Электроэнергия жизненно необходима для работы промышленных предприятий. Многим клиентам АББ, обладающим энергоемкими производствами, требуется надежное и устойчивое электроснабжение для двигателей, приводящих в действие компрессоры, вентиляторы, насосы и станки. Некоторые предприятия работают в районах, где система электроснабжения общего пользования ненадежна или вообще отсутствует, вследствие чего они могут рассчитывать только на свои собственные мощности по выработке энергии. Незапланированное отключение, к примеру, нефтеперерабатывающего завода или завода СПГ вследствие полного отключения энергоснабжения может привести к нарушению производства на несколько дней. При переводе в финансовые показатели это соответствует величинам свыше 10 млн. долларов.

За счет такой зависимости от электричества и непостоянства тарифов на электроэнергию в сочетании с повышением внимания к вопросам экологии и ужесточением законодательства, эффективное управление энергией становится все более важным.

Система Industrial^{IT} Power Management System (PMS) от АББ – это семейство уникальных средств, обеспечивающих надежное и устойчивое электроснабжение энергоемких промышленных производств. Система PMS уравновешивает потребление энергии с возможностями энергоснабжения, тем самым предотвращая нарушения в работе и даже отключения. Более того, система позволяет компании контролировать затраты на электроэнергию, повысить уровень безопасности и снизить вредное влияние на окружающую среду и здоровье персонала.

Не в моем графике

Система управления электроэнергией Power Management System от АББ предотвращает отключения, грозящие потерей миллионов долларов

Отто ван дер Валь, Тронд Хауген, Пер Эрик Хольстен, Фред Лемс

Ситуация при практически каждом отключении почти всегда развивается одинаково: одна часть системы отказывает, после чего ее нагрузка ложится на смежные части системы. Оборудование начинает работать в режиме перегрузки, что, в свою очередь, ведет к отказу. Многочисленные отказы развиваются лавинообразно и в результате целый район оказывается без электричества. Такая ситуация сопряжена с самыми плачевными последствиями и представляет потенциальную угрозу для жизни, риск остановки производства и повреждения оборудования.

Совершенно необходимо исключить нарушения и остановки технологического процесса, поскольку они оказывают отрицательное влияние на финансовые, экологические и социальные аспекты деятельности компании. Надежность энергоснабжения и его качество влияют как на объемы производства, так и на безопасность; следовательно, предотвращение отключений и нарушений работы системы являются важнейшей задачей для любого непрерывного производства. Оборудование должно подвергаться непрерывному контролю для обеспечения нормальных параметров и устойчивости работы. Экстремально быстрая динамика электрических процессов требует обеспечения быстрого времени отклика – порядка миллисекунд, – чтобы предотвратить срабатывание отключающих реле, что может привести к развитию перегрузок оборудования по «принципу домино».

Низкий к. п. д. обходится дорого не только из-за перерасхода топлива; большие объемы выбросов могут еще больше раздуть расходы. Промышленность крайне нуждается в решениях, позволяющих снизить эксплуатационные затраты с одновременным сокращением экологического ущерба.

Одно из таких решений – система управления энергией Industrial^{IT} Power Management System (PMS) от АББ – позволяет обеспечить стабильную работу станции, при которой станция в целом может выдерживать внешние и внутренние возмущения большей величины. Прикладной комплекс включает в себя не только традиционные функции SCADA-системы, но и полный набор функций управления электрической системой, в т. ч. Power Control (управление потоками мощности) и Load Shedding (сброс нагрузки) – две важных функции, рассмотренные подробно в данной статье.

Общая платформа для управления ТП, обеспечения безопасности, управления выработкой электроэнергии и энергосистемой

Система PMS построена на основе системы расширенной автоматизации Industrial^{IT} System 800xA [1, 2], реализующей функции контроля, управления и защиты для всех участков производства. Общая платформа Industrial^{IT} обеспечивает функции управления с гибким, хорошо организованным однооконным интерфейсом, способствующим эффективной работе оператора. Кроме того, дополнительные функции, такие как интеллектуальная фильтрация аварийных сигналов, анализ согласованности данных и система выдачи подсказок оператору, сокращают необходимость во вмешательстве оператора, и что более важно, эти функции позволяют предотвратить неверное вмешательство.

Все большее значение придается систематическому обучению операторов в реалистичной обстановке в качестве необходимого условия для достижения наивысших показателей качества и эффективности работы. Тренажер Industrial^{IT} может быть совмещен с широким рядом систем моделирования технологических процессов и электрических сетей. Поскольку система PMS работает на платформе Industrial^{IT}, ее можно с легкостью развернуть в комплексе с тренажером Training Simulator, благодаря чему перед внедрением можно протестировать стратегии управления (например, распределение приоритетов при сбросе нагрузки) и провести моделирование по методу «что-если» (рис. 1).

Основные функции PMS

Система PMS снабжена интегрированным набором функций управления и контроля выработки, распределения и подачи электроэнергии на промышленных предприятиях. Столь обширная функциональность частично реализована в модулях, обычно используемых в промышленности под другими названиями[1].

Помимо традиционных функций диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA), в системе предусмотрены:

- SCADA-функции для электрических сетей:
  - Управление генератором, в том числе совместная работа с регулятором оборотов и возбуждения.
  - Управление автоматическими выключателями, включая интеграцию с релейной защитой, регистрацию событий, синхронизацию времени с точностью 1 мс. Перед включением выключателя система PMS должна выполнить и проконтролировать синхронизацию между двумя секциями электрической сети. Выбор генераторов, по которым осуществляется синхронизация, осуществляется вручную или автоматически.
  - Управление трансформаторами и устройствами переключения отводов: функция управления режимом меняет режим управления переключателями отводов, регуляторами оборотов и системами возбуждения генератора в зависимости от состояния электрической сети (рис. 2).

Функция определения состояния сети

Функция определения состояния сети (Network Determination) – важная вспомогательная функция для функций управления потоками мощности, сброса нагрузки и синхронизации.

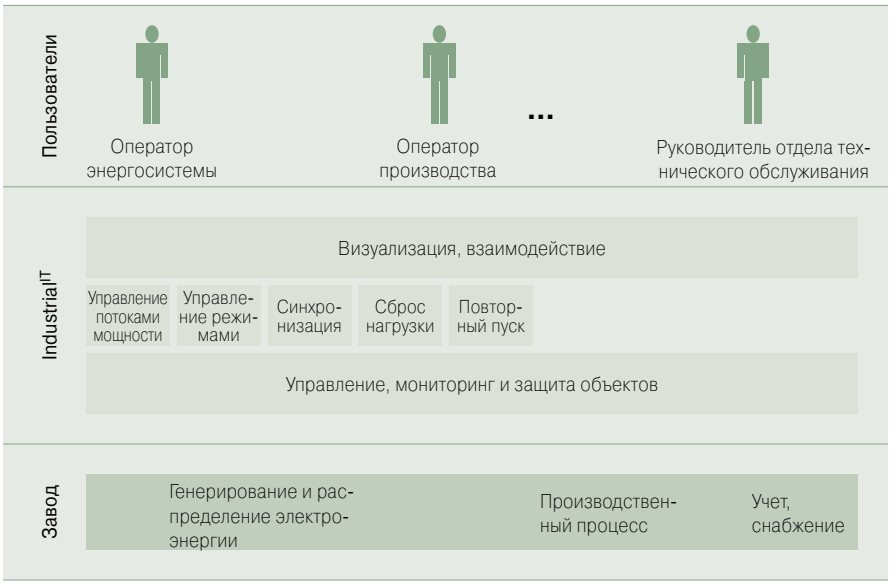
За счет контроля положения важнейших автоматических выключателей электрической сети и благодаря внутренним «знаниям» о топологии сети, функция определения состояния сети может выявлять аварийные ситуации.

В системе PMS для распознавания аварийных ситуаций в сети используются матричные вычисления. Расчет аварийных ситуаций должен производиться за считанные миллисекунды после изменения положения выключателя, при этом логика расчета весьма сложна. Чтобы дать представление о сложности и размерах необходимой логической системы, можно лишь отметить, что электрическая сеть с одной межсетевой соединительной линией и восемью генераторами допускает $2^{(1+8)}$ -1 потенциальную аварийную ситуацию.

Матрица электрической сети представляет собой квадратную матрицу (с одинаковым числом строк и столбцов). Каждый столбец и каждая строка представляют систему шин в электрической сети. Ячейки матрицы представляют положения выключателей, которые осуществляют соединение между шинами.

Функция определения состояния сети (Network Determination) производит расчет аварийных ситуаций в сети на основе этой матрицы; генерируется «приведенная» матрица сети. Число строк в этой приведенной матрице равно числу подсетей (или секций сети) в электрической сети. Приведенная матрица сети используется в следующих модулях: в модуле управления потоками мощности (Power Control) для расчета подведенной и выработанной мощности и балансирования нагрузок в подсетях, в модуле сброса нагрузки (Load Shedding) для расчета дисбаланса между располагаемой и потребной мощностями, в модуле синхронизации (Synchronization) для проверки, между какими источниками энергии (системой и генераторами) возможна синхронизация.

1 Что необходимо для эффективной работы завода.



– Управление двигателями, включая совместную работу с щитами управления электродвигателями, синхронизацию, автоматический перезапуск и контроль раскрутки после сброса нагрузки или падения напряжения.

- Функция определения состояния сети: эта функция (Network Determination) и функция управления режимами являются важными служебными функциями для функций управления потоками мощности, сброса нагрузки и синхронизации. См. вставку на странице 32.
- Управление потоками мощности, включая управление соединительными линиями, ограничение пиковых нагрузок и распределение нагрузки.
- Сброс нагрузки, включая быстрый и замедленный, а также частотную разгрузку.

Функции управления потоками мощности (Power Control) и сброса нагрузки (Load Shedding) более подробно рассмотрены ниже.

Функция Power Control

Функция управления потоками мощности Power Control предназначена для поддержания стабильного режима работы. Это достигается путем распределения активной и реактивной потребляемой мощности между различными генераторами и соединительными линиями таким образом, чтобы рабочие параметры генераторных установок находились как можно дальше от границ допустимых областей PQ-диаграмм каждой отдельной установки, за счет чего сеть предприятия может выдерживать возмущения большей величины (рис. 3).

Функция Tie-line control

Функция управления соединительными линиями Tie-line control, входящая в состав функции Power Control, оптимизирует обмен активной мощностью с коммунальной энергосистемой и приводит значение активной мощности к определенной уставке, задаваемой на основе контрактных обязательств, например, на основе 15-минутного пикового значения (в Европе).

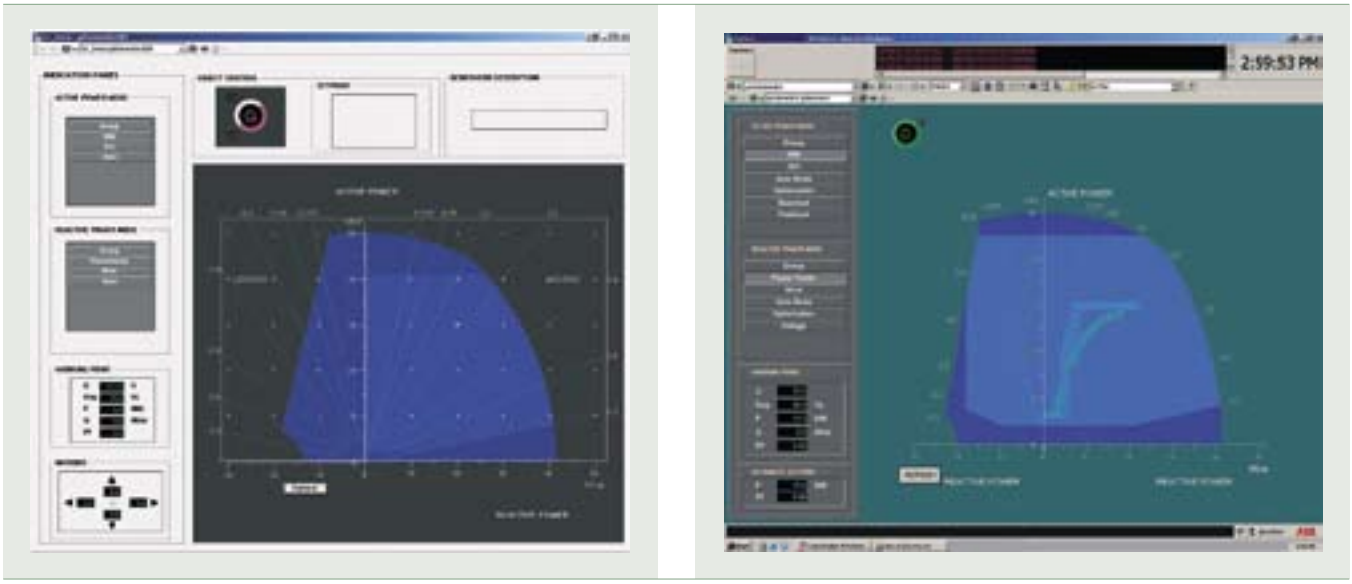
Все большее значение придается систематическому обучению операторов в реалистичной обстановке в качестве необходимого условия для достижения наивысших показателей качества и эффективности работы.

Функция работает следующим образом: система PMS производит учет импорта (или экспорта) энергии или количества энергии, переданной между различными участками путем подсчета импульсов от счетчиков. На основе этих измерений рассчитывается 15-минутный скользящий прогноз потребления энергии. При обнаружении тенденции к росту потребления сверх оговоренных контрактом пределов или сверх установленного оператором значения, система PMS сначала пытается увеличить внутреннюю выработку энергии во избежание превышения контрактных ограничений. Если это оказывается невозможным, функция управления соединительными линиями взаимодействует с функцией сброса нагрузки Load Shedding (см. также ограничение пиковых нагрузок (Peak Shaving)) и сбрасывает достаточное количество второстепенных нагрузок.

Функция Active Power Control

Функция управления активной мощностью – Active Power Control, – как компонент функции Power Control, осуществляет управление частотой и потоками активной мощности в точках соеди-

2 Диаграмма рабочих характеристик генератора с выбором рабочей точки и режима



нения сетей. Данная функция отвечает за контроль текущей конфигурации сети и управление выработкой активной мощности в зависимости от этой конфигурации с целью:

- поддержания определенного значения частоты в случае отключения части сети
- или поддержания потока активной мощности между определенными сетями.

Функция управления активной мощностью сама принимает решение, по какому параметру (частота или мощность) необходимо осуществлять управление. Это решение будет зависеть от текущей конфигурации сети. Таким образом, при изменении конфигурации сети не потребуется вмешательство оператора.

Уставка активной мощности направляется в регуляторы генераторов, подключенных к сети, в результате чего достигается автоматический режим работы.

Дисбаланс мощности

В случае управления по частоте/напряжению, текущие измеренные на шинах значения сравниваются с уставкой. При управлении по активной мощности полученная разница в герцах пересчитывается в единицы активной мощности (МВт).

При управлении потоками мощности измеренное в точке обмена энергией значение мощности сопоставляется с уставкой.

Пропорционально-интегральное регулирование

В качестве входного сигнала на ПИ-регулятор поступает сигнал рассогласования мощности. До тех пор пока сохраняется дисбаланс мощности, на выходе регулятора присутствует соответствующий управляющий сигнал.

Коэффициент использования

Оператор может назначить коэффициент использования для каждого генератора. Это определяет степень участия генератора в регулировании мощности. Чтобы выбрать наиболее подходящий коэффициент использования, оператор может обратиться к расчетным коэффициентам, выведенным исходя из имеющегося запаса регулирования. При этом следует различать коэффициенты использования для управления активной и реактивной мощностью.

Уставка мощности для генератора

Уставку мощности можно выбрать таким образом, чтобы генератор оставался в нужной точке рабочей характеристики независимо от регулирующего воздействия, управляющего частотой/напряжением или потоком активной/реактивной мощности.

Функция управления реактивной мощностью Reactive Power Control

Эта функция служит для регулирования напряжения и управления потоками реактивной мощности в точке обмена энергией между сетями. Она контролирует текущую конфигурацию сети и выдает уставки реактивной мощности подключенным генераторам и/или трансформаторам с целью:

- поддержания определенного значения напряжения на шинах,
- поддержания потока реактивной мощности между определенными сетями,
- поддержания требуемого коэффициента мощности в точке обмена энергией.

Функция управления реактивной мощностью сама принимает решение, по какому параметру (напряжение или реактивная мощность) необходимо осуществлять управление. Это решение будет зависеть от текущей конфигурации сети. Таким образом, при изменении конфигурации сети не потребуется вмешательство оператора.

Уставка реактивной мощности направляется в регуляторы генераторов и трансформаторы, которые подключены к сети.

Уставку реактивной мощности можно выбрать таким образом, чтобы генератор оставался в нужной точке рабочей характеристики независимо от регулирующего воздействия, управляющего напряжением и/или потоком реактивной мощности.

Регулирование реактивной мощности с трансформаторным управлением

Трансформатору отводится главная роль при регулировании напряжения или потока реактивной мощности. С помощью трансформаторного управления поддерживается заданное значение напряжения или потока реактивной мощности. Небольшое остаточное рассогласование между уставкой и измеренным значением компенсируется автоматическими регуляторами напряжения соответствующих генераторов. Параметры управления, такие как усиление и время интегрирования, отрегулированы таким способом, что трансформатор оказывает основное управляющее воздействие.

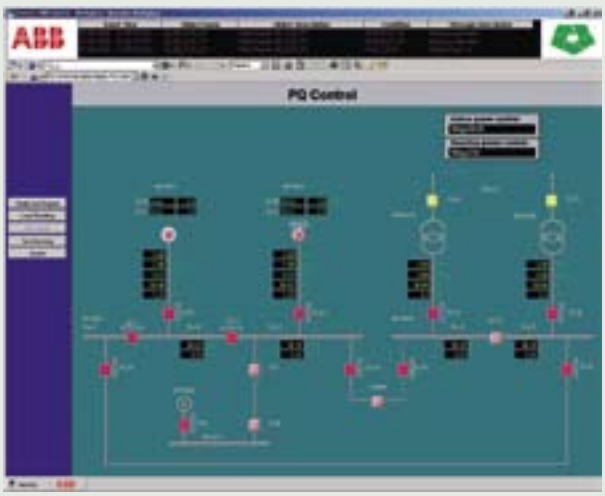
Сброс нагрузки (Load Shedding)

Функция PMS Load Shedding обеспечивает бесперебойную подачу электрической энергии всем важным и первоочередным потребителям на предприятии. Сброс нагрузки осуществляется путем отключения второстепенных потребителей при нехватке вырабатываемой мощности в электрической сети предприятия.

Существует четыре разных режима сброса нагрузки.

- Быстрый сброс нагрузки опирается на расчет баланса электрической энергии. При выделении одной или более секций электрической

3 На однолинейной схеме видно, что после срабатывания защиты генератора были отключены четыре электродвигателя



4 Графическое представление совокупного результата сброса нагрузок, которым были назначены 20 приоритетов сброса

сети (с помощью программы определения состояния сети) система проверяет наличие в каждой отдельной секции достаточной мощности для питания потребителей. Если это условие не выполняется, обнаруженный избыток нагрузки отключается. Процесс отключения регламентируется таблицами приоритетов, основанными на эксплуатационных требованиях технологического процесса.

- При частотной разгрузке (или резервный сброс нагрузки) в качестве исходного сигнала для сброса нагрузки выбирается падение частоты. Команда на фактическое отключение нагрузки может выдаваться на основе измерения скорости падения частоты или понижения частоты ниже определенного порога. Частотная разгрузка обычно применяется в качестве независимой системы резервирования быстрого сброса нагрузки.
- Замедленный сброс нагрузки применяется после возникновения перегрузки. Например, если нагрузка на трансформатор составляет 120 %, отключение некоторых потребителей для вывода трансформатора на номинальный режим – это, безусловно, лучшее решение. Система сообщает оператору, какие второстепенные потребители могут быть отключены. Данная выполняемая вручную операция должна быть произведена в течение определенного времени, после чего система выполнит ее автоматически.
  - Ограничение пиковых нагрузок – это еще один тип медленного сброса нагрузки, который используется в следующих ситуациях. Если внутренняя выработка энергии достигла максимума, но высока вероятность того, что 15-минутный максимум потребления превысит оговоренную контрактом величину, часть низкоприоритетных нагрузок отключается. Сброс нагрузки вручную, в основном, используется тогда, когда наблюдается одно из вышеуказанных условий для замедленного сброса нагрузки, но условия работы не позволили системе выполнить сброс автоматически.

Какую часть нагрузки следует отключить?

Система АББ действует быстро из-за того, что она не ждет падения частоты, прежде чем начать отключение потребителей. Вместо этого решение об отключении (а также о его масштабах) принимается на основе баланса между вырабатываемой и потребляемой мощностью в каждой из секций. Однако для выполнения сброса нагрузки в течение 100-250 мс после возмущения необходимо заранее провести большой объем вычислений.

Решение о мощности отключаемых потребителей зависит от числа применяемых приоритетов, мощности отключаемых групп потребителей в МВт и наличия количественных показателей работы системы.

Настройка сброса нагрузки в системе обладает большой гибкостью, поскольку оператор может (в оперативном режиме) изменить приоритеты различных потребителей предприятия в соответствии с условиями технологического процесса и состоянием электрической сети (рис. 4). Кроме того, во время определения порядка сброса нагрузки система учитывает располагаемые объемы вращающегося резерва. Для использования этого резерва система может изменить режим работы генератора и при необходимости сделает это.

Немаловажна и координация между функциями сброса нагрузки и управления повторной раскруткой. Раскрутка генераторов заблокирована при необходимости выполнения сброса нагрузки; блокировка снимается немедленно после устранения необходимости в сбросе.

В некоторых отраслях промышленности затраты на электроэнергию составляют приблизительно от 30 до 50 % общих производственных затрат.

Заключение

Преимущества системы PMS проявляются на различных этапах:

- *На этапе проектирования объекта.* Повышенная стабильность системы позволяет более точно определять размеры компонентов, снижая стоимость.
- *Во время ввода в эксплуатацию.* Система PMS гарантирует, что номинальная мощность системы энергоснабжения не будет превышена, за счет задержки команд на запуск нагрузок, пока система не будет в состоянии выдать мощность, необходимую для запуска конкретного потребителя. Это позволяет безопасно ввести объект в работу за кратчайшее время.
- *На всех этапах эксплуатации объекта.* Система PMS осуществляет управление генераторами и переключателями отводов, обеспечивая эффективную работу системы энергоснабжения, одновременно контролируя и регулируя обмен активной и реактивной мощностью с энергосистемой. Сокращается загрузка операторов и частота вмешательства оператора в процесс.
- *При планировании технического обслуживания.* Производится сбор исчерпывающей информации о состоянии компонентов электрической системы. Соответствующие мониторы объектов (ABB IndustrialIT Asset Monitors) автоматически отслеживают эту информацию, уведомляя ответственных сотрудников о необходимости принятия мер. В рамках рабочего места оптимизатора объектов Industrial^{IT} Asset Optimizer предоставляется обзор исправности оборудования и исходных данных, необходимых для планирования техобслуживания.

Система PMS может также входить в состав более обширного комплекта поставки электрических систем от АББ. В некоторых отраслях промышленности, например, в химической, нефтехимической, цементной или сталелитейной, затраты на электроэнергию составляют приблизительно от 30 до 50 % общих производственных затрат. Система PMS от АББ может окупиться за короткое время лишь за счет обеспечения большего к. п. д. выработки и импорта электроэнергии и ее использования в меняющихся условиях.

Экономическое обоснование капиталовложений возможно как для новых проектов, так и развертывания в существующих системах; в мире уже есть недавние примеры внедрения системы. Для управления электрической сетью и технологическим процессом используется одна и та же система, что обусловливает снижение затрат на обучение персонала, снабжение запасными частями и техническое обслуживание.

Отто ван дер Валь
ABB A. S., Норвегия
otto. wal@nl. abb. com

Тронд Хауген
ABB Corporate Research, Норвегия
trond. haugen@no. abb. com

Пер Эрик Хольстен
ABB A. S., Норвегия
per-erik. holsten@no. abb. com

Фред Лемс
ABB b. v., Голландия

Литература

[1] Taft, Mike W., «Industrial^{IT} System 800xA, Расширение охвата автоматизации с целью непрерывного повышения производительности», АББ Ревю 1/2004, с. 32-37.
[2] www. abb. com/automation

сноски

ECS, Electrical Control System – Система управления электроснабжением.
ELICS, Electrical Integrated Control System – Интегрированная система управления электроснабжением.
IPCS, Integrated Protection and Control System – Интегрированная система защиты и управления.
PDCS, Power Distribution Control System – Система управления распределением электроэнергии.
LMS, Load Management System – Система управления энергопотреблением.
ENMCS, Electrical Network Monitoring & Control System – Система контроля и управления в электрической сети.