

**Передовые технологии в автоматизации
современных ТЭС**

Сергей Румянцев, ABB AG, Germany

Введение

Энергетическая стратегия многих стран, в том числе России, предполагает дальнейшее активное использование угля в качестве топлива для вновь строящихся электростанций. При этом увеличилась мощность блоков, выросли параметры острого пара до суперкритических значений и вырос к.п.д. Необходимость учета экологии и условия рынка электроэнергии накладывают свои требования на режимы эксплуатации новых блоков. В данной работе даётся обзор некоторых технологий автоматизации крупных блоков на современном этапе.

Современные условия эксплуатации

Увеличение использования энергии ветра ведёт к повышению динамики изменения нагрузки тепловых станций и росту резервов мощности, необходимых для обеспечения надёжного энергоснабжения. В Германии примерно 15% от общей установленной мощности составляют ветряные установки. Экстремальные условия, как например, отсутствие ветра в течение несколько дней, не представляют собой больших проблем для режима работы тепловых станций. Критичным при этом являются обусловленные погодными условиями, различные по величине и трудно предсказуемые по времени колебания мощности, т.е. ошибки прогнозирования подачи мощности от ветряных установок. Ошибки прогноза ведут к повышению частоты пуска и останова крупных блоков, повышению скорости пуска и регулирования. Возникающие при этом градиенты нагрузки составляют 4 – 6 % в минуту.

Ещё один важный аспект изменения условий работы крупных тепловых блоков - это оказание системных услуг на рынке электроэнергии, то есть участие в первичном и вторичном регулировании мощности. Согласно нормам USTE при первичном регулировании величина резерва увеличения мощности должна быть более 2% (распространено 5%) при времени мобилизации до 30 сек. С другой стороны требование высокого к.п.д. (нетто более 45%) подразумевает использование сверхкритических параметров пара ($T > 600^{\circ}\text{C}$, $P > 285\text{ бар}$). Это в свою очередь ведёт к более массивным элементам конструкции и соответственно к необходимости более медленного пуска и останова, чтобы избежать опасных термонапряжений и деформаций. Возникающие при этом температурные транзиенты и градиенты

оказывают существенное влияние на цикл жизни критичных элементов и периодичность ремонта.

Работа на сверхкритических параметрах пара предполагает строгое поддержание температуры пара, так как материалы работают на верхнем уровне их температурного диапазона. При этом недопустимы колебания температуры пара более 3 градусов, что может быть обеспечено только высоким качеством управления со стороны АСУ ТП.

Другим примером является применение некоторых краткосрочных режимов, допустимых по условиям эксплуатации, но требующих высокого качества управления. Например приостанов потока конденсата в режиме скользящего давления, который позволяет кратковременно повысить электрическую мощность и таким образом поддержать первичное регулирование мощности без существенного ухудшения к.п.д.

Таким образом изменившиеся условия эксплуатации логически требует повышения объёмов данных от процесса и уровня автоматизации с целью максимального уменьшения вероятности аварии, связанной с человеческим фактором.

Современные технологии автоматизации

Современные АСУ ТП электростанций представляют собой интегрированные системы, реализованные на одной аппаратной платформе. Речь идёт об единой технологии, которая включает в себя управление блоком, управление и защиту турбины, а также SIL 3 сертифицированную систему защиты котла. Использование одной платформы позволяет существенно уменьшить стоимость жизненного цикла за счёт уменьшения количества необходимого инжиниринга, сокращения числа используемых систем автоматизации и соответственно интерфейсов, сокращение времени наладки и пуска, уменьшение стоимости обучения и последующего технического сопровождения, уменьшения необходимого количества запасных частей.

Характерными чертами современных систем являются:

- Масштабируемость - все решения от малых до больших систем базируются на одной программно-технической платформе
- Открытая архитектура - поддержка мировых стандартов оборудования автоматизации и программного обеспечения
- Объектно-аспектная архитектура – платформа систем автоматизации нового поколения

- Резервирование на всех уровнях - модули ввода/вывода, контроллеры, сети управления, полевые шины, серверы и рабочие станции операторов
- Интуитивный интерфейс оператора с контекстным быстрым доступом к необходимой информации за один щелчок мыши
- Эффективная подсистема инжиниринга, покрывающая все без исключения подсистемы
- Оптимальная обработка аварийных сообщений через подсистему Alarm Management
- Встроенная подсистема управления производственными фондами Asset Management
- Интерфейс к системам управления ресурсами предприятий ERP, например SAP
- Простота интеграции программных и технических продуктов других производителей

Упомянутая функциональность составляет основу системы 800xA компании ABB. Остановимся более подробно на некоторых технологиях, применение и полная интеграция которых в системы АСУ ТП означает новый шаг в процессе автоматизации станций.

Применение полевых шин

Полевая шина PROFIBUS используется для подключения удалённых модулей ввода/вывода, моторов, расходомеров, частотных приводов, приводов постоянного тока.

Технология FDT/DTM (Field Device Tool/ Device Type Manager), которая обеспечивает возможность конфигурирования, наладки и дальнейшего технического сопровождения полевых приборов, непосредственно интегрирована в подсистему инжиниринга 800xA. При этом для полевых устройств, которые имеют стандартные файлы описания (GSD) используется базовый DTM BasicPROFIBUS, позволяющий стандартную конфигурацию. Устройства с протоколом HART могут быть интегрированы, сконфигурированы и параметрированы, используя BasicHART DTM без необходимости использования дополнительных программных средств.

Индивидуальные DTMs могут быть доступны из различных блоков инжиниринговой подсистемы.

Profibus: 800xA система инжиниринга

- Непосредственная интеграция интеллектуальных устройств в систему 800xA
- Привязка сигналов возможна напрямую через функциональные диаграммы



Применение симуляторов

Используя моделирование можно уже на этапе ТЭО оптимизировать алгоритмы управления, определить необходимый уровень автоматизации и повысить безопасность, уровень готовности и эффективности станции.

Моделируя различные режимы работы станции, можно наблюдать их влияние на срок жизни критичных компонентов, а также получить количество требуемого топлива и предполагаемой для выработки электроэнергии и мощности. Это позволяет уже на стадии ТЭО определить параметры станции, исходя из пограничных режимов работы. Появившиеся в последние несколько лет симуляторы «высокой достоверности» (high fidelity simulators) позволяют создать полную реплику станции и её системы управления. Ключевыми моментами здесь является возможно более достоверное представление контроллеров и станций операторов. Так называемые программные контроллеры (softcontroller) представляют собой наиболее достоверную реплику реальных контроллеров. Они работают на стандартных операционных системах и их инжиниринг осуществляется теми же средствами, что и инжиниринг реальных контроллеров. В идеале не нужно повторного программирования, т.е. код сначала

создается на программных контроллерах, отлаживается и тестируется. Проверяются режимы работы блока и потом программный код переносится в реальные контроллеры. Обучение персонала, особенно для вновь строящейся станции, имеет большое значение в связи с растущими размерами блоков, возможностью и необходимостью их эффективного управления. Растёт стоимость последствий аварий при выходе из строя блока большой мощности. Использование симулятора «высокой достоверности» обеспечивает высокий эффект при обучении, так как симулятор имеет одинаковый интерфейс оператора и реакцию от процесса, что и реальный блок. При этом возврат от инвестиций в симулятор и обучение окупают себя в течение нескольких недель или месяцев. На уже существующих станциях симулятор позволяет избежать аварийные ситуации и обеспечить быстрый возврат в случае незапланированной потери блока. Движущими факторами использования симуляторов являются недостаток и текучка опытных кадров, падающий опыт операторов, особенно при возникновении аварийных ситуаций, возрастающие требования к сертификации операторов.

В реализуемых в настоящее время проектах с помощью симуляторов осуществляется:

- Создание, тестирование и проверка конфигурации АСУ ТП
- Разработка экранов оператора
- Создание и проверка стандартных оперативных режимов
- Проверка логики прикладных программ
- Отработка аварийных ситуаций и поведение АСУ в этих ситуациях
- Проведение инжиниринговых исследований
- Анализ результатов управления операторами для выработки лучших режимов

Опыт реализованных проектов показывает, что использование симуляторов на стадии базового инжиниринга позволяет определить например

- Неправильное расположение поверхностей нагрева
- Потребителей, размещённых на ошибочной шине
- Диаметры трубопроводов, не соответствующие системным пределам
- Характеристики клапанов и насосов, неприемлемые для планируемых режимов
- Ошибочные сигналы на входе функциональных блоков
- Ошибочные пределы и константы времени
- Ошибочные элементы И/ИЛИ
- Ошибочные элементы таймера

Таким образом использование симуляторов на этапе базового инжиниринга позволяет существенно уменьшить стоимость последующих коррекций и исправления неправильно спроектированных элементов.

Система 800xA
Симулятор

Применение симулятора

- Использование на протяжении всего жизненного цикла станции
- Защита инвестиций на всех этапах производства
- Эффективное управление станцией



Этапы	Использование	Преимущества
Проектирование	Проверка и оптимизация конфигурации станции	Моделирование конфигураций и режимов
Инжиниринг	Интеграция модели с АСУ ТП. Проверка конфигурации АСУ. Создание и проверка стандартных оперативных режимов.	Тестирование АСУ ТП
Пуск станции	Подготовка операторов до пуска станции	Обучение операторов
Эксплуатация	Оптимизация процесса хорошо обученными операторами	Эффективное управление
Изменения	Оптимизация управления и проверка на модели до непосредственного применения на станции	Оптимизация режимов и инженерные исследования

© ABB Scup - 25 -
30-May-09



Инжиниринговая Интегральная Платформа (Engineering Integration Platform)

Электрические станции и особенно крупные блоки являются сложным объектом для автоматизации. С другой стороны компании находятся под постоянным давлением уменьшения расходов на инжиниринг и сокращения сроков ввода новых блоков. Поэтому вопрос эффективности инжиниринга играет важную роль в проектах автоматизации электрических станций. Это предполагает эффективное использование огромного количества данных и максимальное использование принципа их ввода в одном источнике в системе и дальнейшего распространения внутри системы для всех программных приложений. Энергетическим компаниям нужна интегрированная инжиниринговая платформа на протяжении всего жизненного цикла станции. Одной из причин является нехватка инженерных кадров на станциях.

Другим важным аспектом в ходе реализации проектов является эффективная обработка большого числа изменений, которые возникают на всех стадиях проекта и затрагивают большое количество участвующих в проекте сторон - заказчика, генерального подрядчика, его субподрядчиков и т.д.

Компания АВВ создала и использует в проектах единую Инжиниринговую Интегральную Платформу (EIP). Профиль проектов охватывает автоматизацию, электрическую часть станций, КИП и всю необходимую кабельную инфраструктуру. Важным моментом здесь является полная интеграция EIP в систему автоматизации 800xA с прямым доступом из EIP и свободной навигацией по цифровой модели станции.

В архитектуре EIP используется модульный принцип. Платформа EIP представляет собой ядро данных. Модули как бы подключены к платформе. Есть возможность отделения модулей и их синхронизации. Работа осуществляется с помощью навигатора. Система открыта и расширяема.

Следующие модули реализованы в системе

- Блок импорта необработанных данных от поставщиков процесса. На начальном этапе инжиниринга важно обеспечить ввод данных в одном источнике в системе. При импорте данных происходит их отображение с выдачей соответствующего отчёта о качестве отображения.
- Модуль КИП представляет собой инжиниринговое приложение, предназначенное для работы с КИП, клапанами и другими приборами. С этой целью они вносятся в электронные каталоги, являющиеся основой для сложных конфигураций (шаблонов). Шаблоны далее оцениваются с технической и стоимостной точек зрения и служат основой спецификаций для отдела закупок.
- Модуль сравнения заказанного количества материалов с количеством, находящимся в проектировании. Целью этого модуля является автоматическое сравнение количества различных материалов и компонентов, находящихся в процессе инжиниринга с количествами, определёнными в контракте.
- Модуль отслеживания прогресса в инжиниринге каждого элемента. Имеет важное значение для руководства проекта и отслеживания контрактных условий. Осуществляется автоматическое определение реализованного и еще необходимого инжиниринга в ходе реализации проекта. Это также обеспечивает полноту данных и отдельных фаз инжиниринга.
- Модуль генерации файлов для экспорта в инжиниринговую подсистему АСУ ТП и обратного импорта файлов. С помощью функции экспорта файлы для передачи генерируются в необходимом формате, который позволяет прямой экспорт в подсистему инжиниринга. После завершения всего проектирования или какой-то

определённой части блока или станции, данные могут быть синхронизированы, т.е. обратно отправлены в ЕИР.

- Модуль инжиниринга сетевых компонентов служит для проектирования и детального инжиниринга компьютеров и компьютерных сетей.
- Модуль создания кабельной инфраструктуры. Процесс инжиниринга также основан на применении шаблонов. Стандартно определённые схемы соединений позволяют соединить КИП с соединительными коробками, распределительными шкафами, шкафами питания и станциями ручного управления.
- Модуль электрического оборудования представляет собой набор средств для обработки различных электрических компонентов. Для реализации инжиниринга используется принцип шаблонов. Основу представляет список потребителей, существующий в ЕИР. Модуль позволяет точно специфицировать технические требования для электрических компонентов, которые служат основой спецификаций для отдела закупок.
- Модуль монтажных работ и наладки. Результаты детального инжиниринга АСУ ТП и запроектированной кабельной инфраструктуры экспортируются в модуль монтажных работ и наладки, который используется на площадке, и в который заносятся все возникающие изменения в процессе монтажа и наладки.
- Модуль проектной документации служит для создания консистентной документации, в том числе документации «как построено». Документам присваивается уникальный идентификатор согласно МЭК 61355. Специальные функции позволяют структурировать документацию либо в форме дерева (структура МЭК) либо в виде, определённом заказчиком.

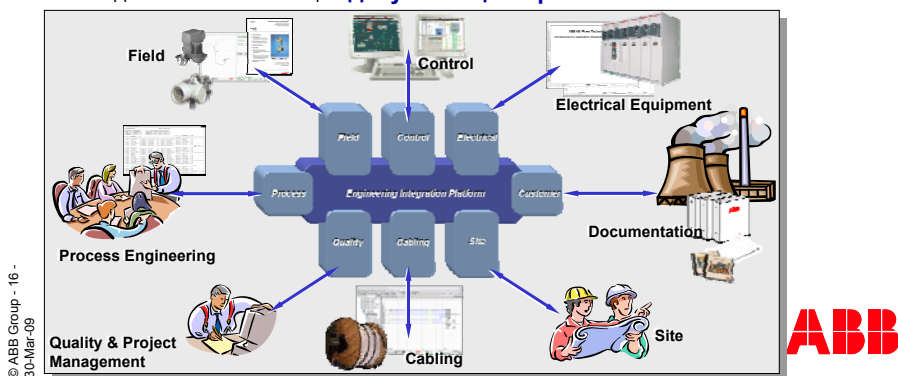
Каталоги и типовые блоки позволяют многократное использование опробированных решений. Все устройства и приборы описаны в каталогах, где содержатся их технические данные и относящаяся к ним документация. Разработаны типовые блоки для распределительных устройств. Лучшие типовые блоки из практики становятся инженерными решениями для будущих проектов.

ЕИР позволяет значительно повысить качество инжиниринга, а именно найти и проследить отсутствующие и ошибочные данные, создать «цифровую модель станции» т.е. единую базу данных и документации объекта и интегрировать документацию

различных поставщиков. Эта модель позволяет отобразить реальные структуры станции, а именно различные отображения процесса, размещение шкафов в различных зданиях, помещениях и т.д. EIP является концентратором для всех данных и документов в проектах по строительству станций. Для заказчика специально создана упрощенная версия, позволяющая ему вносить изменения и добавления после окончания проекта. Это имеет большое значение для дальнейшего технического сопровождения и оказания услуг по сервисному сопровождению. Применение EIP ведет к более высокой эффективности и качеству инжиниринга и снижению затрат.

Инжиниринговая Интегральная Платформа (EIP)

- Обмен исходными данными с поставщиками процесса
- Интеграция **электрического оборудования и АСУ ТП**
- Инжиниринг **КИПа и кабелей**
- Отслеживание **прогресса в ходе проекта**
- Интеграция **монтажа и наладки**
- Создание всеобъемлющей **документации проекта**



МЭК 61850 для управления электрической частью станции

Стандарт МЭК 61850 играет с каждым годом всё более важную роль в автоматизации подстанций. С момента появления встал вопрос его применения также для электрической части станций. Упрощенно электрическая схема ТЭС включает в себя:

- Вспомогательные системы генератора (возбуждение, синхронизация, защита генератора)
- Блочный трансформатор и трансформатор собственных нужд с защитами
- Повышающая подстанция
- Резервное питание
- Шины среднего и низшего напряжения с потребителями

- Шины источников постоянного напряжения

Для каких из выше перечисленных подсистем может быть применен стандарт МЭК 61850 ? Критерием выбора является наличие необходимой функциональности в стандарте и наличие устройств, поддерживающих этот стандарт. Ограничением является отсутствие некоторых применений в объектной модели, ранее определённой стандартом МЭК 61850, например возбуждение и синхронизация генераторов. Эти ограничения снимаются или уже сняты в настоящее время и осуществляется расширение стандарта для применения на гидроэлектростанциях, ветряных и других установках.

Наличие устройств, таких как привода, моторы, шины, системы постоянного тока, поддерживающие этот стандарт в области низкого напряжения на сегодняшний день ещё сильно ограничено. В то же время существует достаточное количество частотных приводов, защит и моторов, подключаемых по полевой шине Fieldbus. Поэтому применение стандарта МЭК 61850 для электрической части станции ограничивается в данный момент областью высокого и среднего напряжения, которая по применяемым устройствам не сильно отличается от обычной подстанции.

Применение МЭК 61850 на ТЭС имеет несколько функциональных аспектов. Во-первых, это защита и автоматизация в области распредустройств (горизонтальная коммуникация) и, во-вторых, интеграция распредустройств в АСУ ТП электростанции. Задача заключается в интеграции электрических систем в систему управления станцией, с целью контроля и управления электрическими потребителями систем собственных нужд из АСУ ТП. Это даёт преимущество эффективного управления в аварийных ситуациях и управления производственными фондами станции с использованием диагностических данных.

Рассмотрим реализацию на примере интеграции в систему автоматизации 800xA компании АВВ. С точки зрения архитектуры системы станционная шина МЭК 61850 организована как самостоятельный сегмент Ethernet. Параллельно осуществляется коммуникация с АСУ ТП (MMS) и быстрая связь между Интеллектуальными Электронными Устройствами (GOOSE). Функции защиты и управления устройством остаются в ИЭУ. Интерфейс между станционной шиной МЭК 61850 и станциями операторов реализован напрямую, а не через контроллеры. Это целенаправленное разделение коммуникационных потоков позволяет избежать ненужное расширение функций автоматизации, реализованных в контроллерах, и влияние на режим реального

времени процесса. Для подключения стационарной шины МЭК 61850 контроллеры оснащаются дополнительным портом Ethernet.

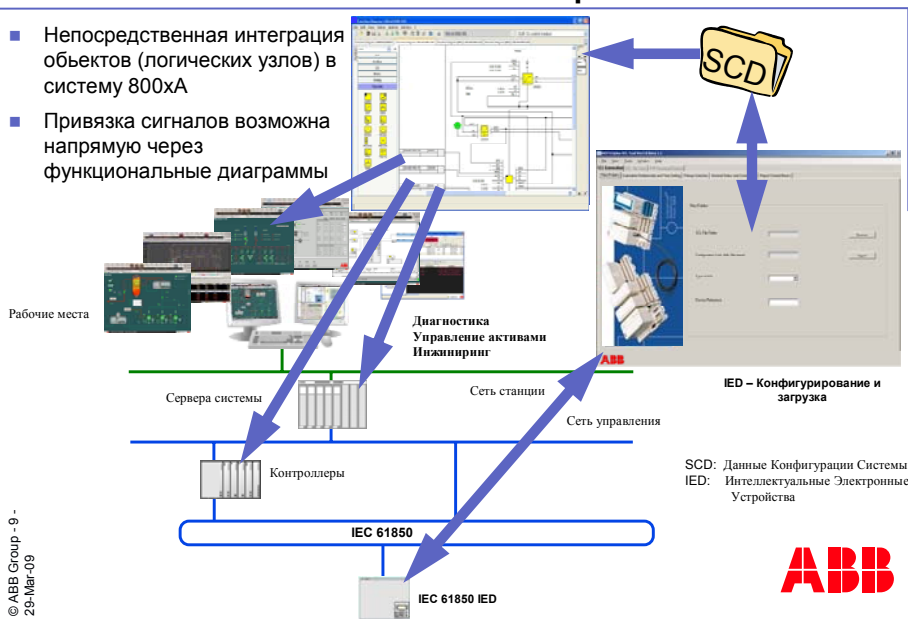
Программное обеспечение контроллера расширяется стэком МЭК 61850. При этом контроллер выполняет функцию MMS клиента. Резервирование интерфейса МЭК 61850 осуществляется через hot-standby резервирование контроллеров. В пределах одной системы несколько контроллеров могут связываться со своими электрическими компонентами через стационарную шину МЭК 61850 в соответствии с выполняемыми функциями автоматизации.

МЭК 61850 сигналы через подсистему инжиниринга 800xA могут быть напрямую интегрированы в функциональные диаграммы. Список доступных сигналов будет прочитан из описания конфигурации SCD. Интерфейс к станциям оператора осуществляется через дублированный МЭК 61850 OPC сервер. OPC сервер был ранее разработан для системы управления подстанцией (MicroSCADA компании ABB) и опробован в большом количестве проектов автоматизации подстанций. Конфигурация OPC сервера и генерация объектов для станций оператора осуществляется с помощью подсистемы инжиниринга 800xA, которая импортирует соответствующую информацию из описания SCD и предлагает эффективную среду по добавлению не существующих в МЭК 61850 атрибутов, например приоритеты аварийных сообщений или KKS. Сопровождение и модификация SCD остаётся за пределами подсистемы инжиниринга системы 800xA. Использование SCD в качестве интерфейса позволяет определить чёткую границу между инжинирингом распределительных устройств и АСУ ТП. Это делает процесс интеграции МЭК 61850 независимым от системного интегратора МЭК 61850 и от поставщиков электрооборудования, если поставка электрической части ТЭС разбита между несколькими поставщиками. Средства конфигурации ИУЭ или диагностики могут быть установлены в 800xA и связываться с соответствующими устройствами через Ethernet. Синхронизация времени осуществляется через Simple Network Time Protocol.

Все важные данные из ИУЭ (сообщения, аварийные сообщения, аналоговые измерения и протоколы сбоев) вызываются из 800xA. Для визуализации и мониторинга в распоряжении имеются все необходимые средства - графический редактор, лицевые панели, списки событий и аварийных сообщений. Все данные, а также вся диагностическая информация, необходимая для технического сопровождения сохраняются в архивах.

IEC 61850: 800xA система инжиниринга

- Непосредственная интеграция объектов (логических узлов) в систему 800xA
- Привязка сигналов возможна напрямую через функциональные диаграммы



Преимущества использования МЭК 61850

Вертикальная интеграция означает, что прокладка параллельных кабелей или последовательные интерфейсы, применяемые до настоящего времени, заменяются на шину Ethernet. Как следствие исчезают соединительные коробки, как граница к распределительным устройствам, распределительные шкафы, а также модули ввода-вывода в контроллерах. Далее исчезают затраты на проектирование кабеля и ранжирование сигналов. Станционная шина МЭК 61850 параллельна как к уровню автоматизации, так и интерфейсу оператора. При этом исчезает инжиниринг функций в АСУ ТП для МЭК 61850 сигналов интерфейса оператора, которые нужны только для сообщений, отображения, диагностики и мониторинга.

По сравнению с применением традиционных протоколов МЭК 60870-5-103 или LON имеет место экономия в аппаратном обеспечении и инжиниринге.

Передача дискретных сообщений на АСУ ТП происходит с меткой времени и разрешением в 1 мкс. Исчезают отдельные интерфейсы для временной синхронизации устройств защиты и управления.

Интеграция электрических систем в АСУ ТП может быть осуществлена независимо от производителя распределительных устройств.

Стандартное описание системы коммуникации на языке конфигурирования подстанции SCL позволяет автоматическую конфигурацию интерфейса к станциям оператора.

Через интеграцию электрических подсистем с помощью МЭК 61850 создаётся единая философия управления всем блоком, включая распределительные устройства. Информация из распределительных устройств может отображаться на любом рабочем месте АСУ ТП, т.е. нет необходимости в дополнительной системе автоматизации подстанции.

Сигналы из распределительных устройств находятся в едином для всей станции списке событий и сообщений с меткой времени и разрешением 1 мкс. Измерения от блока и распределительных устройств регистрируются в одной базе данных и архивируются. Основываясь на этой базе данных могут создаваться любые отчёты с помощью генератора отчётов и осуществляться дальнейшая оценка в виде графиков и трендов.

Ethernet представляет собой удобную инфраструктуру для использования в управлении производственными фондами.

Наличие всей документации, основанной на XML, создаёт базис для моделирования распределительных устройств при испытаниях. Модель данных позволяет симулировать всю станционную шину МЭК 61850 или отдельные устройства.

МЭК 61850 является сегодня мощной и эффективной технологией интеграции автоматизации электрической части станций.

Заключение

Необходимость повышенной маневренности крупных блоков электростанций требует применения передовых технологий:

- Использование полевой шины Profibus DP
- Использование МЭК 61850 для интеграции электрических систем
- Использование симулятора уже в фазе проектирования
- Использование Инжиниринговой Интегральной Платформы

Сложность крупных станций как объекта управления предполагает высокий уровень автоматизации, позволяющий минимизировать вмешательство оператора в аварийных ситуациях и обеспечить высокую точность управления процессом, необходимую вследствие работы на суперкритических параметрах пара.

Реализованная на одной платформе технология управления блоком, турбиной и защитой котла, простота инжиниринга и администрирования системы являются основой для эффективной реализации проекта и использования современных прикладных программных приложений.

Литература

- [1] J. Orth, Integration der Schaltanlagenautomatisierung in die Kraftwerksleittechnik, VGB Power Tech 8/2008
- [2] Profibus Technology and Application, Profibus Nutzerorganisation e.V. PNO
- [3] H. Weber, Kraftwerksbetrieb bei Einspeisung von Windparks, VGB Forschungsprojekt 283
- [4] IEC 61850: Communication networks and systems in substations
- [5] W. Zehner, Optimierung der Leittechnik von modernen Kohlekraftwerken durch Simulation
- [6] A. Kroll, Status and perspectives of operator training simulation for the process industries, ABB Corporate Research Germany, atp International, 2003