

Умные «кубики»



Основной принцип – полный контроль в течение всего срока службы

Монтаж и эксплуатация устройств автоматизации производства становится элементарной задачей, если Ваше предприятие построено из «кубиков», использующих технологию IndustrialIT от компании АББ. Что бы Вы не построили из этих информированных компонентов – это будет весомым вкладом в выход производства на новый уровень.

Мы выпускаем самый широкий диапазон продуктов для промышленного производства: приборы, анализаторы, системы управления, низковольтное оборудование, приводы, электродвигатели, силовые электронные приборы, роботы, и т.п. Каждое устройство оснащается и сертифицируется в соответствии с открытым стандартом IndustrialIT. В результате вся документация, ресурсы функциональной поддержки, средства конфигурирования и связи объединяются в единую мощную программную оболочку, позволяющую устанавливать и эксплуатировать устройство по принципу «включи и производи».

Независимо от того, автоматизируете ли Вы отдельный процесс или целый завод, технологии компании АББ станут основой эффективного использования оборудования, прозрачности производственных структур и минимизации эксплуатационных затрат. Это могут подтвердить наши клиенты, владельцы поставленного нами оборудования на общую сумму более 100 миллиардов долларов.

Чтобы реализовать свою идею с помощью наших «кубиков», посетите сайт www.abb.com/automation.

IndustrialIT
enabled™

ABB

АББ Ревю

Корпоративный технический журнал группы АББ

1/2004



Мир технологий



Любознательность была движущей силой на протяжении всей истории человечества. Одно из проявлений пытливого человеческого разума – развитие технологий, прогресс в этой области будет продолжаться все время, пока человек сохраняет своё стремление к переменам и нахождению новых решений. Сказанное относится и к компании АББ. Ведомые желанием понимать и совершенствовать, мы всегда стремимся к разработке новых материалов, изделий и созданию решений для наших заказчиков во всём мире.

В этом номере: расширенная автоматизация на производстве; новый микропривод и интеллектуальный высоковольтный автоматический выключатель; применение магнитных сил и передовых алгоритмов для управления скоростью литья стали; новые роботы с датчиками усилия; исследования АББ в области сильноточных вакуумных разъединителей; обнаружение высокоимпедансных повреждений и нанотехнология; преимущества, получаемые нашими клиентами за счёт базовой сертификации наших изделий по ИТ и многое другое.



НИОКР с фокусом на заказчика: ключ к уверенному лидерству в области технологий



Лидирующее положение компании АББ в области технологий автоматизации и силового оборудования имеет глубокие корни: оно связано с приверженностью компании исследованиям и инновациям. Клиенты поддерживают наше стремление своей непоколебимой верой в изделия, системы и решения АББ и в разрешение своих проблем и повышение эффективности своего бизнеса благодаря нашим технологиям.

Рекомендацией компании АББ служит более чем столетний опыт непрерывной новаторской деятельности, являющийся основой лидерства в таких областях, как энергетические системы, силовая электроника, управление и оптимизация, микроэлектроника, беспроводная связь, мехатроника и программное обеспечение. В атмосфере бизнеса, которая иногда бывает беспокойной, мы остаемся верными нашим исследовательским целям, и это является способом обеспечения долгосрочного роста и рентабельности. Сотрудники АББ уверены в том, что основой успешного ведения прикладных исследований является как ориентация на потребности бизнеса, так и работа на переднем крае прогресса.

Один из наших способов получить на каждый потраченный доллар большую пользу для дела – это непрерывное повышение эффективности наших НИОКР. Быстрее, чем когда-либо ранее, мы переходим от на-

учных и конструкторских работ к внедрению технологий и изделий в производство. Наш портфель патентов также имеет большую целевую направленность и продолжает расти в стратегических областях. Высокая эффективность достигается посредством координации исследовательских работ в двух мировых лабораториях и благодаря наработкам, полностью соответствующим направлению нашей работы. Стратегическое планирование, расстановка приоритетов и управление осуществляются под знаком тесной кооперации между нашими лабораториями и применения лучших методов ведения бизнеса.

Технология Industrial^{IT} продолжает быть краеугольным камнем наших исследований и разработок. Она воплощает видение компании АББ будущего промышленности, в котором технологические процессы и системы автоматизации производства сочетаются в единой информационной системе. Клиенты остаются в выигрыше благодаря самому обширному и полностью интегрированному набору изделий, систем и услуг. Компания АББ также пользуется мощью новых технологий ИТ для повышения эффективности внутренних процессов, таких как конструирование, производство, управление снабжением и обслуживание клиентов.

В этом номере АББ Ревью мы расскажем вам о некоторых новаторских технологиях, применяемых в новых изделиях и системах АББ, а также их преимуществах для клиентов.

Вот примеры из области автоматизации: в одной из статей говорится о том, как новая технология управления по усилию позволяет выполнять с помощью промышленных роботов очень тонкую работу, такую как, например, сборка коробок передач для автомобилей; в другой статье мы представляем самый компактный в мире модуль привода. Кроме того, вы узнаете о том, как можно управлять течением расплавленной стали с целью ускорения литья.

Из области систем электропередачи мы сообщаем о новом средстве для моделирования силовых дуговых разрядов в вакуумных прерывателях и о ком-

пактном высоковольтном распределительном устройстве, сочетающем размыкающую, измерительную и защитную функции. Управление электроэнергией, накапливаемой в батареях огромного размера и параллельное установление мировых рекордов – это еще одна тема, которую мы рассмотрим.

Когда дело касается передовых технологий, определяющих наш успех в будущем, мы работаем в тесном сотрудничестве с ведущими университетами. Вы сможете узнать об участии компании АББ в программе МТИ «Лидеры для производства» и наших совместных программах в области нанотехнологии.

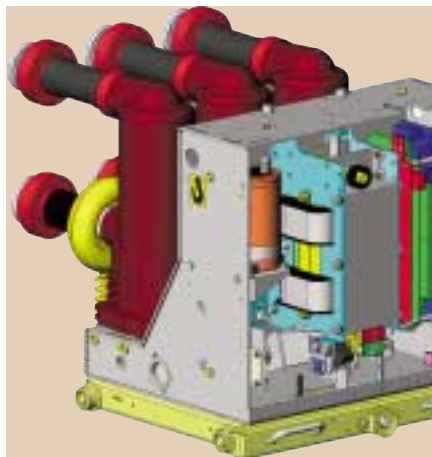
Новый раздел нашего журнала, названный «Инновации в инженерном искусстве», выходящий за рамки описания НИОКР и развития новых технологий, поведаст об изобретательности инженеров компании АББ в адаптации существующих решений к неограниченным нуждам заказчиков. В этом номере сообщения перенесут вас в Бразилию и швейцарские Альпы, и расскажут о том, какую роль сыграла АББ в попытке британских энтузиастов побить мировой рекорд скорости автомобилей с электрическим двигателем.

Надеемся, что технологии и инновации компании АББ и их применение послужат для вас вдохновением.

Г. Маркус Байеган
Глава департамента технологий
ABB Ltd.

**Стр. 6**

Ускорение процесса литья толстых листовых заготовок

**Стр. 17**

Интегрированный автоматический выключатель eVM1

**Стр. 32**

Расширенная система автоматизации

- 6** **Прямое управление электромагнитным торможением для ускорения процесса литья толстых листовых заготовок**
Применение нового инструмента, оптимизирующего поток жидкой стали в процессе непрерывного литья, способствует повышению производительности и улучшению качества заготовок.
- 13** **Робототехника для сборки автомобильной трансмиссии**
Чтобы заменить человека роботом на производственных сборочных линиях, необходимо наделить робота силовыми способностями, обучить податливости и умению реагировать на соприкосновение с объектом. Новая технология управления роботом от компании АББ показывает, как этого можно добиться.
- 17** **Автоматический выключатель среднего напряжения eVM1**
Всё необходимое для организации отходящей питающей линии или питания электродвигателя среднего напряжения объединяется в одном интеллектуальном комплексном устройстве.
- 22** **Моделирование силовоточных вакуумных дуговых разрядов**
Разрабатываемое в настоящее время компанией АББ средство моделирования даст возможность получить более точное представление о физических ограничениях силовоточных вакуумных прерывателей.
- 28** **Надежное обнаружение высокоимпедансных коротких замыканий линии, вызванных падением провода на землю**
Упавший на землю провод высоковольтной линии представляет серьезную опасность, но локализовать такое повреждение очень сложно. Разработанное недавно в компании АББ реле решает эту проблему посредством нескольких новых алгоритмов распознавания.
- 32** **Industrial^{IT} System 800xA**
Каким образом извлечь максимальную пользу для производства из огромного количества информации, предоставляемой современными «интеллектуальными» полевыми устройствами? Ответ на этот вопрос дает расширенная система автоматизации, созданная компанией АББ.
- 38** **Система накопления энергии на базе аккумуляторных батарей для Аляски**
Крупнейшая в мире система накопления энергии на базе аккумуляторных батарей обеспечивает бесперебойное энергоснабжение для 90000 человек в г. Фэрбенкс.



Стр. 47

Обновленный клиентский интерфейс

Стр. 53

Работа под давлением

- 44 **ACS50 - «проба пера» на потребительском рынке**
Регулируемый микропривод компании АББ нацелен на новые рынки, такие как производство потребительских товаров. Здесь для него имеется множество применений, например, в бытовой и медицинской технике.
- 47 **Навигация по продукции компании АББ и поиск завершённых решений IndustrialIT**
Один из уникальных сервисов, который компания АББ может предоставить ключевым клиентам в различных отраслях промышленности – это упрощение и усовершенствование взаимодействия с компанией. Данная статья описывает пример такого взаимодействия.

Инновации в инженерном искусстве

- 53 **С помощью насосных станций АББ из самого длинного в мире железнодорожного тоннеля удаляют воду**
Для удаления воды из самого длинного железнодорожного тоннеля применяется оборудование компании АББ, перекачивающее воду вверх на 850 метров по вертикальной шахте.
- 57 **Электромобиль должен побить рекорд при участии компании АББ**
Экстремальная проверка приводов и электродвигателей компании АББ в предстоящей попытке английской команды побить мировой рекорд наземной скорости для автомобилей с электрическим двигателем.
- 60 **Вертикальная интеграция – метод Рио**
Новая подстанция в Рио-де-Жанейро доставит минимум неудобств посетителям пляжа Копакабана за счет выбора инженерами компании АББ «вертикальной» конструкции.

Исследования и разработки

- 61 **Сотрудничество компании АББ с МТИ по программе «Лидеры для производства»**
- 64 **Новое соединение позволяет уменьшить износ контактов**

www.abb.com/abbreview

Скорость ограничена!

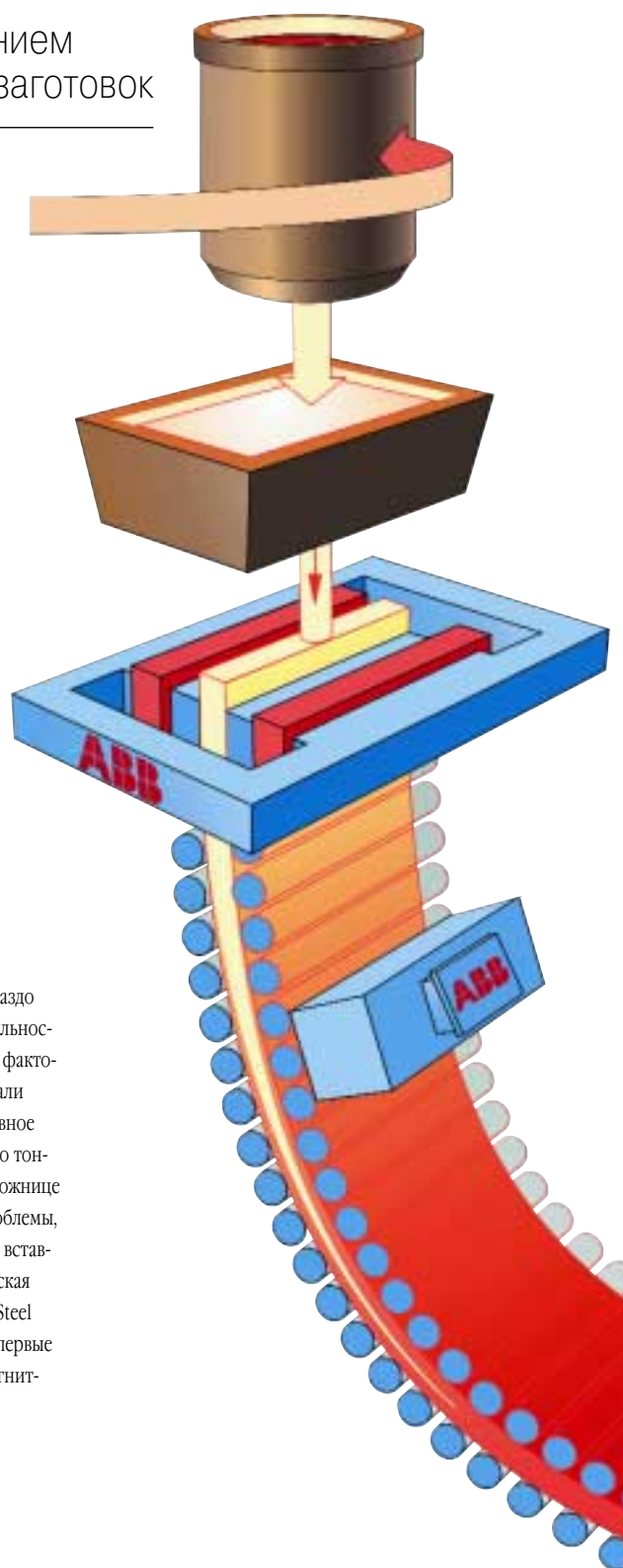
Прямое управление электромагнитным торможением для ускорения процесса литья толстых листовых заготовок

Стен Д. Коллберг, Питер М. Лофгрэн

Побуждаемые рыночными тенденциями к увеличению объемов производства и улучшению качества продукции в ходе эксплуатации своих машин непрерывного литья, производители стали вынуждены увеличивать скорость разливки при одновременном уменьшении числа вредных неметаллических включений, например, шлаков или газов. Однако здесь возникает одна проблема: чем выше скорость разливки, тем более вероятным становится появление включений.

Для решения этой и связанных с ней иных проблем был разработан электромагнитный тормоз EMBR (Electromagnetic Brake). Теперь, чтобы повысить эффективность новой идеи, компания АББ предлагает новый инструмент под названием EM Control (Electromagnetic Control). Путем оптимизации потока в изложнице этот инструмент позволяет преодолеть трудности, которые могли бы появиться при изменении условий литья.

Выпуск высококачественной стали – гораздо больше, чем просто обеспечение правильности ее химического состава. Не менее важным фактором является управление потоком жидкой стали в изложнице. Связано это с тем, что непрерывное литье, особенно тонких листов, да и не только тонких, ведется на скоростях, при которых в изложнице вполне может появиться турбулентность. Проблемы, которые она вызывает, хорошо известны (см. вставку), и ради их решения компания АББ и японская компания JFE (ранее называвшаяся Kawasaki Steel Corporation) в начале восьмидесятых годов впервые взялись за разработку технологии электромагнитного торможения.

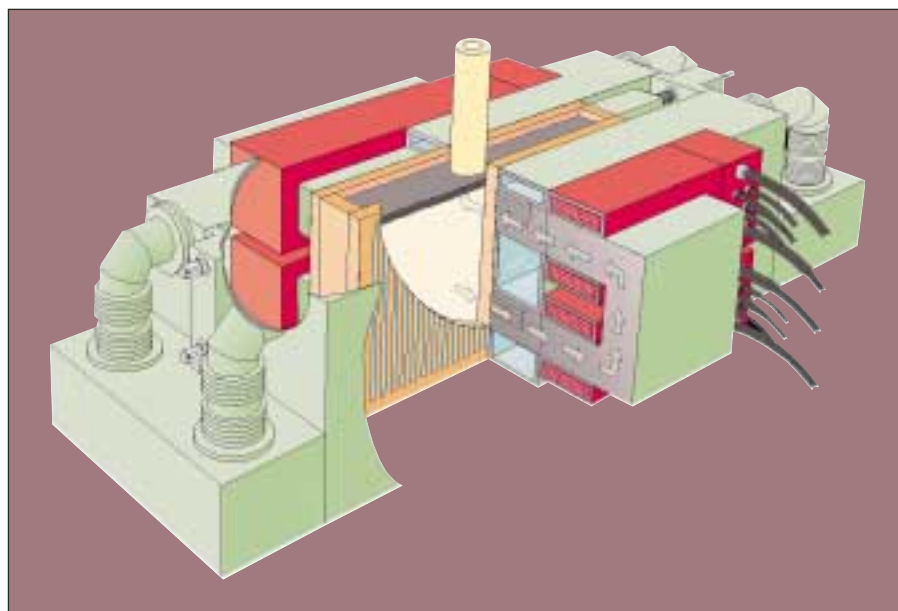


Скоростной капкан

Непрерывное литье является сложным процессом, и любые вредные неметаллические включения, типа шлаков или газов, могут легко быть захвачены расплавленным металлом. Риск появления включений возрастает с увеличением скорости литья, поскольку струя расплавленной стали проникает глубоко в изложницу и захватывает с собой прессовочный порошок и другие включения. Наличие таких включений в кристаллизованном металле существенно снижает качество стали.

В разработанном и запатентованном компанией АББ электромагнитном тормозе EMBR используется статическое магнитное поле, которое контролирует поток горячего металла в изложнице. Обеспечивая равномерность скорости и температуры расплавленной стали по всей ширине, EMBR позволяет увеличить скорость литья без какого-либо ухудшения качества стального листа.

1 EMBR типа FC Mold



2 Поток в непрерывно отливаемой полосе без FC Mold (слева) и с FC Mold (справа)



- 1 Включения
- 2 Тонкая порошковая пленка
- 3 Возмущенный мениск
- 4 Завихрения
- 5 Более спокойный и горячий мениск
- 6 Положение железных сердечников
- 7 Уменьшенная глубина проникновения

Результатом проделанной работы стал EMBR «локального поля» для традиционного литья листовых заготовок. Достаточно скоро было признано, что новая технология с двумя зонами торможения, воздействующими на поток стали, исходящий из двухпозиционного сопла, является явным прорывом в отрасли, и EMBR-оборудование было продано нескольким основным сталелитейным компаниям Японии. Подвергшись с годами определенным улучшениям, сегодня EMBR локального поля используется в основном при литье тонких листовых заготовок.

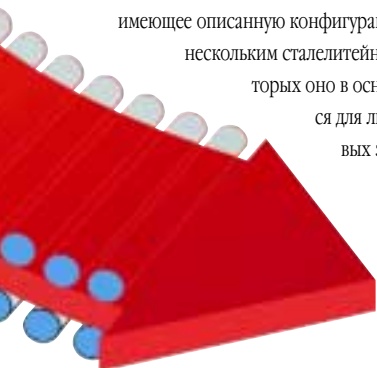
К началу девяностых годов разработчикам удалось создать так называемый EMBR Ruler (линейный тормоз), конфигурация которого обеспечивала воздействие однородного магнитного поля по всей ширине листовой заготовки. Здесь основная идея заключается в том, что поток стали, идущий из сопла, проходит через зону, в которой он подвергается тормозящему воздействию. В конечном итоге EMBR-оборудование, имеющее описанную конфигурацию, было продано нескольким сталелитейным заводам, на которых оно в основном используется для литья тонких листовых заготовок.

Примерно в то же время компании JFE и АББ объединили свои усилия для разработки FC Mold (Flow Control Mold = изложница с контролируемым потоком) **1**. В этой конфигурации используются два одинаково сильных статических магнитных поля, одно из которых контролирует скорость металла на уровне мениска, а второе действует в нижней части изложницы и регулирует (то есть уменьшает) глубину проникновения стальных струй, исходящих из сопла литейной машины **2**.

Металлургический эффект FC Mold

Повышение требований к качеству продукции в сочетании с необходимостью увеличения объемов ее выпуска ставит руководство сталелитейных заводов перед дилеммой. Снижение скорости разливки обычно приводит к повышению качества продукции, однако производительность при этом неизбежно снижается. Хорошо, если бы этим все и ограничивалось, однако увеличение объема аргона (ради уменьшения риска закупоривания) может также привести к ухудшению качества продукции.

FC Mold решает эти проблемы путем снижения турбулентности в расплавленной стали и контроля скорости



ти потока металла в области мениска. Одним из результатов являются меньшие менисковые флуктуации. Кроме того, пониженная турбулентность и горячая сталь, поступающая из погруженного входного сопла SEN (Submerged Entry Nozzle), увеличивают температуру в области мениска и делают ее в полосу выше (поскольку стальные струи не проникают столь глупо-

Замедление скорости проникновения стальных струй не только позволяет увеличить скорость литья, но и способствует получению более чистой продукции.

ко). Замедление скорости проникновения стальных струй не только позволяет повысить скорость литья, но и способствует очищению продукта, поскольку, как уже говорилось, все присутствующие включения будут всплывать наверх, в направлении мениска. Не менее важно и то, что FC Mold эффективно устраняет флуктуации смещенного потока, а этот фактор, как и все остальные, способствует обеспечению более высокого и стабильного качества продукции.

Полученный с помощью FC Mold очень стабильный профиль мениска является логическим результатом действия основной функции статического магнитного поля, которая ведет к затуханию высоких частот, вызывающих турбулентность в расплавленной стали. Одна только эта функция FC Mold оставляет далеко позади любой смеситель с бегущим магнитным полем.

Но и это еще не все. На рисунке 3 показано, что может произойти, если скорость выпуска выйдет за определенный предел. Без FC Mold число поверхностных и внутренних дефектов существенно возрастает при скорости литья порядка 2 м/мин, что ощутимо ухудшает качество конечной продукции. Благодаря FC Mold увеличение объема производства не сопровождается ухудшением качества. А при сохранении объема производства на предыдущем уровне можно существенно повысить качество конечной продукции.

Металлургические испытания, проведенные в Японии на вертикальных литейных машинах с изогнутыми и искривленными изложницами, подтвердили, что FC Mold уменьшает захват порошка изложниц и улуч-

FC Mold: принцип действия и компоненты

Основными электрическими компонентами новой версии FC Mold являются силовой трансформатор, два тиристорных преобразователя для независимого управления верхним и нижним полями, управляющая ячейка, катушка FC Mold и станция водяного охлаждения.

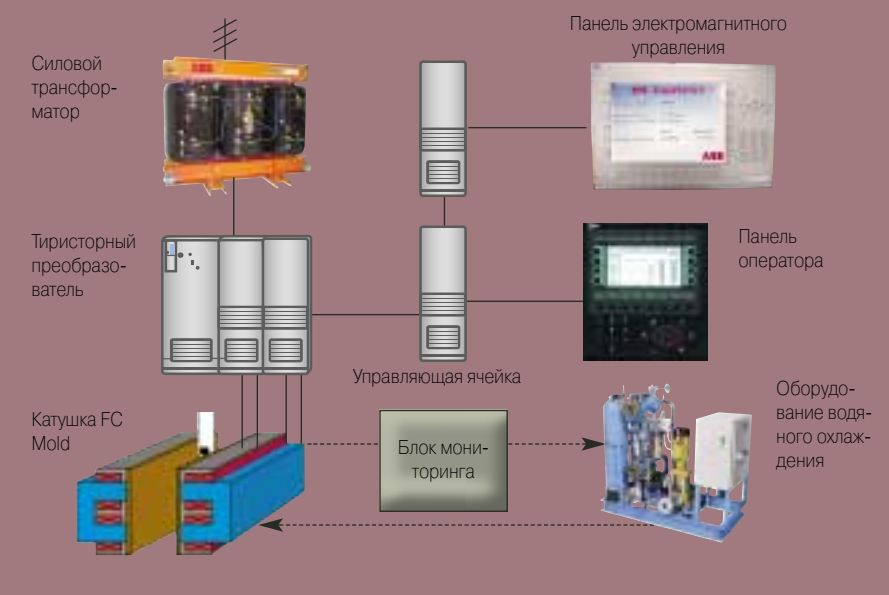
FC Mold работает по принципу воздействия на изложницу двух статических магнитных полей, направленных перпендикулярно к направлению литья. Стальной поток индуцирует напряжения и, следовательно, электрические токи в расплаве, которые, совместно со статическими полями, создают усилие, действующее в направлении, противоположном стальному потоку. Чем выше скорость литья, тем быстрее поток расплавленной стали, и тем больше сила торможения.

Задачей катушки FC Mold является преобразование постоянных токов тиристорных преобразователей в статические магнитные поля. Она разделена на четыре секции (по две на каждой стороне изложницы), каждая из которых имеет свой собственный железный сердечник. Эти четыре секции с задним магнитным ярмом каждая образуют на изложнице магнитную цепь с двумя зазорами протяженностью от 200 до 400 мм. Магнитное поле в зазоре покрывает практически всю ширину изложницы.

Секции катушки заключены в немагнитные корпуса из нержавеющей аустенитной стали и обычно изготавливаются для каждой конкретной изложницы. Внутри секций катушки электрические обмотки (из поллой меди) соединены последовательно и охлаждаются деминерализованной водой, поступающей из замкнутой системы водяного охлаждения.

FC Mold выпускаются в двух различных модификациях:

- Внутренняя (см. рис. 1 на стр. 7). В этой версии, которую, как правило, выбирают для существующих литейных машин, катушечные секции, магнитные сердечники и ярмо каждого встроены в изложницу и вставляются в литейную машину и извлекаются из нее вместе с изложницей. Воздушный зазор является небольшим, поэтому требуется меньше электроэнергии, однако каждый раз при замене изложницы приходится подключать и отключать катушку, а механизм осцилляции должен выдерживать дополнительный вес – порядка 10 тонн.
- Внешняя – обычно выбираемая для новых литейных машин. Чтобы не оснащать каждую изложницу катушками, которые необходимо отсоединять и подсоединять при каждой замене изложницы, в этой конструкции предусмотрены катушки и сердечники, которые можно закрепить на манипуляторах и выдвигать в процессе замены изложниц. После установки новой изложницы эти катушки (вместе со своими сердечниками и ярмом) вдвигаются на места и прикрепляются к новым водяным рубашкам.



шает всплытие неметаллических включений в обоих случаях.

Необходимость улучшенного управления

Несмотря на явную полезность «тормозной» технологии в том виде, в каком она существует сегодня – с магнитным полем, которое регулируется только при запуске и только когда необходимо существенно изменить параметры литья – есть все основания полагать, что с оперативным управлением она была бы гораздо лучше.

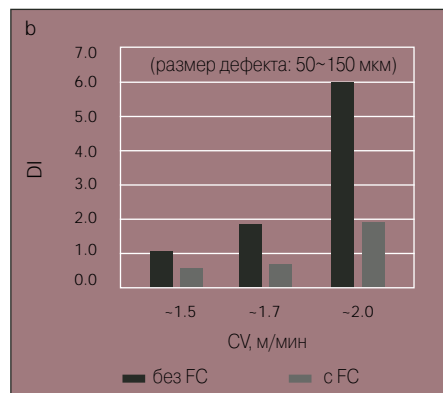
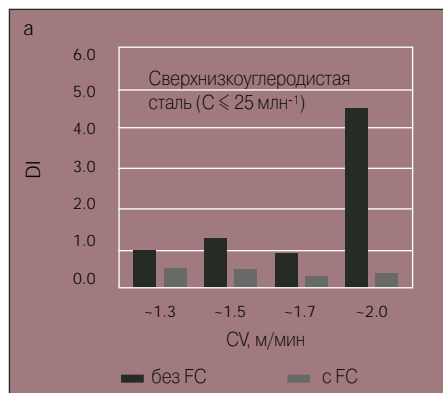
В этой связи технологи и научные работники компании АББ организовали группу для создания способа расчета качества стали и управления EMBR. Цель – оптимизировать поток стали в изложнице путем управления тормозящим магнитным полем.

Новая версия FC Mold с независимым управлением верхним и нижним магнитными полями была использована даже для низкоскоростного литья. Она позволяет оптимизировать весь поток за счет управления (в основном с помощью верхнего поля) скоростью менискового потока и минимизации (в основном путем управления нижним полем) проникновения

включений **1**. Неметаллические включения, попадающие в изложницу с расплавленной сталью, поднимаются вверх в направлении мениска, где за счет управления турбулентностью и скоростью потока,

Несмотря на явную полезность «тормозной» технологии в том виде, в каком она существует сегодня, есть все основания полагать, что с оперативным управлением она была бы гораздо лучше.

3 Сравнение поверхностных (а) и внутренних (б) дефектов по мере увеличения объема выпуска (в данном случае горячекатаных рулонов) с FC Mold и без такового (источник: JFE)
DI индекс дефекта CV скорость литья



порошковые включения изложницы практически ликвидированы. Таким образом, в конечном продукте количество включений оказывается значительно меньшим.

При этом, однако, сначала нужно было решить несколько взаимосвязанных проблем. В частности, для получения оптимальной

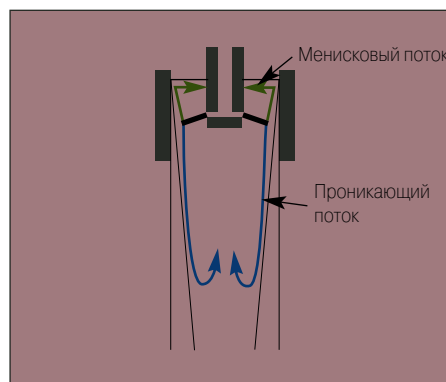
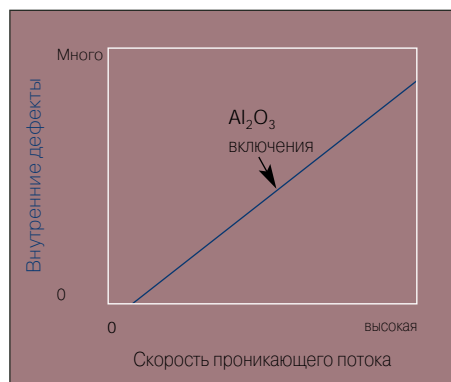
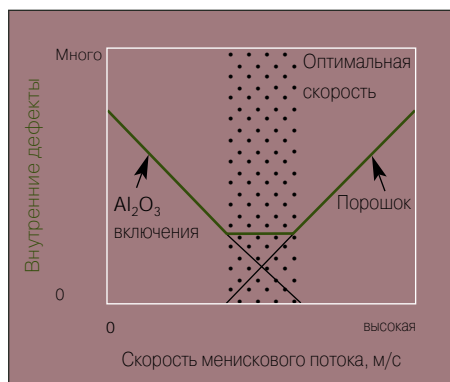
скорости «менискового» потока необходимо управлять верхним полем и одновременно (как правило) сохранять сильное нижнее поле для минимизации глубины проникновения. Далее, при неравномер-

ной подаче аргона, изменении скорости литья и ширины заготовок и особенно при закупоривании смещенным потоком необходимо поддерживать скорость менискового потока на оптимальном уровне. Именно для решения этих проблем как для процесса литья, так и для процесса отладки компания АББ приступила к разработке системы управления по замкнутому контуру в режиме реального времени. Результатом этой работы является регулятор под названием EM Control.

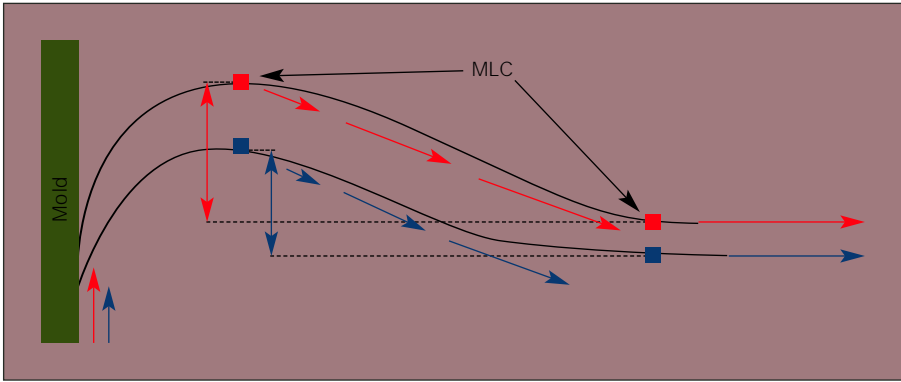
EM Control

Ни одно из представленных сегодня на рынке измерительных устройств не позволяет надежно и напрямую измерять скорость металла в области мениска, где температура, как правило, составляет 1600 °С, и уж тем более в присутствии сильного магнитного поля, поэтому эту скорость приходится измерять косвен-

4 Оптимальные условия потока в изложнице



5	Зависимость менисковой скорости от разности высот MLC – регулирование уровня в изложнице	Красный – более высокая скорость Синий – более низкая скорость
---	---	---



ным образом. На сегодняшний день наилучшим решением представляется использование двух электромагнитных уровневых датчиков для измерения высоты мениска [5]. Компьютерное моделирование показывает, что скорость менискового потока можно надежно вычислить путем измерения разности высот мениска на основании показаний двух упомянутых датчиков.

Следующий этап более сложен: как использовать сигнал разности высот для управления электрическими токами FC Mold с целью получения требуемой скорости менискового потока. Для этого нужна компьютерная программа расчета магнитных полей, а также программа моделирования потока жидкости. Для такого моделирования специалистам компании АББ удалось создать инструмент EM Tool, который стал ключевой частью всего программного пакета. В число

множества функций, выполняемых этим инструментом, входят те, которые позволяют описывать характеристики потока расплавленной стали, а также определять, как шлаки и включения перемещаются внутри изложницы:

- объемное MHD¹⁾-моделирование
- переходное моделирование турбулентности с моделированием полного напряжения Рейнольдса
- двухфазное (сталь плюс газ) моделирование
- переходное отслеживание частиц (для контроля включений)

Чтобы свести к минимуму риск в процессе ввода в эксплуатацию и в реальных рабочих условиях, параметры, рассчитанные для регулятора EM Tool, используются в процессе литья только тогда, когда результаты являются обнадеживающими [6].

Для иллюстрации возможностей EM Tool была смоделирована последовательность литья с искривленной изложницей. Установочными параметрами для этого моделирования были: размеры заготовки – 230 x 1300 мм, скорость литья – 1,5 м/мин, расход аргона – 10 л/мин, двухпозиционное литьевое сопло.

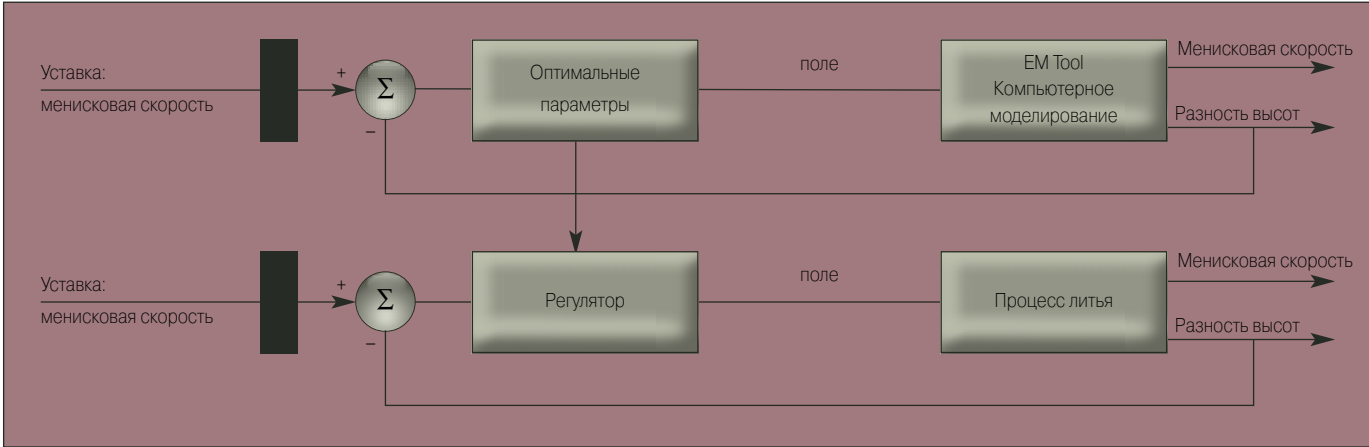
Для изменения измеренной менисковой скорости (разности высот) в различные моменты времени инициировались изменения/возмущения; в FC Mold изме-

Для надежного измерения скорости металла в области мениска необходима компьютерная программа для расчета магнитных полей, а также программа моделирования потока жидкости.

нялось управляемое магнитное поле, а менисковая скорость возвращалась на уровень уставки. Четыре кривые [7] показывают скорость менискового потока с EM Control (синий цвет, а), оптимальный вариант с постоянным магнитным полем FC Mold (зеленый цвет, б), скорость потока при отсутствии EMBR (красный цвет, в) и уставку скорости (желтый цвет, г).

¹⁾ Магнитогидродинамическое

6	После оптимизации значения параметров передаются на регулятор EM Control.
---	---





7

Результаты моделирования литейной последовательности с искривленной изложницей, проведенного для иллюстрации возможностей регулятора EM Tool

Та же самая литейная последовательность с теми же изменениями показана на фотографиях, снятых с видеозаписи компьютерного моделирования литейного процесса **8**. На этих фотографиях показаны скорости потока в середине заготовки для трех случаев: FC Mold с фиксированной оптимальной напряженностью магнитного поля; FC Mold с EM Control; без FC Mold. Хорошо видно, что FC Mold фактически увеличивает скорость потока в области мениска. Причиной того, что эта скорость меньше оптимальной без FC Mold, является то, что FC Mold направляет струйный поток из сопла в направлении узких сторон заготовки, и осуществляет резкое торможение только тогда, когда скорость менисковой скорости становится выше скоростной уставки.

На левой нижней диаграмме **8** показаны напряженность магнитного поля (сила торможения) и менисковая скорость для трех случаев. С помощью EM Tool можно подсчитать, какие включения будут всплывать и исчезать в порошке изложницы, и какие будут захвачены фронтом кристаллизации и приведут к ухудшению качества. На правой нижней диаграмме пока-



- a Скорость потока с работающим EM Control
- б Скорость потока с оптимальной фиксированной напряженностью магнитных полей (нижнего и верхнего)
- в Скорость потока без EMBR
- г Скоростная уставка для менисковой скорости

заны расчетные индексы качества: индекс «жуков» (включений) и индекс раковин (включений с аргонном).

Чем более симметричным будет смещенный поток изложницы, тем лучше будут результаты. FC Mold сильнее тормозит при более высоких скоростях потока металла, в результате чего происходит выравнивание

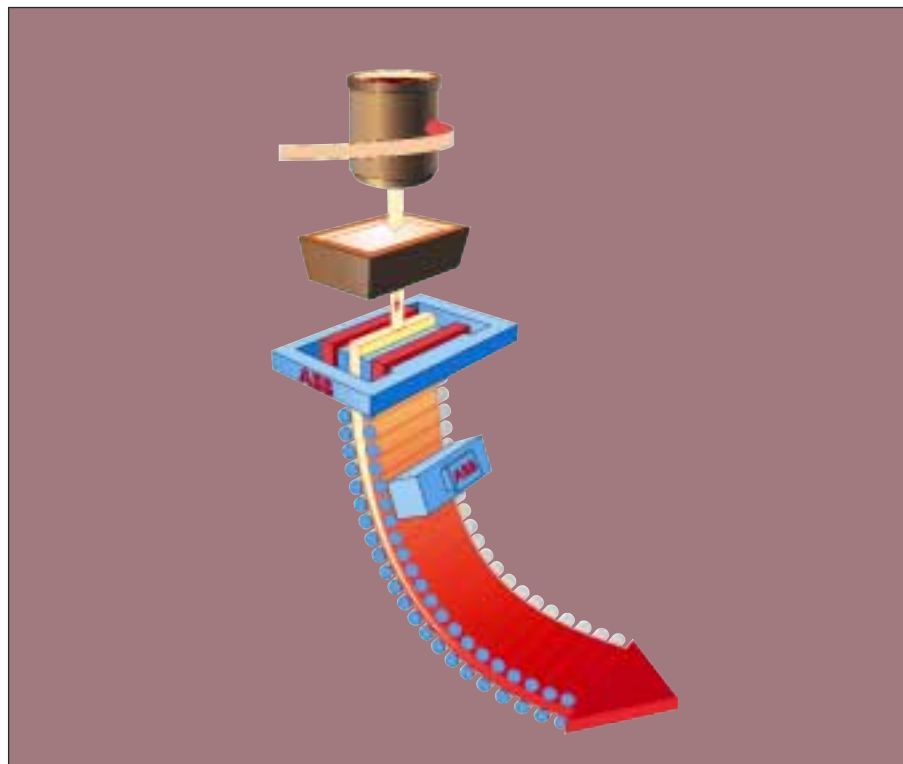
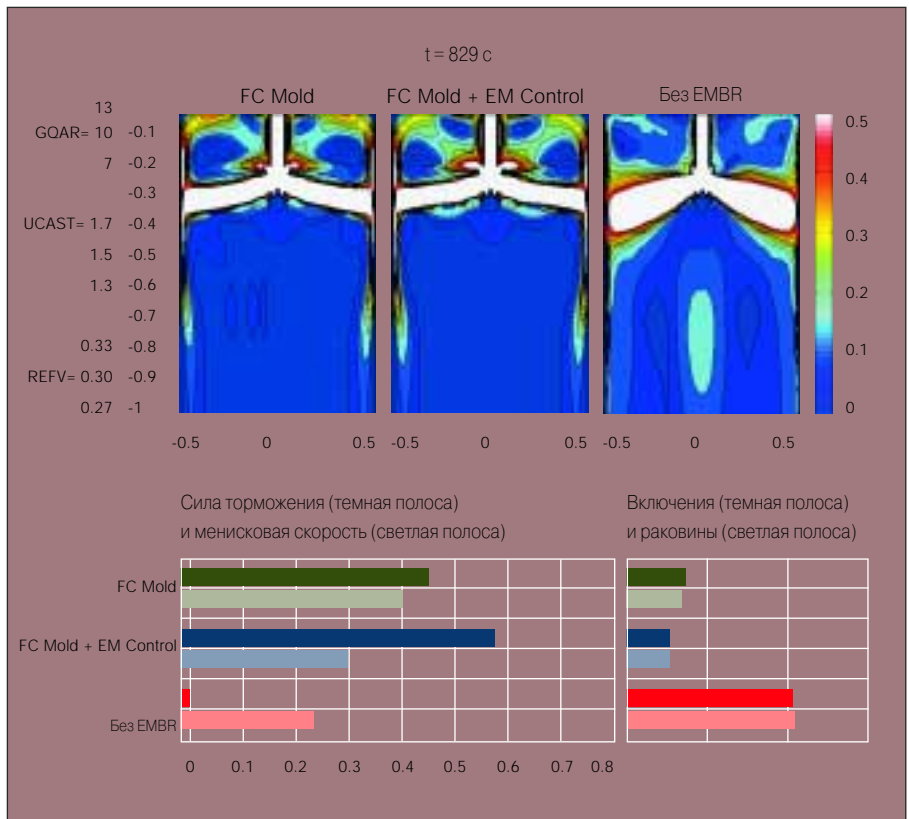
Появившись в результате выполнения большого объема научно-исследовательских работ, EM Control решает вековые проблемы в отрасли промышленности, которая пока остается очень консервативной.

различий менисковой скорости в изложнице. EM Control в еще большей степени усиливает этот положительный эффект.

Продукт для ведущей отрасли

Появившись в результате выполнения большого объема научно-исследовательских работ, в ходе которых на моделирование различных условий литья были

8 Скорость потока в центре изложницы, изменение напряженности магнитного поля и скорости менисковой потока (снимки с видеозаписей)



потрачены тысячи часов, EM Control решает вековые проблемы в отрасли промышленности, которая пока остается очень консервативной. Являясь продуктом для ведущей отрасли, который компания АББ пока предлагает на консультативной основе, он обладает значительным рыночным потенциалом. Предполагается, что для выхода на рынок EM Control будет подготовлен во втором полугодии 2004 года.

Стен Д. Коллберг

ABB Automation Technologies
SE-721 67 Västerås, Швеция
sten.g.kollberg@se.abb.com

Питер М. Лофгрэн

ABB AB
Corporate Research
SE-721 78 Västerås, Швеция
peter.lofgren@se.abb.com

Искусство обучаемости

Робототехника для сборки автомобильной трансмиссии

Хуэй Чжан, Чжонсюэ Гань, Торни Брогард, Цзянцзюнь Вэн, Матс Исакссон

За последние 40 лет автоматические манипуляторы практически вытеснили человека с производства в тех областях промышленности, где требуются выносливость и цикличность действий. И все же одна важная сфера возможного применения робототехники оставалась нетронутой: механосборочное производство. Традиционные автоматические манипуляторы, точные и надежные, все еще не в силах выполнить некоторые сборочные операции с точностью квалифицированного специалиста.

Чтобы понять, почему, достаточно рассмотреть пример вкручивания лампы в патрон. Человек интуитивно рассчитывает когда, с какой силой и под каким углом необходимо вкрутить лампу. Справится ли с задачей запрограммированный робот?

Чтобы заменить человека роботом на линии сборки в поточном производстве необходимо наделять робота силоизмерительными способностями и обучить податливости. Робот должен уметь контролировать силу воздействия на объект, время воздействия, а так же должен уметь реагировать на соприкосновение с объектом. Новая технология управления усилием, развиваемого роботом, от компании АББ показывает, как этого можно добиться.

Традиционно сборку автомобильной трансмиссии выполняют вручную опытные, квалифицированные специалисты. Такой подход связан с необходимостью высокоточной установки зубчатых колес и прочих критичных элементов сцепления и гидротрансформатора в стесненных условиях. Тем не менее, и здесь человека заменяют роботы. Однообразные и утомительные движения могут привести к мышечным спазмам, снижению качества продукции и производительности. Робот, способный функционировать с человеческой точностью, подчеркнет преимущество робототехники в данной области.

Проблема роботов с позиционным управлением

В программе управления позиционным роботом нет информации о точном положении зубцов механизма,

поэтому при попытке совместить два зубчатых механизма робот перебирает позиции путем проб и ошибок, повторяя действие до тех пор, пока не произойдет сцепление. При каждой попытке составить шестерни робот прижимает их друг к другу, при этом контактное усилие получается неприемлемо высоким. Даже если зубцы механизмов расположены с учетом облегчения сборки, любое неточное совмещение приведет к созданию бокового нажатия, поскольку робот будет упорно продолжать двигать механизм по запрограммированному пути к оси его установки. В данном случае, при отсутствии средств механической податливости, скорее всего, произойдет деформация деталей.

Для решения этой проблемы был разработан модуль с центром вынесенной податливости робота. Благода-

ря эластомерным компенсаторам, созданным для уменьшения силы контакта, модуль помогает сборочной машине компенсировать погрешности позиционирования, возникшие в результате неточности движения, вибраций или недостаточного допустимого отклонения. Как только модуль достигает контактной поверхности, ведущая шестерня автоматически направляется к ведомой шестерне, уступая силе нажатия, возникшей при боковом или поворотном сдвиге. Таким образом, элементы сборки оказываются защищенными от повреждений.

К сожалению, по ряду причин столь удобный модуль автоматической компенсации погрешностей позиционирования нельзя задействовать в большинстве сборочных процессов автоматизированного производства. Во-первых, элементы сборки имеют сложные геометрические размеры и сильно отличаются друг от друга, в связи с чем потребуется частая смена специально подогнанных под параметры той или иной детали модулей. Во-вторых, процесс сборки потребует больше времени, так как модуль не умеет самостоятельно позиционировать и поворачивать элементы сборки относительно друг друга. В итоге повышается риск заклинивания деталей.

Они учатся у нас

В процессе сборки сложных элементов человек отличается скоростью мышления и действий: он способен рассчитать силу нажатия на деталь и отступить прежде, чем элементы будут повреждены. Рабочий-сборщик интуитивно понимает, как нужно согласовать действия, чувствует, с какой силой и в какой момент нужно нажать на деталь, ощущает края и стыки, что помогает быстро добиться желаемого результата. Именно способность ощущать контактное усилие и реагировать на него и отличает человека от промышленного робота. Для того чтобы робот смог имитировать поведение человека он должен аналогичным образом рассчитывать прилагаемую силу и уметь компенсировать погрешности, направлять усилие в нужный момент и реагировать на информацию о контакте с объектом. В связи с этим возникает необходимость в изменении традиционной системы воззрений на робототехнику.

Решение от компании АББ

Как поставщик крупнейшей в мире базы установленного оборудования робототехники АББ, занимается постоянными

исследованиями и разработкой новых технологий использования робототехники. Также АББ развивает

Чтобы заменить человека роботом, необходимо наделить робота сило-измерительными способностями и обучить податливости. Робот должен уметь контролировать силу воздействия на объект и реагировать на соприкосновение с объектом.

1	Робот серии IRB6400 с управлением по усилию выполняет сборку гидротрансформатора
---	--



сотрудничество с университетами. Научные сотрудники и разработчики компании АББ объединили усилия с коллегами из Университета Кейс Вестерн Резерв (Огайо, США) и Лундского Университета (Швеция)

для разработки новой комбинированной платформы усилие/позиция на основе существующего контроллера управления роботом S4Cplus от компании АББ. Приблизительно в то же

время было установлено сотрудничество с Форд Мотор Компани, чтобы в производственных условиях

определить задачи нового промышленного робота и исследовать область его применения. В результате этого проекта было вынесено общее решение по применению роботов сборочных линий с управлением по усилию.

Это решение имело целью наделить роботов компании АББ «чувствительностью» и производительностью. Более того, «чувствительности» можно добиться без ущерба имеющимся способностям и функциональности роботов. Новый робот сохранит отличительные признаки роботов АББ, такие как упреждающее регулирование скорости и расширенные коммуникативные функции.

Сначала технологию протестировали на роботах IRB4400 и IRB6400 по сборке различных элементов

автомобильной трансмиссии при номинальной нагрузке от 30 до 200 кг. Перед роботами были поставлены такие сложные задачи, как установка ступицы для муфты переднего хода и сборка гидротрансформатора [1]. Тестирование показало неизменно лучшие характеристики в условиях работы в заданном цикле, приемлемую силу нажатия на устанавливаемую деталь, легкость в программировании и надежность.

Искусное позиционирование и управление по усилию

Об управлении роботом по усилию написано много хорошего, но на практике результаты менее оптимистичны. Неизменно сложной задачей остается достижение достаточно быстрых движений робота при контактной устойчивости. Было исследовано множество перспективных методов интеллектуального управления, но совмещение замедленного управления по усилию с управлением по позиционированию неизменно приводило к плохому результату.

Понять управление по усилию может помочь концепция импеданса и адмиттанса¹. Вдоль любой степени подвижности манипулятора движение мгновенной мощности между двумя и более физическими системами можно опередить как произведение двух сопряженных переменных – усилия (силы) и движения (скорости). Очевидным, но важным граничным условием является то, что ни одна из физических систем не способна определить обе переменные. Вдоль любой степени подвижности манипулятор способен либо воздействовать на окружающие условия, либо выявить необходимость сдвига или изменения скорости движения, но не способен выполнить обе задачи одновременно. Таким образом, робот-сборщик должен обладать адмиттансом, с учетом допустимой силы действия (вход) и податливости (выход). Иными сло-

вами, как только поступает сигнал о возникновении в процессе сборки контактного усилия, действия робота должны измениться (подконтрольно) таким образом, чтобы контактное усилие не возросло.

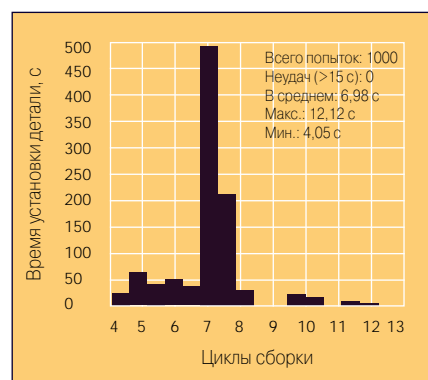
Взяв за основу концепцию максимально достижимого пассивного адмиттанса, инженеры компании АББ разработали интеллектуальные методы управления роботом, которые незримо интегрируются с уже существующими методами упреждающего контроля по позиционированию и гарантируют стабильный и мягкий контакт в самых распространенных сферах производства. Также техническое решение робота гарантирует мягкое переключение между режимом управления по усилию и режимом управления по позиционированию.

Простая настройка программируемых параметров

Несмотря на то, что робот с активным управлением по усилию выигрывает перед своими собратьями за счет приспособляемости и программируемости под различные задачи, все же ему необходима более совершенная система упреждающего управления и более простое программирование, которое позволит задавать реагирование робота на внешнее воздействие. В центре исследования находилась стратегия управления и возможность приспособить робота для надежного, но мягкого контакта при взаимодействии с внешними факторами. В настоящее время не существует ни высокоуровневого языка программирования, ни подходящей концепции программирования, при помощи которых можно было бы использовать возможности управления по усилию.

При обратной связи по усилию промышленный робот может только реагировать на внешние усилия. В этом случае он не получает информацию о том, как именно нужно составлять детали. Таким образом, податливый робот с управлением по усилию может лишь пытаться избежать высокого контактного усилия. В нем отсутствует механизм сопряжения деталей – например, шестерней – с учетом их геометрических параметров. То есть, деформации элементов сборки избежать удалось, но помощи в сопряжении деталей робот так и не получил. Сложно допустить, что положение рабочего органа робота можно изменить в зависимости от силы взаимодействия, а осуществить на практике еще сложнее,

3 Статистика времени цикла сборки гидротрансформатора роботом IRB6400 с вакуумным захватом



поскольку велика погрешность сопряжения элементов сборки и существует столько возможных контактных сценариев, что их количество невозможно вывести математическим путем.

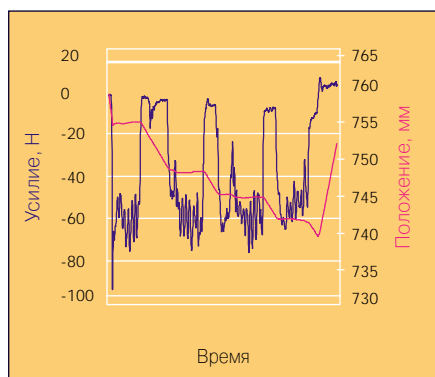
Решение компании АББ освобождает пользователей от бремени сложного программирования и вводит концепцию силы притяжения, которая совместно с управлением по усилию на основе адмиттанса позволит добиться не только более мягкого контакта, но и более точного позиционирования устанавливаемого элемента. Как только будут удовлетворены все требования к сопряжению элементов, робот начнет поиск конструктивных параметров детали и выполнит сборку. Типичная программа робота-сборщика должна быть простой, например такой:

- Установить силу притяжения;*
- Установить параметр поиска;*
- Установить целевое положение;*
- Переместиться на исходную позицию;*
- Если контакт*
 - Активировать поиск;*
- Конец если*
- Если целевое положение не достигнуто*
 - Продолжать поиск;*
- Конец если*
- Отменить поиск;*
- Отменить управление по усилию;*
- Вернуться назад*

Сила плюс маневренность

Ясно, что чем легче детали для сборки, тем меньше требуемое контактное усилие. То же самое верно и для ручной сборки. В случае сборки тяжелых деталей сложнее ограничить допустимое контактное усилие весом позиционируемой детали, поскольку в процессе сборки оператору приходится удерживать деталь против силы тяжести. Это непосильный и каторжный труд.

2 Усилие при сборке муфты переднего хода с использованием упреждающего управления по усилию



¹ В управлении по усилию очень важно соотношение между силой и скоростью, поскольку этот параметр позволяет понять поведение системы исходя из стабильности и производительности. Импеданс выражается через силу, поделенную на скорость, а адмиттанс – наоборот.

Сборка трансмиссии

Двигатель



- Установка подшипника
- Установка втулки подшипника
- Сборка насоса
- Сборка поршня
- Сборка свечей зажигания
- Установка клапана
- Установка сервоцилиндра заднего хода

Трансмиссия/коробка передач



- Установка подшипника
- Установка втулки подшипника
- Сборка диска сцепления
- Сборка муфты переднего хода
- Установка шлицевого вала
- Сборка центрального зубчатого колеса
- Сборка гидротрансформатора
- Сборка аккумулятора трансмиссии
- Сборка дифференциала коробки передач
- Блок гидромурфт

Головка цилиндра



- Установка подшипника
- Установка втулки подшипника
- Сборка головок цилиндра

Мост



- Установка подшипника
- Установка втулки подшипника
- Сборка водила планетарной передачи
- Сборка сателлита планетарной передачи
- Установка шлицевого вала
- Сборка центрального зубчатого колеса

Другое



- Установка подшипника
- Установка втулки подшипника
- Сборка поршня

Возьмем в качестве примера сборку фордовского корпуса гидротрансформатора весом около 25 кг. Внутри корпуса находится сборка двояной шлицевой шестерни, в которую необходимо установить рабочее колесо насоса. Целостность уплотнения рабочего колеса насоса крайне важна, и необходимо соблюдать повышенную осторожность, чтобы не повредить его в процессе сборки деталей. Одновременно требуется установить внутренний шлицевой вал, что значительно усложняет сборку.

Для решения этой проблемы компания АББ выбрала робот серии IRB6400. Такой выбор основан на его номинальной нагрузке 150 кг – массе, которую

он способен удержать без посторонней помощи, не прибегая к любому нежелательному контактному усилию. Испытания показали, что IRB6400 может выдержать общую массу 75 кг (общая масса деталей, захвата, датчика усилия и т.п.) и при этом контактное усилие не будет превышать 200 Н.

Согласно результатам испытаний АББ роботы с упреждающим управлением по усилию способны выполнять предельно сложные операции по сборке, даже с тяжелыми деталями. Механическая рука робота совершает легкие, но уверенные и полные силы движения – идеальная комбинация для сборки элементов в разных областях промышленности.

Превосходные эксплуатационные качества и отказоустойчивость

Испытания на проверку упреждающего регулирования по усилию в роботах, используемых в автомобильной промышленности, убедительно доказывают возможность уменьшения времени рабочего цикла и повышения маневренности при сборке элементов различной степени сложности. В случае, когда требовалось произвести установку муфты переднего хода **2**, производственная ячейка с роботом IRB4400 справлялась с задачей в среднем за 5,7 секунд, при противодействующей силе менее 100 Н в момент первичного соприкосновения с элементом сборки, и в пределах 80 Н в процессе сборки (при ручной сборке для установки муфты требуется 15-20 секунд). В другом случае на сборку гидротрансформатора роботу потребовалось 6,98 секунд при контактном усилии не выше 200 Н **3**. Здесь стоит указать, что масса самой детали составляет около 25 кг, а позиционный допуск +/-2 мм.

Контроллер управления роботом от компании АББ серии S4Cplus известен в обрабатывающей промышленности как наиболее надежный на сегодняшний день. Для укрепления такой репутации был введен дополнительный параметр – управление по усилию. Он выполняет функцию контроля любого действия робота в случае потенциальной ошибки датчика, ошибки коммуникации или возможной операционной ошибки.

Преимущества расширения рынка применения

Функция упреждающего управления по усилию была разработана специально для автомобильной промышленности, но имеет прекрасные перспективы использо-

вания в иных сферах производства. Ожидается, что новая функция быстро завоюет рынок, особенно те его сегменты, где не так давно механическую сборку невозможно было осуществить без участия человека, то есть получить безошибочное ее исполнение с первого раза. Представляя на рынке свою новую технологию, компания АББ в очередной раз подчеркивает свое лидерство в области технологий промышленной робототехники.

Др. Хуэй Чжан

Др. Чжонсюэ Гань

Др. Цзянцзюнь Вэн

ABB Corporate Research
Виндзор, штат Коннектикут, США
hui.zhang@us.abb.com

Др. Торни Бругард

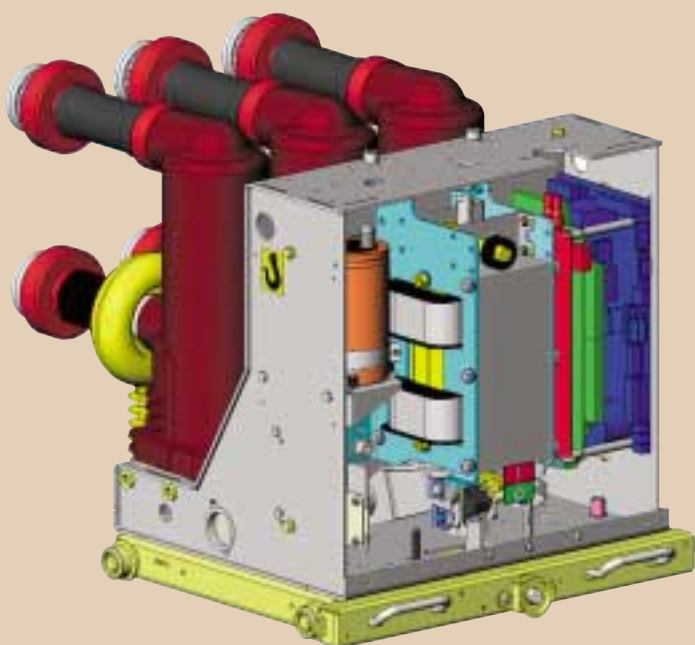
Матс Исаксон

ABB Automation Technologies
Вестерас, Швеция
torgny.brogardh@se.abb.com

Интегрированный

автоматический выключатель среднего напряжения eVM1 сочетает в себе функции размыкания, измерения и защиты

Христиан Ройбер, Паоло Гритти, Марко Телларини, Маркус Хаймбах



Распределительные устройства среднего напряжения, как и любое другое оборудование для электроснабжения, сталкиваются с жесткой рыночной конкуренцией, правила которой диктует заказчик. Список требований возглавляет повышенная надежность, быстрота монтажа, более длинные интервалы техобслуживания и пониженные эксплуатационные затраты в течение срока службы. Для достижения этих целей распределительное устройство должно быть менее сложным, что достигается, например, путем стандартизации, но с другой стороны, оно должно быть более гибким в эксплуатации. Инновационные технологии компании АББ разрешили эту дилемму, объединив всё, необходимое для организации отходящей питающей линии или питания электродвигателя среднего напряжения, в одном интеллектуальном комплексном устройстве – автоматическом выключателе eVM1.

В последние годы заметна стойкая тенденция к повышению степени интеграции в распределительном оборудовании среднего напряжения.

На рынок вышли изделия, характеризующиеся повышенным уровнем стандартизации комплектующих и более высокой общей гибкостью, что повышает надежность, а также сокращает время и объем работ, необходимых для их монтажа и техобслуживания.

Компания АББ находится в авангарде этих разработок. Недавно запущенная в производство серия выключателей среднего напряжения под маркой eVM1 была разработана специально для обеспечения более компактных и надежных решений в создании распределительных систем среднего напряжения.

В новых выключателях сочетаются инновационные технологии АББ в области механики, электроники и измерений. Результатом этого стало высокоинтегрированное интеллектуальное устройство, которое обеспечивает функции измерения, защиты и управления в дополнение к технологии отключения питающего напряжения.

Использование апробированной платформы

Конструкция нового выключателя eVM1 основана на выключателе среднего напряжения VM1 компании АББ. Вакуумный выключатель с магнитным приводом, конструкция которого не требует ремонта, был выпущен на рынок в 1998 году и продемонстрировал прекрасную надежность на тысячах объектах во всем мире.

Датчиком тока в выключателе eVM1 является пояс Роговского. Эти датчики установлены на каждом полюсе и подключены к встроенному в корпус выключателя электронному устройству, которое объединяет функции защиты и управления. В ближайшем будущем планируется добавить возможность цифровой связи с системой станционной автоматики.

По сравнению с традиционными выключателями среднего напряжения, полностью интегрированное устройство eVM1 обеспечивает значительные преимущества в плане монтажа и эксплуатации:

- Упрощена подготовка технического задания и процедуры заказа, что обеспечивает быструю поставку
- Выключатели проходят всесторонние заводские испытания на полностью укомплектованном распределительном щите

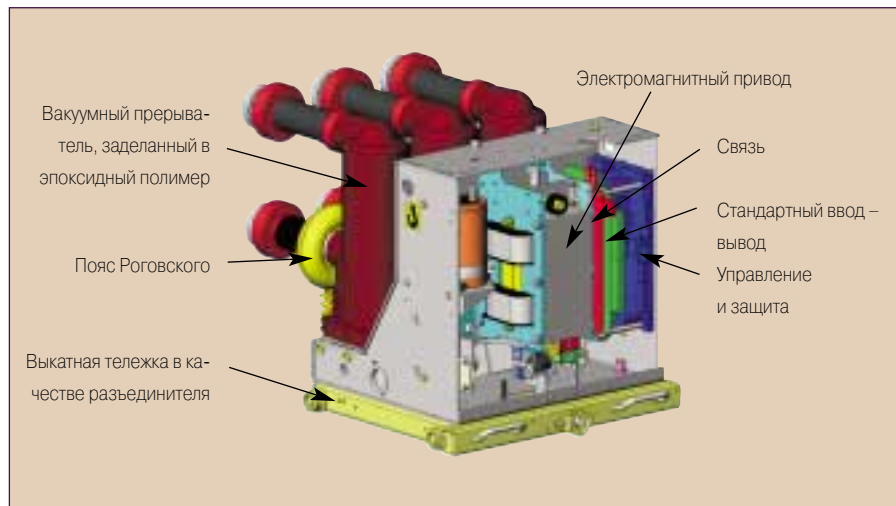
- Щитовая электропроводка значительно сокращена, что практически устраняет риск ошибки при разводке. Таким образом, монтажные работы на подстанции завершаются в более короткие сроки.
- Улучшены показатели безопасности и эксплуатационной надёжности.
- Имеется в наличии полный комплект документации на систему с самого начала проекта.

eVM1 является первой версией в новой серии автоматических выключателей. Рассчитанные на номинальный ток разъединения 1250 А и 31,5 кА при напряжении 12 кВ выключатели снабжены функцией конфигурирования различных типов схем защиты: защита от сверхтока в фазах, защита от замыкания на землю, защита электродвигателя.

Компоненты выключателя eVM1

В отличие от обычных автоматических выключателей с пружинным приводом, выключатели VM1 и eVM1 имеют очень несложную механическую конструкцию и не требуют технического обслуживания. Это достигается в основном за счет уменьшения количества частей, плюс за счет отсутствия изнашивающихся деталей, которым для нормального функционирования требуется смазка [1]. Упрощение конструкции значительно снижает риск отказа автоматического выключателя [1].

1	Основные компоненты комплектного автоматического выключателя среднего напряжения eVM1
---	---



Надежный электромагнитный привод

Срабатывание вакуумного прерывателя требует малого усилия, если выключатель разомкнут, и большого усилия для срабатывания при замкнутом выключателе.

Электромагнитные приводы, в отличие от пружинных, без труда выполняют эти требования.

Наивысшее усилие достигается в конечном положении, когда мощные постоянные магниты фиксируют положение выключателя [2]. Применение постоянных магнитов устраняет необходимость затрат электроэнергии для удержания выключателя в разомкнутом или замкнутом положении.

Основным преимуществом магнитных приводов является надежность конструкции. В течение своего срока службы

привод может осуществить до 100 000 операций «закрытия – размыкания» [2].

Вакуумные прерыватели, не требующие техобслуживания

Вакуумные технологии широко применяются в настоящее время для разъединения. Для этого есть веские причины: вакуумные прерыватели не требуют обслуживания и они герметизированы на весь срок службы

(30 лет и более, с возможностью выполнения до 30 000 операций замыкания – размыкания).

Средства, которые компания АББ постоянно вкладывает в разработку вакуумной технологии, позволили создать семейство вакуумных прерывателей с весьма конкурентоспособными размерами [3]. Эти вакуумные прерыватели являются основой новой серии eVM1 [3].

(Более подробная информация о вакуумных прерывателях фирмы АББ – в статье на стр. 22 этого выпуска АББ Ревю.)

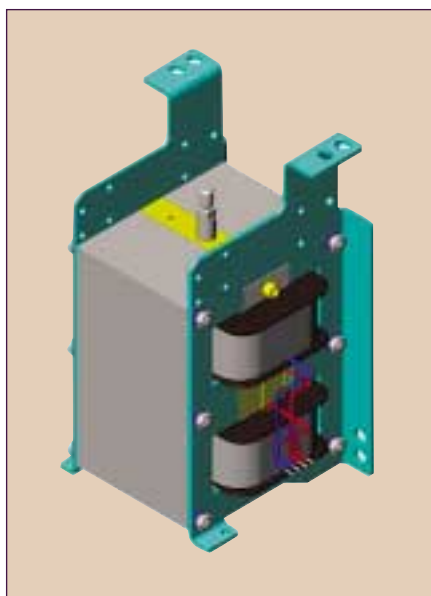
Преимущества заделанных полюсов

Так как наружная поверхность изолятора вакуумного прерывателя обычно находится в контакте с воздухом или другими газами, имеется существенная опасность пробоя из-за скопления грязи и т.п. на керамической оболочке.

Новые выключатели eVM1 сочетают инновационные технологии АББ в области механики, электроники и измерений.

Обычно этот риск сокращается путем увеличения длины оболочки, но таким образом затрудняется достижение компактности. Поэтому для eVM1 компания АББ сконструировала вакуумный прерыватель, заделанный в эпоксидный полимер, который легко поддается формовке.

2	Электромагнитный привод, используемый в eVM1, может выполнять до 100 000 операций замыкания-размыкания в течение срока службы.
---	--



В результате керамическая оболочка оказалась очень короткой, а прерыватель прекрасно защищен от пыли и влаги 4. Также отпала необходимость в дополнительном монтаже и креплении токонесущих частей.

Заделанные полюса, таким образом, уменьшили количество комплектующих, сократили время сборки и устранили несколько возможных видов отказа.

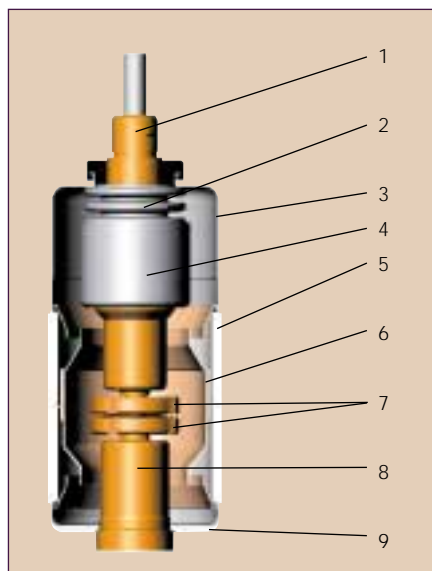
Пояс Роговского – компактный датчик тока. Основными компонентами комплектного выключателя являются датчики тока, в качестве которых для уменьшения габаритов и массы используются пояса Роговского.

Пояс Роговского состоит из спиралевидной проволочной катушки, в которой вывод с одного конца

Выключатель eVM1 снабжен функциями конфигурирования различных типов схем защиты: защита от сверхтока в фазах, защита от замыкания на землю, защита электродвигателя.

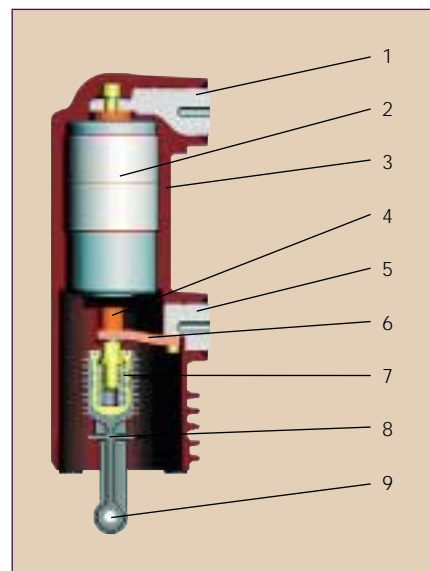
проходит через центр катушки на другой конец, так чтобы оба контактных зажима находились с одной стороны катушки. В силу наличия воздушного сердечника пояс Роговского обладает низкой индуктивностью и может реагировать на быстроменяющиеся токи. Такая катушка обладает массой преимуществ по сравнению с трансформатором тока, имеющим ферромагнитный сердечник, который наиболее часто ис-

3 Компактные вакуумные прерыватели являются сердцем новой серии выключателей eVM1.



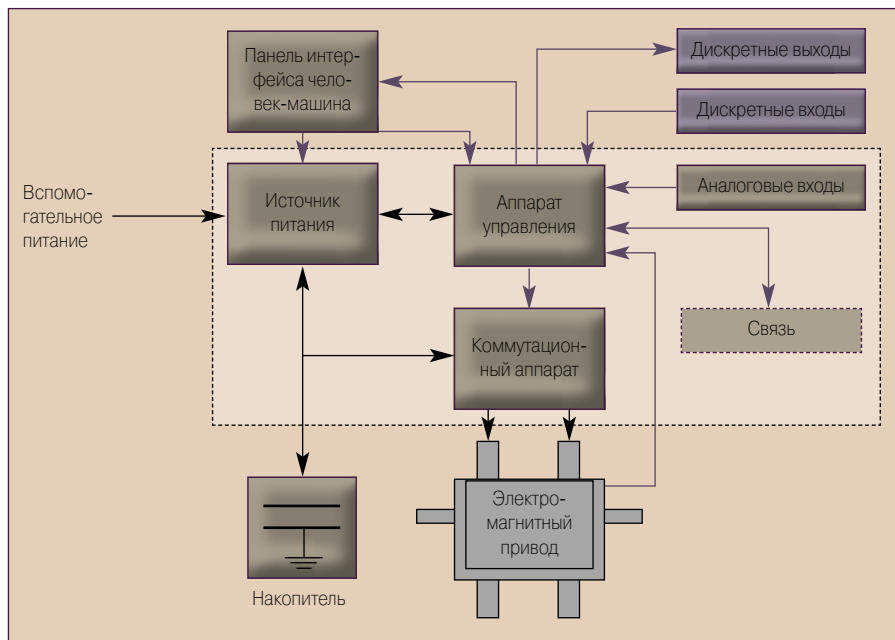
- 1 Шток/вывод
- 2 Металлический сильфон
- 3 Крышка прерывателя
- 4 Защитный экран
- 5 Керамический изолятор
- 6 Защитный экран
- 7 Контакты
- 8 Шток
- 9 Крышка прерывателя

4 Заделанные полюсы сократили время сборки и устранили несколько возможных видов отказа.



- 1 Вывод
- 2 Вакуумный прерыватель
- 3 Эпоксидный полимер
- 4 Шток
- 5 Вывод
- 6 Гибкая перемычка
- 7 Контактная пружина
- 8 Штанга толкателя
- 9 Соединение с приводом

6 Управляющая электроника и архитектура информационной системы выключателя eVM1



5 Традиционный трансформатор тока (слева) и пояс Роговского гораздо меньших размеров (справа)



пользуется для измерения тока в распределительных устройствах среднего напряжения. Во-первых, так как не происходит насыщения стального сердечника, пояс Роговского демонстрирует очень хорошие показатели линейности даже при измерении сильных токов. Кроме этого, такой датчик не имеет гальванической связи с силовой цепью и обладает очень широким диапазоном измерений. Потери также невелики, так как катушка практически не потребляет энергии от первичной цепи. Более того, небольшие габариты и малый вес катушки позволяют добиться очень хороших показателей цикла долговечности (LCA). И, наконец, повышается безопасность, так как устраняется возможность возникновения опасного перенапряжения, которое может возникнуть в традиционных трансформаторах тока, когда вторичная обмотка остается ненагруженной.

Практически со всех точек зрения пояс Роговского является идеальным датчиком тока для использования там, где обычно не требуется измерение постоянного тока. Фактически, его единственным недостатком является то, что выходной сигнал пропорционален производной по времени от тока и поэтому должен быть проинтегрирован. Это являлось проблемой аналоговых интеграторов ранних версий, которые не отличались достаточной точностью. Проблема была решена в eVM1, где как и в современных реле защиты, используется цифровое интегрирование.

eVM1 демонстрирует, насколько проста может быть конструкция распределительного щита среднего напряжения, сочетая при этом все функции, необходимые для наиболее распространенных областей применения.

В результате этого класс точности измерителя составляет 1%. Учитываются изменения температуры, допуски на сборку и взаимные помехи. Окончательная калибровка комплектной измерительной схемы, выполняемая в специальных условиях, обеспечивает максимально возможную точность.

Так как пояс Роговского не насыщается, он может использоваться для измерения токов от нескольких ампер до десятков килоампер. Максимальные и минимальные значения определяются пределом линейности измерительного модуля выключателя eVM1.

Хорошие показатели линейности позволяют катушке с одинаковыми параметрами охватывать все области применения, вплоть до точного измерения сильных токов короткого замыкания. Пояс Роговского также демонстрирует отличные качества в отношении точности фазового угла и электромагнитной совместности (ЭМС).

Фазовый угол: Высокая точность фазового угла очень важна для правильной работы многих видов защиты. Проблема трансформаторов со стальным сердечником состоит в том, что фаза смещается вслед за током, особенно во время перемагничивания сердечника. Это явление не характерно для пояса Роговского, так как сдвиг фазового угла очень мал и не зависит от тока.

ЭМС: В силу высокой чувствительности нового датчика тока (несколько милливольт на ампер для сигналов частотой 50 Гц), на каждом этапе проектирования ЭМС уделяется основное внимание. Благодаря высокому уровню интеграции компонентов, выключатель eVM1 обладает рядом неотъемлемых преимуществ в этой области – короткая длина кабеля и оригинальная технология, которая исключает взаимные помехи. Многочисленные испытания подтвердили устойчивость eVM1 к электромагнитным помехам.

Управляющая электроника и информационная система
Все описанные функции обеспечиваются тремя модулями **6:**

Основной модуль обработки данных со встроенным источником питания для eVM1; он заряжает емкостной накопитель, необходимый для работы электромагнитного привода, а также предназначен для получения аналогового сигнала и ана-

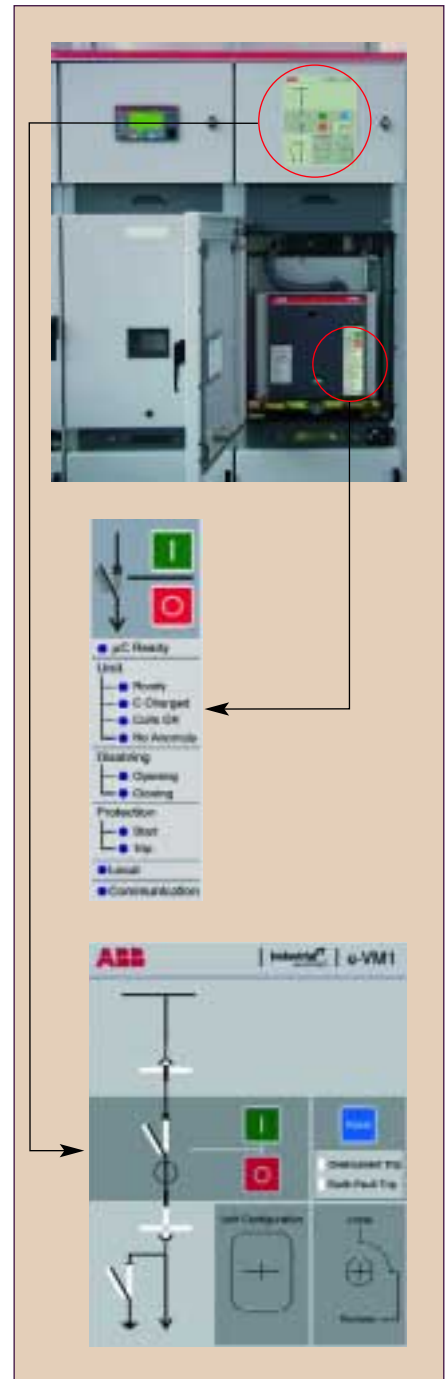
лого-цифрового преобразования сигналов пояса Роговского. С помощью блока управления он наблюдает за измерением тока, защитой, контролем, сигнализацией и самодиагностикой системы. Обмен информацией происходит через плату дискретных входов/выходов и плату связи. В материнской плате имеется порт RS485 для подключения к средствам конфигурирования.

Модуль дискретных входов/выходов, состоящий из 16 независимых дискретных входов и 16 независимых релейных выходов с широким диапазоном номинальных характеристик и пригодных для обычной разводки.

Модуль связи (дополнительный); реализует протокол Modbus для связи с системой станционной автоматики (SCADA). В ближайшем будущем планируется реализовать другие протоколы.

7

Блоки интерфейса человек-машина оборудованы на выключателе eVM1 (в центре) и на двери панели (снизу)



Эксплуатация eVM1

Эксплуатация выключателя eVM1 очень похожа на эксплуатацию обычного автоматического выключателя. Клавишный переключатель, встроенный в блок интерфейса человек-машина на двери низковольтного шкафа, включает режим местного или дистанционного управления. Красный или зеленый светодиоды по-

казывают фактическое положение выключателя, выкатной тележки и заземляющего разъединителя. За окошком на двери находится еще один интерфейс [7], который отображает состояние выключателя и защиты, а также позволяет напрямую управлять eVM1 в выключенном состоянии.

Отображение состояния и настройки защиты Интерфейс человек-машина на двери низковольтного отсека оборудован разъемом RS485, к которому можно подключить портативный компьютер для доступа с помощью средства конфигурации (8) ко всей информации о текущем состоянии, например, о положении коммутационных аппаратов, или о состоянии готовности eVM1. Имеется возможность считывать все токи по всем фазам и ток замыкания на землю. С помощью этих средств выключатель может быть также полностью сконфигурирован и подготовлен к испытаниям.

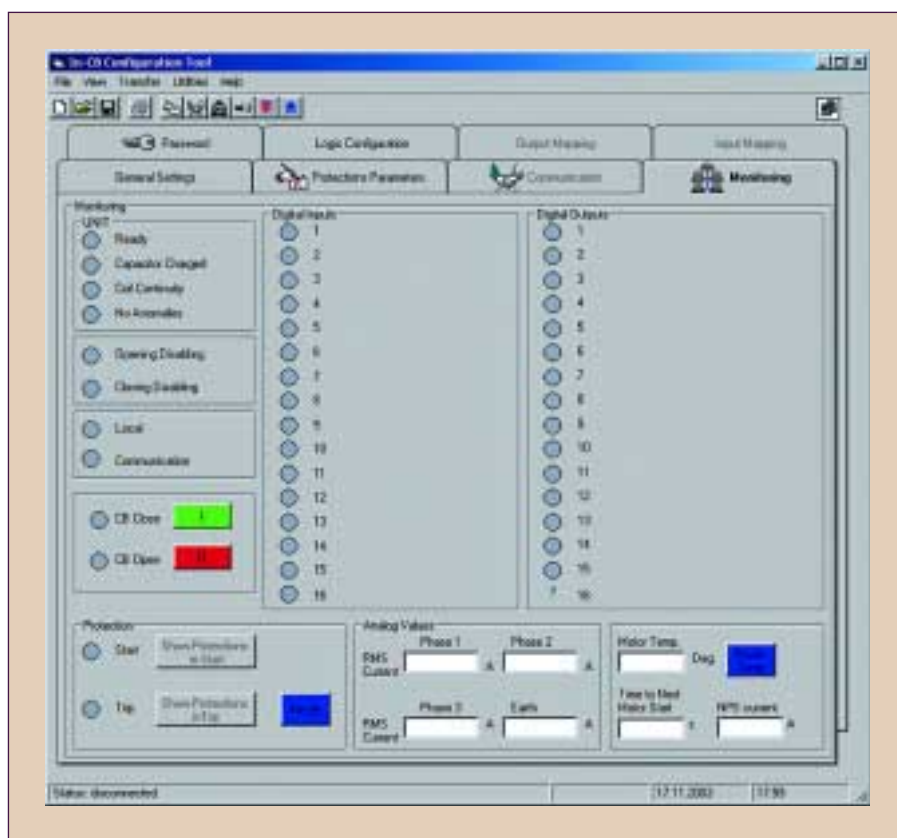
Если реле защиты отключает выключатель, оно должно быть возвращено в исходное положение перед повторным замыканием выключателя. Это может быть осуществлено либо с помощью средств конфигурации или путем нажатия на клавишу сброса интерфейса человек-машина на двери низковольтного шкафа.

Программное средство может также использоваться для выбора, задания параметров и отображения состояния защиты. Пользователи имеют возможность выбирать из ряда защитных функций:

- Максимальная токовая защита от замыканий между фазами с мгновенным срабатыванием
- Максимальная токовая защита от замыканий между фазами с долговременной, кратковременной и обратнoзависимой задержкой срабатывания
- Защита от замыкания на землю с мгновенным срабатыванием
- Защита от замыканий на землю с долговременной, кратковременной и обратнoзависимой задержкой срабатывания
- Защита электродвигателя от перегрузки (аналог тепловой защиты)
- Защита электродвигателя при пуске (адиабатическая характеристика)
- Защита от заклинивания ротора (установленная временная характеристика)
- Защита электродвигателя от несимметричной нагрузки
- Количество пусков электродвигателя

8

Конфигурационное программное обеспечение дает доступ к информации о текущем состоянии, например, о положении коммутационных аппаратов



Эти функции, а также отображение измеренных значений и конфигурация защиты, могут быть инициированы дистанционно по шине управления.

Упрощение конструкции подстанции

Новая концепция, реализуемая компанией АББ в выключателе eVM1 демонстрирует, насколько проста и открыта может быть сегодня конструкция распределительного щита среднего напряжения, которая сочетает при этом все функции, необходимые для наиболее распространенных областей применения. Простая установка eVM1 на обычных отходящих питающих линиях эффективно снижает сложность современных распределительных устройств. Дополнительное оборудование необходимо только для тех щитов, которым требуются более сложные схемы защиты, или в особых случаях, например, когда обычные трансформаторы нужны для коммерческого учета.

Объединяя удобство эксплуатации и компоновки с прекрасным сочетанием компонентов и надежностью, подтверждаемую заводскими испытаниями выключателя, а также схемы защиты для минимизации сбоев, выключатель eVM1 представляет собой значительный шаг к упрощению конструкции и эксплуатации, а также повышению надежности и безопасности распределительных устройств.

Христиан Ройбер
Паоло Гритти
Марко Телларини
Маркус Хаймбах

ABB Power Technologies
christian.reuber@de.abb.com
paolo.gritti@it.abb.com
marco.tellarini@ch.abb.com
markus.heimbach@de.abb.com

Литература

- [1] E. Dullni, et al: Totally maintenance free: new vacuum circuit-breaker with permanent magnet actuator. Elektrizitätswirtschaft, vol 21, 1997, 1205–1212.
- [2] B.A.R. McKean, C. Reuber: Magnets and vacuum – the perfect match. Proceedings IEE Trends in Distribution Switchgear, London, 1998, 73–79.
- [3] E. Dullni, et al: A family of vacuum circuit-breakers with worldwide applications using common components. Proceedings CIRED, Amsterdam, 2001.
- [4] P. Mähönen, V. Virtanen, T. Hakola: The Rogowski coil and the voltage divider in power system protection and monitoring. Proceedings CIGRE, China, 2000.

Изучение процесса дугОВОГО разряда

Моделирование сильноточных вакуумных дугОВых разрядОВ

Ингмар Клеберг, Венкаи Шанг

Вакуумная технология на сегодняшний день доминирует в области прерывателей среднего напряжения (12-52 кВ) и на то есть причины. Такие достоинства, как высокая надежность, большой ресурс и экологичность являются следствием непрерывного развития, сопровождаемого исследованиями в области прерывания больших токов, которые привели к глубокому пониманию основополагающих аспектов процесса прерывания тока.

Разрабатываемое в настоящее время компанией АББ средство моделирования имеет своей целью получение более точного представления о физических ограничениях силовых вакуумных прерывателей. Полученные с помощью этого средства результаты моделирования, которые позволят в будущем разработать оптимизированные конструкции прерывателей, были подтверждены экспериментом.

В отличие от прерывателей, в которых в качестве рабочей среды применяется масло или газ, контакты вакуумных прерывателей рассчитаны на работу под вакуумом. Поскольку между контактами нет масла или газа (воздуха или SF₆), электрическая дуга, возникающая между ними при разъединении, состоит полностью из носителей заряда, появляющихся при испа-

рении и ионизации материала контактов. Таким образом, дуга в вакууме фактически является дугой в парах металла.

Преимущества, присущие вакуумным прерывателям – а именно минимальные потребности в обслуживании и экологичность – обусловлены, в первую очередь, тем фактом, что в таких прерывателях применяется меньшее, относительно других конструкций, количество деталей и эти детали проще, а также то, что они герметизированы в течение всего срока службы, составляющего обычно десятки лет. При горении электрической дуги в газе или масле появляются продукты разложения, а в вакуумном прерывателе испаряются чистые металлы, которые в дальнейшем осаждаются.

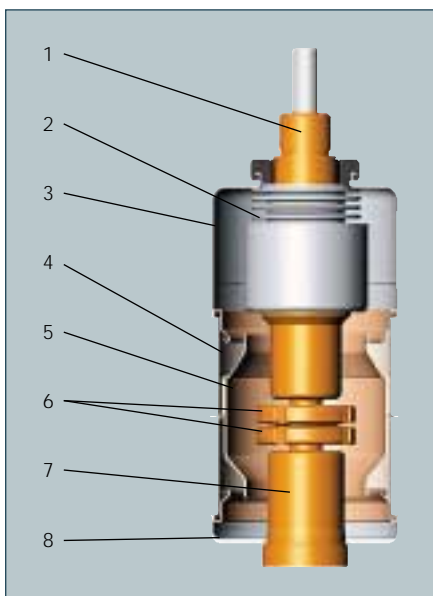
Что происходит внутри вакуумного прерывателя?

На рис. 1 показан типовой вакуумный прерыватель производства АББ¹⁾. Он состоит из двух медных/хромовых контактов, один из которых неподвижно закреплен (нижний на иллюстрации), а другой подвижен. Контакты размещаются в вакуумированном контейнере под давлением менее 10-5 Па. Контейнер включает в себя керамический изолятор, металлический сильфон для подвижного контакта и два стальных колпачка, с помощью которых контакты крепятся к керамическому изолятору. Изолятор защищен от горячих металлических паров дуги с помощью экрана.

Когда контакты в вакууме размыкаются, металл с контактных поверхностей испаряется и в значительной степени ионизируется, образуя электрическую дугу. Эта дуга поддерживается подводом энергии извне, пока ток не пройдет нулевую точку. Она подпитывается из множества микроисточников плазмы – так называ-

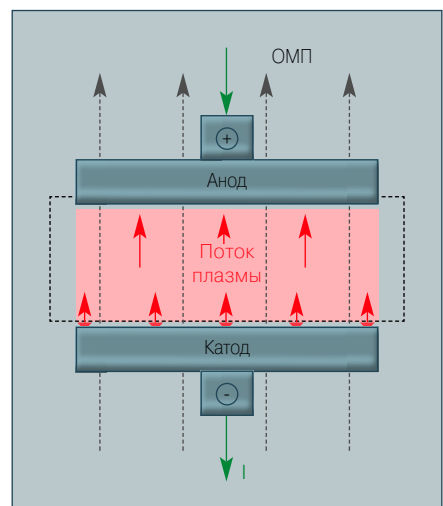
емых катодных пятен, распределенных по поверхности контакта (при токах ниже 10 кА катод является единственным источником плазмы). По мере уменьшения тока генерация новой плазмы замедляется. В идеале при нулевом токе новая плазма не должна образовываться, а имеющиеся ионы и электроны должны быстро рекомбинировать и затем сконденсироваться на контактах и экране. При слабых и умеренных токах дуга распределяется по всей поверхности контакта (это называется диффузным режимом), поэтому температура поверхности анода не столь высока, чтобы вызвать дополнительное испарение материала контакта.

1 Элементы вакуумного прерывателя

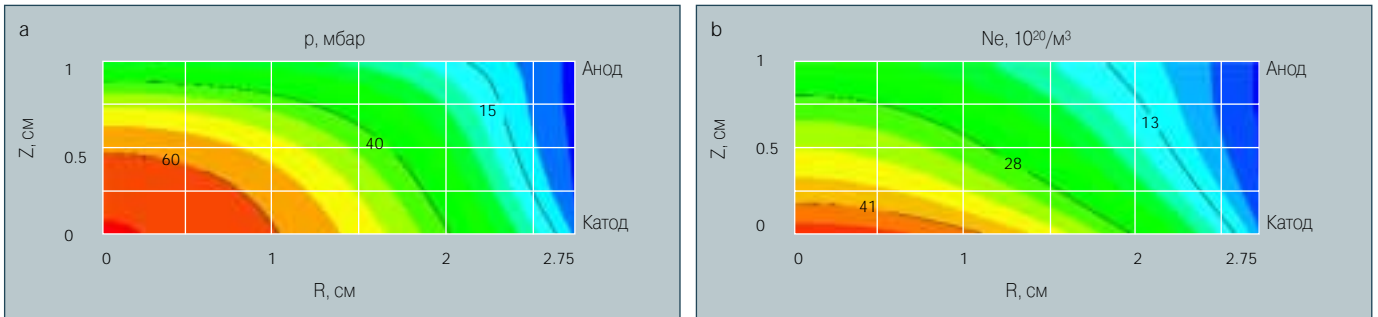


- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1 Ножка/вывод | изолятор |
| 2 Металлический сильфон | 5 Экран |
| 3 Крышка прерывателя | 6 Контакты |
| 4 Керамический | 7 Ножка |
| | 8 Крышка прерывателя |

2 Геометрическая конфигурация используемой модели. Плазма генерируется на катоде. Анод служит стоком для падающего на него потока атомов.



¹⁾ Вакуумные прерыватели АББ разрабатываются и производятся на предприятии ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH в г. Ратинген (Германия).



Однако, как наглядно продемонстрировали эксперименты с более сильными токами, например, возникающими при прерывании в режиме короткого замыкания, в таких случаях происходит контракция дуги.

В отсутствие осевого магнитного поля (ОМП) это происходит

приблизительно

при 10 кА.

Приложение

ОМП сдвигает

момент начала

сокращения в

сторону больших токов [1].

Эрозия контак-

тов в режиме контрагированной дуги значительно

интенсивнее, чем в диффузном режиме, поскольку

энергия дуги распределяется не по всей поверхности

контакта. Результатом этого является интенсивное

плавление материала контактов и усиление испарения

при переходе тока через нуль. Это явление определяет

размыкающую способность вакуумного прерывателя.

Эрозия контак-

тов в режиме контрагированной дуги значительно

интенсивнее, чем в диффузном режиме, поскольку

энергия дуги распределяется не по всей поверхности

контакта. Результатом этого является интенсивное

плавление материала контактов и усиление испарения

при переходе тока через нуль. Это явление определяет

размыкающую способность вакуумного прерывателя.

Эрозия контак-

тов в режиме контрагированной дуги значительно

интенсивнее, чем в диффузном режиме, поскольку

энергия дуги распределяется не по всей поверхности

контакта. Результатом этого является интенсивное

плавление материала контактов и усиление испарения

при переходе тока через нуль. Это явление определяет

размыкающую способность вакуумного прерывателя.

Эрозия контак-

тов в режиме контрагированной дуги значительно

интенсивнее, чем в диффузном режиме, поскольку

энергия дуги распределяется не по всей поверхности

контакта. Результатом этого является интенсивное

плавление материала контактов и усиление испарения

при переходе тока через нуль. Это явление определяет

размыкающую способность вакуумного прерывателя.

Компания АББ и Российская академия наук с 2001 года ведут совместную работу по разработке численной модели сильноточных электрических дуг в вакууме.

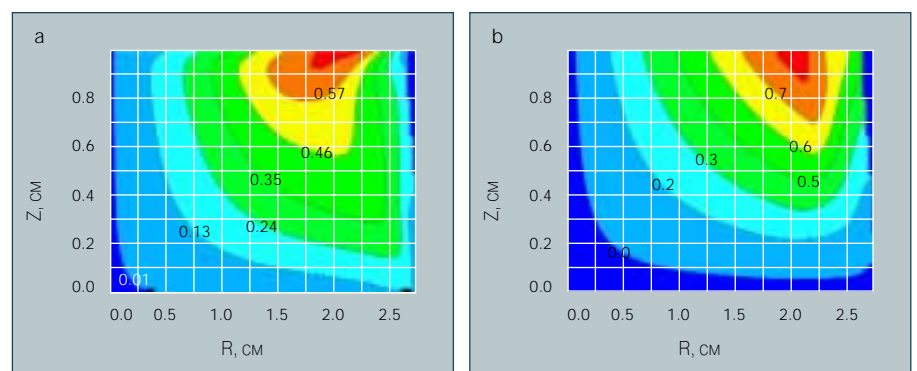
пользоваться для моделирования вакуумного прерывателя во всех его состояниях (замкнутом, при размыкании, зажигании дуги, разомкнутом при горении дуги, разомкнутом после погасания дуги). В связи с этим необходимо проверять применимость различных мо-

делей и, в случае необходимости, модифицировать или комбинировать их для отработки разных ситуаций.

Если дебаевский радиус экранирования – характеристическое расстояние, на котором заряды экранируются в плазме – значительно меньше средней длины свободного пробега электронов, т.е. среднего расстояния, проходимого электроном между двумя столкновениями, а длина свободного пробега гораздо меньше типичной протяженности плазмы дуги (расстояния между

контактами), применимо магнитогидродинамическое (МГД) приближение. В этом случае моделирование выполняется для условий неизменного тока и фиксированной длины промежутка. Это оправдано, поскольку реакция плазмы значительно быстрее, чем изменения параметров вследствие изменения силы тока или перемещения контактов [4].

На рис. 2 показана геометрическая схема использованной модели. На нее извне наложено ОМП. Как и в реальном прерывателе, напряженность ОМП приблизительно пропорциональна силе тока. Делается допущение, что на границе катода имеется только осевая составляющая тока. Отдельные катодные пятна не рассматриваются, поскольку в сильноточной дуге потоки генерируемой ими плазмы смешиваются на очень коротком расстоянии. В первом приближении считается, что анод полностью поглощает падающий на него поток плазмы. Однако в действительности полной конденсации не происходит, в особенности тогда, когда температура поверхности близка к температуре плавления материала либо когда кон-



Таким образом, изучение природы процессов, подобных сжатию дуги, и параметров, влияющих на подвод тепла к поверхности контактов при максимальном токе, необходимо для разработки оптимальной конструкции прерывателя. Оценив важность этой исследовательской задачи, компания АББ в сотрудничестве с Институтом электрофизики Российской академии наук (ИЭФ РАН) в 2001 году приступила к разработке численной модели сильноточных электрических дуг в вакууме [2-4].

Выбор подходящей модели

Поскольку в модели по определению упрощают реальные явления и пренебрегают некоторыми аспектами, модель обязательно имеет ограничения по применимости. Например, одна и та же модель не может ис-

такты уже расплавлены. Настоящая модель используется в компании АББ и для изучения последствий этого явления.

Применяемые уравнения, в сущности, представляют собой балансы масс, импульсов и энергий, уравнение индукции и закон Ома. Уравнение индукции вытекает

Моделирование необходимо выполнять для диапазона дозвуковых скоростей течения потока, поскольку он наиболее интересен при изучении сильноточных электрических дуг в вакуумных прерывателях.

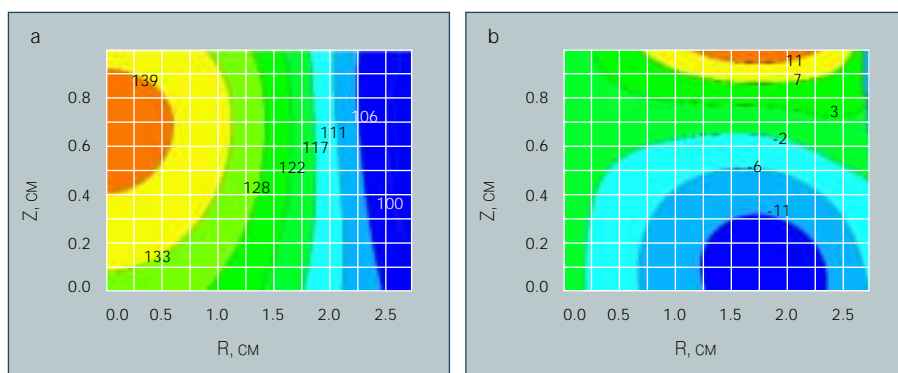
из уравнений Максвелла в сочетании с законом Ома. Учет энергетического баланса необходим в силу того, что переход между кинетической и тепловой энергией и омический нагрев оказывают существенное влияние на поведение потока плазмы. На поток от катода к аноду оказывают влияние также давление и электродинамические силы. Тогда как характерная форма дуги в газовых выключателях определяется главным образом интенсивным течением газа, для электрической дуги в вакууме определяющим является электромагнитное поле. Это одна из причин того, что коммерческого программного обеспечения для моделирования до настоящего времени не было создано.

На данный момент делается допущение о наличии вращательной симметрии для сокращения продолжительности вычислений, но по мере отработки модели планируется перейти к трехмерному представлению и более сложным геометрическим схемам, таким как, например, контакты с радиальным магнитным полем (РМП). Стоит также заметить, что применяемые базовые уравнения не ограничены исключительно прерывателями с ОМП.

Заглядывая внутрь дуги

К численному моделированию приступили с рассмотрения сверхзвукового течения потока [4,5]. При сжатии сверхзвукового потока скорость его падает, а высвобождаемая кинетическая энергия переходит в тепловую. Такое поведение является характерной особенностью сверхзвукового течения, в противоположность поведению дозвуковых течений. (Сверхзвуковая диффузная дуга существует только при малой или нулевой напряженности ОМП и слабых токах.)

5 Распределение напряженностей (а) осевой (мТл) и (б) радиальной (мТл) составляющих магнитного поля в дозвуковой диффузной дуге при 22 кА, 5 мТл/кА



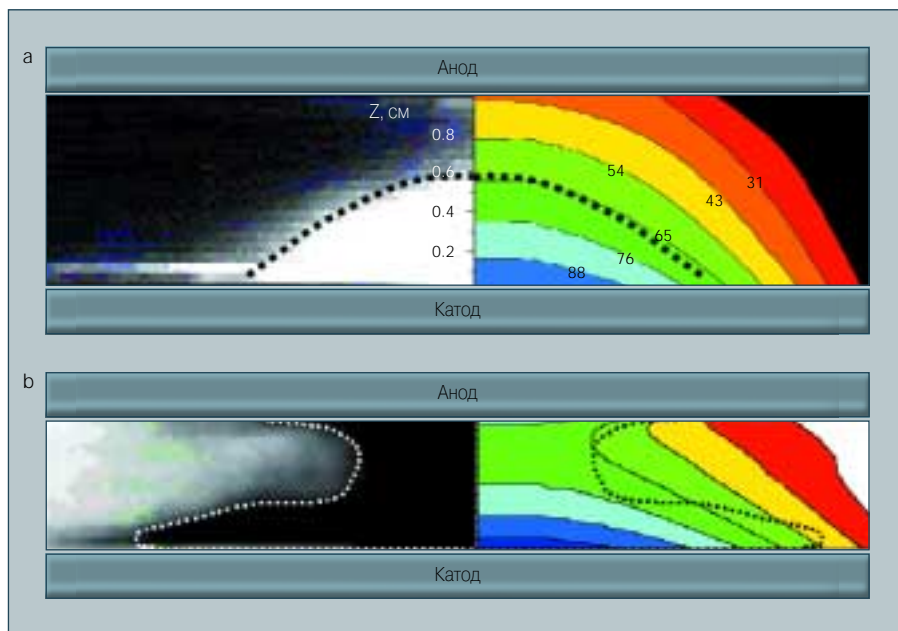
Затем было проведено моделирование в диапазоне дозвуковых скоростей течения потока, который наиболее интересен при изучении сильноточных электрических дуг в вакуумных прерывателях.

Модель позволяет рассчитать величины, которые другим способом измерить сложно, это давление (рис. 3) и ток в плазме, а также их влияние на поведение дуги. Сила Лоренца воздействует на движущиеся ионы и электроны, что приводит к азимутальному току и перемещению массы. Направления азимутального перемещения ионов и электронов взаимно противоположны. Вблизи анода плазма вращается как твердое

тело, а азимутальная скорость ионов возрастает приблизительно линейно в радиальном направлении. Например, на рис. 4 показана дозвуковая диффузная дуга при 22 кА и 5 мТл/кА. Кольцевой азимутальный ток создает магнитное поле, весьма сходное с полем диполя (рис. 5). Это поле накладывается на приложенное ОМП, в результате чего осевая составляющая магнитного поля выше вблизи центра контактов. Ранее было невозможно рассчитать влияние тока в плазме на приложенное ОМП.

Видеозапись подтверждает наличие области повышенного давления и плотности плазмы перед катодом,

6 Сопоставление интенсивности света, полученной из эксперимента (слева) и с помощью модели (справа). Пиковый ток дуги равен 15 кА для диффузной дуги (а) и 22 кА для диффузно-столбовидной дуги (б).



дом. Более того, изображения сильноточных диффузных дуг, полученные при высокоскоростной фотосъемке, демонстрируют, что максимальная интенсивность света всегда наблюдается непосредственно перед катодом.

Важность экспериментальной проверки

В первом приближении можно принять, что удельная яркость свечения на единицу объема пропорциональна плотности плазмы. Для получения интенсивности света, регистрируемой в экспериментах с бокового положения, необходимо проинтегрировать местную интенсивность вдоль линии взгляда. На рис. 6а сопоставляется половина видеонизображения (слева) с результатами компьютерного моделирования (справа) для сходных условий. Контур яркой зоны (пунктирная линия слева) зеркально отображен на изображение результатов моделирования. Наблюдаемое совпадение можно считать приемлемым, если учесть, что ограниченный динамический диапазон системы регистрации влияет на регистрируемый световой сигнал и создает впечатление более резкого изменения интенсивности света по сравнению с действительным.

Однако одного лишь сравнения контуров на видеозаписи недостаточно для подтверждения правильности применяемой модели. Необходимо также рассчитать абсолютные величины, такие как давление, скорости ионов и значения плотности, и сравнить их с результатами эксперимента. Поскольку эти величины экспериментально измерить сложно, количество располагаемых данных ограничено. Тем не менее, рассчитанные температуры и плотности электронов, азимутальное вращение плазмы и осевое магнитное поле, генерируемое азимутальным током, неплохо согласуются с результатами измерений. Что касается других параметров, таких как осевые температуры и скорости ионов, оказалось возможным лишь воспроизвести характер изменения. Это может быть связано с упрощенной геометрией. Стоит заметить, однако, что не наблюдалось и противоречащих тенденций, которые могли бы указывать на то, что определенные допущения или упрощения неверны.

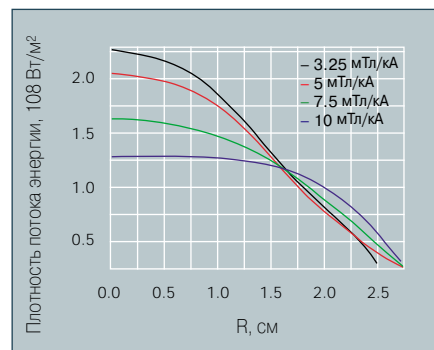
Поток тепла на контактах является одним из ключевых параметров при разработке вакуумных прерывателей. Это связано с тем, что развитие существенного испарения материала контактов влияет на переход от диффузного режима к режиму диффузно-столбовидного разряда. Помимо этого, важно еще и то, что плотность паров металла и, косвенным образом, интенсивность испарения в нулевой точке тока определяют пределы размыкающей способности. Тепло передается аноду в результате удара двух потоков носителей – электронов и ионов. Радиальное распределение

потока тепла становится более широким по мере усиления ОМП (рис. 7).

Для расчета температуры электродов, глубины зоны плавления и таких параметров,

как плотность и давление паров, зависящих от температуры поверхности, применяется отдельная модель. Для жидкой зоны и прилегающего твердого материала решается нестационарное уравнение теплового баланса. В расчете, проводимом для одномерного случая, учитываются не только потери энергии за

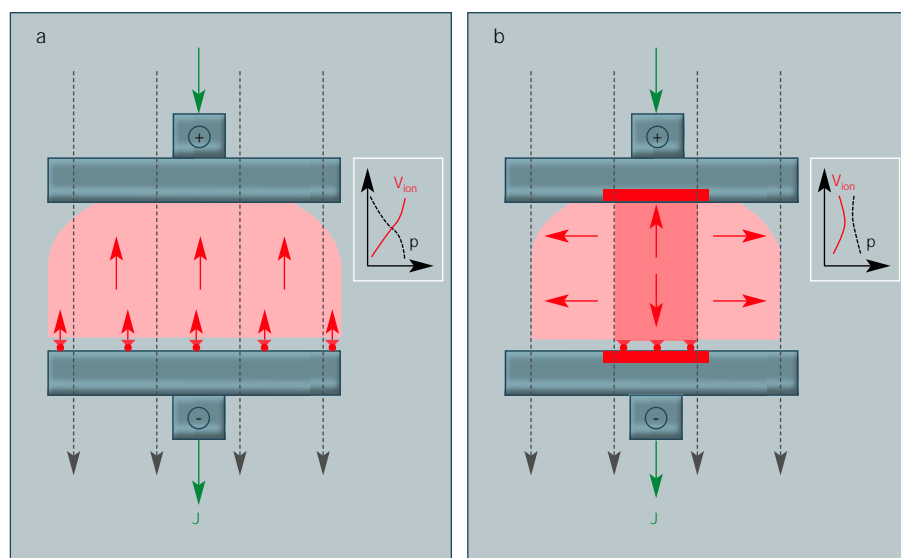
7 Изменение радиального распределения



Изменение радиального распределения плотности теплового потока в зависимости от приложенного осевого магнитного поля при неизменном токе дуги 15 кА

счет теплопроводности, но также и потери на испарение материала контактов и тепловое излучение. Преимущество МПД-модели в данном случае проявляется в том, что она дает полезные исходные данные для моделирования плавления электрода, для которого ранее применялись эмпирические значения или значения, принятые априорно.

8 Условия в (а) дозвуковой диффузной дуге и (б) диффузно-столбовидной дуге

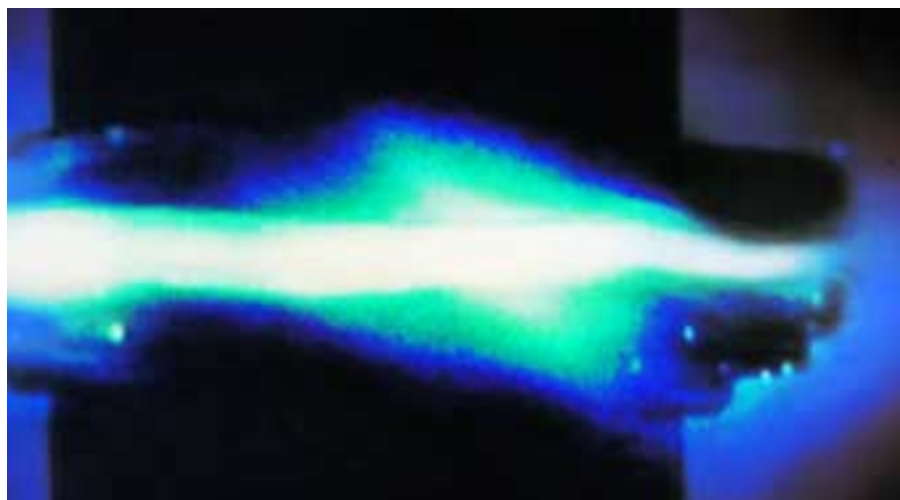


J Ток от анода к катоду
P Распределение давления вдоль оси от катода к аноду
V_{ion} Распределение скоростей ионов вдоль оси от катода к аноду

Еще одним важным результатом оказалось воспроизведение перехода от режима диффузной дуги к диффузно-столбовидной дуге. Для диффузной дуги характерно уменьшение давления в направлении к аноду (рис. 8а); в случае же диффузно-столбовидной дуги, как видно из результатов моделирования, давление вдоль оси становится постоянным (рис. 8б). На рис. 8б показано согласование между результатами моделирования и экспериментальными данными для диффузно-столбовидной дуги. Данная модель используется также для исследования влияния промежутка между электродами и распределения силы тока, а также влияния других граничных условий.

Дальнейшие усовершенствования данной модели и её реализация для действительных геометрических конфигураций приведут к созданию мощного средства, способного дать более точную информацию о явлениях, имеющих место внутри вакуумной дуги, и позволяющего проверять новые конфигурации и влияние изменений параметров конструкции, прежде чем начать экспериментальную работу. Несмотря на такую возможность, специалисты АББ считают необходимым проведение экспериментов для подтверждения расчетных результатов и получения «решающего доказательства» эффективности изменения конструкции.

Результатом дальнейшей работы будет создание мощного средства моделирования, позволяющего лучше изучить явление электрической дуги в вакууме и дающего возможность испытывать новые конфигурации до перехода к экспериментальным проверкам.



Д-р Ингмар Клеберг

ABB Corporate Research
Швейцария

Д-р Венкай Шанг

ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH
DE-40472 Ратинген
Германия
wenkai.shang@de.abb.com

Литература

- [1] **H. Fink, M. Heimbach, W. Shang:** Vacuum interrupters with axial magnetic field contacts. ABB Review 1/2000, 59–64.
- [2] **E. Schade, D. Shmelev, I. Kleberg:** Numerical modeling of the heat flux to the anode of high-current vacuum arcs. Proc. 21st Int. Conf. on Electrical Contacts, 2002, Zurich (Switzerland), 518–525.
- [3] **E. Schade, W. Shang, D. Shmelev, I. Kleberg:** Comparison of numerical simulations of behavior of high-current arcs in axial magnetic fields (AMF) with optical observations. Proc. XXth Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 2002, Tours (France), 451–458.
- [4] **E. Schade, D. Shmelev:** Numerical modeling of plasma behavior and heat flux to contacts of vacuum arcs with and without external axial magnetic field (AMF). Proc. XXth Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 2002, Tours (France), 44–51.
- [5] **M. Keidar, M. B. Schulman:** Modeling of the effect of an axial magnetic field on the high-current vacuum arc. IEEE Trans. Plasma Science, 29 (2001) 5, 684–689.

Опасная близость земли

Надежное обнаружение высокоимпедансных коротких замыканий линии, вызванных падением провода на землю

Джеймс Ступи, Мохамед Махарси, Рейнальдо Ньюки, Стивен А. Кунсман, Ратан Дас



В стране, которую опутывают более миллиона миль воздушных линий электропередачи, США, особенно высок риск одной из аварийных ситуаций – падения проводов на землю. Линии передачи, проходящие через местности с разнообразным рельефом и климатом, подвергаются воздействию самых различных условий, как нормальных, так и нестандартных. Серьезное происшествие может привести к падению находящихся под напряжением проводов на землю, где они представляют опасность для человека и окружающей среды. Инженеры энергосистем очевидно нуждаются в возможности быстрого обнаружения и ремонта поврежденной линии. Однако для этого сначала необходимо надежно выявить и проанализировать неисправности, вызванные контактом провода с землей. К сожалению, в том случае, если падение провода приводит к высокоимпедансному короткому замыканию (HIF, high-impedance fault), возникают сложности. При падении проводника на почву, асфальт или листву ток замыкания настолько низок, что обычные устройства защиты неспособны его отследить.

Разработанное недавно в компании АББ реле решает эту проблему посредством нескольких новых алгоритмов распознавания. Каждый из алгоритмов может вызвать срабатывание реле независимо, хотя можно также поставить срабатывание в зависимость от поступления сигналов о повреждении от всех алгоритмов.

Упавшие на землю или разорванные провода представляют собой потенциальную угрозу жизни. Если линия остается под напряжением, прикосновение к ней человека может привести к тяжелым травмам и даже летальному исходу. Образующийся дуговой разряд может вызвать пожар. Помимо этого, если на падение провода реагирует реле, которое приводит к срабатыванию выключателя на подстанции, может быть нарушена подача электроэнергии важнейшим потребителям. В результате под угрозой оказывается работа

больниц, аэропортов и систем управления движением. Такова потенциальная опасность падения проводов, которая

объясняет, почему электроэнергетики многие годы прилагали столько усилий для выработки надежного механизма обнаружения таких повреждений.

Компромиссы

Высокоимпедансное короткое замыкание происходит в том случае, если между проводом, находящимся под напряжением, и землей возникает нежелательный электрический контакт. Можно представить множество различных видов поверхности: дорожное полотно, тротуар, ветви дерева и т.п. Все эти объекты имеют одну общую особенность: они снижают силу тока в направлении точки обрыва до таких уровней, которые невозможно надежно уловить с помощью традиционных схем максимальной токовой защиты. Характерные для НИЗ токи в распределительной системе лежат в диапазоне от 0 А при контакте с асфальтом и сухим песком до 50 А при контакте с мокрой травой или 75 А при падении на железобетон.

Природу высокоимпедансных замыканий тщательно изучали с начала 1970х годов в надежде найти практически пригодный метод обнаружения таких неисправностей. Инженеры по релейной защите и ученые исследовали и испытали несколько решений, за многие годы было разработано несколько различных методов обнаружения НИЗ. Тем не менее, сложность связана с тем, что высокоимпедансные замыкания не только приводят к низким токам, но и проявляют себя случайным образом с нестабильными и сильными флуктуациями силы тока. Сигналы от замыкания имеют множество гармоник и включают высокочастотные составляющие (рис. 1). В большей части исследований в области НИЗ делался упор на разработке чувствительных, но надежных детекторов повреждений. В разработанных методах применяются, помимо прочего, анализ фазовых последовательностей, ней-

ронные сети, дополнительные каналы связи и(или) гармонический анализ.

Дополнительно усложняет ситуацию тот факт, что независимо от применяемого метода, не все высокоимпедансные замыкания можно обнаружить. Например, если проводник падает на землю вблизи конца линии передачи, то возникает очень малый ток замыкания, незаметный на фоне общей нагрузки, что затрудняет обнаружение такого события. Этот случай служит

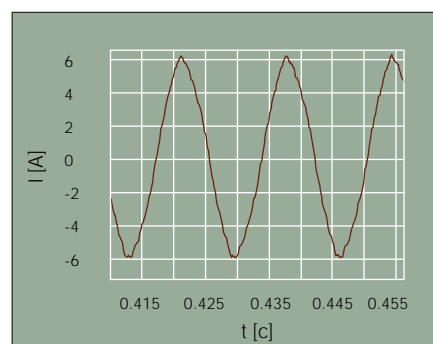
примером практической невозможности обнаружения всех НИЗ и достижения надежной защиты в отношении ложных срабатываний.

(Ложные сраба-

тывания происходят в том случае, если реле указывает на существование высокоимпедансного замыкания, тогда как в самом деле это обусловлено наличием в системе неисправности другого характера). Кроме того, хотя системы с дополнительными каналами связи и очень эффективны для обнаружения потери потенциала в распределительной линии, их экономическая эффективность оказывается крайне низкой. С учетом всех перечисленных проблем создание совершенной системы для обнаружения НИЗ ранее казалось практически невозможным.

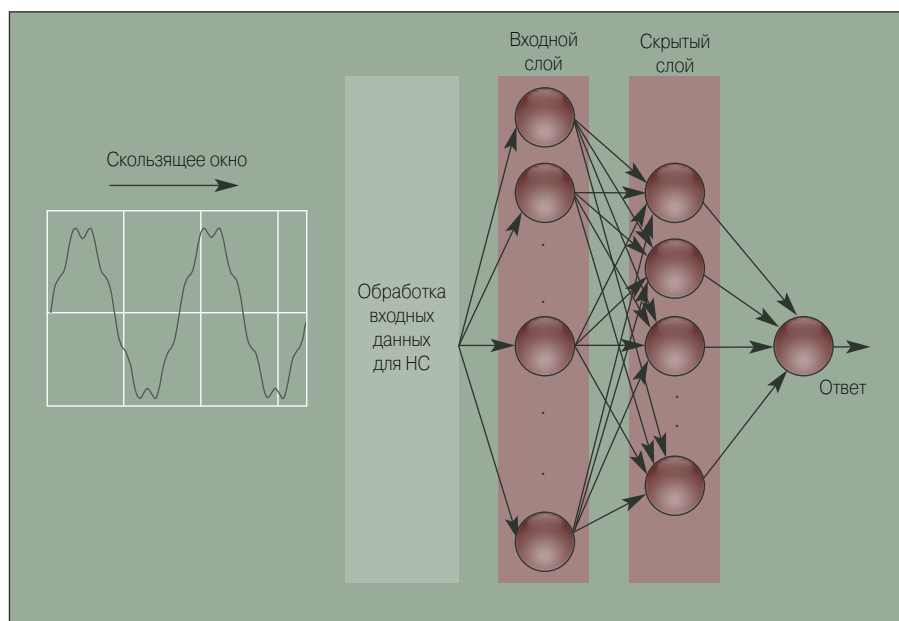
Сложность обнаружения высокоимпедансных замыканий в том, что они не только приводят к низким токам, но и проявляют себя случайным образом.

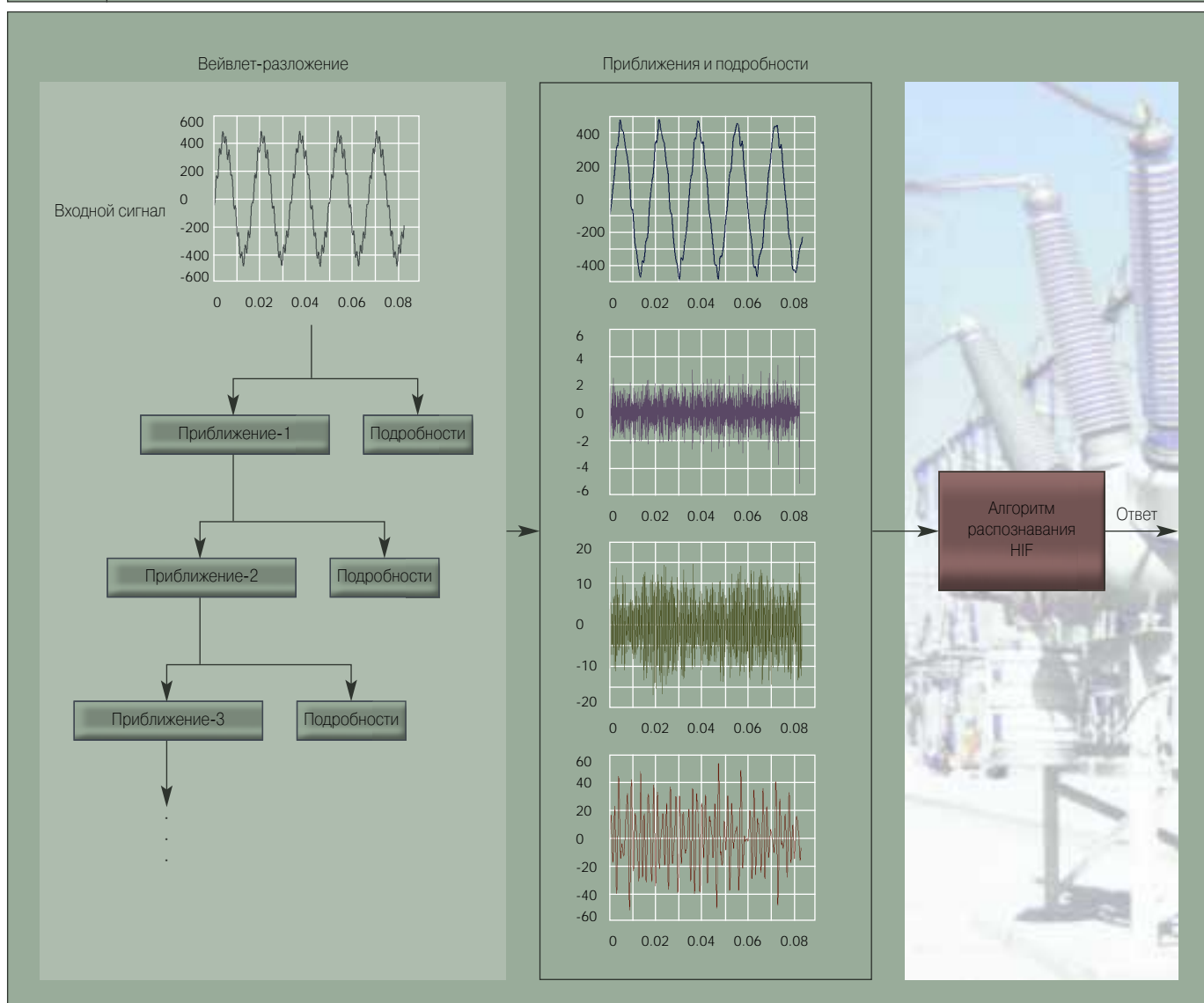
1 Характерная для высокоимпедансного повреждения форма сигнала



Инженеру по защите энергосистемы необходимо принять во внимание все компромиссы, возникающие при определении способа обнаружения НИЗ. Например, немедленное отключение линии может оказаться нецелесообразным: следует учесть последствия отключения светофоров, лифтов, систем отопления, оборудования систем жизнеобеспечения и т.д. Вместо отключения линии инженер может предпочесть подачу сигнала тревоги. В таком случае население будет предупреждено об опасности, а обслуживающий персонал отправляется на поиски обрыва линии. С другой стороны, если метод обнаружения способен различить НИЗ на главной питающей линии и на отводе, энергосистема может отключить подачу энергии при повреждении главной линии и ограничиться сигналами

2 Алгоритм на базе нейронных сетей





лом тревоги, если поврежден отвод. Какой из этих способов будет выбран – отключение линии или включение сигнализации, зависит от последствий каждого из действий.

Алгоритмы обнаружения

Производители реле ранее разработали несколько изделий для обнаружения НИЗ, но успех был незначителен. Системы с дополнительными каналами связи оказались слишком дорогими, тогда как системы на основе реле с алгоритмами распознавания не оправдали ожиданий. В последнее время работа в области обнаружения НИЗ в Колледже Лафайет¹⁾ (США) привела к созданию новых алгоритмов из области искусственного интеллекта: нейронных сетей, вейвлетов и

статистик высокого порядка. Они были затем проверены с помощью пакета MATLAB.

Алгоритм на базе нейросетей

Нейросетевой алгоритм, разработанный для обнаружения НИЗ, основан на двухслойной сети (рис. 2), обученной по принципу обратного распространения с адаптивной скоростью обучения. Данные для обучения сети были получены в ходе испытаний, проведенных в Колледже Лафайет. После фильтрации нижних частот окно данных длиной в три цикла норми-

¹⁾ Работа над алгоритмами обнаружения НИЗ в Колледже Лафайет велась под руководством проф. Исмаила Джунни.

ровали на единицу, а затем использовали в качестве исходных данных. Целью обучения было получение на выходе единицы для НИЗ-состояния и ноля для состояния, не являющегося НИЗ.

Алгоритм на основе вейвлетов

Вейвлет-алгоритм основан на кратномасштабном анализе (MRA) зарегистрированных токовых нагрузок посредством дискретного вейвлет-преобразования (рис. 3). Этот алгоритм дает описание характера изменения токовых нагрузок во времени в разных масштабах, при этом крупный масштаб соответствует низкочастотному составляющему, а мелкий масштаб – высокочастотному. Вейвлет-преобразование позволяет разложить токовый сигнал на вейвлеты, локализован-

ные как во временной, так и в частотной областях, и являющиеся растянутыми и сжатыми копиями одного и того же материнского вейвлета.

Алгоритм на основе статистик высокого порядка

Алгоритм на основе статистик высокого порядка базируется на спектрах высоких порядков, а именно двумерном и трехмерном спектрах, которые по определению являются двумерным и трехмерным преобразованиями Фурье кумулянтов третьего и четвертого порядков. На этот алгоритм влияют нестационарный характер токов при НИФ, их асимметричное статистическое распределение (в особенности на высоких частотах), ненормальность распределения или отсутствие сходства с белым шумом. Детектор был построен таким образом, что решение об обнаружении неисправности принимается либо с использованием только статистической обработки значений тока второго порядка, либо с использованием статистики третьего и четвертого порядков на дополнительном этапе. Общий принцип заключается в ответе на вопрос: задавшись набором данных и фиксированной частотой ложных срабатываний (или вероятностью ложного обнаружения) и предположив, что в нашем распоряжении имеются статистики второго, третьего и четвертого порядка для данных, каково будет реально достижимое решение относительно наличия неисправности?

Испытания показали, что коэффициент обнаружения высокоимпедансных замыканий с помощью реле АББ на основе новых алгоритмов близок к 100%.

Обнаружение НИФ с вероятностью, близкой к 100 процентам

Компания АББ в сотрудничестве с Колледжем Лафайет осуществила проверку и практическую реализацию разработанных алгоритмов обнаружения. Однако прежде чем любой из этих алгоритмов будет внедрен в реле защиты распределительной системы, необходимо определить частоту выборки и размер окна данных, оптимальные для анализа данных. Было обнаружено, что размер окна порядка нескольких секунд является достаточным для правильного обнаружения НИФ, а эффективное распознавание достигается при частоте выборки 32 замера на цикл. После этого

было принято решение реализовать статистический и вейвлет-алгоритмы в новом реле защиты распределительных линий, которое, соответственно, имеет частоту выборки 32 замера на цикл.

Было совершенно необходимо получить новые экспериментальные данные для испытания алгоритмов. Компании АББ удалось получить в Канадской ассоциации инженеров-электриков (СЕА) экспериментальные данные по НИФ, включая сигналы тока высокоимпедансного замы-

кания и тока нагрузки, а также результаты испытаний, в ходе которых проводники сбрасывались на различ-

ные поверхности. С использованием новых данных специалистам АББ удалось оптимизировать алгоритмы обнаружения таких неисправностей.

Результаты испытаний с новыми данными демонстрируют, что алгоритмы

работают эффективно и надежно. Коэффициент обнаружения высокоимпедансных замыканий с помощью реле на основе новых данных близок к 100%, а частота ложных срабатываний приблизительно равна 8%.

Вотум доверия

Конструкция нового реле для распределительных линий позволяет в дальнейшем реализовать нейронную сеть в качестве третьего алгоритма, работающего либо как независимый механизм распознавания, либо в конфигурации с «голосованием». Такая возможность окажется важной отличительной особенностью для изделия на рынке, особенно в США, где потенциальные возможности внедрения такой защиты оцениваются как наиболее широкие, а выгода для производителей электроэнергии – как самая значительная.



Джеймс Ступи
Мохамед Махарси
Рейнальдо Ньюки
ABB Inc.

Рэлей, шт. Сев. Каролина, США

Стивен А. Кунсман
Ратан Дас
ABB Inc.

Аллентаун, шт. Пенсильвания, США
stevan.a.kunsmann@us.abb.com

Литература

- [1] Downed power lines: Why they can't always be detected. IEEE Power Engineering Society, New York, Feb 1989.
- [2] B. M. Aucoin, R. H. Jones: High impedance fault detection implementation issues. IEEE Trans on Power Delivery, vol 11, no 1, Jan 1996, 139-148.
- [3] I. Jouny, S. Kaprielian: High impedance fault detection. Lafayette College, Electrical Engineering Department.

Industrial^{IT} System 800xA

Расширение охвата автоматизации с целью непрерывного повышения производительности

Марк В. Тафт

«Нужная информация нужным людям в нужное время» – именно такое правило конечные пользователи из различных отраслей промышленности неизменно называли ключевым фактором для принятия правильных деловых решений на недавнем форуме по управлению, прошедшем в США. Данные есть в наличии, но как сделать их релевантными в плане времени, контекста и формата? Каким образом извлечь максимальную пользу из всей информации, предоставляемой современными «интеллектуальными» полевыми устройствами? И каков наилучший способ её использования для дальнейшего повышения производительности?

Ответ заключается в расширении сферы действия системы автоматизации за пределы управления технологическим процессом, в выводе самого принципа автоматизации на новый уровень. Для решения этой задачи и была разработана расширенная система автоматизации компании АББ Industrial^{IT} Extended Automation System 800xA.



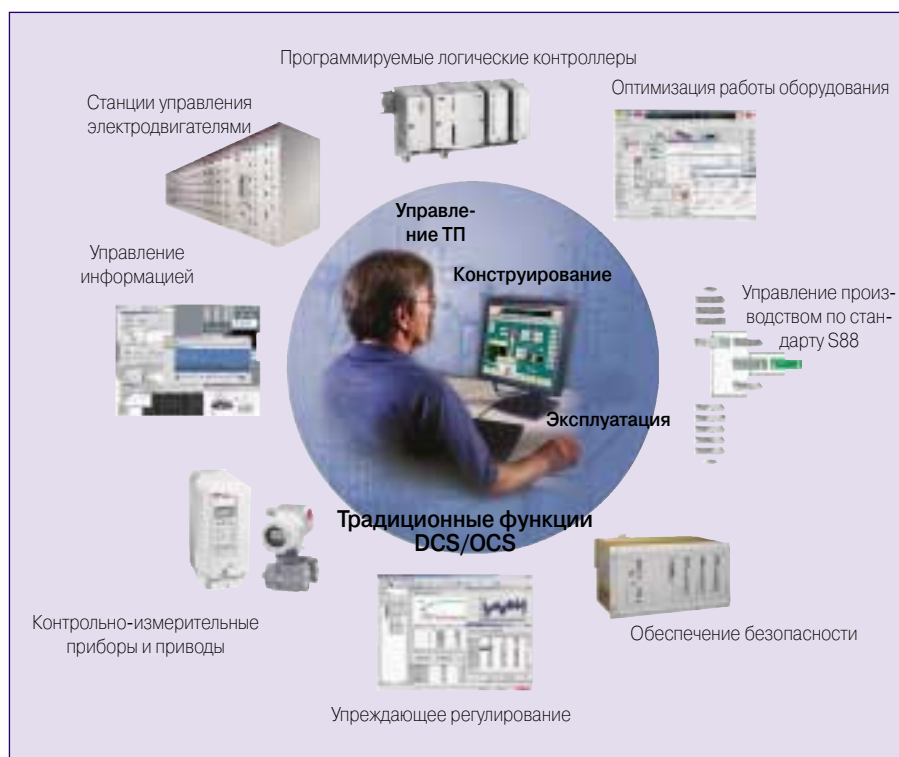
Автоматизация в значительной степени сопряжена с повышением производительности, и по этой причине компании из перерабатывающих и обрабатывающих отраслей промышленности повсеместно внедряли распределенные системы управления. Поскольку системы устанавливались с целью снижения непостоянства параметров процессов, повышения коэффициента готовности производственных мощностей и автоматизации задач, улучшение достигалось благодаря фокусировке в первую очередь на управлении технологическим процессом. В 1990-х годах компания АББ создала открытые системы управления. Эти системы призваны были «открыть» среду системы управления, сделав поступающую с заводских цехов информацию доступной для других приложений и улучшив взаимодействие с приложениями, предназначенными главным образом для обеспечения равномерного хода производственного процесса. Это были первые системы, в значительном количестве включавшие готовые компоненты, и в силу этого они могли послужить заменой специализированным вариантам рабочих мест операторов, инженеров и т.д. Однако основное внимание все так же уделялось в первую очередь управлению технологическим процессом (рис. 1).

Сегодня все изменилось. Теперь для обеспечения дополнительного прироста производительности сферу охвата системы автоматизации необходимо расширить за пределы управления ТП.

Интеллектуальное использование данных

Как уже говорилось, согласованное и предсказуемое управление ТП ранее реализовалось с помощью традиционных функций DCS/OCS – логического управления эксплуатацией, разработкой и технологическим процессом. Функции производственного управления были связаны с потребностями оператора производства. Интерфейсы к приложениям и устройствам, не входящим в систему управления и имеющим свои собственные хранилища данных, были, как правило, сконцентрированы и дублированы в базе данных системы управления, чтобы обеспечить доступ для отчетных и эксплуатационных нужд. Разработка и эксплуатация системы на основе такого подхода оказались непростыми. Практика хранения информации в нескольких местах усложняла поддержание целостности данных, поскольку отдельные программные приложения обновлялись разными темпами, а специализированные интерфейсы между ними часто требовали внимания специалистов. Повышение темпов развертывания периферийных приложений, связанных с повышением производительности, таких как системы качества, упреждающего регулирования, управления производством, информацией и техническим обслуживанием, привело к появлению различных пользова-

1 Для традиционных систем характерно наличие нескольких баз данных и рабочих интерфейсов для обеспечения доступа к интеллектуальным устройствам и приложениям.



тельских интерфейсов для различных типов источников информации. Позже, с появлением «интеллектуальных» полевых устройств, количество доступных данных для повышения производительности предприятия резко возросло. Однако для каждого устройства применяются собственные методы сбора и пере-

Принятая ранее практика хранения информации в нескольких местах усложняла обеспечение целостности данных.

дачи данных, что дополнительно повышает сложность задачи интеграции.

Таким образом, данные есть в наличии, но можно ли быть уверенным, что они окажутся доступными нужному человеку в подходящее время и в пригодном для использования формате? Для обеспечения максимального коэффициента готовности производствен-

ных мощностей, оптимального уровня качества, предсказуемых и приемлемых эксплуатационных характеристик – все это позволяет непрерывно повышать производительность – необходим анализ данных и активные действия. На недавнем форуме по управлению, проведенном консультативной группой ARC [1], одним из самых распространенных требований, высказанных конечными пользователями систем управления, было требование обеспечить нужным людям доступ к нужной информации, что дает возможность принимать грамотные деловые решения и выполнять необходимые действия. Стоит отметить, что это требование можно было услышать от представителей самых различных отраслей промышленности: нефтеперерабатывающей, пищевой и целлюлозно-бумажной.

Знакомство с расширенной системой автоматизации ABB Extended Automation System

С созданием системы Industrial^{PT} Extended Automation System 800xA компания АББ вывела концепцию автоматизации на новый уровень. С точки зрения доступа к информации и интеграции, функциональность системы выходит далеко за рамки управления технологическим процессом.

В системе в частности в среде единой виртуальной базы данных сведены: управление ТП, управление производством, системы безопасности, дискретная логика и управление последовательностью операций, упреждающее регулирование, управление информацией, интеллектуальная измерительная аппаратура, интеллектуальные приводы и станции управления электродвигателями, распоряжение производственным оборудованием и управление документами (см. рис. 2). Эта уникальная интегрированная системная среда позволяет применить лучшие в своем классе приложения от АББ или от сторонних производителей посредством применения патентованной технологии аспектных объектов компании АББ и процесса сертификации по IndustrialIT. Технология аспектных объектов, лежащая в основе системы 800xA, формирует унифицированную платформу, которая допускает хранение данных в исходном приложении, обеспечивая в то же время связь с производственным объектом. Таким образом, становится возможным получение доступа к данным непосредственно в исходном приложении в контексте конкретного производственного объекта без необходимости знать, откуда данные получены, и без необходимости отслеживать согласованность и целостность данных. Это элегантное решение снимает упомянутые выше конструкторские и эксплуатационные проблемы предыдущих реализаций.

Предоставление доступа к эксплуатационному управлению различным участникам процесса

С точки зрения эксплуатационной деятельности, соответствующие приложения системы 800xA – Operations applications – расширяют сферу действия удачного продукта компании АББ IndustrialIT Process Portal и обеспечивают единый, непротиворечивый и интуитивно-понятный интерфейс между человеком и системой для получения доступа к информации от всех приложений, включенных в среду Extended Automation, и взаимодействия с ней. Портал позволяет пользователям, работающим в различных связанных с производством направлениях, организовывать информацию и перемещаться по системе в контексте их профессиональной деятельности. Пакет предоставляет среду для работы, помогающую пользователям выявлять в технологическом процессе интересные их события в реальном времени, во время развития последних. Это достигается посредством адаптации отображаемых данных (а также, что не менее важно, данных, которые не отображаются) и способа их представления для конкретного участка технологического процесса в соответствии с должностью пользователя системы. Благодаря интегральной природе системы и способности привязывать к технологическому объекту все аспекты информации, предос-

таваемые различными приложениями системы, становится возможным быстрый и интуитивный анализ ведущих причин происходящих событий. И наконец, среда расширенной автоматизации способствует эффективной организации рабочих процессов с помощью электронных средств и междисциплинарной коммуникации, необходимой для принятия надлежащих мер.

Реакция большинства конечных пользователей на такую, ранее неслыханную, возможность неизменна: «Это замечательно! Мы многие годы стремились к этой цели, но до сих пор все решения были очень специфичными и требовали значительных начальных и текущих вложений для поддержания связи и актуальности различных компонентов системы. Какой объём работ требуется для разработки и поддержания всех связей в решении System 800xA?»

Ответ на этот вопрос легче всего получить, если взглянуть на особенность, которая является, возможно, самой выдающейся отличительной чертой среды АББ Extended Automation. Система 800xA реализует единую инженерную среду для конструирования, конфигурирования и поддержки информационных объектов, связанных со всеми приложениями, охватываемыми системой расширенной автоматизации, и для поддержания связей, необходимых для доступа в реальном времени ко всем ключевым сведениям, востребованным при проектировании, управлении, обслуживании и оптимизации всех объектов в производственном процессе. Конструкторские приложения 800xA обеспечивают среду для применения предварительно заданных стандартов, охватывающих все функции и возможности приложений, входящих в систему расширенной автоматизации, с целью разработки библиотеки стандартов для любого технологического процесса заказчика. Полученная библиотека стандартов затем развёртывается посредством конкретизации с созданием приложения расширенной автоматизации. Изменения в стандартах, произведённые после развёртывания, могут быть реализованы автоматически во всех объектах-приложениях системы, что гарантирует высокую эффективность и надёжность проектной среды и обеспечивает получение прогнозируемых результатов.

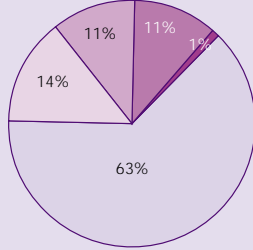
Каким образом система расширенной автоматизации позволяет повысить производительность?

Хороший пример положительного эффекта применения системы 800xA в плане повышения производительности можно найти, рассмотрев коэффициент готовности и эксплуатационные характеристики производственного объекта. В настоящее время в коммунальных службах и перерабатывающей промышленности преобладают два метода обслуживания кон-

2	Система расширенной автоматизации 800xA интегрирует управление процессом, все приложения расширенной автоматизации и интеллектуальные устройства в единую среду эксплуатационного и инженерного управления и управления информацией.
---	--

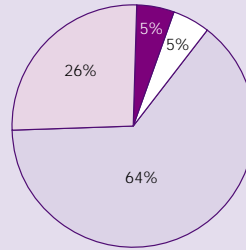


Дифманометры-расходомеры



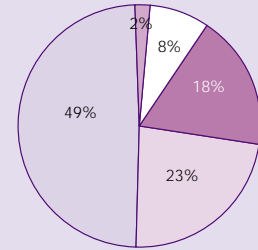
- Действия не требуются (63%)
- Интерфейс технологического аппарата (14%)
- Изменение диапазона (11%)
- Корректировка дрейфа (11%)
- Конфигурирование (1%)

Манометры



- Действия не требуются (64%)
- Интерфейс технологического аппарата (26%)
- Калибровка (5%)
- Аппаратное обеспечение (5%)

Дифманометры-уровнемеры



- Действия не требуются (49%)
- Изменение диапазона (2%)
- Аппаратное обеспечение (8%)
- Корректировка дрейфа (18%)
- Интерфейс технологического аппарата (23%)

трольно-измерительной аппаратуры: профилактическое (плановое) и корректирующее (внеплановое) техническое обслуживание. Профилактическое обслуживание – это мероприятия, выполняемые по графику на основании опыта или разработанных рекомендаций и направленные на снижение или исключение риска возникновения отказов, могущих привести к остановке производства. Корректирующее обслуживание выполняется «по факту», т.е. в том случае, если в процессе эксплуатации прибор отказал и требуется немедленно выполнить его ремонт.

Отказы в настоящее время – явление редкое, поскольку большая часть промышленных измерительных приборов при работе в расчётных условиях имеет среднюю наработку на отказ около пяти лет или больше. Изменение рабочих диапазонов и дрейф показаний требуют вмешательства человека, но необходимость этого также в значительной мере снижается при использовании промышленных шин (технологий fieldbus) и цифровых датчиков. Датчики давления, например, являются, по сути дела, безотказными приборами. Тем не менее всегда

Технология аспектных объектов, лежащая в основе системы 800xA, позволяет хранить данные в исходном приложении, в то же время, обеспечивая связь с производственным объектом.

существует вероятность возникновения нестабильных условий работы и непредвиденных событий в ходе процесса, которые оказывают существенное влияние на работу устройств (например, на точность измерения или работоспособность датчика). Продолжительная эксплуатация в тяжёлых условиях со временем

окажет влияние на точность измерения. Если это произойдет незаметно, устройство будет продолжать передавать в систему управления неверные показания до следующего планового обслуживания, которое может быть проведено лишь через несколько месяцев.

Чтобы предотвратить это, все датчики давления регулярно поверяются вручную. Однако это расточительная и дорогостоящая практика: более чем в 60% плановых вмешательств результат оказывается отрицательным – «отказов не обнаружено». Вряд ли стоит пояснять, что это отрицательно влияет на производительность работы.

Датчики давления и их обслуживание

На рис. 3 приведенные выше соображения проиллюстрированы на примере обслуживания датчиков давления в компании Shell [2].

Благодаря сведению интеллектуальных полевых устройств воедино с документацией, функциями оптимизации работы оборудования и управления техобслуживанием, система ABB Extended Au-

tomation гарантирует, что события, ведущие к отказам или снижению эксплуатационных характеристик, будут обнаружены, а время от момента обнаружения до уведомления, принятия решения и его реализации будет сведено к минимуму. Это достигается следующим образом:

- События, ведущие к возможному снижению характеристик, распознаются и регистрируются датчиком давления.
- Система отслеживает критичность этих событий и уведомляет соответствующий персонал при достижении предельного значения.
- Персоналу, отвечающему за принятие мер, предоставляется связанная с событием информация и рекомендации по действиям.
- Упрощается электронное сопровождение работы, гарантирующее принятие эффективных мер.

Современные интеллектуальные полевые устройства накапливают огромное количество данных, которыми можно воспользоваться для оценки исправности и эксплуатационных качеств. Датчик давления 2600T компании ABB, например, распознает выход параметров среды за пределы нормальных условий эксплуатации устройства – например, превышение давления. Прибор отслеживает величину превышения, длительность и регулярность таких событий и определяет, находится ли под угрозой точность измерения. Тем временем появление стандартов промышленных шин (fieldbus), FDT (Fieldbus Device Tools – инструментальные средства управления полевыми устройствами) и DTM (Device Type Manager – административный компонент типа устройства) сделало возможным доступ к этим данным из систем управления и других приложений по управлению объектами. Проблема в данном случае заключается в том, что для определения необходимости принятия мер ответственное лицо должно получить информацию от устройства. В большинстве компаний не предусмотрен персонал, необходимый для регулярного обследования устройств и проведения такой оценки.

Система 800xA обеспечивает все функции, необходимые для непрерывного мониторинга состояния и оптимизации процесса техобслуживания. Рассмотрим теперь работу системы на практике.

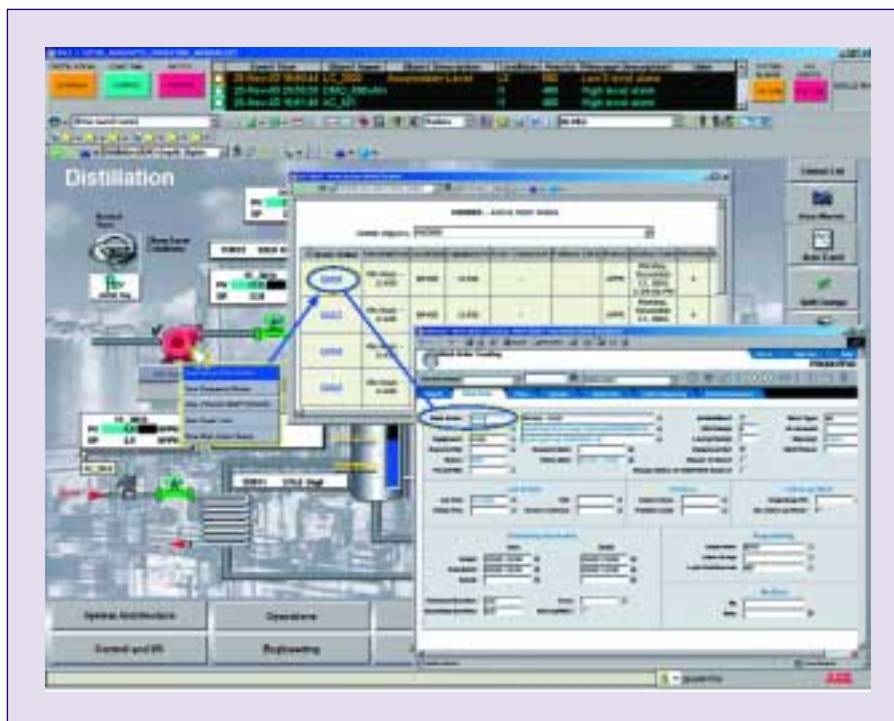
Прогнозирование снижения эксплуатационных характеристик

Приложение оптимизации Asset Optimization системы 800xA включает в себя мониторы объектов, отслеживающие техническое состояние полевых устройств, таких как датчик давления 2600T. Такие мониторы комбинируют сведения о состоянии с информацией из других источников, связанных с цепочкой, для определения общего состояния объекта. В дополнение к определению исправности оборудования, монитор может обнаружить признаки снижения эксплуатационных характеристик и уведомить соответствующего сотрудника о необходимости дальнейшего обследования. При использовании датчика 2600T обслуживающий персонал может быть поставлен в известность несколькими способами; для примера можно привести передачу сообщений на пейджер или электронную почту. На этом этапе нет необходимости привлекать внимание оператора, поскольку речь идёт не о технологическом аварийном сигнале, а лишь об уведомлении о необходимости работ по обслуживанию.

На рабочем месте инженера по эксплуатации системы 800xA (Operations workplace) инспектор по обслуживанию, вошедший в портал технического обслуживания, сможет просмотреть список всех активных уведомлений от мониторов объектов. Он также может обнаружить на графической схеме указание на то, что для контура, связанного с данным «датчиком давления», отмечено ухудшение технического состояния объекта. Правым щелчком мыши по изображению ус-



4 Пользователь может дать системе 800xA команду автоматически преобразовывать информацию о рекомендуемых действиях в наряд на выполнение работ в CMMS, а затем отслеживать проведение работ. Все операции выполняются посредством контекстного доступа с помощью пользовательского интерфейса 800xA Process Portal.



тройства он может открыть отчёт о событиях монитора объектов.

В этом отчёте пользователю предоставляются сведения о характере события и рекомендации по действиям в данной ситуации. Если для анализа собы-

тия требуется дополнительная информация, пользователь щелчком правой кнопки мыши может открыть экран DTM и просмотреть информацию, поступающую от полевого устройства, документацию изготовителя или любую другую информацию, связанную в среде расширенной автоматизации 800xA Extended Automation с данным устройством. Удостоверившись, что рекомендуемые монитором объекта действия целесообразны, пользователь может внести дополнительные комментарии и дать указание системе 800xA автоматически преобразовать информацию в наряд на проведение работ в рамках CMMS¹

(рис. 4). Таким образом, обеспечивается ведение эффективного, документированного рабочего процесса, допускающего проведение проверки. В таком

процессе становятся возможными обнаружение, анализ и разрешение ситуаций, которые могли в ином случае оказаться незамеченными и в дальнейшем привести к ухудшению эффективности производства, снижению качества, снижению качества

или остановке производства вследствие отказа объекта.

Непрерывный мониторинг состояния объектов позволяет сменить методику профилактического техобслуживания на обслуживание по прогнозу в ответ на уведомления о снижении рабочих характеристик объекта до наступления его фактического отказа и концентрирует обслуживание на устройствах, нуждающихся в нём. Тем самым существенно сокращается количество излишних проверок устройств на производственной установке.

Система 800xA связывает интеллектуальные полевые устройства с документацией и функциями управления техобслуживанием и оптимизации работы оборудования.

¹ Computer Maintenance Management System – компьютерная система управления техническим обслуживанием

Погружение на дно моря

Газовое месторождение Ормен Ланге располагается в 120 километрах к северо-западу от г. Кристианзунд в Норвежском море.

Месторождение расположено на глубине около 3000 метров и имеет размеры около 40 километров в длину и от 8 до 10 километров в ширину. Месторождение готовится к эксплуатации компанией Norsk Hydro, но после пуска в эк-

сплуатацию работа будет передана компании Norske Shell.

Когда месторождение Ормен Ланге начнет функционировать, на поверхности воды не будет видно никаких признаков работы, поскольку все производственные объекты будут расположены на дне моря на глубинах от 800 до 1000 метров. Системы автоматизации и мониторинга расположены на берегу и связаны с донным оборудованием посредством 120-километрового кабеля. В силу географического расположения и функциональной организации оборудования применение промышленной шины оказывается обязательным.

Требуется применение различных протоколов промышленной шины, поскольку компания Norsk Hydro желает иметь возможность выбрать для каждой из задач лучшие в своем классе системы автоматизации. Основная часть контрольно-измерительного оборудования, связанного с управлением ТП, будет использовать шину FieldBus Foundation, тогда как клапаны и позиционеры будут интегрированы посредством протокола HART. Интеллектуальные станции управления электродвигателями будут связаны по протоколу TCP/IP INSUM, а системы защитной блокировки будут построены на шине ASI. Следовательно, система автоматизации должна быть способна свести воедино несколько «островков автоматизации», построенных на различных промышленных шинах.

Компания АББ предоставляет систему 800xA для обеспечения одновременного доступа к нескольким протоколам промышленной шины, что даст компании Norsk Hydro возможность выбрать самые лучшие решения для каждой задачи.

Компания АББ предоставляет свою систему расширенной автоматизации IndustrialIT 800xA Extended Automation для обеспечения одновременного доступа

к нескольким протоколам, чтобы дать возможность компании Norsk Hydro выбрать лучшие решения для каждой области применения. В проекте задействовано приблизительно 6500 устройств ввода-вывода, связанных с управлением ТП, из которых около 800 ра-

ботают с шиной Foundation Fieldbus, а остальные совместимы с шиной HART. Кроме того, имеется около 2500 линий защитной сигнализации, для которых компания АББ установит свою систему защиты, сертифицированную по нормам SIL2. Система INSUM MSN компании АББ будет следить за станциями управления электродвигателями. Наконец, комплекс 800xA способен интегрировать измерительные системы, мехеустойчивые контроллеры, системы мониторинга технического состояния и подводное оборудование.

Система расширенной автоматизации позволит при обнаружении неисправностей уведомлять специалистов в центрах технической поддержки на самом раннем этапе благодаря функциям удаленной диагностики промышленного оборудования, такого как клапаны и вращающиеся машины. Это революционное приложение открывает новую эру в разведке и добыче нефти и газа, в особенности с учётом будущих проектов «интеллектуальных» месторождений.

Ощутимое повышение производительности

Система IndustrialIT 800xA Extended Automation System ощутимо повышает производительность, предоставляя клиентам возможность использовать интегрированную информацию со всего предприятия для удаленной диагностики и технического обслуживания на основе прогноза. Повышение производительности достигается в системе 800xA посредством снижения изменчивости параметров технологического процесса, повышения коэффициента готовности и автоматизации некоторых задач.

Комплекс включает периферийные системы в систему автоматизации для создания рабочей среды, обеспечивающей:

- сокращение времени на принятие и реализацию решений;
- оптимизацию коэффициента готовности и эксплуатационных характеристик оборудования;
- интеграцию данных для повышения их доступности;
- расчет на максимальные характеристики.

Марк В. Тафт

ABB Automation Technologies
Уиклифф, шт. Огайо, США
mark.taft@us.abb.com

Литература

[1] Driving operational excellence in manufacturing. ARC Management Forum, Orlando, Florida, Feb 10–12, 2003.

[2] В. Douma: Shell global solutions: asset management in future plant automation. Presentation to the Fieldbus Foundation End User Council, Cologne, Germany, May 2003.

«Холодный» запас

Система накопления энергии на базе аккумуляторных батарей для Golden Valley Electric Association

Тим ДеВриес, Джим Макдональд, Никлаус Умбрихт, Герхард Линхофер

Зимы на Аляске холодные. Если температура падает ниже -50°C , то отключение электроэнергии – это по-настоящему плохая новость. Надежность электроснабжения приобретает первостепенное значение, если при отключении питания ваши водопроводные трубы могут промерзнуть насквозь всего за несколько часов!

Одним из способов борьбы с перебоями является наличие аварийного источника, который будет подавать энергию в сеть, пока не запустится резервный генератор. Аккумуляторный резерв обеспечивает более экономически и экологически оправданное решение по сравнению с «горячим резервом» – работающими в случае аварии газовыми турбинами. В августе прошлого года в г. Фэрбенкс, штат Аляска, была торжественно введена в строй крупнейшая в мире система накопителей энергии на базе аккумуляторных батарей. Помимо стабилизации местной энергосистемы она сократит количество сбоев подачи электроэнергии в этом районе на 65%. Поставкой и монтажом этой системы занимался консорциум во главе с компанией АББ.



Golden Valley Electric Association (GVEA) является сельским кооперативным предприятием электроснабжения, с центром в г. Фэрбенкс, штат Аляска, который обслуживает 90 000 жителей на площади более 2200 кв. миль. Надежное энергоснабжение жизненно важно для местного населения, так как многие живут в удаленных районах, а зима температура может падать до -50°C . Таким образом, необходим резервный источник питания на случай сбоя.

Традиционные решения по обеспечению резервного питания требуют строительства и обслуживания вырабатывающих и передающих мощностей, значительно превышающих нормальные потребности. Выбор, сделанный GVEA в пользу системы накопителей энергии на базе аккумуляторных батарей (BESS), отражает желание установить систему, которая является экономически целесообразной и эффективной альтернативой подобным техническим решениям.

15 важных минут

Основой крупнейшей в мире аккумуляторной системы накопителей являются два основных компонента: преобразователь, спроектированный и поставленный компанией АББ, и никель-кадмиевые (Ni-Cd) аккумуляторные батареи, разработанные фирмой Saft. Преобразователь преобразует электроэнергию постоянного тока аккумуляторов в напряжение переменного тока, готовое к передаче по сети GVEA.

Аккумуляторы являются средством хранения энергии. Они могут отдавать до 27 МВт электроэнергии в течение 15 минут, давая энергосистеме достаточно времени, чтобы запустить резервный генератор. Система BESS способна вырабатывать 46 МВт в течение короткого промежутка времени, однако основным требованием клиента является обеспечение 15-минутного интервала между внезапным прерыванием подачи энергии и запуском резервного генератора.

Хотя изначально конфигурация BESS предусматривала 4 аккумуляторные секции, она может быть легко расширена до шести секций для обеспечения полной мощности 40 МВт в течение 15 минут. В конечном итоге система может быть расширена до восьми аккумуляторных секций, обеспечивая гибкость, которая позволит клиенту увеличить номинальную мощность или продлить полезный ресурс системы свыше запланированных 20 лет.

Проектные и системные требования

По окончательным техническим условиям от поставщика требовалось предоставить решение «под ключ» и гарантировать, что в течение двадцати лет система BESS сможет подавать 40 МВт в течение 15 минут, с понижением мощности 4 МВт/мин по истечении 15-минутного интервала. От системы требуется способность работать во всех четырех квадрантах и обеспечивать плавное регулирование активной и реактивной мощности в рамках всего рабочего диапазона. Технические условия также требовали, чтобы система BESS могла работать в автоматическом режиме, так как GVEA не планировала укомплектовывать объект персоналом.

Для всех нижеприведенных характеристик энергосистемы должны были быть обеспечены номинальная мощность:

- Номинальное напряжение 138 кВ (1,0 pu)
- Нормальное долговременное напряжение при 0,90 pu (минимум) и 1,1 pu (максимум)
- Номинальная частота 60 Гц при девиации $\pm 0,1$ Гц
- Диапазон долговременного отклонения частоты от 59,0 Гц (мин.) до 60,5 Гц (макс.)

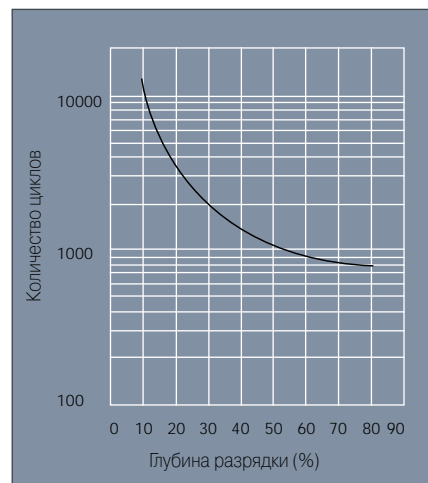
Семь режимов эксплуатации

Система BESS может работать в семи различных режимах:

- *Компенсация реактивной мощности:* Система BESS обеспечивает поддержание напряжения в энергетической системе в условиях стационарной и аварийной эксплуатации.
- *Горячий резерв:* В этом режиме BESS реагирует на удаленные отключения электроэнергии в системе Рейлбелт. Он инициируется тогда, когда частота в сети достигает 59,8 Гц, и BESS выходит на полную мощность при 59,4 Гц, если частота в сети продолжает падать. Горячему резерву присвоен самый высокий приоритет из всех режимов и он прерывает любой другой режим работы BESS.
- *Стабилизатор энергетической системы,* задействован для гашения колебаний в энергетической системе.
- *Автоматическое диспетчерское управление,* используется для обеспечения мгновенной поддержки системы в случае срабатывания автоматического выключателя на линии передачи или на местном генераторе. Система BESS имеет тридцать независимо запускаемых входов, которые удаленно

Основным требованием клиента к системе BESS является обеспечение мощности до 27 МВт в 15-минутном интервале между внезапным прерыванием подачи энергии и запуском резервного генератора.

1	Характеристики аккумуляторов BESS Количество циклов зарядки/разрядки по отношению к глубине разрядки
---	---



связаны с цепями отключения автоматических выключателей.

- *Запланированный рост нагрузки:* Этот режим запускается и прерывается системой SCADA и вводит BESS в режим регулировки частоты и напряжения для обеспечения реакции на включение таких нагрузок, как мощные электродвигатели.
- *Автоматическое управление выработкой электроэнергии:* В этом режиме BESS может работать как APV, аналогично электромашинному преобразователю.
- *Зарядка:* Диспетчер SCADA может контролировать мощность, необходимую для заряда системы BESS, и время начала подзарядки после разряда аккумуляторов.

Мировой рекорд

Во время приемосдаточных испытаний силовой преобразователь компании АББ и аккумуляторы Saft установили неофициальный мировой рекорд, достигнув максимальной мощности разряда в 26,7 МВт при двух работающих аккумуляторных секциях. При этом использовалась кратковременная перегрузочная способность аккумуляторных батарей. Таким образом, мощность системы BESS на Аляске на 27 % превышает мощность прежнего рекордсмена – системы BESS на 21 МВт, которая была введена в строй в 1994 году PREPA (Управление электроэнергии Пуэрто-Рико) в Сабана Ллана, Пуэрто-Рико.

Аккумуляторная батарея

Аккумуляторная батарея системы BESS на Аляске состоит из 13 760 высокопроизводительных перезаряжаемых никель-кадмиевых элементов Saft SBH 920, которые собраны в четыре параллельные секции для обеспечения номинального постоянного напряжения 5000 В и емкости 3680 ампер-час. Элементы объединены в модули по 10 штук для установки на проходных стеллажах.

Проход между стеллажами обеспечивает доступ вилочного погрузчика с поворотной рукой для монтажа и обслуживания.

Комплектная аккумуляторная система весит около 1300 тонн и зал, в котором она размещена, имеет размер 120 на 26 метров – примерно столько занимает футбольное поле.

Комплектная аккумуляторная система весит около 1300 тонн и зал, в котором она размещена, имеет размер 120 на 26 метров – примерно столько занимает футбольное поле. В первоначальной конфигурации система состоит из четырех отдельных параллельных секций, но может быть расширена до восьми секций. Каждая секция состоит из 3440 последовательно подключенных элементов.

Конструкция аккумулятора – пластинчато-гнездовая, с тонкими высокопроизводительными пластинами. Конструкция никель-кадмиевых аккумуляторов позволяет достичь полного срока службы 20-25 лет без ухудшения характеристик. Используемые элементы могут выдавать 80 % запасенной энергии в течение 20 минут.

Пластинчатые никель-кадмиевые аккумуляторы могут выдерживать повторяющуюся глубокую разрядку без ущерба для срока службы аккумулятора. На графике (1) показана зависимость числа рабочих циклов аккумулятора SBH от глубины разряда.

Выбранная конструкция имеет ряд преимуществ:

- Компактное размещение: стеллаж может иметь большую глубину, что сокращает место, необходимое для проходов (2).
- Простота монтажа: 90 % соединений выполняются на заводе-изготовителе, на месте выполняются только соединения между модулями.

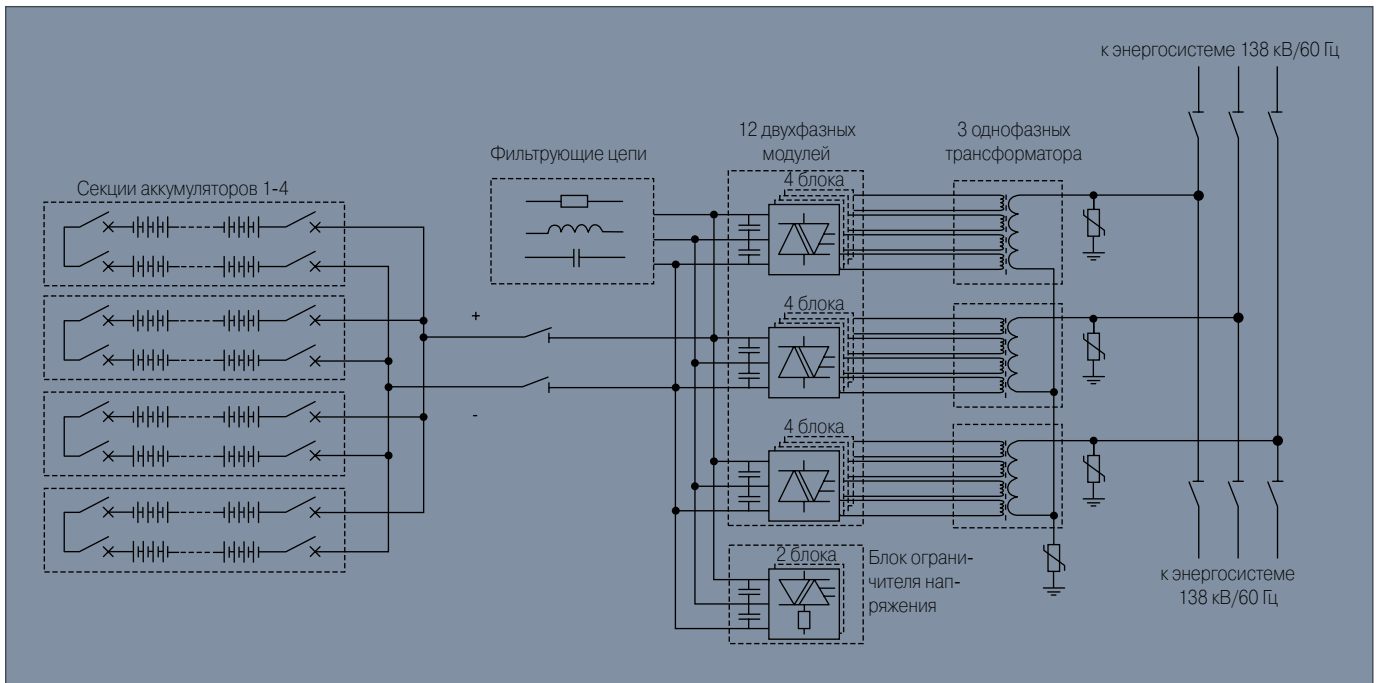
2

Установка аккумуляторного модуля, состоящего из десяти элементов



- Быстрота замены: В случае возникновения проблем с отдельным элементом, модуль, содержащий этот элемент, может быть заменен новым комплексным модулем менее чем за 30 минут.

- Минимальные потери мощности: 99 % межэлементных соединений выполнены жесткими медными шинами; таким образом, потери мощности, вызываемые гибкими кабельными соединениями, сведены к минимуму.



Полиэтиленовый вкладыш корпуса модуля (между аккумуляторными элементами и металлическим лотком) обеспечивает необходимую изоляцию. Каждый модуль снабжен автономной централизованной системой заправки, которая позволяет дозаправить все 10 элементов за одну операцию без снятия модуля со стеллажа.

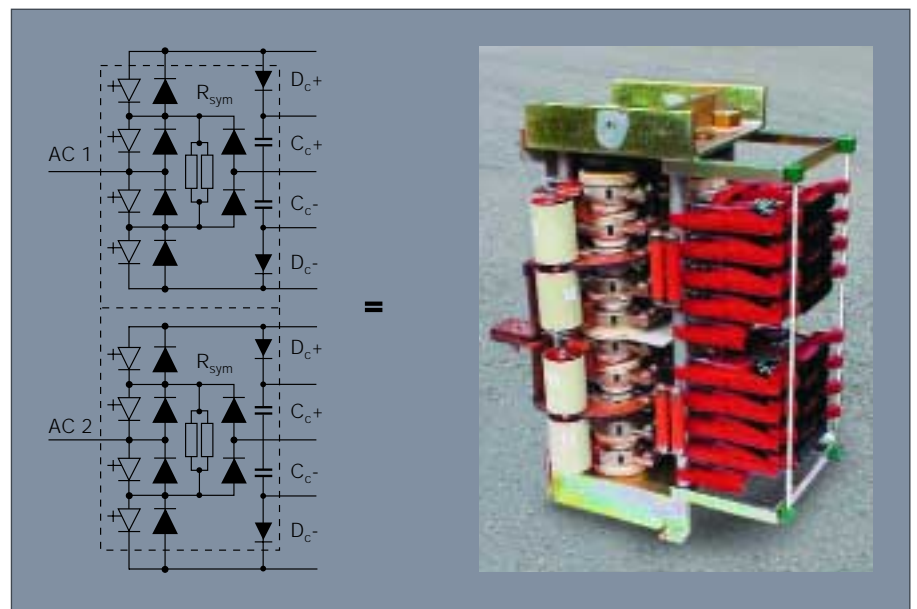
Многофункциональная система контроля аккумуляторов

Система контроля аккумуляторов поставлена компанией Philadelphia Scientific Inc. Она измеряет, регистрирует и сообщает о напряжении на модуле, токе секции, уровне электролита в элементе (один элемент в каждом модуле) и внутренней температуре элемента (также один элемент в каждом модуле).

Сбор и передача информации организованы по иерархической схеме. Самым низшим устройством в иерархии является рядовой блок. Имеется один блок на каждый модуль из 10 элементов, в его задачи входит измерение напряжения модуля, уровня электролита в элементе и внутренней температуры элемента. Каждый рядовой блок передает собранные данные на модуль среднего уровня. В каждой секции имеется свой модуль среднего уровня, который также измеряет общий ток секции. Модуль среднего уровня в свою очередь сообщает собранные данные на диспетчерский компьютер, который анализирует и отображает информацию. Этот компьютер также отвечает за пе-

редачу итоговых данных на интерфейс человек-машина и является основным терминалом для персонала BESS, которому необходим доступ к системе контроля.

Оптопары передают данные от блоков нижнего уровня на шину передачи данных, которая имеет электрическую прочность изоляции не менее 5000 В. Каждые 30 секунд выполняется 5560 замеров – всего



5,8 миллиардов замеров в год. При необходимости эта цифра может быть удвоена.

Электрическая система

В настоящее время смонтировано четыре аккумуляторных секции (рис. 3). Были выполнены все подготовительные работы для возможного расширения до восьми секций. Каждая секция (и подсекция) может быть отключена и полностью изолирована от остальной системы с помощью выключателей постоянного тока. Кроме того,

два разъединителя позволяют изолировать аккумулятор от шины постоянного тока преобразователя, если необходимо произвести техническое обслуживание аккумуляторов. Преобразователь при этом может продолжать работу и подавать в энергосистему реактивную мощность для регулировки напряжения. Фильтрующие схемы на шине постоянного тока устраняют риск возникновения резонанса на высоких частотах, в случае если нелинейные нагрузки создают в сети гармонические колебания. Преобразователь напряжения в сердце электрической системы состоит из стандартизированных блоков PEVB (силовых электронных компоновочных блоков). Один двухстоечный блок PEVB, соединенный по схеме NPC (с фиксированной нейтралью), составляет однофазный полумост (4). На каждую фазу устанавливается четыре полумоста, всего двенадцать мостов.

Преобразователь и трансформаторы спроектированы и изготовлены из расчета полной мощности на случай последующего увеличения числа секций аккумуляторов с четырех до восьми.

Стойки охлаждаются деминерализованной водой по замкнутому контуру.

Каждый мост соединен со своей выделенной обмоткой трансформатора. Напряжение, сформированное мостом, подается на трансформатор к отводу от средней части обмотки, в результате чего форма полученного напряжения аналогична по качеству форме напряжения вращающейся электромашин. Ограничители напряжения предотвращают броски напряжения, вызванные резкими

снижениями нагрузки или возможными нарушениями в электроэнергетической системе из-за повреждения вставки постоянного тока.

Преобразователь и трансформаторы спроектированы и изготовлены из расчета полной мощности на случай последующего увеличения числа секций аккумуляторов с четырех до восьми.

В качестве активных коммутационных устройств в преобразователе используются запираемые тиристоры с интегрированным блоком управления (IGCT), усовершенствованный тип запираемого тиристора (GTO). По сравнению с другими запираемыми устройствами, тиристоры IGCT обладают меньшими потерями в открытом состоянии и в процессе коммутации, а также прекрасными характеристиками запираения, которые позволяют сконструировать преобразователь без демпфирующих устройств.

Ниже приведены преимущества такой конструкции преобразователя:

- Трехуровневые модули среднего напряжения хорошо зарекомендовали себя как надежные изделия. Эксплуатация этих модулей показала низкую интенсивность отказов (показатель FIT).
- Применение двухстоечных модулей сокращает расстояние между силовыми полупроводниковыми приборами, что снижает паразитную индуктивность и уменьшает площадь, необходимую для размещения комплектного преобразователя.
- Так как диоды и конденсаторы схемы фиксации встроены в полупроводниковое устройство, паразитная индуктивность этой схемы также сведена к минимуму, что позволяет тиристоры IGCT отключать более сильный ток.
- Использование одной схемы фиксации для двух фаз сокращает потребность в громоздких и доро-

Компания АББ получает награду «Global Energy Award» – Система BESS на Аляске – «Проект года в области энергетики»

В декабре было объявлено, что компания АББ получила в 2003 году награду Platts Global Energy Award за свое участие в разработке крупнейшей в мире системы накопления энергии на базе аккумуляторных батарей. В августе 2003 года в систему было подано напряжение.

Говорит Питер Смитс, руководитель подразделения технологий силового оборудования компании АББ: «Мы рады тому признанию, которое заслужила наша часть проекта по высококачественной передаче электроэнергии. Устройства BESS стабилизируют местную энергетическую систему и на 65 % сокращают количество отключений потребителей в Золотой Долине.»

По прошествии пяти лет Platts Global Energy Awards стала самой престижной наградой в нашей отрасли. Награда «Проект года в области электроэнергетики» оценивает инновации, полезность и приверженность безопасности и защите окружающей среды.

гих фиксирующих дросселях и резисторах.

- При проектировании изделия главное внимание уделялось простоте обслуживания. Ко всем полупроводниковым приборам в стойке имеется свободный доступ, что позволяет легко осуществлять замену.

Активная и реактивная мощность

Система спроектирована для работы по четырехквadrантной схеме. Она может заряжать и разряжать аккумулятор и также может поглощать или выдавать реактивную мощность в энергетическую систему. Работа в каждом из этих режимов возможна при изменяющемся напряжении вставки постоянного тока по мере изменения условий зарядки аккумулятора.

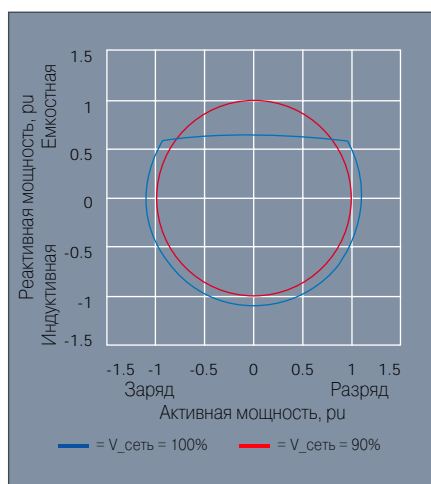
На рисунке 5 показан рабочий диапазон системы в плане активной и реактивной мощности для 90 % и 100 % номинального напряжения энергетической системы.

Система управления

Местное управление системой обеспечивается через интерфейс человек-машина ABB SPIDER MicroSCADA на базе операционной системы Microsoft Windows (6). Система управляется с помощью изображений, окон и функциональных клавиш с использованием мыши и клавиатуры. Последовательное управление и управление с обратной связью, а также общая защита обеспечиваются высокоскоростным программируемым контроллером (PHSC) производства АББ, который про-

5

Диапазон рабочих режимов BESS
График P/Q
1 pu соответствует 40 МВА



раммируется с помощью программы графического функционального планирования FUPLA. Контроллер PHSC хорошо зарекомендовал себя, и его надежность оказалась достаточной для управления обеими системами и обеспечения защиты в различных областях применения.

Помимо снижения количества отключений электроэнергии в районе Фэрбенкса, системы BESS обеспечивают особые преимущества в области выработки, передачи и распределения электроэнергии, а также в стратегическом планировании.

В управлении преобразователем сочетаются следующие функции:

- Последовательное управление
- Управление главными выключателями
- Нормирование сигнала
- Обработка измерительных сигналов
- Быстрое управление током в режиме питания от резервного источника в случае внешних КЗ
- Управление активной и реактивной мощностью
- Регулирование электрической нагрузки
- Взаимодействие с местным управлением и управлением SCADA/RTU
- Функции резервной защиты

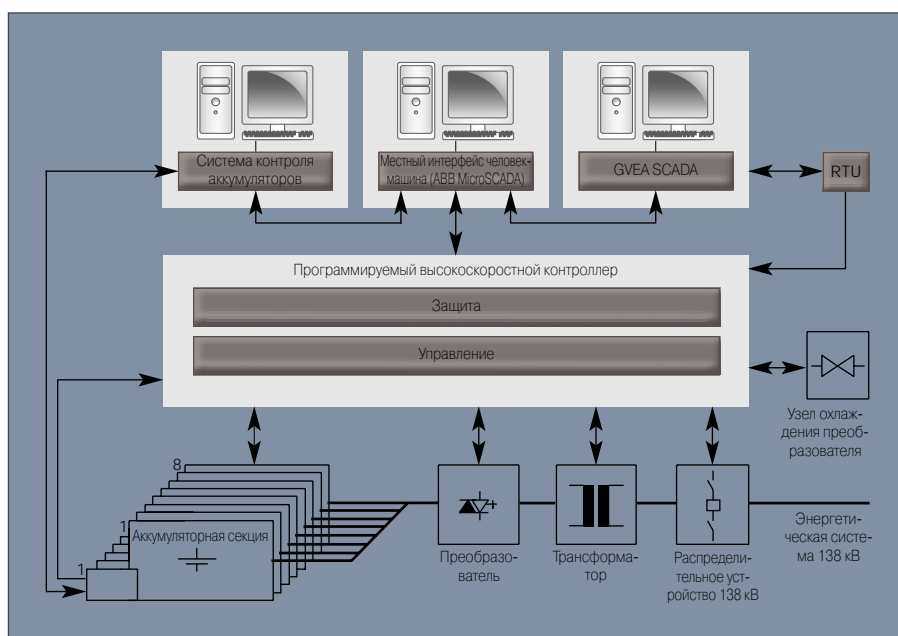
BESS – фактор стабильности

Выполняя общую задачу снижения количества отключений электроэнергии в районе Фэрбенкса, системы BESS на Аляске обеспечивают особые преимущества в области выработки, передачи и распределения электроэнергии, а также в стратегическом планировании:

В области передачи и распределения – регулирование напряжения, увеличение устойчивости в начальной фазе качаний, и сокращение потерь.

В области выработки электроэнергии система BESS обеспечивает горячий резерв, устранение ограничений по скорости падения мощности, следование за нагрузкой, «черный» пуск, сглаживание нагрузки и сокращение количества отложенных запусков турбины.

6 Общий вид системы управление и защиты



Среди стратегических преимуществ – улучшение качества электроэнергии, снижение пиков потребления, повышение надежности путем сокращения количества отключений, вызванных сбоями подачи электроэнергии.

Тем не менее, основным преимуществом является способность BESS обеспечивать стабильность системы немедленно после отказа главной линии электропередачи или генератора. Предоставляемый ею горячий резерв обладает потенциалом, который позволяет генераторам работать на пониженной мощности или полностью отключаться, что дает значительную экономии. Возможна почти мгновенная подача активной мощности.

Это важно тогда, когда система BESS должна выйти на рабочий режим еще до того, как последствия потери генератора станут заметны в точке общего электрического соединения.

Тим ДеВриес
Golden Valley Electric Association
trdevries@gvea.com

Джим МакДовал
SAFT
jim.mcdowall@saftamerica.com

Никлаус Умбрихт
Герхард Линхофер
ABB Automation Technologies
CH-5300 Turgi
niklaus.umbricht@ch.abb.com
gerhard.o.linhofer@ch.abb.com

ACS50

«проба пера» на потребительском рынке



Достижения в области конструирования приводов переменного тока привели к «малой революции» и в то же время обеспечили компании АББ массой новых возможностей для продвижения на рынке производимых ею регулируемых приводов. Революцию произвел недавно запущенный в производство компонентный привод ACS50, а новые возможности открываются в области производства потребительских товаров. В этой области имеется множество применений для малогабаритных и недорогих приводов, например, в бытовой и медицинской технике.

Компания АББ лидирует на рынке в разработке и поставке электроприводного оборудования для промышленности и строительства. Модельный ряд регулируемых приводов компании – один из самых больших в отрасли, и он подкреплен всеохватывающим опытом их применения. Примеры областей, где используются приводы АББ, включают: цементную, химическую, нефтегазовую, целлюлозно-бумажную отрасли промышленности, также металлургию, морские суда, пищевую промышленность и электростанции.

Чтобы удержать позиции лидера, компания следует стратегии, включающей наращивание своей доли рынка посредством непрерывных инноваций и освоение новых рынков благодаря внедрению более простых в использовании и малогабаритных изделий.

Для увеличения доли рынка компания АББ продолжает совершенствовать свой модельный ряд, делая приводы:

- более простыми в использовании, благодаря применению мощного программного обеспечения;

- более экономически эффективными, а следовательно, более конкурентоспособными;
- интеллектуальными.

Выдающиеся достижения в области разработки приводов переменного тока, совершенные за последние 20 лет, позволили компании также выйти на новые рынки. Совершенная технология, глубокое понимание нужд клиентов и особенностей их рынков – это решающие факторы успеха. Обратив внимание на рынок бытовой техники, компания АББ провела опрос

среди клиентов с целью определения того, какие характеристики регулируемых приводов являются наиболее желательными. В порядке «популярности» они оказались следующими:

- простота управления и настройки;
- «дружественный» интерфейс оператора;
- возможность программирования;
- невысокая цена.

Исходя из этой информации, специалисты АББ сделали вывод, что компания способна умело использовать варианты уже известных конструкций и предложить простые с технической точки зрения изделия, востребованные на данных рынках. Но было также ясно и то, что приводы требуются не только более простые, но еще и меньшие по размерам, такие, которые необходимы по условиям применения.

И в данном случае у компании АББ было преимущество, поскольку миниатюризация – это одно из тех направлений, по которым в своих программах разработки приводов переменного тока компания достигла наиболее выдающихся успехов. Более того, дальнейшая миниатюризация приводов остается важнейшей задачей исследовательских и конструкторских коллективов компании. Миниатюризация оказывается возможной в первую очередь благодаря непрерывному развитию направления силовых полупроводников и применению высокоэффективных методов охлаждения. Детальное моделирование потоков, в частности, позволяет непрерывно улучшать конструкцию и характеристики теплоотводов.

Помимо прочего, миниатюризация сокращает себестоимость и упрощает нахождение новых вариантов применения. Для изготовления малогабаритных приводов требуется меньше материалов,

вследствие чего снижаются затраты на изготовление и оказывается ниже цена конечного изделия. Интегра-

ция элементов – еще один важный фактор. Сокращение количества деталей позволяет не только сократить затраты, но и повысить надежность.

Результатом же работы явился компонентный привод ACS50. Модули ACS50 с номинальной мощностью от 0,18 до 0,75 кВт имеют небольшие габариты (фактически ACS50 – самый миниатюрный 370-ваттный привод на рынке), просты в установке и использовании. Базовая платформа привода позволяет компании адаптировать приводы для множества различных бытовых устройств, таких как стиральные машины, холодильники и морозильники.

Компонентный привод ACS50 компании АББ

Модули привода ACS50 принадлежат к семейству низковольтных приводов переменного тока Drive^{IT} с но-

минальной мощностью от 0,12 кВт до 4500 кВт. Имеются варианты привода для однофазных систем как на напряжение 100-120 В, так и на напряжение 200-240 В переменного тока. Модули также подходят для трехфазных электродвигателей номинальной мощностью от 0,12 до 0,75 кВт, рассчитанных на напряжение

230 В. Помимо того, что это самый малогабаритный привод из предлагаемых на рынке, он намного проще других изделий своего класса. Для установки не требуются специальные знания о приводах.

Установка и конфигурация вручную занимают всего лишь несколько минут, при этом отсутствует необходимость в программировании чего-либо! Кроме того, поскольку панели управления нет, нет и скрытых функций. Вы получаете именно то, что вы видите.

Привод ACS50 может использоваться в домашних сетях электропитания благодаря хорошей электромагнитной совместимости (ЭМС) даже без применения внешнего фильтра. Фактически, он поставляется со встроенным фильтром ЭМС для применения в сетях первого класса окружения (см. первую вставку) и имеет степень защиты IP20. Для вариантов применения с большой длиной кабеля питания электродвигателя предусмотрен дополнительный фильтр ЭМС, который предлагается по программе неограниченной дистрибуции с длиной до 75 м для окружения второго класса и по программе ограниченной дистрибуции до 30 м для окружения первого класса (см. вторую вставку). Модули привода на выбор снабжаются стандартным или тихим шумоподавлением.

Интерфейс пользователя представлен тремя управляющими потенциометрами и восьмью переключателями в корпусе с двухрядным расположением выводов (DIP), находящимися на передней панели. Потенциометры управляют тепловой защитой электродвигателя, временем разгона/торможения (меняется в диапазоне от 0,1 до 30 секунд) и максимальной частотой. Конфигурация привода ACS50 осуществляется переключателями DIP, с помощью которых настраиваются следующие функции:

- номинальная частота двигателя;
- контроль шума двигателя;
- минимальный аналоговый входной сигнал;
- автоматический сброс привода при сбоях.

Стандартные функции ввода/вывода обеспечиваются

Первый и второй класс окружения

Системы привода могут подключаться к промышленным распределительным сетям или к сетям общего пользования. Класс окружения (их существует два – первый и второй класс окружения) зависит от того, каким образом система подключена к источнику энергии.

Под окружением первого класса понимают бытовые и другие помещения, непосредственно подключенные к низковольтной сети питания, снабжающей жилые здания энергией без применения промежуточного трансформатора.

Под окружением второго класса понимают все остальные сооружения, за исключением сооружений, подключенных к низковольтной сети питания, снабжающей жилые здания.

Ограниченный и неограниченный класс

Способы выхода системы привода на рынок делятся на программу ограниченного класса дистрибуции и программу неограниченного класса.

Неограниченная дистрибуция – это такой вид дистрибуции товара, при котором поставка оборудования не зависит от квалификации клиента в области ЭМС систем электропривода.

Ограниченная дистрибуция – такой режим дистрибуции, при котором производитель ограничивает предоставление оборудования поставщикам, клиентам или пользователям, которые по отдельности или совместно обладают необходимой квалификацией в области ЭМС систем электропривода.

посредством контакта управления на передней панели устройства.

Варианты применения: от традиционных до оригинальных

Привод ACS50 предназначен для простых вариантов использования в промышленности, выпускающей такие устройства, как системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC), хранения и обработки пищевых продуктов. Модуль рассматривается как альтернатива существующим изделиям, например, контакторам, устройствам плавного пуска, многоскоростным электродвигателям, симисторам и автотрансформаторам.

Предназначенный для простых устройств в различных отраслях промышленности потребительских товаров привод ACS50 представляет собой альтернативу контакторам, устройствам плавного пуска, многоскоростным двигателям, симисторам и автотрансформаторам.

Специалисты АББ ожидают, что модуль ACS50 откроет новые рынки с необычными и разнообразными вариантами использования, как, например, системы управления автоматическими воротами, медицинские сканеры и печи для пиццы. В действительности клиенты уже испытали привод в некоторых из этих областей и все они указали на то, что привод может быть установлен очень быстро – обычно менее чем за пять минут (!), будучи при этом очень простым в работе. Можно спрогнозировать применение и в других аппаратах, таких как упаковочные машины, сканирующие устройства, насосы и вентиляторы.

В этом случае наиболее вероятными клиентами будут малые и средние изготовители оборудования (ОЕМ), которым требуются простые и легкие в обращении изделия. Предполагается, что такие компании будут обеспечивать 90 процентов объема продаж.

Привод может иметь исполнение для монтажа на DIN-рейках или для настенного монтажа; привод поставляется в корпусах двух размеров. Меньшая из моделей имеет ширину 45 мм, высоту 146,5 мм и глубину 128 мм, тогда как большая выполнена в корпусе шириной 67 мм, а остальные габариты сов-



Варианты модуля привода ACS50

падают. Такие габариты делают этот привод самым тонким из предлагаемых сегодня на рынке.

Гибкость применения

В компании АББ убеждены, что варианты применения устройства у каждого клиента уникальны. Поэтому конструкторы компании создали базовую платформу, обеспечивающую крайне короткий цикл разработки специальных вариантов компонентного привода переменного тока, предлагаемых крупным изготовителям оборудования. Это означает, что, в зависимости от характера применения, привод может быть снабжен дополнительными специальными функциями, такими, например, как управление разбалансировкой в стиральных машинах. За счет этого компания не только предлагает более удобные устройства, но и повышает свою конкурентоспособность в области конструирования массовых изделий.

Компонентный привод ACS50 – это новейший продукт «малой революции», происходящей сейчас в компании АББ в области приводов переменного тока. Компания выбрала подход «лучшее – значит простое» и разработала компактный, легкий в использовании

привод, который упростит жизнь конструкторам систем, а также улучшит характеристики многих потребительских электротоваров.

Мика Паакконен
ABB Automation Technologies
Хельсинки, Финляндия
mika.paakkonen@fi.abb.com

Виртуальный

Навигация по продукции компании АББ и поиск завершённых решений IndustrialIT

Дейя Баюми, Гуннар Беннстам, Филипп Нуазет, Уильям МакКласки

ассистент по сбыту

Сертификация изделий АББ по IndustrialIT продолжается, и в настоящее время почти 40000 изделий официально сертифицированы по уровню 0, а это значит, что эти изделия снабжены необходимой информационной поддержкой на уровне Information Enabled. Но какую пользу этот унифицированный подход к обширному портфелю продукции компании приносит клиентам и их бизнесу?

Один из уникальных сервисов, которые компания АББ может предоставить ключевым клиентам в различных отраслях промышленности – это упрощение взаимодействия с компанией, предоставление средств для проектных расчётов и обеспечение возможности интегрировать отдельные изделия в более масштабные конфигурации. Это достигается посредством сертификации по IndustrialIT, способствующей навигации по группе компаний АББ и её портфелю продукции с целью нахождения изделий, сочетающихся между собой и подходящих для конкретного применения. Чтобы пояснить, что имеется в виду, посетим локомотив одного из ключевых клиентов, канадской Bombardier Transportation.

Общий доход железнодорожной отрасли промышленности в 2002 году составил 34 млрд. долларов США. Половина этой суммы выручена за поставки подвижного состава: локомотивов, вагонов, скоростных поездов, пригородных электропоездов, поездов метро и трамваев, а другая половина – за поставки сигнального оборудования и оборудования подачи тяговой электроэнергии, техническое обслуживание и техническое содержание путей. Компания Bombardier Transportation – крупнейший из трёх ведущих системных интеграторов в мире, обладающий долей рынка 24%.

Деятельность компании АББ в сфере производства подвижного состава имеет долгую историю. В свое время компании АББ и Daimler Benz совместно владели компанией-поставщиком подвижного состава Adtranz, приобретенной в 2000 году компанией Bombardier Transportation. И хотя АББ больше не производит подвижной состав как таковой, компания до сих пор обладает значительной частью основных технологий. Из типичной структуры затрат на постройку локомотива (рис. 1) становится видно, что компания АББ фактически может поставлять значительную часть оборудования, потенциально превышающую 50% общей суммы затрат.

«Ведущая двадцатка» поставщиков

Компания Bombardier, как и многие другие компании, определила некоторые ключевые факторы для повышения конкурентоспособности:

- повышение коэффициента использования производственных мощностей за счёт концентрации капиталоемких операций на специализированных предприятиях;
- расширение охвата рынка благодаря размещению линий окончательной сборки на местных рынках;
- сокращение сроков поставки посредством стандартизации и снижения числа поставщиков;
- повышение качества за счёт внедрения системы Six Sigma¹ на всех уровнях снабжения.

Какую пользу сертификация изделий компании АББ по уровню 0 приносит нашим клиентам и их бизнесу?

Стратегия развития управления цепочкой поставок компании Bombardier заключается в переходе от закупок изделий приблизительно у 20000 поставщиков в 2002 году к покупке завершённых подсистем всего у двадцати производителей в 2006 году.

Взаимодействие с меньшим количеством поставщиков связано со многими преимуществами. Например, упрощается и удешевляется управление цепочкой поставок. Процессы разработки изделий и систем, а также административные процедуры становятся в целом более эффективными, при этом устанавливается дух истинного партнёрства, и каждому партнёру уделяется больше времени.

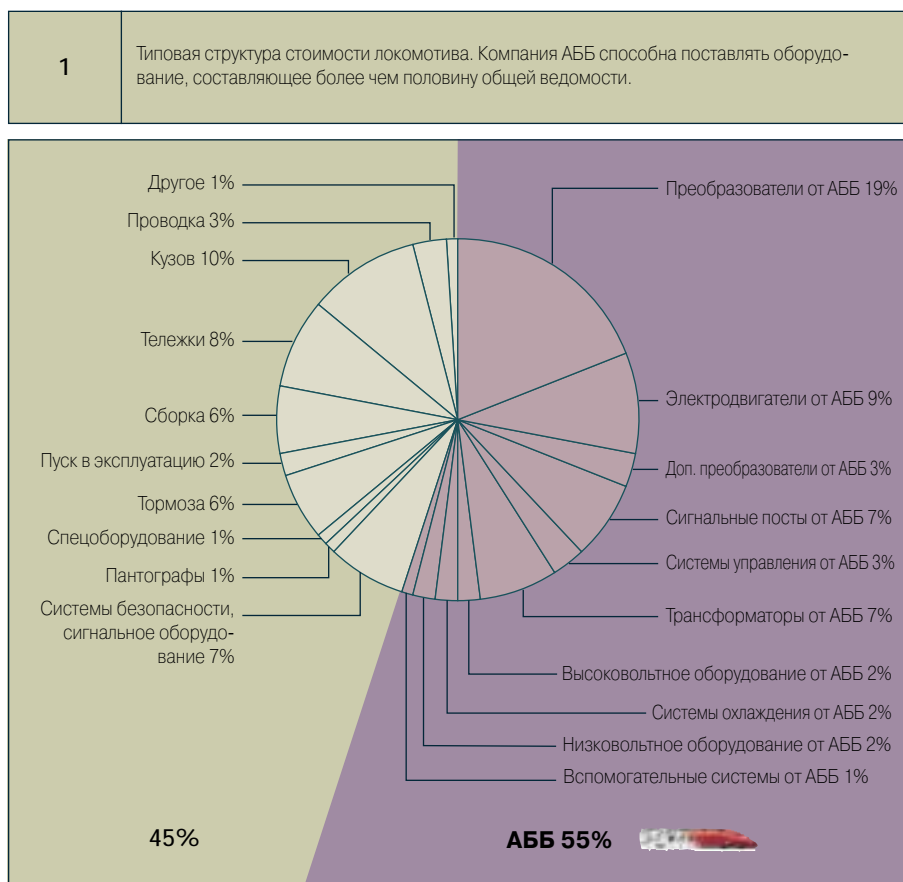
Процесс сертификации поставщиков выигрывает за счёт повышения точности, что ведёт к повышению качества изделий и сокращению сроков подготовки продукции к выпуску. При участии меньшего количества партнёров сотрудничество становится более тесным и активным – работа «лучших специалистов» над «лучшими технологиями» приводит к быстрому реагированию на изменения рыночной конъюнктуры. С другой стороны, сильная зависимость от резко сокращённого количества поставщиков может повысить риск потери полного контроля над сведениями о комплектующих и, в конце концов, над конструкцией и её стоимостью. Однако решение Industrial^{IT} компании АББ демонстрирует, что это не обязательно должно произойти.

На рельсах технологии Industrial^{IT}

Как уже говорилось, компания АББ потенциально способна поставлять производителю подвижного состава более половины комплектующих и подсистем локомотива. Сюда входят тяговые системы, вспомогательные преобразователи, тяговые электродвигатели, системы защиты, управления и контроля, коммутационная аппаратура, модули ввода-вывода и платы ЦП.

Такие решения, как Industrial^{IT}, платформа интеграции аспектов (AIP) и сертификация изделий обеспечивают множество новых возможностей для структурирования поставщиков, систем, сведений об изделиях и каталогов, технических условий, стандартов, сертификатов, чертежей, справочных материалов, местных контактных адресов и т.д.

¹) Six Sigma – это проработанная, базирующаяся на информационных технологиях методология работы, направленная на исключение брака (целью ставится достижение запаса между средним значением и ближайшим техническим требованием, шестикратно превышающего величину стандартного отклонения) в любом процессе – от производства до деловых транзакций, от изделий до сервиса.



Сертификация продукции компании АББ по Industrial^{IT}, рабочее место АР и средства навигации Plant Explorer обеспечивают компании и её клиентам доступ к одной и той же информации, хотя структуры доступа в каждом случае различны. Ещё один способ получить информацию об изделиях – воспользоваться активными (реагирующими на щелчок мышью) изображениями: рабочими местами АР, адаптированными для конкретной области применения, например, для отдела сбыта, конструкторов, службы поддержки или менеджеров по работе с ведущими клиентами. Для клиентов АББ могут быть разработаны более полные решения, при этом в систему могут быть включены все потенциальные возможности, предлагаемые компанией.

Посадка на «виртуальный поезд»

Первым шагом в создании «решения для подвижного состава на основе Industrial^{IT}» от компании АББ является создание «виртуального поезда АББ» (рис. 2).

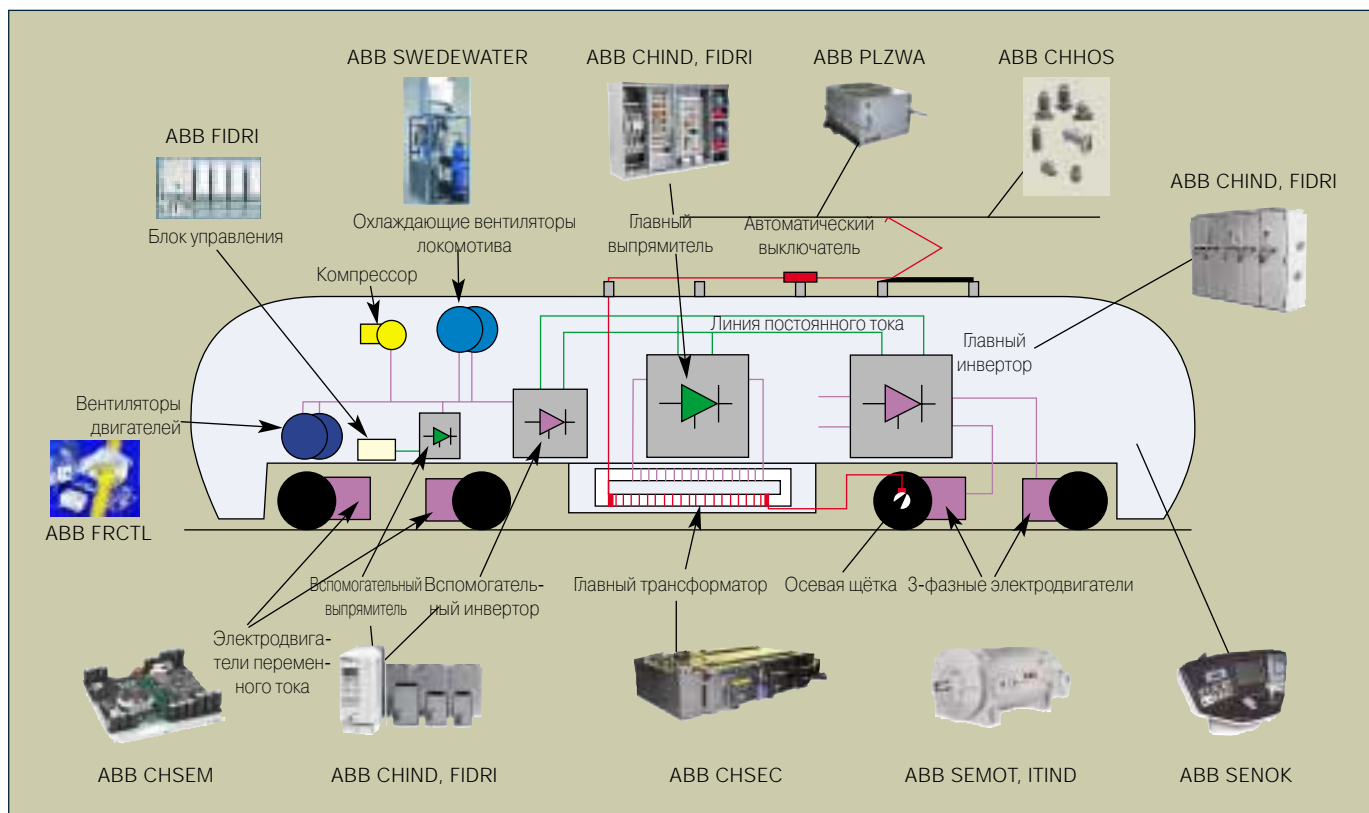


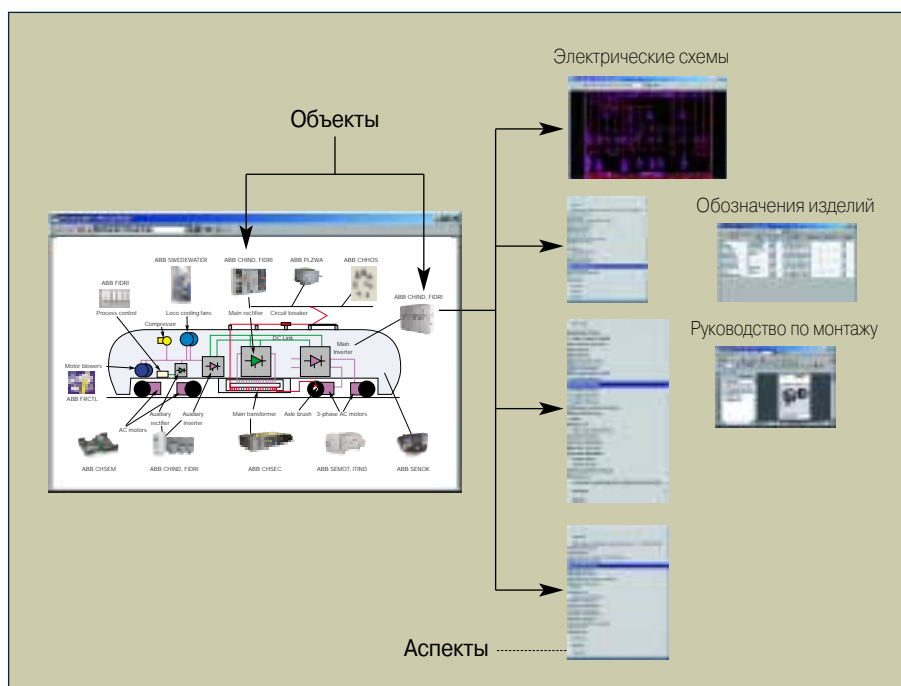
«Рабочее место» для создания локомотива включает аспектные объекты, соответствующие реальным объектам (изделия, комплектующие, подсистемы), поставляемым компанией АББ. На экране может быть изоб-

ражён каждый объект, сопровождаемый ссылкой на производственное подразделение АББ, изготавливающее конкретный объект.

Один щелчок мышью по любому объекту – и появится список аспектов, ведущий ко всей информации, связанной с данным конкретным объектом. Это могут

2	«Виртуальный поезд» – модель локомотива, представляющая все оборудование, которое может поставлять компания АББ.
---	--





быть обозначения изделий, электрические схемы или сборочные чертежи, руководства по монтажу и т.п. (рис. 3).

Можно структурировать отображение информации согласно индивидуальным требованиям пользователей. Если географическая информация имеет значение, как это часто бывает в случае крупномасштабных проектов, можно воспользоваться средством Plant Explorer для получения информации о том, где производится то или иное изделие. Работа начинается со щелчка по пункту «Местоположение» (см. рис. 4), после чего можно выбрать страну и узнать, какие из необходимых подсистем могут быть поставлены с заводов, расположенных в этой стране.

Например (см. рис. 5), выбрав страну Швейцария и затем завод CHSEC (завод АББ по производству трансформаторов в Женеве), пользователь переходит к ссылкам на аспекты изделия «тяговой распределительный трансформатор переменного тока сухого типа». Все что необходимо теперь сделать – это выбрать нужные аспекты среди списков контактов, чертежей, руководств по техническому обслуживанию и т.д.

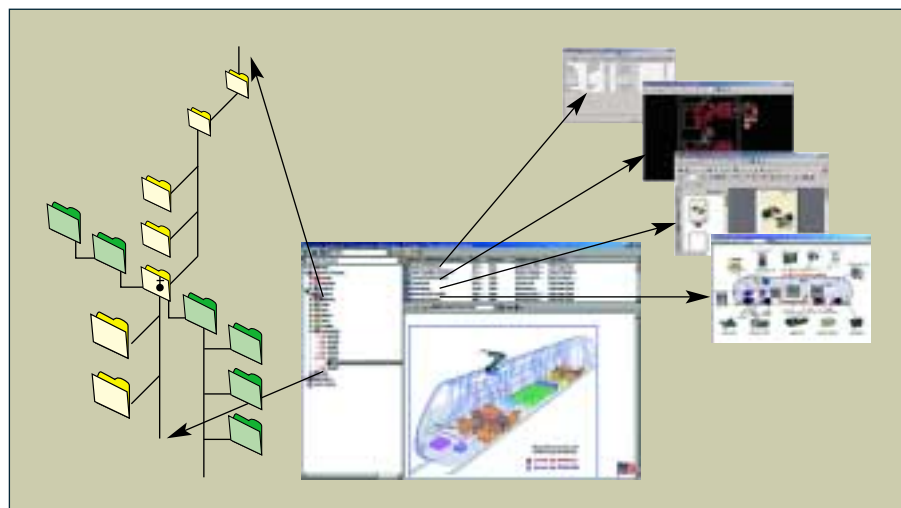
Пользователь может также начать с раздела «Функции» (рис. 6) и перейти к пунктам «Изделия АББ» и «Тяговые системы», где он обнаружит тот же трансформатор со всеми сопутствующими аспектами.

После завершения исходного структурирования и определения связанных аспектов и путей навигации системе легко придать дополнительные возможности.

Список таких возможностей бесконечен: например, чтобы получить техническую информацию о работе локомотива после поставки, можно определить новые аспекты, такие как данные от датчиков или регистраторов отказов, расчёты к.п.д. электродвигателя и т.п., связанные в каждом случае с конкретной подсистемой. Этой информацией можно снабдить инженера по техническому обслуживанию, обеспечив его возможностью структурировать данные удобным для него образом, получать отчёты и графики данных за день или неделю в необходимом виде.

Информация структурируется любым нужным способом. Если имеет значение географическая информация, можно воспользоваться средством Plant Explorer для получения информации о том, где производится то или иное изделие.

И это – ещё не всё. Благодаря взаимосвязанности системы, в режиме реального времени можно предоставлять и информацию требуемую машинисту поезда. При этом также гарантируется соблюдение согласованной структуры: Базовая организация данных в хо-



Plant Explorer

- Адаптирован для разных групп пользователей
- Навигация по структурам
- Несколько структур (по функциям, по местоположению, по изделиям, по заказам и т.п.)

де работы остается неизменной, поэтому информация, отправляемая машинисту, структурирована таким же образом, что и информация, использованная специалистами по сбыту и закупкам ещё задолго до того, как локомотив был заказан.

Набирая скорость

Описанное средство будет использоваться сотрудниками как компании АББ, так и Bombardier, от инженеров по эксплуатации и инженеров-конструкторов до менеджеров отдела сбыта и менеджеров по работе с ведущими клиентами. Демонстрация концепции и функций вызвала самую положительную реакцию, поэтому инструмент был хорошо воспринят. Применение адаптированных представлений обеспечивает соответствие фактическим задачам пользователей в организации и позволяет получать доступ к необходимой им информации быстро и эффективно. По мере выявления новых требований разработка программного обеспечения будет продолжаться.

Успешно завершены испытания системы с привлечением пользователей по всему миру, в ходе которых было показано, что одновременно доступ к системе могут получать до 24 пользователей. Помимо доступа к системе с помощью Web-клиента, будут созданы два различных компакт-диска. На одном компакт-диске будет помещён полный портфель продукции компании АББ для производителей подвижного состава. Содержимое другого диска будет составлять информа-

5 Различные пользователи видят одну и ту же информацию, но в специально адаптированных представлениях.



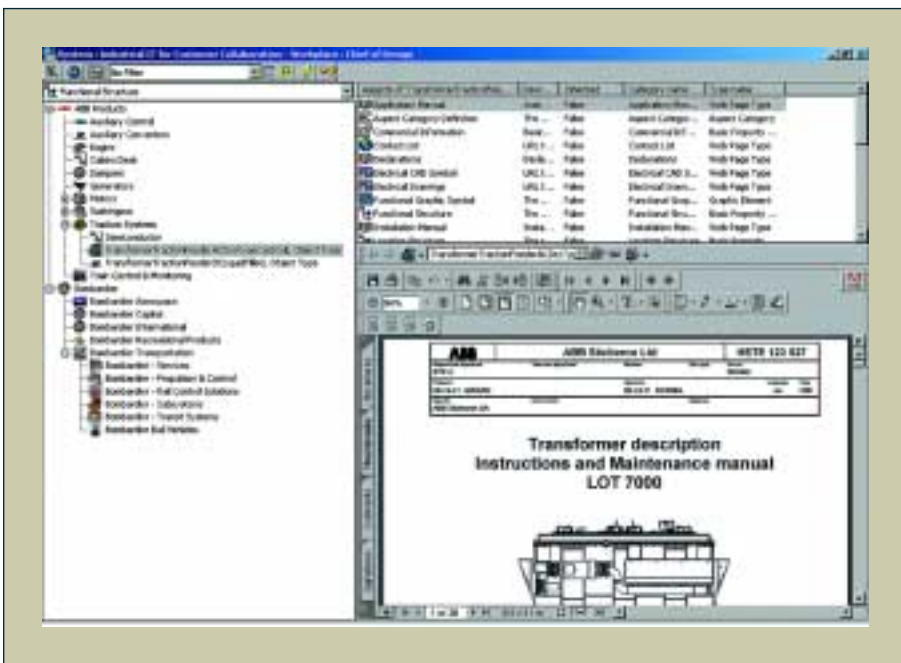
ция об изделиях, которые могут быть немедленно поставлены для конкретных проектов производства локомотивов. Эти компакт-диски окажутся удобными

для удалённых пользователей, которым требуется работа с программой при отсутствии доступа в Интернет. Для работы с обоими дисками будет применяться средство просмотра Aspect Object Viewer, предоставляющее функции, сходные с функциями Web-клиента, хотя и с некоторыми ограничениями.

В ходе дальнейшей работы над программой приоритет будет отдан сбору всей имеющейся информации об изделиях АББ для подвижного состава, сертификации изделий и приведению их в соответствие с требованиями компании Bombardier.

Поскольку средство будет применяться как персоналом компании АББ, так и сотрудниками Bombardier, в каждой фирме создается рабочая группа, обеспечивающая согласованность действий в ходе разработки.

6 Всеобъемлющий набор аспектов предоставляет всю необходимую информацию об изделиях.





Дальнейшие перспективы

Хотя «мощный» образ локомотива оставляет соответствующее впечатление, а возможности виртуального локомотива, показанного на рис. 2, очевидны, несложно мысленно поменять локомотив на, скажем, горнолыжный подъёмник, котёл электростанции, бумагоделательную машину, распределительную систему или другое изделие, производимое каким-либо из круп-

«Виртуальный поезд» – это лишь начало. Стоит ожидать появления «виртуального подъёмника», «виртуального котла электростанции» или «виртуальной бумагоделательной машины».

нейших OEM-клиентов компании АББ. Модули, созданные для Bombardier, легко использовать для других целей. По мере того, как идёт сертификация по IndustrialIT, и всё большее и большее количество изделий и модельных рядов встраивается в новое средство, создание подобных решений для других сложных систем будет становиться проще.

Компании АББ и Bombardier Transportation подписали пятилетнее союзное соглашение

Подписанный в конце 2003 года контракт потенциальной стоимостью \$ 500 млн. определяет систему деловых отношений и снабженческих операций между двумя компаниями. Это первый контракт такого рода, заключённый компанией Bombardier Transportation со своим поставщиком.

По условиям контракта компания АББ поставляет комплектующие, такие как тяговые трансформаторы и электродвигатели, силовые электронные компоненты и низковольтное оборудование.

Основной целью заключения соглашения является уменьшение продолжительности цикла разработки для сокращения сроков поставки и достижения максимальной эффективности производства. Эксплуатационные подразделения АББ и Bombardier уже начали совместную работу над процессами проектирования и движением к более тесному сотрудничеству.

Дейя Баюми

ABB Corporate Research
Рэлей, шт. Сев. Каролина, США
deia.bayoumi@us.abb.com

Гуннар Беннстам

ABB AB
Людвика, Швеция
gunnar.bennstam@se.abb.com

Филипп Нуазетт

Уильям МакКласки
ABB Secheron
Женева, Швейцария



Работа под давлением

С помощью насосных станций АББ из самого длинного в мире железнодорожного тоннеля удаляют воду

Кристофер Ганц

Раскинувшаяся среди Альп Швейцария известна своим вековым опытом строительства тоннелей. Однако сегодня ничто не может сравниться с горным проектом, осуществляемым в настоящее время в рамках строительства европейской высокоскоростной сети железных дорог, соединяющей южную и северную части континента. Тоннель под названием Gotthard Base Tunnel (глубокий тоннель Сен-Готтард) длиной 57 километров станет по завершении самым длинным тоннелем в мире!

Строительство тоннеля такой протяженности требует особой квалификации. Глубоко в альпийских скалах может находиться вода, огромные количества воды. Если она прорвется через породу в процессе проходки и не будет быстро удалена, тоннель будет затоплен, в результате чего пострадает техника и подвергнется опасности жизнь людей. В связи с особенностями способа строительства тоннеля, единственным безопасным решением оказывается перекачка воды вверх на 850 метров по вертикальной шахте. Благодаря техническим инновациям компании АББ эта задача решена.





Как ведущий подрядчик по поставке насосных станций для отвода подземных и технологических вод, компания АББ играет важную роль в строительстве тоннеля Сен-Готтард в Швейцарских Альпах. Железнодорожный тоннель, который должен стать самым длинным в мире, находится в самом сердце проекта AlpTransit – нового трансальпийского маршрута. Он позволит удвоить нынешнюю пропускную способность и существенно снизить нагрузку на сильно перегруженное шоссе, соединяющее север и юг (см. вставку).

Особые методы для особенного проекта
Строительство тоннеля такого размаха требует применения особых методов. Просто начать проходку с одного или двух направлений недостаточно. Чтобы обеспечить завершение столь крупного проекта в заданные сроки, было решено разделить тоннель на пять секций и запустить работу проходческой техники с каждого конца четырех из них. Исключение представляет 6-километровый участок Седрён (рис. 1), где в связи с неустойчивостью пород будет применён традиционный буровзрывной метод. Также, в отличие от остальных участков, подход к этому участку тоннеля осуществляется не горизонтально, а через 850-метровые вертикальные шахты.

Всё используемое оборудование и персонал доставляются посредством этих шахт, через них также выгружается вынутый грунт. Энергия для питания проходческого оборудования также подается через шахты.

После завершения строительства на участке Седрён будет располагаться аварийная станция со спасательными лифтами. Кроме этого, поезда здесь смогут перейти в другой тоннель.

Проблема с отводом воды

По мере прохождения различных геологических зон Альп (см. рис. 2), проходческие машины встретятся с различными трудностями. Непостоянная твердость пород не составит сложности для техники, однако машины не рассчитаны на бурение в зонах, в которых может в больших количествах залегать вода. По оценкам геологов в худшем случае в тоннель может прорваться до 1000 л воды в секунду. Чтобы предотвратить затопление тоннеля, воду необходимо выкачать на высоту 850 через шахты. Связанные с проектом труднопреодолимые проблемы сделали само участие в тендере на работы сложной задачей.

Необходим был поставщик перекачивающих систем с большим опытом успешного осуществления про-

ектов сравнимой сложности, а также технологии, требуемые для построения превосходной системы автоматизации. В результате с компанией АББ в Бадене (Швейцария) был подписан контракт на поставку всей системы в целом, включая насосы, тру-

Глубокий тоннель Сен-Готтард

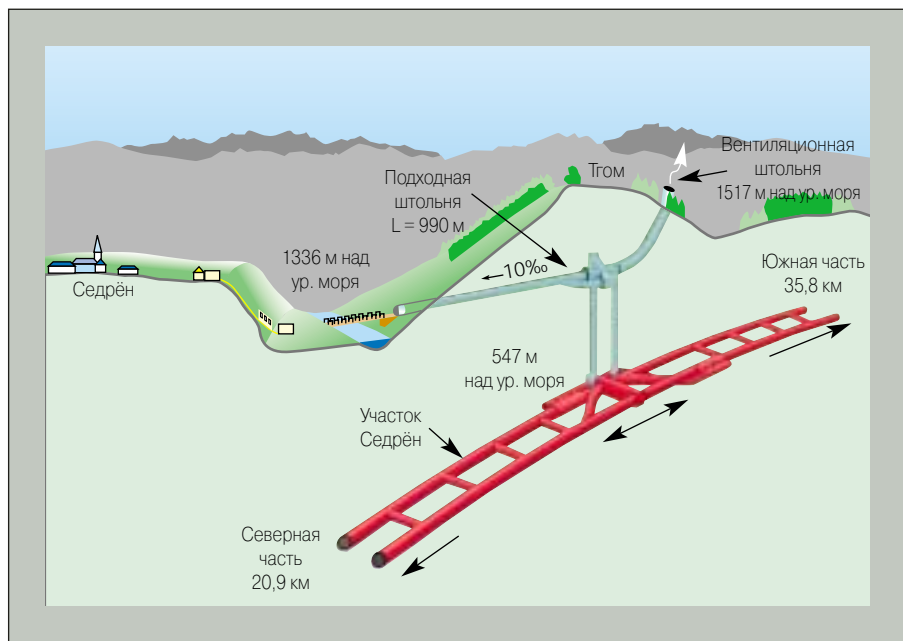
Кратчайший путь из Северной в Южную Европу лежит через Швейцарию, через перевал Сен-Готтард. На протяжении веков этот перевал был одним из важнейших в Альпах. С момента постройки первого моста на этом маршруте в начале XIII века, горы и суровый климат устраивали испытание возможностям техники и изобретательности человека.

На протяжении веков швейцарцы совершенствовали горный маршрут и в XIX веке построили первый тоннель, предназначенный для поездов, под перевалом Сен-Готтард, а в 1980-х годах к нему добавился автомобильный тоннель.

Поезда и автомобили для проезда через эти тоннели должны всё же подниматься на высоту 1150 метров, что исключает возможность движения с большой скоростью и ограничивает пропускную способность. Только строительство глубоких тоннелей, проходящих через основание горы, может решить эту проблему, и, после длительного планирования, в 1999 году было начато сооружение нового железнодорожного тоннеля на высоте всего 550 метров. Два параллельных тоннеля длиной 57 км и диаметром 9 метров, расположенные на расстоянии 40 метров друг от друга, через каждые 325 метров будут соединены поперечными галереями. Максимальная скорость для пассажирских поездов составит 250 км/ч, для товарных – 160 км/ч.

Вместе с тоннелем Лёчберг, эксплуатация которого должна начаться в 2007 году, тоннель Сен-Готтард соединит центральную часть Швейцарии с кантонами Валлис и Тессин. Будучи важной частью европейской высокоскоростной железнодорожной сети NEAT, соединяющей север и юг, этот тоннель должен обеспечить существенное перераспределение грузопотока со швейцарских шоссе на железные дороги.

1 Глубокий тоннель Сен-Готтард. В процессе строительства вода удаляется из тоннеля через 850-метровые вертикальные шахты.



бопроводы, электрические установки и системы автоматизации.

Насосы, способные справиться с высотой в 850 метров

Основной системы является насосная станция с восемью насосами высокого давления, рассчитанными на создание давления не менее 85 бар, требуемого для подачи воды вверх по шахтам на высоту 850 метров, после которой вода подвергается очистке и сбрасывается в верховья Рейна (рис. 3). Высокая надежность системы достигается благодаря наличию двух независимых модулей по четыре насоса в каждом, один из которых является резервным. Каждый модуль оборудован своей независимой механической, электрической и гидравлической системами и средствами автоматизации.

Помимо насосов и трубопроводов высокого давления, компании АББ была также поручена поставка всего электрического оборудования, необходимого для эксплуатации станции, включая преобразователи частоты, питающие трансформаторы и кабели.

Модульные насосы низкого давления добавляются по мере необходимости

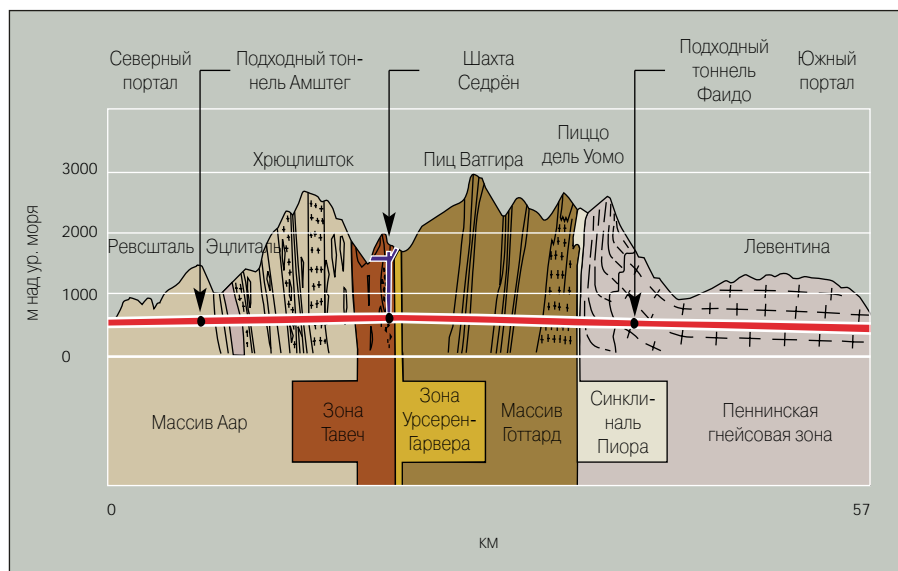
По мере проходки тоннеля воду – как технологическую, так и подземную – необходимо удалять из буровой машины и перекачивать на центральную насосную станцию высокого давления. Однако воду необходимо сначала собрать, и для этой цели в соединительных галереях между главными тоннелями устраиваются бассейны.

По мере продвижения горняков вглубь горы через одинаковые промежутки строятся новые бассейны. Из новых бассейнов вода перекачивается назад в ранее построенные. На окончательном этапе проекта в тоннеле будет в сумме десять насосных станций низкого давления, три из них будут расположены в северной части, и семь – в южной.

Модульная конструкция станций обеспечивает легкость установки новых идентичных станций по мере строительства тоннеля. Всё электрическое оборудование, необходимое для работы насосных станций низкого давления также поставяет компания АББ.

По плану установка насосных станций будет выполняться вслед за проходкой тоннелей и должна завершиться в 2008 году.

2 Геологические формации, пересекаемые глубоким тоннелем Сен-Готтард.



Автоматизация – особые трудности

Разработка системы автоматизации оказалась особенно сложной задачей, поскольку станции управления не только различаются по размерам и сложности, но также имеют различные требования по дублированию, а вся система сильно распределена. В дополнение ко всему, станции должны функционировать в не слишком благоприятной среде: при средней температуре 35°C, очень высокой влажности и высокой концентрации пыли в воздухе.

Система AC800 компании АББ удовлетворяет этим требованиям оптимальным образом. На насосной станции высокого давления были установлены четыре контроллера AC800M, по два на каждый модуль, состоящий из четырех насосов.

На каждой станции низкого давления установлен один контроллер AC800M для управления насосами. Вся структура в целом стандартизована, что упрощает ус-

тановку предварительно конфигурированных комплектов при завершении строительства очередной станции в тоннеле.

Чтобы обеспечить работоспособность системы через пять лет, когда будет установлен последний контроллер, все контроллеры конфигурируются и тестируются в одной технической лаборатории АББ в Бадене. Поэтому новые станции низкого давления могут устанавливаться без необходимости модификации какого-либо уже установленного оборудования.

Модульная архитектура системы, требующаяся для данного проекта, эффективно реализуется с использо-

ванием технологии АББ IndustrialIT. Насосы, и даже насосная станция в целом, отображаются в виде объектов и сохраняются в библиотеке. Как только первая насосная станция низкого давления будет успешно запущена в эксплуатацию, все модификации, потребовавшиеся в ходе подготовки к пуску, будут автоматически перенесены



на системы, установка которых планируется на более позднее время.

Площадки насосных станций служат также местом установки всего распределительного оборудования для тоннеля и систем подачи питания к проходческой технике. Масштабирование от системы автоматизации для насосной станции до полностью интегрированной системы питания и распределения энергии не вызвало труда. Например, для включения дренажных водяных насосов используются точно такие же контроллеры, что и для управления распределением высокого напряжения.

Масштабируемость и модульная структура системы автоматизации, выбранной для насосных станций, полностью соответствовала ожиданиям заказчика, и в результате контракт был расширен за счет включения системы управления подстанцией, питающей площадку в Седрène. Для этой цели в системе было установлено ещё восемь контроллеров, а протяженность сети системы управления выросла на несколько километров.

Возможность локального управления

Вся система в целом управляется с помощью двух станций Operate^{IT} Process Portal, одна из которых расположена в основании вертикальной шахты, а другая – в центре управления работами, расположенном на поверхности земли в Седруне.

Чтобы предоставить персоналу в самом тоннеле, возможность доступа к системе, каждая насосная станция низкого давления дополнительно оборудована активной мнемонической панелью, позволяющей осуществлять контроль каждого насоса по месту и управлять работой вручную.

Демонтаж после завершения строительства тоннеля

После того как строительство тоннеля закончится, необходимость в насосных станциях отпадёт. Завершённый тоннель будет гидроизолирован, а небольшие количества воды, которым удастся просочиться через стенки, будут удаляться самотёком через порталы тоннеля. Вспомогательная станция, где в настоящее время установлены насосы высокого давления, будет преобразована в т.н. многофункциональное сооружение, обеспечивающее эвакуацию пассажиров в случае чрезвычайной ситуации. Всё оборудование насосных станций высокого и низкого давления будет демонтировано.

3	Площадка насосной станции высокого давления в основании 800-метровой вертикальной шахты
---	---



Демонстрация технологий автоматизации

Глубокий тоннель Сен-Готтард – это грандиозный проект, который, без всякого сомнения, укрепит и без того прочную репутацию Швейцарии как лидера в строительстве тоннелей. Для компании АББ как для ведущего подрядчика по поставке насосных станций участие в данном проекте позволяет не только подтвердить способность успешно выполнять столь сложные проекты, но также и продемонстрировать многие передовые технологии автоматизации.

Кристофер Ганц
 ABB Power Technologies
 Баден/Швейцария
christopher.ganz@ch.abb.com



Пробный заезд

Электромобиль должен побить рекорд при участии компании АББ

Фрэнк Гриффит, Стив Мэлпасс, Джон Шофилд



Установление рекордов скорости при передвижении по земле всегда было идеальной возможностью испытать технологию «на прочность». Для приводов и электродвигателей АББ предстоящая попытка английской команды побить мировой рекорд наземной скорости для автомобилей с электрическим двигателем не станет исключением.

Инверторный преобразователь из семейства ACS 800 компании АББ и два электродвигателя переменного тока на 40 кВт со сквозной вентиляцией и степенью защиты IP23 пройдут в середине 2004 года экстремальные испытания. Они будут применены для разгона электромобиля АББ e-motion до скоростей более 300 миль в час, что существенно превышает максимальную скорость гоночного автомобиля Формулы 1.

Два двигателя, выдающие суммарную мощность более 500 эфп. л.с., уже продемонстрировали возможность разгона электромобиля до 146 миль в час в рамках испытаний. При этом был неофициально побит британский рекорд в 139 миль/ч, соответствующий макси-

мальной скорости, развитой электрическим автомобилем и достигнут самый первый рекорд наземной скорости, установленный сэром Малколмом Кэмпбеллом в 1924 году. Автомобиль будет перевезен в Шоттэль-Джерид (Тунис) в мае 2004 года, где конструкторы машины, Марк Ньюби и Колин Фоллоус, предпримут попытку установить новый мировой рекорд наземной скорости для электромобилей и побить текущий мировой рекорд в 247 миль/ч, принадлежащий команде из США.

Предпочтение отдано серийному оборудованию

В системе АББ применен привод, преобразующий напряжение 600 В постоянного тока, получаемое от

четырёх бортовых комплектов свинцово-кислотных аккумуляторов в переменное напряжение для питания двух двигателей.

При создании автомобиля Ньюби и Фоллоус стремились использовать лишь оборудование, которое можно легко приобрести у любого поставщика, как для снижения затрат на проект, так и для повышения престижа достижения. Несмотря на это, 18-месячный поиск компании, которая смогла бы поставить приводы и двигатели, необходимые для их автомобиля, не увенчался успехом.

До того как выйти на компанию АББ, Ньюби и Фоллоус обращались к двум из важнейших компаний-

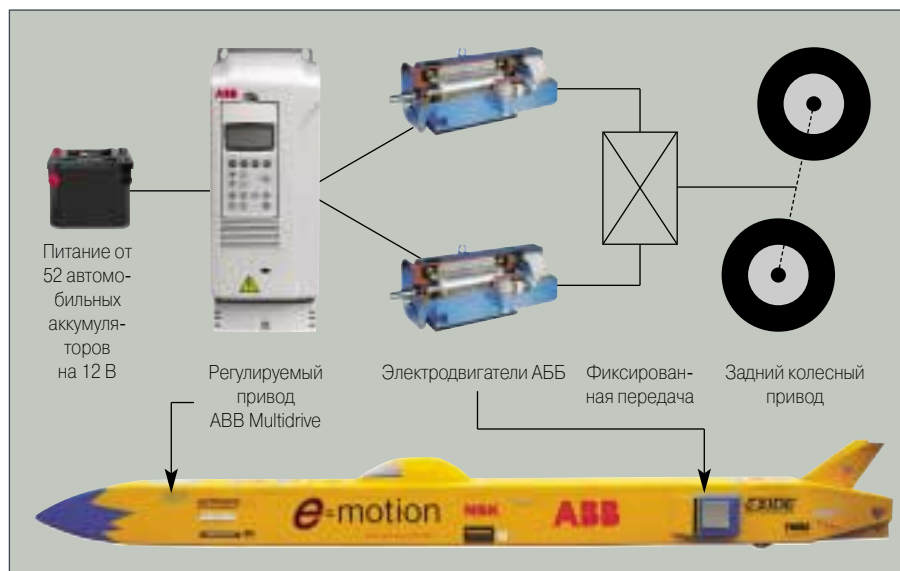


конкурентов АББ, ни одна из которых не смогла предложить устройства, необходимые для этого автомобиля. «Поиск компании, способной поставить необходимые привод и двигатель для автомобиля, был самой большой из технических проблем, с которыми мы встретились при постройке машины», – сообщает Марк Ньюби, водитель автомобиля. «Из тех компаний, в которые мы изначально обращались, ни одна не смогла предложить технологию или опыт, соответствующий такой серьезной попытке побития рекорда».

«Фактически, одна компания предложила систему привода с водяным охлаждением, и это привело к необходимости удлинить нос машины приблизительно на 1,5 метра, что далось недешево. Решение АББ крайне компактно и при его применении нынешняя длина нашего автомобиля в 10 метров даже избыточна!»

Ускорение решает всё

Чтобы получить официальный статус обладателя мирового рекорда, автомобиль должен выполнить два прохода со скоростью более 252 миль/ч на дистанции одного километра. При этом необходимо, чтобы двигатели развили скорость вращения более 6000 об/мин. Для этого компания АББ предоставила асинхронные электродвигатели, способные работать на скоростях от 5000 до 9000 об/мин. С перегревом двигателей справились путем модификации каждого и установки системы принудительной вентиляции с вентилятором на 24 В постоянного тока. Таким образом, моторы охлаждаются, и их температура удерживается на уровне ниже максимальной рабочей температуры 180 °С. Датчики РТ100, установленные на каждой обмотке двигателя, передают в реальном времени информацию о рабочей температуре двигателя.



Система привода, разработанная для попытки установления нового мирового рекорда скорости для электромобилей

Важным вопросом в разработке системы привода автомобиля была необходимость обеспечения быстрого разгона, чтобы машина успела достичь максимальной скорости в пределах отведенной дистанции. Вследствие модификации носового конуса и применения чуть более тяжелых двигателей масса автомобиля приблизительно на 150 фунтов (68 кг) превысила начальную проектную массу в 3500 фунтов (1587,6 кг), что сначала вызвало беспокойство Ньюби. «Ускорение – это самый главный фактор в установлении рекорда наземной скорости. По этой причине мы беспокоились о том влиянии, которое лишняя масса окажет на характеристики автомобиля».

Двигатели с высокой удельной мощностью

В системе электропривода компании АББ сочетаются двигатели с высокой удельной мощностью и технология привода АББ с непосредственным управлением крутящим моментом (Direct Torque Control, DTC), которая обеспечивает превосходный контроль над крутящим моментом двигателя и дает возможность снять максимальный момент даже при нулевой скорости. Способность системы обеспечить необходимое ускорение была подтверждена в ходе первого пробного заезда на аэродроме Брунтингторп в Лестершире (Великобритания). В ходе этого заезда автомобиль нео-





фициально превзошел нынешний английский рекорд наземной скорости для электромобилей на одной трети от той дистанции, которую прошел официальный держатель титула.

«Автомобиль, использованный командой Bluebird, которой принадлежит нынешний английский рекорд, достиг максимальной скорости 139 миль/ч на дистанции в две мили. В своем самом первом заезде автомобиль ABB e=motion с легкостью разогнался до 147 миль/ч всего на 1000 ярдах. Фактически, единственной причиной, по которой мы были вынуждены остановиться, была нехватка дороги!» – признается Ньюби. «Получив такие характеристики, мы уверены, что наш автомобиль легко побьет существующий мировой рекорд скорости для электромобилей».

Проектные сложности успешно преодолены

Система привода, разработанная для автомобиля, явилась результатом труда членов британской инженерной группы ABB по применению приводов. Группа работала в тесном сотрудничестве с инженерами проекта ABB e=motion с ноября 2002 года. При проектировании системы возникло несколько сложных задач, включая моделирование динамики движения автомобиля и его характеристик, которые должны наблюдаться в ходе попытки установления рекорда.



Группе инженеров ABB необходимо было разработать систему привода при отсутствии возможности сначала физически испытать автомобиль на трассе. Это подразумевало необходимость моделировать и рассчитывать вероятные характеристики на основе набора оценочных условий, включая такие показатели, как сопротивление качению, аэродинамическое сопротивление и скорость разряда аккумуляторов. Большая часть этой информации была получена экстраполяцией данных, собранных в Интернете. Помимо этого, существовало ограничение свободного пространства для установки системы в автомобиль, поэтому любой проект, разработанный группой, должен был быть компактным.

Тонкая настройка на максимальные характеристики

Чтобы облегчить тонкую настройку параметров системы, инженеры ABB собирают данные с помощью двух независимых четырехканальных регистраторов, встроенных в привод. Данные от регистраторов статистически обработаны с применением регрессионного метода (метода наименьших квадратов) для нескольких переменных, чтобы получить оценочные значения инерции и сопротивления качению. Полученные данные помогли усовершенствовать модель автомобиля. В испытаниях, проведенных недавно на взлетной полосе в Брунтингторпе, регистраторы данных активно использовались для измерения ряда параметров состояния привода и двигателя, которые загружались затем на ПК с помощью средства Drives Window компании ABB. Как видно из названия, этот инструмент «открывает вид» на параметры и сигналы системы привода и позволяет с легкостью записывать и анализировать сигналы от двигателя. Когда данные о характеристиках автомобиля оказываются на ПК, их можно отобразить графически или, при необходимости, экспортировать.

Регистраторы данных позволяют улучшать характеристики системы привода приблизительно так же, как это делается в гонках Формулы 1. Один из регистраторов работает при высокой частоте дискретизации (1 замер каждую миллисекунду) и записывает все происходящие события. Второй регистратор, настроенный на меньшую частоту, записывает информацию об изменениях параметров в течение испытаний, что дает инженерам общее представление о состоянии автомобиля».

«Вначале мы обратились в компанию ABB (через общего коллегу), потому что знали об её репутации



в электротехническом сообществе», – вспоминает Колин Фоллоус, конструктор автомобиля ABB e=motion. «В ходе разработки машины мы всегда имели возможность обратиться к серьёзным наработкам компании ABB и остались под сильным впечатлением от того, что удалось сделать инженерной группе применения приводов. Судя по тому, что мы увидели на сегодняшний день, мы на 100% уверены, что имя компании ABB окажется рядом с нами в книге регистрации рекордов, когда мы побьём мировой рекорд».

Фрэнк Гриффит
Стив Мэлпасс
Джон Шофилд

ABB Automation Technologies
Манчестер, Великобритания
frank.griffith@gb.abb.com



Вертикальная интеграция

метод Рио

Валмир Персон

Пляж Кобакабана – для многих людей синоним Рио-де-Жанейро. Хотя основное внимание достается длинному изогнутому пляжу, на этом курорте также есть недвижимость, цены на которую одни из самых высоких в Рио. Стоимость квадратного метра в лучших кварталах столь высока, что когда впервые была высказана идея о размещении подстанции с тремя мощными силовыми трансформаторами среди высотных зданий, многие посчитали, что этому плану не суждено сбыться. Вызов приняла компания АББ!



Большие размеры площадки и высокий уровень шума – вот основные аргументы против предполагаемого размещения электрической подстанции с тремя трансформаторами на 40 МВА в этом густонаселенном районе Рио.

Решением проблемы стало строительство «вертикальной» подстанции с расположением трансформаторов на уровне земли в шумогасящих кожухах и установкой охлаждающих батарей над ними. В целом получилось сооружение высотой 16 метров от пола до верха масляных расширителей, расположенных над радиаторами!

Масляный вопрос

В первую очередь необходимо было получить ответы на несколько вопросов. Будет ли масло перетекать вверх и вниз без необходимости его подкачки? Испытания показали, что движение масла самотеком настолько интенсивно, что необходимо предпринять меры по ограничению скорости потока. Изначальные планы использования 8-дюймовой (200 мм) трубы были пересмотрены и было решено применить 5-дюймовый (125 мм) трубопровод. Для батареи с 18 радиаторами требуется всего один масляный контур.

Стенки и сварные швы резервуаров усилены в связи с повышенным давлением масла, обусловленным поднятием радиаторов. Необходимо было также сменить клапан сброса давления. Для обеспечения одинакового давления на обеих сторонах перегородки пере-

ключателя ответвлений, масляный расширительный бачок для переключателя ответвлений был установлен на том же уровне, что и основной расширитель (над охлаждающей батареей).

Хотя обычные вводные изоляторы, без сомнения, должны были выдержать повышенное давление, было решено полностью избежать риска и применить полимерные вводные изоляторы GSA. Они имеют повышенную прочность и не содержат масла.

Эффективное охлаждение имеет огромное значение, поэтому в лаборатории были проведены тепловые испытания для проверки работы радиатора. Чтобы получить точные результаты, все элементы необходимо было расположить точно так же, как и на подстанции. Для этого потребовалось приложить существенные усилия и применить специальное оборудование для подъема радиаторов на высоту 10,5 метров.

Близкое совпадение зарегистрированных температур и расчетных показателей явилось доказательством работоспособности этого уникального решения.



Валмир Персон
ABB Power Technologies
Сан-Паулу/Бразилия
walmir.person@br.abb.com

Сотрудничество компании АББ с МТИ по программе «Лидеры для производства»

Подразделение ABB Corporate Research традиционно работает со многими ведущими университетами мира. Такое сотрудничество, как правило, помогает компании держаться в курсе новейших достижений науки и техники, которые затем могут быть использованы для разработки или усовершенствования изделий компании АББ, её услуг и решений.

В течение последних нескольких лет компания АББ пользовалась теоретическими и практическими знаниями университетских экспертов в области производства. Одним из важных партнеров компании в таком сотрудничестве является Массачусетский технологический институт (МТИ). Благодаря своей программе «Промышленная технология», компания АББ тесно связана с программой МТИ «Лидеры для производства» (Leaders for Manufacturing, LFM). Программа LFM – это двухгодичная учебно-исследовательская программа подготовки дипломированных специалистов, в рамках которой студенты имеют возможность стать «двуязычными» – приобрести знания в области управления и в технических науках и получить две ученые степени магистра: одну в технике и одну в менеджменте.

Вкратце о программе LFM

Программа «Лидеры для производства» была запущена в 1988 году в качестве ответа на потребность американских компаний стать более конкурентоспособными. Это программа активного сотрудничества между Факультетом технологии МТИ, Слоунским факультетом управления и промышленными предприятиями. Программа посвящена рассмотрению важных вопросов производства, таких как разработка изделий, маркетинг и организация цепочек поставок. Совместными усилиями партнеры планируют, разрабатывают и внедряют современную интегральную программу обучения техническим наукам и менеджменту, которая обеспечивает необходимые знания, средства и поддержку для управления производством, его адаптации и укрепления.

Сочетая академические занятия, исследовательскую работу и взаимодействие с другими университетами мира, программа LFM нацелена на установление связей между всем производственным предприятием и его клиентами, поставщиками, правительственными

учреждениями и обществом. Преподаватели курсов, как правило, связаны с ведущими компаниями и могут собственными глазами наблюдать в действии различные новые и еще только зарождающиеся технологии и методы ведения бизнеса. Коллектив участников программы LFM представлен студентами и бывшими выпускниками, старшими руководителями таких компаний, как Intel, АББ и Ford и преподавательским составом Слоунского факультета управления и Факультета технологии МТИ. Такое разнообразие гарантирует, что многие студенты, принимающие участие в программе, получают солидные рекомендации в области технической или научной деятельности.

Помимо учебных занятий и лекций, посвященных усовершенствованию процесса производства с рассмотрением отдельных случаев и примеров из личного опыта, у студентов есть возможность применить новые принципы в реальной заводской обстановке за счет нескольких экскурсий на производство. Студенты получают шанс прокомментировать работу предприятия и при этом зачастую дают ценные советы по улучшению отдельных процессов на заводе. В 2003 году за 16 дней производственной экскурсии по стране студенты посетили предприятия Kodak (Ро-

честер, шт. Нью-Йорк), Hamilton Sundstrand (Рокфорд, шт. Иллинойс), Ford (Детройт), General Motors (Детройт), Agilent Technologies (Сан-Франциско), Boeing (Лос-Анджелес), Dell (Остин) и Honeywell (Батон-Руж).

Заинтересованность со стороны АББ

Программа LFM посвящена нахождению принципов, движущих производителями и лидерами мирового уровня, и внедрению этих принципов в процесс обучения и практику. Это идеально соответствует целям программы АББ «Промышленные технологии», направленной на внедрение лучших в мире методов производства на предприятиях АББ. В этом процессе сочетается повышение скорости и качества и оптимизация складских запасов на заводах АББ, а также поддержка разработки ИТ-решений и изделий для производственных мощностей АББ. Чтобы ускорить достижение этих целей, компания АББ весной 1999 года приняла решение присоединиться к программе LFM МТИ в качестве управляющего партнера, став одной из очень немногих европейских компаний, принимающих участие в программе.

В качестве управляющего партнера компания АББ играет важнейшую роль в руководстве программой LFM, определении политики и реализации программы, а также в вопросах интернауты – практики на производстве. Наиболее заметной частью партнерства, вероятно, является работа по практике. Программа LFM включает 26-недельную исследовательскую практику на предприятии компании-партнера, в ходе которой



Исследования и разработки

студенты выполняют исследовательский проект, знакомящий их с практическими проблемами производства. Эта практика проводится в течение второго года обучения (обычно с июня по декабрь).

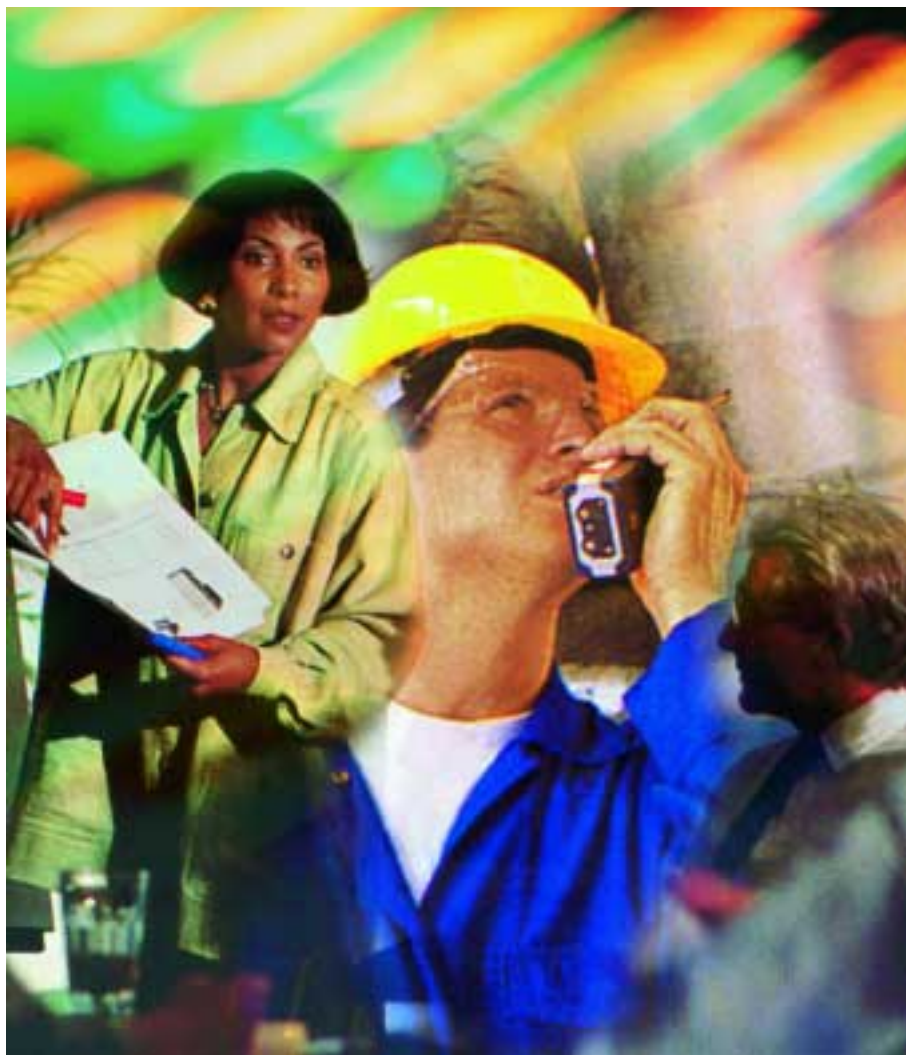
Рафаэль О. де Хесус, руководитель проекта по связям с университетами, функционирующего в рамках программы «Промышленные технологии» (а также бывший студент программы LFM), координирует работу с ведущими университетами. Одной из задач проекта является координация практики студентов LFM в компании АББ. Каждый год от двух до четырех студентов LFM проходят 26-недельную практику на различных предприятиях АББ. К настоящему времени на объектах АББ в Финляндии, Швейцарии, Германии, США и Ирландии завершили практику 14 студентов программы LFM. Некоторые из студентов впоследствии стали сотрудниками нашей компании.

Слушатели курса, благодаря уже имеющемуся солидному опыту, обычно получают крупные проекты, что позволяет АББ получить огромную пользу от результатов. Находящиеся на практике в АББ студенты применяют свои опыт и «ноу-хау» для решения проблем АББ. Кроме того, эти люди узнают о том, что предлагает компания АББ в плане услуг и решений, а это может оказаться полезным для той фирмы, где они работают.

Исследовательские задания, выдаваемые студентам, разнообразны. Один из студентов получил задание исследовать применение технологии Industrial^{IT}, разработанной для перерабатывающих отраслей промышленности, таких как целлюлозно-бумажная, на отдельно взятом промышленном объекте. Подготовленное технико-экономическое обоснование для небольшого завода измерительных трансформаторов в Финляндии привело к реализации полноразмерного пилотного проекта на значительно более крупном заводе в Германии.

В 2002 году в продолжение этой работы другому студенту было дано задание проанализировать результаты работы различных проектных групп по внедрению Industrial^{IT} в США, Германии и Финляндии. Эти группы работали над разработкой решений на основе Industrial^{IT} для отдельных производственных участков подразделения ABB Power Technologies. Первоочередными задачами студентов явились:

- создание модели распределения знаний, полученных в ходе разработки пилотных проектов в компании;



- составление руководства по развертыванию будущих пилотных проектов.

Помимо этого студент должен был выработать на основе полученных результатов бизнес-стратегию создания востребованного изделия, а также стратегию выявления исследовательских задач, подлежащих решению при внедрении Industrial^{IT} в АСУ ТП.

В части более крупных проектов, планируется совместная работа преподавателей МТИ и студентов программы LFM над недавно принятым к исполнению проектом АББ «Завод будущего». Подразделения АББ ведут постоянную работу по созданию модели «превосходства в работе». На производстве, например, некоторые работы связаны с определением методоло-

гии оптимизации производства и стандартов интеграции ИТ на 34 заводах. Проект «Завод будущего» поможет осуществить эту работу благодаря выработке завершенной научно-обоснованной системы взглядов, оптимизирующей и ускоряющей разработку и развертывание программ «превосходства в работе» во всех подразделениях АББ.

Кроме обеспечения студенческой практики, компания АББ в настоящее время спонсирует обучение одной из своих сотрудниц по программе LFM. Эта студентка сейчас завершает практику в компании Dell Incorporated в городе Остин, штат Техас. Выполняемый ею проект связан с разработкой оптимального сквозного процесса выполнения заказов, начиная от календарного планирования и заканчивая отгрузкой, который



обеспечит максимальный результат для клиента с минимальными издержками на логистику.

Выпускники, обучающиеся по данной программе, имеют очень высокую квалификацию как в технике, так и в менеджменте. Один из недавних выпускников рассказал: «Благодаря курсу LFM у меня появилась возможность выступать в различных амплуа. Сегодня я участвую в заседании управляющих, обсуждая деловые вопросы, а завтра – работаю с инженерами в цеху, решая технические проблемы».

Взаимовыгодное сотрудничество

Будучи крупной децентрализованной компанией с сотнями подразделений, находящихся на разных этапах реализации «превосходства в работе», компа-

ния АББ смогла обеспечить программу LFM большим количеством задач, большинство из которых связано с нахождением способов эффективной оптимизации всемирной корпорации и её производственных процессов. Студентам прохождение практики в АББ дает возможность применить полученные в МТИ знания к реальным задачам. Сотрудники АББ имеют возможность общаться со студентами LFM, передавая им знания и получая взамен новые.

Помимо перечисленного, компания АББ, так же как и МТИ, получила огромный выигрыш от результатов различных проектов и исследовательских работ, и в то же время внесла вклад в программу, содействующую росту будущих лидеров промышленности.

Рафаэль О. де Хесус
Мика Кумонен
Таня Ваинио
ABB Corporate Research
Финляндия
rafael.de.jesus@fi.abb.com

Михаэль Хоаг
ABB Automation Technologies
Швейцария

Новое соединение позволяет уменьшить износ контактов

Компания АББ в настоящее время ведет разработку новой контактной плёнки, обладающей уникальным набором свойств, который делает её очень подходящим материалом для контактов, подвергающихся износу. Новое соединение, Ti_3SiC_2 , занимает промежуточное место между керамикой и металлами.

Статья в АББ Ревю 2/2003 под названием «Нанотехнология: от малых размеров к большим возможностям» [1] рассказывала о деятельности АББ в области нанотехнологии и её возрастающего значения для компании. В том числе говорилось, что действующая с 2000 года стратегия программы АББ по развитию нанотехнологий фокусируется на работе в тех областях нанотехнологии и новых материалов, которые проработаны в меньшей степени и имеют непосредственное значение для АББ, а именно: электротехнике, разработке нанопокровтий и нанодатчиков. Программа обеспечивает передачу технологий из научного сообщества компании АББ, в то же время помогая компании находить новые направления в бизнесе. В программе сделан акцент скорее на примене-

нии технологий, чем на разработке материалов, и она предусматривает расширение или совершенствование функциональности уже существующих изделий АББ за счет решений на основе нанотехнологий. Краткосрочные исследовательские работы нацелены в первую очередь на применение результатов на практике.

В области электротехники основной задачей является расширение диапазонов электромагнитных свойств основных материалов и компонентов в изделиях компании. Это приведет к снижению потерь в элементах систем передачи и распределения электроэнергии, уменьшению веса и стоимости систем. Наибольшее внимание уделяется теплопроводности, электроизоляционным характеристикам и контактам. Последней области – контактам – как раз и посвящена данная статья.

Усовершенствование контактов

Электрические контакты и соединения необходимы для работы многих электротехнических систем. В идеальном мире электрический контакт обладал бы

низким сопротивлением, подходящей морфологией поверхности (пластичностью), хорошими характеристиками износа, высокой теплопроводностью, устойчивостью к окислению, дугостойкостью и стойкостью к свариванию. К сожалению, в реальном мире электрические контакты и соединения часто оказываются наиболее слабым звеном системы.

Для понимания причин этого необходимо учесть, что при вынужденном механическом контакте поверхности соприкасаются друг с другом лишь в ограниченном числе обособленных точек, называемых точками физического контакта. Поскольку поверхности металлов в большинстве своем (за исключением поверхности золота) покрыты естественным слоем окисла, истинный электрический контакт наблюдается лишь в части точек механического контакта. Отметим теперь, что в течение всего срока службы изделия контакт должен иметь низкое сопротивление с лишь незначительным ухудшением электрических свойств. Это условие должно соблюдаться несмотря на то, что контакты подвергаются воздействию высоких температур из-за повышенного сопротивления току, действию различных химических веществ, износу вследствие периодических тепловых нагрузок и магнетострикции. Контакты в некоторых выключателях должны противостоять даже износу при скольжении и воздействию электрической дуги, которая может вызывать местное расплавление контактных поверхностей.

Вскоре, однако, получение многих из перечисленных выше идеальных свойств контактов может стать возможным. В рамках программы развития нанотехнологий компания АББ в настоящее время работает над новой контактной плёнкой, обладающей уникальным набором свойств, который делает её подходящей для изготовления контактов и других элементов, работающих в условиях износа. Новый материал – это соединение, известное как Ti_3SiC_2 и входящее в группу нанопленочных материалов, занимающих промежуточное место между керамикой и металлами. Другими словами, эти материалы проявляют такие металлические свойства, как ковкость, ударопрочность, хорошие тепловые и электрические свойства, и такие свойства керамики, как высокая термостойкость, химическая инертность и износостойкость.

MAX-фазы

Нанопленочные материалы называют MAX-фазами. Эти соединения имеют слоистое кристаллическое строение и могут быть названы трехкомпонентными

Периодическая таблица $M_{n+1}AX_n$ -фаз

1													13					14	15	16	17	18
H	2												B	C	N	O	F	Ne				
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar					
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
Fr	Ra	Lr	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une														

M = Переходный элемент первых групп
A = Элемент группы А
X = С или N

$M_2AX(211)$: Ti_2AlC , Ti_2SiC , $Ti_2SnC...$ ~50 соединений
 $M_3AX_2(312)$: Ti_3SiC_2 , Ti_3AlC_2 , Ti_3GeC_2
 $M_4AX_3(413)$: Ti_4AlN_3 , Ti_4SiC_3

карбидами (соединениями углерода и любого другого элемента, отличного от водорода) или нитридами. Карбиды и нитриды представлены слоями нанометровых размеров, которые связаны между собой существенно более слабыми связями Ме-А. Эти соединения описываются общей формулой $M_{n+1}AX_n$, где М – переходный металл первых переходных групп, А – элемент из групп с 13 по 15 и X – углерод или азот, при этом n = 1, 2 или 3 (см. периодическую таблицу). В настоящее время известно 60 различных MAX-фаз.

Несмотря на то, что первые MAX-фазы были синтезированы более 30 лет назад, их свойства не были изучены. Тот факт, что Ti_3SiC_2 проявляет свойства, типичные как для металлов, так и для керамики – открытие недавнее, и принадлежит оно исследовательской группе в Университете Дрексель в США.

Под руководством проф. Мишеля В. Барсума эта группа ученых обнаружила, что Ti_3SiC_2 обладает высокой электро- и теплопроводностью (лучшими, чем у чистого Ti) и одним из самых низких коэффициентов трения среди твердых материалов, исследованных на данный момент. Ученые также обнаружили, что вещество обладает высокой жесткостью в сочетании с низкой плотностью и очень большой стойкостью к повреждениям. Более того, судя по всему, вещество сохраняет эти свойства при высоких температурах и проявляет высокую стойкость к окислению и тепловому удару. Неожиданной характеристикой Ti_3SiC_2 является легкость обработки, которая делает возможным изготовление различных сложных элементов.

Ti_3SiC_2 даже при комнатной температуре представляет собой необыкновенно прочный керамический материал, поскольку образование микротрещин, расслоение, отклонение трещин, перемещение и поворот отдельных зёрен действуют в качестве механизмов поглощения энергии при деформации. Такое поведение



Гайка и болт машинной обработки, изготовленные из MAX-керамики
Фото: М.В. Барсум, Университет Дрексель и Т. Эль-Раги, ZONE2, LLC.



Изображение монокристаллического слоя MAX-фазы толщиной около 1 мкм после нано-индентирования (место указано стрелкой). Формирование крупных выступов характерно для материалов с высокой ковкостью.
Фото: Я.Эммерлих и Х.Молина-Альдарегия, Университет Линкёпинга

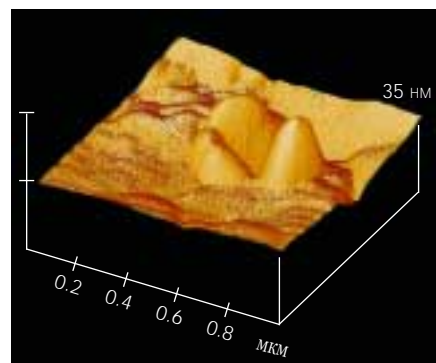
было объяснено строением конкретного материала, которое допускает скольжение в базисной плоскости и обуславливает способность образовывать под нагрузкой дислокационные петли. Ti_3SiC_2 стабильно вплоть до 1800 °С в инертной атмосфере и разлагается при температурах выше 2300 °С. Удельное сопротивление Ti_3SiC_2 при комнатной температуре составляет 23 мкОм•см, что почти вдвое меньше, чем у чистого титана, а термоэдс в широком диапазоне температур равна нулю – это означает, что электропроводность обеспечивается в равной степени электронами и дырками. Отмечается хорошая теплопроводность – 37 Вт/м•К. Кроме того, соединение обладает превосходной стойкостью к окислению – Ti_3SiC_2 считается более устойчивым к окислению, чем хром (Cr). Благодаря ограниченной подвижности кремния, на наружной поверхности не формируется толстый слой оксида, что способствует образованию лучшего электрического контакта.

Многообещающие свойства Ti_3SiC_2 побудили к запуску в Линкёпинге и Университете Упсалы (Швеция) в рамках программы развития нанотехнологий проекта исследований возможности синтеза покрытия Ti_3SiC_2 по процессу осаждения, который может быть адаптирован для промышленного производства. С использованием метода напыления (эжекция материала с помощью бомбардировки высокоэнергетическими

ионами, один из физических методов вакуумного осаждения) в первых экспериментах было показано, что при температурах выше 700 °С синтезируется монокристалл Ti_3SiC_2 , а при более низких температурах образуется соединение с хорошими контактными свойствами.

Применение

При нанесении Ti_3SiC_2 на основной элемент низковольтного изделия были продемонстрированы низ-



Наноотпечаток в MAX-покрытии

Сотрудничество с университетами

В компании АББ глубоко убеждены, что тесный контакт между промышленностью и академической наукой жизненно необходим в процессе разработки изделий. Прогресс, достигнутый в разработке контактов на основе МАХ-фаз, в значительной степени обусловлен сотрудничеством между АББ и университетами Линкёпинга и Упсалы в Швеции. Важной частью работы в этих двух учреждениях были и остаются синтез и исследование новых МАХ-фаз, представляющих научный и практический интерес. Компания Kanthal AB принимает участие в работе в качестве разработчика и основного поставщика массивных фрагментов керамического материала МАХ. В результате сотрудничества с фирмой Impact Coatings AB, компании Kanthal, АББ и университеты выработали новый принцип работы, для которого характерно параллельное осуществление разработки материалов покрытий и масштабирования технологии для промышленного применения. Финансирование проекта разработки и внедрения МАХ-фаз в массовое производство осуществляется также организацией Vinnova, шведским агентством по инновациям.

Начиная с 2001 года, научная группа изучения тонкоплёночных материалов в Линкёпинге под руководством проф. Ларса Хультмана и научная группа химии материалов в Упсале (рук. Ульф Янсон) тесно взаимодействуют по программе развития нанотехнологий АББ. На основе этих исследований университеты публикуют всё большее количество работ. Признание, которое получают студенты благодаря стипендиям и премиям за свою исследовательскую работу, влечёт за собой предложения работы от промышленных компаний.

кий коэффициент трения и превосходная износостойкость. Следующей задачей является практическая реализация в изделии. Изучается ряд различных изделий АББ для определения того, ведёт ли применение нового контактного слоя к расширению функциональности, продлению срока службы или сокращению себестоимости.



Полученное с помощью атомного силового микроскопа изображение ступенчатой структуры материала с шагом в 1/2 и 1 размер элементарной ячейки

Взгляд в будущее

В ближайшее время соединение Ti_3SiC_2 будет подвергнуто тщательным испытаниям для определения его свойств в долговременном периоде в качестве контактного материала в отдельных областях применения и (или) изделиях. Для обеспечения промышленного применения материала также идет сотрудничество с компанией Impact Coatings AB. Её задача заключается в масштабировании техпроцесса осаждения МАХ-керамики до размеров промышленной установки. Это партнёрство представляет особый интерес, поскольку процесс внедрения результатов исследований в производство (обычно запускаемый после завершения исследований) теперь ведётся параллельно с исследованиями с целью существенного сокращения сроков выхода изделия на рынок.

Необходимо добавить, что будут проверяться новые комбинации МАХ-керамики в попытке снизить контактное сопротивление и получить возможность использовать её в изделиях с малыми механическими усилиями. Уже синтезировано и исследовано соединение Ti_3GeC_2 , при этом получены обнадёживающие

результаты. Следующим шагом будет замена Ge на Sn, естественная окисная плёнка которого обладает полупроводящими свойствами и высокой проникаемостью. Конечной целью является нахождение возможности подбирать свойства МАХ-фазы для получения покрытия с оптимальными свойствами.

Петер Исберг,
Томас Лильенберг
Научно-исследовательская программа развития
нанотехнологий АББ
peter.isberg@se.abb.com
thomas.liljenberg@se.abb.com

Ларс Хультман
Университет Линкёпинга, Швеция
larhu@ifm.liu.se

Ульф Янсон
Университет Упсалы, Швеция
ulf.jansson@mkem.uu.se

Литература

[1] Т. Лилиенберг, О. Хьортстам, С. Вольпони. Нанотехнология: от малых размеров к большим возможностям. АББ Ревю №2, 2003, 49-53.

Теперь, когда не осталось больше «легкой добычи», многие промышленные компании ищут новые возможности для едва заметных улучшений с целью повышения итоговой эффективности работы. Часто, однако, такие возможности заключены в наиболее сложных процессах – в тех областях, где для повышения производительности требуются относительно сложные средства оптимизации. В следующем номере АББ Ревю аспекты производительности будут рассмотрены именно в таком контексте.

Производители уже долгое время желают оптимизировать производственные про-

цессы на основе экономических целей, но эта цель всегда казалась недостижимой. В статьях номера описано несколько решений в применении к различным отраслям промышленности, и сделан акцент на повышении производительности в непрерывном, а также в дискретном производстве. Примеры взяты из цементной и целлюлозно-бумажной отраслей, а также из области производства высоковольтного оборудования.

Роль технологии IndustrialIT как гибкой платформы интеграции – это еще одна тема, которую мы рассмотрим, на этот раз – в области коммунальных услуг.

А серия статей «Инновации в инженерном искусстве» продолжается рассказами об инженерном творчестве во всем мире.

Номер также открывает новый ряд статей: обзор 50 ключевых технологий в энергетике и автоматике, на которые компания АББ полагается при развитии своего портфеля изделий. Каждая из этих двухстраничных статей, публикация которых продолжится в следующих выпусках Ревю, имеет целью дать читателю лучшее представление о мощной технологической базе нашей компании.

ABB Review The corporate technical journal of the ABB Group

Editorial board

Markus Bayegan
Group R&D and Technology

Björn Edlund
Corporate Communications

Friedrich Pinnekamp
Group R&D and Technology

Wylie Rogers
Corporate Communications

Charlotte Brogren
Group R&D

Bernhard Eschermann
Group R&D

Nils Leffler
Chief Editor
nils.leffler@ch.abb.com

The ABB Review is published four times a year in English, French, German, Spanish, Chinese and Russian.

Publisher and copyright © 2004

ABB Ltd
Zurich/Switzerland

Publisher's office

ABB Schweiz AG
Corporate Research
ABB Review / REV
CH-5405 Baden-Dättwil
Switzerland
abbreview@ch.abb.com

The ABB Review is free of charge to those with an interest in ABB's technology and objectives. For a free subscription please contact your nearest ABB representative or the publisher's office.

Printers

Vorarlberger Verlagsanstalt AG
AT-6850 Dornbirn/Austria

Design

DAVILLA Werbeagentur GmbH
AT-6900 Bregenz/Austria

Partial reprints or reproductions are permitted subject to full acknowledgement. Complete reprints require the publisher's written consent.

ISSN: 1013-3119

www.abb.com/abbreview