Микропроцессорная система технологического контроля электрических параметров турбогенератора

Владимир Егоров, Анатолий Никитин, Андрей Перминов, Александр Ильин

В статье описывается внедрённая на одном из блоков Кольской АЭС система контроля электрических параметров турбогенераторов электростанций, которая построена на базе электронных модулей в формате MicroPC и операционной системы реального времени QNX. Рассматривается проблема выбора аппаратно-программных средств для реализации проекта, приводятся достоинства и недостатки разных вариантов решения данной задачи.

Введение

В настоящее время на промышленных предприятиях для построения систем технологического контроля и управления (СТКиУ) широко применяются промышленные контроллеры. Причём число разновидностей и разнообразие возможностей контроллеров, представленных на рынке, столь широко, что разработчикам аппаратных средств достаточно трудно сделать выбор в пользу того или иного изделия. Проблема выбора еще более осложняется высокими темпами развития рынка промышленных контроллеров.

В лаборатории АСУ ТП Псковского политехнического института для построения СТКиУ ещё в 1996 году был сделан выбор в пользу промышленных контроллеров в формате MicroPC фирмы Octagon Systems. Изделия в формате MicroPC имеют следующие характерные особенности: небольшие габариты модулей, малое энергопотребление, расширенный диапазон рабочих температур от –40 до +85°C, гарантированную устойчивость к воздействию вибрации и одиночных ударов, высокую надёжность. Кроме этого, одним из основных критериев выбора послужила полная совместимость с платформой IBM PC при относительно небольшой стоимости.

Кольская АЭС

Фото Алексея Дружинина (ИТАР-ТАСС)

Версии аппаратных решений

Состав первой версии (рис. 1) представлен в табл. 1. В процессе работы с данной конфигурацией контроллера на фоне появления новых аппаратных средств были выявлены следующие недостатки: относительно низкая вычислительная мощность, большое количество плат в крейте (минимальный набор — 6 штук), низкая скорость работы Ethernet из-за использования шины ISA. Кроме того, была подтверждена недопустимость использования обычного жёсткого диска в промышленных условиях.

По мере появления на рынке нового оборудования производились эксперименты с процессорными платами 5066 фирмы Octagon Systems, CPU686 и CPU686E фирмы Fastwel. В итоге в 2002 году был сделан окончательный выбор в пользу процессорной платы CPU686E (рис. 2). Состав новой версии промышленного контроллера представлен в табл. 2. Преимущества данной конфигурации: значительное увеличение вычислительной мощности, сокращение количества плат в крейте (минимальный набор — 3 платы), увеличение числа каналов ввода-вывода, увеличение скорости работы Ethernet (100 Мбит/с), использование

© 2004, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

Таблица 1

Состав первой версии промышленного контроллера

Тип платы	Название платы и краткая характеристика
Процессорная плата	5025A (386SX, 16 МГц, 4 Мбайт ОЗУ, 512 кбайт флэш-диск)
Плата АЦП	5710 (16 каналов, 12 разрядов, 70000 выборок в секунду, поддержка MUX-16)
Плата дискретного ввода-вывода	5648 (48 каналов)
Платы видеоадаптера SVGA	5420
Модуль жёсткого диска	5800A
Адаптер сети Ethernet	5500
Клеммные платы	STB, MPB

Рис. 1. Шкаф с промышленным контроллером, выполненным на основе процессорной платы Octagon Systems 5025A

твердотельных накопителей. Кроме этого, свободный слот в каркасе контроллера (имеется в виду 4-позиционный каркас 5204-RM) допускает возможность подключения удалённых объектов (например, программируемых логических контроллеров) при помощи восьмипортовой платы последовательной связи 5558 или организации связи с верхним уровнем по выделенной телефонной линии при помощи платы модема 5556.

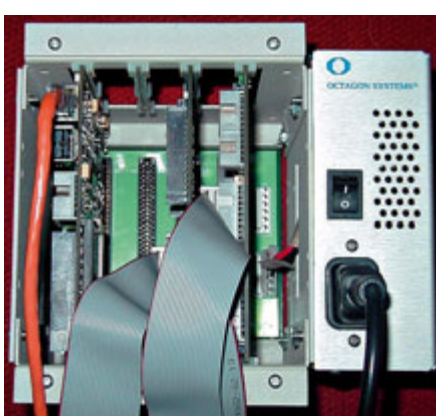

Рис. 2. Промышленный контроллер на базе процессорной платы Fastwel CPU686E

Операционная система и средства программирования

Особо стоит вопрос о применяемой операционной системе (ОС) и средствах программирования контроллера. В контроллере первой серии опыты с процессорной платой 5025A проводились с использованием операционной системы MS-DOS и языка программирования Pascal. С точки зрения предполагаемого применения контроллера, эти опыты выявили целый ряд недостатков данной ОС: сложность реализации сетевых функций, трудность организации многозадачного режима работы, отсутствие лицензий, соответствующих уровню приёмки заказчика. В результате анализа ОС, представленных на рынке, было принято решение о переходе на операционную систему реального времени QNX 4.25 фирмы QSSL. Достоинствами данной ОС являются надёжная архитектура на основе микроядра, полнофункциональная многозадачность, поддержка стандартов POSIX, расширенные сетевые возможности (поддержка FLEET и TCP/IP), наличие драйверов стандартных устройств и встраиваемой графической оболочки. В качестве средств программирования были выбраны языки высокого уровня C и C++, а также среда визуального проектирования графических приложений PhAB. Разработка программного обеспечения велась при непосредственном содействии и консультациях фирмы SWD Software.

Переход к ОС QNX 4.25 оказался довольно трудоёмкой, но вынужденной мерой, в результате реализации которой повысилась надёжность работы всей системы в целом. Использование сетевых возможностей ОС QNX позволило обеспечить гарантированную доставку данных и сообщений. Расширились возможности создания графического интерфейса пользователя. Упростилось программирование нестандартных устройств, таких как плата АЦП, плата дискретного и частотного ввода-вывода. Система стала полностью отвечать предъявляемым требованиям информационной безопасности. Кроме того, появилась возможность наращивания возможностей системы с минимальными программными доработками.

Измерительные каналы системы технологического контроля

На базе описанной аппаратно-программной платформы разработана микропроцессорная система контроля (МПСК) для пятого турбогенератора (ТГ) Кольской атомной электростанции. МПСК ТГ предназначена для технологического контроля основных электрических параметров турбогенератора (табл. 3): линейных и фазных напряжений статора, фазных токов статора в нормальном режиме и режиме короткого замыкания, напряжения нулевой последовательности, напряжения и тока ротора, напряжения и тока возбудителя и других. Кроме этого, в МПСК ТГ включена подсистема контроля параметров щёточно-контактного аппарата (ЩКА). Данная подсистема измеряет значения падения напряжения на щётках, виброускорение «положительного» и «отрицательного» колец, а также температуру охлаждающего воздуха на входе и выходе воздуха ЩКА.

Измерительные каналы системы контроля делятся на три группы: «сверхбыстрые», «быстрые» и «медленные». К «сверхбыстрым» относятся каналы переменного тока и напряжения с промышленной частотой 50 Гц. Для данного типа каналов при-

Таблица 2

Состав новой версии промышленного контроллера

Тип платы	Название платы и краткая характеристика
Процессорная плата	CPU686E (GeodeGX1, 300 МГц, 32 Мбайт ОЗУ, 8 Мбайт флэш-диск, CompactFlash до 1 Гбайт, SVGA, Ethernet 10/100Base-TX)
Плата АЦП	AI8S-5A (8 каналов, 14 разрядов, 100000 выборок в секунду, поддержка AIMUX-32C и MUX-16)
Плата дискретного ввода-вывода	UNIO96 (96 каналов)
Терминальные и клеммные платы	TBI-24/0C, TBI-0/24C, AIMUX-32C, MPB

© 2004, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

нят период опроса 1 мс. К «быстрым» относятся каналы постоянного тока и напряжения системы возбуждения. Для них принят период опроса 10 мс. Для «медленных» каналов (измерение температуры и виброускорений в подсистеме ЩКА) принят период опроса 100 мс.

Всего МПСК ТГ содержит 64 «сверхбыстрых», 10 «быстрых» и 14 «медленных» каналов; причём число «сверхбыстрых» каналов может быть доведено до 70 (64 коммутируемых и 6 некоммутируемых), а суммарное количество «быстрых» и «медленных» — до 24.

Таблица 3

Основные сигналы состояния контролируемых параметров турбогенератора

Название сигнала	Тип сигнала	Диапазон изменения	Количество
Фазное напряжение ТГ	~50 Гц	0…10 кВ	3
Линейное напряжение ТГ	~50 Гц	0…18 кВ	3
Фазный ток ТГ	~50 Гц	0…10 кА	3
Фазный ток короткого замыкания ТГ	~50 Гц	0…100 кА	3
Напряжение нулевой последовательности	~150 (50×3) Гц	0…100 В	2
Напряжение нейтрали	~50 Гц	0…100 В	1
Напряжение возбуждения	сигнал постоянного тока	0…600 В	1
Ток возбуждения	сигнал постоянного тока	0…2000 А	1
Ток возбудителя	сигнал постоянного тока	0…100 А	1
Напряжение регулятора ● **турбогенератора** ● **возбудителя**	 сигнал постоянного тока сигнал постоянного тока	 –10…+10 В –10…+10 В	 1 1
Температура ротора	сигнал постоянного тока	0…100°С	2
Падение напряжения на щётках	сигнал постоянного тока	–10…+10 В	2
Виброперемещение	сигнал постоянного тока	0…500 мкм	2

Измерительные каналы переменного тока («сверхбыстрые») организованы следующим образом (рис. 3): сигнал от первичного измерительного трансформатора электростанции поступает на вторичный измерительный трансформатор тока или напряжения, после которого через схему защиты от

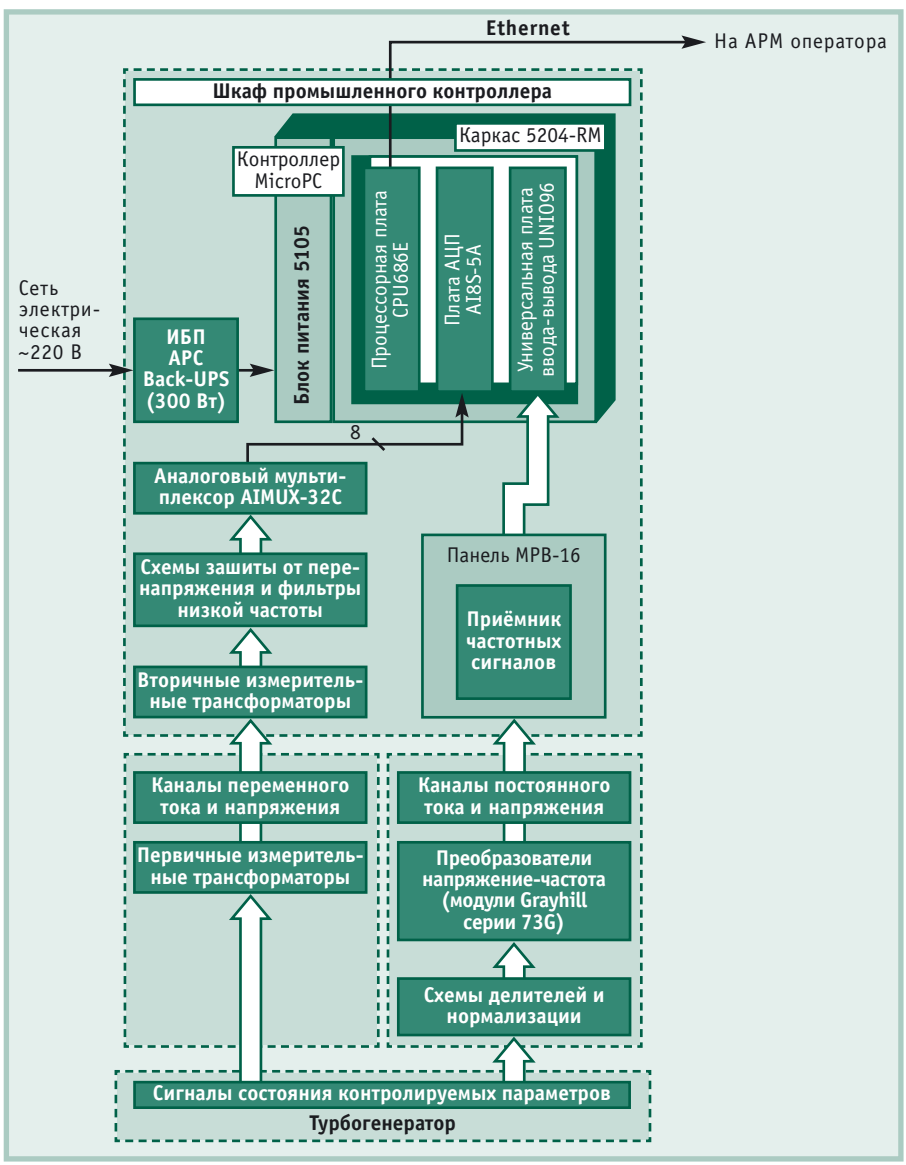

Рис. 3. Схема организации измерительных каналов

© 2004, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

перенапряжения и фильтр низкой частоты (ФНЧ) поступает на вход мультиплексора AIMUX-32C, подключенного непосредственно к плате АЦП контроллера.

Измерительные каналы постоянного тока («быстрые» и «медленные») имеют схожую аппаратную реализацию и принципиально отличаются только частотными характеристиками. Эти каналы выполнены с использованием модулей гальванической развязки серии 73G фирмы Grayhill. Контролируемый сигнал через делитель либо плату нормализации поступает на вход модуля гальванической развязки, где преобразуется к частотному виду. Затем по линии связи он передается в приёмник частотных сигналов, расположенный на клеммной плате MPB-16, которая, в свою очередь, подключена к универсальной плате ввода-вывода UNIO96 из состава контроллера MicroPC.

Электропитание всех блоков системы организовано через источник бесперебойного питания (ИБП) Back-UPS фирмы APC (мощность 300 Вт, время работы от батареи 10 минут). Система контролирует напряжение на входе ИБП и в случае необходимости производит безаварийный останов работы МПСК ТГ. Кроме этого, организован контроль доступа в шкаф промышленного контроллера.

Для обеспечения диспетчерских функций организовано автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, размещённое на центральном щите управления. Связь между контроллером и АРМ осуществляется по оптоволоконной линии Ethernet.

Программное обеспечение контроллера и АРМ

Программные модули сбора и обработки информации разработаны на основе технологии менеджера ввода-вывода, соответствующей ОС QNX. Каждый измерительный канал представляется в виде файла, поддерживающего стандартные операции чтения и записи.

Для обеспечения заданных функций контроля набор программных средств состоит из следующих модулей: драйверов аналогового и частотного ввода, серверов данных, событий и истории, регистратора аварийных событий. Взаимосвязь программных модулей показана на рис. 4. Драйверы производят сбор и первичную обработку данных от плат ввода-вывода. Сервер данных преобразует информацию в соответствии с ка-

© 2004, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

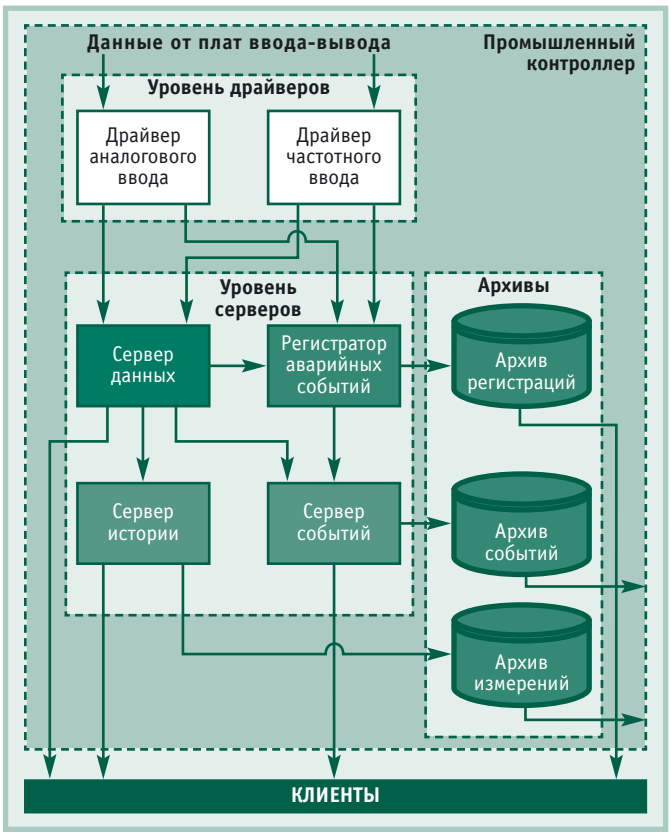

Рис. 4. Схема взаимосвязи программных модулей

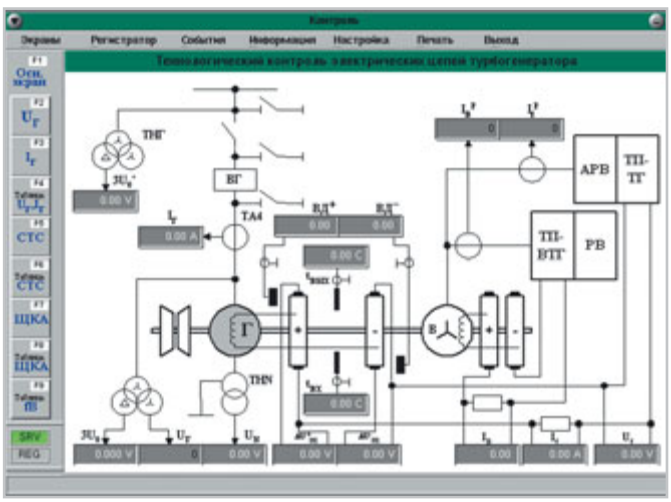

Рис. 5. Пример видеограммы монитора текущих данных

либровочными коэффициентами и обрабатывает заданные уставки. Сервер событий производит буферизацию сообщений от всех модулей, записывает их на диск и передаёт клиентам. Сервер истории записывает и хранит в оперативной памяти и на флэш-диске (для восстановления в случае сбоев) значения параметров для часового, суточного и месячного архивов. Регистратор аварийных событий (РАС) сохраняет в кольцевом буфере памяти значения параметров и по команде сервера данных производит запись содержимого буфера на диск через заданное время постистории.

Человеко-машинный интерфейс реализован на базе АРМ оператора и обслуживается следующим набором программных модулей: монитор текущих данных, монитор событий, просмотр исторических данных, просмотр протоколов РАС, настройка параметров системы.

Монитор текущих данных представляет значения параметров в форме видеограмм и таблиц с периодом опроса отображаемой группы измерительных каналов 1 секунда. В общем случае значение периода опроса настраивается в зависимости от количества и частотных свойств опрашиваемых измерительных каналов, а также от пропускной способности канала связи и особенностей восприятия информации оператором. Например, при использовании Ethernet в качестве канала связи период опроса может быть сокращён до 0,1 секунды, но при этом существенно усложняется восприятие текущей информации. На рис. 5 показана одна из видеограмм монитора текущих данных.

Монитор событий выводит информацию с указанием времени и источника, а также с описанием ситуации. Гарантированное время доставки сообщения на АРМ — в пределах 1 секунды с момента возникновения.

При помощи *модуля просмотра исторических данных* можно ознакомиться с трендами архивной информации.

Модуль просмотра протоколов РАС копирует файлы протоколов аварийных событий в компьютере АРМ и позволяет анализировать зафиксированные события.

Модуль настройки предоставляет возможность удалённо конфигурировать параметры работы программных модулей контроллера.

В качестве протокола связи промышленного контроллера и АРМ используется FLEET. Данный протокол удобен для построения гибких распределённых систем, так как ОС QNX скрывает сетевой уровень и для клиента взаимодействие с локальными и удалёнными ресурсами выглядит одинаково. Для развития системы и для организации связи с АСУ ТП электростанции можно использовать стандартные средства, предоставляемые протоколом TCP/IP.

Заключение

Для Кольской АЭС внедрение МПСК ТГ явилось важным шагом, направленным на повышение надёжности эксплуатации пятого турбогенератора станции. Истекает его расчётный ресурс, и турбогенератор входит в период интенсивных отказов. В этих условиях трудно переоценить значение системы, способной предупредить отказы оборудования.

МПСК пятого турбогенератора была введена в опытную эксплуатацию в сентябре 2002 года, а в январе 2003 года переведена в промышленную эксплуатацию. По настоящее время система контроля работает без сбоев и при минимальном обслуживании. Разработанная система легко наращивается, и в дальнейшем возможно её расширение за счёт увеличения числа контролируемых параметров. Кроме того, возможна установка таких же промышленных контроллеров и на другие турбогенераторы станции с перспективой интеграции их в единую систему контроля.

Накопленный в процессе проектирования и внедрения МПСК ТГ опыт позволяет сделать вывод, что системы, построенные на аппаратной базе MicroPC и с применением ОС QNX, отличаются высокой надёжностью, полной совместимостью программной и аппаратной частей, а также целым рядом особенностей, обеспечивающих возможность их разработки в относительно короткие сроки. ●

Авторы — сотрудники Псковского политехнического института и Кольской АЭС
Телефоны: (8112) 72-4037, (81532) 78-373

© 2004, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru