

3|15

Журнал
для заказчиков АББ
в России

ЭНЕРГИЯ РАЗУМА



Генерация и распределение

Решения АББ для генерирующих подстанций

Решения АББ для подстанций высокого напряжения

Структура и оборудование систем собственных нужд

Генераторные выключатели

Power and productivity
for a better world™





08

Тема номера
Решения АББ для генерирующих подстанций



12

Решения АББ для подстанций высокого напряжения

Широчайший ассортимент высоковольтных аппаратов и решений для любого вида распределительных устройств



04

Тема номера
Интеллектуальное распределение электрической энергии



16 **Техническая надежность и экономическая окупаемость трансформаторов АББ**
Насмотря на кажущуюся простоту конструкции, современные технологии позволяют значительно повысить эксплуатационные параметры трансформаторного оборудования



22 **Структура и оборудование систем собственных нужд**
Для нормального функционирования объектов энергетики очень важно надежное, бесперебойное электроснабжение всех ее систем

Тема номера

- 4 Интеллектуальное распределение электрической энергии
- 8 Решения АББ для генерирующих подстанций

Наше оборудование

- 12 Решения АББ для подстанций высокого напряжения

Наши продукты

- 16 Техническая надежность и экономическая окупаемость трансформаторов АББ
- 18 Генераторы АББ, наполняющие мир энергией
- 21 Генераторные выключатели

Наши технологии

- 22 Структура и оборудование систем собственных нужд

Историческая хроника

- 26 Постоянная Арнольда



Интеллектуальное распределение электрической энергии

Авторы: Бритта Бухольц, Мартин Максимилини, Адам Слюпински, Лейла Асгариа

Увеличение пропускной способности электрических распределительных сетей для интеграции распределенных генерирующих источников энергии.

Сейчас энергетические системы претерпевают значительные изменения, основной движущей силой которых является расширение распределенного производства электроэнергии.

Наличие миллионов небольших генерирующих установок классом напряжения ниже 132 кВ с нестабильным напряжением на выходе требует новых решений для повышения гибкости распределительных сетей. Это позволит реализовывать концепцию распределенного производства электрической энергии.

Некоторые решения были разработаны компанией АББ в сотрудничестве с немецкими сетевыми компаниями и представителями научного сообщества. Первое решение основано на интеллектуальном планировании. Это решение будет способствовать процессу модернизации распределительных сетей без какого-либо экономического ущерба, поддерживая инициативы сетевых организаций.

Следующим шагом является автоматизация распределительных сетей на основе внедрения интеллектуальных распределительных подстанций и автоматических регуляторов напряжения.

Более того, используя специальное программное обеспечение для управления активами, например NEPLAN® Maintenance компании АББ, сетевые организации смогут решать непростые технологические проблемы, сводя расходы к минимуму.

Возможности присоединения к распределительным сетям децентрализованных источников электрической энергии определяются национальными стандартами или местными требованиями присоединения системных операторов, которые определяются существующей практикой.

Тем не менее есть некоторые факторы, такие как тепловой режим, отклонения уровня напряжения, значение тока короткого замыкания, качество электрической энергии, перетоки электрической энергии, концепции локализации аварий и защиты, которые ограничивают подключение к распределительной сети децентрализованных источников энергии. Во многих странах существуют различные решения для преодоления этих трудностей:

- изменение топологии сети;
- модернизация сети и установка нового оборудования;
- регулирование уровня напряжения и коррекция коэффициента мощности;
- управление мощностью распределенных источников энергии;
- адаптация концепции защит;
- в качестве перспективных мероприятий – расширение возможности дистанционного управления элементами сети, хранение измеряемых параметров, управление нагрузками и управляющими элементами.

В Германии электроэнергетическая система была разработана с высокой резервной производительностью, что означает, что множество сетей может генерировать дополнительную энергию в случае необходимости. Тем не менее для большинства сетей главным фактором, ограничивающим их пропускную способность, является допустимый уровень напряжения. К тому же колебания солнечного излучения и скорости ветра приводят к резкому изменению генерируемой энергии и, как следствие, колебаниям напряжения в системе. В этих условиях сохранение определенного уровня напряжения и избежание его перепадов становится весьма сложной задачей. Чтобы стабилизировать напряжение и обеспечить поступление электрической энергии от распределенных генераторов, деятельность операторов распределительной системы в Германии должна соответствовать местному электросетевому стандарту. Именно поэтому немецкие сетевые операторы соблюдают две руководящие технические нормы:

- Техническая инструкция Немецкой ассоциации энергетики и водного хозяйства (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft; BDEW) касательно подключения заводов к сети энергоснабжения среднего напряжения; данная инструкция применима ко всем генераторам мощностью 100 кВт и выше [2].

- Правила подключения к сети, разработанные Немецкой ассоциацией электрических, электронных и информационных технологий (Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik; VDE); инструкция VDE-AR-N 4105 является обязательной для всех генераторов мощностью ниже 100 кВт.

Согласно закону о возобновляемых источниках энергии в Германии от 2012 года все распределенные генераторы мощностью выше 30 кВт поставляют электроэнергию в сеть под руководством сетевого оператора, который может уменьшить активную мощность с помощью дистанционного управления в случае возникновения проблем со стабильностью электросети. В августе 2014 года новый закон о возобновляемых источниках энергии вступил в силу, что способствовало распространению распределенных генерирующих источников на рынке и заложило основу для дальнейшего развития этого способа производства энергии. Новый европейский свод правил подключения к сети энергоснабжения, подготовленный Европейским сообществом операторов

магистральных сетей в области электроэнергетики (European Network of Transmission System Operators for Electricity; ENTSO-E), в настоящее время ожидает приобретения статуса общеевропейского закона. В докладе «Исследование вспомогательных услуг 2030», подготовленном Немецким энергетическим агентством, говорится, что стремительное распространение распределенных и возобновляемых энергетических ресурсов требует нового масштабного подхода к развитию энергетической системы с различными уровнями напряжения.

Компания АББ работала над экспериментальными проектами совместно с сетевыми организациями и научными кругами (Рис. 1). Результатом данного сотрудничества стали инновационные решения по эксплуатации и контролю распределительных сетей с высокой долей распределенной генерации в Германии. Некоторые из них описаны в следующих разделах (Рис. 1).

Способы преодоления возникающих трудностей: программное обеспечение

В прошлом было довольно легко рассчитать распределение нагрузок и уровни напряжения в системах передачи электроэнергии, в которых энергия передавалась от более высокого уровня напряжения к более низкому. Сейчас сети накапливают и распределяют энергию при одном и том же уровне напряжения, что усложняет расчеты. Чтобы определить, может ли источник энергии быть включен в сеть без нарушения допустимого уровня напряжения, требуются различные вспомогательные программы. Одной из таких программ является NEPLAN, и благодаря ей специалисты по планированию могут быстро реагировать на запросы клиентов и подсоводинять их генераторы к сети (Рис. 2).

Такой подход поможет отложить или вовсе устранить необходимость инвестировать средства в расширение энергосети, так как уже существующая инфраструктура будет работать на полную мощность. Однако, как только инфраструктура достигнет предела своих рабочих возможностей, надежность и

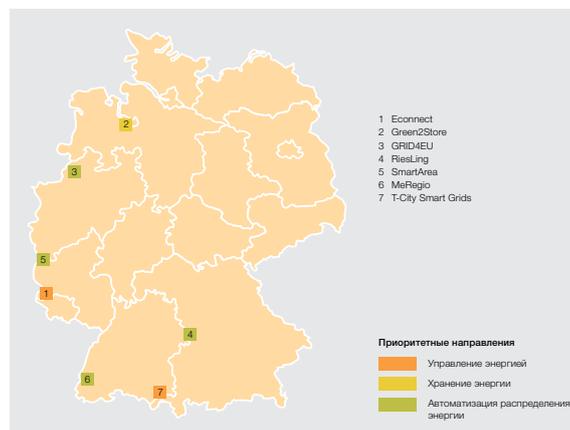


Рис. 1. Пилотные проекты АББ по интеллектуальным сетям в Германии

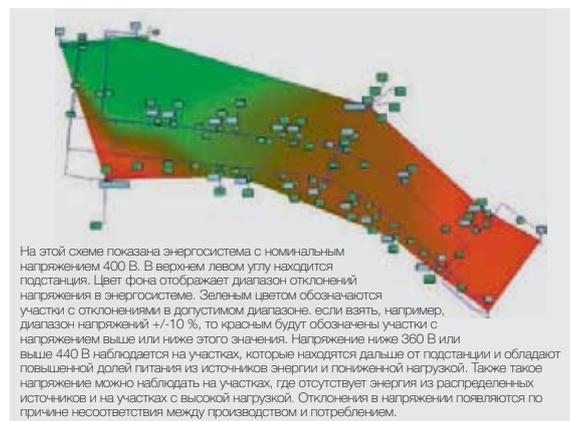


Рис. 2. Экранный снимок системы NEPLAN

доступность активов станут еще важнее. Кроме того, расходы по обслуживанию регуляторов должны остаться прежними, несмотря на расширение сети. Еще один инструмент Asset Health Center от АББ помогает сетевым операторам оценивать риск возникновения неполадок в работе важнейших распределительных активов, избегать сбоев и в то же время минимизировать расходы на техническое обслуживание.

Увеличение мощности сети в Рейнланд-Пфальц

В 2011 году немецкая компания RWE Deutschland AG в своем проекте по государственному заказу продемонстрировала, как силовой электронный регулятор напряжения АББ PCS 100 стабилизирует уровень напряжения в сети 20 кВ на трансформаторных подстанциях с напряжением 20 кВ/0,4 кВ. Благодаря устранению колебаний при напряжении, равном 110 кВ, 20 кВ и 0,4 кВ, мощность энергосети, предназначенной для осуществления распределенного производства энергии, была значительно увеличена. Это, в свою очередь, привело к значительному снижению расходов сетевых организаций. В период между 2010 и 2013 годами

компания АББ успешно установила в общей сложности 10 регуляторов напряжения PCS100 на подстанциях 20 кВ/0,4 кВ. Важно отметить, что сегодня промышленные регуляторы напряжения АББ хорошо известны на рынке благодаря обеспечению очень высокого качества электроэнергии.

Проектные группы пришли к выводу, что технические требования для оператора распределительной сети, связанные с регулировкой напряжения на трансформаторных подстанциях 110 кВ/20 кВ и 20 кВ/0,4 кВ, ниже, чем в промышленности, и для них подходит более экономичное решение в виде устройств РПН. Немецкая ассоциация электрических, электронных и информационных технологий (VDE-ETG) признает регулирование напряжения в распределительных сетях хорошо продуманным и экономически выгодным решением.

Основываясь на этих выводах, АББ разработала распределительный трансформатор с контролем и регулировкой напряжения, известный как Smart-R Trafo2, чтобы удовлетворить требования операторов распределительных систем. Он включает экономичное устройство РПН с пятью ступенями регулирования напряжения, обеспечивающее необходимое качество питания для распределительных сетей. Smart-R Trafo, как ожидается, станет стандартным активом для сетевых организаций в Германии и на рынках в других странах.

Контроль и регулирование в Баварии

Повышение популярности распределенного производства энергии приводит к необходимости уделять больше внимания поддержанию сети в рабочем состоянии и увеличивать ее надежность, которая, в свою очередь, влияет на длительность простоев. Для оптимизации работы активов сетевых компаний требуется точная информация о потребляемой энергии, а не вычисление гипотетических пиковых нагрузок и проработка худших из возможных сценариев развития событий. Чтобы удовлетворить эти требования и в будущем создать комплексное предложение по автоматизации распределительной сети с интегрированной регулировкой уровня напряжения, компания АББ разработала несколько решений в рамках так называемого проекта RiesLing3.

Первое решение FIONA – это блок удаленного контроля и управления для интеллектуальных распределительных

подстанций, который предоставляет достаточно информации о трансформаторе 20 кВ/0,4 кВ на основе всего нескольких измерений. К нему прилагается регулятор напряжения PCS100 с широким диапазоном действия, что позволяет поддерживать уровень напряжения в допустимых пределах.

Новые возможности прогнозирования работы были внедрены в систему управления распределительной сетью, чтобы предсказывать сетевые перегрузки при уровне напряжения, равном 20 кВ. Эти функции обеспечат возможность при необходимости изменять топологию и позволят клиентам варьировать собственное потребление энергии в будущем.

Интеллектуальное планирование в Аахене и Дуйсбурге

Несмотря на то, что регулирование уровня напряжения считается экономичным способом модернизации энергосети, реализация не так проста. Многие сетевые операторы не знают, когда их распределительные сети достигнут своего эксплуатационного предела, так как они не располагают информацией о времени, количестве и типах запросов, предъявляемых к их сетям. После введения закона о возобновляемых источниках энергии в Германии многим операторам распределительных сетей поступило большое количество частных запросов на подключение к сети генераторов с коротким временем отклика.

Чтобы преодолеть этот барьер и дать операторам возможность быстро принимать решения, компания АББ разработала «умный» подход для планирования, который шаг за шагом превращает существующую сеть низкого напряжения в интеллектуальную сеть в соответствии с возникающими требованиями.

Распределительные сети классифицируются на основании нескольких структурных особенностей, таких как количество жилых помещений и точек общего присоединения, радиус действия распределительной сети и интегрированные в сеть фотоэлектрические системы.

Если распределенное производство энергии не достигнет критической точки, подключение к сети может быть осуществлено без дальнейших расчетов режима работы электрической сети. Вначале сеть рассматривается как потенциально ключевая. Далее следует этап наблюдения, на котором измеряется уровень напряжения на распределительной подстанции. Идентификаторы сети

(полученные благодаря результатам измерений и расчетам сети) используются в качестве отправной точки, и на основе этих данных определяется уровень напряжения в местной распределительной сети. Этот подход уже применялся для контроля работы распределительных сетей. Дополнительно известно, что уровень напряжения в точке максимума в фидерном кабеле совпадает со значениями, полученными в результате проведения соответствующих измерений в распределительных сетях, а разница составляет максимум $\pm 2\%$ (менее 1%). Если во время этого этапа напряжение в сети достигает максимально допустимого уровня, соответствующая распределительная подстанция должна включать в себя регулятор напряжения или распределительный трансформатор с регулятором напряжения.

Регулирование по эффективности

Снятие ограничений с энергетического рынка и введение так называемого стимулирующего регулирования заставляют сетевые организации все больше сокращать свои расходы, продолжая при этом поддерживать высокий уровень надежности услуг. Таким образом, требуется уделять особое внимание не только чисто техническим вопросам, но и экономическим. Для достижения баланса необходимо разработать комплексный план управления техническим обслуживанием, который подойдет для уже существующих активов и в то же время будет поддерживать нормальное функционирование распределительных сетей.

Инструмент NEPLAN Maintenance от АББ, предназначенный для управления активами, – это одобренное к применению программное обеспечение для создания планов технического обслуживания, например, ТО для повышения надежности, а также для моделирования долгосрочных активов. Доступны средства оценки бюджета, которые вычисляют затраты на различные стратегии обслуживания.

Распределительные сети играют важную роль в эволюции энергетических систем. Решения, разработанные компанией АББ совместно с немецкими сетевыми операторами и научными кругами, помогают сетевым операторам в их работе, улучшая уже существующие активы как с технической, так и с экономической точки зрения. В ближайшее время функции автоматического управления первичным оборудованием позволят оптимизировать работу распределительных



В развивающемся мире главная задача энергетиков – обеспечить предприятия и население качественной продукцией – необходимыми видами энергии (тепловой и электрической). Еще никогда как сейчас в истории не уделялось так много внимания объектам, генерирующим энергию. Частично это обусловлено авариями (например, авария АЭС в Японии в 2011 году) или применением новых материалов, которые не всегда удовлетворяли ожидания специалистов (материал Т24, используемый для сверх- и суперкритических котлов). Не менее важна тема экологии – она оказывает большое влияние на энергетический мир.



Решения АББ для генерирующих подстанций

Автор: Михал Шилер

Компания АББ может успешно работать на всех мировых рынках и предлагать свои решения, опираясь на многолетний опыт в комплексных поставках энергетических объектов (угольных станций, парогазовых установок, газотурбинных агрегатов, котельных и других) под ключ. По объективным причинам, которые связаны с кризисом отрасли в 2000-х годах, компания отказалась от этого бизнеса, но подход и знание проблематики сохранились и постоянно применяются в комплексных решениях для генерирующих объектов.

Что компания предлагает своим заказчикам?

Комплексный набор услуг, который помогает воплощать идеи в реальность. Мы заботимся о том, чтобы высокие технологии поддерживались надежными источниками питания, вырабатываемая генераторами мощность стабильно и надежно передавалась в сеть, управление и автоматизация на любом уровне обеспечивали безопасную, безотказную, надежную и комфортную работу технологического и электротехнического оборудования. В целом можно сказать, что мы предлагаем весь комплекс услуг, начиная с концепции, разработки проектной документации, изготовления и поставки оборудования, монтажа, пусконаладочных работ и заканчивая сервисными услугами в режиме 24 часа / 7 дней в неделю / 365 дней в году.

При применении комплексных решений компания уделяет особое внимание инженерной проработке, используя современные достижения в области проектирования: современные расчетные программы, в которых можно заранее моделировать поведение источника в сети, менять все возможные конфигурации так, чтобы найти самое слабое место, которое могло бы повлиять на будущую эксплуатацию источника или его нестандартное поведение в электрической сети. За основу берутся расчеты токов коротких замыканий на всех уровнях напряжений, анализ потока энергии, пуска двигателей, высших гармоник, определение сечений кабелей и многие другие факторы, которые в целом дают полную картину и являются основанием для правильного подбора оборудования будущего энергетического объекта.

Если основной задачей, которой компания АББ занимается в электрической части, является выдача мощности



Рис. 1. Стандартный процесс поставки электростанции «под ключ» от компании АББ

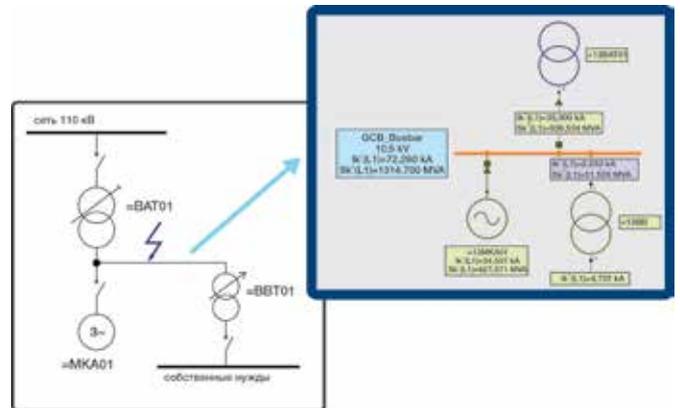


Рис. 2. Пример моделирования и расчетов токов короткого замыкания источника электроэнергии

и питание собственных нужд, то в системах управления речь идет об эффективном управлении как отдельными технологическими узлами и оборудованием, так и системой в целом. При этом вся необходимая информация выводится на экраны операторов. В обоих случаях применяется собственное, изготовленное компанией АББ оборудование, большая часть которого локализована и произведена на территории России.

Особые случаи

В тех случаях, где производственная линейка отсутствует или собственное оборудование нельзя применить (по желанию заказчика или в случае необходимости), можно применить оборудование, которое не находится в собственной производственной программе (кабели низкого напряжения, монтажный и крепежный материал, мониторы, компьютеры и т.д.). Компания обращается к своим проверенным партнерам, но не снимает с себя ответственности за это оборудование перед заказчиком.

Мы также стремимся выполнять специфические пожелания заказчиков, которые могут вытекать из особых назначений генерирующих объектов или требований строительной площадки. В качестве примера можно привести специальные модульные решения, в которых могут устанавливаться комплектные трансформаторные подстанции, рас-

Вследствие всего этого возникают колебания на энергетическом рынке, рождаются новые концептуальные подходы, пересматриваются энергетические концепции многих государств. В конечном счете это ставит непростые задачи перед владельцами электростанций, поставщиками технологий и, безусловно, перед компанией АББ – лидером в области технологий для энергетики и автоматизации. В связи с более чем 120-летним опытом инноваций в этой отрасли компания АББ может с гордостью сказать, что имеет ответы на вопросы, которые ставит рынок и потребность в устойчивом развитии не только всей энергетической отрасли, но и цивилизации в целом.



Рис. 3. Концепция виртуальной электрической сети. Реализовано для генерирующей компании, эксплуатирующей более 2 800 станций общей мощностью 1,5 ГВт

пределительные устройства среднего и низкого напряжения, операторские, а также возможно в модульном исполнении предоставить решение по КРУЭ. Применение модульных установок в итоге ведет к значительному понижению инвестиционных расходов в строительную часть, значительно сокращает срок монтажа и снижает затраты на транспортировку оборудования. Решение может быть предоставлено также для экстремальных условий эксплуатации.

Управление

Не менее важно, чем обеспечить выдачу энергии (тепловой и/или электрической) и надежно «пропитать» собственные нужды, является надежное управление всем процессом. История применения современных систем управления, т.е. переход от релейной полуавтоматической схемы на полную автоматизацию (применение контроллеров), началась в 80-е годы прошлого века. С тех пор компания АББ поставила свыше 220 тыс. контроллеров, более 1 млн. 300 тыс. модулей ввода/вывода, было поставлено более чем 80 тыс. рабочих станций, что в целом представляет 6 тыс. установленных систем, в том числе 200 систем, установленных в России. Спектр решений АББ охватывает как нижний уровень – собственные контрольно-измерительные приборы (КИПиА), так и верхний уровень управления и визуализации. Для выполнения этих задач применяются собственное оборудование и программное обеспечение. В портфель решений входит не только сама система управления, но и средства для оптимизации работы отдельных узлов и объекта в целом. Применение таких

оптимизирующих средств позволяет не только значительно снизить выбросы, но и, прежде всего, повысить КПД источника (на 1-1,5%). К специальным решениям относится виртуальная электрическая сеть, основой которой является объединение нескольких генерирующих источников. Такая виртуализация позволяет более эффективно управ-

ление данными источниками и помогает координировать их работу с учетом требований рынка.

Новый объект или модернизация?

При рассуждениях наших заказчиков о целесообразности стройки нового объекта или его модернизации (переворужения) мы также сталкиваемся с вопросом эффективности сетей, как электрических, так, прежде всего, тепловых. Многие электростанции выполняют социальную функцию обеспечения теплом населения. Задача усложняется именно в тех регионах/городах, где не были осуществлены значительные инвестиции в эти сети. Если в случае электрических сетей возможно решить проблему путем строительства новых ЛЭП или модернизацией существующих, то у тепловых сетей задача намного усложняется. В конечном итоге

строительством современного генерирующего объекта не будет обеспечена его эффективная работа, если энергия будет предоставляться потребителям с большими потерями или эти сети не будут способны обеспечить их надежную подачу. В этом плане компания АББ может предложить решения по модернизации как электрических, так и тепловых сетей, которые осуществляются по принципу поставки под ключ, включая гидравлические расчеты тепловых сетей.

АББ заботится об окружающей среде

Как было упомянуто выше, особое внимание компания АББ уделяет экологии и применению «зеленых» технологий. В нашем случае это означает предоставление комплексных решений для возобновляемых источников (ветровые и солнечные электростанции), электростанции, использующие биомассу, и гидроэлектростанции. Для всех этих технологий существует полный набор решений, который предусматривает выдачу мощности, питание собственных нужд и эффективное управление.

Если ищете надежного партнера с многолетним опытом в генерации, имеющего штат инженеров и специалистов, который опирается на собственную продукцию, локализованную в России, выполняющий функцию генерального подрядчика в электрической части и автоматизации; партнера, который готов решать задачи для любого генерирующего объекта, обращайтесь в АББ! Мы работаем здесь для вас!



Рис. 4. Пример модульного решения мини-ТЭЦ, Дальний Восток, расчетная температура -54 °С



КРУЭ ELK-04С, 145 нового поколения серии Compact

Решения АББ для подстанций высокого напряжения

Автор: Владимир Обухов

Концерн АББ, являясь одним из ведущих производителей и поставщиков высоковольтного электротехнического оборудования в мире, обладает широчайшей линейкой аппаратов. В России ассортимент высоковольтного оборудования АББ представлен как хорошо зарекомендовавшими себя в эксплуатации и проверенными временем аппаратами, так и последними новинками, включающими в себя самые последние достижения науки и технологий. Необходимо отметить, что компания АББ является одной из немногих, кто тратит значительную долю своей прибыли на научные разработки и внедрение инноваций. Вся продукция, представленная на российском рынке, соответствует требованиям российских стандартов и нормативных документов, отвечает условиям эксплуатации высоковольтного оборудования в нашей стране. Постоянно ведется работа по локализации новых видов продукции в России, в частности, в Екатеринбурге. Такой подход АББ позволяет предложить нашим заказчикам всесторонний ассортимент коммутационного высоковольтного оборудования, удовлетворяющий любые требования заказчиков. Как говорится, на любой вкус и кошелек. При этом, рассматривая задачу надежного и безопасного снабжения потребителей электроэнергией в необходимом объеме, мы должны постоянно помнить об экологической ответственности – ведь, как гласит старая поговорка, «Мы не наследуем Землю у наших предков, мы заимствуем ее у наших детей».

АББ обладает широчайшим ассортиментом высоковольтных аппаратов и решений для любого вида распределительных устройств, начиная от распределительных устройств с воздушной изоляцией на основе отдельно стоящего оборудования и заканчивая КРУЭ.

Ниже рассмотрено оборудование для различных вариантов решений распределительных устройств на основе оборудования АББ: отдельно стоящее оборудование с воздушной изоляцией, подстанция, реализованная на основе многофункциональных ячеек PASS, КРУЭ и выключателей-разъединителей.

Решения и продукты АББ для открытых распределительных устройств

На протяжении 120 лет компания АББ занимается разработкой и производством безопасных, надежных и доступных аппаратов, чтобы обеспечить потребность общества в электроэнергии. Ключевым элементом продукции компании является высоковольтная аппаратура с воздушной изоляцией. Ориентированность на упрощение конструкций, применение наиболее подходящих материалов, оптимизацию функциональных возможностей позволила обеспечить высочайшую надежность конструкции и функциональность аппаратов АББ, свести к минимуму потери энергии и воздействие на окружающую среду при их производстве и эксплуатации.

На сегодняшний день АББ имеет самый широкий спектр продуктов и решений для открытых распределительных устройств всех классов напряжения. В качестве внешней изоляции аппаратов могут использоваться как традиционные фарфоровые покрышки, так и полимерные изоляторы, которые повышают безопасность и вандалоустойчивость оборудования в эксплуатации, практически не требуют обслуживания, а также позволяют снизить массу аппаратов до 40 %.

В линейке выключателей АББ присутствуют элегазовые колонковые, а также баковые выключатели, оборудованные встроенными трансформаторами тока. Колонковые выключатели АББ способны работать при температурах до

-60 °С благодаря смеси газов, что позволяет использовать наименьшее количество элегаза в пересчете на коммутационную способность по сравнению с аналогами. В баковых выключателях используется чистый элегаз и функция подогрева баков.

На выключателях АББ впервые были внедрены системы управляемой коммутации, которые позволяют облегчить работу выключателей, увеличивая коммутационный ресурс в особых режимах, например, при коммутациях конденсаторных батарей, шунтирующих реакторов, трансформаторов и линий, а

также позволяют снизить уровень коммутационных перенапряжений в сети, влияющих на дорогостоящее оборудование подстанций, например силовые трансформаторы. Используются устройства учета коммутационного ресурса. Выключатели АББ оборудованы высоконадежными приводами – пружинными для колонковых и пружинными и пружинно-гидравлическими для баковых. Несколько лет назад был разработан и успешно применяется инновационный привод Motor Drive (MD), реализованный на основе принципа работы электродвигателя. Сейчас успешно внедрена новая разработка АББ – компактный и надежный пружинный привод MSD, который используется в новейших аппаратах АББ для класса напряжения 110 кВ. Для функций измерения тока и напряжения АББ предлагает широкий спектр измерительных трансформаторов тока и напряжения с элегазовой и масляной изоляцией. В измерительных трансформаторах тока типа IMB и напряжения типа EMF в качестве внутренней изоляции используется кварцевый песок, пропитанный маслом, это позволяет улучшить стойкость трансформаторов к электродинамическим усилиям в режимах КЗ, а также сейсмостойкость. Благодаря оптимально подобранному сочетанию материалов элементов емкостного делителя емкостные трансформаторы напряжения АББ обладают стабильными точностными характеристиками во всем температурном диапазоне и, кроме того, не подвержены феррорезонансу. Для защиты основного оборудования от перенапряжений используются ограничители перенапряжений АББ собственной разработки, обеспечивающие максимальную защиту путем срабатывания при минимальных уровнях перенапряжений и обладающие высокой пропускной способностью.

На предприятии в Екатеринбурге выпускаются традиционные разъединители 110-220 кВ и шинные опоры, а также колонковые выключатели 110-220 кВ, баковые выключатели 110 кВ двух типов, элегазовые трансформаторы тока 110-220 кВ, ячейки PASS и встроенные трансформаторы тока, шкафы управления генераторных выключателей.

Оборудование подстанций должно работать не только при номинальных параметрах сети, но и быть способным безотказно выполнять свои функции и обеспечивать необходимый уровень безопасности и защиты в аварийных режимах, в самых суровых климатических

Рис. 1. Новый баковый выключатель 145PM40-С для сетей 110 кВ



Рис. 2. Выключатель-разъединитель DCB LTB145



условиях. Богатый опыт эксплуатации оборудования производства АББ в России доказывает, что наши аппараты в полной мере отвечают этим требованиям.

Подстанция на основе компактных распределительных устройств с элегазовой изоляцией наружной установки – ячеек PASS

АББ является пионером в создании коммутационного оборудования с дополнительными встроенными функциями, такого как система Plug and Switch System (PASS), которое привело к развитию гибридных коммутационных аппаратов, обеспечивающих в себе функциональное сочетание технологий распределительных устройств с воздушной и элегазовой изоляцией. На сегодняшний день в мире эксплуатируется более 8 тыс. ячеек PASS, из них более 500 аппаратов установлены в России.

Все основные функциональные элементы ячейки расположены в среде элегаза или его смеси с хладоном, внутри заземленного алюминиевого корпуса. В зависимости от конфигурации ячейка может включать в себя один или два выключателя, встроенные трансформаторы тока и напряжения, разъединители-заземлители, а также быстродействующие заземлители, предназначенные для коммутации зарядных токов линий, воздушные и кабельные вводы. Ячейка может иметь исполнение как для подключения к одной, так и к двум системам сборных шин. Применение PASS позволяет уменьшить количество элементов схемы, например заземлителей, что

также повышает надежность подстанции. Ячейки PASS выпускаются на классы напряжения 35, 110, 220 и 330 кВ с номинальным током до 3150 А. Аппарат обладает малыми габаритами и в силу своей многофункциональности позволяет значительно, до 70 %, уменьшить площадь ОРУ по сравнению с традиционным отдельно стоящим оборудованием. Ячейка PASS предназначена для наружной установки и способна работать в самых экстремальных условиях эксплуатации при температурах окружающего воздуха от -60 до +40 °С. Еще одним достоинством аппарата является то, что ячейка полностью собрана и испытана на заводе и в таком виде поставляется на объект, где ее нужно лишь установить на фундамент и подключить к сети. Стандартное время на монтаж одной ячейки составляет 16 часов. Хотелось отметить, что с 2015 года производство ячеек PASS 110 кВ локализовано на заводе АББ в Екатеринбурге.

Подстанция, реализованная в виде комплектного распределительного устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ)

Компанией BBC (Brown Boveri Company), являющейся одной из родоначальниц концерна АББ, в 1965 году было построено первое в мире КРУЭ на класс напряжения 110 кВ. В настоящее время на рынке имеются КРУЭ номинальным напряжением в диапазоне от 35 до 1150 кВ.

При проектировании традиционного ОРУ необходимо обеспечить требуемые изоляционные расстояния токоведущими элементами и зазем-

ленными конструкциями, что требует использования значительных площадей. В условиях дороговизны земли или ее недостатка, например, под землей, внутри плотин гидроэлектростанций, в сейсмоопасных горных районах, а также при неблагоприятных условиях окружающей среды (пустыни, высокогорье, морские нефтяные платформы, северные районы, значительное загрязнение окружающей среды), идеальной альтернативой традиционному ОРУ является технология КРУЭ.

КРУЭ представляет собой совокупность коммутационных измерительных и других аппаратов и устройств, заключенных в герметичную оболочку, заполненную элегазом. КРУЭ – это единая система, объединяющая в себе электрическую, элегазовую и механическую схемы. Каждый аппарат представляет собой элемент КРУЭ, находящийся в своем отсеке, отделенном от других элементов барьерными изоляторами. Это повышает надежность подстанции в целом, позволяет избежать отключения больших участков КРУЭ в случае необходимости доступа к одному из элементов.

Низкие уровни шума электромагнитного излучения допускают эксплуатацию КРУЭ в жилых районах или на чувствительных к помехам промышленных предприятиях. КРУЭ повышает эффективность сети, поскольку допускает передачу энергии при более высоких напряжениях ближе к центрам потребления в больших городах. Установка КРУЭ не оказывает негативного влияния на окружающий ландшафт или архитектуру города, оно обладает

значительно лучшими по сравнению с традиционным оборудованием анти-вандалными свойствами.

Сравнительно небольшие габариты ячеек обуславливают компактность всей установки, обеспечивая в то же время свободный доступ к отдельным элементам и органам управления, позволяя размещать распределительные устройства даже в небольших зданиях и экономить ресурсы, такие как элегаз и металлы. В некоторых случаях установка КРУЭ может сэкономить до 90 % площади по сравнению с традиционным распределительным устройством. В то же время благодаря тому, что все компоненты аппарата находятся в среде элегаза внутри герметичного корпуса, практически отсутствует негативное влияние окружающей среды, благодаря чему КРУЭ обладают очень высокой надежностью и длительными межремонтными интервалами, это повышает показатели надежности электроснабжения.

Для установки КРУЭ в наших условиях требуется строительство здания. Обычно здание предоставляется самим заказчиком, однако компания АББ может предложить свое решение. КРУЭ АББ состоит из набора конструктивных модулей с высокой степенью стандартизации, которые могут быть легко настроены на конкретные запросы потребителя даже на поздней стадии производства.

Ячейки поставляются на объект полностью собранными и испытанными на заводе, это позволяет значительно сократить время монтажа и пусконаладочных испытаний.

АББ имеет более чем 50-летний опыт производства и исследований в этой области. Благодаря этому мы можем предложить КРУЭ, полностью отвечающее требованиям заказчика, нашу экспертную поддержку и квалифицированный сервис. КРУЭ производства АББ более ранних типов может быть расширено или модернизировано с применением совместимых новых аппаратов.

Еще одной особенностью КРУЭ является готовность к интеграции в архитектуру интеллектуальной подстанции. Функции мониторинга, измерений, контроля, защиты и коммуникации могут быть реализованы в местном шкафу управления посредством цифрового интерфейса АББ серии Relion®. Интеграция в систему автоматизации подстанции выполняется при использовании протокола МЭК

61850 совместно с нетрадиционными измерительными трансформаторами через шину процесса МЭК 61850-9-2LE. Есть функция «On-line» мониторинга плотности элегаза в отсеках.

Новое поколение интеллектуальных подстанций – это воплощение полученного в прошлом опыта, позволившего повысить безопасность, надежность и гибкость работы высоковольтного оборудования. Интеллектуальные подстанции способны удовлетворить требованиям к сетям переменного тока будущего.

Выключатель-разъединитель с функцией заземлителя

Другим примером инновационной концепции элегазового коммутационного высоковольтного устройства является выключатель-разъединитель (DCB) с полимерной изоляцией, сочетающий в себе функции выключателя, разъединителя и заземлителя. Впервые выключатель-разъединитель был представлен компанией АББ в 2000 году. Очень важным аспектом является то, что создание этого решения стало возможным благодаря взаимодействию компании АББ с нашими заказчиками.

Главной особенностью аппарата является то, что функция разъединителя реализована самим выключателем, обладающим повышенной диэлектрической прочностью, соответствующей требованиям, предъявляемым к разъединителям. Для обеспечения требований безопасности в аппарате реализованы все необходимые блокировки между выключателем, разъединителем и заземлителем. Появление такого аппарата позволило исключить из схемы подстанции самый ненадежный элемент подстанции открытого типа, коим является разъединитель, преимущественно используемый для изолирования выключателей или других высоковольтных компонентов от сети при их техническом обслуживании. Это обусловлено тем, что современные высоковольтные элегазовые выключатели обладают значительной надежностью, и применение для вывода их в ремонт разъединителей, имеющих меньшие межремонтные интервалы, становится нецелесообразным. Такой подход позволяет повысить готовность подстанции благодаря уменьшению элементов схемы и повышению их надежности. Применение выключателей-разъединителей позволяет значительно упростить схему подстанции, сделать ее более наглядной

и простой в обслуживании, отказавшись, например, от обходной системы шин или обходного разъединителя, необходимых для вывода выключателей в ремонт, а также сократить площадь ОРУ на 40 %. Для вывода аппарата в ремонт может применяться быстро демонтируемый контактный узел (БДУ), который устанавливается на шлейф и дает возможность быстро отсоединять и присоединять аппараты при отсутствии напряжения.

Выключатели – разъединители выпускаются на напряжения от 35 до 500 кВ током до 4 тыс. А. В мире установлено более 1500 выключателей-разъединителей производства АББ.

В России уже имеется успешный опыт эксплуатации новых аппаратов. Появляются нормативные документы, учитывающие применение выключателей-разъединителей.

В настоящее время компания АББ является, пожалуй, единственным в России поставщиком выключателей-разъединителей.

АББ обладает широчайшим ассортиментом высоковольтных аппаратов и решений для любого вида распределительных устройств, начиная от распределительных устройств с воздушной изоляцией на основе отдельно стоящего оборудования и заканчивая КРУЭ.

Сотрудничество с проектными институтами является одним из наших приоритетных направлений. Проводятся технические семинары со специалистами. Существует возможность организации выезда специалистов на зарубежные предприятия АББ для знакомства с производством и решения технических вопросов.

В ответ на возрастающий спрос на продукцию отечественного производства постоянно ведется работа по увеличению степени локализации существующих продуктов и началу производства новых видов оборудования в России.

Благодаря огромному опыту в области производства электротехнической продукции, собственным научным исследованиям, наличию производства высоковольтного оборудования в России и профессиональному сервису мы готовы оказывать эффективную поддержку наших заказчиков по любым вопросам, связанным с эксплуатацией оборудования в режиме 24/7/365, быть надежным партнером для наших заказчиков.



Техническая надежность и экономическая окупаемость трансформаторов АББ

Авторы: Кшиштоф Любовецки, Татьяна Некрасова

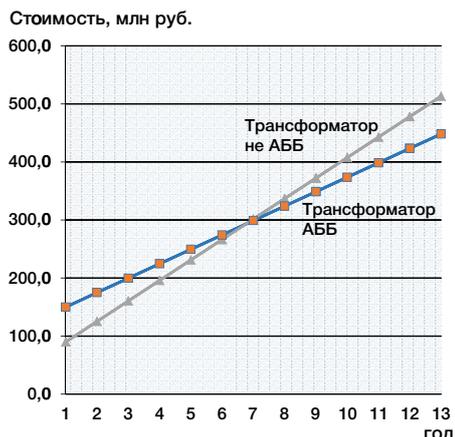
Трансформатор является одним из важнейших элементов, обеспечивающих надежную поставку электроэнергии с любых генерирующих электростанций. Экономическая эффективность работы электростанции во многом определяется потерями в трансформаторах, а также их надежной и безаварийной работой. Несмотря на кажущуюся простоту конструкции, современные технологии позволяют значительно повысить эксплуатационные параметры трансформаторного оборудования.

Необходимость модернизации и переоснащения оборудования на тепловых электростанциях и электроцентралях в России обусловлена износом оборудования, установленного 30, 40 и даже более лет назад. Компания АББ – ведущий производитель трансформаторного оборудования в мире – успешно реализовала целый ряд проектов по поставке силовых трансформаторов в России. Инвестиции в новое трансформаторное оборудование от АББ окупаются за счет повышенной экономической эффективности. Расчеты показывают, что низкий уровень потерь холостого хода и потерь короткого замыкания трансформаторов АББ снижают стоимостные потери энергии до 30 %, а срок окупаемости трансформатора наступает на 5-7 год эксплуатации при необходимости более высоких инвестиций (см. График 1).

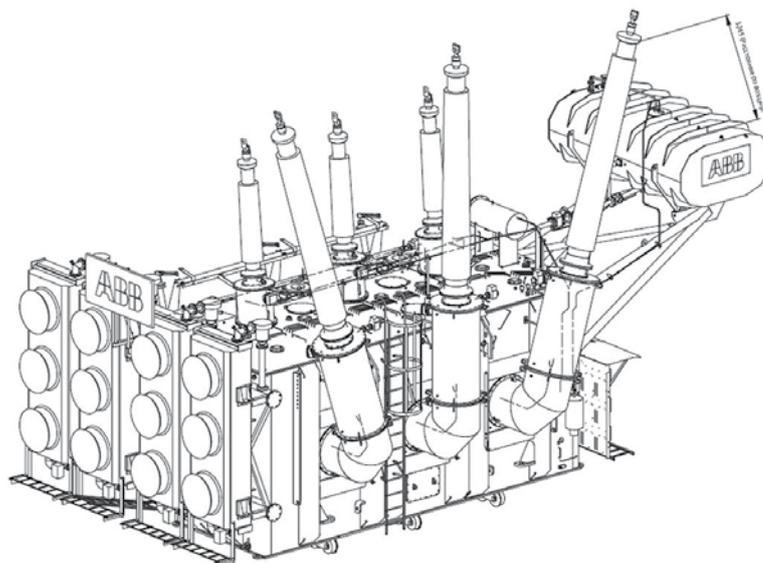
Необходимо отметить высокую стойкость трансформаторов АББ к режимам коротких замыканий. Это позволяет значительно снизить вероятность серьезных капиталовложений на ремонт оборудования после аварийных режимов на электростанции и обеспечивает более быстрый выход в рабочий режим после аварии. Немаловажным достоинством является и безопасность эксплуатации в нормальных и аварийных режимах.

На предприятия тепло-энергетического комплекса России с 2000-х годов компания АББ поставила несколько десятков силовых трансформаторов суммарной мощностью более 3000 МВА. Все проекты стали уникальными в своем роде, так как компания может спроектировать и изготовить трансформатор любой номинальной мощности и напряжения.

График 1. Пример расчета окупаемости трансформатора АББ ТДЦ-400 000/220



Чертеж. Автотрансформатор связи типа АДЦН-500 000/500/220 производства АББ (Швеция)



Наравне с неоспоримым преимуществом низких потерь и, следовательно, более низкими стоимостными потерями энергии (до 30 % за период эксплуатации) трансформаторы АББ обладают еще целым рядом преимуществ:

1. Вероятность безотказной работы (наработка на отказ) > 100 000 часов (25 000 часов по ГОСТ-27.002-89).
2. Низкие массогабаритные показатели позволяют уменьшить затраты на строительно-монтажные работы.
3. Трансформаторам не требуется обслуживание и капитальный ремонт или вскрытие, долив масла в течение всего срока службы при условии соблюдения требований к эксплуатации согласно инструкции.
4. Низкие текущие эксплуатационные расходы (объем необходимых затрат на текущее обслуживание за 1 год не превышает 0,01...0,05 % от стоимости трансформатора).

5. Простота монтажа в максимально короткие сроки.

6. Комплектуемое производства АББ – РПН нового поколения, высоковольтные вводы.

7. Холоднокатаная трансформаторная сталь с низкими потерями для изготовления сердечника трансформатора, технология СТЭП-ЛЭП.

8. Применение в производстве трансформаторов всех мировых стандартов и систем качества, включая ГОСТ, МЭК, BS, DIN, ISO-9001, ISO-14001 и ISO-18001.

9. Наличие в России группы сервис-инженеров, сертифицированных заводами АББ для оказания услуг по диагностике, надзору за монтажом и сервису.

10. АББ поставляет трансформаторы любой номинальной мощности и напряжения, не только с параметрами согласно ГОСТ.

11. Срок службы – 40 лет (требования: Россети – 30 лет, ГОСТ-Р-52719-2007 – 25 лет).

Входные данные	Трансформатор АББ	Трансформатор не АББ	Относительная разница, %
Стоимость, млн руб.	150	90	+67
Потери ХХ, кВт	180	280	-36
Потери КЗ, кВт	630	870	-28
Стоимость электроэнергии, руб./кВт*ч	3,5	3,5	100
Средняя нагрузка, %	100	100	100
Расчет			
Расчет потерь ХХ в год, тыс. руб.	5 520	8 590	-36
Расчет потерь КЗ в год, тыс. руб.	19 330	26 690	-28
Итого потери в год, тыс. руб.	24 850	35 280	-30



Генераторы, наполняющие мир энергией

Компания АББ – один из крупнейших производителей генераторов в мире. Генераторы АББ произвели больше гигаватт-часов энергии в секторе дизельных двигателей и двигателей внутреннего сгорания, чем изделия любого другого поставщика. Наш уникальный опыт и технологические разработки позволяют предлагать заказчикам продукты, идеально соответствующие любым требованиям.

ТЭС «Международная», Москва Сити.
Генераторы АБВ с составе ПГУ.
Суммарная мощность 240 МВт



Туапсинский НПЗ ОАО «Роснефть».
Краснодарский край.
6 генераторов АБВ мощностью 47 МВт
каждый



Генераторы для дизельных двигателей и двигателей внутреннего сгорания

Наши высоковольтные генераторы продемонстрировали свою надежность в работе с большинством четырехтактных дизельных и бензиновых двигателей, выпускаемых в настоящее время. Генераторные установки обычно используются на децентрализованных электростанциях. Типичные области их применения – электростанции и теплоцентрали, а также морские и сухопутные установки.

Низковольтные промышленные генераторы АБВ сочетают в себе низкую стоимость, достигаемую благодаря стандартной конструкции, и богатую функциональность, что позволяет применять их в самых разных ситуациях. Они идеально подходят для использования в качестве основного или резервного источника электроснабжения для школ, боль-

ниц, офисов и предприятий, а также для сфер применения с жесткими требованиями, например, шахт, телекоммуникационных сетей, транспорта и комбинированного производства тепловой и электрической энергии.

Низковольтные судовые генераторы используются в качестве главного, вспомогательного или аварийного источника электроэнергии. Их можно встраивать в дизельные генераторные установки или эксплуатировать в качестве валогенераторов. Такие устройства используются на круизных судах, автомобильных и железнодорожных паромов, ледоколах, многофункциональных танкерах, танкерах для перевозки СПГ, судах ледового плавания, судах снабжения морских и буровых установок, а также на судах многих других типов.

Мы не останавливаемся и все время совершенствуем наши продукты. В бли-

жайших планах – дальнейшее увеличение эффективности генераторов при работе с двигателями внутреннего сгорания, повышение надежности и устойчивости к вибрации. При решении проблем, которые связаны с создаваемой двигателем вибрацией, мы работаем в тесном сотрудничестве с производителями генераторных установок. Мы применяем сложные инструменты и используем свои богатые знания для анализа воздействия внешних крутильных колебаний и линейной вибрации. Это один из способов, позволяющих нам добиться бесперебойной работы генераторов, на которую рассчитывают заказчики.

Генераторы для газовых и паровых турбин

Благодаря широкому ассортименту четырехполюсных турбогенераторов мы можем предложить клиентам продукцию, отвечающую самым разным



Испытания низковольтного генератора на заводе

требованиям. Наши генераторы для паровых и газовых турбин вырабатывают энергию на электростанциях, целлюлозно-бумажных комбинатах, сахарных заводах, сухопутных и морских нефтяных и газовых платформах, заводах по утилизации отходов и во многих других отраслях промышленности по всему миру.

Мы поставляем генераторы для паровых и газовых турбин во все уголки мира, работая в тесном сотрудничестве с клиентами и добиваясь максимального соответствия наших изделий конкретным условиям применения. В частности, мы обладаем богатым опытом в сфере соблюдения требований различных стандартов и

электросетевых кодексов, действующих в мире. Наши высоковольтные генераторы для паровых и газовых турбин рассчитаны на специфические условия соответствующих областей применения. Кроме того, теперь мы можем предложить изделия мощностью до 90 МВА, доказавшие свою надежность.

Более вековой опыт изготовления позволяет создавать генераторы для различных условий эксплуатации. На российском рынке генераторы для газовых и паровых турбин давно завоевали свою нишу, производя ежедневно огромное количество электроэнергии в составе энергоблоков как в густозаселенных городах с жарким климатом, так и месторождениях нефти и газа на севере России с его суровым климатом.

Компания Rittal будет поставлять 3-фазные системы ИБП производства ABB в качестве своего стандартного решения для ЦОД

В рамках стратегии развития направления центров обработки данных компания Rittal успешно поставляет системы ИБП ABB в качестве OEM партнера на протяжении многих лет. Настоящее соглашение Rittal и ABB предполагает более углубленное партнерство на международном уровне – для поддержания стратегии роста компаний в этом сегменте рынка.

Компания Rittal будет поставлять 3-фазные системы ИБП производства ABB в качестве своего стандартного решения для ЦОД, сервис и обслуживание на местах будет представлен компанией ABB. Это глобальное партнерство демонстрирует большой опыт в поставке решений для центров обработки данных и укрепляет сотрудничество по продажам и сервису на рынках. Источники электропитания являются ключевыми компонентами ЦОД, так, например, продукция компании ABB является частью RiMatrix S – стандартного модульного центра обработки данных Rittal.

Недавно анонсированные системы серии PMC предназначены исключительно для Rittal – это модульные продукты ABB DPA TS8 и ABB UPScale TS8, поставляемые

в системах Rittal. Эти продукты благодаря совместимости с TS8 механически оптимально интегрированы в модульную систему Rittal RiMatrix, а также в готовые модули для центров обработки данных RiMatrix S.

ABB и Rittal связывает долгое и успешное сотрудничество. Этот новый этап призван стимулировать рост обоих брендов в сегменте модульных центров обработки данных на глобальном уровне. И за счет расширения сотрудничества между ABB и международными дочерними предприятиями Rittal обе компании смогут усилить свои конкурентные преимущества – например, путем осуществления проектов для центров обработки данных с высоким качеством и максимальной эффективностью.

Компания Rittal (www.rittal.ru), ведущий мировой производитель систем распределительных шкафов, решений для силового электrorаспределения, контроля микроклимата и IT-инфраструктур. Решения Rittal находят применение в сфере промышленной автоматизации, машиностроения, электроники, энергети-



ки, информационных технологий, связи и телекоммуникаций, транспорта и строительства. Компания основана в 1961 году и на сегодня имеет 11 производственных площадей, 58 дочерних компаний и 40 представительств во всем мире. С общим штатом в 10 тыс. сотрудников компания Rittal является самым крупным предприятием холдинга Friedhelm Loh Group (г. Хайгер, Германия).

Широкий спектр продукции охватывает также и комплексные решения для модульных и энергоэффективных вычислительных центров, начиная с инновационной концепции безопасности и заканчивая физической защитой данных и систем IT-инфраструктуры.

Генераторные выключатели



Авторы: Дмитрий Барабошкин, Станислав Краснов

Как известно, теплоэлектростанции являются важнейшим узлом любой энергосистемы в любой стране мира. Разнообразие и доступность видов ископаемого топлива, а также высокая маневренность газовых турбоагрегатов делает тепловые станции одним из самых популярных источников электроэнергии. Оборудование так называемого «силового острова» – синхронные генераторы и блочные трансформаторы – являются самыми важными и дорогостоящими устройствами. Генераторные выключатели, устанавливаемые в электрической цепи между ними, обеспечивают защиту оборудования от всех возможных видов аварийных режимов.

Компания АББ с 1954 года проектирует и изготавливает генераторные выключатели и распределительные устройства для самых разных типов электростанций. С этого времени в более чем 100 стран мира было поставлено свыше 8 тыс. выключателей. АББ предлагает наиболее полную и современную линейку генераторных выключателей с элегазовой изоля-

цией в диапазоне токов отключения от 63 кА до 300 кА и с номинальными токами от 6300 А до более чем 50 тыс. А.

Элегазовые генераторные выключатели позволяют выполнять следующие функции:

- синхронизацию генератора с электрической сетью;
- отключение и включение токов нагрузки в рабочих режимах;
- отключение тока короткого замыкания, при коротких замыканиях, как со стороны энергосистемы, так и со стороны генератора;
- отключение генератора в режиме рассогласования фаз (при сдвигах по фазе до 180 °), возникшего в результате неправильной синхронизации или выпадения из синхронизма энергосистемы;
- отключение ненагруженного силового трансформатора.

Основным элементом элегазового выключателя АББ является дугогасительная камера «автокомпрессионного типа», в которой газовый объем разделен на два отсека.

В первом давление элегаза создается за счет температуры горячей дуги, во втором – сжатием самого объема (за счет энергии пружинно-гидравлического привода). Это сделано для того, чтобы выключатель имел разный уровень дутья при отключении разных величин аварийных токов, что, в свою очередь, позволяет предотвратить возникновение опасных перенапряжений.

В состав элегазовых генераторных распределительных устройств, помимо выключателя, также могут входить такие компоненты, как разъединитель, заземлители, пусковой разъединитель (для подключения тиристорного пускового устройства), защитные конденсаторы, ограничители перенапряжения, а также измерительные трансформаторы тока и напряжения. Наличие этих компонентов позволяет значительно снизить габариты распределительного устройства, обеспечив при этом одинаковый срок службы и технического обслуживания для всех аппаратов генераторной цепи.

На текущий момент генераторные выключатели АББ показали себя высоконадежными аппаратами, способными справиться с самыми тяжелыми видами аварий. Многие станции, которые не имели генераторных выключателей, сейчас проводят реконструкцию и установку аппаратов нашего производства, чтобы значительно повысить эксплуатационную готовность генерирующего оборудования.



Структура и оборудование систем собственных нужд

Авторы: Максим Рябчицкий, Дмитрий Сидоров, Владимир Дубинин, Станислав Черников

Для нормального функционирования объектов энергетики очень важно надежное, бесперебойное электроснабжение систем автоматики, систем релейной защиты и оперативной связи, диспетчерских пультов управления, системы пожаротушения, аварийного освещения. Помимо этого, на тепловой электростанции для управления процессом подготовки пара используется большое количество низковольтных двигателей для управления задвижками в трубопроводах и различных насосах. Таким образом, мощность низковольтных нагрузок, обеспечивающих безопасную эксплуатацию станции, может достигать нескольких МВА. Важно отметить, что большая часть этих нагрузок должна продолжать работать в любых аварийных режимах, в том числе когда прекращена выработка электроэнергии на генераторах электростанции.

В состав системы питания собственных нужд входят распределительное устройство среднего напряжения, силовой трансформатор, распределительное устройство низкого напряжения, система оперативного постоянного тока с аккумуляторными батареями, частотные преобразователи для управления технологическими параметрами электродвигателей.

Комплексное предложение АББ заключается в том, что мы можем предложить все перечисленные подсистемы, согласованные между собой, с возможностью простого объединения информационными каналами для мониторинга состояния и дистанционного управления. В настоящее время самым

современным протоколом коммуникаций в системах электроснабжения любого уровня является протокол сетей «Smart Grid» в соответствии со стандартом МЭК 61850. Практически все оборудование, входящее в систему собственных нужд, имеет возможность обмена данными, как по стандартным протоколам автоматизации, так и по протоколу МЭК 61850.

В качестве распределительных устройств среднего напряжения компания АББ может предложить надежные и компактные ячейки с воздушной и элегазовой изоляцией.

Распределительные устройства с воздушной изоляцией серии UniGear обеспечивают высочайшую степень надежности и гибкости технических решений, а серия UniSec имеет широкий диапазон простых и надежных технических решений. КРУ с элегазовой изоляцией серии ZX характеризуется высокой степенью безопасности при эксплуатации и компактностью исполнения. Находящиеся в элегазе аппараты не требуют частого обслуживания, а малые размеры ячеек позволяют значительно расширить количество присоединений на реконструируемых объектах, где нет



Рис. 1. КРУ с воздушной изоляцией UniGear ZS1



Рис. 2. КРУ с воздушной изоляцией UniSec



Рис. 3. КРУ с элегазовой изоляцией UniGear ZX

возможности изменить строительную часть. Распределительные устройства SafeRing/SafePlus представляют собой герметичную систему с контейнером из нержавеющей стали, которая содержит все токоведущие части и коммутационные аппараты. Герметичный стальной контейнер с элегазом, находящимся под небольшим избыточным давлением, обеспечивает высокий уровень надежности, безопасности персонала и минимальные требования к обслуживанию.

Для системы собственных нужд предпочтительнее использовать более надежные и безопасные сухие трансформаторы, изготовленные на основе двух передовых технологий, – трансформаторы RESIBLOC и трансформаторы с литой изоляцией в вакууме, типа DTE. Оба вида трансформаторов, обладая всеми преимуществами сухих трансформаторов, лидируют в области самых передовых технологий. За счет применения изоляции со стекловолоконным усилением (до 80 % стекловолокна в изоляции) трансформатор RESIBLOC обладает уникальной механической прочностью и надежностью. Трансформаторы DTE с литой изоляцией в вакууме защищены от влаги и могут эксплуатироваться в средах с высокой влажностью и высокой степенью загрязнения. По технологии производства герметизация высоковольтных обмоток обеспечивает оптимальные изоляционные и механические характеристики, а также высочайшую надежность изоляции в рабочих режимах.

К примеру, на Академической ТЭЦ в Свердловской области уже несколько лет установлены и успешно эксплуатируются сухие трансформаторы DTE мощностью 4000 кВА и 1000 кВА.

В области низкого напряжения компания АББ может предложить готовые решения MNS и MNSiS. Низковольтные комплектные устройства (НКУ) типа MNS, MNSiS предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока до 6300 А частотой 50-60 Гц, и напряжением до 0,69 кВ, а также в качестве щитов станций управления электродвигателями (ЩСУ).

Модульная конструкция НКУ типа MNS, MNSiS, высокая степень секционирования (до 4b) и ряд других конструктивных особенностей позволяют обеспечить надежное электроснабжение потребителей и высокую степень безопасности обслуживающего персонала. Замена выдвижных модулей на резервные, а также переконфигурация отсека оборудования (установка модулей других номиналов и типоразмеров) возможна без снятия напряжения с секции НКУ в максимально короткие сроки.

НКУ MNSiS дает возможность управления, контроля и диагностики электроснабжения за счет встроенной

системы управления. Мониторинг параметров электроснабжения (ток, напряжение, мощность, частота, температура и т. д.) для каждой из линий, по трем фазам, возможен благодаря специальной технологии шунтового датчика, интегрированного в выдвижной модуль. Функции защит, управления и мониторинга реализуются блоком управления Mcontrol. Настройку установок защит и других параметров можно выполнять на работающем НКУ, а смену логики управления осуществлять программным путем без изменения аппаратной части. Возможен просмотр истории событий электроснабжения как в рамках системы АСУ ТП и АСУЭ, так и непосредственно по месту или дистанционно.



Рис. 4. КРУ с элегазовой изоляцией SAFERING



Рис. 5. НКУ с интегрированной системой управления MNSiS

Благодаря возможностям системы управления MNS iS электроснабжение потребителей 0,4 кВ может находиться под полным контролем АСУ ТП и оперативного персонала (АСУЭ). Система предоставляет пользователю всю необходимую информацию о электроснабжении потребителей и функционировании НКУ, делая возможным заблаговременный прогноз и предотвращение аварийных отключений.

Очень важно отметить, что практически все серии коммутационных аппаратов АББ, включая автоматические выключатели и выключатели с предохранителями, предназначены для работы на постоянном токе, который часто используется в системах питания собственных нужд. Это требует от аппаратов повышенной коммутационной способности, т.к. электрическая дуга постоянного тока требует более быстрого охлаждения для надежного прерывания тока, особенно в режимах коротких замыканий.

С учетом большого количества используемых электродвигателей для насосно-вентиляционного оборудования очень важно качество управления.

Компания АББ может предложить целый ряд решений в этой области, начиная с простейших схем на базе контакторов для прямого пуска, реверсивного управления, пуска по схеме звезда-треугольник. Эти простые решения могут быть применены в тех случаях, когда не требуется управление режимом работы асинхронного двигателя. Важно отметить, что контакторы серии AF обладают низкими потерями, универсальной обмоткой управления, работающей на переменном и постоянном токе, широким рабочим диапазоном питающего напряжения и рядом других существенных преимуществ. Сборки схем управления, включая защитные аппараты (тепловые реле и специальная серия автоматических выключателей для защиты асинхронных двигателей), собираются «втычным» способом за счет широкой гаммы аксессуаров. Для более сложных применений компания АББ предлагает устройства плавного пуска нескольких серий, включая устройства с прямым управлением моментом при разгоне и останове двигателя, что

исключает возможность гидравлических ударов в трубопроводах.

В случаях, когда необходимо длительно регулировать параметры электропривода, целесообразно применять преобразователи частоты с асинхронными и синхронными реактивными двигателями.

Благодаря встроенному алгоритму прямого управления моментом в передовых линейках электроприводов ACS880 и ACS850 достигается беспрецедентная точность и динамика управления любым механизмом (насосные агрегаты, градирни, краны, угольные конвейеры, дымососы, воздухоподогреватели, компрессоры и т.д.). Универсальная архитектура позволяет управлять как асинхронными, синхронными реактивными и синхронными двигателями с постоянными магнитами. За счет встроенных энергоэффективных алгоритмов и высокого класса энергоэффективности самих двигателей (до IE4) предприятие повышает свою эффективность без дополнительных усилий.

Постоянная Арнольда

Часть 2

Авторы: Беспалов В.Я., Бородин Д.А., Бородин В.Д.

Профессор Арнольд оставил огромное количество трудов в наследство современному и будущим поколениям электротехников, для которых вся жизнь и деятельность Арнольда будут служить примером энергичной упорной и даровитой работы.

Осенью 1891 года Чарльз Браун уволился из «Эрликона» и вместе со своим коллегой Вальтером Бовери открыл собственное предприятие «Браун, Бовери и К^о» в Бадене. В «Эрликоне» появилось вакантное место, и на него был принят Арнольд. Это было очень смелым шагом как руководства «Эрликона», так и самого Арнольда. «Эрликон» к тому времени был одним из крупнейших электротехнических предприятий Европы. У Арнольда имелся только практический опыт технического руководства небольшого по сравнению с «Эрликоном» «Российско-Балтийского электротехнического завода». Предыдущий технический директор «Эрликона» – Ч. Браун к тому времени был уже признанным выдающимся конструктором, как электрических машин, так и высоковольтных электропередач. Арнольду только предстояло доказать свою состоятельность в качестве технического руководителя такого масштаба. Не лишним будет отметить, что между Э. Арнольдом и Ч. Брауном установились отличные отношения. В своих будущих книгах Арнольд в качестве образцовых примеров многие десятки раз приводил конструкции «Браун, Бовери и К^о».

О работе Арнольда в тот период можно судить по отрывку из статьи М.О. Доливо-Добровольского «Из истории трехфазного тока». Приве-

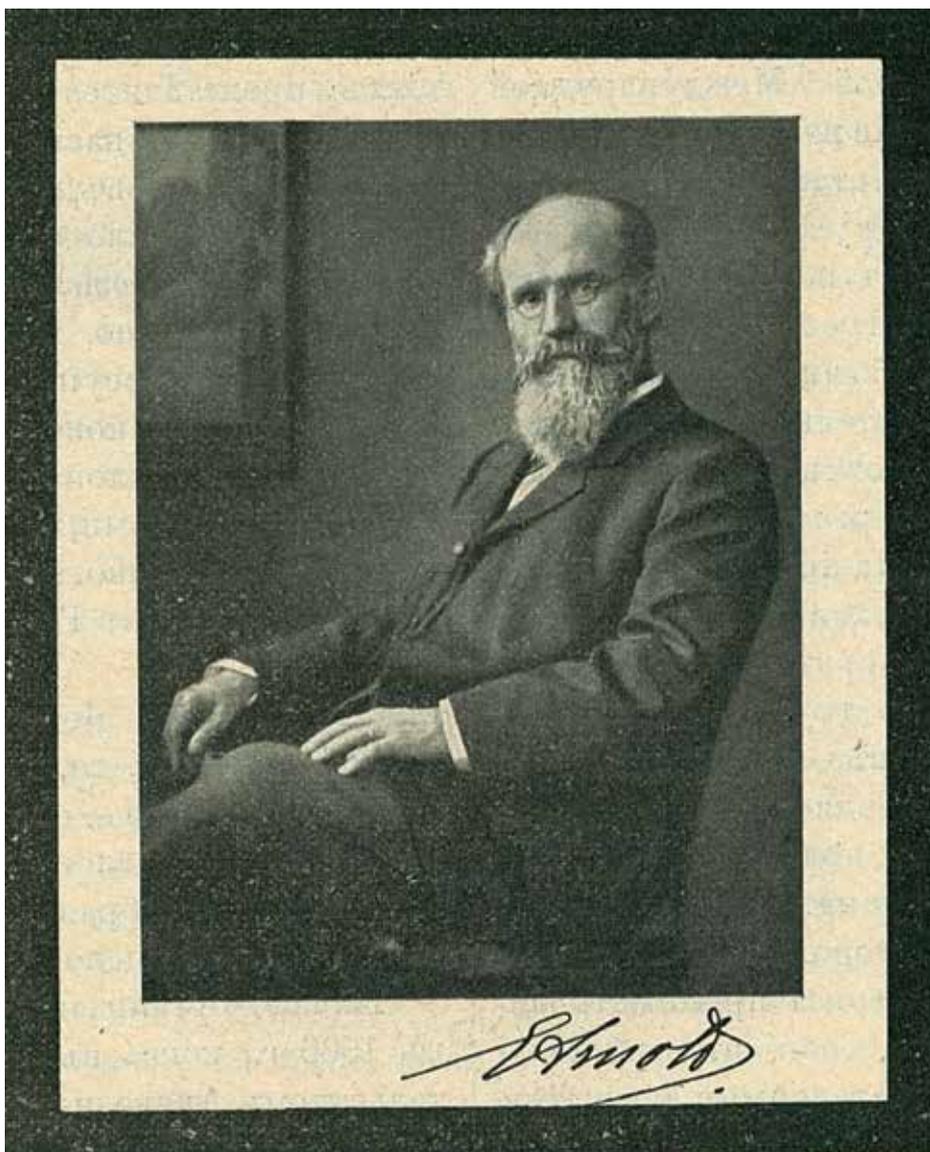


Рис. 1. Энгельберт Арнольд (1856-1911)



Рис. 2. Публикации Э. Арнольда на немецком и русском языках

дем его почти полностью, поскольку он очень точно описывает те задачи и проблемы, которые стояли перед конструкторами электродвигателей того времени. Михаил Осипович был техническим руководителем компании AEG. «Эрликон» и AEG выполняли много общих проектов, и Доливо-Добровольский очень тесно работал с Арнольдом. Сразу после знаменитой Лауфен-Франкфуртской трехфазной электропередачи 1891 года Лауфенская электростанция стала снабжать город Хайльбронн трехфазным током. У AEG возникла необходимость срочно наладить серийное производство асинхронных трехфазных двигателей мощностью от 0,5 до 10 л.с. Вот что пишет Михаил Осипович об этом проекте: «Я установил,

что барабанная обмотка является наилучшей (по сравнению с граммовской обмоткой), но, с другой стороны, опасался наматывать такой барабанный статор тонкими проводами в полузакрытых пазах (в то время искусство изготовления обмоток стояло еще невысоко) и обратился к следующей форме решения вопроса. Электродвигатель имел обмотку из стержней и вилок¹... При расчете требуемое напряжение оказалось очень низким (например, только около 10 или 20 В), но зато на плите, на которой устанавливался электродвигатель, был помещен маленький трансформатор. Этот трансформатор поднимал напряжение на электродвигателе до напряжения сети, составляюще-

го примерно 110 В». Таким образом, дополнительный трансформатор на каждый двигатель значительно усложнял конструкцию и увеличивал стоимость устройства. Продолжим описание Доливо-Добровольского: «На дружественном нам машиностроительном заводе „Эрликон“ после ухода Брауна опыты продолжал Арнольд... „Эрликон“ выпустил в качестве промышленного типа конструкцию, представлявшую возврат к моему первому электродвигателю с кольцом Грамма, но с учетом признанного теперь принципа минимального рассеяния... Для снижения рассеяния сотрудники „Эрликона“ прибегли к чрезвычайно маленькому воздушному зазору между индуктором и якорем; они взяли около

Перечень, составленный Манфредом Майером, трудов, выпущенных Арнольдом и его учениками за время работы в Карлсруэ

1902 год – Машины постоянного тока. Том 1: Теория машин постоянного тока.

1902 год – Техника переменного тока. Том 1: Теория переменных токов.

1903 год – Машины постоянного тока. Том 2: Конструкция, расчеты, исследования и режимы работы.

1904 год – Техника переменного тока. Том 2: Трансформаторы – теория, конструкция, расчеты и режимы работы.

Техника переменного тока. Том 3: Обмотки машин переменного тока.

Техника переменного тока. Том 4: Синхронные машины переменного тока. Генераторы, моторы и преобразователи – теория, конструкция, расчеты и режимы работы.

1906 год – Коммутация коллекторных машин постоянного и переменного тока.

1909 год – Техника переменного тока. Том 5: Асинхронные машины переменного тока. Часть 1: Асинхронная электрическая машина – теория, конструкция, расчеты и режимы работы.

1912 год – Часть 2: Коллекторные машины переменного тока – теория, конструкция, расчеты и режимы работы.

¹ В пазах статора закладывались медные изолированные стержни, концы которых собирались на лобовых частях в схему. Таким образом, в каждом пазу был только один проводник. Чтобы создать необходимую намагничивающую силу по стержням, должен был протекать большой ток при малом напряжении на зажимах.

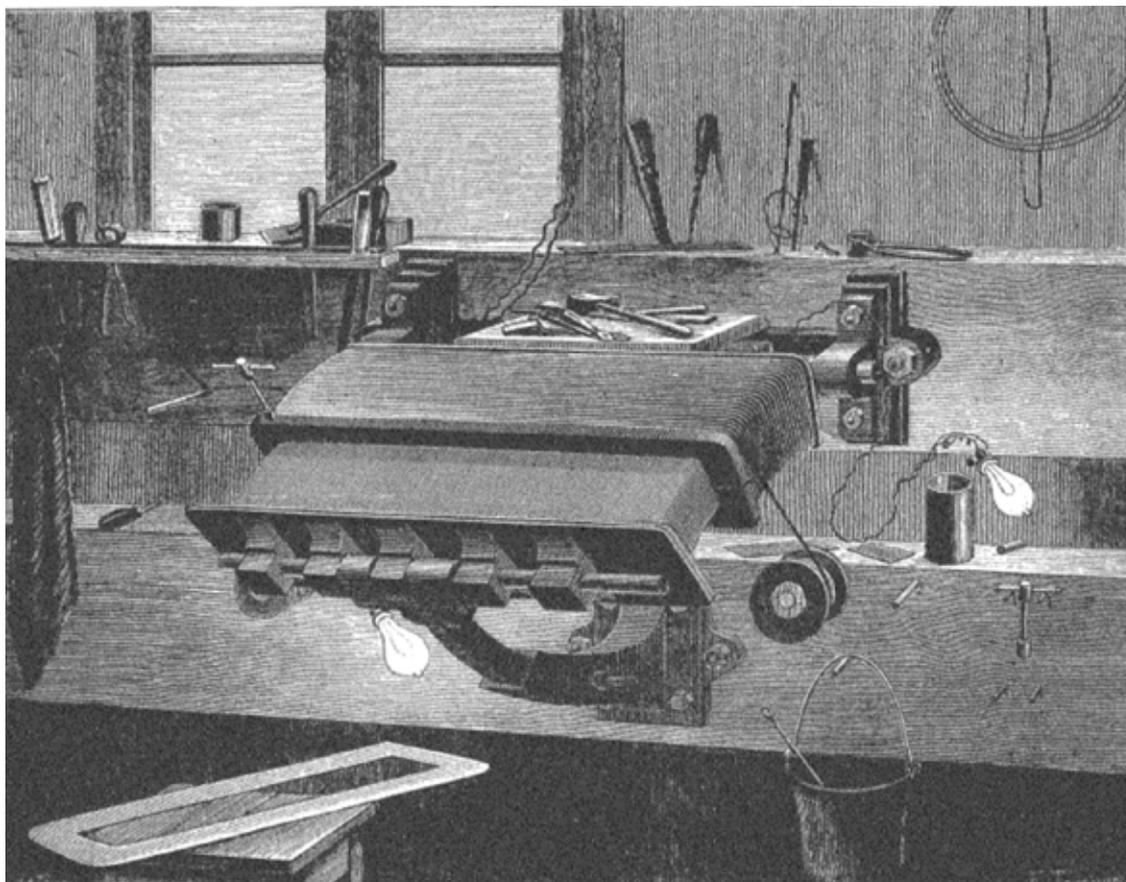


Рис. 3. Сборка машины постоянного тока, 1885г.

0,5 мм, в то время как у AEG зазор 1 мм считали слишком маленьким с технической точки зрения. Таким образом, кольца Грамма снова становились приемлемыми, а поскольку их можно было наматывать непосредственно для 110 В и выше, то эти моторы обходились дешевле, чем выпускаемые нами. Поэтому AEG вскоре переключилась на типы «Эрликон». Этот тип электродвигателя AEG выпускала в течение нескольких лет в очень большом количестве; эти электродвигатели, работающие в нелегких условиях, можно встретить на многих установках еще и теперь (т. е. более чем 20 лет спустя после установки). Это является, несомненно, также свидетельством механической прочности конструкции того времени. Только к концу 90-х годов, когда вопрос о трехфазном токе был уже хорошо разработан, повсеместно возвратились, и теперь уже окончательно, к барабанному типу. За это время мы научились лучше наматывать обмотку для этого типа и, таким образом, смогли использовать его преимущества в отношении особенно низкого рассеяния и еще лучше использовать материал». Интересно, что по сведениям О.Н. Веселовского

один такой двигатель с Граммовской обмоткой статора и короткозамкнутой обмоткой ротора мощностью в 4,5 кВт М.О. Доливо-Добровольский подарил Московскому политехническому музею. Этот двигатель на протяжении более чем ста лет занимал центральное место в экспозиции зала электрических машин как свидетельство совместной работы двух гениев – Доливо-Добровольского и Арнольда. Сейчас музей находится на реконструкции. Надеемся, что в скором времени знаменитый двигатель вернется, и мы его снова сможем увидеть.

На заводе «Эрликон» Арнольд проработал до 1894 года. Под его руководством создаются целые серии различных электрических машин «настоящих шедевров электротехники». Он первый применил «к грузоподъемному делу катящуюся балку с установленным на ней электродвигателем». Арнольд не забывал и о своем первенце – Рижском заводе, оказывая консультации его специалистам по текущим проектам электрических машин. Занимаясь практическими вопросами «Эрликон», Арнольд находил время и для научной работы. Он накапливает колоссальное коли-

чество статистического материала по проектированию электрических машин, одновременно пишет одну статью за другой. Помимо его постоянной научной темы – обмоток коллекторных электродвигателей постоянного тока, его интересуют и однофазный асинхронный двигатель, и модернизация репульсивного электродвигателя. А главное, именно в «Эрликоне», коммерческом предприятии, главной целью которого был финансовый успех, Арнольд сформулировал для себя основной принцип инженерного искусства. Этот принцип можно поставить в заглавии всех его многочисленных трудов: *«Задача инженера состоит в том, чтобы удовлетворить всем поставленным требованиям при минимуме затрат. Чтобы возможно ближе подойти к этому минимуму, нужно возможно тщательнее рассчитать машину, а для этого нужно знать ее теорию».*

Имя Арнольда быстро становится известным в электротехническом мире. В 1894 году в Высшей технической школе в Карлсруэ возникла задача организации нового электротехнического отделения. Высшая техническая школа была преобразована в 1865 году из Политехникума

в Карлсруэ Великим герцогом Баденским, Фридрихом I, и потому носила его имя – «Фридрициана». Это было старейшее техническое высшее учебное заведение в Германии и четвертое в Европе после парижского, пражского и венского. Здесь работали и учились такие известные люди, как Генрих Герц, нобелевский лауреат Карл Фердинанд Браун, первооткрыватель жидких кристаллов Отто Леманн и изобретатель автомобиля Карл Бенц. Арнольд был приглашен на должность профессора по электротехнике. Его задачей стала организация всего процесса преподавания на этом отделении. До приглашения Арнольда лекции по электротехнике читали преподаватели Института физики. Количество студентов в первый семестр составило 43 человека. В 1896 году, благодаря активной деятельности Арнольда, его масштабного планирования, началось строительство Электротехнического института. Официальное открытие института состоялось 18 мая 1898 года. Речь Арнольда на открытии, в которой он дал обзор состояния электротехники того времени, вызвала большой интерес. Арнольд, в частности, сказал: «Электрические явления изучались в течение многих десятилетий подряд только в физических кабинетах... длительное время носителями электротехнических знаний являлись физики, и они же занимались конструированием динамо-машин и осветительных систем. Более интенсивное развитие и полное доверие к достижениям сильноточной электротехники пришло лишь тогда, когда инженер смог в полной мере вступить в свои права. Сегодня в электрической промышленности царит инженерное дело. Создание машин мощностью в тысячи лошадиных сил и строительство огромных электростанций вывело инженера на должный уровень, начав со скромных достижений, он достиг великой цели. Высшие технические школы следили за этим превращением. Электротехника как учебная дисциплина отделилась от чистой физики, и у высших технических учебных заведений все сильнее проявляется стремление выпускать не физиков-электриков, а инженеров-электриков, разбирающихся в

технике».

В Германии к тому времени было уже несколько высших учебных заведений, где обучение электротехнике было блестяще организовано. Ни одна страна в мире не имела столько высших, средних и низших электротехнических школ. В Дармштадте преподавал выдающийся ученый и педагог, профессор Эразм Киттлер. В Берлине имелось специальное электротехническое отделение, возглавляемое пионером радиосвязи Адольфом Слаби, где вел одно время занятия уже упоминавшийся выше Гисберт Капп. Кроме того, следует назвать подобные учебные заведения в Мюнхене и Штутгарте. Поэтому перед Арнольдом встала сложная задача максимально быстро достичь уровня преподавания и научных исследований этих известных вузов.

Институт Арнольда был великолепно оснащен многочисленными лабораториями, имел собственную электростанцию. Количество обучающихся резко возросло и составляло в летнем семестре 1898 года 86 практикантов и 166 студентов. В его стенах выполнялись серьезные научные исследования в различных направлениях электротехники. По словам современников, в новом учебном учреждении преподавание было поставлено на «недосыгаемую высоту». Делается основной упор на электромеханику. Арнольд создает блестящую школу, воспитав и

объединив вокруг идеи разработки теории и методики расчета электрических машин своих учеников и коллег.

Всего за несколько лет совместно со своими учениками, Иенсом Лассеном Ла-Куrom, Оле Зивертом Брагштадом и Альфредом Френкелем, Арнольд напишет серию фундаментальных трудов, охватывающих все в то время известные типы электрических машин.

Книги мгновенно раскупались, приходилось печатать дополнительные тиражи. Интересна заметка в российском журнале «Электричество» о появлении нового труда Арнольда. Она начинается словами: «Не проходит года, чтобы неутомимый профессор Арнольд не выпустил какого-либо сочинения». Просматривая его работы, задаешься вопросом: «Как это все можно успеть?» Многие и многие тысячи страниц строго научного, но в то же время понятного, методологически выстроенного изложения. Фундаментальные исследования в области электрических машин. Тысячи рисунков, графиков, чертежей, фотографий. И трудно поверить, что до Арнольда ничего подобного не существовало. Это его детище. Именно Арнольд построил каркас современной электромеханики. Ла Кур позже напишет, что этот грандиозный труд «мог возникнуть только потому, что создание предпринял

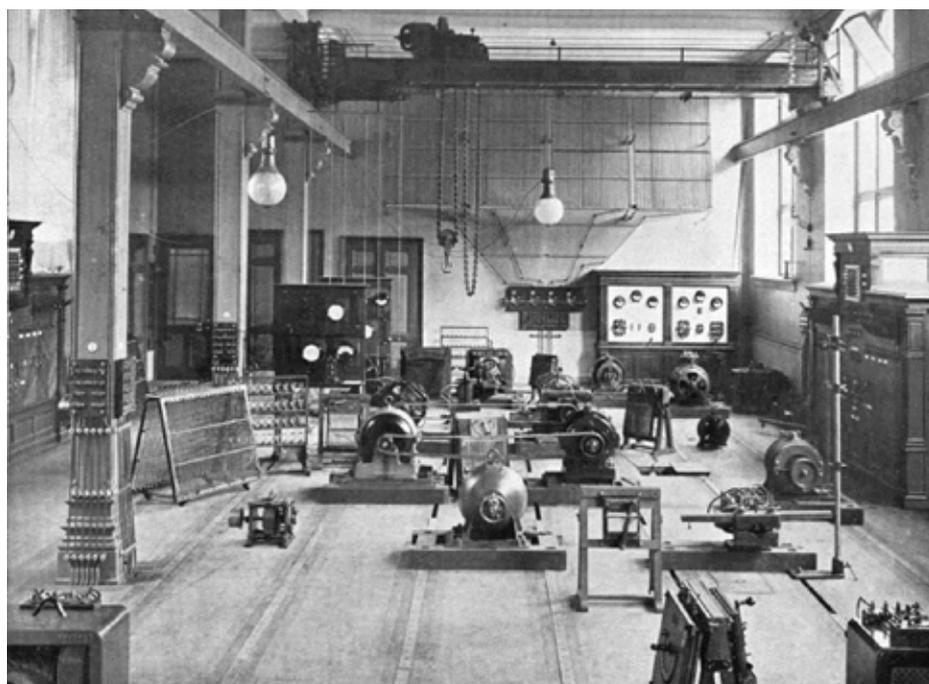


Рис. 4. Электротехническая лаборатория Технического университета Карлсруэ, 1899г.



Рис. 5. Асинхронный двигатель конструкции Доливо-Добровольского – Арнольда



Рис. 6. Контактный аппарат для исследований коммутации

человек со столь редкой трудоспособностью и несгибаемой энергией». «Форсированный научный прорыв в области электрических машин» – так называли то, что сделал Арнольд. «Властитель электротехники» – так величали его коллеги.

И еще один важный момент. Труды Арнольда изобиловали конкретными примерами электрических машин, производимыми ведущими мировыми компаниями того времени: «Эрликон», «Браун, Бовери и Ко», АЕГ, «Вестингауз Электрик», «Сименс и Гальске» и других. Особенности конструкции тщательно, до мелочей разбирались, таким образом, давая возможность

изучающему подробно ознакомиться с новейшими разработками в электромеханике. Современные учебники, к сожалению, отличаются практически отсутствием конкретных примеров продукции мировых лидеров электромашиностроения и достижений в этой области. В то далекое время понятие «передача технологий» было более действенным, чем в наше время. Материалы из книг Арнольда расходились цитатами, а то и целыми главами по многочисленным учебникам различных авторов. Так, например, российский журнал «Электричество» опубликовал в 1904 году рецензию на книгу профессора Харьковского технологического института П.П. Копняева «Динамомшины постоянного тока», в которой автор «подробно излагает теорию обмоток (по Арнольду)²». Правда, в последующие десятилетия чем больше проходило времени с момента выхода книг Арнольда, тем (в том числе и именитые классики этой науки) все меньше и меньше авторы ссылались на первоисточник, но отнюдь не по причине его устаревания.

Особый интерес для Арнольда представляли две темы: первая – обмотки электрических машин и вторая – коммутация коллекторных машин. Несмотря на многие десятилетия эксплуатации коллекторных машин, проблемы коммутации в то время были еще мало изучены. Это сильно мешало как при проектировании, так и при эксплуатации. Задача разработки теории коммутации становилась все более актуальной в связи с постоянно возрастающей мощностью машин постоянного тока. Разработка теории коммутации была очень сложной комплексной задачей. Арнольд писал: «Установить теорию коммутации было сопряжено с большими трудностями. Нужно было произвести подробные исследования и расчеты, чтобы получить результаты, которые можно было бы просто и удобно применить при предварительном расчете машины... Теория коммутации является не только интересной математической проблемой,

она имеет еще важное экономическое значение для динамостроения... Без точного знания процессов коммутации и знания величин, оказывающих влияние на эти процессы, невозможно вычислить наивыгоднейшие размеры машины». Уровень работ, выполненных Арнольдом по исследованию коммутации, был очень высок. Проводились как теоретические, так и экспериментальные исследования на многочисленных, специально для этих целей построенных установках. Приведем далеко не полный список экспериментальных исследований коммутации, показывающий тщательность подхода к этой проблеме:

- магнитные измерения (снятие кривой поля, измерение коэффициента рассеяния);
- измерение разности потенциалов (между коллектором и щеткой, между пластинами, потенциальные кривые под щеткой);
- исследование коммутации при различных режимах работы (холостой ход, нагрузка, короткое замыкание);
- исследование переходного падения напряжения, переходного сопротивления и переходных потерь в щетках в различных режимах работы и плотностях тока.

Уместно отметить, что подобные исследования до сих пор проводятся при разработке новых коллекторных электрических машин. Эксперименты делались даже с применением осциллографии, что в те времена было большой редкостью. Соавтором Арнольда в этих исследованиях стал И.Л. Ла-Кур. Теорией коммутации Арнольд занимался многие годы. Аналитические, графические и экспериментальные исследования нашли отражение в десятках его трудов. Параллельно с Арнольдом эту проблему исследовали П. Жиро и Ж. Фишер-Гиннен. Они независимо от Арнольда пришли к одинаковым результатам. Эта теория получила название «классической теории коммутации», или «теории коммутации Арнольда» – автора, более других исследователей поработавшего над ее развитием.

На русском языке было два издания книг Арнольда: 1909 года –

²Этот фундаментальный труд Павла Петровича Копняева «Электрические машины постоянного тока» на протяжении последующих 3-х десятилетий был одним из основных учебников при подготовке инженеров-электромехаников страны.

«Динамомашины постоянного тока» в двух томах и 1931 года – «Машины постоянного тока», тоже двухтомник. В предисловии к советскому изданию говорится: «Машины постоянного тока Э. Арнольда представляет собой как по объему и содержанию, так и по своему значению капитальнейший труд в области электромашиностроения. Целое поколение электротехников, в частности и русских, посвятивших себя работе по электромашиностроению, изучало этот вопрос, пользуясь книгами Э. Арнольда. Почти во всех руководствах для более детального ознакомления с подавляющим числом отдельных моментов из теории, конструкции и расчета электрических машин авторы до сих пор отсылают читателей к Арнольду, как к первоисточнику». Издание 1931 года было переработано и дополнено И.Л. Ла-Куrom. Большую редакторскую работу при подготовке этого издания провели Е.В. Нитусов³ и Г.Н. Петров⁴, принимавший также участие в переводе ряда глав. Именно это издание, вышедшее большим тиражом, стало основной работой Арнольда, доступной для изучения широкого круга советских электромехаников.

Достижения Арнольда как ученого, преподавателя и организатора получили признание еще при его жизни. В 1905 году он был произведен в тайные советники, в 1906-1907 годы он был ректором Высшей школы «Фридрициана», а в 1906 году Высшая техническая школа Ганновера присвоила ему степень почетного доктора-инженера.

В жизни Арнольда отмечали как «замечательно гуманного и отзывчивого на все светлое и благородное человека». Б.И. Угримов, который сам учился у Арнольда в Карлсруэ, пишет об этом: «Поистине, можно сказать, что в отношении электротехнического машиностроения Карлсруэ сделалось своего рода Меккою, куда со всех концов мира из Германии, Франции, Швейцарии, Австрии, Англии, Италии, России, Северной Америки, Бразилии и Австралии стекались правоверные



Рис. 7. Электротехнический институт в Карлсруэ

электротехники послушать великого учителя, поучиться у гениального конструктора-изобретателя. Вскоре вокруг Арнольда образовалась целая школа его учеников, ставших в свою очередь видными деятелями на электротехническом поприще. Арнольд был в общении со своими учениками родным человеком, отечески требовавший интенсивного труда, ободрявший падающих духом и всегда удивительно внимательный и вдумчивый, при проявлении учеником какой-либо инициативы в области искания новых форм электротехнического машиностроения».

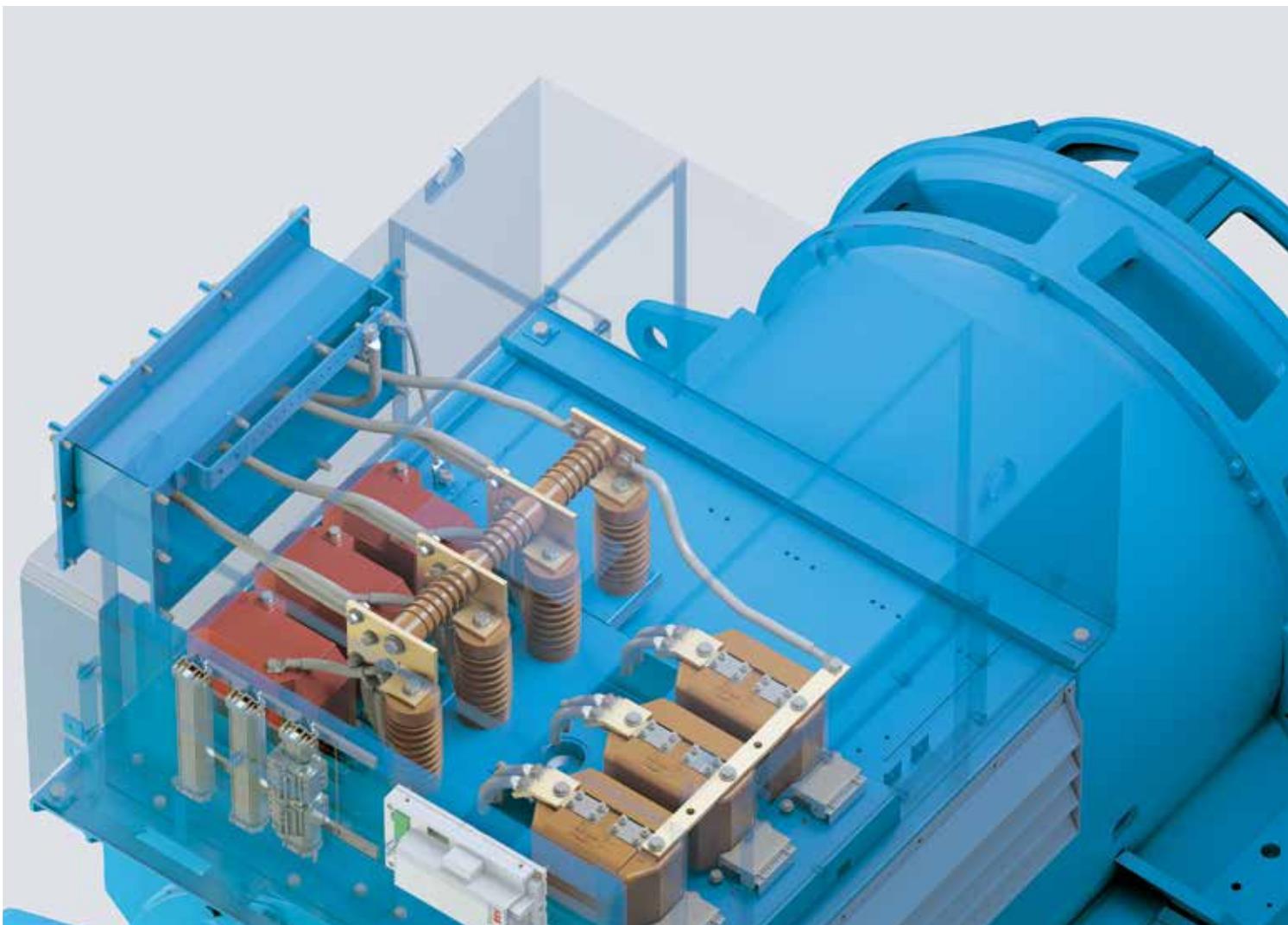
Колоссальный объем работы, выполняемой Арнольдом, не мог не сказаться на его здоровье. 16 ноября 1911 года Энгельберт Арнольд скончался от болезни сердца в возрасте 55 лет. Смерть его была неожиданна и произвела шок в электротехническом мире. «Боль, скорбь, сочувствие...» Эти слова прозвучали вслед уходящему гению. Пожалуй, ни один пионер электротехники не удостоивался таких слов при прощании, как Арнольд. Для всех это была личная утрата. Российский научный мир откликнулся на смерть Арнольда многочисленными некрологами, траурными собраниями и заседаниями. Память об Арнольде почитали вставанием. В телеграмме от имени

VI Электротехнического отдела Императорского русского технического общества ректору Высшей технической школы в Карлсруэ говорилось: «Смерть профессора Арнольда – невосполнимая потеря для электротехников всего мира». Профессор Петербургского политехнического института С.Н. Усатый писал: «Электротехнический мир потерял большого человека. Смерть профессора доктора-инженера Э. Арнольда глубоко затронула нас, русских электриков, среди которых так много его учеников и еще более почитателей и поклонников его трудов, его школы». Но самые проникновенные слова прозвучали из уст его ученика Б.И. Угримова: «С уверенностью можно сказать, что творения Арнольда не имеют соперника, и многочисленные почитатели великого человека, провожавшие его... утешались тем, что ясно осознавали, что ...дух его, живущий в его творениях, в той яркой полосе знания, которую пробороzdила закатившаяся звезда, останется вечным и нетленным».

И несмотря на то, что профессор Арнольд ушел из жизни, дело его продолжало жить. О многочисленных учениках и последователях ученого мы расскажем в следующем выпуске «Энергии разума».

³ Е.В. Нитусов, впоследствии профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование текстильных фабрик» МЭИ – кафедра в настоящее время называется «Кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок».

⁴ Г.Н. Петров, впоследствии член-корреспондент АН СССР, руководивший кафедрой «Электрических машин» МЭИ с 1938 по 1973 годы.



Высоковольтные и низковольтные генераторы АББ



Компания АББ – ведущий мировой производитель двигателей и генераторов. Мы обладаем более чем вековым опытом производства, располагаем большим опытом в сфере разработки изделий для разных климатических зон и условий эксплуатации. Наша продукция соответствует всем основным нормам и стандартам.

Мы занимаем лидирующие позиции в сфере изготовления генераторов для паровых, газовых и ветровых турбин, дизельных двигателей и двигателей внутреннего сгорания. Работаем в ряде других отраслей энергетической промышленности, включая производство генераторов для геотермальных и солнечных электростанций, синхронных конденсаторов и расширителей для рекуперации энергии.

www.abb.com/motors&generators

Power and productivity
for a better world™

