

Что первично "СОФТ" или "ЖЕЛЕЗО"?

А.Д. Маштаков (Компания Beckhoff)

Сформулированы требования, предъявляемые к современным промышленным контроллерам. Намечены пути сближения ПЛК и ПК: унификация аппаратных составляющих ПЛК и использование специального ПО на обычных ПК. На примере характеристик и возможностей контроллеров CX1000В компании Beckhoff обсуждается возможность замены в АСУТП аппаратных средств программными.

Введение

ПЛК изначально предназначались для управления последовательными логическими процессами. Контроллеры пришли на смену релейным схемам управления и электронным схемам с жесткой логикой. Главная идея, которую позволяли реализовать первые контроллеры – это возможность быстрой перенастройки технологического оборудования на выпуск другой продукции [1]. Мощные производительные процессоры современных контроллеров, большой объем оперативной памяти, твердотельные накопители информации, поддержка современных коммуникационных технологий – все это делает ПЛК похожим на обычный компьютер. Например, серия контроллеров Embedded PC (Beckhoff) выпускаются на следующих аппаратных платформах: контроллер CX1000 имеет процессор AMD – Geode – 266 МГц, CX1020 оснащается процессором Intel – Celeron – М, 600 МГц. Особенностью CX9000 является мало потребляющий процессор Intel® IXP420 с тактовой частотой 266 МГц с технологией XScale®. Производительность составляет 45...5 мкс, необходимых для выполнения 1000 строк кода на языке IL для контроллеров CX1000 и CX1020 соответственно.

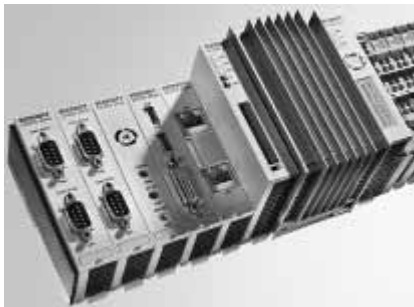


Рис. 1. Контроллер CX1020

Но такое усовершенствование не просто прихоть производителей, оно продиктовано новым кругом задач, на решение которых нацелен современный контроллер, который помимо простых логических операций способен выполнять цифровую обработку сигналов, функции регулирования, управлять приводами, обеспечивать интерфейс с оператором и т.д. ПЛК традиционно работают на нижнем уровне автоматизации, датчики и контрольные приборы непосредственно подключены к его входам, программа ПЛК управляет технологическим оборудованием. Ограничение на длину кабелей, ведущих от датчиков и исполнительных механизмов, обуславливает расположение контроллера в таком месте, где он подвергается негативному воздействию факторов промышленной среды. Поэтому такие факторы, как вибрация, повышенная температура, влажность, пыль и электромагнитные помехи должны учитываться производителями контроллеров.

Обычные ПК изначально не были предназначены для управления технологическим оборудованием в РВ, главным образом это ограничение было связано с низким уровнем надежности компьютеров и их компонентов. Но технология производства в области традиционной микроэлектроники не стоит на месте. Удачно подмеченная тен-

денция развития электронной промышленности (закон Мура) гласит: число транзисторов на кристалле удваивается каждые два года. Эта тенденция продиктована, прежде всего, развитием чрезвычайно широкого рынка обычных офисных ПК и приложений. Как следствия этого имеем, с одной стороны, повышение надежности ПК предыдущего поколения (с меньшей степенью интеграции элементов), с другой – постоянное снижение стоимости комплектующих для обычных ПК. Иными словами, с каждым годом компьютерное "железо" становится все более компактным, производительным и дешевым. Этот тезис открывает новые перспективы использования ПК в качестве управляющего контроллера также и в промышленных приложениях. Но может ли компьютер в полной мере заменить контроллер в системах управления РВ технологическим оборудованием?

Требования к контроллерам

Тяжелые условия работы контроллеров в промышленной среде определяют обязательный набор требований, предъявляемых ко всем контроллерам, предназначенным для промышленного использования.

- Повышенная надежность, отсутствие движущихся частей (вентиляторов, дисковых накопителей и т.п.), малое тепловыделение.
- Устойчивость к воздействию вибрации: надежная фиксация всех контактных групп и разъемных соединений, надежное крепление элементов внутри корпуса.
- Устойчивость к воздействию влаги, пыли и агрессивных газов: специальное защищенное исполнение корпуса от IP20 до IP67, позолоченные контакты, дополнительное лаковое покрытие монтажных плат.
- Устойчивость к электромагнитным помехам электроники (особенно входных/выходных аналоговых цепей).
- Взаимозаменяемость контроллеров за счет использования стандартных языков программирования и стандартных сигналов от датчиков. ПО контроллеров – это, прежде всего, возможность программирования на языках стандарта МЭК 61131-3, использование которого позволяет минимизировать вероятность ошибки программиста и обеспечивает переносимость программ (хотя бы на уровне исходного текста) на другую аппаратную платформу. Последнее обстоятельство очень важно, т.к. алгоритмические наработки по управлению тем или иным технологическим объектом, а также их реализация в виде контроллерных программ часто являются весомым капита-

лом фирм – системных интеграторов, накапливаемыми в течение многих лет. При некоторой стандартизации подключаемых к контроллеру датчиков и исполнительных устройств различные контроллеры вообще можно сделать взаимозаменяемыми.

- Поддержка стандартных протоколов обмена и возможно большего числа промышленных шин обеспечивает совместимость с оборудованием других производителей. Это современное требование ко всем системам управления. Закрытые системы, несовместимые с другими производителями не имеют будущего. Только открытый протокол, поддержка стандартных промышленных шин дают конечному пользователю гарантию того, что его система прослужит долго и не будет зависеть от конкретного производителя. Показательный пример такой совместимости – это использование распределенного ввода/вывода Beckhoff по шине Profibus совместно с управляющим контроллером Siemens. Такие решения Siemens предлагает в своих европейских проектах. Подобная интеграция выгодна обоим, для Siemens – существенное удешевление проектов, что делает его решения более привлекательными, для Beckhoff – расширение объема продаж контроллеров и модулей ввода/вывода.

- Модульность конструкции, диагностика и самодиагностика модулей, быстрое восстановление системы после замены одного из модулей, результат: низкая цена. Модульная структура контроллеров означает то, что для конкретного проекта возможно выбрать именно те функциональные модули контроллера, которые требуются. Это снижает стоимость контроллера целиком и существенно упрощает замену неисправного модуля как с технической точки зрения, так и с финансовой. На рынке контроллеров присутствуют два конструктивных решения: магазин (или корзина), имеющая некоторую параллельную шину на задней панели, в разъемы которой вставляются процессорный модуль и модули ввода/вывода либо коммуникационные, например модуль для подключения Ethernet. Очевидное преимущество такого способа подключения модулей – возможность горячей замены модулей ввода/вывода, к недостаткам следует отнести наличие магазина с ограниченным числом посадочных мест. Это приводит также к необходимому увеличению числа каналов на один модуль и использованию как следствие выносных клеммных колодок для подключения сигнальных кабелей, что неминуемо ведет к удорожанию контроллера. Альтернативное решение – использование интеллектуальных клеммных модулей с малым числом каналов и малыми габаритами, которые монтируются непосредственно на DIN-рейке без использования магазина или задней панели (рис. 1.). Выносные клеммные колодки также не нужны, сама линейка модулей ввода/вывода исполняет роль входного клеммника для подключения сигнальных кабелей. По такому пути пошел Beckhoff, предложив в 1995 г. свою знаменитую серию Bus Terminals. В любом случае модульное исполнение ведет к снижению цены и времени ремонта контроллера.

- Высокая производительность контроллера, сравнимая с ПК. Для обьема сложных алгоритмов, управ-

ления и регулирования требуется мощный процессор с поддержкой операций с плавающей точкой; чтобы управлять большими объемами данных, необходимо достаточно памяти. Программы поступают с различных носителей, поэтому необходима возможность чтения и записи данных с произвольных носителей, а также возможность отправки сообщения и входа в систему. Программирование должно осуществляться в удаленном режиме с использованием Ethernet и TCP/IP. Данные должны передаваться по сети. Крайне желательны также встроенная поддержка Web, OPC, HMI – интеграция в систему управления предприятием.

Последнее требование плохо вяжется в нашем сознании с возможностями обычных ПЛК. Но это было в недавнем прошлом, теперь уже никого не удивит тем, что контроллер поддерживает, например, встроенный Web-сервер, или имеет твердотельный накопитель объемом 100 Мб для архивирования оперативных данных.

ПЛК и ПК: два пути сближения

Первый путь – унификация аппаратных составляющих ПЛК: мощное вычислительное ядро (базирующееся на процессорах Pentium) современных ПЛК делает их очень похожими на компьютеры. Однако ПЛК это не "железо", а технология. Она включает специфическую аппаратную архитектуру, принцип циклической работы и специализированные языки программирования. Программирование ПЛК осуществляется людьми, хорошо знающими прикладную область, но не специалистами в математике. Системное ПО ПЛК расположено в постоянной памяти в адресном пространстве центрального процессора и всегда готово к работе. При включении питания ПЛК готов взять на себя управление системой уже через несколько миллисекунд. В целом, в силу дешевизны, надежности и простоты применения, аппаратные ПЛК доминируют на нижнем уровне систем промышленной автоматизации. Они обеспечивают непосредственное управление оборудованием на переднем крае производства. Функции HMI и интеграции в информационную сеть предприятия осуществляются на уровне Firmware и требуют от разработчиков аппаратных ПЛК затрат, которые часто приводят к существенным ограничениям этих функций. Прикладной программист не имеет возможности свободно включать код своей программы, написанной на языке высокого уровня в ПО, выполняемое контроллером.

Второй путь – использование специального ПО на обычных ПК: существуют программы имитирующие работу ПЛК на компьютере (Soft-PLC). В этом случае удается совместить на одной машине контроллер, средства программирования и визуализации. Недостатком такого решения является значительное время восстановления при сбоях и повреждениях. Переустановка и настройка ОС, драйверов оборудования и прикладных программ требует значительного времени и высокой квалификации обслуживающего персонала.

Компьютеры – новые черты

В серии промышленных ПК представлены устройства самой высокой производительности в широких пределах в

зависимости от отдельных элементов, которыми они оснащены (процессоры и устройства памяти): от 266 МГц и 64 Мб оперативной памяти до максимальной на данный момент мощности – 2,8 ГГц и 1 Гб. Между указанными границами располагаются "рабочие лошадки", например, Pentium III 850 МГц с оперативной памятью 256 Мб – конфигурация, достаточная для решения большинства различных задач управления, требующих значительной мощности, и в то же время характеризующаяся разумным соотношением цены и производительности.

Сверхкомпактные корпуса (65x210x125 мм) оборудованы трехдюймовой материнской платой для процессоров Intel® Celeron® М или Pentium® М до 1,8 ГГц.

С развитием технологии производства микросхем памяти и процессоров, которые используются в обычных ПК, непрерывно повышается также их надежность. Новейшие, самые производительные ПК проходят сначала массовую обкатку на рынке офисных задач в течение 2...3 лет, но и компьютеры "вчерашнего дня" имеют достаточную производительность для большинства промышленных приложений.

Механические конструкции весьма разнообразны: конструкция корпуса обеспечивает доступ к элементам с различных сторон; имеются встраиваемый и навесной варианты монтажа ПК в шкафу управления или на опоре. Для ПК, устанавливаемых в производственном помещении, предусмотрена специальная защита от проникновения пыли внутрь корпуса. Все дополнительные платы, устанавливаемые в слоты PCI или AGP, прижимаются специальными фиксаторами, позволяющими эксплуатировать ПК в условиях повышенной вибрации. Возможно оснащение ПК TFT-дисплеем, который устанавливается непосредственно на ПК. Имеется явная тенденция увеличения производительности устройств при уменьшении их размеров, наглядной иллюстрацией чего служат новые компактные ПК серии Beckhoff C69 (рис. 2).

В общем случае для организации ввода/вывода используются платы промышленных шин ПК, однако возможно также подключение промышленных шин к встроенным интерфейсам RS-232, USB или Ethernet. Встроенные (Embedded) варианты стандартных ОС дают возможность отказаться от вращающегося жесткого диска и снабдить компьютер только доступной по цене флэш-картой.

Таким образом, стало возможным соединить производительность систем управления на базе ПК с надежностью и простотой обслуживания стандартных систем управления.

Компьютеры и ОС реального времени

Какой бы компактный, пыле- и влагозащищенный не был компьютер, как бы не была мала рассеиваемая мощность, он еще не способен выполнять функции ПЛК без соответствующего ПО и системы распределенного вво-

да/вывода сигналов. Пункт требований к контроллерам о стандартных языках программирования и стандартных сигналах от датчиков должен быть расширен также наличием самой среды исполнения той прикладной программы, написанной на стандартных языках МЭК61131-3. В случае использования обычного ПЛК пользователь с помощью редактора МЭК61131-3 и компилятора создает исполняемый код для процессора и загружает его в память контроллера. При использовании ПК требуется некоторая среда исполнения – программа, которая будет "изображать" ПЛК и выполнять тот код, который пользователь генерировал в редакторе. Это должен быть не просто эмулятор ПЛК, а циклически выполняемая задача РВ, регулярный, жестко детерминированный старт. Кроме того, должен также производиться и опрос устройств распределенного ввода/вывода, это означает, что драйверы интерфейсных плат промышленных шин

должны также работать в РВ. Реализация таких систем исполнения контроллерных программ возможна только под управлением ОС РВ.

Реализация таких систем исполнения контроллерных программ возможна только под управлением ОС РВ.

Реализация таких систем исполнения контроллерных программ возможна только под управлением ОС РВ.

ОС реального времени

ОС РВ – это специальный класс ПО нижнего уровня, на базе которого разрабатываются так называемые системы РВ (СРВ), общей отличительной чертой которых является гарантированное время реакции, не превосходящее заранее определенный интервал, который определяется характерным временем изменения состояния ТП.

На рынке присутствует множество коммерческих ОС РВ, вот лишь некоторые из них: Nucleus PLUS (разработчик Accelerated Technology); CMX-RTX (разработчик CMX Systems); ThreadX (Express Logic); VRTX (разработчик Mentor Graphics); Windows CE и Windows NT Embedded (Microsoft Corp.); OS-9 (Microware Systems Corp.); RTOS-32 (On Time Software); QNX (QNX Software Systems Ltd.); ChorusOS (Sun Microsystems); RTX for Windows NT and Windows CE (VenturCom); VxWorks (Wind River Systems).

Следует отметить одну особенность развития рынка встроенных систем РВ. В связи с выходом на этот рынок такого гиганта, как Microsoft с ОС Windows CE NET и Windows XP Embedded в последние два года происходит слияния компаний. Так фирма Wind River Systems приобрела компанию Integrated Systems, после чего прекратила существовать конкурировавшая с VxWorks ОС РВ pSOS, а VenturCom приобрела компанию Phar Lap Software, и тем самым устранила с рынка ОС РВ ETS Kernel. Но общее число ОС РВ не уменьшается, поскольку появляются новые разработки, специализированные для новых процессоров.

Наличие в качестве основы ОС РВ не гарантирует создание СРВ. Это лишь необходимое, но вовсе не достаточное условие. Помимо этого, для создания СРВ нужно пра-



Рис. 2. Промышленные ПК серии C69xx предназначены для установки в шкафу управления

вильно спроектировать систему в целом, учитывая такие параметры, как производительность аппаратных средств, возможные объемы информационных потоков, мощность каналов связи и т.п. [2].

TwinCAT PLC под Windows

ОС Windows CE и Windows XP Embedded за счет своей компактности удовлетворяют требованиям ПВ для большинства ТП, исключая разве что процессы высокодинамичного позиционирования осей в системах ЧПУ. Этого, к сожалению, нельзя сказать о других версиях ОС Windows NT/2000/XP. Разработанная Beckhoff CPB (TwinCAT PLC) совместима со всеми версиями Windows. Это казалось бы противоречит изложенному выше тезису о необходимом условии существования CPB. Решение Beckhoff заключается в использовании второй ОС, способной действительно работать в жестком ПВ. В этой ОС должны быть задания с приоритетами и очередью на выполнение. Переключение между двумя ОС (ПВ и Windows) осуществляется высокоточным переключателем в заданные моменты времени. Точность достижения момента переключения определяется временем ожидания (Jitter). TwinCAT позволяет задавать моменты переключения с точностью выше 5 мкс. ОС Windows должна вызываться через определенные промежутки времени для обработки "жизненно важных" прерываний от мыши, модема, жесткого диска и сети.

В системе TwinCAT такие переключения осуществляются без дополнительного аппаратного обеспечения и модифицированы без использования компонентов NT. Это делает TwinCAT совместимой со всеми версиями Windows NT 4.0, 2000 и XP.

Beckhoff был пионером в области создания Soft PLC, совместимых с платформой Windows. Именно благодаря длительным партнерским отношениям между фирмами Beckhoff и Microsoft была разработана CPB TwinCAT PLC, отличающаяся повышенной надежностью. Пользовательская программа ПВ, написанная в стандарте МЭК 61131-3, работает под управлением TwinCAT PLC с минимальным временем цикла, равным 50 мкс. Более того, все

драйверы интерфейсных плат промышленных шин, COM-порты и даже стек TCP/IP Beckhoff убрал под ядро ПВ, что позволяет детерминировать также время опроса узлов распределенного ввода/вывода.

Windows XP Embedded для контроллера CX1000

Windows XP Embedded представляет собой специально доработанную версию ОС Windows XP фирмы Microsoft, представленную в компонентной форме и объединяющую новейшие возможности для встраивания: поддержку энергонезависимой памяти, возможность удаленной загрузки и загрузки в бездисковом режиме, разнообразные средства удаленного управления. Основанная на том же исходном коде, что и Windows XP Professional, Windows XP Embedded дает возможность разработчикам выбирать конфигурацию более чем из 10000 уникальных компонент, достигая оптимальной производительности в устройствах ограниченного размера при быстром создании надежных, передовых встраиваемых устройств (рис. 3). Windows XP Embedded содержит набор средств Windows Embedded Studio, предоставляющий разработчикам компонентные технологии Windows для быстрой



Рис. 3

настройки, разработки и тиражирования интеллектуальных устройств. Windows XP Embedded, основанная на стандартном программном интерфейсе Win32 API, позволяет значительно сократить время создания новых устройств с помощью известных средств разработки (таких, как Visual Studio .NET), существующего аппаратного обеспечения для ПК и интеграции настольных приложений, драйверов и служб (www.rtsoft.ru).

О контроллере CX1000

В 2002 г. компания Beckhoff представила новое поколение контроллеров CX1000 — это модульный, устанавливаемый на 30 мм DIN-рейку промышленный ПК малого формата, не имеющий подвижных частей (вентиляторов, дисковых накопителей и т.п.), в качестве жесткого диска используется Compact Flash емкостью до 4 Гб, специальная версия ОС работает без свопинга. Устройство обладает выдающимися характеристиками. В комбинации со встроенными ОС, например, Windows CE.NET и Windows XP Embedded, работающими совместно с ПО ПВ от Beckhoff PLC/NC TwinCAT CE, диапазон их применения в промышленных приложениях можно только вообразить. Продукт этот не очень новый: контроллеры серии CX1000 успешно продаются уже 2,5 года на мировом рынке, в том числе и в России. Но в рамках данной статьи мы хотели бы напомнить читателю некоторые его особенности.

Контроллер CX1000 состоит из следующих основных узлов (рис. 4):

- системный блок: включает Ethernet, COM-порты

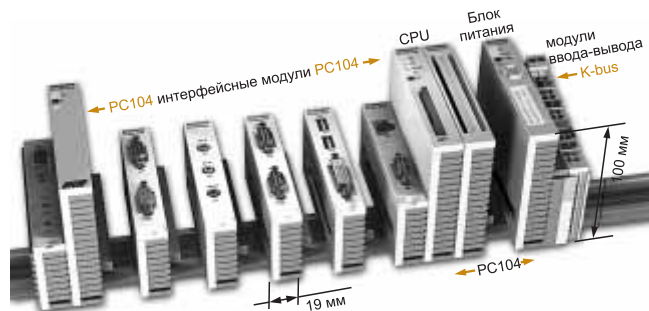


Рис. 4. Модульное строение контроллера серии CX1000

(RS-232), гнездо для Compact Flash, пассивный радиатор без вентилятора (две вертикальные прорези на рис. 4). По ширине системный блок занимает три секции по 19 мм. Вправо и влево от системного блока отходит компьютерная шина PC104;

- блок питания по шине PC104 пристыковывается к системному блоку справа. Существуют три варианта блока питания. На рисунке показан блок питания с поддержкой шины K-bus. Вправо от такого блока питания отходит последовательная шина K-bus, основанная на последовательном интерфейсе RS-485, по которой подключаются модули ввода/вывода Beckhoff. Блок питания в этой конфигурации имеет свою память Dual Port RAM (DPRAM) и практически выполняет функции устройства серии BKxxx (Bus Coupler), т.е. опрашивает модули ввода/вывода и формирует образ процесса в памяти DPRAM;

- компьютерные интерфейсы – блок DVI+USB для подключения монитора и клавиатуры с мышью, дополнительные последовательные интерфейсы COM2+COM3 и др. Все они пристыковываются к системному блоку слева по шине PC104. Интерфейсы RS-232/485, Ethernet, USB доступны для пользовательской программы ПЛК;

- интерфейсные модули промышленных шин, по которым организуется распределенный ввод/вывод сигналов, по своей функциональности идентичны PCI платам промышленных шин для ПК. "Мастера" шины выпускаются для LightBUS, Profibus, CANopen, DeviceNET, SERCOS, а модули Slave производятся для шин LightBUS, Profibus, CANopen, DeviceNET [3].

Тесты, проведенные специалистами Beckhoff, показали, что даже в случае критической ошибки одного из приложений Windows, приводящей к "зависанию" системы, программа ПЛК продолжает работать. Более того, не прерывается обмен с устройствами распределенного ввода/вывода по промышленной шине (например, по Profibus или Real-Time Ethernet). Иными словами, автоматический контроль над ТП не теряется ни на секунду. Другие приложения Windows могут быть восстановлены после перезагрузки ОС.

С другой стороны, использование технологий Windows открывает неограниченные возможности использования устройства. Можно установить OPC-сервер для связи с программой SCADA, есть опыт установки самой программы SCADA на контроллер CX1000 для создания локального АРМ оператора. Можно запускать другие приложения, напрямую не связанные с системой автоматизированного управления процессом. Возможность иметь OPC-сервер непосредственно "на борту" контроллера – сама по себе уникальна и востребована.

Производительность CX1000 несопоставимо выше аппаратных контроллеров. Например, программа ПЛК, имеющая дело примерно с 1000 аппаратных сигналов (внутренних, программных переменных при этом больше в несколько раз) при заданном цикле задачи ПЛК,



Рис. 5. Внешний вид панелей управления Beckhoff

равным 10 мс, занимает всего 30% времени центрального процессора. Остальные 70% система свободна для приложений Windows XP Embedded. Такое число аппаратных вводов/выводов (1000 сигналов) – соответствует автоматизации довольно крупного промышленного объекта, например магистральной нефтеперекачивающей станции.

Большой объем платы Compact Flash позволяет хранить архивные данные на контроллере.

Новый контроллер серии CX1020 оснащен более мощным процессором (Celeron-M 600 МГц) и имеет еще большую производительность, сравнимую уже с производительностью среднего промышленного ПК.

Что такое Ethernet Panel от Beckhoff?

Ethernet Panel – это панель управления от Beckhoff (рис. 5), куда опционально устанавливаются: сенсорный экран, сенсорная панель, алфавитно-цифровая клавиатура, только цифровые кнопки, только функциональные кнопки, дополнительные секции с электромеханическими органами управления (таблица).

Таблица. Основные различия CX1000, CX1020 и CPx7xx

Критерий	CX1000	CX1020	CPx7xx
Память	128 Мб	до 1 Гб	256 Мб
Процессор	AMD-Geode 266 МГц	Intel-Celeron-M, 600 МГц	AMD-Geode 300 МГц
Число интерфейсов Ethernet, ед.	1	2 (switched)	2 (switched)

Корпус панели выполнен на фрезерном станке из цельного куска алюминия, это гарантирует высокую прочность при относительно небольшой массе. Класс защиты IP65 с фронтальной стороны (CP67xx) или IP65 со всех сторон (CP77xx), размеры экрана 6,5...15".

Электронная начинка панели – системная плата от контроллера CX1000 – это означает, что по функциональности панель управления CP77xx может заменить контроллер.

К панели нельзя подключить промышленную шину, например Profibus, нельзя использовать модули ввода/вывода, подключенные непосредственно к устройству по шине K-bus, однако распределенный ввод/вывод можно осуществить с помощью относительно дешевых контроллеров серий BC9000 или BK9000, работающих по шине Ethernet. Два интерфейса Ethernet обеспечивают некоторую дополнительную гибкость организации сети. Можно, например ввод/вывод сигналов осуществлять по одной подсети, а связь с системой SCADA верхнего уровня – по второй [4].

Распределенный ввод/вывод

Распределенный ввод/вывод сигналов по промышленной шине сегодня является неотъемлемой частью любой современной системы автоматизации. Интерфейсные модули промышленных шин, которые в любых комбинациях можно подключать к контроллеру серии СХ в полной мере отвечают современным представлениям об организации распределенного ввода/вывода. Поддержка стандартных протоколов обмена обеспечивает совместимость оборудования Beckhoff с контроллерами других производителей как на уровне управляющего устройства (мастера протокола), так и на уровне узлов распределенного ввода/вывода.

Контроллер СХ в силу своей компактности и экономичности может выполнять также функцию интеллектуального шлюза между разными шинами, например Profibus/Ethernet.

Резервирование и методы повышения надежности систем

К вопросу резервирования можно подойти с разных сторон. Все зависит от того, какой неприятности мы более всего опасаемся. Есть три основные причины сбоя в работе автоматической системы управления.

Первой возможной неисправностью является сбой в работе центрального процессорного блока (CPU) либо сбой памяти, вызванные чаще всего воздействием радиоактивного излучения. Для предотвращения тяжелых последствий сбоя CPU применяют резервирование процессорных модулей. Это может быть аппаратное решение, когда две идентичные системы связываются между собой при помощи процессора горячего резерва, расположенного в каждой из них. Один из контроллеров при такой конфигурации является основным, а другой работает как горячий резерв, готовый принять на себя управление сетью удаленного ввода/вывода в случае отказа основного контроллера. Все динамические данные в каждом цикле копируются из главного контроллера в резервный. Эта технология обеспечивает очень малое время простоя при переключении на резервный CPU, но имеет несколько побочных эффектов. Во-первых, память для приложения пользователя сокращается минимум в два раза. Во-вторых, время цикла ПЛК существенно увеличивается. Для экономии стоимости такие резервные системы имеют обычно общий ввод/вывод. Т.е. типичная конфигурация, которую пользователю предложат все системные интеграторы, работающие с подобными контроллерами — это две одинаковые корзины, в каждой из которых стоят модули блока питания, центрального процессора, процессора горячего резерва, модуль для подключения корзины распределенного ввода/вывода (RIO) и коммуникационный модуль Ethernet. А вот сама корзина RIO (а часто и не одна) с модулями ввода/вывода существует в единственном экземпляре. Но модули ввода/вывода чаще всего выходят из строя. Получается, резервируется самая надежная часть в контроллере — модуль CPU, а самая ненадежная (или чаще всего подверженная воздействию импульсов высокого напряжения) часть кон-

троллера — его ввод/вывод оказывается без резерва. Поэтому следовало бы иметь полностью дублированную систему, включая и модули ввода/вывода, но это для многих контроллеров очень дорогое удовольствие.

Вторая неисправность системы управления, которая гораздо чаще встречается на промышленных объектах — это неисправность датчиков и каналов ввода/вывода. Мы здесь не будем разделять, какое оборудование вносит больший вклад в появление такого сбоя, это может быть и сам датчик, это может быть неисправный сигнальный кабель, сгоревший предохранитель, сработавшая грозозащита, плохой контакт на клемнике и, наконец, неисправный "выгоревший" канал ввода/вывода на самом модуле контроллера. Всю цепь от датчика до канала ввода/вывода на контроллере будем рассматривать как единый измерительный канал, который может работать неправильно. Резервирование в этом случае сводится к простому дублированию всего измерительного канала целиком, включая датчики и каналы ввода/вывода контроллера. Очень важным обстоятельством является возможность на аппаратном уровне осуществлять диагностику неисправного измерительного канала.

Третья причина отказов — неисправность линий связи. Такие отказы связаны в основном с человеческим фактором (раскопали в неподобающем месте и порвали кабель, случайно дернули провод и отключили от сети контроллер, выключили питание коммутатора и т.п.) и в основном легко диагностируются. Основной метод борьбы — резервирование линий связи. Нельзя не упомянуть, что во многом надежность передачи данных по сети зависит также и от использованного протокола. Независимо от базового протокола промышленной сети на уровне прикладной программы можно организовать различные типы проверки целостности данных, буферизацию событий с временными метками на передающем контроллере в случае временного обрыва связи, передачу данных по альтернативным каналам связи и др.

Контроллеры серии СХ с их множественными возможностями связи по различным шинам как нельзя лучше подходят для создания дублированных или даже трехкратно резервированных систем. При этом один интерфейс, например сеть Profibus, может служить для организации распределенного ввода/вывода, по Ethernet контроллеры будут отправлять данные на верхний уровень, а по CANopen процессорные блоки будут обмениваться наиболее важной информацией и следить за "здоровьем" друг друга.

При программном способе резервирования программист имеет полную свободу действий. Программы в контроллерах могут, вообще говоря, быть не идентичными. Некоторыми вспомогательными и не очень критичными ТП контроллеры могут управлять отдельно, каждый своим процессом, а наиболее критичные процедуры, обслуживающие главный ТП, могут выполняться с 200% или 300% резервированием, включая каналы ввода/вывода.

При необходимости можно организовать также и дополнительный канал связи с ПК верхнего уровня, ис-

пользуя другую промышленную шину. Вероятность одновременного отказа двух физически разных промышленных сетей, имеющих разную топологию, минимальна. Большой объем памяти контроллера СХ и наличие твердотельного накопителя информации емкостью до 4 Гб позволяют программно реализовать любые отказоустойчивые протоколы передачи данных. В случае обрыва связи с внешним миром контроллер способен самостоятельно вести и хранить, например, годовой архив событий и трендовые архивы, а при восстановлении связи все эти данные могут быть переданы на сервер SCADA-системы верхнего уровня.

Заключение

Отвлечемся от промышленных приложений и рассмотрим пример из совсем другой области. В отличие от "мягких" земных условий промышленной среды, в космосе есть, по меньшей мере, один дополнительный фактор, который может и самый современный компьютер сделать ненадежным. Это радиация. Когда высокоэнергетические частицы из состава космических лучей сталкиваются с микросхемой, они могут заставить ее сделать ошибку. Об этом действии радиации известно с момента выхода электроники в космическое пространство. И рецепт противодействия также давно известен: специальные чипы, устойчивые к радиации. Их делают по более грубой технологии (размер элементов микросхем) с избыточным числом транзисторов и иными пересмотренными техническими параметрами. Радиацию они переносят спокойно, но зато обладают рядом недостатков. Такие схемы раз в десять медленнее, чем сопоставимые с ними по размерам современные "гражданские" процессоры. В силу мелкосерийного производства они дороги. А еще они "прожорливы" в плане электропитания.

Есть иной выход – резервирование. Этот принцип, конечно, не нов. Его применяли создатели космической техники еще на заре космонавтики. Правда, очень часто 300% дублирование со сверкой сигналов на выходе не столько служило защитой от радиации, сколько "защитой" от банальной ненадежности самих схем, их низкого качества. Но для дальних космических миссий такой 300% "запас" веса и энергопотребления может оказаться непозволительной роскошью.

NASA намерена исправить эту ситуацию с помощью программы "Адаптированное к среде отказоустойчивое вычисление" (Environmentally Adaptive Fault-Tolerant Computing – EAFTC). Здесь используется вторая стратегия, то есть компьютер для корабля (спутника, межпланетной станции) строится на основе мощных современных Pentium и PowerPC, скоростных и сравнительно дешевых (самых обычных "гражданских", миллионами продающихся в магазинах). Но используются они не совсем обычно. Отдельная специальная программа каждый момент времени оценивает важность каждой запускаемой программы. Если она совсем не критична – ее обрабатывает только один

процессор бортового компьютера, более важную – одновременно два, а жизненно важную – одновременно три процессора с последующим сличением результатов. Такая динамическая система рационально использует вычислительные ресурсы, без утраты своих "антирадиационных" способностей.

Первый компьютер, собранный и запрограммированный по таким принципам, должен полететь в космос на спутнике Space Technology 8, который является частью программы NASA New Millennium [5].

На этом показательном примере мы видим, что даже в космической области прослеживается тенденция перехода от специализированных вычислительных средств к компьютерам, собранным на базе обычных "бытовых" чипов, но за счет специального ПО. При использовании программных решений можно добиться большей эффективности по сравнению с чисто аппаратными.

Другим достоинством ПК-совместимого управления является защита инвестиций фирм-системных интеграторов в разработку ПО. Цикл смены аппаратной платформы АСУТП составляет примерно 1 раз в 10 лет. Основное технологическое оборудование на объектах служит в несколько раз дольше, а сама технология производства – на более консервативна и принципиально не изменяется многие десятки лет.

Очень важно, чтобы все программные разработки, отложенные и реализованные алгоритмы управления, не потеряли своей актуальности при смене контроллера. Это обеспечивает использование РС-совместимых устройств со стандартной архитектурой. Если на рынке появляется новый, более производительный компьютер, то существующее ПО может быть без труда перенесено на него. Разработчики ПК широкого пользования тщательно следят за совместимостью программ снизу вверх. Применение виртуальных ПЛК и Soft PLC вместо классических позволяет добиться гибкости систем управления и их независимости от производителей оборудования.

Если сравнивать рынок специализированных контроллеров и офисных ПК, то рынок ПК – несравнимо более широкий. Это гарантирует безусловное преимущество в развитии производительности ПК по сравнению с аппаратными ПЛК, а также в возможности снижения цены на РС совместимые комплектующие и гарантированную поставку запчастей.

Список литературы

1. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования // Изд. Солон-Пресс. 2004.
2. Золотарев С.В., Фрейдман А.В. Применение ОС QNX в промышленности // По материалам сайта SWD Software (<http://www.swd.ru>)
3. Саломатин Д. Beckhoff Embedded PC серии CX1000 // Мир компьютерной автоматизации. 2005. №1.
4. Дисплей со встроенными интеллектуальными функциями // Автоматизация в промышленности. 2004. №9.
5. Тройной компьютер защитит результаты от космической радиации // Мембрана. 2005. №12.

*Маштаков Александр Дмитриевич – инженер компании Beckhoff.
Контактный телефон (095) 980-80-15. E-mail: info@beckhoff.ru [Http://www.beckhoff.ru](http://www.beckhoff.ru)*