

Встроенная защита в энергетике

Встроенные средства автоматизации энергосистем
Корнель Шерер

С самых первых шагов электрификации – уже более 130 лет – защита потребителей от перебоев в энергообеспечении остается главной задачей. Сейчас уже новейшая техника, встроенная в средства автоматизации энергосистем, берет на себя функции защиты, а также множество дополнительных специальных функций. Данная обзорная статья посвящена прогрессу в этой области и перспективам развития средств автоматизации в энергетике, в том числе в секторах генерации, передачи и распределения электроэнергии.



Автоматизация энергосистем ведет начало от систем защиты высоковольтного оборудования, такого как коммутационное оборудование, автоматические выключатели, линии электропередачи, а также двигатели и генераторы, от повреждения в случае нарушений в работе энергосистемы. Первые защитные устройства были разработаны более 130 лет назад в то же время, когда начиналось осуществление первых проектов электрификации. Защитные устройства в то время работали на основе электромеханических принципов и имели исключительно механический привод. И сегодня во многих энергосистемах по всему миру эксплуатируется большое число электромеханических релейных устройств. После появления электроники и полупроводниковой техники новые возможности оказались востребованы и в области защиты энергосистем. На основе электронных компонентов было разработано второе поколение устройств защиты. Такие твердотельные (полупроводниковые) реле позволили решить новый круг задач, в том числе реализовать расширенные функции защиты, не говоря уже об измерениях, аварийной сигнализации и ведению простейшей регистрации трендов. Наконец, когда на массовом рынке появились микропроцессоры – в конце 1980-х годов, – были представлены цифровые системы защиты. Микропроцессорная техника открыла новые горизонты расширения функциональности. Встраиваемые цифровые устройства сегодня обеспечивают самые высокие характеристики систем в плане защиты, управления, контроля и самодиагностики, а также в сфере обмена данными.

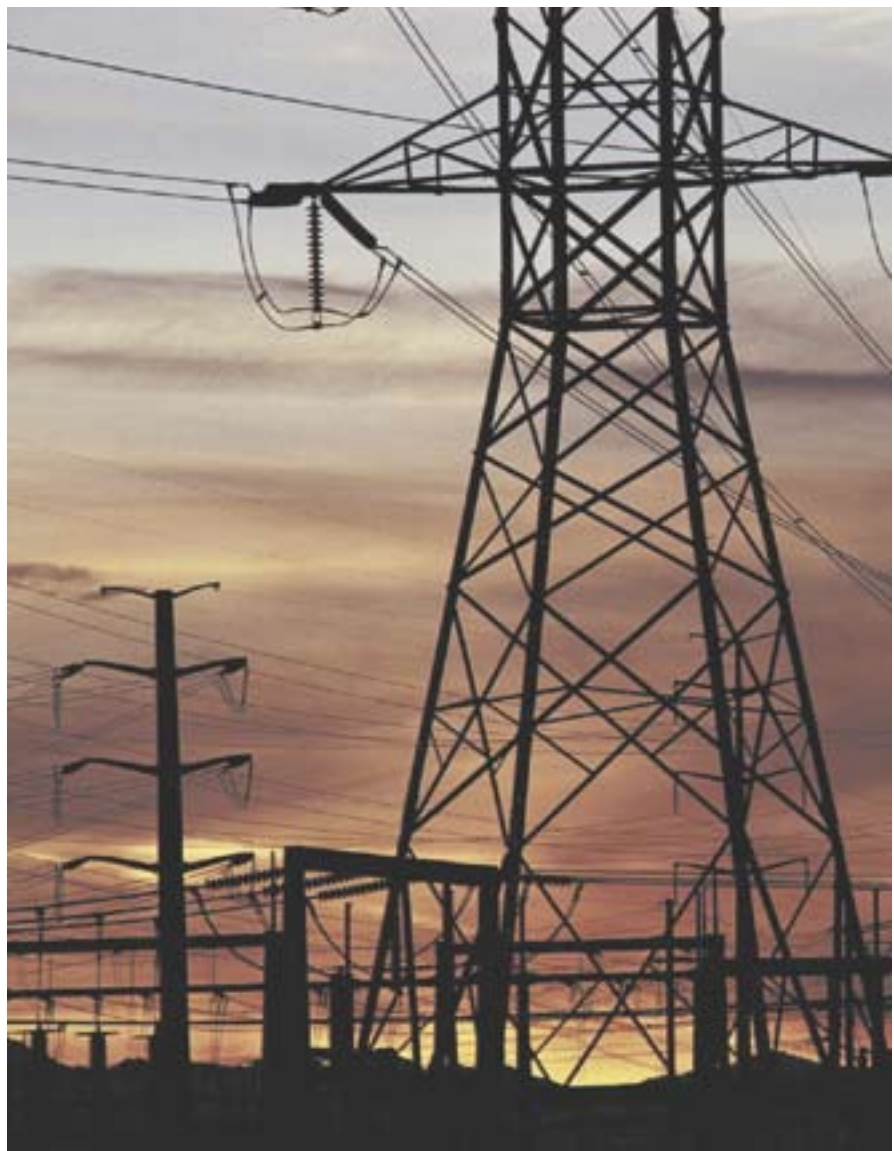
Движущие силы прогресса в области автоматизации энергосистем

На ранних этапах развития единственной задачей устройств защиты была защита высоковольтного оборудования, однако в настоящее время условия, сложившиеся в секторе передачи и распределения энергии, накладывают новые требования, требующие новых решений. Технические проблемы дополняются широким рядом новых сложностей. Дерегулирование рынка электроэнергии, повышенное внимание энергоснабжающих компаний к нуждам потребителей, стремление удержать клиентов, требования к качеству и надежности энергоснабжения, дополнительные услуги, финансовые показатели, снижение стоимости эксплуатации и обслуживания, управление активами – вот лишь краткий список новых направлений и задач, которые стимулируют внедрение современных средств автоматизации в процесс доставки электроэнергии потребителю. Обмен данными в реальном времени стал обязательным, а удобный доступ к информации о процессе из любой точки совершенно необходим для получения полной отдачи от новых решений.

Области применения средств автоматизации в энергетике

Средства автоматизации для энергетики отчетливо выделяются на фоне других средств промышленной автоматизации. В связи с расположением поблизости от высоковольтного оборудования, такая аппаратура должна удовлетворять более жестким требованиям. Основные отличия от обычной промышленной автоматики заключаются в применении сигналов более высокого напряжения, измерении высоких токов и напряжений, синхронизации по времени для установки временных меток событий с погрешностью не более 1 мс, малом среднем времени отклика (порядка нескольких миллисекунд) и соблюдении более жестких требований по электромагнитной совместимости и ЭМП при испытаниях. Далее в статье будут рассмотрены типичные виды средств автоматизации, применяемые в энергетике, и приведены их характеристики.

Число компонентов встроенных систем быстро возрастает, а все эти компоненты, выполняющие различные функции, охватывают всю цепочку процесса энергоснабжения – от выработки до потребления. Основным критерием при оценке характеристик встроенной системы или ее компонента является способность реагировать на события или параметры процесса в пределах детерминированного периода времени. Исполнение таких функций реального времени обычно носит циклический характер. Продолжительность цикла определяет минимальное время отклика, а следовательно, должна выбираться исходя непосредственно из условий работы. В целом, в системах, более тесно взаимодействующих с энергетическими процессами, требуется применение более коротких циклов, чем в удаленных пунктах, таких как диспетчерские центры. На рис. 1 показана типовая схема энергоснабжения, охватывающая ряд систем



Технологии встроенных систем

автоматизации, обладающих различными характеристиками. В число основных функций средств автоматизации энергосистемы входят защита оборудования энергосистемы, управление потоками мощности, контроль технологического процесса и контроль состояния оборудования.

Электростанция

На электростанциях в основном применяются промышленные средства управления. Однако на высоковольтных устройствах, таких как силовые генераторы, применяются специализированные устройства автоматики, рассчитанные на применение в энергетике. Типовые функции:

- управление генератором и его защита,
- функции контроля синхронизма (synchrocheck), обеспечивающие наличие синхронизма при подключении генератора в сети электропередачи,
- управление автоматическими выключателями.

Все устройства автоматизации энергосистемы обычно объединяются в систему автоматизации электростанции, что позволяет осуществлять централизованное управление всей станцией.

Сеть электропередачи

Обычно на каждом из концов линии электропередачи расположена подстанция. Наиболее распространенной задачей в передающей сети является защита линии электропередачи, интегрированная в качестве выделенного элемента системы автоматизации, установленной на подстанции. Дифференциальная защита линии основывается на применении двух электронных приборов, измеряющих напряжение и ток на двух концах линии. Результаты измерений передаются по специализированным каналам связи, и при нормальных условиях работы они должны совпадать. Различие между измеренными величинами может указывать на аварию на линии, и при этом в течение нескольких миллисекунд должны сработать (отключиться) выключатели, отсоединяющие линию от основной сети. Аварийные ситуации могут быть кратковременными, как например в случае удара молнии, или длительными – например, при падении дерева на линию электропередачи или других подобных событиях. При кратковременной аварии автоматика через некоторое время выполнит повторное включение линии.

Еще одна распространенная система – дистанционная защита линии, выполняющая схожие функции, но на основе результатов измерения полного сопротивления линии, а не разности напряжений или токов. В случае аварии на линии встроенная автоматика выполнит не только ее отключение, но и сообщит приблизительное расстояние от подстанции, на котором следует искать место аварии. Все средства автоматиза-

ции на подстанции обычно подключены к терминалу удаленного обмена данными или шлюзу, которые осуществляют связь с диспетчерским центром.

В настоящее время условия, сложившиеся в секторе передачи и распределения энергии, накладывают новые требования, требующие новых решений.

Хотя сети электропередачи обычно работают на переменном токе, для передачи электроэнергии на очень большие расстояния обычно строят линии передачи постоянного тока (ППТ или HVDC). На каждом конце линии необходимо выполнять преобразование переменного тока в постоянный и наоборот с помощью тиристорных преобразователей. В этих схемах требуется применение сложнейших и очень мощных средств управления и защиты с характерным временем цикла около 100 нс.

Подстанция магистральной сети

На подстанции с помощью крупногабаритных масляных силовых трансформаторов осуществляется понижение напряжения, например, с напряжения магистральной сети 240 кВ до напряжения распределительной сети 110 кВ. С помощью размещенных особым образом выключателей обеспечивается надежное управление потоком энергии. Здесь установлено множество встроенных систем автоматизации. Различают защиту объектов, такую как защита линий, трансформаторов и выключателей, а также защиту системы, такую как защита шины. Токи короткого замыкания (КЗ) на подстанциях могут достигать 100 кА. В связи с этим требуется, чтобы устройства защиты реагировали на возникновение КЗ и отключали аварийную часть подстанции в течение 10–20 мс.

Для обеспечения надежности обычно для защиты и управления применяются отдельные встроенные средства. Поэтому число средств автоматизации на подстанции может достигать нескольких десятков, а на крупных подстанциях даже доходить до нескольких сотен. Устройства автоматизации представляют собой модульные компоненты системы, масштабируемые как по количеству входов и выходов, так и по вычислительной производительности.

Первичная подстанция распределительной сети

Первичная подстанция распределительной сети выполняет те же функции, что и подстан-

ция магистральной сети, но при более низких значениях напряжения. Здесь силовые трансформаторы меньших размеров понижают напряжение, например, со 110 кВ до 38 кВ. На этом уровне функции защиты и управления обычно объединены в одном устройстве и все процессы осуществляются одновременно. Количество энергии, выделяемой при авариях, меньше, чем на подстанциях магистральной сети, и поэтому требования к характеристикам реального времени несколько ослаблены. Однако характерное время срабатывания все же находится в пределах нескольких десятков миллисекунд.

Вторичная подстанция распределительной сети

Вторичные подстанции распределительной сети расположены ближе к потребителям и работают при более низком напряжении. На такой подстанции не всегда устанавливаются трансформаторы, а схема подстанции в целом гораздо менее сложна.

Уровень сложности автоматики также невысок, и часто вся автоматизация сводится к простым функциям защиты. Применяются стандартизированные устройства, предлагаемые на рынке по очень низким ценам. В этой части распределительной сети обычно не предусматривается никаких средств связи.

Малая электростанция

Чаще всего малые генераторы служат резервным источником питания для ответственных потребителей, таких как больницы, промышленные потребители или иные критически важные объекты. Главной системой на таких станциях является автомат включения резерва, выполняющий переключение с основного источника электроэнергии на резервный. Соответствующие функции встраиваемых устройств автоматизации обеспечивают корректное функционирование всех сопряженных устройств, в том числе отключение линии электропередачи, запуск генератора и подключение генератора к потребителям. Если необходимо обеспечить непрерывное энергоснабжение, что обычно требуется в информационных центрах, применяются мощные аккумуляторные батареи или маховики, позволяющие обеспечить потребителей электроэнергией в период запуска генератора. Операции быстрого переключения на резерв занимают всего несколько миллисекунд, благодаря чему работа компьютерного оборудования не нарушается.

Автоматика питающих линий

Устройства защиты и управления, расположенные вне подстанций на линиях электропередачи, называются автоматикой питающих линий. Обычно такая автоматика выполняет функции максимальной токовой защиты, определения

места повреждения и автоматического повторного включения. Быстрое интеллектуальное восстановление аварийных питающих линий служит еще одним примером функций встроенной автоматики.

Промышленная сеть

На территории крупных потребителей электроэнергии, таких как промышленные зоны, химические заводы или комбинаты, расположены внутренние распределительные сети, предназначенные для питания электродвигателей и другого оборудования. Для обеспечения защиты,

управления и измерений в такой сети устанавливается большое число различных устройств.

Все эти устройства автоматизации энергоснабжения обычно интегрируются в единую систему управления технологическим процессом.

Диспетчерский центр

Диспетчерский центр – это главный пункт управления работой сети. Установленные в нем системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) позволяют собирать информацию со всех подстанций и выполнять сложную

обработку полученной информации. На этом уровне исполняются приложения управления энергоснабжением, обеспечивающие стабильную работу генераторов, сети электропередачи и потребителей в заданном режиме. Выполняются сложные расчеты потокораспределения мощности для выявления критических режимов и принятия корректирующих мер оперативным персоналом.

В связи с расположением поблизости от высоковольтного оборудования, такая аппаратура должна удовлетворять более жестким требованиям.

Встроенные устройства автоматизации энергосистемы на всех уровнях системы и иерархии управления осуществляют функции, требующие работы в режиме реального времени. На графике (рис. 1) описанные выше системы классифицированы по жесткости требований, предъявляемых к характеристикам отклика и режима реального времени.

Перспективы

Перспективы развития и применения встраиваемых компонентов в системах энергетической автоматики определяются тремя различными тенденциями.

Интеграция электроники

По мере развития технологии изготовления интегральных схем в одном устройстве автоматизации можно будет реализовать все больше функций. Благодаря большей тактовой частоте ЦП и большему объему запоминающих устройств одно встроенное устройство сможет выполнять новые, дополнительные функции, которые в настоящее время выполняются либо целым комплексом устройств, либо вообще во внешних системах.

Более того, новейшие системы построены на основе более универсальных электронных компонентов и программных платформ, что позволяет свести к минимуму стоимость конфигурирования системы для решения конкретной задачи.

Интеграция распределительных устройств

Также проявляется тенденция к интеграции встроенных систем непосредственно в распределительную аппаратуру, тогда как в решениях сегодняшнего дня устройства автоматизации монтируются в щитах распределительных устройств и соединяются с коммутационным оборудованием большим числом кабелей.

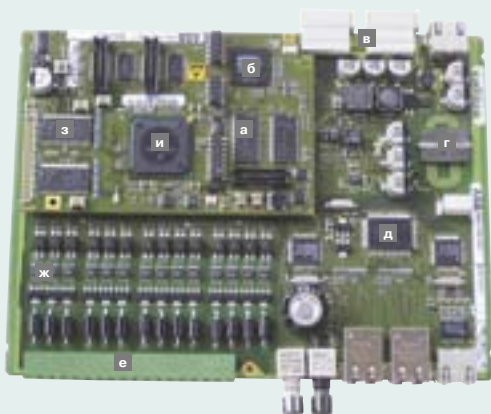
Автоматизация подстанций

В первых реализациях цифровых средств управления и защиты энергосистем применялись специализированные цифровые сигнальные процессоры (ЦСП, DSP). В современных вариантах в полной мере используется огромная вычислительная мощность универсальных центральных процессоров (ЦП). Сами по себе микроконтроллеры PowerPC обеспечивают высокую производительность вычислительных операций при низком энергопотреблении, а следовательно, при малой рассеиваемой мощности. Для исполнения программы применяется оперативное запоминающее устройство с произвольной выборкой (ОЗУ), тогда как код программы и настройки сохраняются в стираемом программируемом постоянном запоминающем устройстве (СППЗУ). Типовая конфигурация может состоять из процессора PowerPC с тактовой частотой 400 МГц, СППЗУ

объемом 64 Мб и ОЗУ объемом 64 Мб. ЦП может быть дополнен программируемыми логическими матрицами (FPGA), обеспечивающими выполнение логических операций и предварительную обработку сигналов. Устройство автоматизации обычно состоит из комплекта печатных плат, соответствующих требованиям к номенклатуре и числу различных входных и выходных цепей. Для связи между модулями предусмотрен высокоскоростной последовательный канал обмена данными, который позволяет ЦП получать данные с входных модулей и передавать данные на выходные модули. Для улучшения общих технико-экономических показателей проектируются специализированные схемы. Ниже приведен пример высокопроизводительного модуля ЦП, подключенного к модулю дискретных входов и интерфейса Ethernet.

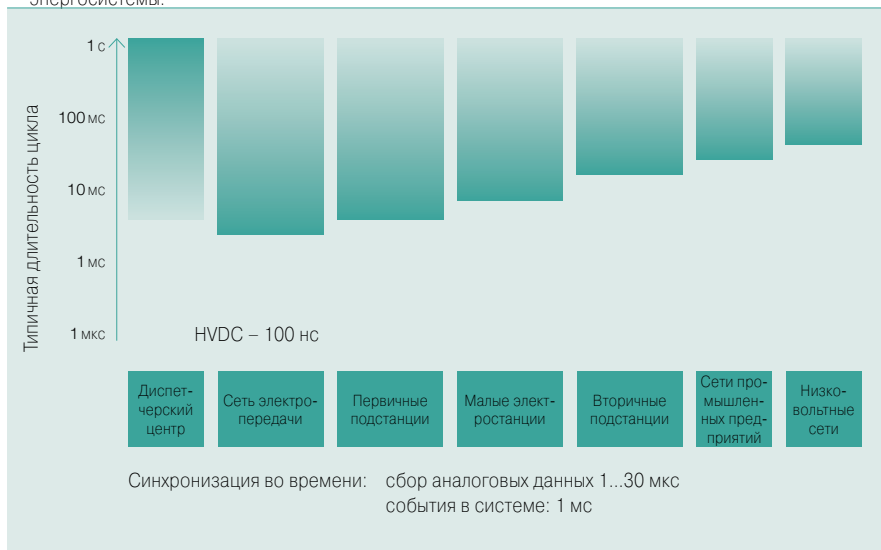
- а** СППЗУ
- б** ПЛМ предварительной обработки сигналов
- в** Внутренний порт связи 100 бит/с
- г** Блок питания

- д** Многопортовый коммутатор Ethernet с доступом к оптической и электрической средам и скоростью передачи данных 100 Мбит/с
- е** Дискретные входы 18–300 В
- ж** ИС обработки сигналов дискретных входов
- з** ОЗУ
- и** Микроконтроллер PowerPC



Технологии встроенных систем

1 Требуемые характеристики режима реального времени для встроенных систем на разных уровнях энергосистемы.



Таким образом, распределительный аппарат со всеми автоматическими функциями превращается в законченный функциональный блок, который называют также интеллектуальным аппаратом. Работы по проектированию аппаратной части, такие как разработка принципиальных и монтажных схем, постепенно будут вытеснены разработкой программного обеспечения и его настройкой.

Интегрированная электроника в низковольтном оборудовании используется уже давно и широко распространена в современных массовых изделиях. В области высоковольтных устройств на рынке появляются первые образцы интеллектуальных автоматических выключателей, растет и интерес потребителей к ним. В области оборудования, рассчитанного на напряжение свыше 50 кВ, необходимы дополнительные исследования; кроме того, рынок тоже пока не готов принять такое оборудование (рис. 2). Однако для всех сфер применения характерна одна и та же тенденция к повышению степени интеграции, различна только скорость внедрения новых концепций.

Передача данных

Наиболее сильной тенденцией следует назвать тенденцию к увеличению интенсивности и скорости обмена данными, что в целом подразумевает реализацию промышленной версии протокола Ethernet (Industrial Ethernet). В новом отраслевом стандарте для энергосистем IEC61850 заложены принципы функциональной совместимости на всех уровнях системы автоматизации энергоснабжения; стандарт стимулирует принятие базовой

технологии связи. Перспективные устройства будут снабжены сетевыми функциями с многопортовыми интерфейсами, такими как функции маршрутизации и коммутации, а также высокоточной синхронизации времени. Кроме того, большинство распространенных в настоящее время протоколов – таких как Modbus и DNP – модифицируется для работы в сети Ethernet, что позволит применять множество стандартных протоколов в единой сети Ethernet.

На электростанциях в основном применяются промышленные средства управления.

Следовательно, современные устройства защиты и управления с факультативными коммуникационными функциями станут полноценными сетевыми узлами с функциями автоматики.

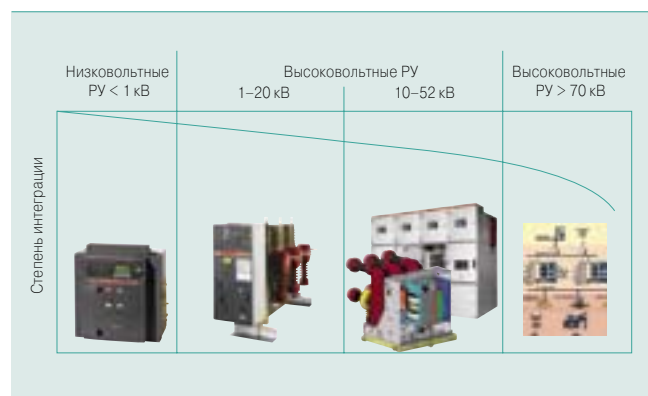
Перспективы развития встроенных средств защиты энергосистем

На всех уровнях процесса энергоснабжения применяются многочисленные сложные встроенные системы. Их основными функциями являются защита элементов энергосистемы, управление потоками мощности, контроль технологического процесса и контроль состояния оборудования.

Устройства автоматизации энергосистем интегрируются в сети передачи данных с целью обмена информацией между комплексом устройств, а также с системами диспетчерского контроля.

Тенденции, наблюдаемые в развитии технологий, указывают на дальнейший рост функциональной насыщенности устройств и более тесную интеграцию с высоковольтной аппаратурой. Будет наблюдаться и непрерывный рост потребности в обмене данными. Это повлечет за собой необходимость оснащения устройств автоматизации сложными коммуникационными и сетевыми блоками, удовлетворяющими требованиям завтрашнего дня.

2 Степень интеграции в зависимости от рабочего напряжения.



Корнель Шерер
Distribution Automation
ABB Management Services Ltd.
Цюрих, Швейцария