



Издается с 1924 года

РАДИО

3•2015
МАССОВЫЙ
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

"Радиолюбитель" — "Радиофронт" — "Радио"

"Radio" is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ: ЗАО «ЖУРНАЛ «РАДИО»

Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.

Регистрационный ПИ № ФС77-50754

Главный редактор В. К. ЧУДНОВ

Редакционная коллегия:

А. В. ГОЛЫШКО, А. С. ЖУРАВЛЁВ, Б. С. ИВАНОВ,
С. Н. КОМАРОВ, А. Н. КОРОТКОНОШКО, К. В. МУСАТОВ,
И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора), Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ,
С. Л. МИШЕНКОВ, О. А. РАЗИН, Б. Г. СТЕПАНОВ
(первый зам. гл. редактора), В. В. ФРОЛОВ

Выпускающие редакторы: С. Н. ГЛИБИН, А. С. ДОЛГИЙ

Обложка: В. М. МУСИЙОВА

Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА

Корректор: Т. А. ВАСИЛЬЕВА

Адрес редакции: 107045, Москва, Селиверстов пер., 10, стр. 1

Тел.: (495) 607-31-18. Факс: (495) 608-77-13

E-mail: ref@radio.ru

Группа работы с письмами — (495) 607-08-48

Отдел рекламы — (495) 608-99-45, e-mail: advert@radio.ru

Распространение — (495) 608-81-79; e-mail: sale@radio.ru

Подписка и продажа — (495) 607-77-28

Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:

получатель — ЗАО "Журнал "Радио", ИНН 7708023424,

р/сч. 40702810438090103159

Банк получателя — ОАО "Сбербанк России" г. Москва

корр. счет 3010181040000000225 БИК 044525225

Подписано к печати 17.02.2015 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.

Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.

В розницу — цена договорная

Подписной индекс:

по каталогу «Роспечати» — 70772;

по Объединённому каталогу «Пресса России» — 89032;

по каталогу Российской прессы ПОЧТА РОССИИ — 61972.

За содержание рекламного объявления ответственность несёт

рекламодатель.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последствия использования опубликованных материалов, но принимает меры по исключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в известность автора. При этом редакция получает исключительное право на распространение принятого произведения, включая его публикации в журнале «Радио», на интернет-страницах журнала, CD или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом месте без предварительного письменного согласия редакции.

В перепику редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

© Радио®, 1924—2015. Воспроизведение материалов журнала «Радио», их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в ЗАО «ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ЭКСТРА М», 143400, Московская обл., Красногорский р-н, а/м «Балтия», 23 км. Зак. 15-02-00173.



Компьютерная сеть редакции журнала «Радио» находится под защитой Dr.Web — антивирусных продуктов российского разработчика средств информационной безопасности — компании «Доктор Веб».

www.drweb.com

Бесплатный номер
службы поддержки
в России:
8-800-333-79-32

Цифровая электроэнергетика

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

*"Кстати, благородные доны,
чей это вертолёт позади избы?".*

**(Братья Стругацкие.
"Трудно быть богом").**

Мы привыкли говорить о цифровизации применительно к системам связи, но с развитием информационных технологий этот процесс охватил и многие другие отрасли. Первая индустриальная революция произошла, когда в конце XVIII века ручной труд начали широко заменять машинами. Вторая революция произошла в начале XX века, когда Генри Форд придумал конвейер. В настоящее время мир переживает третью революцию, связанную с цифровизацией, и любое производство будет со временем управляться компьютерными программами, которые могут размещаться где-нибудь в "облаках". Хотя и с опозданием, этот процесс добрался и до электроэнергетики. Когда-то это должно было случиться.

Текущие проблемы электроэнергетики хорошо известны и в чём-то близки проблемам, с которыми в своё время пришлось столкнуться и в ИКТ-отрасли. К ним относятся моральное и физическое старение всего парка работающего оборудования (более 50 % активов сетей единой национальной энергетической сети имеют сверхнормативный срок эксплуатации — более 25 лет, а износ российских электроэнергетических систем по разным данным составляет от 50 до 70 %), преобладание импортных поставок систем управления и автоматизации предыдущего поколения (80 % инвестиций идёт в развитие зарубежных технологий и поставку устаревших решений) и сокращение национальной инвестиционной программы.

Энергетической отрасли жизненно необходима модернизация на базе интеллектуальных систем с целью повышения эффективности и снижения капитальных и операционных затрат. К тому же на трансформаторах, линиях электропередачи и сооружениях много не сэкономишь — согласно законам физики передаваемые мощности требуют соответствующего "железа". Поскольку эксперименты Н. Тесла столетней давности по беспроводной передаче электроэнергии с помощью башни Wondercliff так и не были завершены (хотя интерес к ним в последнее время вновь появился), столь эффективная в области связи "беспроводка" у электроэнергетиков пока не получается.

Немного об электроэнергетике

Электроэнергетические сети в чём-то похожи на сети связи — они имеют магистральные и распределительные участки с различными рабочими напряжениями и структурой "звезда" или "кольцо". В качестве сетевых узлов выступают подстанции, в которых происходит преобразование напряжения передаваемой электроэнергии. Важнейшая особенность любой электроэнергетической системы заключается в том, что производство электроэнергии, её распределение и преобразование в другие виды энергии осуществляются практически в один и тот же момент времени. Другими словами, сегодня электроэнергия практически нигде не аккумулируется (проекты создания сетевых накопителей электроэнергии находятся в разработке), и вся система работает в режиме on-line. Все элементы системы взаимно связаны и взаимодействуют, а энергия, произведённая в системе, всегда равна энергии, в ней же потреблённой. Здесь можно заметить, что в отличие от ИКТ-отрасли, которая прошла огромный путь, чтобы в отличие от почтовой связи иметь возможность иметь всю передаваемую информацию в режиме on-line, электроэнергетика изначально работала в данном режиме, и мечты её специалистов направлены на то, чтобы научить свои сети работать в режиме off-line.

Ещё одна особенность тесно связана с гигантской совокупностью разнообразнейших потребителей в единой сети,

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»



Телефон: (495) 981-4571

Факс: (495) 783-9181

E-mail: info@rinet.ru

Internet Service Provider

Сайт: <http://www.rinet.net>

что резко повышает актуальность обеспечения надёжности работы энергосистемы и требует создания в энергетических системах достаточного резерва мощности во всех её элементах.

Относительная быстрота протекания переходных процессов, связанных с короткими замыканиями, включениями и отключениями, качаниями, нарушениями устойчивости, требует обязательного применения специальных автоматических устройств. Подобные устройства, часто весьма быстродействующие, должны обеспечить надлежащую корректировку переходных процессов в системе. Правильный выбор и настройка всех этих автоматических устройств, к которым относятся аппараты защиты от перенапряжений, установки релейной защиты, автоматические регуляторы, автоматические выключатели и т. п., немислимы без учёта работы всей системы как единого целого. Всё это способствует широчайшему внедрению автоматики в энергетических системах и полной автоматизации отдельных электростанций и подстанций. И от этой автоматики (помимо систем связи, разумеется) зависит сегодня благосостояние каждого развитого государства.

Управление

Указанные выше задачи решаются созданием автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). В её рамках собирается первичная информация по всем параметрам технологических процессов, решаются задачи метрологического обеспечения, выполняются процедуры прямого регулирования и дистанционного управления оборудованием. Данная система является источником информации для верхних уровней управленческой структуры (диспетчерский пункт, центр управления) и во многом определяет эффективность управления всей энергетической системой.

В целом АСУ ТП подстанции интегрирует в себе подсистему релейно-защитной автоматики (РЗА), противоаварийной автоматики (ПА), автоматизированную информационно-измерительную систему коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ), регистраторы аварийных событий (РАС), систему мониторинга и диагностики силового оборудования, систему определения места повреждения (ОМП) кабеля, системы сбора и передачи оперативной и неоперативной технологической информации, системы контроля качества электроэнергии, инженерных и вспомогательных систем и др.

Технологии, до сих пор массово применяемые для мониторинга и управления в электроэнергетике, находятся на уровне развития телефонной связи 30-х годов прошлого века: аналоговые каналы с медными проводами от каждого из множества датчиков до целой армии реле и индикаторов. Кроме того, всё это материалоемко и энергоёмко, что снижает надёжность, затратно и негибко при проектировании, неэффективно при масштабировании и модернизации и, кроме того, требует много персонала при эксплуатации. Остаётся добавить,

что электроэнергетика, основанная на устаревших принципах мониторинга и управления, сама по себе может представлять угрозу для государства.

Цифровые идеи

В отличие от ИКТ, в электроэнергетике процесс цифровизации находится в начальной стадии. Несмотря на то что тенденция перехода на цифровые технологии в системах сбора и обработки информации, управления и автоматизации подстанций наметилась ещё более 15 лет назад, первая в мире цифровая подстанция была запущена лишь в 2006 г. Тем не менее сегодня практически все ведущие компании-производители электроэнергетической отрасли активно работают в данном направлении, учитывая положительный опыт ИКТ-отрасли. Тем более, что телекоммуникации являются основой систем мониторинга и управления в любой другой отрасли экономики. К тому же цифровизация, окончательно победившая в начале XXI века в ИКТ, подняла на новую высоту не только отрасль связи, но все отрасли, которые сумели этим воспользоваться.

Инновационное развитие электроэнергетики сегодня характеризуется объединением электросетевой и информационной инфраструктур в узлах сети — цифровых подстанциях. Цифровая подстанция (ЦПС) — элемент активно-адаптивной (интеллектуальной) электросети с системой контроля, защиты и управления, основанной на передаче информации в цифровом формате. Технология ЦПС позволяет удешевить строительство подстанций, уменьшить их габариты, повысить надёжность и в конечном счёте повысить качество энергоснабжения потребителя, не увеличивая стоимость. Это в свою очередь, даёт повышение помехоустойчивости, сокращение количества оборудования, цепей вторичной коммутации и экономии площадей. ЦПС можно быстрее строить и проще выполнять типовые проекты для тиражирования. В настоящее время на планете насчитывается уже более 100 ЦПС в Китае, США, Канаде и других странах.

С появлением первых микропроцессорных релейных устройств защиты информация от них стала также интегрироваться и в системы АСУ ТП. Постепенно количество устройств с цифровыми интерфейсами увеличилось (противоаварийная автоматика, системы мониторинга силового оборудования, системы мониторинга щита постоянного тока и собственных нужд и т. д.). Вся эта информация от устройств нижнего уровня интегрировалась в АСУ ТП по цифровым интерфейсам. Однако, несмотря на повсеместное использование цифровых технологий для построения систем автоматизации, подобные подстанции не являются в полной мере цифровыми, так как вся исходная информация, включая состояния блок-контактов, напряжения и токи, передаётся в виде аналоговых сигналов от распределительного устройства в оперативный пункт управления, где оцифровывается отдельно каждым устройством нижнего уровня (всё это даже уве-

личивает стоимость подстанции, так как требует установки большого числа АЦП). Например, одно и то же напряжение параллельно подаётся на все устройства нижнего уровня, которые преобразовывают его в цифровой вид и передают в АСУ ТП. На традиционных подстанциях различные подсистемы используют различные коммуникационные стандарты (протоколы) и информационные модели. Для функций защиты, измерения, учёта, контроля качества выполняются индивидуальные системы измерений и информационного взаимодействия, что значительно увеличивает как сложность реализации системы автоматизации на подстанции, так и её стоимость. Ну а если учесть, что исторически информация от всей автоматики шла по отдельным медным кабелям, и таких подстанций было построено многие тысячи, то можно представить себе объём, извините за выражение, "аналогового железа".

Переход к качественно новым системам автоматизации и управления оказался возможен при появлении новых стандартов и технологий ЦПС, к которым, прежде всего, относится специально разработанный стандарт МЭК 61850. В отличие от других, он регламентирует не только вопросы передачи информации между отдельными устройствами, но и вопросы формализации описания схем — подстанций, защиты, автоматики и измерений, конфигурации устройств. В указанном стандарте предусматриваются возможности использования новых цифровых измерительных устройств (в том числе с цифровым оптическим выходом) вместо традиционных аналоговых измерителей (трансформаторов тока и напряжения). К примеру, цифровые измерительные трансформаторы передают мгновенные значения напряжения и токов по протоколу МЭК 61850-9-2 устройствам уровня присоединения. В итоге ИТ позволяют перейти к автоматизированному проектированию ЦПС, управляемых цифровыми интегрированными системами, и здесь будут аналогии с системами управления из ИКТ-отрасли.

Все информационные связи на ЦПС являются цифровыми и образуют единую шину процесса. Это открывает возможности быстрого и прямого обмена информацией между устройствами, что в конечном итоге позволяет отказаться от массы медных кабельных связей, отдельных устройств, а также более компактного их расположения. Итак, главная особенность ЦПС состоит в том, что все её вторичные цепи — это цифровые каналы передачи данных, образующие единую информационную сеть (сеть передачи данных).

Таким образом, основой ЦПС является единая телекоммуникационная инфраструктура, выполненная на базе современных технологий. Основная идея, заложенная в идеологию ЦПС, — осуществлять мониторинг всех процессов как можно ближе к источникам информации, передавать полученные данные во все подсистемы посредством волоконно-оптических линий связи и виртуализировать большинство функ-



ций, выполняемых на подстанции. Таким образом, все измерительные устройства становятся источниками информации, а все встроенные интеллектуальные электронные устройства — её потребителями.

В свою очередь, устройства автоматизации превращаются просто в компьютеры со специализированным ПО, а система защиты и управления ЦПС — в набор логических программных модулей с различным функционалом и новым уровнем защищённости. В результате виртуализованная ЦПС размещается на сервере и собирается из программных модулей РЗА, ПА, РАС, АСКУЭ и пр. как большой бутерброд или как матрёшка. Процесс проектирования также переходит и в область компьютерных программ. В общем, итогом всей этой деятельности является замена разнофункциональных аналоговых систем сервером со специализированным ПО, включающим в себя профилированные программные модули. С целью повышения надёжности сервер изготавливается в защищённом исполнении и дублируется для "горячего резерва". Таким образом, считается, что ЦПС позволяет повысить уровень безопасности электроэнергетических объектов, получить существенное снижение металлоёмкости, уменьшить число элементов в системах управления и мониторинга с одновременным повышением эффективности их работы, повысить уровень надёжности и наблюдаемости, а также минимизировать затраты на инжиниринг и наладку.

Что дальше? Дальше будет логичным переход от рынка аппаратных платформ к рынку ПО и к "облачным" решениям. Правда, они должны обладать соответствующей защитой и от "дурака" и от "отнюдь не дурака", поскольку возможные последствия отсутствия такой защиты для единой энергетической системы страны нетрудно себе представить. То есть внедрение ЦПС может представлять своего рода угрозу для государства, но каков век, таковы и угрозы. Можно, к примеру, подключить всю систему управления энергосетями страны к Интернету, а потом героически бороться с угрозами. Вот, к примеру, военные во всём мире уже давно поняли, что подключать всё подряд к Интернету совсем не обязательно.

В настоящее время во всём мире выполнено уже много проектов, связанных с применением стандарта МЭК 61850, показавших преимущества данной технологии. Вместе с тем ряд вопросов ещё требует дополнительных разработок. Это относится к надёжности цифровых систем, к вопросам конфигурирования устройств на уровне подстанции и энергообъединения, к созданию общедоступных инструментальных средств проектирования, ориентированных на разных производителей.

Преимущества

Для сравнения "прошлых" и новых технологий можно привести примерные расчёты для оборудования "традиционной" подстанции и аналогичной по задачам ЦПС. В первом случае потребуется 150 км медного кабеля, 100 шкафов

автоматического управления, 900 м² площади, а общие затраты на оборудование и монтаж — около 400 млн руб. Второй вариант требует 15 км волоконно-оптического кабеля, три шкафа защиты и управления (двойное резервирование того самого сервера), 150 м² площади и общие затраты — около 160 млн руб. Ну а если учесть, что с дистанционным мониторингом и всем прочим в ЦПС может управиться один оператор с планшетным ПК, нетрудно представить и общую выгоду по капитальным и операционным инвестициям. На одном цветном металлоломе можно неплохо заработать.

Снижение эксплуатационных расходов получится и за счёт перевода объектов в разряд "необслуживаемых", а также их унификации и стандартизации. Кроме того, появится способность систем оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям, повысить надёжность и безопасность за счёт обеспечения прозрачности используемых алгоритмов. Не менее легко представить и "облако", из которого управляется целая группа ЦПС, а то и вся система энергетики. То есть налицо воистину огромный простор для разработчиков и поставщиков, что, заметим, в целом не является какой-либо новостью для специалистов ИКТ-отрасли.

Немного о проблемах

Разумеется, есть и проблемы. Прежде всего, ещё не утверждены стандарты, по которым должна проектироваться и которым должна соответствовать ЦПС, нет соответствующего метрологического обеспечения, в которое до сих пор заложены "традиционные" аналоговые измерения, нет и соответствующим образом обученного персонала. Нет даже устоявшегося определения ЦПС.

А вот как отнесутся, к примеру, специалисты в области РЗА, инструкции которых воистину "написаны кровью", к тому, что на подстанции будут иметь доступ "какие-то аййтишники"? Пусть они разберутся хотя бы с информационной безопасностью в других местах планеты. Очевидно, что "новые аййтишники" должны быть соответствующим образом подготовлены или даже перечены из "релейщиков". Проблема в том, удастся ли их перечислить, — ведь многим из них уже немало лет. Да что там "релейщики", весь остальной персонал, вплоть до высшего менеджмента, тоже должен "сменить голову" и мыслить новыми цифровыми реалиями. То есть кадровый вопрос при цифровой модернизации электроэнергетики отнюдь не последний.

Сегодня в России активно ведётся работа по развитию технологии ЦПС, запущен ряд пилотных проектов, ведущие российские компании приступили к разработке соответствующих отечественных продуктов и решений. Остаётся пожелать, чтобы руководство отрасли с пониманием отнеслось к этим работам и опиралось на отечественных производителей (в том числе и в области ПО) и подтолкнуло процесс цифровой стандартизации. Но, однако, не одной только ЦПС ограничивается сегодня модернизация электроэнергетики.

Интеллектуальная сеть

Интеллектуальные сети встречаются не только в ИКТ-отрасли. Если создать электросеть, которая собирает информацию от всех потребителей и производителей энергии и на её основе перераспределяет потоки мощности, то можно направить их туда, где дефицит, и накопить там, где есть избыток. В таком случае каждый потребитель энергии в любой момент может стать её поставщиком. Подобная технология уже разрабатывается и называется SmartGrid, а сети на её основе называются активно-адаптивными сетями (из-за того, что у сети появляются элементы, активно меняющие свои параметры в зависимости от изменяющегося режима потребления). Как мы уже знаем, важнейшим элементом таких сетей являются ЦПС.

SmartGrid предполагает создание саморегулирующейся электроэнергетической системы, которая, обладая всей текущей информацией о состоянии сети и потреблении, будет распределять текущие энергетические ресурсы, полученные как от промышленных производителей, так и от частных пользователей. При этом излишек энергоресурсов будет накапливаться в специальных хранилищах и использоваться в периоды пиковых нагрузок. Иначе говоря, энергетическую систему будущего можно рассматривать как одноранговую сеть, весьма похожую на Интернет, в которой потребители наравне с поставщиками электроэнергии станут активными участниками процесса распределения и потребления электроэнергии. Как и в Интернете, повышение эффективности работы всей системы осуществляется за счёт децентрализации функций генерации и управления потоками электроэнергии и информации в энергетической системе, а также благодаря снижению затрат на организацию системы передачи электроэнергии, оперативно-го устранения неисправностей и возможности передачи электроэнергии и информации в двух направлениях.

Сегодня концепция SmartGrid рассматривается во многих странах в качестве начала масштабного перехода к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) в лице солнца, ветра и воды, хотя сам подход к этой концепции может несколько отличаться. Повсеместное аккумулялирование излишков энергии может стать драйвером роста водородной энергетики и электротранспорта. К примеру, Калифорния намерена к 2020 г. генерировать 12000 МВт с помощью ВИЭ на местных электростанциях. По данным Pike Research, к этому времени региональным драйвером SmartGrid станет Китай, а общемировой объём соответствующего рынка составит свыше 70 млрд долларов США. Но, правда, надо ещё уметь создавать такие аккумуляторы и перенаправлять потоки электроэнергии.

Сегодня, как мы все знаем, у нас нет выбора в поставщике электроэнергии несмотря на утверждения отдельных "великих реформаторов" о наличии так называемого рынка электроэнергии. А вот в SmartGrid потребитель имеет воз-

возможность оптимизировать график загрузки своих мощностей для минимизации затрат, а также получения дохода от своей персональной электростанции. Так что когда-нибудь в дополнение к планируемому Правительством РФ социальным нормам электропотребления у нас, возможно, появятся и многотарифные счётчики электроэнергии от разных поставщиков.

Однако не всё так просто. Концепция SmartGrid, конечно, красивая, но чтобы реализовать всё вышесказанное, электроэнергетикам потребуется разработка новых технологий по самым разным направлениям, к которым специалисты относят создание интеллектуальных измерительных приборов (SmartMetering), развитие компонентов электрической сети и устройств управления потоками мощности, развитие систем накопления энергии (аккумуляторы, водородное топливо, суперконденсаторы, ГАЭС и т. п.), развитие распределённой энергетики и создание интеллектуальных сетей регулирования спроса.

Кое-что уже появляется буквально на наших глазах. Недавно учёные Дальневосточного федерального университета и института Автоматики и Процессов управления ДВО РАН создали уникальный метод диагностики высоковольтного оборудования в режиме on-line на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения. Изобретение обладает рядом несомненных преимуществ перед традиционными методами диагностики. Отсутствует необходимость отключать оборудование, информация о появлении и развитии дефекта немедленно появляется в электромагнитном излучении, нет необходимости разрабатывать специальные приборы для регистрации и обработки информации. И самое важное — дефект фиксируется на самой ранней стадии его появления и развития. Изобретение защищено десятью патентами и не имеет мировых аналогов. Остаётся добавить, что оно так и "просится" в состав ЦПС.

Предстоящая дорога

На сегодняшний день широкому внедрению инноваций в электроэнергетике по обыкновению препятствуют несовершенство законодательства, недостаточное финансирование и настроенное отношение ко всему новому. Вот, к примеру, в Китае законодательно закреплено, что все новые подстанции должны строиться только в виде ЦПС, в США и Европе значительное число подобных объектов уже находится в опытно-промышленной эксплуатации для наработки опыта и перехода к данной технологии. В России такой практики пока нет. Есть лишь пилотные проекты ЦПС, которые по производимому драматическому эффекту весьма походят на севший посреди деревенских изб вертолёт. Кто-то удивится и пойдёт дальше запрягать телегу, кто-то заинтересуется и подойдёт поближе, а кто-то, перекрестившись, уйдёт обратно в избу и полезет на печь. Ну а надежда, как всегда, на инноваторов. ■