

# ВНЕДРЕНИЕ PCI EXPRESS

## В CompactPCI — ПОПЫТКА № 2

Технология CompactPCI была разработана в 1995 году, как модификация PCI. Сегодня этот стандарт широко применяется в телекоммуникационных, промышленных, контрольно-измерительных, оборонных, аэрокосмических и медицинских приложениях. Несмотря на то, что стандарт существует много лет, создатели не забросили работу над его совершенствованием, важнейшим направлением которого является разработка гибридных спецификаций на основе собственно CompactPCI и PCI Express.

### ЭВОЛЮЦИЯ ГИБРИДНЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ (CompactPCI — PCI EXPRESS)

Первая гибридная спецификация — CompactPCI Express (PICMG EXP.0 R1.0) была принята в 2005 году. [1] Формально основное изменение по сравнению с CompactPCI состояло в том, что шина PCI была заменена на PCIe. Хотя форматы плат остались теми же, что и для CompactPCI: 3U и 6U, но разъемы P1 и P2 были заменены, также была заменена и объединительная панель. Вместо P1 и P2 были установлены четыре разъема трех новых типов: ADF (два), UPM и eHM. Три других разъема (P3, P4 и P5) не изменились для сохранения преемственности с ITU-T H.110 и PICMG 2.16 (Ethernet). [2]

Спецификация имела ряд серьезных ограничений, как, например, отсутствие поддержки интерфейсов SATA, USB и Ethernet, а также тыльных плат ввода-вывода. Используемые в спецификации высокочастотные ZD-разъемы фирм ERNI и Tусо Electronics были рассчитаны на частоту 3,125 ГГц. Однако, ее было явно недостаточно, для того, чтобы обеспечить

В.Слюсар, swadim@inbox.ru  
А.Троцько, trocko\_aa@mail.ru

передачу данных в устройствах, совместимых с CompactPCI Express.

В итоге спецификация CompactPCI Express не имела коммерческого успеха и не стала основой для создания большого числа встраиваемых систем. Стандарт постепенно перешел в разряд экзотики, используемой в ограниченном классе специализированных приложений.

Разработка альтернативного варианта — спецификации CompactTCA Express (PICMG CTCA.0, PICMG 2.50) [1], — до настоящего времени не завершена.

В ее предварительных версиях реализован ряд интересных технических решений, связанных с топологией кросс-плат, обеспечивающей соединение модулей по принципу «каждый с каждым». [1] Другим важным преимуществом CompactTCA перед CompactPCI Express стало применение высоковольтной разводки однотипного питания с DC/DC-конвертированием на самих платах, что позволило снизить токовые нагрузки на питающие линии. Сравнительный анализ свойств CompactTCA и CompactPCI Express позволил высказать предположение о возможном «слиянии» этих спецификаций в единый стандарт [1].

Вторая попытка внедрения в спецификацию CompactPCI интерфейса PCI Express связана с разработкой стандарта CompactPCI Plus (PICMG CPCI-S.0) [3]. В спецификации был использован новый тип разъемов AirMax VS (рис.1) фирмы FCI Americas Technology (США) [3]. В стандарте для системного слота предусмотрено два типа розеточных разъемов («мама») и три типа штепсельных («папа»). Штепсельные разъ-

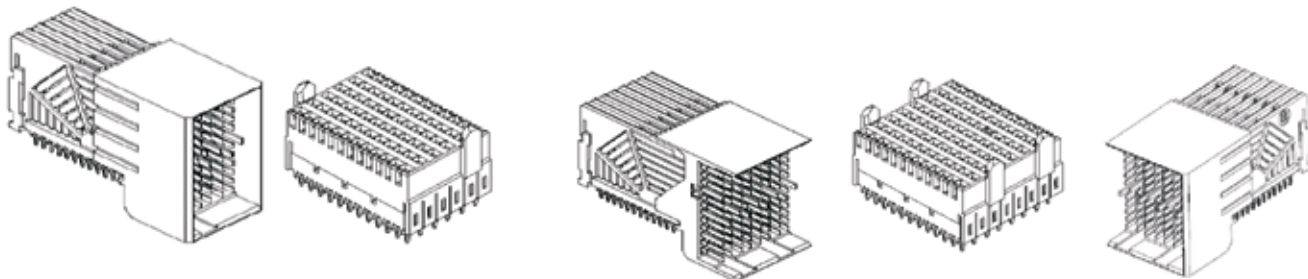
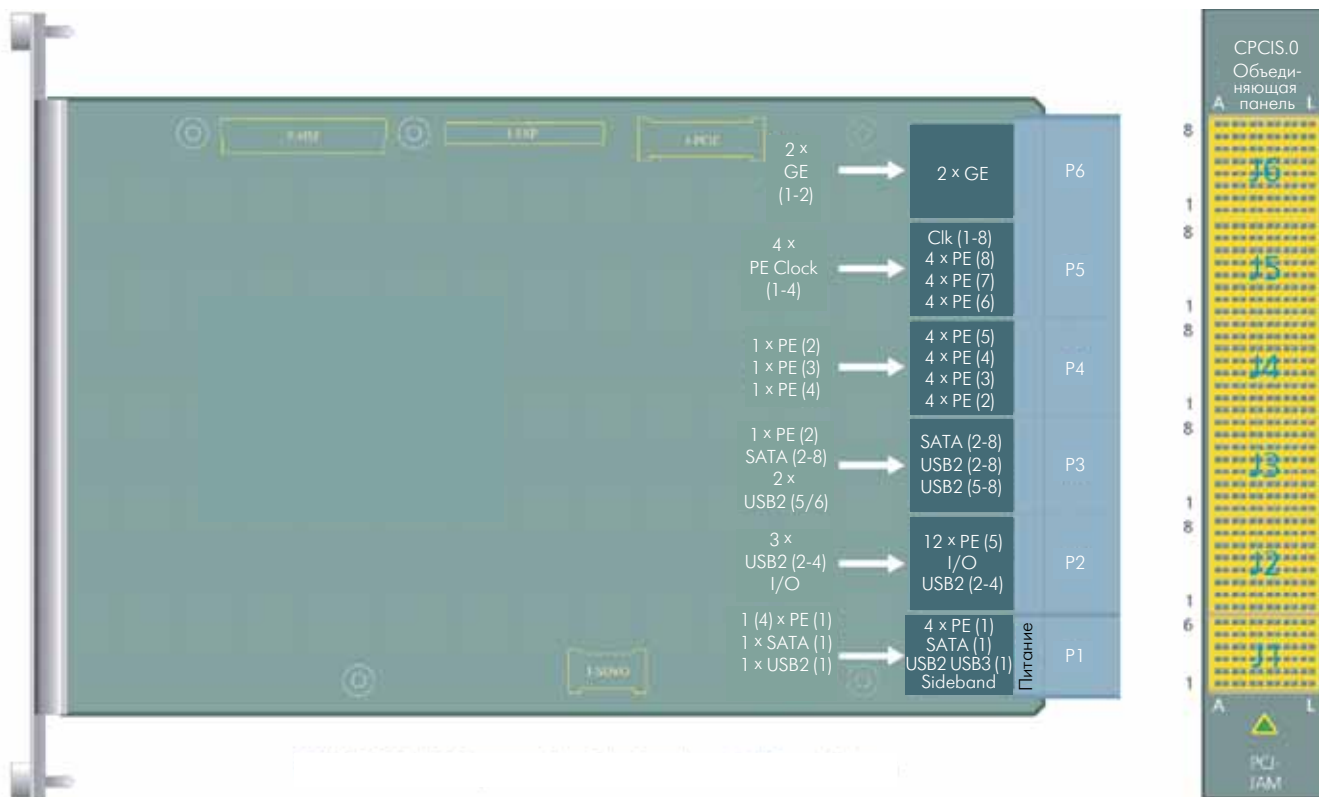


Рис. 1. Разъемы AirMax VS



**Рис.2. Модуль PCI-JAM стандарта CompactPCI Serial фирмы EKF Elektronik GmbH ([www.ekf.com](http://www.ekf.com))**

емы реализованы в нескольких конструктивных исполнениях (рис.1): шестирядный с четырьмя стенками, восьмьрядный с двумя и тремя стенками. Все разъемы унифицированы по конструкции, что делает их производство более рентабельным и должно способствовать снижению их стоимости. Предполагается, что спецификация будет охватывать модули 3U и 6U форматов, однако пока проработана ее версия только для формата 3U. В конкретном конструктивном решении формата 3U может одновременно применяться несколько вариантов разъемов, так например (рис. 2):

- разъем P1: шестирядный, четырехстеночный;
- разъемы P2 – P5: восьмьрядные, двухстеночные;
- разъем P6: восьмьрядный, трехстеночный.

В сложных устройствах возможно также использование десятирядных двухстеночных разъемов с произвольной их расстановкой с целью, так называемого, механического кодирования посадочных гнезд, чтобы обеспечить монтаж модулей в строго заданные слоты (рис.3).

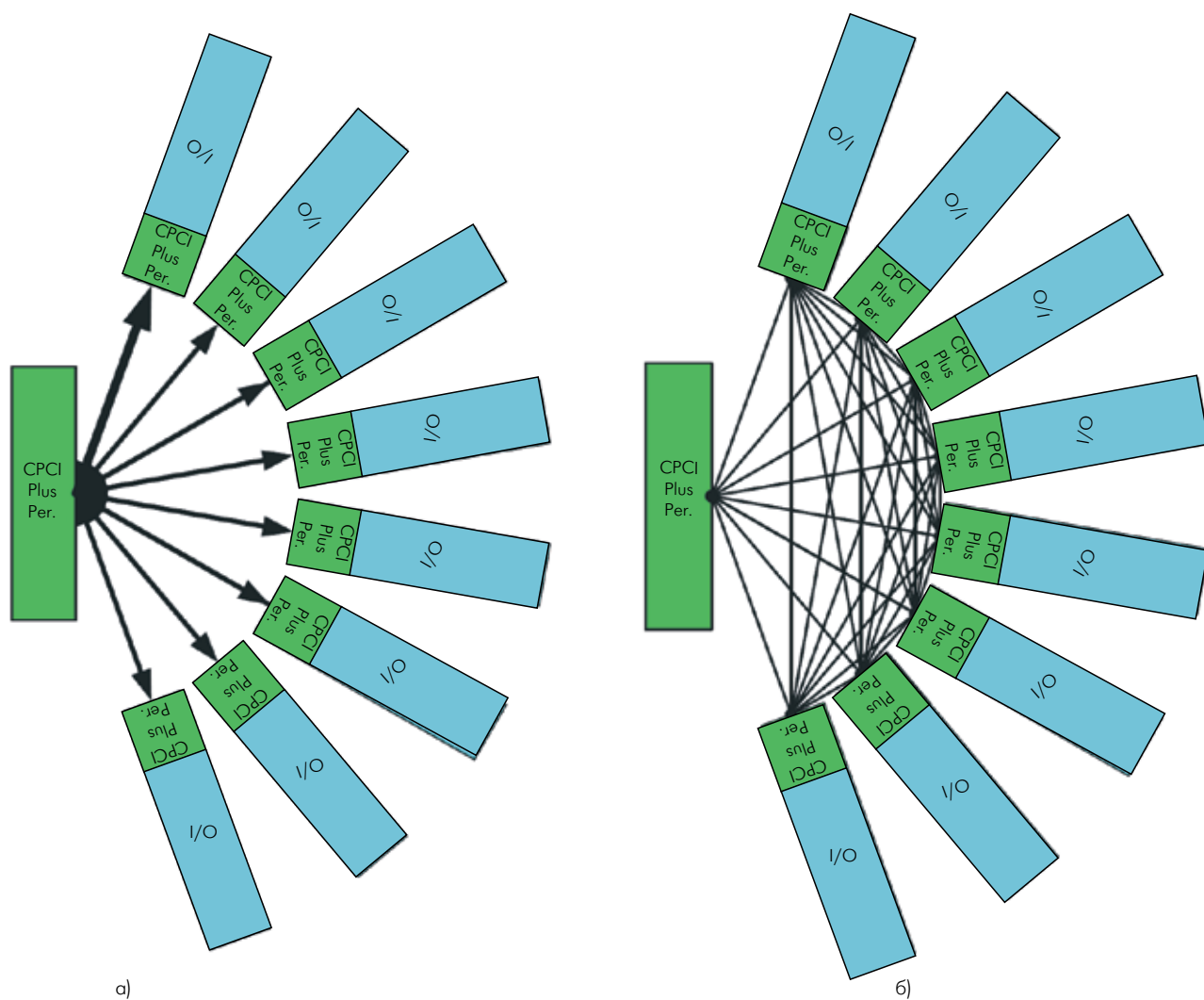
Максимальная скорость передачи данных через контактную пару AirMax VS составляет 12 Гбит/с. На сегодняшний день CPCIS-S.0 – это единственная спецификация, рассчитанная на такую скорость. Системный слот в форм-факторе 3U поддерживает восемь интерфейсов PCI Express (семь каналов по четыре линии и один канал из 16 линий, предназначенный для решения графических задач и обеспечения широкой полосы пропускания), восемь интерфейсов SATA/SAS; восемь линий USB 2.0 (одна дифференциальная пара на порт) и восемь линий USB 3.0 (две дифференциальных пары на порт),

а также восемь каналов Ethernet. (рис. 4) В CompactPCI Serial, как и в CompactTCA используется только один номинал питающего напряжения (12 В), что позволяет снизить максимально допустимую токовую нагрузку на одну контактную пару до 8 А. Для подачи питающего напряжения задействован разъем P1. Максимально допустимая рассеиваемая мощность на один слот составляет 60 Вт для формата 3U и 120 Вт – для плат в форм-факторе 6U. Оптимальное размещение разъемов на плате делает возможным использование кондуктивного отвода тепла от модуля в целом. Для периферийных слотов PCIMG CPCIS-S.0 предусмотрена поддержка одного канала PCI Express (до шестнадцати линий), по одному интерфейсу SATA, USB 2.0, USB 3.0, до восьми Ethernet-линий (рис.5). При этом использование разъемов P1 является обязательным, а P2 – P6 – опциональным. В отношении периферийных устройств аналогично CompactTCA реализована “географическая” адре-

CPCI+ System Slot	CPCI+ Perip. Slot	CPCI+ Perip. Slot	CPCI+ Perip. Slot	CPCI+ Perip. Slot	CPCI+ Perip. Slot	CPCI+ Perip. Slot	CPCI+ Perip. Slot	CPCI+ Perip. Slot
8	10	10	8	8				
8	8	10	10	10				
8	8	8	8	10				
8	8	6	8	6				
8	6	6	6	6				
6	6	6	6	6				

**Рис. 3. Механическое кодирование периферийных слотов**

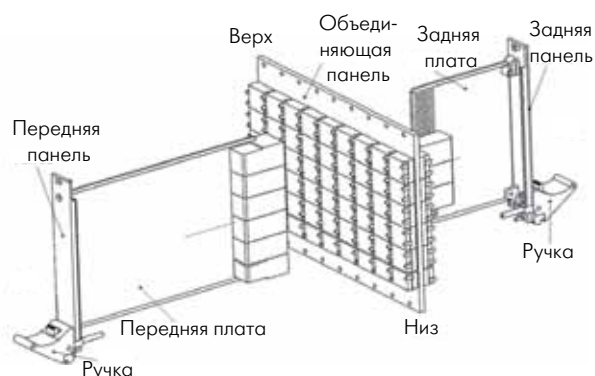




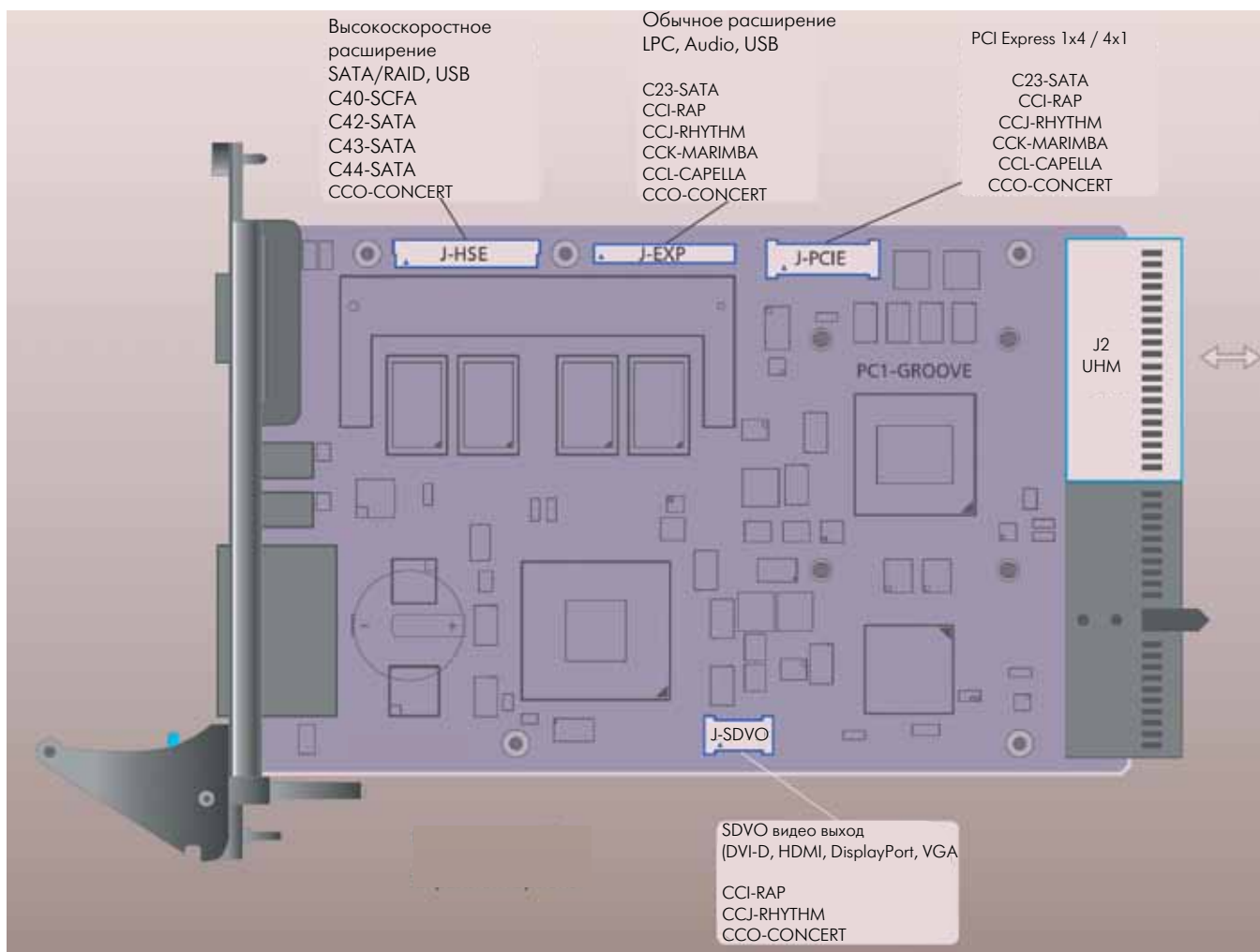
**Рис.6. Варианты реализации схем подключения периферийных модулей типа “звезда” (а) и mesh (б)**

В CPCI-S.0 при реализации соединений типа “звезда” на основе интерфейсов PCI Express, SATA или USB один системный слот может контролировать до восьми периферийных слотов (рис. 6,а), при этом не нужны ни дополнительные мостовые схемы, ни сетевые коммутаторы или специальные кроссплаты. Максимальное число подключаемых модулей зависит от возможностей чипсета центрального процессора. Например, при условии поддержки чипсетом операции кластеризации 16 интерфейсов PCI Express в четыре канала по четыре линии PCI Express в каждом, к центральному процессору без применения коммутатора могут быть подключены 11 периферийных модулей с каналами передачи данных по четыре линии PCI Express. При более эффективном чипсете возможен переход к использованию 16 каналов из одиночных линий PCI Express второго поколения, обладающих теоретической пропускной способностью 500 Мбайт/с каждая (эквивалентно применению интерфейса CPCI 66 МГц/64 бит) в пределе допускает подключение 44 модулей вместо максимум четырех, предусмотренных спецификацией CPCI 66 МГц/64 бит. Естественно на практике подключение всех 44 модулей невозможно из-за конструктивно-механических ограничений

и большой длины электрических линий, но около 20 модулей, включая и модули тыльного типа (Rear I/O), могут быть подсоединены гарантированно. Это открывает широкие перспективы по созданию многоканальных систем обработки сигналов, например, в цифровых антенных решетках. При подключении по принципу “каждый с каждым” (схема mesh) на основе 10-гигабитной версии Ethernet в сеть может быть завязано до девяти устройств, что позволяет создавать мультипроцессор-



**Рис.7. Конструктивные элементы mesh-системы на основе стандарта CompactPCI Serial**



**Рис.8. Процессорный модуль стандарта CompactPCI Plus IO (PICMG 2.30)**

ные комплексы обработки данных (рис.6,б). Конструктивные возможности выпускаемых шасси вполне позволяют реализовать систему подобного рода. (рис.7)

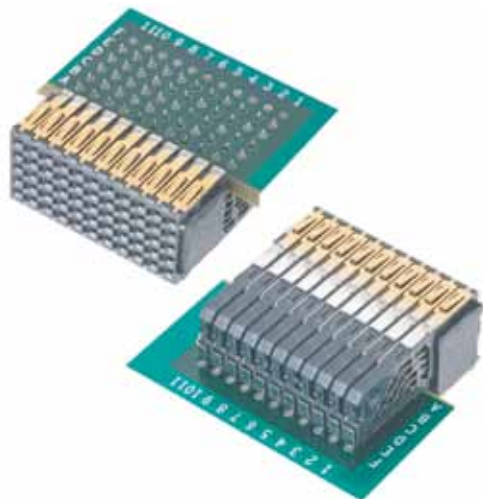
Спецификация PICMG 2.30, которая продолжила технологическую линию стандарта CompactPCI, была принята 16 февраля 2009 г [6]. В ней появилась поддержка интерфейсов PCI Express, Ethernet, SATA, SAS и USB с сохране-

нием функциональной совместимости с 32-битной версией шины CompactPCI. Конструктивная реализация данных новаций достигается за счет использования разъема J1, обеспечившего функционирование 32-битного слота системы CompactPCI, и новой версии разъема J2 (рис. 8), ранее слабо задействованного в 32-битных решениях для передачи сигналов ввода-вывода на тыльные модули (Rear I/O).

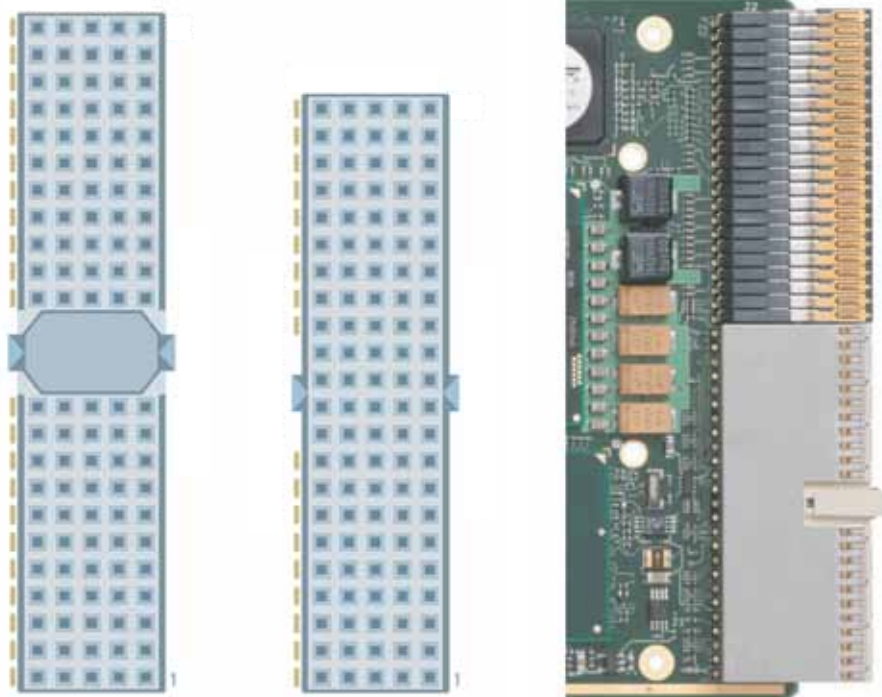
Разъем J2 типа UHM (ultra-hard metric) разработан компанией 3М [7] и сконструирован таким образом, чтобы обеспечить совместимость со стандартными двухмиллиметровыми (по интервалу посадочных гнезд на печатной плате) метрическими коннекторами IEC 61076-4-101.

Технология экранирования «виртуального коаксиального блока» от компании 3М снижает перекрёстные помехи, что позволяет достигать скорости передачи данных через гнездовые соединители UHM (рис.9) до 7 Гбит/с. Это создает условия для реализации на данной основе второго поколения интерфейса PCI Express.

Визуально разъем J2 несколько компактней J1 (рис.10,11). Разъем PICMG 2.30 поддерживает: четыре независимых дифференциальных линии PCI Express (рис. 12) , конфигурируемых в два канала по две линии, один канал из четырех линий или



**Рис.9. Разъем типа UHM компании 3М (усеченный фрагмент)**



**Рис.10. Сравнительный вид разъемов J1 и нового варианта J2**

четыре канала по одной линии; четыре интерфейса SATA/SAS (рис. 13), соответствующего спецификации SFF-8485; четыре шины USB 2.0; два интерфейса Ethernet 1000Base-T (ETH).

Такое разнообразие интерфейсов позволяет системному слоту выполнять сложные конструктивные задачи, напри-

мер, поддерживать подключение четырех периферийных плат CompactPCI Express типа 2 (рис.14).

При этом в режиме передачи данных по одному каналу из четырех линий PCI Express второго поколения может быть гарантирована скорость передачи около 800 Мбайт/с, что в

Pin	Z	A	B	C	D	E	F
22	GND	GA4	GA3	GA2	GA1	GA0	GND
21	GND	CLK6	GND	2_ETH_B+	1_ETH_D+	1_ETH_B+	GND
20	GND	CLK5	GND	2_ETH_B-	1_ETH_D-	1_ETH_B-	GND
19	GND	GND	GND	2_ETH_A+	1_ETH_C+	1_ETH_A+	GND
18	GND	2_ETH_D+	2_ETH_C+	2_ETH_A-	1_ETH_C-	1_ETH_A-	GND
17	GND	2_ETH_D-	2_ETH_C-	PRST#	REQ6#	GNT6#	GND
16	GND	4_PE_CLK-	2_PE_CLK+	DEG#	GND	reserved	GND
15	GND	4_PE_CLK+	2_PE_CLK-	FAL#	REQ5#	GNT5#	GND
14	GND	3_PE_CLK-	1_PE_CLK+	4_PE_CLKE#	SATA_SCL	reserved	GND
13	GND	3_PE_CLK+	1_PE_CLK-	3_PE_CLKE#	SATA_SDO	SATA_SL	GND
12	GND	4_PE_Rx00+	1_PE_CLKE#	2_PE_CLKE#	SATA_SDI	4_SATA_Rx+	GND
11	GND	4_PE_Rx00-	4_PE_Tx00+	4_USB2+	4_SATA_Tx+	4_SATA_Rx-	GND
10	GND	3_PE_Rx00+	4_PE_Tx00-	4_USB2-	4_SATA_Tx-	3_SATA_Rx+	GND
9	GND	3_PE_Rx00-	3_PE_Tx00+	3_USB2+	3_SATA_Tx+	3_SATA_Rx-	GND
8	GND	2_PE_Rx00+	3_PE_Tx00-	3_USB2-	3_SATA_Tx-	2_SATA_Rx+	GND
7	GND	2_PE_Rx00-	2_PE_Tx00+	2_USB2+	2_SATA_Tx+	2_SATA_Rx-	GND
6	GND	1_PE_Rx00+	2_PE_Tx00-	2_USB2-	2_SATA_Tx-	1_SATA_Rx+	GND
5	GND	1_PE_Rx00-	1_PE_Tx00+	1_USB2+	1_SATA_Tx+	1_SATA_Rx-	GND
4	GND	VIO	1_PE_Tx00-	1_USB2-	1_SATA_Tx-	reserved	GND
3	GND	CLK4	GND	GNT3 #	REQ4#	GNT4#	GND
2	GND	CLK2	CLK3	SYSEN#	GNT2#	REQ3#	GND
1	GND	CLK1	GND	REQ1#	GNT1#	REQ2#	GND

**Рис.11. Назначение контактов 5-рядного разъема J2**

PICMG 2.30	[PCIE]	Описание
PE_Rx00-	PERn0	Дифференциальная пара (прием)
PE_Rx00+	PERp0	
PE_Tx00-	PETn0	Дифференциальная пара (передача)
PE_Tx00+	PETp0	
PE_CLK-	CREFCLKn	Дифференциальная линия синхронизации (100 МГц)
PE_CLK+	CREFCLKp	
PE_CLKE#	PRSNT1#	Определение сигнала
	PRSNT2#	

Рис. 12. Назначение сигналов интерфейса PCI Express

PICMG 2.30	[SATA]	Описание
SATA_Rx-	HR-	Приемная сигнальная пара
SATA_Rx+	HR+	
SATA_Tx-	HT-	Передающая сигнальная пара
SATA_Tx+	HT+	

PICMG 2.30	[SFF]	Описание
SATA_SC	Sclock	Синхронизация
SATA_SL	Sload	Синхронизация сигнала (выход)
SATA_SDO	SDataOut	Сигнал выход
SATA_SDI	SDataIn	Сигнал вход

Рис. 13. Назначение сигналов интерфейса SATA

восемь раз больше, чем по 32-битному параллельному интерфейсу разъема J1, функционирующему на тактовой частоте шины PCI 33 МГц.

Спецификацией на разъем предусмотрена максимальная токовая нагрузка на контактную пару 1 А при температуре +70° С. Рабочий диапазон температур – 55° – +125° С. Джит-

тер сигналов при скорости передачи данных 5 Гбит/с не превышает 100 пс.

### ПРИЛОЖЕНИЯ CompactPCI SERIAL

Одним из первых, анонсированных на рынке процессорных модулей стандарта CompactPCI Serial, стало устройство SC1-

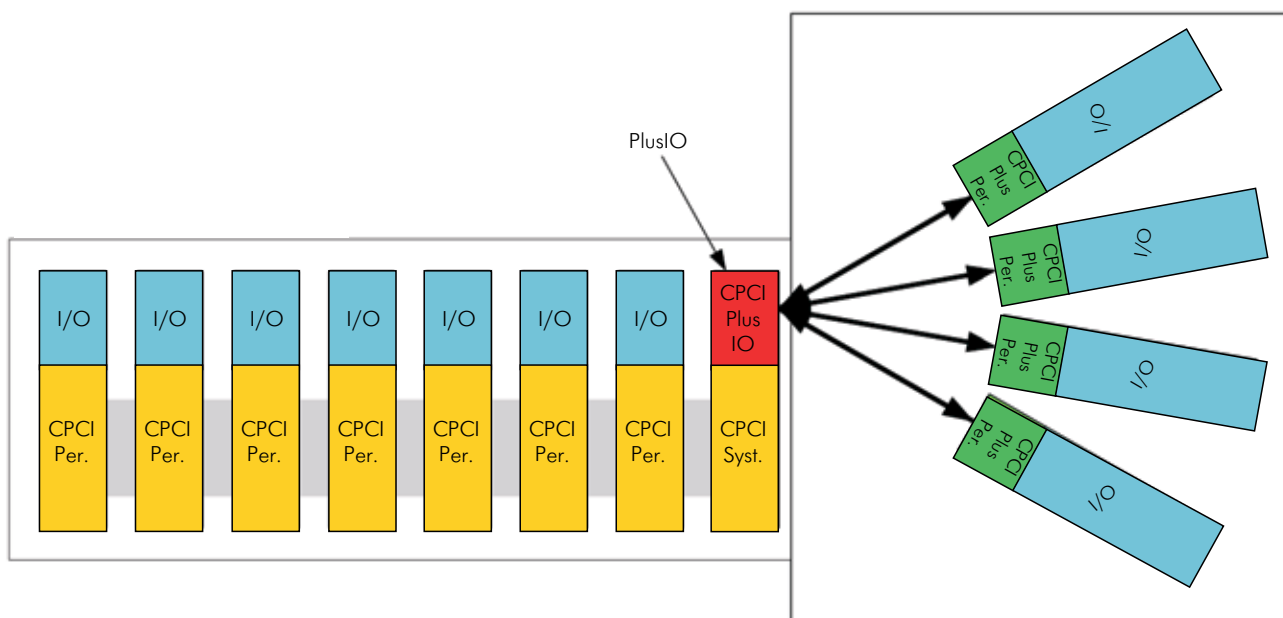
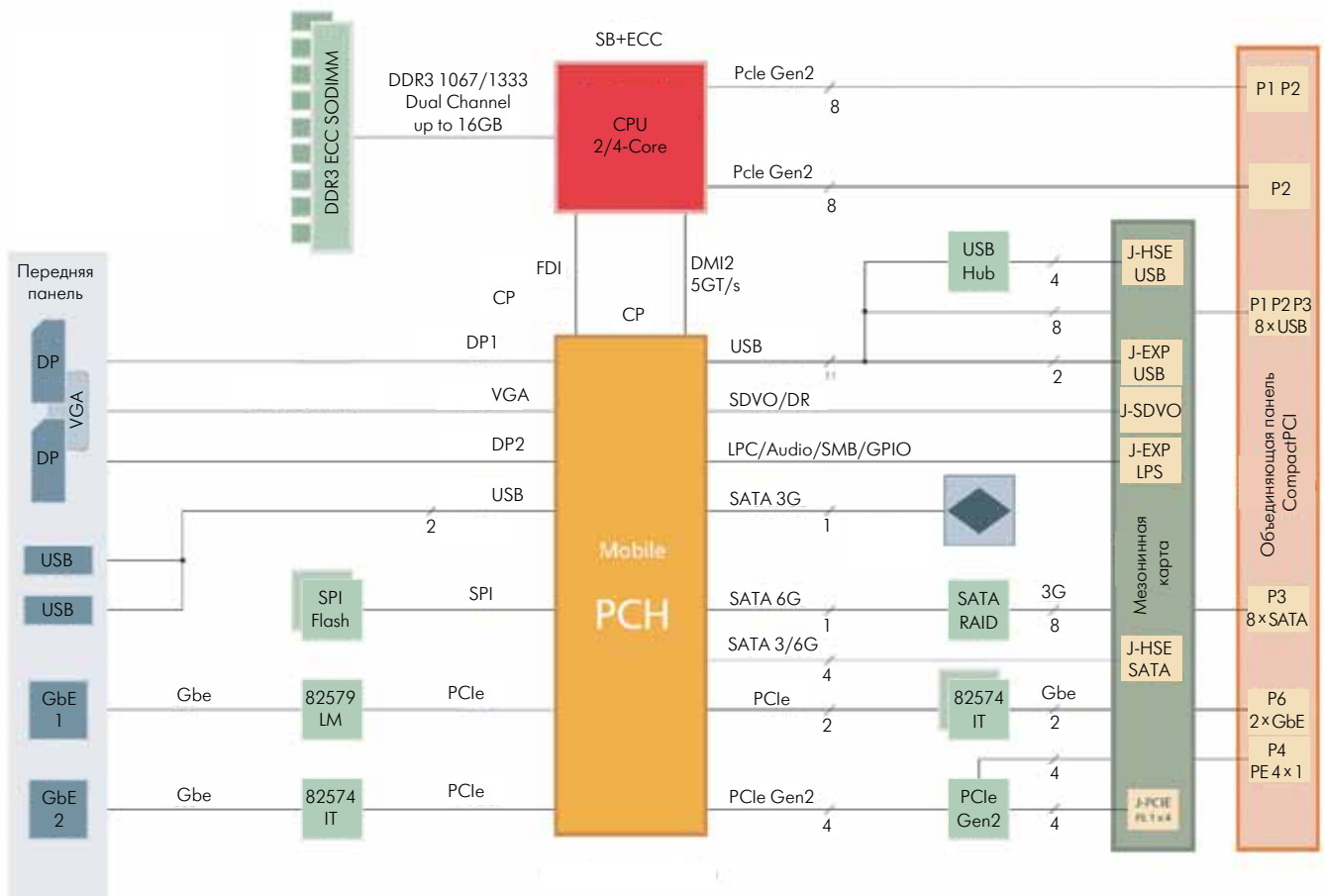


Рис. 14. Типовая схема подключения периферийных модулей к системному слоту PICMG 2.30.



**Рис. 15. Функциональная схема процессорного модуля SC1-ALLEGRO фирмы EKF Elektronik GmbH**

ALLEGRO, немецкой фирмы EKF Elektronik (ekf.com). Упрощенная схема флагманского проекта этого модуля представлена на рис.15 [4].

Разработчик пока не раскрыл ни тип процессора, ни чипсет, однако отмечается, что это будут микросхемы следующего поколения. Предельная заявленная тактовая частота ОЗУ DDR3 равна 1333 МГц, максимальный объем ОЗУ может достигать 16 Гбайт. На системные разъемы P1 и P2 предусмотрены два канала по восемь линий PCI Express 2.0 каждый, что является нестандартным решением на рынке встраиваемых систем и открывает широкие возможности для скоростной обработки сигналов.

Среди серийно выпускаемых фирмой EKF Elektronik изделий заслуживает внимания контроллер PCJ-JAM для системного слота CompactPCI Serial (рис. 2) [5]. Он является мезонинной картой для процессорной платы, выполненной по спецификации CompactPCI (рис. 11). Контроллер PCJ-JAM подключается к плате процессорного модуля через набор из четырех специальных разъемов, позиционирование которых показано на рис. 2: J-PCIE (1 канал из четырех линий PCI Express), J-HSE (четыре интерфейса USB, три интерфейса SATA), J-SDVO (Secondary DVI-D Video), J-EXP (два интерфейса USB, сигналы HD Audio, LPC, GPIO). (рис.17) Конструктивные особенности модуля позволяют создавать гибридные системы, содержащие как устройства CompactPCI, так и устройства CompactPCI Serial. Крос-

сплата для их совместного подключения в рамках единой вычислительной системы приведена на рис.18.

Компания Schroff (Германия) выпускает также 9-слотовые кроссплаты 24579-415, 24579-420, поддерживающие только 3U-версию стандарта CompactPCI Serial.

Фирма MEN Mikro Elektronik (Германия, men.de) представила на рынок устройств CPCI-S.0 свой процессорный модуль G20, оснащенный процессором Intel Core i7, 2,53 ГГц. Это устройство не отличается выдающимися характе-



**Рис. 16. Процессорная плата с мезонинным контроллером PCJ-JAM**



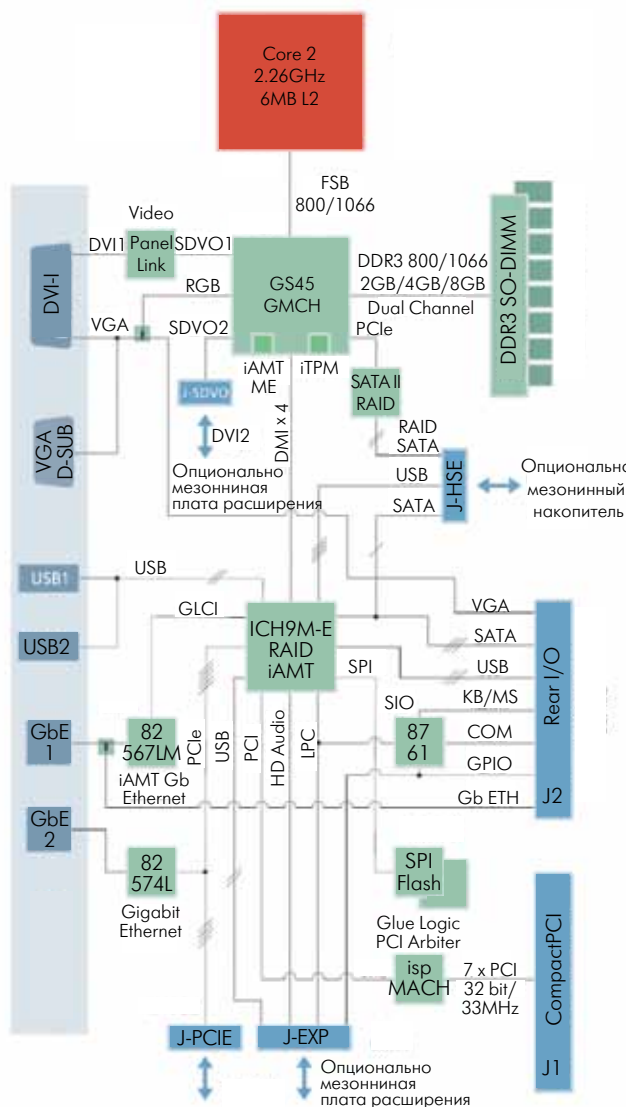


Рис. 17. Блок-схема процессорного модуля CCM-BOOGIE

ристиками. В нем отсутствует разъем P6, зарезервированный под мезонинную плату, допускается лишь плюсовой диапазон рабочих температур, а также недостаточно полно использован набор доступных в стандарте интерфейсов PCI Express (на разъем кроссплаты сданы только пять линий PCI Express x1 links, а для графического контроллера в составе тыльного модуля ввода-вывода – один канал из 8 линий и аналогичный канал из четырех линий PCI Express первого поколения).

Завершая обзор оборудования на основе CPCI-S.0, хотелось бы обратить внимание на достаточно представительный старт новой спецификации, несмотря на отсутствие ее официального статуса. Это позволяет надеяться на дальнейшее развитие стандарта.

### ПРИЛОЖЕНИЯ CompactPCI PLUSIO

Компания MEN Mikro Elektronik первой представила на мировой рынок 3U модуль одноплатного компьютера (SBC) на базе процессоров фирмы Intel F19P, удовлетворяющий стандарту PICMG 2.30 CompactPCI PlusIO. В зависимости от варианта комплектации в модуле могут быть установлены следующие процессоры:

- Intel SP9300, 2,26 ГГц, 1066 МГц FSB, 6 Мбайт кэш, 25 Вт;
- Intel SL9400, 1,86 ГГц, 1066 МГц FSB, 6 Мбайт кэш, 17 Вт;
- Intel SU9300, 1,2 ГГц, 800 МГц FSB, 3 Мбайт кэш, 10 Вт;
- Intel Celeron M722, 1,2 ГГц, 800 МГц FSB, 1 Мбайт кэш, 5,5 Вт;
- Intel Celeron M723, 1,2 ГГц, 800 МГц FSB, 1 Мбайт кэш, 10 Вт.

Максимальный объем оперативной памяти равен 8 Гбайт. Рабочий диапазон температур зависит от типа процессора, жесткого диска, вида охлаждения и может составлять от -40°C до +85°C. Минимальная стоимость устройства – 1413 долл.,

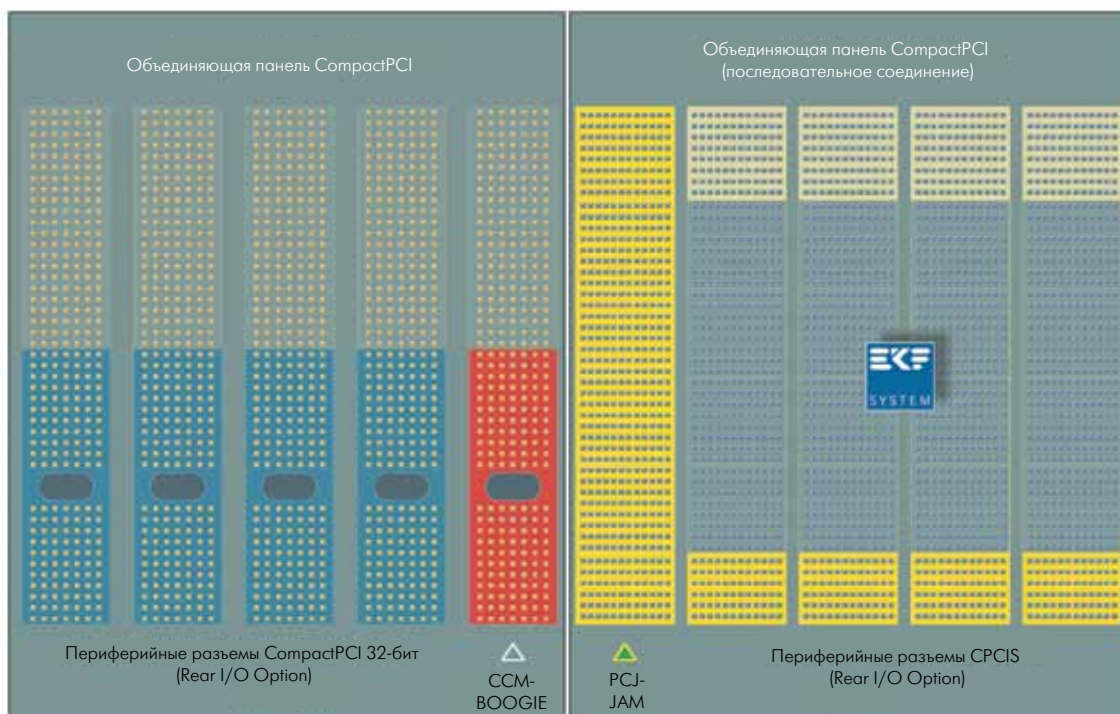


Рис. 18. Кроссплата для гибридных систем

при комплектации процессором Celeron M 722 и сроке поставки до 6 недель.

Более продвинутое решение на основе процессоров Core i7 – 610/620 предлагает германская фирма EKF Elektronik, представившая весной 2010 г. модуль PC1-GROOVE формата 3U. Используемая в нем номенклатура процессоров Intel выглядит следующим образом:

Standard Voltage Processor i7-610E 2.66GHz (3.33/3.06GHz Single/Dual Core Turbo Mode);

Low Voltage Processor i7-620LE 2.0GHz (2.8/2.53GHz Single/Dual Core Turbo Mode);

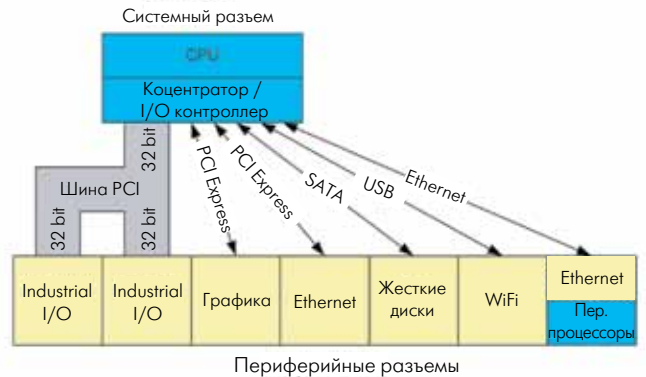
Ultra Low Voltage Processor i7-620UE 1.06GHz (2.13/1.73GHz Single/Dual Core Turbo Mode).

Модуль обеспечивает решение задач ввода-вывода по 32-битной параллельной шине данных, а также обслуживание периферийных модулей, решающих задачи построения графических изображений, хранения данных, радио- и сетевого доступа (рис. 19) на основе последовательных интерфейсов PCI Express, SATA, USB, Ethernet.

Аналогичный модуль ICP-CP85-xx с процессорами Core i7-620 производится германской фирмой EM Trust (emtrust.de).

Компания Schroff предлагает для систем CompactPCI PlusIO несколько вариантов системных шасси. В частности, предлагаются шасси с кроссплатами на 8 слотов (3 слота CompactPCI, специальный процессорный слот и 4 слота только с последовательными интерфейсами PCI Express, Gigabit Ethernet, SATA) для топологий Star или Full Mesh, с использованием модулей Rear I/O.

К сожалению, в доступных приложениях PICMG 2.30 нет поддержки второго поколения PCI Express, что ограничивает скорость обмена данными. Однако в целом предоставляемые в устройствах возможности позволяют надеяться



**Рис. 19. Типовая система на основе модуля PC1-GROOVE**

на то, что их перспективы будут позитивными. Насколько – покажет время.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Слюсар В. Новые стандарты промышленных компьютерных систем. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, № 6, с. 50–53.
2. Рыбаков А., Слепов Н. Компьютерные встраиваемые технологии — тенденции развития. — ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2006, № 3, с. 24–34.
3. Michael Plannerer. PICMG CPCI-S.0 CompactPCI Serial — MEN Mikro Elektronik GmbH, 2009, October 7 [www.picmgeu.org/specs/cpci\\_plus\\_serial\\_core.pdf](http://www.picmgeu.org/specs/cpci_plus_serial_core.pdf).
4. Simplified Block Diagram SC1-ALLEGRO PICMG CompactPCI Serial System Slot Controller — [www.ekf.com/s/sc1/sc1\\_blk.pdf](http://www.ekf.com/s/sc1/sc1_blk.pdf).
5. PCJ-JAM. CompactPCI Serial System Slot Controller. — Document № 5600, 2009, 26 October 2009. — EKF Elektronik. [http://www.ekf.com/s/sj1/sj1\\_pie.pdf](http://www.ekf.com/s/sj1/sj1_pie.pdf).
6. Manfred Schmitz. PICMG 2.30 CompactPCI PlusIO. — October 7, 2009. — [www.picmgeu.org/specs/cpci\\_plus\\_io\\_.pdf](http://www.picmgeu.org/specs/cpci_plus_io_.pdf).
7. 3M Ultra Hard Metric (UHM) Press-Fit Socket / 3M Electronic Solutions Division Interconnect Solutions — [www.3M.com/interconnects/](http://www.3M.com/interconnects/).

## НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



**Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии**

**Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман**

**Москва: Техносфера, 2010. – 528с., 14с. цв. вклейки ISBN: 978-5-94836-222-9.**

Книга представляет собой подробное справочное руководство по основным вакуумным плазмохимическим процессам в тонкопленочной технологии – реактивному магнетронному нанесению тонких пленок и ионно-плазменному травлению. В ней обобщено современное состояние этих процессов.

Книга содержит подробное описание магнетронных напылительных установок и плазмохимических установок для травления тонких пленок. Рассмотрены технологические особенности их использования. Описаны способы управления процессами реактивного нанесения тонких пленок и использования среднечастотных импульсных источников питания. Показаны технологические особенности получения тонких пленок тройных химических соединений методом реактивного магнетронного сораспыления. Описана структура получаемых пленок и ее зависимость от параметров процесса нанесения. Приведены принципы конструирования источника высокочастотного разряда высокой плотности для ионного или плазмохимического прецизионного травления тонких пленок, а также его использования для стимулированного плазмой осаждения тонких пленок.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся исследованием, разработкой и изготовлением различных изделий электронной техники и нанотехнологии, совершенствованием технологии их производства и изготовлением специализированного оборудования. Она также будет полезна в качестве учебного пособия для студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специализаций.