



Технология реконфигурирования FPGA в контроллерах CompactRIO

National Instruments (США)

Принципиально новый подход к созданию систем управления и сбора данных реализован в серии устройств CompactRIO компанией National Instruments, США. CompactRIO - это высокопроизводительная, суперкомпактная, отказоустойчивая "embedded" платформа, основанная на технологии RIO (reconfigurable I/O technology) и графического программирования LabVIEW. Технология RIO позволяет разработчику синтезировать собственную структуру контроллера или системы сбора данных для решения конкретной задачи, используя перепрограммируемую с помощью LabVIEW логику FPGA (field-programmable gate array).

"Благодаря большим функциональным возможностям при малых габаритах, потребляемой мощности и невысокой стоимости, микросхемы FPGA давно уже широко применяются разработчиками-электронщиками. Технология же RIO позволяет использовать преимущества FPGA более широкому кругу специалистов - инженерам, технологам, научным работникам и даже студентам" - сказал Tim Dehne, вице-президент по исследованиям и разработкам NI - "Владея LabVIEW как универсальным языком программирования, нет необходимости в освоении специализированных языков разработки БИС".

Популярно о FPGA

FPGA - это полупроводниковый прибор (микросхема), содержащий

большое количество простых логических устройств "ячеек" (gates), не имеющих соединений друг с другом. Функции ячеек и их связи определяются загружаемым в FPGA листингом соединений.

Проще говоря, FPGA - это как печатная плата, на которой установлено много микросхем средней степени интеграции, а печатные проводники отсутствуют. Листинг же определяет какой вывод с каким должен быть соединен, т.е. топологию платы. Но материализованный в печатных проводниках на плате листинг исключает возможность "перепрограммирования". Другое дело, если трассировку выполнить методом накрутки проводников на выводы микросхем.

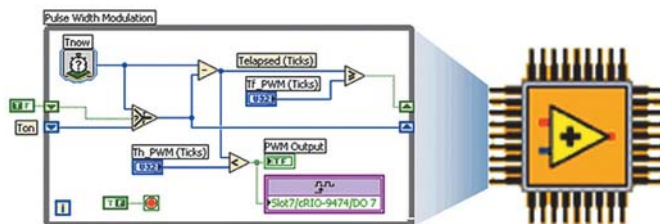
FPGA тем и привлекательна, что позволяет реконфигурировать начинку микросхемы как в процессе создания требуемой структуры, так и при ее модернизации. Выполняется это, конечно, "путем снятия ранее смонтированных проводников и раскрутки по-новому".

Современные микросхемы FPGA содержат матрицу из миллионов конфигурируемых логических блоков (CLBs), обранных периферийными блоками ввода/вывода. Для программирования используется инструментальное ПО, с помощью которого

назначаются логические функции, выполняется анализ, проверка правильности соединений, оценка времени прохождения сигналов, трассировка и т.п.

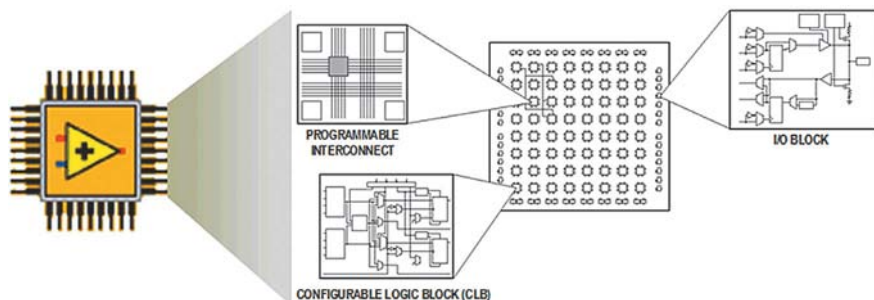
RIO-технология

Освоить технологию программирования FPGA не просто, даже если это язык уровня VHDL. Интуитивно понятно какие возможности при этом открываются для построения систем управления. Как же на практике, например, системному интегратору реа-



лизовать преимущества FPGA? National Instruments предлагает использовать LabVIEW. А почему бы и нет? Ведь LabVIEW как универсальный инструмент успешно используют и для создания прикладного программного обеспечения верхнего уровня АСУ ТП, и для программирования контроллеров нижнего уровня (например, контроллеров Compact FieldPoint).

LabVIEW и модуль LabVIEW FPGA образуют среду графического программирования микросхем FPGA, установленных на платформах NI PCI, PXI, в устройствах DAQ-серии и CompactRIO. "Начинка" FPGA создается как виртуальный прибор VI на хост-компьютере, работающем под Windows, тестируется, компилируется и загружается в ядро RIO. Разработчик использует знакомые ему функции и определения: циклы типа for Loops, While Loops, Case и Sequence структуры, целочисленные математические функции, булевы операции, операции сравнения, массивы и кластеры,





функции синхронизации, аналогового и дискретного ввода/вывода. Причем последние принимают (передают) сигналы непосредственно с выводов FPGA. Кроме того, библиотека LabVIEW FPGA содержит блоки ПИД-регуляторов, фильтров пятого порядка, табличных преобразователей, ли-

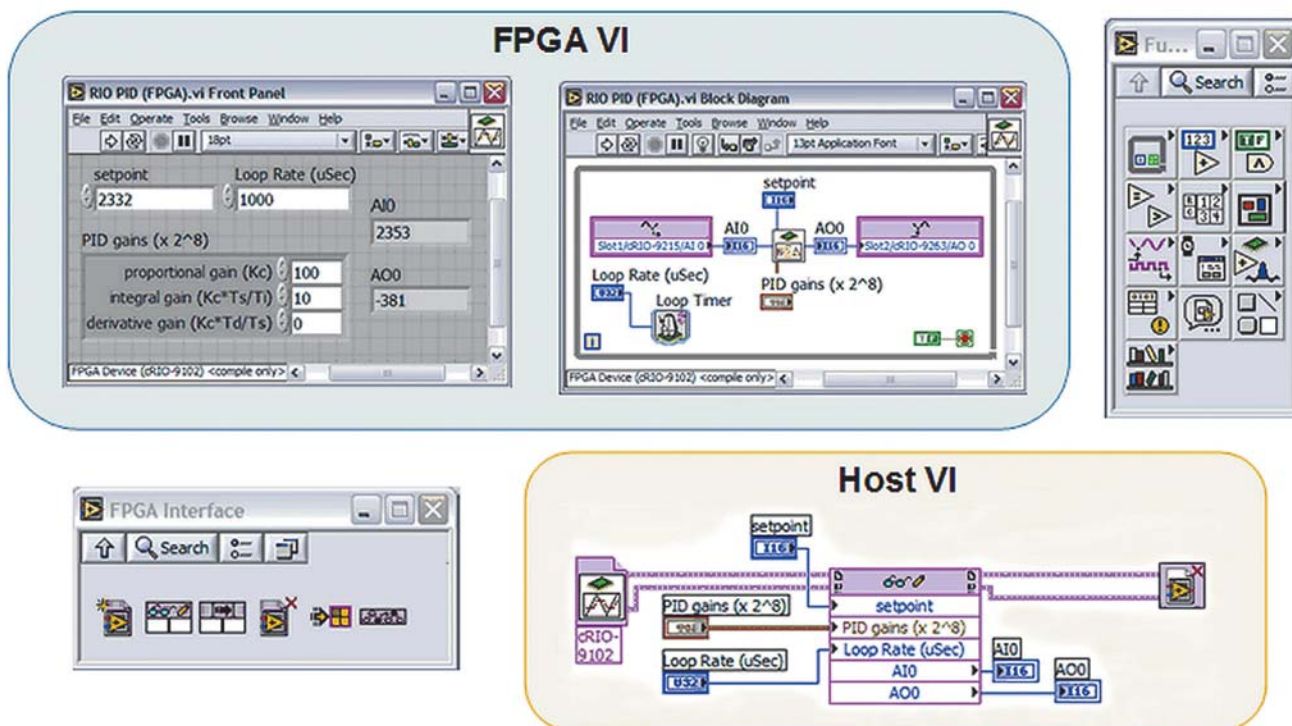
что означает - никаких дополнительных затрат.

Следует заметить также, что встраиваемый VI может работать совместно с LabVIEW Real-Time модулем или с LabVIEW для Windows, если необходимо выполнение операций с плавающей запятой (например, быст-

Две базовые конфигурации систем сбора данных и управления возможны на основе перечисленных устройств.

CompactRIO R - серии расширения содержат пассивные шасси с модулями УСО, подключенные к портам дискретного В/В плат для шин PCI или PXI. БИС FPGA находится на плате, которая должна быть установлена в соответствующий слот компьютерной платформы, работающей под операционными системами Windows или одной из LabVIEW Real-Time OSs (ETS или RTX).

В этой конфигурации функции устройств CompactRIO состоят в сог-



нейных интерполяторов, синтезатора синусоидальных сигналов и т.п.

VI для FPGA функционирует, естественно, без "помощи" процессора и намного быстрее, а отдельные его фрагменты могут выполняться параллельно (одновременно). Это означает, например, что VI может содержать много независимых контуров управления: аналоговых с циклом 10 мкс каждый, а дискретных - 1 мкс. Выполнение элементарного шага VI в FPGA выполняется с частотой 40 МГц.

Таким образом, RIO-технология обеспечивает создание необходимых конфигураций систем сбора данных, обработки и управления в кратчайшие сроки. А при необходимости внесения изменений в структуру системы разработчик экономит время и деньги: используется та же аппаратная платформа и инструментальное ПО,

рое преобразование Фурье), организация сетевого взаимодействия или пользовательского интерфейса, файловый ввод/вывод.

Семейство CompactRIO и конфигурации систем

Платформа CompactRIO на сегодняшний день включает embedded-процессорные модули реального времени с плавающей запятой, 4-х и 8-и слотовые реконфигурируемые шасси на основе высокопроизводительных FPGA (1 или 3 миллиона "ячеек"), пассивное 4-х слотовое шасси и 17 моделей модулей аналогового и дискретного ввода/ вывода, допускающих "горячую" замену (от ввода сигналов с термопар до ввода дискретных сигналов уровня 250В на постоянном или переменном токе).

ласовании уровней сигналов В/В, гальванической развязке, преобразовании аналоговых сигналов в последовательный дискретный сигнал и наоборот.

4-х слотовое шасси расширения R-серии cRIO-9151 подключается непосредственно к платам PXI-7831R, PXI-7811R (до двух шасси) или PCI-7831R (до четырех шасси). Таким образом, только при одной плате с реконфигурируемым В/В, установленной на платформу хост-компьютера





или PXI RT-контроллера, можно построить систему с 8-ю или 16-ю модулями УСО CompactRIO.

Вторая возможная конфигурация еще более интересная. Это Embedded-контроллер. Контролер? Понятно. Embedded? Можно догадаться. А вот необычное словосочетание - термин новый, определяющий универсальную аппаратную платформу, которая адаптируется под задачу пользователя программным путем. Сегодня, да и в обозримом будущем, трудно себе представить, как программно можно синтезировать нормализаторы сигналов с гальванической развязкой или силовые элементы. Эта



аппаратная часть из определения исключается. Физически она реализуется отдельно по модульному принципу. Ну а все остальное - цифровые автоматы, цепи синхронизации, контура регулирования, цифровая фильтрация и многое другое - создается программно в FPGA, к выводам которого подключаются согласующие модули для сопряжения с датчиками и исполнительными устройствами. Можно, конечно, и "мозги" контроллера интегрировать в FPGA. Но концепция CompactRIO предполагает наличие отдельного высокопроизводительного процессорного модуля промышленного класса с операционной системой реального времени. Операции обработки, требующие высокого быстродействия, могут быть реализованы на аппаратном уровне, все остальное - программно. Такое сочетание FPGA и процессорного модуля в контроллере сегодня можно назвать оптимальным, а его архитектуру - открытой и доступной, понятной большинству системных интеграторов.

Реконфигурируемые шасси

Если процессор - "мозг" контроллера CompactRIO, то шасси - его "сердце". В моделях серии NI cRIO-910x на объединительной панели установлено реконфигурируемое ядро (RIO core) на основе FPGA.

Группы выводов FPGA, программируемые в LabVIEW с помощью простейших функций записи/чтения для выполнения операций В/В, индивидуально соединены с разъемами сопряжения с модулями УСО. Так как шинная архитектура внутри шасси отсутствует, то элементарные операции В/В с каждым модулем УСО выполняются параллельно, Синхронизация этих процессов осуществляется с интервалом в 25 нс!

Но возможности ядра RIO не ограничены только В/В. Производительность FPGA и технология LabVIEW позволяют с высоким быстродействием выполнять с данными, поступающими от УСО, логические и вычислительные (целочисленные) операции. Предусмотрена также возможность



генерирования запросов прерывания для синхронизации работы FPGA и прикладной программы, выполняемой процессорным модулем. Связь RIO core с процессором выполнена через локальный PCI-интерфейс.

Конструктивно шасси с RIO-910x выполнены в защищенном по IP-40 корпусе, допускающим его монтаж на панель или DIN-рельс.

cRIO-9101	4-slot	1 M Gate FPGA
cRIO-9102	8-slot	1 M Gate FPGA
cRIO-9103	4-slot	3 M Gate FPGA
cRIO-9104	8-slot	3 M Gate FPGA

Модули ввода/вывода

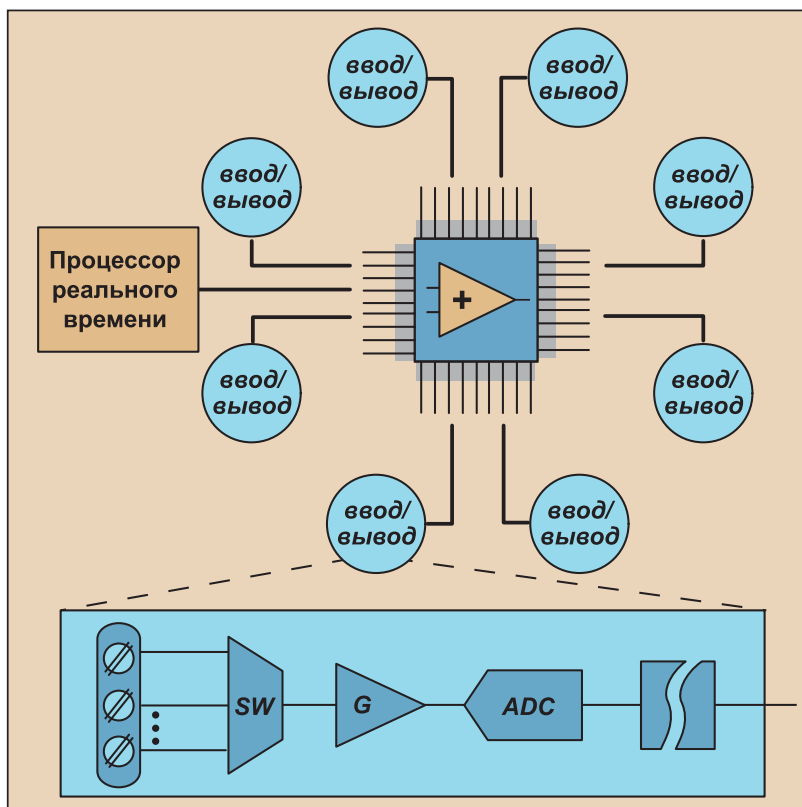
В необычные шасси CompactRIO устанавливаются и нетрадиционно выполненные модули УСО. В них отсутствует интерфейсная составляющая. Регистры, счетчики, таймеры и т.п. - все это реализуется программированием FPGA. А в модулях ввода/вывода остаются узлы усиления, аналоговой фильтрации, коммутации, аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования, схемы гальваноразвязки и питания датчиков, элементы силовой электроники, т.е. согласующие тракты для непосредственного подключения промышленных сенсоров и исполнительных механизмов. Да и внешне модули серий cRIO-92xx и cRIO-94xx больше похо-



жи на нормализаторы сигналов - защищенный корпус с винтовыми клеммными соединителями или разъемами типа BNC и D-Sub.

Построение каналов В/В на основе физического разделения реконфигурируемой цифровой структуры и тракта нормализации позволили, с одной стороны, снизить стоимость модулей, сделать их действительно Low Cost, а с другой стороны - сократить ассортимент физических модулей УСО и при этом, как это ни странно звучит, существенно расширить номенклатуру. И опять следует констатировать, что достигнуто это за счет RIO-технологии.

Аналоговый ввод. Модули этой группы представлены моделями с 4 или 8 дифференциальными коммутируемыми или синхронными каналами, входным диапазоном от единиц милливольт до десятков вольт, быстродействием АЦП от 15 измерений в секунду до 800 кГц при разрядности 12, 16 и 24 бит. А еще групповая гальваническая развязка, защита входов от перегрузки, аналоговые фильт-



ры, техника следящей калибровки NIST. Впечатляет?

CRIO-9211. 4 дифференциальных канала для термодпар типа J, K, R, S, T, N, E, B или сигналов напряжения низкого уровня ± 80 мВ, аналоговый фильтр нижних частот с частотой среза 15 Гц на уровне -3 дБ, 24 бит дельта-сигма АЦП, 15 изм./сек., потребление в активном режиме 179 мВт, а в "спящем" - не более 4 мВт. И это далеко не полный перечень характеристик модуля.

CRIO-9233. Тоже 4 дифференциальных канала, но синхронных, для сигналов напряжения ± 5 В. Дельта-сигма АЦП 24 бит, но с быстродействием 50 кГц по каждому каналу, а также антилайзинговый фильтр. Гальваноразвязка, к сожалению, отсутствует.

CRIO-9215. 4 дифференциальных синхронных канала, ± 10 В, АЦП 16 бит, но с быстродействием 100 кГц на канал.

CRIO-9201. 8 каналов, ± 10 В, АЦП 12 бит, 400 кГц.

CRIO-9221. 8 каналов, ± 60 В, АЦП 12 бит, 800 кГц!

Аналоговый вывод CompactRIO представлен пока только од-

ной моделью **CRIO-9263**, содержащей 4 канала ЦАП, ± 10 В, 16 бит, с временем установления не более 20 мкс. Время доступа для одного канала составляет 3 мкс, а для всех четырех - 9.5 мкс. В модуле предусмотрены режим синхронного вывода по всем каналам, защита выходов по напряжению и от короткого замыкания. Интересен и показатель надежности. Время наработки на отказ (MTBF) составляет 1 732 619 часов при температуре окружающей среды $+25^\circ\text{C}$.



Дискретный В/В. В этой группе модулей УСО есть все, или почти все, для работы с устройствами с дискретными входами/выходами как в лабораторных условиях, так и в условиях производства. Ввод сигналов на постоянном и переменном токе, согласование с датчиками типа "сухой контакт", выход "открытый коллектор" и реле с повышенной нагрузочной способностью, а также многоканальные счетчики, квадратурные шифраторы и даже ШИМ. Всего 11 моделей.

CRIO-9435. 4-канальный универсальный вход (напряжение постоянного и переменного тока) с временем установления 2.8 мс.

CRIO-9421/9423. Скоростной (1 мкс) 8-канальный вход для датчиков типа "сухой контакт".

CRIO-9472/9474. 8-канальный выход типа "открытый эмиттер", 30В/1А, время переключения 1мкс, самовосстанавливающая защита по напряжению и току.

CRIO-9481. 4-канальный релейный выход. Тип реле А (SPST). Коммутируемые сигналы напряжения постоянного тока 30В/4А, 60В/1А или переменного тока 250В/2А с циклом 1 с. Количество переключений при подключенной нагрузке - 100 000.

CRIO-9411. 6-канальный шифратор (две группы по 3 дифференциальных входа-выхода) для датчиков угловых и линейных перемещений.

Процессорные модули

Надежные, высокопроизводительные (класс Pentium, 200 МГц) процессорные модули семейства ориентированы на выполнение приложений реального времени, созданных в LabVIEW. Процессор обеспечивает обработку сигналов в формате с плавающей запятой с временем выполнения цикла в контурах управления не более 1 мс.

В модели **NI CRIO-9002** объем ОЗУ составляет 32 МВ, а энергонезависимой памяти типа Compact FLASH - 64 МВ. В модели **NI CRIO-9004** объемы ОЗУ и Compact FLASH увеличены соответственно до 64 МВ и 512 МВ,

Обе модели содержат Ethernet-порт (100/10 Base T, IEEE 802.3) и COM-порт (RS-232), встроенные Web-(HTTP) и файл (FTP) серверы.

Как у шасси и модулей УСО, конструкция процессорного модуля обеспечивает защиту по IP-40. Допускается вибрация с уровнем $5g_{rms}$ на частотах 10..500Гц (IEC 60068-2-64) и удары в 30g (11 мс) или 50g (3 мс) с соответствиями IEC 60068-2-64 и IEC 60068-2-27.



Впрочем, эти характеристики относятся ко всем компонентам семейства CompactRIO. К ним следует добавить еще и расширенный диапазон рабочих температур -40...+70°C и напряжений питания 11..30В постоянного тока. Причем в контроллерах предусмотрены две пары клемм для подключения источников питания - основного и резервного. Потребление собственно процессорного узла не превышает 7 Вт, а при восьми установленных модулях УСО - 24 Вт.

И, наконец, о габаритах и весе. 4-х слотовый вариант контроллера при размерах 179.6x 88.1x88.1 мм весит 1.58 кг, 8-слотовая модель чуть больше (274x88.1x88.1 мм) и тяжелее (2.48 кг).

Первые ласточки

Можно было бы сказать, что серия устройств CompactRIO разработана для очень "продвинутых" пользователей LabVIEW. Но идея использовать популярный пакет графического программирования для реконфигурирования FPGA, реализованная National Instruments в этом проекте, позволила создать новое поколение систем сбора данных и управления с такими возможностями, о которых еще вчера мало кто задумывался. Это и привлекло к CompactRIO специалистов по автоматизации из разных отраслей промышленности, науки и техники, медицины, строительства... Мировые лидеры в своих областях MTS, Roush, Göpel, Process Automation, Virginia Tech и многие другие уже успешно реализовали embedded CompactRIO в системах управления машинами и механизмами, в комплексах стендовых испытаний, в системах контроля и диагностики.

"Мы считаем, что CompactRIO-embedded системы являются отличным решением для экстремальных условий применения при полетах на больших высотах. В наших экспериментах CompactRIO безукоризненно отработал при давлении, ниже допустимых норм." - *David Thomson, Research Scientist, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*.

"Семейство CompactRIO позволяет существенно расширить наши предложения в области виброакустических и шумовых испытаний. Это объясняется принципиально новым подходом к построению гибких аппаратно-программных испыта-

тельных комплексов." - *Doug Mariano, Vice President, MTS Software & Consulting*.

"Наши новые embedded-контроллеры управления движением созданы на платформе CompactRIO, операционной среде LabVIEW Real-Time и библиотеки SoftMotion для LabVIEW FPGA. Они отличаются высоким быстродействием и производительностью. А главное, с помощью RIO-технологии могут быть быстро адаптированы под конкретную задачу пользователя" - *Dr. George Cheng, CEO, CyboSoft*.

"Используя RIO-технологии, мы вдвое сокращаем время разработки системы, снижаем ее стоимость, а кроме того, обеспечиваем нашим заказчикам в дальнейших проектах 90-95%-ое использование оборудования CompactRIO" - *Daren Williamson, Technical Sales Manager, AmFax Limited*.

"Особенность новых продуктов National Instruments - компактность, отказоустойчивость, высокая производительность и адаптируемость, позволила нашему департаменту разработок реализовать емкие алгоритмы управления и диагностики для системы CARLOS". - *Rainer Lindner, Graduate Hardware Engineer, GÖPEL electronic GmbH*

"В быстроизменяющемся мире высоких технологий, RIO-технология предоставляет нам огромные возможности. И дело не только в существенном уменьшении затрат и сокращении времени разработки. Технология реконфигурирования позволила нам быстро вносить изменения в структуру систем, перестраивая их под изменившиеся условия" - *Corey Jaskolski, President Hydro Technologies*

Можно ожидать, что и в Украине в ближайшее время решения на платформе CompactRIO будут востребованы.

Статья подготовлена сотрудниками фирмы "ХОЛИТ Дэйта Системс"(Украина) по материалам фирмы "National Instruments"(США)



КОНТАКТЫ:

e-mail: info@ni.com

ВОПРОС - ОТВЕТ

Plug&Play - датчики

■ Многие из системных интеграторов подтверждают, что примерно 20% затрат при разработке и внедрении систем сбора информации составляют расходы на настройку, конфигурацию, калибровку. При этом больше всего хлопот доставляют первичные измерительные преобразователи - датчики. Об интеллектуальных сенсорах и их возможностях, как о светлом будущем автоматизации, велись разговоры еще 25 лет тому назад. А как сегодня обстоят дела? На что реально можно рассчитывать?

■ Споры о том, каким быть "умному" датчику ведутся и по сей день. Предложено немало технологий, а некоторые из них даже реализованы. Но удельный вес таких изделий в массе уже эксплуатируемых приборов слишком мал. До глобальной "интеллектуализации" датчиков еще далеко. Реальным первым шагом в этом направлении можно считать недавно принятый международный стандарт IEEE 1451.4, который устанавливает требования к первичным измерительным преобразователям, содержащим Электронный Паспорт Датчика - ЭПД (Transducer Electronic Data Sheet - TEDS). И уже сегодня десятки производителей, в числе которых Honeywell-Sensotec и Endevco, предлагают интеллектуальные датчики с ЭПД.

Стандарт предполагает наличие в датчике специализированного энергонезависимого устройства, в памяти которого хранятся сведения о модели, производителе, серийном номере, основных технических характеристиках (диапазоны измерения, калибровочные



параметры и т.п.), а также информация пользователя. Интерфейс датчика содержит традиционный аналоговый канал и недорогой последовательный, по которому осуществляется доступ к ЭПД. В IEEE 1451.4 описывается механизм поддержки аналоговыми датчиками режима работы с самоописанием и протокол обмена по последовательному каналу. Наличие аналогового интерфейса - это не шаг назад, а необходимость обеспечения совместимости датчиков Plug&Play с ранее произведенными и установленными на объектах.

Но возможности технологии Sensor Plug&Play могут быть реализованы в полном объеме при соответствующей вторичной аппаратуре. Только тогда датчик и описывает себя, и свои характеристики, и указывает физический канал, к которому подключен, следит за расписанием своей калибровки...

К сожалению, массовая замена существующих датчиков на интеллектуальные пока невозможна. Для решения этой проблемы консорциум мировых производителей датчиков разработал Виртуальный ЭПД. Файлы Виртуального ЭПД позволяют воспользоваться возможностями стандарта IEEE 1451.4 и хранить информацию ЭПД в файле базы данных, а не на встроенном чипе. Файлы Виртуальных ЭПД для миллионов датчиков от различных производителей хранятся в единой централизованной базе данных, которая доступна через Интернет.

ВОПРОС - ОТВЕТ