

Стандарт PXI — технология и оборудование для построения контрольно-измерительных систем

Андрей ГОЛОВАСТОВ
golovastov@prosoft.ru

Стандарт PXI, получивший широкое развитие благодаря группе компаний, входящих в консорциум PXISA (PXI Systems Alliance), нашел немало приверженцев как среди производителей, так и среди пользователей. Сегодня множество фирм предлагают PXI-устройства, отличающиеся своими параметрами, наличием специальных функций, ценой и качеством. В статье рассмотрены основные принципы построения и структура PXI-систем. На примерах продукции компаний ADLINK, Spectrum и TiePie сделан краткий обзор PXI и PXI Express оборудования.

Введение

Наверное, сразу же с появлением в середине 1990-х годов спецификации PICMG 2.0 и первых CPCI-систем у разработчиков контрольно-измерительной аппаратуры появилось желание адаптировать их для своих нужд. Поэтому прошло совсем немного времени, и в 1997 году стараниями компании National Instruments был разработан новый стандарт PXI (PXI eXtension for Instrumentation), предназначенный специально для построения модульных инструментальных систем. О нем уже много было сказано и написано, однако будет нелишне еще раз отметить основные позитивные стороны PXI, позволившие ему в последние годы достичь значительного успеха:

- PXI — это полностью открытый международный стандарт, основанный на высокой степени унификации готовых продуктов и технологий различных производителей.
- Используемый в PXI принцип модульного построения системы позволяет расширять и масштабировать существующую платформу.
- PXI-системы соответствуют жестким требованиям промышленной эксплуатации, обладают высокой надежностью и устойчивостью к различным неблагоприятным воздействиям.
- PXI-решения базируются на использовании широких возможностей уже разработанного системного и прикладного программного обеспечения.

В основе архитектуры PXI лежит промышленная реализация PCI-шины в виде стандарта CompactPCI, объединенная с дополнительными программно-аппаратными возможностями, присущими контрольно-измерительным приборам.

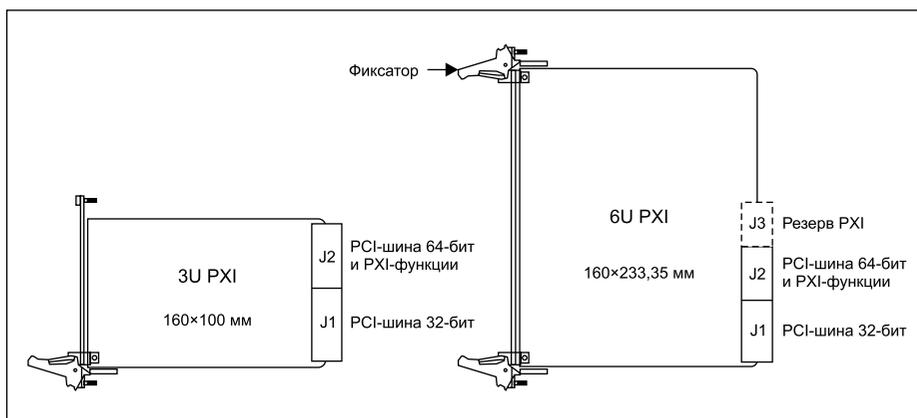


Рис. 1. Форм-фактор и разъемы периферийных модулей PXI

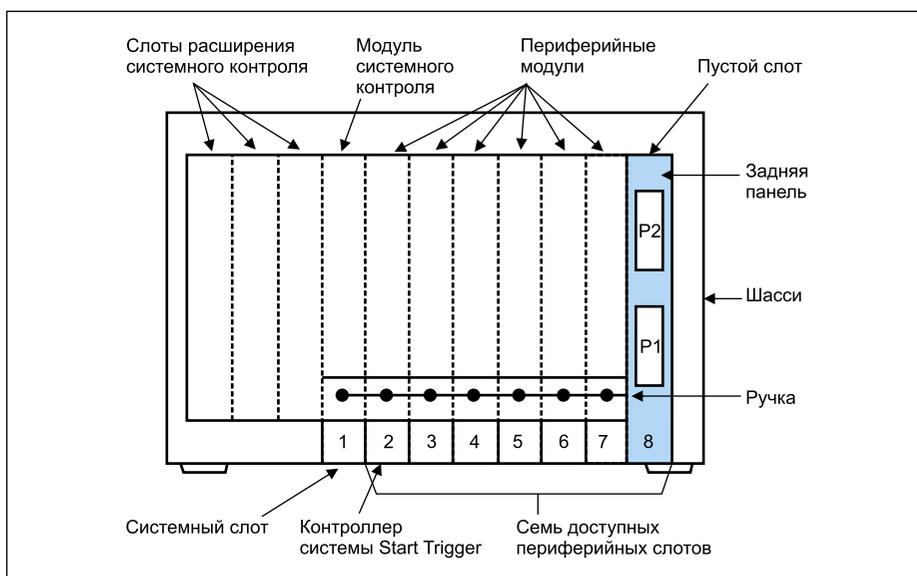


Рис. 2. Структура системы PXI

Структура PXI-системы

Как и в CompactPCI, так и в стандарте PXI, описанном в спецификации PXI-1 Hardware Specification Rev. 2.2, возможны два форм-фактора — высотой 3U и 6U (рис. 1). Однако ввиду своей компактности и удобства использования для построения контрольно-измерительной аппаратуры наибольшее распространение получили системы высотой 3U. Конструктивно классическая 3U PXI-система представляет собой шасси, оснащенное пассивной объединительной панелью с двумя рядами разъемов P1 и P2. Самый левый слот и свободное пространство слева предназначены для системного контроллера и его возможных расширений. За системным слотом справа можно установить специальный модуль Star Trigger, предназначенный для синхронизации работы нескольких модулей. Следующие семь или более свободных слотов предназначаются для периферийных модулей (рис. 2).

Системы с большим количеством слотов и несколькими сегментами построены с применением PCI-PCI мостов. Для 32-разрядной шины PCI с частотой 33 МГц пропускная способность PXI-системы составляет 132 Мбайт/с, а для 64-разрядного варианта PCI с частотой 66 МГц значение этого параметра равно 528 Мбайт/с.

Работа PXI-устройств возможна и в CompactPCI-системах, благодаря универсальной конструкции аппаратной части, основанной на стандарте «евромеханика» IEEE 1101.1, и их полной программной совместимости.

Синхронизация

В PXI предусмотрены следующие возможности синхронизации и тактирования (рис. 3):

- Наносекундная синхронизация модулей ввода/вывода на основе опорного тактового сигнала 10 МГц, подаваемого на все модули.
- Контроллер и шина Star Trigger с топологией «звезда», управляющие передачей сигналов тактирования и синхронизации ко всем входящим в PXI-систему модулям.
- Шина PXI Trigger — восемь линий, сигналы которых подаются на все слоты в одном сегменте для их взаимодействия друг с другом.
- Локальная шина, служащая для передачи высокочастотных дискретных и аналоговых сигналов между соседними модулями.

Оборудование

Как уже было отмечено выше, в стандарте PXI используется модульный принцип построения, и для создания измерительной системы на его основе необходимы следующие основные элементы: шасси, процессорные модули и периферийные платы, с которы-

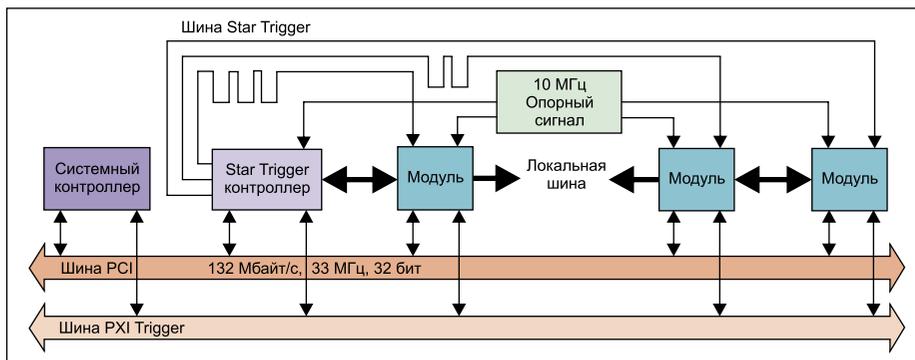


Рис. 3. Синхронизация и тактирование в системе PXI

ми мы познакомимся на примере 3U PXI-оборудования компаний ADLINK, Spectrum и TiePie.

Системный контроллер

Ключевым элементом любой вычислительной системы является процессорная плата, в PXI — это модуль системного контроллера.

Модуль PXI-3950, который выпускает компания ADLINK, представляет собой новое поколение системных контроллеров, построенных на базе высокопроизводительного двухъядерного процессора Intel Core 2 Duo T7500 с частотой процессора 2,2 ГГц (рис. 4).

Контроллер имеет установленную память DDR2 объемом 4 Гбайт и жесткий диск SATA емкостью 120 Гбайт, оснащен интерфейсами DVI-I, 2×Gigabit Ethernet, GPIB, 4×USB, 2×RS-232/422/485. Диапазон рабочих температур — 0...+55 °С; хранения — 0...+80 °С.

Надежность изделия подтверждается также высокими показателями устойчивости к механическим воздействиям: удар — до 30g, вибрации — до 2,5g в полосе частот 5–500 Гц.

Шасси PXI

Базовым элементом PXI-системы является несущий корпус, или шасси. Компания ADLINK выпускает большое количество готовых шасси, которые различаются по исполнению (встраиваемое 19", настольное, настенное, мобильное, портативное), габаритам, функциональным возможностям и способны удовлетворить различные требования разработчиков.

PXIS-2506 — это самое компактное из выпускаемых шасси, оно имеет размеры 221×178×237 мм и массу 4,5 кг и рассчитано на размещение шести модулей. Шасси комплектуются блоком питания переменного тока мощностью 250 Вт с входным напряже-



Рис. 4. Контроллер PXI-3950



Рис. 5. Шасси: а) PXIS-2508; б) PXIS-2558Т

нием 100–240 В, для применений на транспорте возможна установка блока питания постоянного тока. PXIS-2506 предназначены для настольной работы, кроме того, в комплект поставки входит монтажный набор для настенного крепления.

PXIS-2508 и PXIS-2558Т (с 8,4" ЖК-дисплеем) 8-слотовые шасси оборудованы эффективной системой охлаждения с контролем температуры источника питания и скорости воздушного потока и предназначены для мобильных применений.

Наличие такой системы охлаждения делает возможной работу устройства в широком температурном диапазоне (от -20 до $+70$ °С). Прочный и легкий корпус размерами $280 \times 177 \times 303$ мм выполнен из алюминиевого сплава и весит всего 6 кг. Прибор имеет ручку для переноски и комплектуется 350-Вт блоком питания (рис. 5). Кроме того, шасси обеспечивают низкий уровень акустического шума (не более 47 дБ) и возможность удаленного управления, реализованного через встроенный RS-232 порт.

PXIS-2680P и PXIS-2690P — это портативные шасси с 15" ЖК-дисплеем высокой яркости и разрешением 1024×768 . Они предоставляют дополнительные мобильные возможности пользователю. В любом из этих шасси могут работать как модули CompactPCI, так и модули PXI, однако функции PXI поддерживаются только при использовании в системе PXI-модулей.

PXIS-2680P рассчитано на восемь слотов и имеет резервированный (1+1) источник питания 300 Вт (рис. 6).

PXIS-2690P — более производительное шасси, которое позволяет установить в слотах уже до 14 плат и оснащается блоком питания мощностью 500 Вт.

PXIS-2719 (рис. 7) — это специально разработанное 19-слотовое шасси предназначено для построения систем большой емкости и производительности в соответствии со спецификацией PXI Rev. 2.2.

Это шасси обеспечивает установку одного системного и до 18 (!) периферийных модулей. Оно рассчитано на расширенный температурный диапазон ($-20 \dots +70$ °С) и благодаря эффективной автоматической системе вентиляции слотов имеет хорошее охлаждение. Здесь реализована система динамического контроля шасси, есть возможность удаленного управления по встроенному интерфейсу RS-232. В шасси установлен промышленный блок питания мощностью 700 Вт. Для контроля состояний служит светодиодная индикация на передней панели.

Система удлинения и расширения компьютерной шины

Эта технология позволяет разработчику значительно расширить функции имеющейся компьютерной системы, дополнив ее возможностями стандарта PXI, в частности, повысить производительность



Рис. 6. Шасси PXIS-2680P



Рис. 7. Внешний вид шасси PXIS-2719 и схема охлаждения модулей внутри него

и вычислительную мощность, а также применить платы PXI совместно с ноутбуками и компьютерами. Для таких целей компания ADLINK предоставляет специальные комплекты, состоящие из:

- модуля, устанавливаемого в главный компьютер в зависимости от используемого интерфейса, в слот PCI (PCI-8570), PCIe (PCIe-8560) или ExpressCard (EC-8500);
- контроллера PXI-8565, устанавливаемого в PXI-шасси;
- коммуникационного кабеля длиной 1, 3 или 7 м.

Расширения типа PXI-PXI реализуются при помощи модулей PXI-8570.

Все PXI-платы, установленные в шасси, главным компьютером «видятся» так, как если бы они находились на локальной шине.

Периферийные платы

Любая автоматизированная контрольно-измерительная система невозможна без модулей ввода/вывода, инструментальных плат, плат интерфейсов и источников питания. Рассмотрим некоторые устройства, выполняющие эти функции.

Многофункциональные аналоговые модули сбора данных ADLINK

Серия PXI-2000. Модули PXI-2005/2006/2010/2016 разработаны для решения различных задач ввода/вывода аналоговых и цифровых данных. Ввод аналоговых сигналов можно вести одновременно по четырем дифференциальным каналам, которые характеризуются высокой разрешающей способностью от 14 до 16 бит, а также повышенной частотой дискретизации до 2 МГц. Модули обеспечивают два выходных аналоговых канала с разрешением ЦАП 12 бит и частотой обновлений до 1 МГц, способных генерировать сигналы заданной формы. Кроме того, модули располагают 24 программируемыми каналами дискретного ввода/вывода и двумя 16-разрядными счетчиками-таймерами. Новинки этой серии — модули PXI-2020 и PXI-2022 — отличаются увеличенным числом аналоговых входных каналов (соответственно 8 и 16) и высоким разрешением АЦП (16 бит). Все модули серии PXI-2000 обладают расширенным набором функций: это автокалибровка, мультимодульная синхронизация и тактирование, управляемый запуск, режим DMA (прямой доступ к памяти). Устройства предназначены для высокоточных исследований, основанных на разности фаз сигналов, например, таких как вибротестирование.

Серия PXI-2200. Модули PXI-2208 (рис. 8) имеют большое количество (до 96 асинхронных или 48 дифференциальных) каналов ввода с частотой дискретизации от 250 кГц до 3 МГц и разрешением АЦП до 12 бит,



Рис. 8. Модуль PXI-2208

а также широкий программируемый входной диапазон от $\pm 0,05$ до ± 10 В. Модули PXI-2204/2205/2206 имеют до 64 каналов аналогового ввода разрешением 12–16 бит и частотой дискретизации до 3 МГц, два канала аналогового вывода, 24 канала дискретного ввода/вывода и два 16-разрядных счетчика-таймера.

Модули серии PXI-2200 с высокой надежностью обеспечивают сбор данных и наиболее востребованы в приложениях, характеризующихся высокой плотностью оборудования, сосредоточенного в одном PXI-устройстве, например в системах мониторинга в электроэнергетике или на транспорте.

Серия PXI-2500. Модули PXI-2501/2502 обеспечивают, соответственно, 4 или 8 каналов высокоскоростного аналогового вывода. Они имеют 12-битовый ЦАП, обладают воз-

можностью прямого доступа к памяти; каждый аналоговый канал вывода способен генерировать сигнал произвольной формы с частотой обновления до 1 МГц. Модули серии PXI-2500 в наибольшей степени подходят для применения в приложениях, требующих генерации высокочастотных сигналов, например в системах смешанного ИС-тестирования или контроля быстро изменяющихся процессов в реальном масштабе времени.

Модульные приборы, интерфейсные модули

PXI-9816/9826/9846 — высокоскоростные аналого-цифровые преобразователи (дигитайзеры) компании ADLINK (рис. 9). Они имеют разрешение 16 бит, 4 канала непрерывного опроса с частотами, соответственно, 10/20/40 МГц, программно на-



Рис. 9. Модуль серии PXI-98xx

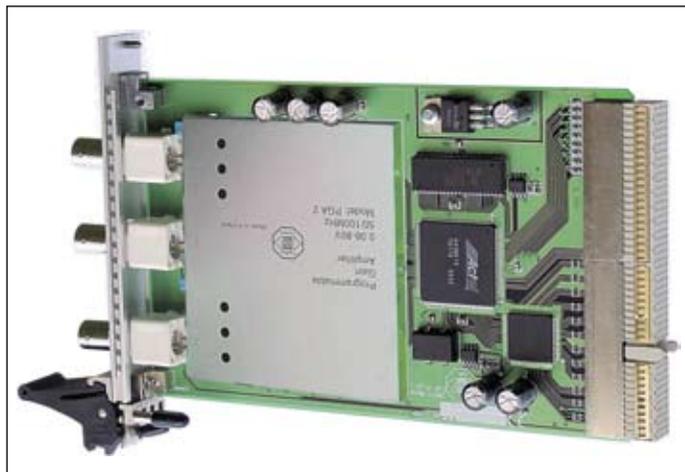


Рис. 10. Модуль серии TE6100

страиваемое входное сопротивление 50 Ом или 1 МОм и диапазон напряжений $\pm 0,2$ или ± 1 В. В модулях установлена память объемом 512 Мбайт.

TE6100 — это универсальный измерительный прибор, совмещающий в себе функции осциллографа, спектроанализатора, регистратора переходных процессов и вольтметра (рис. 10). Прибор производится голландской компанией TiePie и имеет следующие параметры:

- два канала с частотой опроса до 100 МГц и разрешением АЦП 8 бит каждый;
- диапазон входного сигнала: частота 0–50 МГц, напряжение 0,1–80 В;
- длина записи сигнала: до 64К слов;
- вход запуска для подключения внешнего источника синхронизации.

SMX2040/2042/2044 — это 3U PXI цифровые мультиметры ADLINK. Они имеют 6,5-разрядное разрешение и позволяют производить до 1000 измерений в секунду напряжений в диапазоне от 1 мкВ до 330 В постоянного тока и переменного тока с частотами в диапазоне от 10 Гц до 100 кГц, а также измерение значений сопротивления, емкости, индуктивности, температуры. В этих устройствах поддерживается режим автокалибровки.

Высокоскоростные модули сбора данных, генерации сигналов и специализированные прецизионные модули

Для работы в высокотехнологичных приложениях, таких как ультразвуковое оборудование, радары, спектроскопия и т. д., требуются высокоскоростные платы сбора данных и генерации сигналов, обладающие рекордными характеристиками аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования, скоростью до нескольких ГГц и разрядностью до 24 бит. PXI-модули серии MX производятся в Германии компанией Spectrum GmbH.

Модуль MX.2030 является одним из самых высокоскоростных и способен вести сбор аналоговых данных с частотой опроса до 200 МГц в одноканальном режиме и с частотой 100 МГц одновременно по двум каналам (рис. 11). Его характеристики: разрешение ЦАП — 8 бит, семь программируемых входных диапазонов от ± 50 мВ до ± 5 В, программируемое смещение по входу $\pm 400\%$ и встроенная память объемом 16 Мбайт с возможностью расширения до 512 Мбайт.

Разрешение ЦАП 16 бит и сбор данных одновременно по восьми каналам обеспечит модуль MX.4730, который также имеет высокую частоту опроса — до 500 кГц.

Для работы в качестве генератора сигналов произвольной формы предназначены модули MX.6033 и MX.6110, способные синтезировать сигналы с разрешением соответственно 14 и 8 бит и частотой обновлений до 125 МГц по двум или одному каналу.

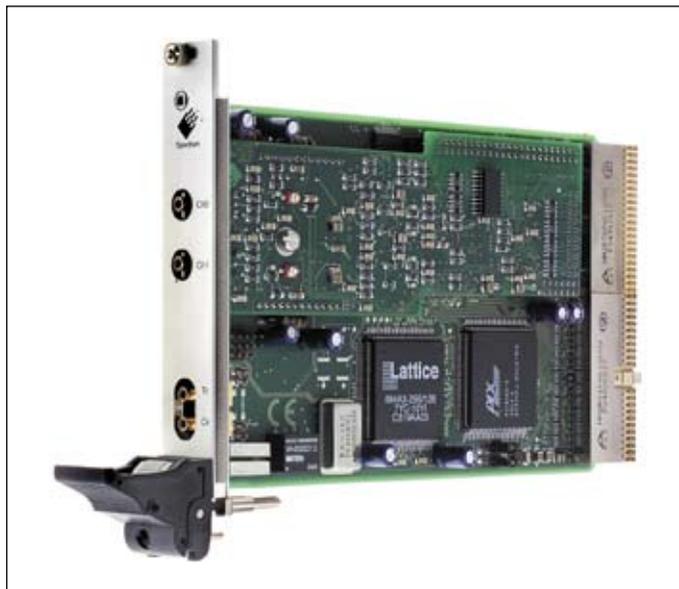


Рис. 11. Модуль MX.2030

Высокоскоростные модули дискретного ввода/вывода (рис. 12), имеющие три исполнения (MX.7005/7010/7011), обеспечивают прием или выдачу дискретных сигналов одновременно по 16 (MX.7005/7010) или 32 (MX.7011) каналам с частотой до 125 МГц. Модули применяются в качестве устройств записи и воспроизведения дискретных сигналов и для расширения функций аналоговых плат сбора данных.

Преимуществом всех устройств, которые производит компания Spectrum, является использование независимых АЦП, ЦАП и усилителей для каждого канала, возможность многомодульной синхронизации, а также широкий набор программно-аппаратных временных и триггерных функций, обеспечивающих уверенный захват, запись сигналов и фильтрацию помех. Все устройства поддерживают работу с основными операционными системами Windows, Linux, с собственным специализированным ПО SBench6, а также с известными прикладными пакетами MATLAB, LabWindows/CVI, LabVIEW, VEE и программирование на языках C/C++, Visual Basic, Delphi, C#, J#, VB.NET. Для всего оборудования обеспечивается поддержка от непосредственных разработчиков.



Рис. 12. Модуль MX.7010



Рис. 13. Модуль PXI-9527

Модуль сбора данных с высоким разрешением PXI-9527

Новый 3U PXI-модуль аналогового ввода/вывода компании ADLINK построен на Sigma-Delta АЦП/ЦАП и наряду с высоким разрешением 24 бит обладает быстродействием до 432 тысяч выборок в секунду по каждому из двух входов. PXI-9527 (рис. 13) имеет широкий динамический диапазон (>100 дБ) и возможность настройки уровней входного напряжения ± 40 ; ± 10 ; $\pm 3,16$; ± 1 ; $\pm 0,316$ В. Два аналоговых выхода со скоростью до 216 тысяч обновлений в секунду имеют программно переключаемые диапазоны ± 10 ; ± 1 ; $\pm 0,1$ В. Устройство поддерживает многомодульную синхронизацию и совместную работу в составе гибридных PXI/PXIe шасси.

Модуль специально разработан для акустических измерений и вибротестирования, он может найти применение в системах контроля и тестирования критически важных узлов и механизмов.

PXI-79xx: коммутаторы, мультиплексоры, матрицы ADLINK

Универсальный коммутатор PXI-7901 содержит 16 независимых каналов с изолированными друг от друга реле. Плата предназначена для коммутации различных нагрузок током до 3 А и напряжением 220 В постоянного или 250 В переменного тока.

Мультиплексор PXI-7921 позволяет решить задачу экономии пространства и минимизации количества приборов, участвующих в тесте, за счет подключения к нему нескольких тестируемых модулей. Модуль имеет 24 двухпроводных канала и предназначен для коммутации токов до 2 А напряжением 220 В постоянного или 125 В переменного тока.

Матрица PXI-7931 имеет 32 канала и предназначена для коммутации токов до 2 А напряжением 220 В постоянного или 125 В переменного тока. Матрицы имеют функциональную топологию и обеспечивают универсальную способность переключения. Особенности матрицы в том, что любой ее вход можно соединить с любым выходом, а кроме этого сохраняются все соединения, то есть когда пользователю необходимо изменить конфигурацию, достаточно поменять внутренние связи без реконфигурации коммутаций вручную.

Будущее за последовательными шинами

Примерно каждые пять лет в компьютерной индустрии происходит значительный технологический скачок, следствием которого, как правило, является обновление существующих стандартов встраиваемых систем. Результатом такого изменения, ознаменованного переносом технологии последовательной передачи данных PCI Express

в PXI, стало появление в 2005 году стандарта PXI Express. В спецификациях PXI-5 PXI Express hardware specification и PXI-6 PXI Express software specification подробно описаны его основные аппаратные и программные характеристики. Среди основных:

- более высокая по сравнению с PCI пропускная способность (до 6 Гбайт/с);
- более высокая производительность благодаря дифференциальным цепям передачи данных, запуска и тактирования, построенным по принципу «точка-точка»;
- более точный системный 100-МГц дифференциальный сигнал синхронизации.

Ключевыми преимуществами нового стандарта также являются наличие гибридных слотов и его полная программная совместимость, что позволяет одновременно использовать в системах как новые PXI Express, так и традиционные PXI-модули.

Пока еще производители промышленной компьютерной техники выпустили не так много PXI Express устройств, однако видна вполне определенная тенденция стремительного роста их количества и числа компаний, начавших производить PXI Express компоненты. Среди них и компания ADLINK. Рассмотрим далее несколько ее новейших устройств.

Системный контроллер PXIe-3975

Модуль построен на базе процессора Intel Core i5-520E 2,4 ГГц и предназначен для работы в качестве ЦПУ в составе гибридных систем PXI Express (рис. 14). Модуль поддерживает прогрессивные технологии Intel Hyper-Threading и Turbo Boost, позволяющие достичь максимальной энергоэффективности и высокой производительности.



Рис. 14. Контроллер PXIe-3975

Для уверенного выполнения многозадачных приложений PXIe-3975 оснащен памятью DDR3/1066 МГц объемом до 8 Гбайт и жестким диском SATA 160 Гбайт. Расширить функции системы можно посредством слота ExpressCard/34, установленного на передней панели. Кроме того, модуль имеет два гигабитных Ethernet-порта, четыре USB 2.0, разъем DVI-I и разъем Micro-D GPIB для подключения внешних приборов с интерфейсом GPIB.

Шасси PXES-2590

Ожидаемой новинкой 2012 года от ADLINK станет PXI Express шасси PXES-2590, выполненное в соответствии с PXI-5 PXI Express hardware specifications Rev. 1.0. Это первое гибридное шасси, которое



Рис. 15. Шасси PXES-2590

предположительно откроет линейку PXI Express корпусов компании. PXES-2590 имеет девять слотов, предназначенных для размещения одного системного и восьми периферийных слотов, семь из которых гибридные (рис. 15).

Шасси выполнено из легкого алюминиевого сплава, имеет высокую надежность и эффективное охлаждение, позволяющее использовать систему, построенную на его базе, в неблагоприятных промышленных условиях при повышенной вибрации, а также в качестве основного элемента мобильной контрольно-измерительной станции.

PXIe-9842 — специализированный высокоскоростной модуль сбора данных

Новый одноканальный PXIe модуль АЦП, выполненный на базе одноименной PCI Express платы PCIe-9842, имеет частоту дискретизации до 200 МГц и разрешение 14 бит (рис. 16). Аналоговый вход с полосой пропускания до 100 МГц и сопротивлением 50 Ом оптимизирован для приема сигналов амплитудой ± 1 В. Модуль имеет высокие динамические характеристики: эффективное число разрядов (ENOB = 11,3) и отношение сигнал/шум (SNR = 70 дБ) выделяют его среди других устройств этого класса. Скорость передачи данных непосредственно в память основного компьютера составит до 400 Мбайт/с.

Заключение

Сегодня PXI — это технология, прочно завоевавшая свое место и популярная среди пользователей и разработчиков виртуальных инструментальных систем. Развитие компьютерных технологий отразилось и на PXI, у которого есть достойный преемник — PXI Express, позволяющий создавать на основе обоих стандартов совместимые гибридные системы. Есть и давний конкурент — VXI, несколько выделяющийся точностью и помехозащищенностью, однако проигрывающий по стоимости, общему количеству устройств и широте применений.

Подводя итог, можно сказать, что решения, предложенные более 10 лет назад консорциумами PISMG и PXI, проверены временем. Аналитики прогнозируют их стабильное будущее, чему есть объективные причины:

- Эти технологии прошли всестороннюю практическую обкатку.
- В настоящий момент обеспечен высокий уровень надежности PXI-устройств.
- PXI-системы обладают высокой производительностью и универсальностью при относительной дешевизне соответствующих изделий.



Рис. 16. Высокоскоростной модуль PXIe-9842

- Стандарт PXI позволяет гибко использовать и адаптировать под свои нужды существующее системное и прикладное программное обеспечение.
- Применение готовых программно-аппаратных PXI-решений минимизирует затраты и значительно ускоряет время разработки систем.

Подтверждением перспектив PXI служит и прогнозируемый среднегодовой прирост рынка модульных приборов на 12%, в основном за счет его постоянного пополнения новыми PXI-устройствами. На сегодня более 50 компаний, являющихся членами альянса PXI, разработали и поставляют свыше 1500 наименований PXI-продуктов. ■

Литература

1. Головастов А. В. CompactPCI и PXI: не соревнуясь, а дополняя друг друга // Современные технологии автоматизации. 2009. № 2–3.
2. Головастов А. В. Spectrum: решения для высокоскоростного сбора данных // Современные технологии автоматизации. 2011. № 4.
3. PXI Systems Alliance. PXI Hardware Specification. Rev. 2.2. Sept. 22, 2004.
4. PXI Systems Alliance. PXI Express Hardware Specification. Rev. 1.0. Aug. 22, 2005.
5. www.adlinktech.com
6. www.spectrum-instrumentation.com
7. www.tiepie.com/en