



Андрей Головастов

PXI Express: замена игрока или пополнение в команде PXI?

Стандарт PXI, завоевав в последние годы главенствующее положение на рынке виртуальных приборных решений, не остановился на месте, и новые технологические тенденции воплотились уже в PXI Express. Что такое PXI Express – преемник, дополняющий существующие решения, или «варяг», пришедший на смену и полностью заменяющий их? Автор статьи постарается ответить на этот вопрос, а также познакомит с новыми серийными разработками компании ADLINK.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время примерно каждые пять лет в компьютерной индустрии происходит значительный технологический скачок, следствием которого, как правило, является обновление существующих стандартов встраиваемых систем. Результатом одного из таких скачков, ознаменованного переносом технологии последовательной передачи данных PCI Express в PXI, явилось появление в 2005 году стандарта PXI Express. В спецификациях PXI-5 (PXI Express Hardware Specification) и PXI-6 (PXI Express Software Specification) изложены его основные аппаратные и программные характеристики.

Спецификации построены по принципу от общего к частному: начинаются они с обзорных описаний, которые детально развиваются в последующих главах. Такой подход удобен для специалистов разных уровней подготовки и позволяет при необходимости быстро освоить стандарт как простому пользователю, так и опытному разработчику. Познакомимся с этим стандартом подробнее.

ЗНАКОМСТВО СО СТАНДАРТОМ PXI EXPRESS

Первое, с чего начнём, — это отметим несомненные преимущества PXI Express по сравнению с PXI.

1. Более высокий уровень производительности за счёт того, что передача данных, сигналов запуска и тактирования происходит по дифференциальным цепям, построенным по принципу «точка–точка». Стандарт PXI Express определяет пропускную способность объединительной панели до 6 Гбайт/с и одиночного слота до 2 Гбайт/с.
2. Более высокая точность и устойчивость к помехам благодаря тому, что в качестве основного синхронизирующего сигнала используется дифференциальный сигнал с частотой 100 МГц.
3. PXI Express основан на CompactPCI Express и PXI, и в нём сохранились

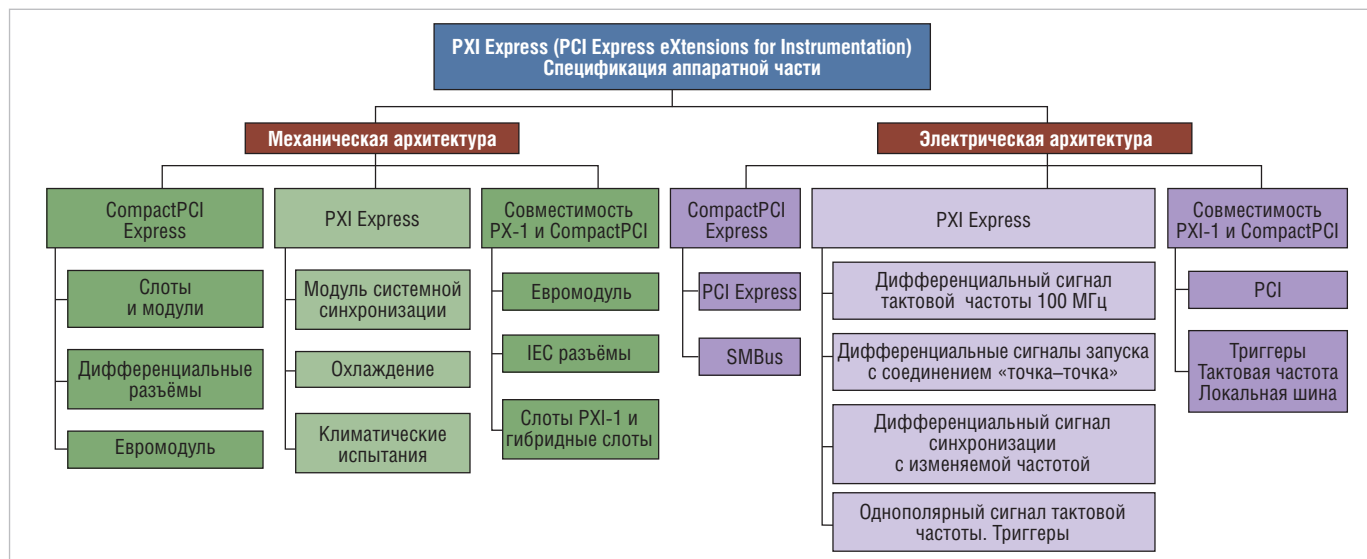


Рис. 1. Механическая и электрическая архитектура PXI Express

все основные присущие им характеристики.

4. Существует возможность одновременного использования в системе как модулей, соответствующих стандарту PXI Express, так и традиционных PXI-модулей. Это ключевое преимущество значительно экономит средства и делает возможным использование ранее приобретённого оборудования.
5. Полная программная совместимость стандартов PXI Express и PXI позволяет использовать известное разработчику и применяемое им ранее программное обеспечение.

Обратимся к рис. 1 и рассмотрим аппаратную архитектуру PXI Express. Как следует из данного рисунка, в её основу заложены интерфейс PCI Express и хорошо зарекомендовавшая себя Евромеханика (IEC 60297, IEEE 1101.1, IEEE 1101.10, IEEE 1101.11), модульные промышленные шасси, платы с прочной металлической передней панелью, надёжные промышленные разъёмы.

Расширения, касающиеся инструментальных применений, и сохранённые в полном объёме функции PXI дополнены следующим:

- 1) дифференциальными сигналами тактовой частоты 100 МГц;
- 2) сигналами синхронизации с изменяемой частотой;
- 3) дифференциальными линиями запуска, организованными по принципу «точка-точка».

Достоинством стандарта также является сохранение аппаратной и про-

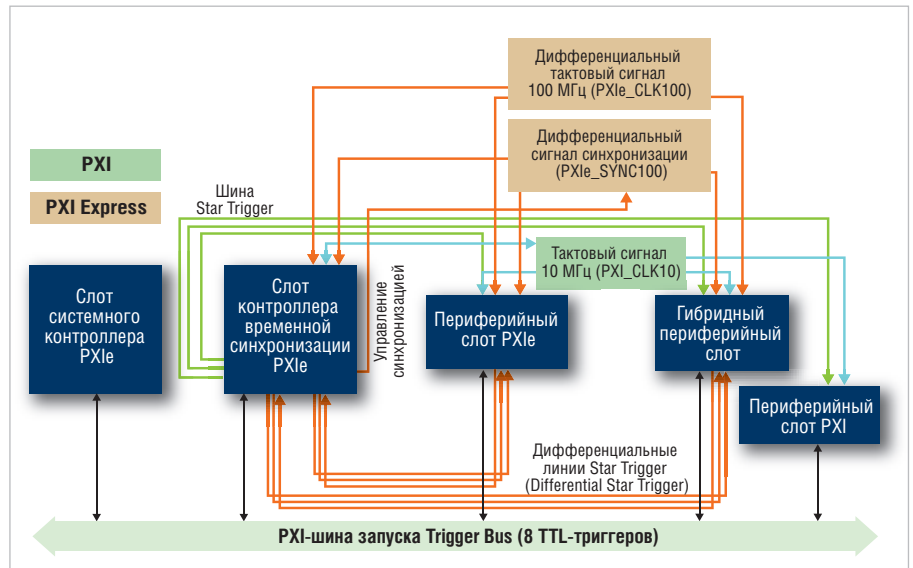


Рис. 2. Шины синхронизации и запуска в PXI Express

граммной совместимости PXI-1 и CompactPCI, то есть возможности применения в одной системе компонентов обоих стандартов.

На рис. 2 упрощённо показаны основные шины/сигналы синхронизации и запуска, используемые в PXI Express. Мы видим, что здесь сохранены все инструментальные PXI-сигналы:

- опорный тактовый сигнал частотой 10 МГц (PXI_CLK10), подаваемый на все модули;
- шина запуска Trigger Bus, управляющая передачей сигналов тактирования и синхронизации;
- шина Star Trigger, реализующая подключение модулей с использованием топологии звезда и учитывающая длину пути сигналов;

• локальная шина (Local Bus), служащая для передачи высокочастотных цифровых и аналоговых сигналов между соседними модулями.

И помимо них добавлены новые шины/сигналы:

- высокочастотный системный тактовый сигнал (PXIe_CLK100) – дифференциальный низковольтный сигнал частотой 100 МГц, подаваемый ко всем слотам;
- сигнал синхронизации (PXIe_SYNC100) – дифференциальный сигнал, направленный от объединительной панели к каждому модулю, синхронизирован с PXIe_CLK100 и через каждые 10 тактов индицирует фазовые соотношения между основными тактовыми частотами 10 и 100 МГц;

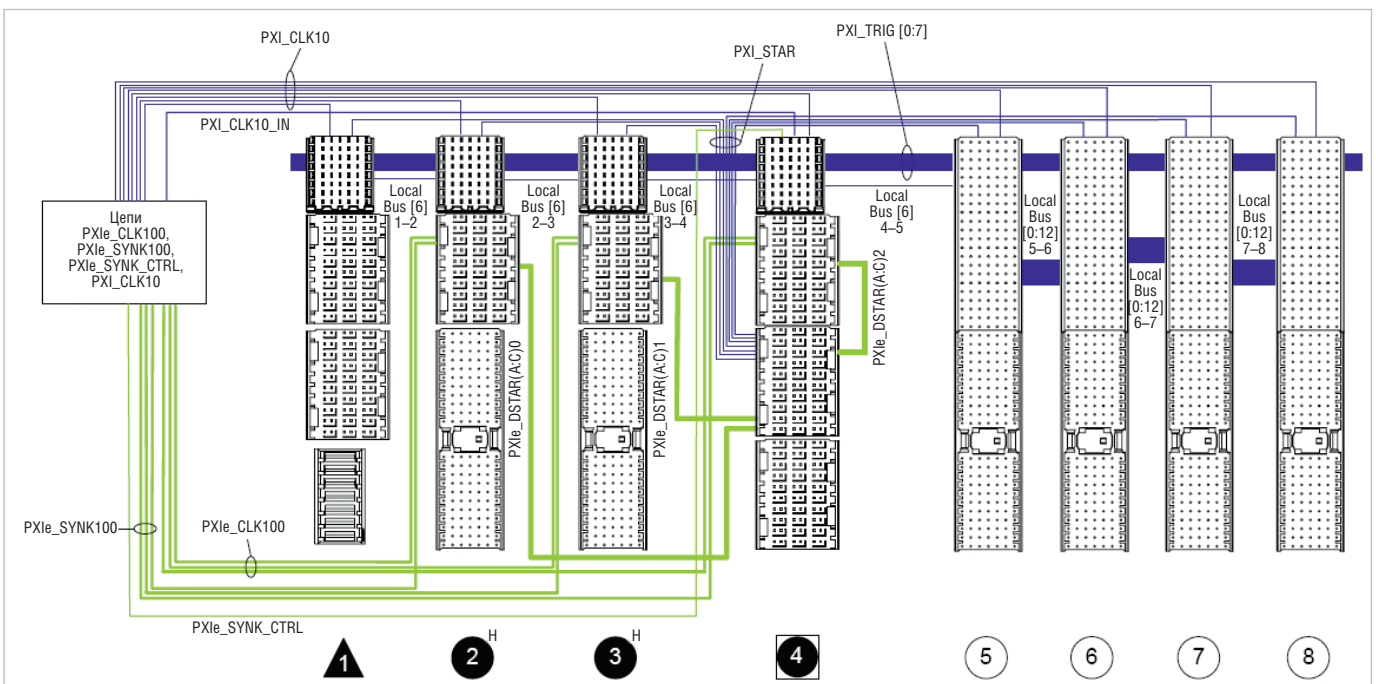


Рис. 3. Пример реализации инструментальных сигналов PXI Express

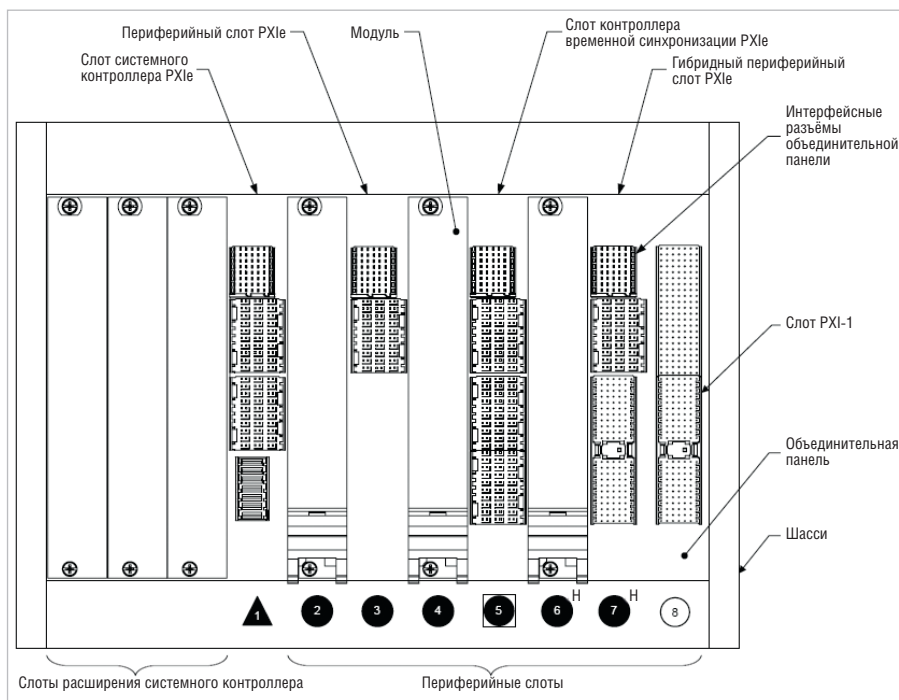


Рис. 4. Пример типовой системы PXI Express

- три пары дифференциальных линий запуска (Differential Star Trigger) с топологией звезда, выполняющие функции, аналогичные шине PXI Star Trigger.

Благодаря использованию дифференциальных синхросигналов система PXI Express позволяет передавать данные на более высоких тактовых частотах, что делает её более помехозащищённой. На рис. 3 показано распределение сигналов синхронизации в разъёмах системных и периферийных слотов.

Шасси и объединительная панель PXI Express

Как и PXI-1 PXI Hardware Specification Rev. 2.2, стандарт PXI Express определяет основные размеры, в том числе высоту

слотов — 3U и 6U, а также их максимальное количество в одном шасси — не более 31. Все слоты имеют собственную символьную маркировку и своё место в соответствии с используемой объединительной панелью (рис. 4).

Самый левый слот носит название **системного (PXI Express System Slot)** и предназначен только для установки **модуля системного контроллера (PXI Express System Module)**. Всё свободное место левее него резервируется для применения модулей системных контроллеров увеличенной ширины. В слотах справа от системного контроллера располагается **PXI Express System Timing Slot**. Он предназначен для установки так называемого **системного модуля временной синхронизации (PXI**

Express System Timing Module) и выполняет важные функции синхронизации работы всех модулей в составе системы PXI Express. За периферийными модулями закреплены остальные слоты, которые, в свою очередь, могут быть следующими:

- **периферийный слот PXI (PXI Peripheral Slot)**, соответствующий стандарту PXI-1;
- **периферийный слот PXI Express (PXI Express Peripheral Modules)**, поддерживающий только модули PXI Express;
- **гибридный слот PXI Express (PXI Express Hybrid Slot)**, поддерживающий модули обоих стандартов.

Важное замечание: системный и периферийные слоты не совместимы друг с другом, в них можно устанавливать только предназначенные для этого модули.

Для поиска соответствия слотов и модулей различных стандартов, используемых в системах PXI Express, удобно руководствоваться табл. 1.

В стандарте PXI Express предусмотрена возможность исполнения шасси с интегрированным системным контроллером. Для этого случая минимальная конфигурация системы PXI Express должна содержать само шасси со встроенным системным контроллером, объединительную панель, системный модуль временной синхронизации и хотя бы один периферийный слот.

Модули, используемые в PXI Express

Как уже отмечалось, спецификация PXI-5 одновременно поддерживает модули/слоты высотой 3U и 6U. Однако для применений PXI Express в качестве контрольно-измерительных систем наибольшее распространение получили модули высотой 3U, а кроме этого, они значительно шире представлены на рынке. Поэтому далее будем рассматривать именно их.

Различные принципы передачи данных, используемые в PXI Express (шина и двухполярная линия), обусловили и применение разных по конструкции разъёмов, которые, в свою очередь, повлияли на внешние отличия модулей и соответствующих им слотов. Для детального рассмотрения воспользуемся табл. 2, в которой показаны все используемые разъёмы.

Поскольку базой PXI Express стал CompactPCI Express, то это и определило применение наряду с традиционными ИЕС-разъёмами специальных диф-

Совместимость компонентов PXI, PXI Express и CompactPCI Express

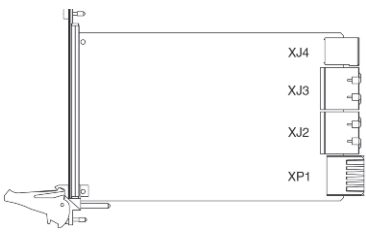
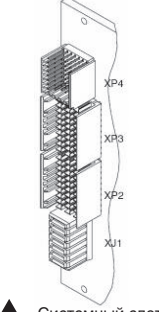
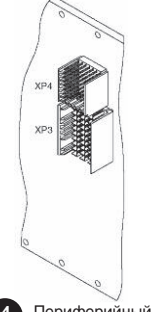
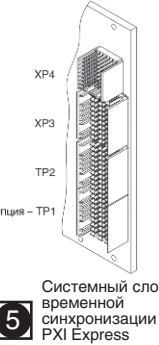
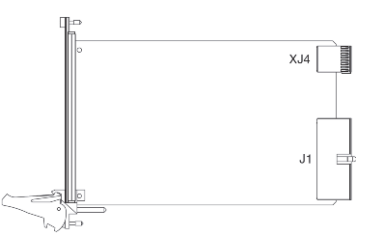
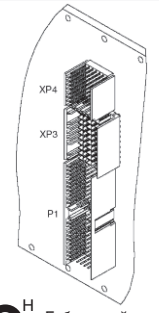
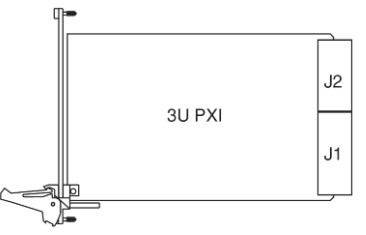
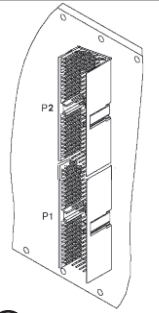
Таблица 1

Компоненты PXI Express	Компоненты CompactPCI Express						
	Системный слот	Системная плата	Периферийный слот тип 2	Периферийная плата тип 2	Гибридный слот	Традиционный CompactPCI-слот	Периферийная плата CompactPCI
Системный слот PXI Express	—	Да	—	—	—	—	—
Системный модуль PXI Express	Да	—	—	—	—	—	—
Периферийный слот PXI Express	—	—	—	Да	—	—	—
Периферийный модуль PXI Express	—	—	Да	—	Да	—	—
Гибридный слот PXI Express	—	—	—	Да	—	—	Да ¹
Гибридный слот, совместимый с модулем	—	—	—	—	Да	Да	—
Системный слот временной синхронизации	—	—	—	Да	—	—	—
Системный модуль временной синхронизации	—	—	Да	—	—	—	—
Слот PXI-1	—	—	—	—	—	—	Да
Модуль PXI-1	—	—	—	—	—	Да	—

¹Периферийная плата CompactPCI будет работать, если она имеет только разъём J1

Таблица 2

Применяемые в PXI Express 3U модули и слоты

Название модуля и слота	Модуль и его символическое обозначение	Слот и его символическое обозначение	Назначение разъемов слотов/модулей
Системный PXI Express	 ▲ Системный модуль PXI Express	 1 Системный слот PXI Express	XP4/XJ4 – PXI-сигналы тактирования и синхронизации, питание 5 В XP3/XJ3 – x8 PCI Express, сигналы управления XP2/XJ2 – x16 PCI Express XJ1/XP1 – питание 3,3; 5 и 12 В
Периферийный PXI Express	 ● Периферийный модуль PXI Express	 4 Периферийный слот PXI Express	XP4/XJ4 – PXI-сигналы тактирования и синхронизации, питание 5 В XP3/XJ3 – x8 PCI Express, сигналы управления
Системный, временной синхронизации PXI Express	 □ Системный модуль временной синхронизации PXI Express	 5 Системный слот временной синхронизации PXI Express	XP4/XJ4 – PXI-сигналы тактирования и синхронизации, питание 5 В XP3/XJ3 – x8 PCI Express, сигналы управления TP2/TJ2 – PXIe-сигналы синхронизации TP1/TJ1 – PXIe-сигналы синхронизации
Периферийный модуль PXI-1 и гибридный слот	 ○ Периферийный модуль PXI-1, совместимый с гибридным слотом	 3 Н Гибридный слот PXI Express	XP4/XJ4 – PXI-сигналы тактирования и синхронизации, питание 5 В P1/J1 – 32-разрядная шина PCI, питание 3,3; 5 и 12 В
PXI	 ○ Периферийный модуль PXI	 2 Периферийный слот PXI	P1/J1 – 32-разрядная шина PCI, питание 3,3; 5 и 12 В P2/J2 – 64-разрядная шина PCI, PXI-сигналы тактирования и синхронизации

ференциальных разъемов, аналогичных тем, что используются в CompactPCI Express. На рисунках в табл. 2 представлены дифференциальные разъемы ADF-F-3-10-2-F-25 и eHM-F2, устанавливаемые на модулях, а также разъемы ADF-M-3-10-2-B-25 (ADF-M-3-10-2-S-25-0100) и eHM-M2-HP (eHM-M2), устанавливаемые на объединительной панели. В качестве разъемов питания системного контроллера используются универсальные разъемы UPM-M-7 (UPM-M-7-HP) на модуле и UPM-F-7 на объединительной панели.

Решающим словом в пользу PXI Express может стать наличие гибридных слотов. Они повышают универсальность использования шасси, а также делают возможным применение ранее приобретённых и имеющихся в наличии у пользователя модулей стандартов CompactPCI и PXI. На рис. 5 показано, как один и тот же гибридный слот способен принять периферийные модули трёх различных типов.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Уже было сказано, что программная часть PXI Express описана собственной спецификацией PXI-6 (PXI Express Software Specification). Эта спецификация была создана для обеспечения программной поддержки новых свойств и характеристик, представленных в PXI Express Hardware Specification. В PXI-6 подробно изложены основные термины, а также требования для разработчиков программного обеспечения (ПО), как обязательные, так и рекомендованные к выполнению и позволяющие достичь полной совместимости устройств, производимых различными компаниями.

На рис. 6 показана программная архитектура стандарта PXI Express. Она держится на трёх китах: системе управления ресурсами, операционной системе и программных драйверах.

Программные драйверы призваны решать три основные задачи:

1) определение набора программных интерфейсов для описания компонентов PXI Express и их параметров, форматов файлов, механизмов регистрации компонентов и бинарных связей для их взаимодействия (в PXI Express эта задача стоит значительно шире, чем в PXI, так как требует поддержки новых возможностей, связанных с PCI Express, таких как самоидентификация шасси, географическая адресация, SMBus и т.д.);

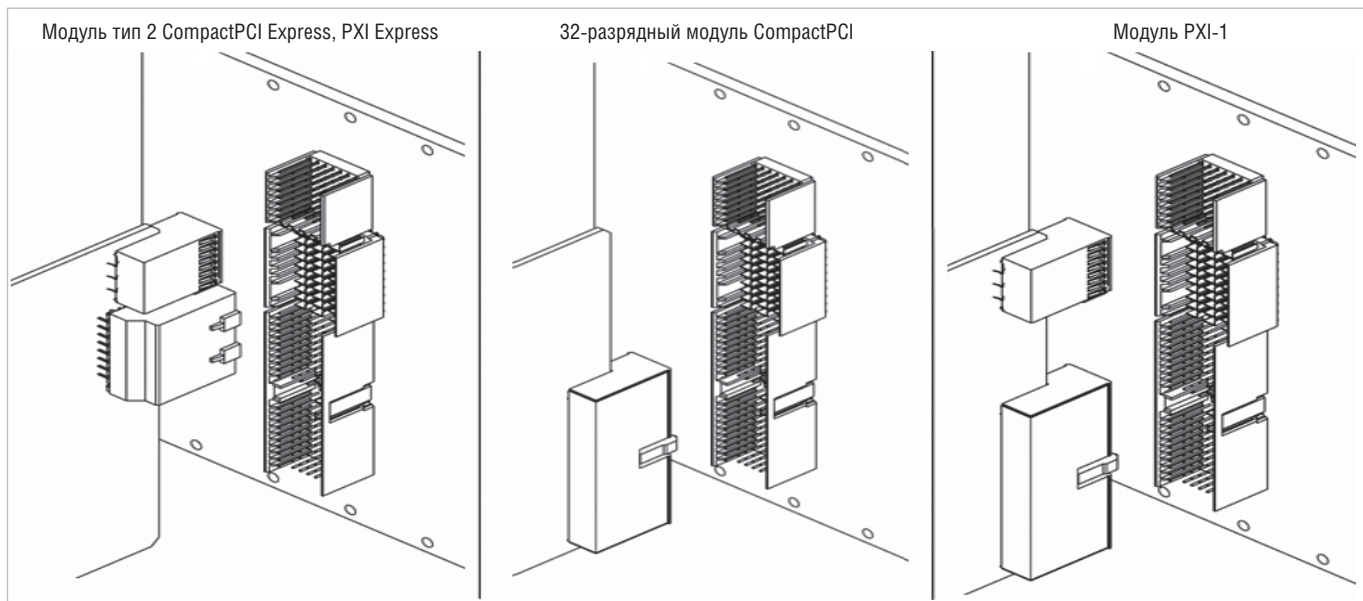


Рис. 5. Установка периферийных модулей различных типов в гибридных слотах PXI Express

- 2) обеспечение совместимости с предыдущими версиями ПО и спецификацией PXI;
- 3) определение структуры стандартной операционной системы и включение в неё существующих стандартов ПО для измерительных приборов (дополнительные требования к ПО включают поддержку стандартных операционных систем, таких как Windows, Linux, а также поддержку инструментального ПО, разработанного VXI-plugin&play Systems Alliance — VISA).

ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВ PXI EXPRESS

Пока ещё производителями промышленной компьютерной техники выпущено не так много устройств PXI Express, однако видна вполне определённая тенденция роста их количества и числа компаний, начавших производить компоненты PXI Express. В их числе и компания ADLINK, являющаяся одним из основных спонсоров альянса PXI. В качестве примеров рассмотрим несколько новейших её устройств PXI Express.

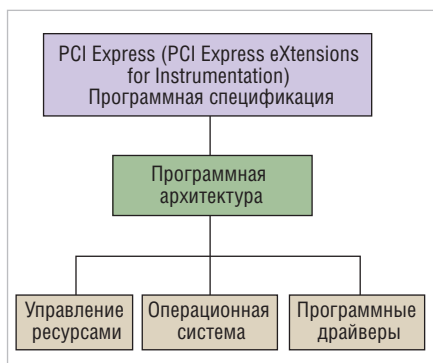


Рис. 6. Программная архитектура PXI Express

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. 7). PXIe-3975 поддерживает прогрессивные технологии Intel Hyper-Threading и Turbo Boost, позволяющие достичь максимальной энергоэффективности и высокой производительности.

Для уверенного выполнения многозадачных приложений контроллер оснащён памятью DDR3/1066 МГц объёмом до 8 Гбайт и жёстким диском SATA 160 Гбайт. PXIe-3975 поддерживает 4 линии PCI Express x4 или две линии PCI Express x8 с максимальной системной пропускной способностью до 2 Гбайт/с. Расширить функции системы можно посредством слота ExpressCard/34, установленного на передней панели. Кроме этого, модуль имеет два гигабитных Ethernet-порта, четыре USB 2.0, разъём DVI-I и разъём Micro-D GPIB для подключения внешних приборов с интерфейсом GPIB. Основными сегментами применений контроллера



Рис. 7. Контроллер PXIe-3975

являются системы тестирования и испытаний в обороне, в высокотехнологичных отраслях производства, а также научные исследования.

Шасси PXES-2590

Ожидаемой новинкой 2012 года от ADLINK стало PXIe-шасси PXES-2590, выполненное в соответствии с PXI-5 PXI Express Hardware Specifications Rev. 1.0. Это первое гибридное шасси, которое открывает линейку PXIe-корпусов компании. PXES-2590 имеет девять слотов, предназначенных для размещения одного системного модуля, одного модуля временной синхронизации и до семи периферийных модулей в гибридных слотах (рис. 8 а).

Шасси обеспечивает пропускную способность до 8 Гбайт/с. В качестве системного контроллера рекомендуется применение PXIe-3975. Поскольку все периферийные слоты являются гибридными, то они позволяют устанавливать любые периферийные модули стандартов cPCIe, cPCI, PXIe, PXI (рис. 8 б). Инновационная система охлаждения с разделением воздушных потоков модулей и источника питания обеспечивает эффективный отвод тепла в диапазоне рабочих температур от 0 до +55°C и низкий уровень шума. Автоматическая система контроля состояний шасси и управления компонентами включает в себя контроль режимов работы вентиляторов и источника питания ATX 400 Вт.

Для компактных приложений, сочетающих в своих требованиях к используемой аппаратуре универсальность и высокую мобильность, предназначено исполнение, оснащаемое комплектом РМК-1524 с сенсорным 15" LCD-мо-

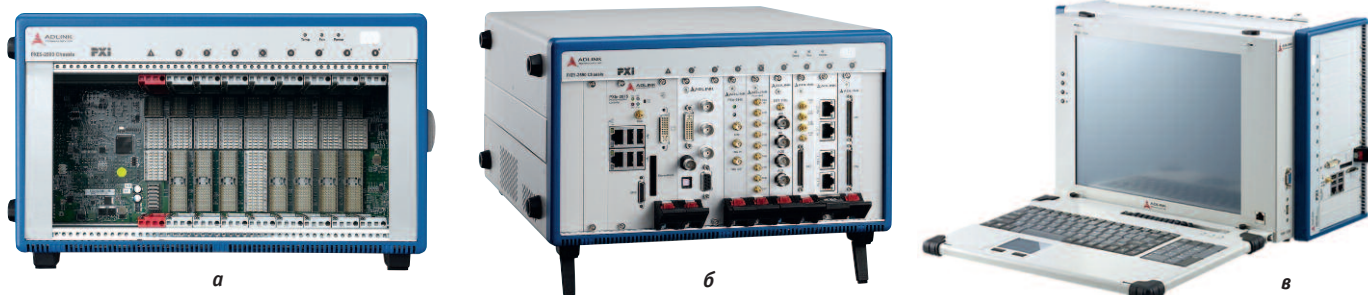


Рис. 8. Шасси PXES-2590 без установленных модулей (а), система PXI на базе шасси PXES-2590 (б) и вариант PXES-2590, оснащённый монитором и клавиатурой (в)

ниторм с разрешением 1024×768 и отстёгивающейся клавиатурой (рис. 8 в).

Шасси PXES-2590 изготавливается из лёгкого алюминиевого сплава, весит 9 кг, имеет высокую надёжность, позволяющую 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 одноимённой PCIe-платы PCIe-9842, имеет

частоту дискретизации до 200 МГц и разрешение 14 бит (рис. 9).

Аналоговый вход с полосой пропускания до 100 МГц и сопротивлением 50 Ом оптимизирован для приёма сигналов амплитудой ± 1 В. Высокие динамические характеристики: эффективное число разрядов ENOB = 11,3 и отношение сигнал/шум SNR = 70 дБ – выделяют его среди других устройств этого класса. Шина PCI Express x4 обеспечивает необходимую пропускную способность при непрерывной передаче цифровых данных непосредственно в память в режиме DMA со скоростью передачи до 400 Мбайт/с.

Плата специально разработана для приложений, требующих высокоточного захвата аналоговых данных, их

скоростного преобразования и последующей обработки цифровой информации в режиме реального времени (лазерные дальномеры, оптоволоконные тестовые системы, радары, различные системы обработки сигналов).

PXIe-9848 – высокоскоростной АЦП для многоканальных измерений

Модуль позволяет обрабатывать входные аналоговые данные одновременно по 8 независимым каналам с частотой опроса до 100 МГц и разрешением 14 бит, обеспечивая при этом высокую точность результатов и производительность. На плате установлена буферная память объёмом 512 Мбайт,



Рис. 9. Высокоскоростной модуль PXIe-9842

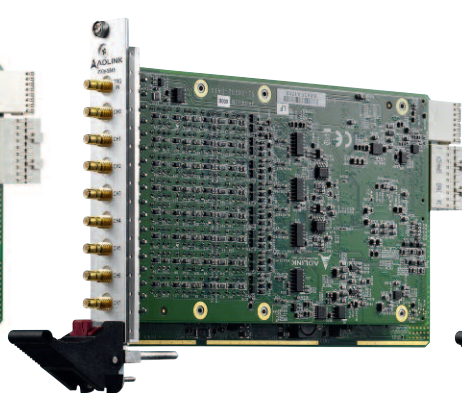


Рис. 10. Высокоскоростной многоканальный АЦП PXIe-9848



Рис. 11. Модуль видеозахвата PXIe-HDV62A

призванная поддерживать непрерывный захват данных по всем каналам (рис. 10).

Модуль имеет гибкую настройку входных диапазонов от $\pm 0,2$ до ± 2 В, программно-устанавливаемое входное сопротивление (50 Ом или 1 МОм), а также широкие возможности по запуску и синхронизации.

Поставляемое ПО предоставляет расширенную поддержку различных приложений и включает в свой состав специально разработанные компанией ADLINK драйверы WD-DASK для Windows со всем необходимым для разработки API-приложений и пакет DAQPilot SDK (Software Development Kit), в который входят библиотеки Express VI и Polymorphic VI для LabVIEW.

Модуль PXIe-9848 применяется в системах сбора данных, основными особенностями которых являются компактность и наличие большого количества каналов, реализованных в одном устройстве. К таким системам относятся радары, стенды и установки неразрушающего контроля, различные автоматизированные системы испытаний на транспорте (в основном в авиации), в промышленности и науке.

PXIe-HDV62A – модуль видеозахвата высокого разрешения

Модуль PXIe-HDV62A (рис. 11) предназначен для реализации функции захвата аналогового/цифрового видеосигнала. Он имеет интегрированный цифровой аудиовход, что даёт серьёзные преимущества и снижает общую стоимость решения с применением данного устройства.

В модуле есть встроенный 10-битовый АЦП с поддержкой HDCP (High-Bandwidth Digital Content Protection). Он обладает возможностями обработ-

ки несжатого видеопотока в формате Full HD с разрешением 1920×1080 пикселей и частотой 60 кадров в секунду.

Устройство способно обрабатывать не только несжатое видео высокого разрешения от DVI или HDMI, но и поддерживать декодирование аналогового видео от RGB, NTSC/PAL, S-Video и YPbPr со звуком (HDMI, S/PDIF-аудиовход).

В комплект поставки включены утилиты ViewCreator Pro компании ADLINK, позволяющие проводить системное тестирование и отладку без программирования, а также комплект средств разработки (SDK) HDV62A, совместимый с Microsoft DirectShow и значительно уменьшающий время вывода готовой системы на рынок. Модуль также поддерживает инструментальный пакет LabVIEW.

Благодаря своим характеристикам модуль PXIe-HDV62A востребован для применений, требующих высококачественного видеоизображения и звука, например в аппаратуре тестирования мультимедийных устройств, в медицинском оборудовании и др.

Вместо заключения

Хоть стандарт PXI Express и появился в 2005 году, что по компьютерным меркам уже достаточно давно, всё же он пока не получил широкого распространения. Основными причинами этого могут быть и относительно небольшое по сравнению с PXI количество доступных устройств, и консерватизм разработчиков, ориентирующихся на традиционные, проверенные решения, и экономические факторы, вызванные кризисными явлениями последних лет. Однако эксперты рынка предсказывают, что в ближайшем будущем PXI Express будет актив-

но внедряться в новые разработки, требующие от измерительных систем большого объёма обрабатываемых данных, повышенной производительности и точности. И сегодня уже свыше полусотни компаний-членов альянса PXI производят более 1500 различных PXI-модулей.

Подтверждением положительных прогнозов относительно перспектив PXI также служит анализ, сделанный известным аналитическим агентством Frost & Sullivan для журнала Test & Measurement World, согласно которому в течение ближайших 6 лет ожидается среднегодовой рост рынка PXI на 18%, а в 2017 году предсказывается превышение уровня суммарных доходов \$1 млрд. Дальнейшее развитие PXI напрямую связано с PXI Express, и обусловлено это тем, что по умолчанию PCI Express поддерживается всеми существующими чипсетами современных процессоров и в наличии есть мощная программная экосистема с широкой поддержкой периферийных интерфейсов. Кроме этого, процесс подстёгивается новыми возможностями по конвергенции между платформами VXI, PXIe и AXIe с помощью технологий последовательного обмена, предлагаемых LXI, но это уже тема для отдельного разговора.

Подводя итог, можно сказать, что, конечно, сегодня и сразу PXI Express полностью не заменит PXI и не отправит его на «скамейку удалённых», а скорее всего, лишь расширит выбор и возможности разработчиков при поиске современного и оптимального решения. ●

Автор – сотрудник фирмы ПРОСОФТ
Телефон: (495) 234-0636
E-mail: info@prosoft.ru