B3.13 (F. Gallon) «Сокращение времени на замену высоковольтного оборудования» (2005–2013);
- ОРГ (объединенная РГ) B3/C1/C2.14 (G. Lingner) «Оптимизация конфигурации схемы» (2006–2013);
- РГ B3.36 (P. Sandeberg) «Особенности систем переменного и постоянного тока ВВ подстанций (ПС), соединенных с ветровыми электростанциями» (2011–2013);
- РГ B3.35 (B. Carman) «Оптимизация конструкции заземления ПС на основе количественного анализа рисков» (2013–2016);
- РГ B3.29 (K. Uehara) «Технологии полевых испытаний оборудования ПС ультравысокого напряжения (УВН) в условиях эксплуатации» (2010–2013);
- РГ B3.30 (S. Stangherlin) «Руководство по сокращению использования элегаза при проведении приемо-сдаточных испытаний электрооборудования» (2010–2013);
- ОРГ B3/B1.27 (H. Koch) «Факторы, влияющие на принятие инвестиционных решений при выборе кабелей и газоизолированных линий переменного тока» (2011–2014);
- РГ B3.24 (M. Reuter) «Преимущество диагностики на основе измерения характеристик ЧР при оценке состояния КРУЭ» (2012–2015);
- РГ B3.37 (D. Fulcheron) «Внутренние эффекты от разрядов в распределительных устройствах среднего напряжения (1–52 кВ) — снижения последствий» (2013–2017);
- РГ B3.31 (M. McVey) «Подстанции, эксплуатируемые в тяжелых климатических условиях» (2011–2013);
- РГ B3.32 (H. Cunningham) «Оптимизации обслуживания ОРУ» (2011–2014);
- РГ B3.34 (J. Smit) «Концепция управления подстанциями будущего» (2011–2014);
- РГ B3.23 «Руководство по повышению мощности и модернизации ПС » (2014);
- РГ B3.40 (E. Duggan) «Руководство по измерению элегаза» (2013–2016);
- РГ B3.38 (G. Buchs) «Управление рисками на ПС» (2014–2017);
- РГ B3.39 (P. Karsten) «Влияние нетрадиционных измерительных трансформаторов на КРУЭ» (2014–2017);
- РГ B3.41 (P. Fletcher) «Мобильные ПС, включающие ВВ КРУЭ» (2014–2017);
- РГ B3.42 (J. Fan) «Анализ надежности и принципы конструирования низковольтных вспомогательных систем постоянного и переменного тока» (2014–2017);
- РГ B3.43 «Бюджетные решения для ПС на юге Сахары».

Период деятельности каждой РГ составляет 3–4 года и завершается обзорной публикацией в журнале «ЭЛЕКТРА » или выпуском технической брошюры — итогового материала, обобщающего доступные материалы, характеризующие уровень знаний в данной предметной области. В этой публикации также приводятся выводы и практические рекомендации по теме анализа.

ОБЗОР ДОКЛАДОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА 45-Й СЕССИИ ПО ТЕМАТИКЕ ИК B3

На 45-ю Сессию CIGRE по тематике SC B3 всего было представлено 34 доклада по двум предпочтительным темам (ПТ):

1. «Модернизация подстанций в соответствии с требованиями будущего» — 17 докладов по следующим темам и вопросам:
   - интеграция новых подходов в автоматизации сети на подстанциях передающих и распределительных сетей;
   - влияние новых разработок в сети на проектирование подстанций;
   - морские подстанции;
   - распределительные подстанции низкой стоимости и быстрого развертывания.
2. «Управление жизненным циклом подстанций» — 17 докладов по следующим темам и вопросам:
   - ремонт, реконструкция, расширение и улучшение технических характеристик подстанций;
   - управление основными производственными фондами, техническое обслуживание, контроль, вопросы надежности и устойчивости;
   - управление рисками в проектировании, монтаже и эксплуатации подстанций.

ДОКЛАДЫ ПО ТЕМЕ 1 «МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДСТАНЦИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ БУДУЩЕГО»

B3-101-2014 «Программное обеспечение для оптимизации процесса проектирования подстанций с помощью BIM (Building Information Model) технологий, передовых информационных систем и системы управления знаниями». Авторы — J. Correa, J. Garcia (HMV Ingenieros Ltd., Colombia).

На электрической подстанции в условиях оптимизации процессов стоимость основного и детального проектирования является областью, обладающей наиболее высоким потенциалом для оптимизации. Сложившаяся ситуация главным образом повлияла на инженерные компании, которым необходимо удовлетворять текущие требования, касающиеся изменения объемов работ с сохранением сроков, окончательной стоимости или качества.

На основе 50-летнего опыта в сфере консалтинга, управления и проектирования систем передачи высокого и сверхвысокого напряжения и с помощью современных информационных систем и технологий BIM инженеры разработали два взаимодополняющих инструмента для компьютерного проектирования: HMV и DISAC.

HMV представляет собой платформу для выполнения расчетов в электромеханических, структурных и гражданских проектах. DISAC — это программа на платформе AutoCAD, которая позволяет осуществлять 3Д-моделирование подстанций в целом и всех ее основных компонентов, таких как коммутационное оборудование, сооружения, колонны и балки, изоляторы, шины, соединения, разъемы и т.д., в том числе подземной части ОРУ (фундамент, заземление сети, канализационные системы, кабельные траншеи и каналы). Такое моделирование позволяет определить различные помехи, зазоры, нарушения, а также сформировать накладную (счет) за материалы.

Обе программы хранят информацию в единой модели подстанции, которая хранится в «частном облаке» в Интернете, предоставляя доступ к модели представителям различных рабочих групп по всему миру.

Инструменты BIM в сочетании с централизованными процедурами стандартизированного конструирования и базами данных позволили инженерам HMV повысить их потенциал реагирования при проектировании подстанций высокого и сверхвысокого напряжения, оптимизировать процесс проектирования, снизить затраты, повысить качество, а также содействовать обучению новых конструкторов.

B3-103-2014 «Технология самовосстановления для "умных" распределительных сетей». Авторы — Xuzhu Dong, Li Yu, Feng Wang, Peng Li, Xiaoyun Huang, Shaoyuan Huang (Electric Power Research Institute, China; Southern Power Grid, Hunan University, Tianjin University, Guangdong Power Grid, China).

Самовосстановление является важной особенностью «умных» распределительных сетей. Оно предполагает наличие способности самовосприятия, самодиагностики, самостоятельного принятия решений и самовосстановления, для того чтобы система работала надежно, безопасно и экономично.

На основе традиционных технологий автоматизации распределенной сети, систем связи и передовых измерительных технологий контроль самовосстановления распределительной системы был значительно улучшен в части наблюдаемости, управляемости и быстрого реагирования. Вопросы управления распределительной системы с учетом интеграции большого количества распределенных энергетических ресурсов и устройств накопления энергии также могут быть решены с помощью контроля самовосстановления. В работе представлены концепция и особенности технологии самовосстановления, а также стратегии управления (рис. 1). Также в работе детально описана «НИОКР по технологии самовосстановления для распределительных сетей» из Национальной программы НИОКР Китая.

Применение данной технологии может улучшить надежность системы распределения, сократить количество отключенных потребителей, а также помочь при интеграции и контроле DER, систем накопления энергии и микросетей. Стратегия управления самовосстановлением, проиллюстрированная в этой статье, реализуется на демоверсии интеллектуальной системы распределения.

B3-104-2014 «Новое поколение высокоинтегрированных интеллектуальных ПС». Авторы — Peng Sun, Yong Cai, Zhiqian Bo, Tianshu Bi (Hubei Electric Power Company of SGCC, Xuji Group of SGCC, North China Electric Power University).

В статье представлено новое поколение интеллектуальных подстанций, работающих на основе современных ключевых технологий и оборудования с особым упором на высокоинтегрированную ПС с ОРУ. Данные ПС реализуются в соответствии с проектом в части интеграции, унификации и модульности с учетом высокого уровня интеграции первичного и вторичного оборудования, устройств ИЭУ, сетей связи, платформ подстанций и пространства для оборудования.

В работе рассмотрены методы внедрения электронного трансформатора и выключателя, а также вопросы, связанные с их механической надежностью, допусками изоляции и т.д. (рис. 2), описан уровень секции с многофункцио-

СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ САМОВОССТАНОВЛЕНИЕМ ДЛЯ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

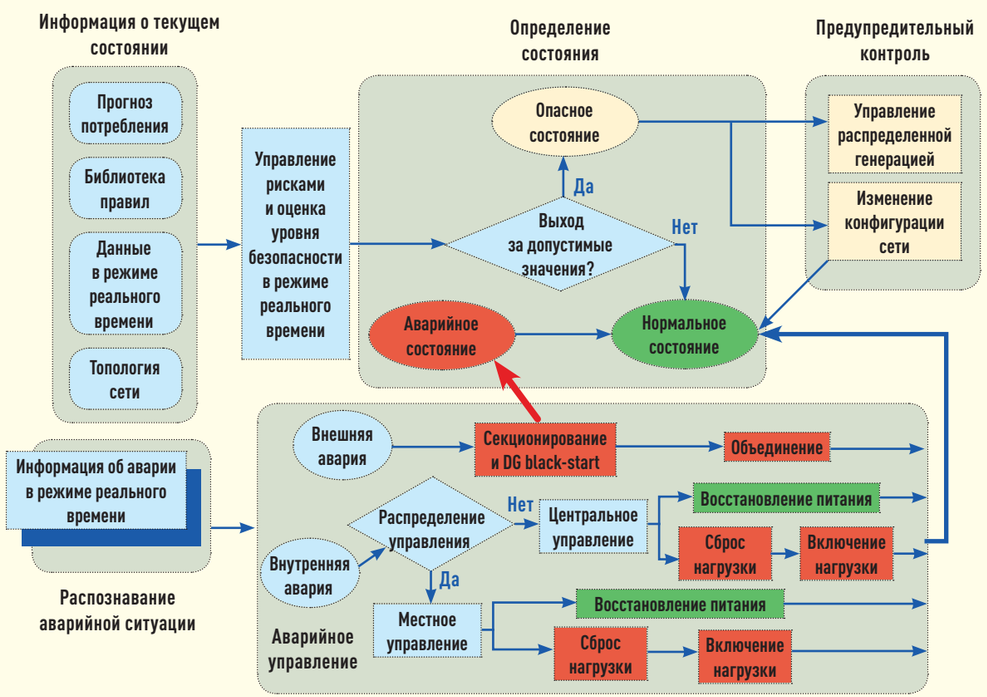

Рис. 1

СХЕМА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

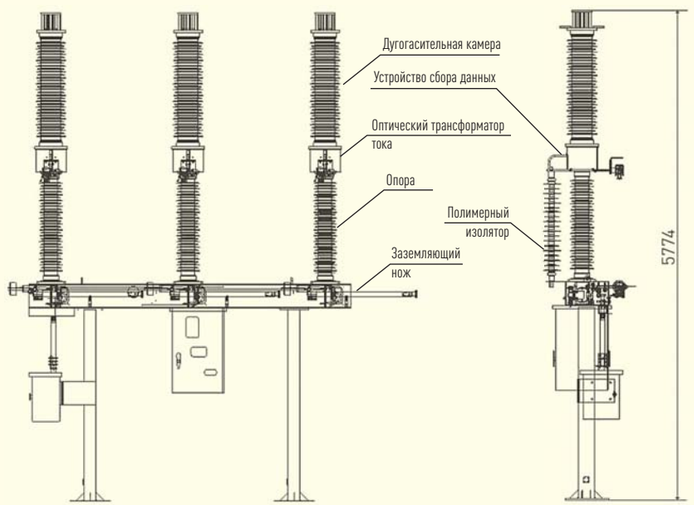

Рис. 2

нальными ИЭУ с высокой степенью интеграции, включающими в себя функции защиты, измерения и учета. На уровне процесса интегрированные ИЭУ включают в себя функции интеллектуального терминала и он-лайн мониторинга, в результате чего существенно оптимизируются вторичные системы. Мощность аппаратной обработки также анализируется на предмет достаточной скорости и резервирования.

Показано применение трехслойных макетов одной сети — MMS, GOOSE и объединенной сети SV, а также устройств данных макетов на уровнях процесса и подстанции, которые имеют один выход. Данные устройства были предложены для решения проблемы чрезмерного использования и низкой нагрузки выключателей при одновременном обеспечении надежности в режиме реального времени.

Также в работе показано, что высокая степень интеграции для платформы подстанции достигается за счет использования полной информации о подстанции в реальном времени с целью централизованного принятия решений для реализации таких функций, как резервная защита подстанции, дифференциальная защита простых шин 10 кВ, блок автоматического включения подстанции и перегрузки. Защита на уровне подстанции использует всю информацию о подстанции для оптимизации защиты на местном уровне, а также повышения чувствительности и надежности.

В работе представлены высокоинтегрированные технологии для оборудования с использованием стандартных контейнеров для первичного, вторичного и контролирующего оборудования. Наконец, основная оптимизация может быть достигнута путем соединения шин электронного преобразователя тока, разъединителей и выключателей в одном интегрированном интеллектуальном выключателе, что приведет к уменьшению размеров устройства. Комбинация шины электронного преобразователя напряжения и шины КРУЭ приведет к снижению продольного размера поля распределения мощности, а оборудование класса напряжения 10 кВ с использованием распределительного щита КРУЭ будет способствовать дальнейшему сокращению занимаемого пространства.

Дальнейший анализ технических и экономических преимуществ показывает, что оптимизированная интеллектуальная подстанция может сократить использование площади земли до 46,8% и здания до 62,5% по сравнению со стандартным проектированием.

Применение новых цифровых измерительных трансформаторов, слияния сети, иерархической структуры систем защиты и управления, нового оборудования и технологий приводят к значительному повышению надежности оборудования подстанций, удобству его использования, сокращению площадей и уменьшению строительного цикла, которые становятся новой тенденцией развития подстанции.

B3-105-2014 «Развитие технологий КРУЭ для соответствия новым требованиям по классу напряжения 420 кВ и выше». Авторы — A. Ficheux, G. Gaudart, N. Toquet, A. Bertinato, J.B. Jourjon, N. Garbi, D. Depres, M. Bernard, P. Vinson, V. Troubat, T. Berteloot (Alstom Grid, France).

Развитие сетей сверхвысокого напряжения (СВН) предполагает все большее использование элегазовых распределительных устройств (КРУЭ). Эта технология имеет много преимуществ, таких как компактность, интеграция в ландшафт, гибкость в принятии решений и т.д. При проектировании КРУЭ производители учитывают указанные требования, чтобы адаптировать КРУЭ к разработке новых приложений, а также изменениям международных стандартов. В статье подробно описаны последние разработки в части технологий КРУЭ для соответствия новым требованиям по классам напряжения от 420 до 800 кВ.

Оптимизированная конструкция выключателя и сопутствующих компонентов влияет на выбор компактного решения для КРУЭ. Для классов напряжения до 420 кВ это дает возможность полной стационарной сборки и проведения испытаний на заводе. Тогда собранное устройство может быть отправлено непосредственно на ПС, что сократит объем работ по сборке.

Для энергосистем класса напряжения 800 кВ компактный дизайн выключателя КРУЭ, оснащенного предварительно проверенным резистором, позволяет использовать очень компактную архитектуру. Компактность дает ряд преимуществ в части сокращения размеров при планировке подстанции с КРУЭ, а также увеличения доступности оборудования для операторов подстанций. В конечном счете этот тип КРУЭ может быть расположен внутри здания, при этом воздействие сейсмических ограничений уменьшается (рис. 3).

Современные конструкторские инструменты позволяют определить подход к оптимизации компонентов. При этом должны учитываться типовые испытания.

B3-106-2014 «Пример оптимизации конструкции с шиной обработки данных». Авторы — H. Jacques, C. Woolley, G. Tremouille (ALSTOM Grid, France, UK), R. Migné, T. Buhagiar, T. Glauthlin (RTE, France).

С введением МЭК 61850 для ПС переменного тока высокого напряжения, которые также называют «цифровыми ПС», дизайн некоторых частей подстанции подвергся изменениям (рис. 4). Концепция «цифровой подстанции» заключается в оцифровке сигналов рядом с их источником, уменьшая при этом количество медных кабелей низкого напряжения, а также предоставляя возможность проведения мониторинга. Переход от традиционного подхода к МЭК 61850 неизбежен, так как поставщики разрабатывают системы защиты, управления и телекоммуникационного оборудования нового поколения.

Анализируя опыт реализации предыдущих проектов, инженеры могут оптимизировать решение и по возможности снизить затраты. В работе проанализированы предыдущие проекты ОРУ с учетом экономии средств в части закупки основного оборудования, строительных работ и вторичного проектирования. Однако экономия в области строительных работ реализуется только тогда, когда площадь, занимаемая подстанцией, уменьшена за счет объединения оборудования на базе общей структуры, например, цифровой измерительный трансформатор с выключателем или разъединителем.

Считается, что внедрение «цифровой подстанции» резко сократит количество медных кабелей низкого напряжения с учетом перехода на технологии волоконно-оптических кабелей. Хотя в работе доказано некоторое снижение количества медных кабелей, однако оно не такое серьезное, как можно было бы предположить. Кроме того, в работе показано потенциальное увеличение количества электронных компонентов для создания полностью цифровой системы безопасности, в том числе наличие побочного эффекта избыточности, который может быть компенсирован путем оптимизации реле защиты.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КОНТАКТОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА ВРЕМЯ ДУГООБРАЗОВАНИЯ

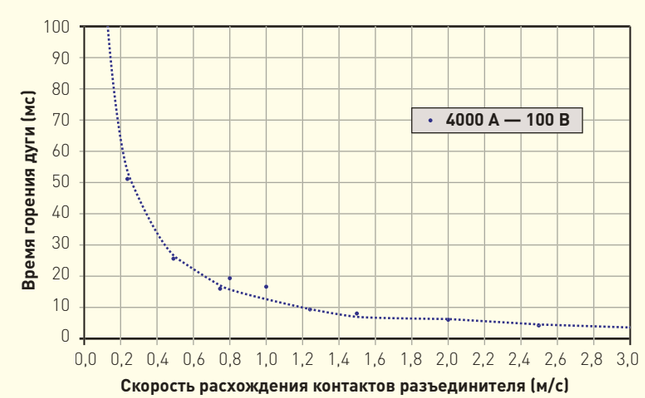

Рис. 3

СТРУКТУРА ЦИФРОВОЙ ПС

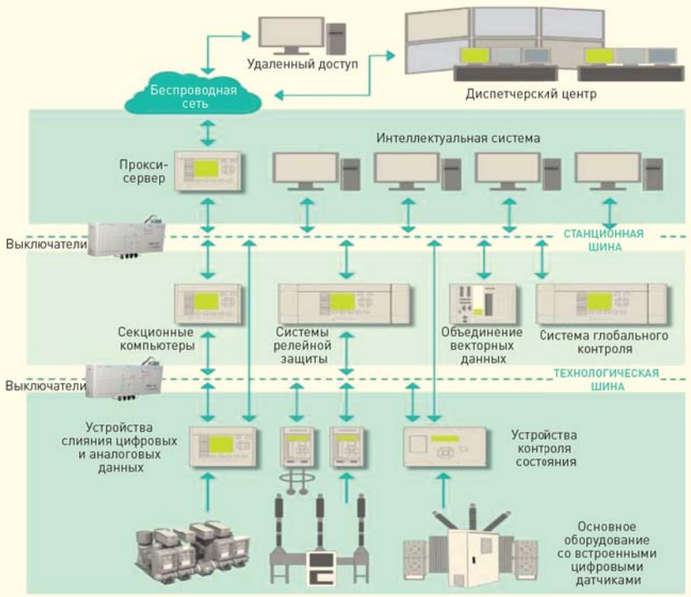

Рис. 4

В работе представлены заключения о потенциальных источниках существенной экономии для будущей подстанции с помощью шины обработки данных. Показаны потенциальные изменения в реализации проекта с точки зрения проектирования, необходимого для осуществления и оптимизации цифровых решений. Благодаря операционной совместимости стандарта МЭК 61850, новые концепции и методологии позволят сократить время на проектирование при использовании готовых решений.

Применение цифровых подстанций и внедрение систем защиты с ИЭУ, контроля и телекоммуникационного оборудования по стандарту МЭК 61850 будет расти в части популярности и признания со стороны конечного пользователя, и в итоге станет стандартом для проектирования подстанций. Оптимизация этого проектирования имеет решающее значение для достижения экономии средств. К сожалению, в настоящее время не существует стандартной архитектуры для цифровой подстанции, и проектирование меняется согласно требованиям конечных пользователей.

При сопоставлении цифровых и обычных ПС был сделан вывод о возможности экономии на некоторых компонентах, в данном случае низковольтных кабелях (31% — экономия труда и 17% — экономия материала), основаниях измерительных трансформаторов (60% — с учетом комбинированного решения и 16% — без комбинированного решения) и транспорте (11%). Кроме того, дополнительная экономия возможна при модернизации кабельных траншей (размер, маршрутизация) в результате сокращения количества низковольтных кабелей.

B3-109-2014 «Опыт эксплуатации по внедрению системы автоматизации ПС вместе с шиной обработки данных 9-2 LE совместимой с традиционными ТТ и ТН». Авторы — V. Shyamala, T. Sai Kumar, Amit Aggarwal, Atanu Biswas (Corporate R&D, Bharat Heavy Electricals Limited, India).

МЭК 61850 является международным стандартом, регулирующим системы защиты, интеграции, управления, контроля, измерения и испытаний на ПС. Применение данного протокола передачи данных в области автоматизации подстанций было весьма успешно с момента его введения в 2004 г. Модельно-управляемый подход, предложенный в протоколе, привел к значительному снижению стоимости и улучшению производительности систем защиты и управления. В нем также рассматривается возможность взаимодействия нескольких интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) на подстанции. Тематическое исследование, рассмотренное в данной работе, связано с опытом эксплуатации системы автоматизации ПС классов напряжения 132 кВ / 33 кВ по стандарту МЭК 61850 (рис. 5). Кратко описан процесс внедрения стандарта с упором на компоненты, топологию сети и системные требования, сформированные после испытаний, проведенных в лаборатории. Также проанализированы вопросы, связанные с коммуникационной системой на уровне процесса и уровне подстанции. В статье также представлен опыт, полученный после двухлетнего успешного проведения полевых испытаний совместимых устройств для автоматизации подстанции по МЭК 61850. Также

были описаны проблемы, возникшие в ходе интеграции разработанного объединяющего устройства для существующей подстанции, состоящего из устройства управления присоединением, сторонних реле и счетчиков, шлюзов, интерфейса клиента и «человека — машины».

Установленная система автоматизации работала без перебоев в течение двух лет на новой подстанции. Технологии для шины процесса и ИЭУ станционной шины соответствуют тенденции растущего спроса на автоматизацию подстанций.

B3-112-2014 «Технологии проектирования современных ВВ КРУЭ». Авторы — D. Gautschi, K. Pohlink, R. Luescher, Y. Kieffel (ALSTOM Grid AG, Switzerland; ALSTOM Grid, France). Технологии КРУЭ постоянно улучшаются в отношении компактности, объема элегаза, стоимости и доступности. При сравнении первых КРУЭ, которые появились в конце 1960-х гг., с современными КРУЭ, например, масса SF_6 стандартного распределительного устройства с двойной системой шин класса напряжения 145 кВ была снижена на 85%, объем почти на 90% и энергия привода более чем на 50% (рис. 6).

Помимо достижений, описанных выше, были проведены улучшения в плане доступности, мониторинга, гибкости и газоплотности. Дальнейшие улучшения могут быть достигнуты с учетом некоторых ограничений физического характера, приводящих к росту стоимости производства. Примером является использование альтернативных газов, таких как сухой воздух или CO_2 в качестве замены SF_6, которое возможно уже сегодня. Полное замещение SF_6 одним газом, скорее всего, невозможно, однако можно использовать смеси различных газов. Результаты исследований альтернативных газов выглядят многообещающе, и есть шанс, что дальнейшие исследования помогут найти возможную замену SF_6 в качестве изоляционного газа для распределительных устройств.

B3-113-2014 «Автоматизация распределительной сети, ориентированная на ПС». Авторы — E. Hedges (Kansas City Power & Light, USA), F. Becker (Siemens Industry Inc., USA), K. Geisler (Siemens Industry Inc., USA).

ОБЩАЯ СХЕМА ПС 132 КВ / 33 КВ

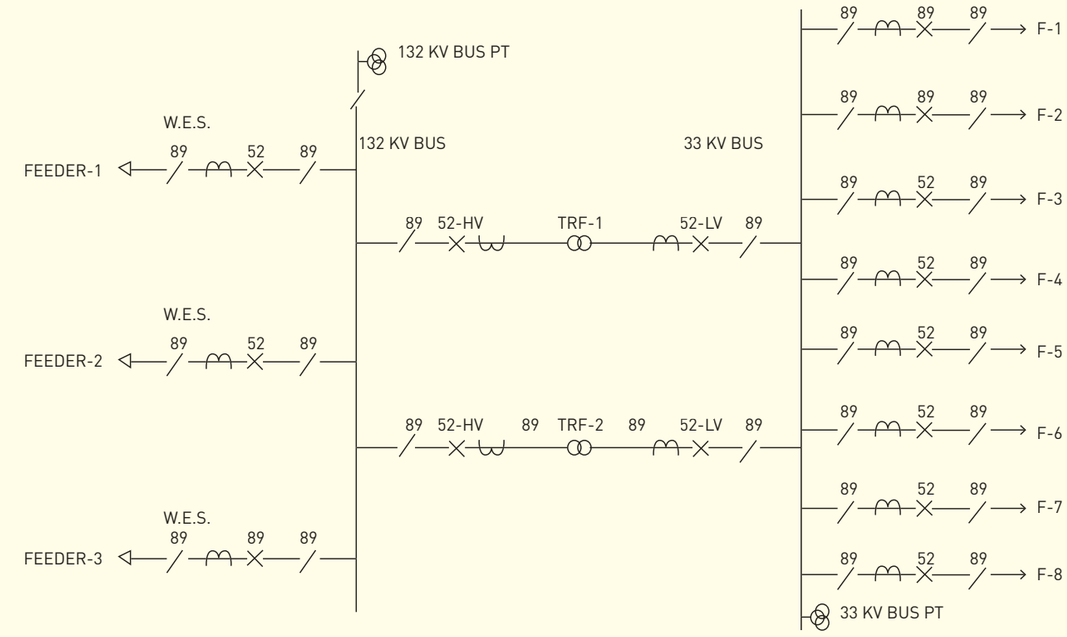

Рис. 5

УЛУЧШЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ КРУЭ 145 КВ

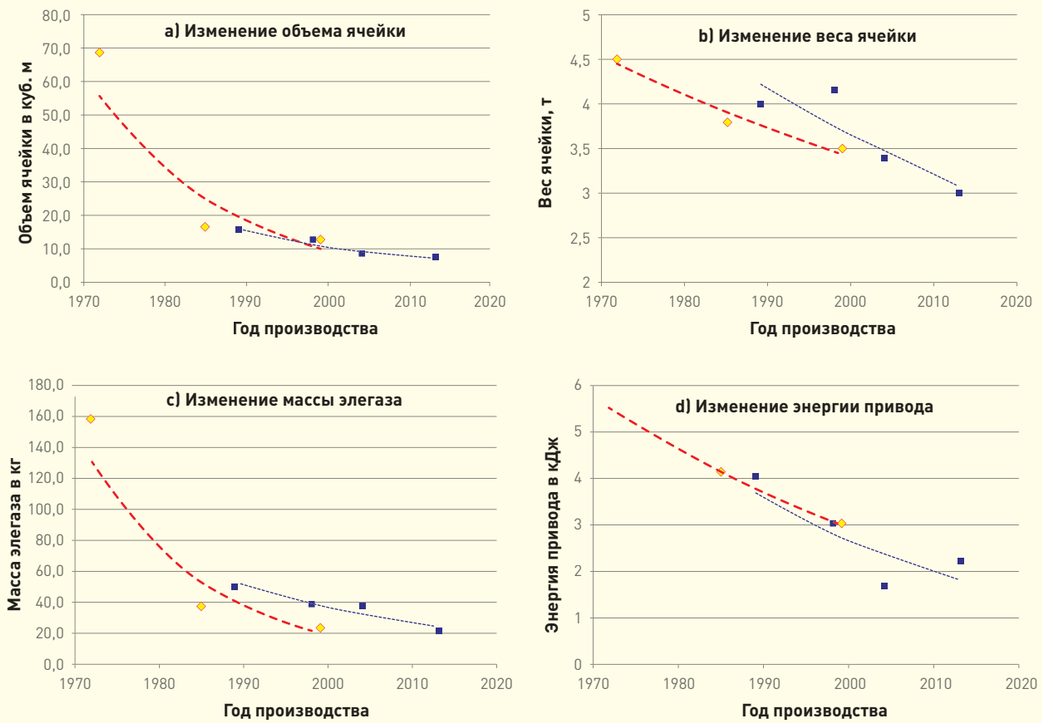

Рис. 6

Основной предпосылкой создания «интеллектуальных сетей» является способность быстрого принятия решений при автоматизации распределительной сети. Благодаря использованию приложений стандартного моделирования и протоколов обмена информацией можно реализовать функциональный, экономически эффективный и безопасный демонстрационный проект по автоматизации распределительной сети на основе модели, ориентированной на ПС. Внедрение иерархической системы управления позволяет достигнуть этой цели путем объединения системы управления распределительной сетью (DMS) в центре управления, интеллектуальных «агентов» на подстанции и автоматизированных фидерных устройств. В результате как сегментированная часть верхнего уровня модели распределительной сети подстанция способна органично координировать работу с центром DMS.

В отличие от первоначальных целей проекта на стадии испытаний было собрано большое количество данных, поэтому проект послужил основой для планирования и реализации системного внедрения успешных технологий и процессов в будущем. Основные сторонники этого подхода — компании, которые ищут рентабельные варианты для оценки и ускорения модернизации сети, координации, стимулирования потребителей и интеграции технологий хранения и возобновления источников энергии. Ниже представлен обзор системных DMS с интерфейсами для систем регулирования спроса и управления распределенными энергоресурсами. Также показано несколько распределительных подстанций с удаленным оборудованием.

Можно сказать, что процесс интеграции этого проекта был усложнен в связи с большим количеством входящих в его состав новых технологий. Тем не менее большинство из первоначальных целей проекта были реализованы, а именно:

1. усовершенствованы эксплуатационные данные о критическом оборудовании подстанций в режиме реального времени;
2. снижены затраты на эксплуатацию и ТО реле;
3. повышена надежность за счет автоматизации;
4. повышена эксплуатационная надежность за счет уменьшения частоты и длительности отключений;
5. снижена частота кратковременных отключений;
6. снижены эксплуатационные расходы за счет автоматизации и дистанционного управления;
7. сокращены расходы по техническому обслуживанию с помощью прогнозных стратегий технического обслуживания.

ДЛИНА ИЗОЛЯТОРА, ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ ПО ПУТЯМ УТЕЧКИ ДЛЯ ПОЛЮСА ПОСТОЯННОГО ТОКА КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЙ 500, 800, 1100 КВ (КРИВЫЕ КРАСНОГО ЦВЕТА) ИЛИ ПО РАЗРЯДНОМУ РАССТОЯНИЮ ИМПУЛЬСА 1300, 1800, 2390 КВ (КРИВЫЕ СИНЕГО ЦВЕТА)

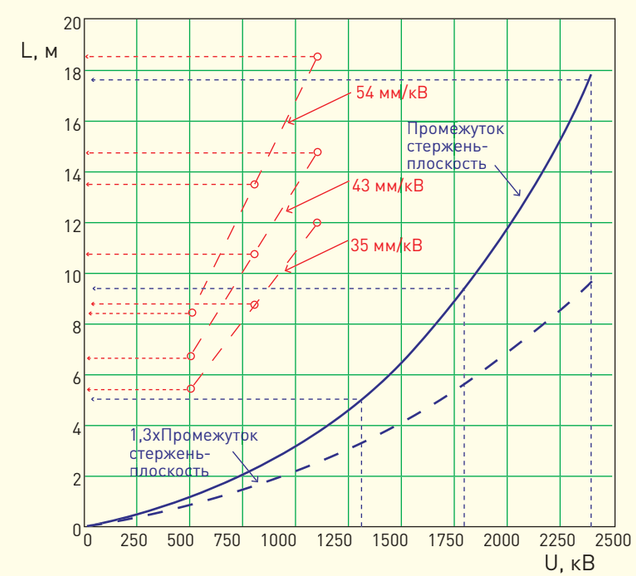

Рис. 7

B3-114-2014 «Практическое использование систем мониторинга/диагностики для выполнения эффективного ТО, стабильности поставок электроэнергии и оптимального восстановления». Авторы — Y. Matsushita, H. Chida (Kansai Electric Power Co., Inc. Tokyo Electric Power Co., Inc.) S. Noguch; K. Sasamori (Chubu Electric Power Co., Inc. Mitsubishi Electric Corporation).

В статье описано применение систем мониторинга и диагностики с высокоэффективными датчиками для повышения качества эксплуатации и оптимизации инвестиций в оборудование подстанций. Обсуждались следующие вопросы:

– автоматическое получение данных по ТО;
– раннее обнаружение места повреждения в КРУЭ;
– мониторинг состояния (ухудшения) газоплотных участков в стареющем оборудовании;
– совершенствование и снижение стоимости системы мониторинга.

В работе были описаны сенсорные технологии для повышения эффективности контроля на распределительных подстанциях. Отмечено, что частота контроля на месте может быть снижена за счет автоматического сбора данных по техническому обслуживанию и использования существующих IP-сетей для передачи.

Также была доказана целесообразность применения высокоэффек-

тивных датчиков давления элегаза в КРУЭ, включая класс напряжения ниже 154 кВ. Благодаря этой системе датчиков, время определения места возникновения неисправности уменьшается до 10 с, способствуя значительному сокращению времени отключения электроэнергии.

С помощью указанного датчика давления элегаза его утечки снизились до 0,5% в год. В случае утечки газа из стареющего КРУЭ или элегазовых выключателей предложен план по переоснащению такого оборудования на основе оценки затрат на владение.

Наконец, продемонстрированы точные и надежные датчики, которые имеют аналогичный КРУЭ срок службы. Новая система мониторинга была поставлена в коммерческих целях для обнаружения утечек элегаза во время работы и указания места повреждения в соответствии со стандартом МЭК.

B3-115-2014 «Выбор между размещением устройства постоянного тока на открытом воздухе и в помещении». Авторы — D. Wu, U. Åström, L. Arévalo, R. Montaño, B. Jacobson (ABB HVDC, Sweden).

На преобразовательной подстанции постоянного тока высокого напряжения место, где расположено устройство постоянного тока, называют площадкой. Наиболее часто площадка устанавливается непосредственно на открытом воздухе. В некоторых случаях над устройством возводится навес. На выбор внутреннего или наружного расположения площадки влияет много факторов, которые должны быть рассмотрены и учтены:

- Опыт эксплуатации устройства постоянного тока при наружном расположении с напряжением полюса до 600 кВ в последние два десятилетия был удовлетворительным, в основном благодаря применению водоотталкивающих покрытий и изоляции из кремнийорганической резины.
- Проблема неравномерного смачивания горизонтально установленных проходных изоляторов была успешно решена путем применения водоотталкивающих покрытий и изоляции из кремнийорганической резины.
- Подстанционные опорные изоляторы из фарфора с и без водоотталкивающих покрытий были успешно использованы при наружном расположении с напряжением до 600 кВ. Подстанционные опорные изоляторы из кремнийорганической резины на сегодняшний день также доступны.
- При напряжении полюса 800 кВ, также как в загрязненных районах, для выполнения технических требований необходимо использовать более короткие пути утечки для изоляторов из кремнийорганической резины и фарфоровых изоляторов с водоотталкивающими покрытиями с учетом предпочтительного наружного расположения (рис. 7).
- Для напряжения полюса 1100 кВ наиболее привлекательным будет внутреннее расположение устройства.
- Наружное расположение устройства постоянного тока поможет в значительной степени упростить координацию между внутренней и внешней изоляциями для вертикально установленного аппарата, особенно для установок УВН постоянного тока.
- Несмотря на возникновение загрязнений внутри здания, частота и интенсивность смачиваний значительно сокращаются. Если уровень относительной влажности находится под контролем, смачивания загрязнений могут быть устранены. При использовании коротких путей утечки можно значительно уплотнить конструкцию.
- Основной статьей расходов для внутреннего расположения установки являются затраты на содержание здания. Эти затраты могут быть частично компенсированы за счет сокращения расходов на устройство. Повышение надежности является наиболее важным аспектом при выборе внутреннего расположения.

B3-116-2014 «Распределительные ПС с низкой стоимостью и быстрым введением в эксплуатацию». Авторы — N. Kennedy, S. Mulvey (ESB International, Ireland).

Целью данной работы является анализ преимуществ и опыта использования низких по стоимости и быстрых по вводу в эксплуатацию распределительных подстанций. Термин «модульная подстанция» была принят в данной работе для описания ПС такого типа (рис. 8).

За последние 10–20 лет в Ирландии быстрыми темпами развивались области городского, коммерческого и промышленного строительства, что привело к значительному увеличению нагрузки на распределительную сеть. Поэтому появилась необходимость в увеличении мощности и повышении надежности функционирования сети за счет модернизации существующего оборудования и средств защиты ВЛ. Однако этот процесс сопровождается появлением некоторых трудностей, например, поддержание бесперебойности поставок электроэнергии для существующих потребителей.

ОБЩАЯ СХЕМА ПС

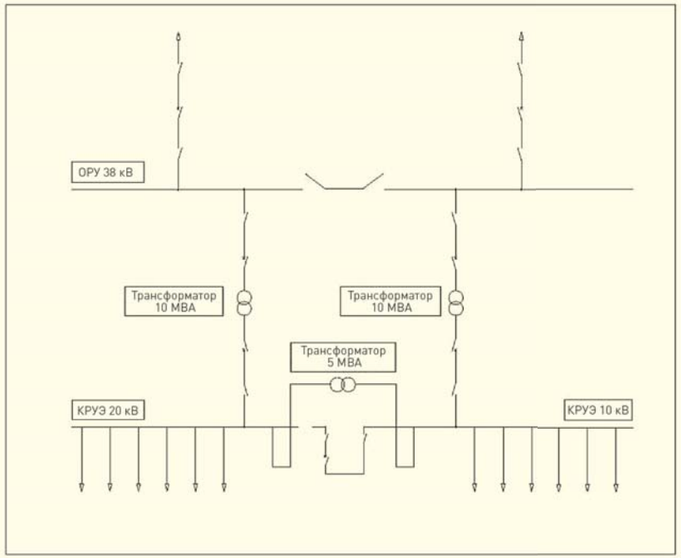

Рис. 8

Ирландская электроэнергетическая компания ESB Networks предложила решение по использованию компактных модулей, содержащих КРУЭ и оборудование управления и защиты для обновления ПС класса напряжения 38 кВ, срок службы которых подошел к концу. В рамках проекта модернизации были рассмотрены следующие проблемы:

- высокая стоимость земли в период 2004–2008 гг., так как большинство подстанций были расположены в городских районах, где стоимость дополнительной покупки земли очень высока;
- сведение к минимуму простоев сети класса напряжения 38 кВ;
- капитальные затраты на строительство;
- строительство и ввод в эксплуатацию.

Философия, положенная в основу модульной подстанции, была следующая: выбранное оборудование может быть стандартизировано; работать необходимо в направлении применения «готовых» решений для обеспечения эффективности сроков строительства, монтажа и ввода в эксплуатацию. Это привело к разработке и согласованию стандартов по параметрам оборудования, количеству секций на подстанции, стандартам по защите ЛЭП и стандартам по защите трансформаторов и управлению подстанцией. Первая из модульных подстанций была успешно создана в 2008 г.

С начала внедрения модульных ПС в Ирландии были модернизированы 29 ПС класса напряжения 38 кВ, также были установлены модули СН на многочисленные ПС класса напряжения 110 кВ и модули щита управления на три ПС класса напряжения 38 кВ.

Главным преимуществом применения модульных подстанций является возможность установки КРУЭ и шкафов управления и защиты за пределами модулей, а затем «перенос» этих полностью подходящих модулей на подготовленную базу эксплуатируемой подстанции.

С финансовой точки зрения выгоды от использования модульных решений включают снижение затрат на строительные и подрядные работы, сокращение времени на проектирование, снижение затрат на обслуживание, а в некоторых случаях и на необходимость приобретения дополнительной земли. В среднем, срок строительства модульной подстанции был снижен на 36%. Стоимость модулей и РУ была выше, чем сопоставимая стоимость ОРУ, тем не менее, экономия времени превысила стоимость материальных затрат в долгосрочной перспективе.

B3-117-2014 «Стандартизация конфигураций ПС СН на ПС СН/ВН». Авторы — E. J. Coster, D. Boender (Stedin, Netherlands).

Для удовлетворения потребностей в увеличении поставок электроэнергии необходимо модернизировать стареющие ПС. В зоне обслужива-

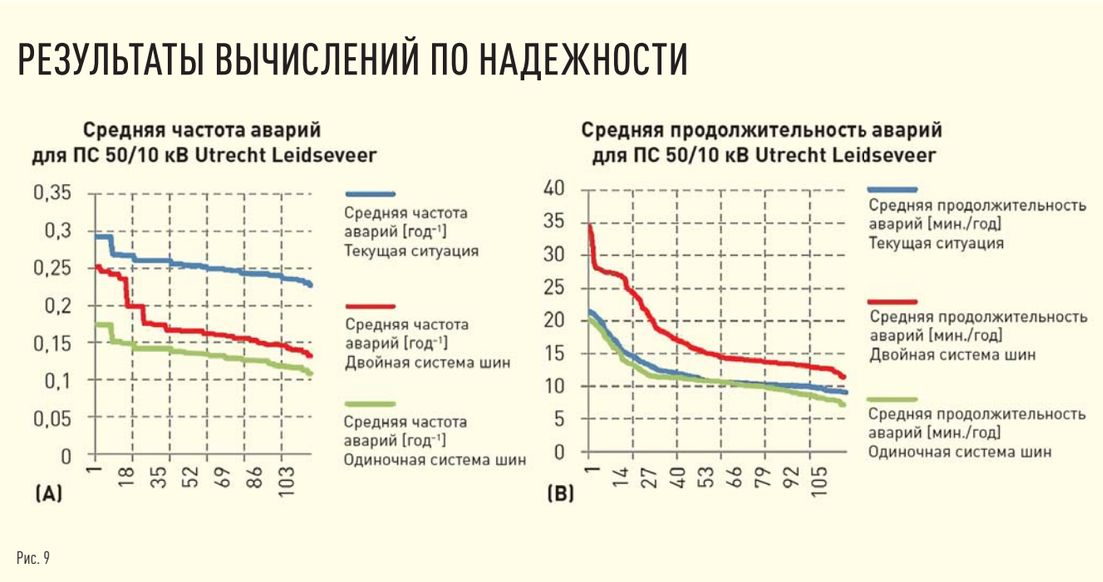

Рис. 9

ния компании Stedin значительное количество подстанций было построено в период с середины 1960-х до середины 1980-х гг. По ряду причин эти подстанции подлежат замене, что позволит пересмотреть основные положения, принятые 40 лет назад, и адаптировать их к текущим потребностям.

В работе определены конфигурации стандартных ПС СН (в данном случае классов напряжения 10, 13 и 23 кВ). В работе рассмотрены и оценены с помощью многокритериального анализа пять различных конфигураций шин. Результаты анализа множества критериев показывают, что преимущественной является концепция двух секций с одинарной и двойной шинами (рис. 9). Отсюда можно сделать вывод, что:

- предпочтительно наличие двух секций в отдельных комнатах;
- применение концепции с одинарной системой шин в общем предпочтительнее, чем концепции с двойной системой шин;
- применение концепции с одинарной системой шин приводит к упрощению конструкции распределительной сети, что позволяет применять такие функции автоматизации распределительной сети, как ее самовосстановление.

Эти концепции были использованы при замене подстанции Utrecht Leidseveer класса напряжения 50/10 кВ. В программном обеспечении имитационного моделирования были рассмотрены три концепции: 1) модель надежности в текущей ситуации; 2) использование двух секций с одинарной системой шин; 3) использование двух секций с двойной системой шин. Модель надежности была использована для оценки трех концепций по параметрам SAIFI и SAIDI.

Показано, что концепция с одинарной системой шин имеет лучшую производительность. С точки зрения затрат концепция с одинарной системой шин дешевле, чем концепция с двойной системой шин. Тем не менее для применения концепции с одинарной системой шин необходимо провести адаптацию для поддержания необходимого уровня резервирования в распределительной сети.

ДОКЛАДЫ ПО ПТ 2 «УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПОДСТАНЦИЙ»

B3-202-2014 «Новая методология моделирования и ее применение на ПС класса напряжения 500 кВ». Авторы — E. Betancur, M. Suárez, L. Pabón (HMV Ingenieros Ltd., Colombia).

В работе предлагается новая цифровая модель, основанная на электромагнитной теории, для оценки эффекта короны в условиях подстанции, где ЛЭП СВН и другие элементы под напряжением сближаются друг с другом и заземленными элементами

подстанции. Эффект короны проявляется более интенсивно, когда естественная изолирующая среда (воздух) загрязнена под влиянием атмосферы, растительности, животных, минералов или любого другого вида загрязнений, снижающих электрическую прочность. В этом случае напряженность электрического поля на поверхности проводника становится критической (E_0) и рассчитывается по формуле Пика, а появление короны сопровождается некоторыми эффектами, такими как свечение, радиопомехи, шум и выделение газов. Новый метод достаточно эффективно применяется для исследования эффекта короны на ПС ВН и СВН и сочетает в себе теоретические принципы и примеры практического применения.

Новый метод измерения поверхности равных потенциалов и напряженности электрического поля доказал свою эффективность и простоту использования, а также точность и надежность определения присутствия короны на подстанциях и ЛЭП СВН.

Метод позволяет провести эффективный анализ чувствительности к любому конструктивному параметру, который может повлиять на возникновение короны. Он также позволяет получить коэффициенты загрязняющих эффектов, связанных с наличием короны.

B3-205-2014 «Новые решения, обеспечивающие безопасное ТО и высокую надежность системы на ПС с ОРУ». Авторы — Mohsen M. Maarouf, Nafesa M. Osman (Egyptian Electricity Holding Company, Egypt).

В работе представлены некоторые практические решения, полученные из опыта эксплуатации и технического обслуживания ОРУ, направленные на обеспечение надежного и безопасного обслуживания, уменьшение потерь электроэнергии и повышение эффективности системы.

В Египте большинство ПС высокого и сверхвысокого напряжения установлено на открытом воздухе и использует схему двойной системы шин с поворотными разъединителями. Рассмотренное в работе РУ класса напряжения 66 кВ установлено в помещении.

Основным недостатком разъединителей поворотного типа является схема соединения с шинами, так как они находятся под напряжением в любом положении. Для обслуживания одного разъединителя необходимо осуществить распределение нагрузки между шинами, чтобы шина, непосредственно соединенная с соответствующим разъединителем, была отключена и заземлена. Это усложняет процедуру проведения технического обслуживания. Во время проведения ТО только одна шина на подстанции находится в рабочем состоянии.

В этом случае при возникновении неполадки на единственной рабочей шине подстанция будет полностью выведена из эксплуатации с огромными потерями мощности. Все эти процедуры будут повторяться при выполнении ТО для других разъединителей шин. В связи с этим следует заметить, что объем работ по ТО увеличивается за счет использования большого количества изоляторов, поддерживающих стальные структуры на высоком уровне. Большинство человеческих ошибок и несчастных случаев происходит именно в это время, что способствует повышению риска эксплуатации и ТО, уменьшению ожидаемого срока службы оборудования и снижению надежности подстанции и сети в целом.

Решить эти проблемы можно при использовании разъединителей пантографного или полупантографного типов вместо разъединителей поворотного типа, потому что они полностью изолированы от шин в открытом положении. В этом случае проведение ТО значительно упрощается, а также сохраняется безопасность и высокая надежность системы, поскольку обе шины остаются в рабочем состоянии. В докладе описан дизайн ЗРУ класса напряжения 66 кВ с использованием пантографного разъединителя.

B3-207-2014 «Оценка рисков при возникновении внутреннего отказа на компактных (быстровозводимых) ПС». Авторы — E. Dullni, E. Hansen, A. Müller (ABB MV Power Products, Siemens Corporate Techn., Ratingen, Germany Fredericia, Danmark Erlangen, Germany).

В нескольких международных стандартах описаны действия по защите персонала в случае возникновения внутреннего отказа в распределительных устройствах (МЭК 62271-200) или на быстровозводимых подстанциях (МЭК 62271-202). Несмотря на общие испытания и параметры, распределительные устройства (РУ) могут иметь различные конструктивные особенности с различными вероятностями возникновения неисправностей, для которых производитель может оценить риски. Многие авторы до сих пор не могут ответить на вопрос: применимо ли испытание на воздействие внутренней дуги только для части подстанции с высоким напряжением или оно также подходит для части с низким напряжением? Этот вопрос имеет прямое отношение к сборным подстанциям, которые также используются в промышленных и коммунальных сетях, где поток мощности может быть двунаправленным, как, например, на небольших подстанциях на солнечной энергии.

В работе описаны современные процедуры по оценке рисков, применяемые в отношении электрооборудования, а также рассмотрено их применение при возникновении внутренней дуги в компактных ПС. При оценке рисков основными являются риски по отношению к «жизни и имуществу», т.е. нанесения возможного вреда персоналу, а также риски нарушения эксплуатации или техобслуживания оборудования высокого или низкого напряжения. После идентификации рисков на основе опыта и экспертной оценки определяют вероятность их возникновения и последствия. Оценка риска также учитывает возникновение обратных токов со стороны низкого напряжения, например, от распределенных энергоресурсов. Из этого анализа рисков по стандарту МЭК 62271-202 выявляют области возможного влияния на ПС и предлагают решения для производителей и пользователей.

Относительно испытаний на воздействие внутренней дуги показано, что дополнительное испытание на стороне низкого напряжения (НН) подстанции не сможет существенно снизить опасность для персонала, так как статистика несчастных случаев, например Германии, показывает, что большинство несчастных случаев являются следствием халатности персонала во время работы или обслуживания. Усиленная защита от случайного контакта на стороне НН больше приспособлена для уменьшения количества этих несчастных случаев.

Эксплуатация сборных подстанций при изменении топологии сети, а также при эксплуатации подстанции в промышленности может быть связана с дополнительными рисками. Особое внимание должно быть уделено:

- защите от обратного тока на уровне НН;
- работе под напряжением;
- повышению частоты доступа персонала для работы или технического обслуживания.

Оценка возможных аварийных событий и связанная с ними опасность для персонала, а также анализ статистики аварий приводят к следующим рекомендациям, которые должны применяться при использовании компактных подстанций (рис. 10):

- защита от случайного прикосновения к токоведущим частям;
- защита от внутренней дуги;
- дальнейшие перспективы применения.

Стандарт МЭК 62271-202 должен быть пересмотрен и изменен с учетом вышеупомянутых рекомендаций. Особое внимание должно быть уделено потенциальной опасности, которая может возникнуть от обратного тока источников распределенной генерации на уровне НН. Что касается испытаний на воздействие дуги, то в этом случае необходимо сделать упор на требования по улучшению защиты подстанции НН.

АВАРИИ, СВЯЗАННЫЕ С ДУГОВМИ ПРОЦЕССАМИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ И НА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ПС

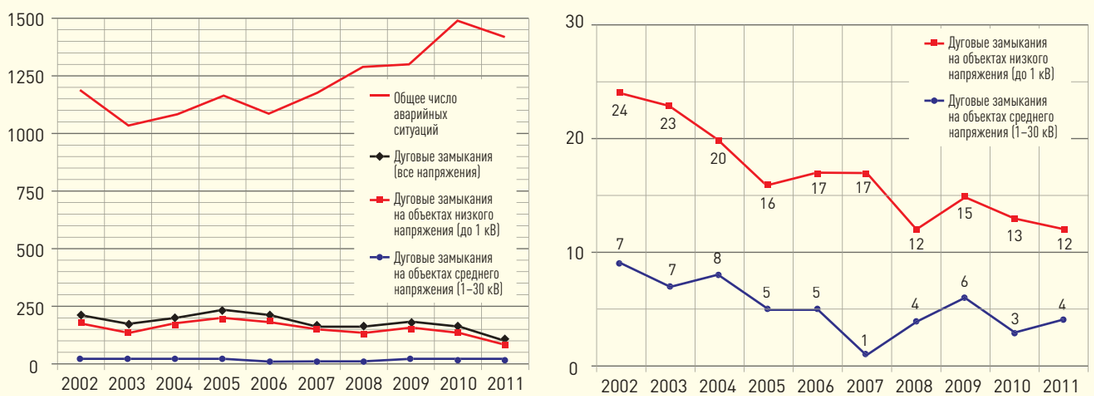

Рис. 10

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ АНАЛИЗА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЧР

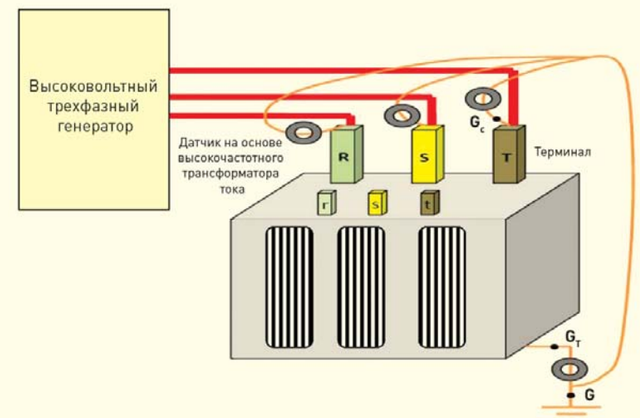

Рис. 11

ПРИМЕР НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ЧР НА ПС 220 КВ

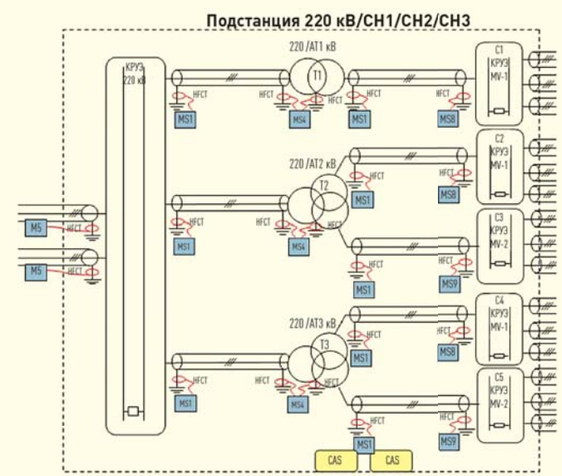

Рис. 12

B3-210-2014 «Мониторинг частичных разрядов для высоковольтных ПС». Авторы — F. Garnacho, R. Martín, I. Trasmonte, P. Simón, M.A. Sánchez-Urán, J. Ortego, F. Álvarez, A. González, D. Prieto (LCOE, UPM, Unión Fenosa Distribución, Spain).

Периодически на подстанциях, расположенных в жилых, коммерческих и промышленных районах, возникают неожиданные отказы, вызванные дефектами изоляции, которые могут привести к большим убыткам, сбоям поставок электроэнергии и аварийным отключениям. Иногда эти отказы вызывают катастрофические пожары и выделение токсичных газов в атмосферу.

Для обеспечения непрерывности обслуживания на подстанциях необходимо проводить мониторинг и диагностику электрической изоляции. Различные виды измерений (частичных разрядов (ЧР), тангенс диэлектрических потерь и температура) позволяют определить состояние изоляции электрического оборудования. В статье описаны измерения ЧР в трех основных типах оборудования, установленных на подстанции: силовые трансформаторы, КРУЭ и кабельные системы для соединения силовых трансформаторов с КРУЭ.

В работе представлено интегрированное решение, состоящее из системы измерения ЧР, для проведения комплексного мониторинга ЧР подстанции в целом. Интегрированная система мониторинга ЧР должна автоматически удалять фоновый шум, находить и различать источники ЧР, расположенные в одном

месте, и определять тип каждого источника. В работе приведены специальные алгоритмы, основанные на избыточных данных ЧР, которые применяются для определения типа и расположения различных источников ЧР (рис. 11).

Описан реальный опыт компании Union Fenosa Distribucion по применению онлайн мониторинга ЧР на основе нового подхода, по которому система обнаруживает, анализирует и устраняет внутренние дефекты в КРУЭ, кабельных муфтах, силовых трансформаторах (рис. 12).

B3-212-2014 «Отказы в батарее конденсатора — как быстро определить место возникновения отказа и устранить последствия». Авторы — S. Samineni, C. Labuschagne, S. Chase, J. Hawaz (Schweitzer Engineering Laboratories Inc., USA).

Конденсаторные батареи играют жизненно важную роль для компенсации реактивной мощности, тем самым увеличивая мощность системы. Конденсаторные батареи соединяются по схеме «звезда», «двойная звезда» или по схеме моста и могут быть либо заземлены, либо нет. Конденсаторные батареи состоят из ряда однофазных конденсаторов, соединенных последовательно и параллельно для получения желаемого напряжения. Аналогично, каждый конденсатор состоит из множества отдельных элементов — секций, соединенных последовательно и параллельно. Хотя современные конденсаторы достаточно надежны, периодически продолжают возникать отказы как самих конденсаторов, так и отдельных секций.

Важно максимально сокращать время простоя конденсаторов, которое, как правило, тратится на обнаружение неисправного компонента. Определение неисправного конденсатора в батарее помогает вернуть

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ФАЗОВОГО УГЛА

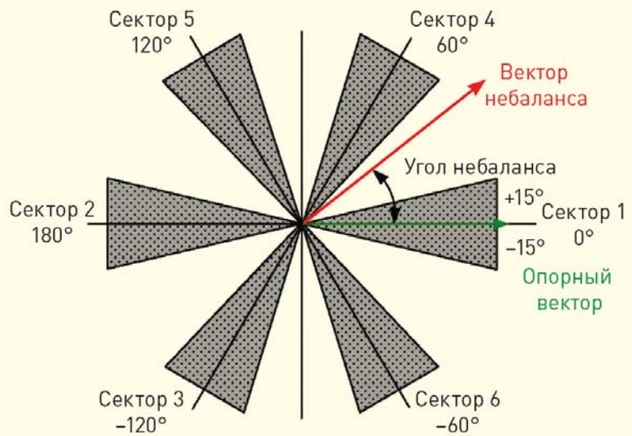

Рис. 13

ее в эксплуатацию в минимальный срок. Если на батарее присутствуют внешние повреждения, то обнаружить неисправный конденсатор несложно. Если внешних повреждений нет, то обнаружение месторасположения отказавшего конденсатора сильно усложняется. Это приводит к необходимости продолжительного отключения конденсаторной батареи.

В работе проанализированы различные конфигурации батареи конденсатора и предложен способ нахождения неисправных элементов для каждой конфигурации, а также представлены результаты, которые подтверждают жизнеспособность предложенных методов с использованием моделирования энергосистемы.

Методика определения места повреждения может сократить время простоя на 66–92% в зависимости от конфигурации батареи (рис. 13).

B3-213-2014 «Оптимизированная стратегия по замене оборудования на ПС с учетом управления рисками». Авторы — K. Kawakita, K. Yajima, Y. Matsushita (Chubu Electric Power Co., Tokyo Electric Power Co., Kansai Electric Power Co.), K. Uehara, A. Okada, H. Hama (Toshiba Corp., Hitachi Ltd., Mitsubishi Electric Corp., Japan).

В последние годы увеличивается количество проектов по замене оборудования на ПС в связи с ухудшением их состояния и старением (рис. 14). Что касается продолжительности срока службы, то электроэнергетические компании планируют, что их оборудование будет служить долго, сохраняя рабочее состояние, для того чтобы оптимизировать свои инвестиции, руководствуясь при этом рекомендациями производителей по сроку службы.

Авторы представляют оптимизированный план по замене оборудования подстанций, который учитывает состояние оборудования и его воздействие на энергосистему. Состояние оборудования оценивалось с помощью анализа растворенных газов (ХАРГ), который является наиболее распространенным методом обнаружения дефектов в трансформаторах. Влияние на энергосистему оценивали в зависимости от конкретных обстоятельств на каждой подстанции и допустимой продолжительности отключений (рис. 15).

Если электроэнергетические компании решат заменить оборудование по истечении его срока службы, то им придется вложить много средств в течение короткого периода времени. Иногда замена невозможна по финансовым причинам или из-за нехватки рабочей силы. Поэтому очень важно оценить затраты на срок службы оборудования надлежащим образом и свести к минимуму риски, которые могут угрожать нормальной эксплуатации оборудования. В работе на примере РУ показаны важные моменты оптимизированного плана по замене оборудования с учетом анализа стоимости и оценки рисков (рис. 16).

B3-214-2014 «Управление сроком службы ВВ оборудования ПС». Авторы — D. Kopejtkova, L. Kocis, J. Konrad (DK Consultant EGU HV Laboratory, a.s. Unicorn Systems, Czech Republic).

В работе проанализированы условия, которые должны быть выполнены для эффективного управления сроком службы высоковольтных подстанций. Доклад состоит из трех частей.

ТЕНДЕНЦИИ ПО ЗАМЕНЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ЯПОНИИ

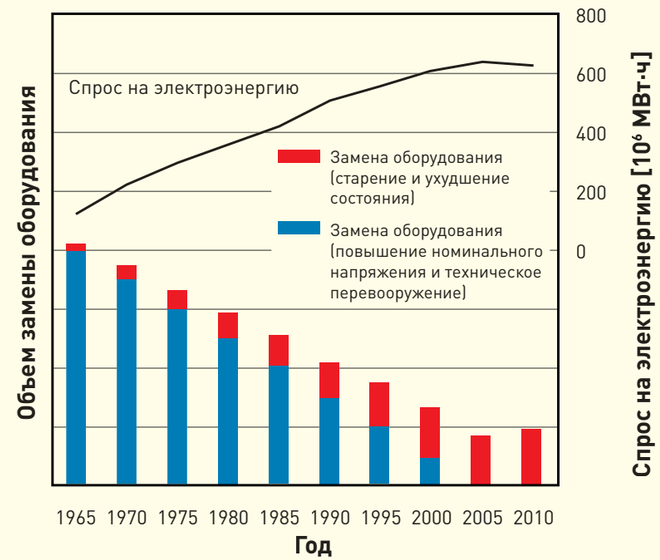

Рис. 14

В первой части описаны общие условия. Эти условия распространяются не только на стадию «эксплуатация — ТО», но и включают этапы, которые предшествуют и следуют после этой стадии: закупка, изготовление, доставка и монтаж, утилизация. Для того чтобы проводить дальнейшую диагностику, мониторинг и оценку срока службы ВВ оборудования, на данных этапах анализируются:

- какая информация должна быть уже включена в технические условия под запрос;
- какие параметры должны быть стандартными, принятыми на заводе или испытанными на ПС;
- как восстанавливать оборудование после сбоя или как его утилизировать.

Во второй части представлен комплексный обзор методов диагностики и мониторинга для различных видов высоковольтного оборудования на подстанции. Внимание уделено анализу различных особенностей методов диагностики и мониторинга, с особым акцентом на мониторинг условий оборудования сети, при котором используются уже имеющиеся в сети данные, полученные от систем управления подстанции, аварийных регистраторов или электрических реле (рис. 17).

В третьей части описано использование всей имеющейся информации для оценки текущих и будущих условий оборудования с целью планирования ТО. Данное планирование основывается на вычислении и визуализации так называемых индексов здоровья, критичности и риска для каждого высоковольтного оборудования в сети по приоритетности. Описанные методы уже применялись

ПРИМЕР ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОБЛЕМ ДВУХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ОДНОЙ СЕТИ

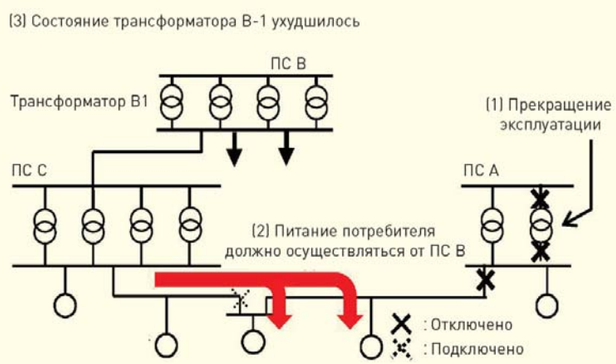

Рис. 15

на практике в системе под названием ACMart в CEPS (Чешская национальная TSO).

B3-215-2014 «Модернизация и восстановление ПС — полная и частичная реконструкция ПС». Авторы — B. Wall, P. Duff (ESB International, Ireland).

В работе описано два различных подхода к реконструкции и восстановлению подстанций высокого напряжения в ирландской электрической сети. Рассматриваются ключевые идеи и факторы, которые следует принимать во внимание при планировании ремонта подстанций. В работе представлено сравнение двух различных философий по реконструкции ПС. Описывается опыт модернизации четырех ПС в Ирландии. Эти два подхода заключаются в следующем:

ПРОЕКТЫ ПО ЗАМЕНЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ

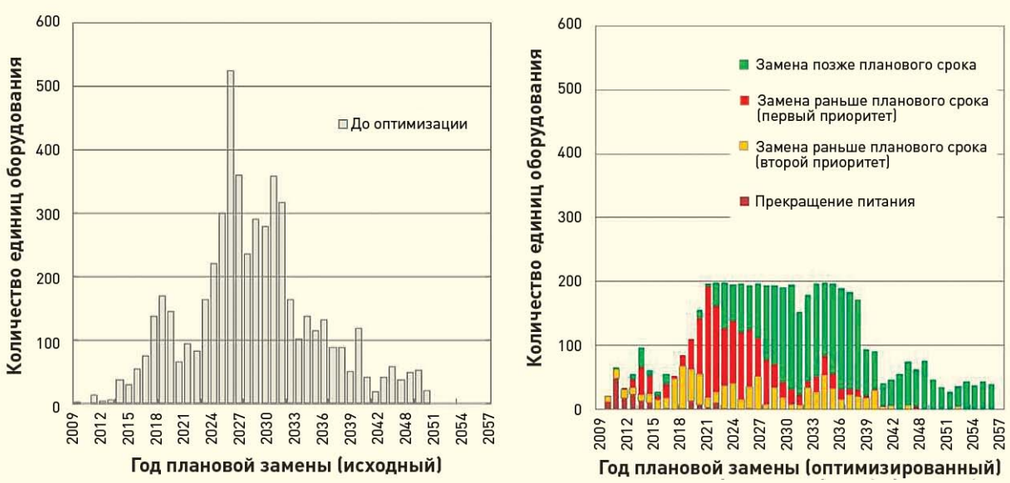

Рис. 16

ВЫЧИСЛЕННАЯ ДИНАМИКА ЧАСТОТЫ ОТКАЗОВ

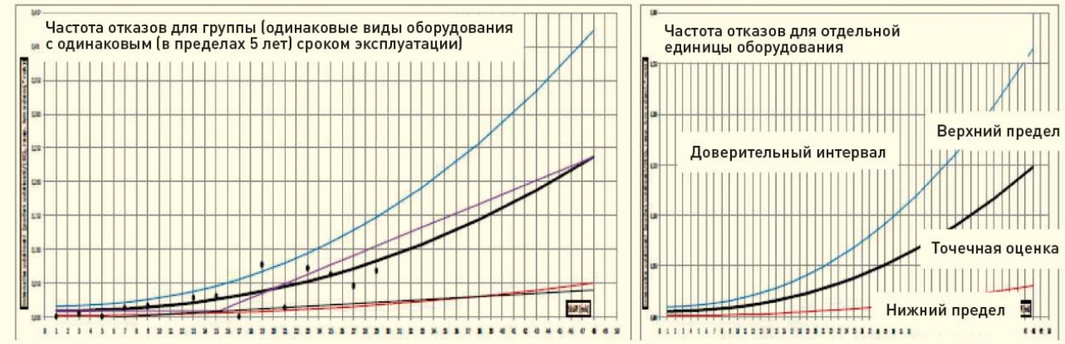

Рис. 17

– частичная реконструкция оборудования ПС, во время которой замене подлежат только системы управления и защиты или оборудование, обеспечивающее повышение номинальной мощности;
– полная реконструкция ПС с заменой оборудования в полном объеме на современную ПС с КРУЭ с возможностью дальнейшего расширения.

Оба подхода были успешно реализованы в многочисленных проектах в Ирландии. Проекты частичной модернизации на подстанциях Cashla и Flagford класса напряжения 220 кВ были завершены в 2011 г., на ПС Carrickmines класса напряжения 110 кВ в 2011 г., а полная модернизация для ПС Carrickmines класса напряжения 220 кВ и Finglas класса напряжения 110 кВ планируется к завершению в 2015 г. Оба подхода имеют свои достоинства, поэтому необходимо тщательно подходить к вопросу их выбора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количество участников 45-й Сессии в 2014 г. стало рекордным за всю историю CIGRE — более 8500 участников из 85 стран, в том числе 3300 делегатов. Работа Исследовательского комитета B3 в рамках Сессии также была очень плодотворной: наибольшее количество докладов было принято именно SC B3. Техническую сессию SC B3 посетило рекордное количество человек — 815, а также в рамках проведения этой сессии было получено большое количество ответов на вопросы специальных докладчиков по представленным докладам — 60.

Темы представленных докладов свидетельствуют о широком спектре проблем, стоящих перед энергетической отраслью:

1. Значительный интерес уделяется созданию «цифровых» подстанций, обслуживание которых требует минимального участия человека.
2. В связи со значительным старением оборудования большое внимание уделяется новым подходам к модернизации и продлению срока эксплуатации подстанций с особым упором на управление рисками.
3. Прослеживается тенденция выбора КРУЭ при замене оборудования на ПС.
4. Продолжают активно развиваться системы мониторинга и диагностики состояния оборудования и подстанции в целом для повышения эксплуатационной надежности.
5. Представлена интересная информация по применению мобильных подстанций.
6. Вопросы экономии площадей при строительстве и реконструкции подстанций в больших городах являются актуальными для многих стран мира.