

# ВСТРАИВАЕМЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ: СТАНДАРТЫ VITA 65 И VITA 46

Встраиваемая компьютерная система (ВКС) — это основа любого современного устройства, будь то модуль управления космическим аппаратом, АСУТП металлургического комбината, рентгенологический аппарат или бортовая система вооружений, предназначенная для жестких условий эксплуатации. ВКС для жестких условий эксплуатации отвечают всем новым требованиям для разработки боевых бортовых компьютеров и соответствуют стандартам, которые определяют конструктивные и технологические особенности изготовления и эксплуатации устройств данного класса.

## СТАНДАРТЫ СОВМЕСТИМОСТИ ВКС

Стандарт VPX (VITA 46) был разработан специально для рынка авиационно-космических и оборонных систем. В рабочую группу, занимавшуюся его созданием, вошли ведущие игроки этого рынка: компании Boeing, Northrop Grumman, Curtiss-Wright, Radstone Technology (GE Fanuc), Mercury Computers и др. Перед разработчиками стояли следующие задачи:

- обеспечить значительное (на порядок и более) увеличение пропускной способности объединительной панели (напомним, что пропускная способность шины VME — максимум 320 Мбайт/с в синхронном 64-разрядном блочном режиме 2eSST);
- сохранить, насколько возможно, совместимость со спецификацией VME для защиты немалых средств, затраченных на разработку аппаратного и программного обеспечения военных платформ;
- улучшить технологию охлаждения и теплоотвод с учетом рассеиваемой мощности современных и будущих высокопроизводительных микропроцессоров;
- реализовать концепцию «заменяем только модуль, а не блок (подсистему) целиком» при ремонте оборудования в полевых условиях неквалифицированным персоналом (солдатом во время боевых действий) [1].

В.Слюсар, д.т.н.  
swadim@inbox.ru

Спецификация достаточно хорошо зарекомендовала себя на рынке вооружений и была, в частности, выбрана в качестве базовой для встраиваемых военных систем в Российской Федерации. Однако применение модулей на основе VPX достаточно часто приводило к серьезным проблемам совместимости оборудования разных производителей в рамках общего крейта (корпуса). В итоге на основе VPX (VITA 46) была разработана новая спецификация OpenVPX (VITA 65).

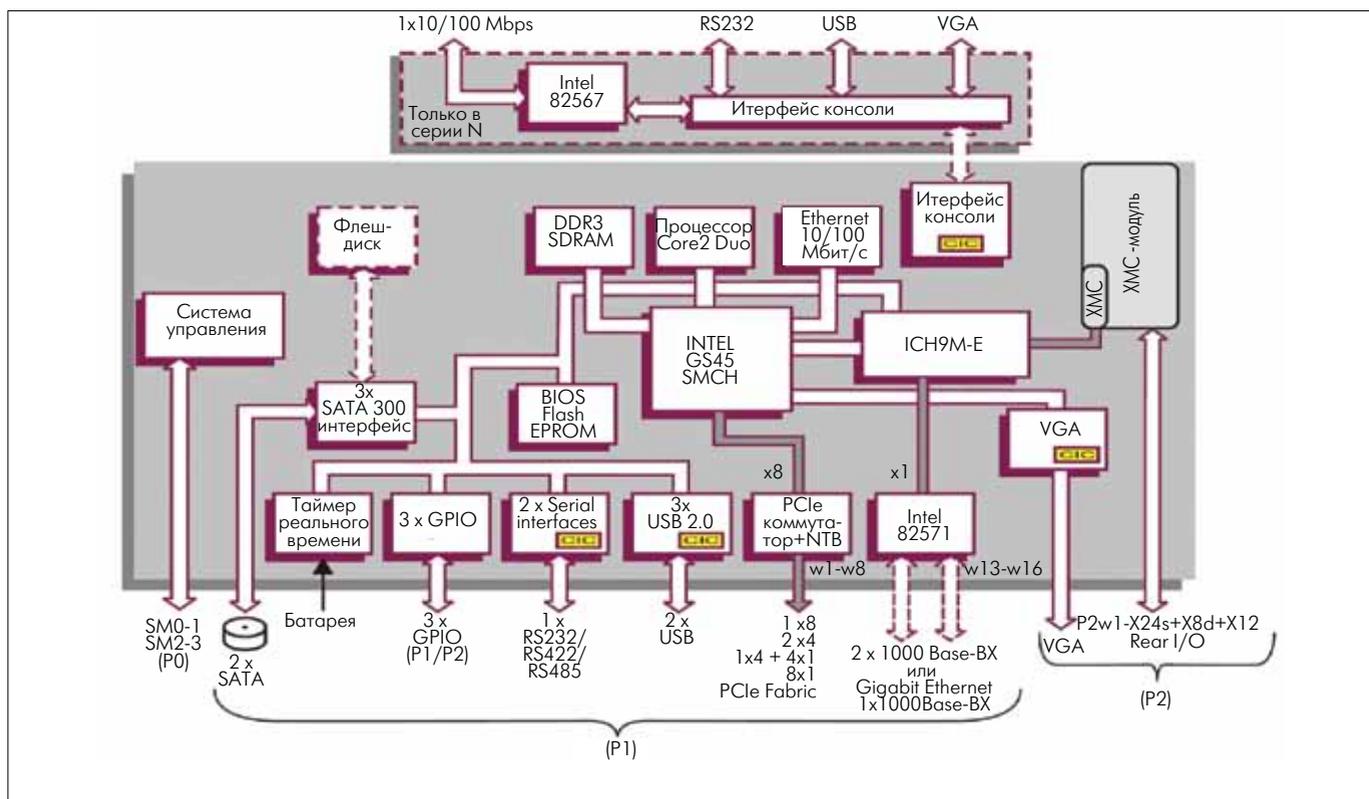
OpenVPX — это базовая архитектура, которая на системном уровне определяет совместимость блоков в многомодульных системах и интегрированных средах, а также платформах, содержащих блоки различных производителей [2].

Стандарт OpenVPX 1.0 определяет несколько системных профилей и порядок реализации в модулях конкретного профиля соответствующего набора спецификаций. Первая версия спецификации VITA 65, разработанная рабочей группой OpenVPX Industry Working Group из 28 компаний, в начале 2010 года прошла ратификацию в VSO (VITA Standards Organization) в качестве стандарта.

Сравнение характеристик VITA 65 и VITA 46 позволило выявить между ними ряд отличий, ключевым из которых является поддержка в спецификации VITA 65 более высоких скоростей передачи данных через контактные соединения. Например, вместо 3,125 Гбит/с (2,5 Гбод) в предшествующей версии VITA 46.0 в VITA 65 возможна передача со скоростью



Рис. 1. Внешний вид модуля TR 501/36x [3]



**Рис.2. Структурная схема модуля TR 501/36x [3]**

до 6,25 Гбод на одну дифференциальную пару контактов, в том числе в соответствии со стандартом второго поколения интерфейса PCIe (Gen 2). Это позволяет достичь в канале из восьми линий связи PCIe Gen 2 той же пропускной способности, которая была присуща 16 линиям PCIe первого поколения.

При выработке практических рекомендаций следует опираться на доступную на мировом рынке номенклатуру устройств VITA 65 и VITA 46, аналоги которых в дальнейшем могут быть воспроизведены отечественными предприятиями.

Анализ функционального назначения составных элементов цифрового сегмента радиотехнической аппаратуры позволяет выделить основные типы модулей, которые будут использоваться в ее оборудовании. Это процессорные модули, модули ввода-вывода, кросс-платы, модули синхронизации, блоки питания, крейты.

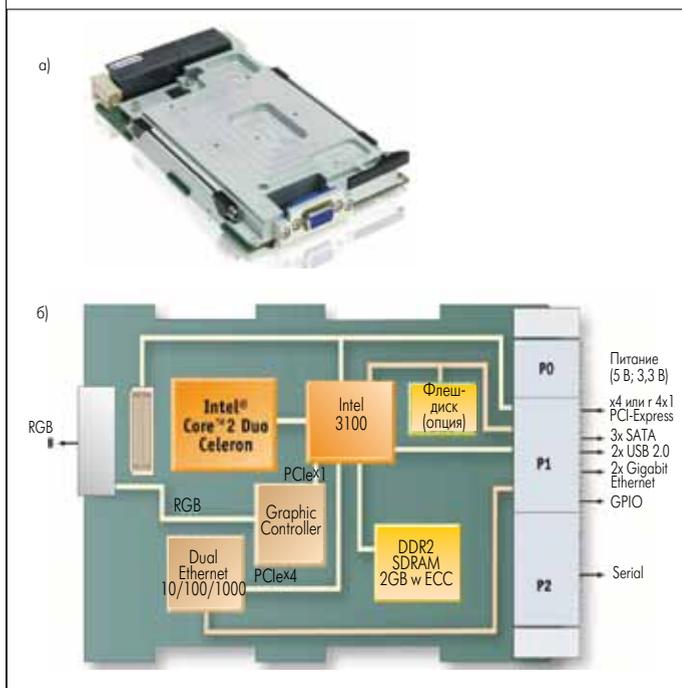
При выборе доступных на рынке процессорных модулей следует отдать предпочтение использованию Intel-процессоров, применение которых позволяет упростить разработку, отладку и тестирование специализированного программного обеспечения, реализующего методы обработки сигналов.

При выработке рекомендаций по аппаратной реализации того или иного оборудования целесообразно исходить из различий в требованиях к массогабаритным показателям аппаратуры. Учитывая, что в рамках спецификаций VITA 46 и VITA 65 реализованы устройства двух форм-факторов, 3U и 6U, решения в габаритах 3U (100×160 мм) следует считать предпочтительными для применения на борту малоразмерных мо-

бильных средств, тогда как 6U-решения (233×160 мм) вполне уместны для использования в крупногабаритных изделиях.

### РЕШЕНИЯ ФОРМАТА 3U

В классе решений формата 3U заслуживает внимания OpenVPX-совместимый процессорный модуль TR 501/36x [3] фирмы Concurrent Technologies с центральным процес-



**Рис.3. Структурная схема и внешний вид модуля VX3020 [4]**

## Технология подключения модулей ввода-вывода в устройствах OpenVPX

Для подключения модулей ввода-вывода в формате 3U OpenVPX могут использоваться два варианта.

Первый основан на применении мезонинных модулей ХМС, размещаемых не только на специальных мезонинных носителях, но и на платах процессорных модулей, в которых предусмотрены посадочные места для подключения ХМС-расширителей. В процессорном модуле для обмена данными с ХМС-мезонином может быть задействовано до восьми линий PCIe.

Во втором варианте исполнения устройств ввода-вывода в системах OpenVPX используются стандартные модули FMC (FPGA Mezzanine Card), определенные спецификацией VITA 57. Они имеют форм-фактор с габаритами 69×76,5 мм либо сдвоенного размера 139×76,5 мм и стыкуются в качестве мезонинов со специальными несущими платами обработки данных, содержащими программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) типа FPGA. На модулях FMC находятся только устройства ввода-вывода, такие как АЦП, ЦАП или интерфейсные приемопередатчики. У модулей нет никаких бортовых процессоров, FPGA или шинных интерфейсов, подобных PCI-X. Вместо этого поддерживается возможность непосредственного соединения между интерфейсом ввода-вывода FMC-устройства через мультигигабитные трансиверы с микросхемами FPGA носителя мезонинных модулей FMC. Исключение промежуточных интерфейсных мостов позволяет максимизировать пропускную способность при передаче данных. Кроме того, технология FMC позволяет существенно упростить процесс проектирования устройств ввода-вывода. На уровне системы обработки сигналов FMC-решения по сравнению с модулями ХМС предоставляют проектировщику больший контроль над мощностью, шумами и тепловыми проблемами. На основе FMC-стандарта может быть также выполнен синхронизатор цифрового сегмента.

соров Intel Core 2 Duo SL9400, имеющим тактовую частоту 1,86 ГГц, частоту процессорной шины FSB 1066 МГц и выполненным по технологии 45 нм (рис.1). В модуле размещается до 8 Гбайт DDR3-1066 SDRAM с пиковой пропускной способностью до 16 Гбайт/с. Интерфейс с OpenVPX-совместимой кросс-платой поддерживается в нескольких вариантах конфигурации шины PCIe: 1×8 линий PCIe, 2×4 линии PCIe, 8×1 линии PCIe. Самой большой пропускной способностью обладает одноканальный вариант из восьми линий PCIe, совместимый со спецификацией второго поколения PCIe.

В варианте исполнения, рассчитанном на кондуктивное охлаждение, модуль соответствует требованиям стандарта VITA 48.2 для жестких условий эксплуатации. Он имеет расширенный диапазон рабочих температур (-40...85°C) с допустимой высотой применения до 15240 м, что соответствует, к примеру, возможному рабочему потолку использования типового тактического ретранслятора на БПЛА. Стойкость к ударно-вибрационным нагрузкам позволяет устройству сохранять работоспособность при воздействии ударов с ускорением до 40g длительностью до 11 мс. На рис.2 приведена структурная схема модуля TR 501/36x, отображающая взаимосвязь его основных элементов. Ее анализ позволяет сделать вывод, что по своим характеристикам модуль TR 501/36x является одним из лучших в своем роде.

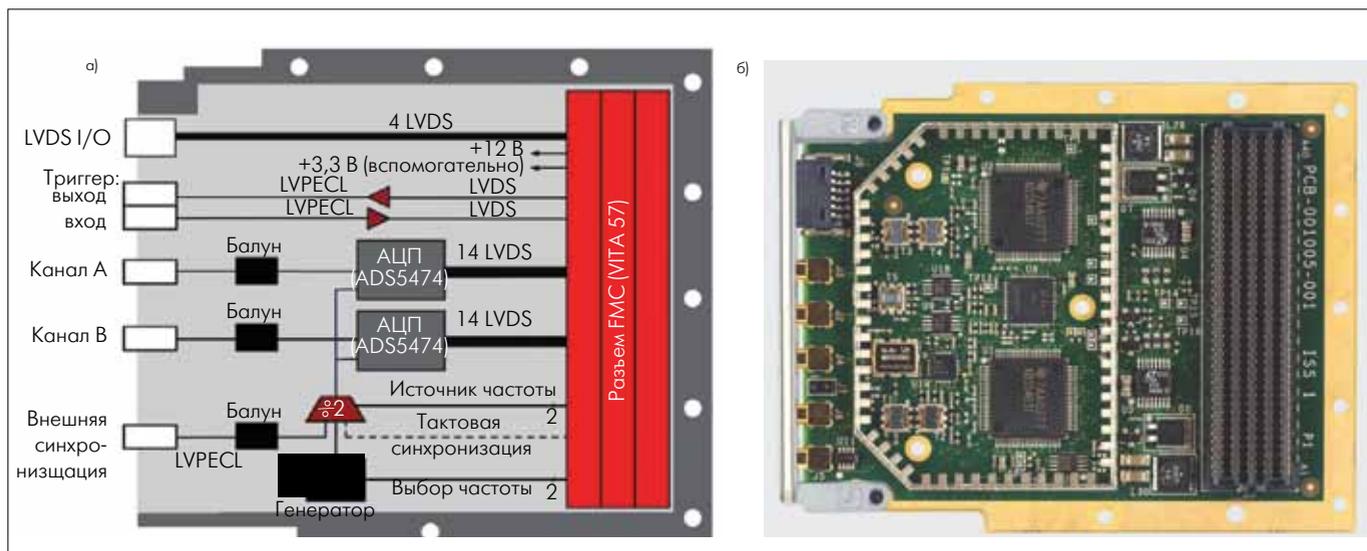
Аналогичный процессорный модуль VX3020 (рис.3) формата 3U, являющийся более ранней разработкой фирмы Kontron, оснащен менее производительным процессором Intel Core 2 Duo LV (L7400) с тактовой частотой 1,5 ГГц и частотой системной шины FSB 667 МГц [4]. Ограниченным является и максимальный объем оперативной памяти, равный 2 Гбайт. Однако наиболее существенным недостатком следует считать наличие для связи с кросс-платой лишь четырех линий PCIe первого поколения, что существенно ограничивает вычислительные возможности многоканальной системы обработки, которая может быть создана на его основе. Как преимущество следует отметить низкое энергопотребление модуля – всего 17 Вт, что облегчает требования к кондуктивной системе отвода тепла.

Недостаточной пропускной способностью шинного интерфейса (только четыре линии PCIe Rev 1.1) обладает процессорный модуль VPX3-1252 известной фирмы Curtiss-Wright Controls Embedded Computing. Это обстоятельство сводит на нет достоинства остальных его характеристик: высокая тактовая частота процессора (2,26 ГГц), частота системной шины FSB1066 МГц и др.

Типовой модуль ввода-вывода спецификации FMC ADC511 (рис.4) производства фирмы Curtiss-Wright реализован на двух микросхемах одноканальных 14-разрядных АЦП ADS5474 фирмы Texas Instruments, обеспечивающих аналого-цифровое преобразование сигналов с частотой дискретизации до 400 МГц при полосе пропускания аналоговых входов более 1,2 ГГц [5].

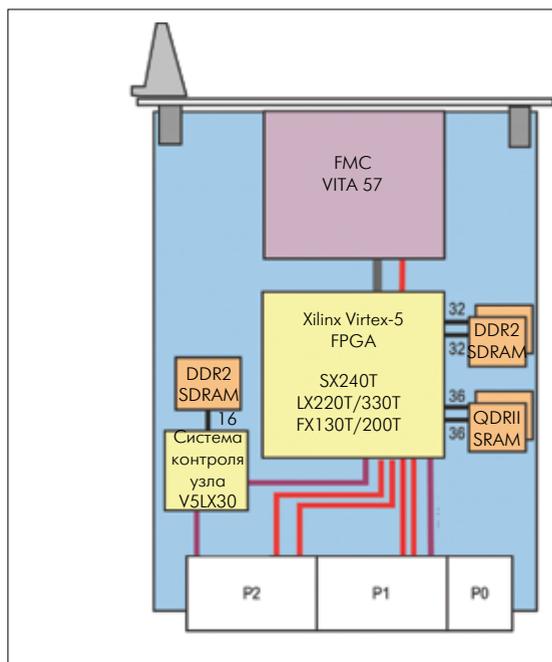
Аналогичный модуль АЦП ADC510 [6] основан на двух одноканальных 12-разрядных АЦП с частотой дискретизации до 500 МГц и полосой входных сигналов до 1,5 ГГц.

Следует отметить, что рынок устройств ввода-вывода на базе FMC-модулей только начинает развиваться. Однако данные решения выгодно отличаются от альтернативных ХМС-плат меньшим уровнем шумов, сопровождающих процесс аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования сигналов, что делает технологию FMC предпочтительным решением.



**Рис.4. Функциональная схема (а) и внешний вид (б) мезонинного модуля FMC ADC511 фирмы Curtiss-Wright Controls Embedded Computing [5].**

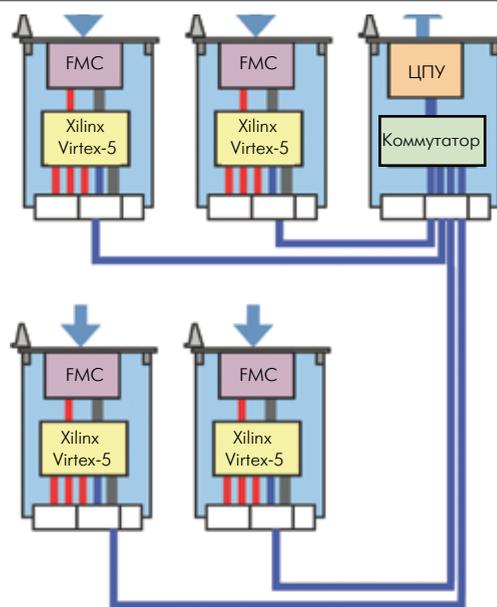
В качестве несущих плат для установки FMC-модулей в формате 3U могут использоваться, например, платы FPE320 фирмы Curtiss-Wright [7], содержащие FPGA фирмы Xilinx Virtex 5, динамическое ОЗУ SDRAM DDR2 и статическое ОЗУ QDR II SRAM (рис.5). Для обмена данными с хост-процессорным модулем на разъем P1 в FPE320 сдано восемь линий PCIe, а для обеспечения межплатного обмена устройств ввода-вывода – восемь линий Rocket I/O (разъем P2). На рис.6 показан вариант построения на основе FPE320 цифрового сегмента радиотехнической системы с использованием интерфейсов PCIe, при этом часть модулей FPE320 обслуживает передачу сигналов, а часть – прием. Опрос устройств ввода-вывода производится хост-процессором последовательно с помощью встроенного сетевого коммутатора.



**Рис.5. Структурная схема FPE320 [7]**

### РЕШЕНИЯ ФОРМАТА 6U

В классе решений формата 6U компания Curtiss-Wright выпускает OpenVPX-модуль встраиваемого компьютера VPX6-1952 (рис.7). Он оснащен процессором Intel Core2 Duo (T9400) с частотой 2,5 ГГц, выполненным по технологии 45 нм [8]. Рассеиваемая мощность платы с кондуктивным охлаждением при температуре 85°C составляет около 58 Вт. Частота системной шины FSB равна 1067 МГц, максимальный объем используемого ОЗУ ограничен 8 Гб DDR3 SDRAM. Следует отметить, что на интерфейсный разъем выделено восемь линий PCIe, которые могут использоваться для формирования канала из 16 линий PCIe только в режиме передачи графических данных. Несмотря на увеличенные габариты, модуль 6U, как и рассмотренные ранее 3U-решения, выдерживает удары с ускорением 40g длительностью



**Рис.6. Вариант структурной схемы бортового комплекса связи БПЛА**

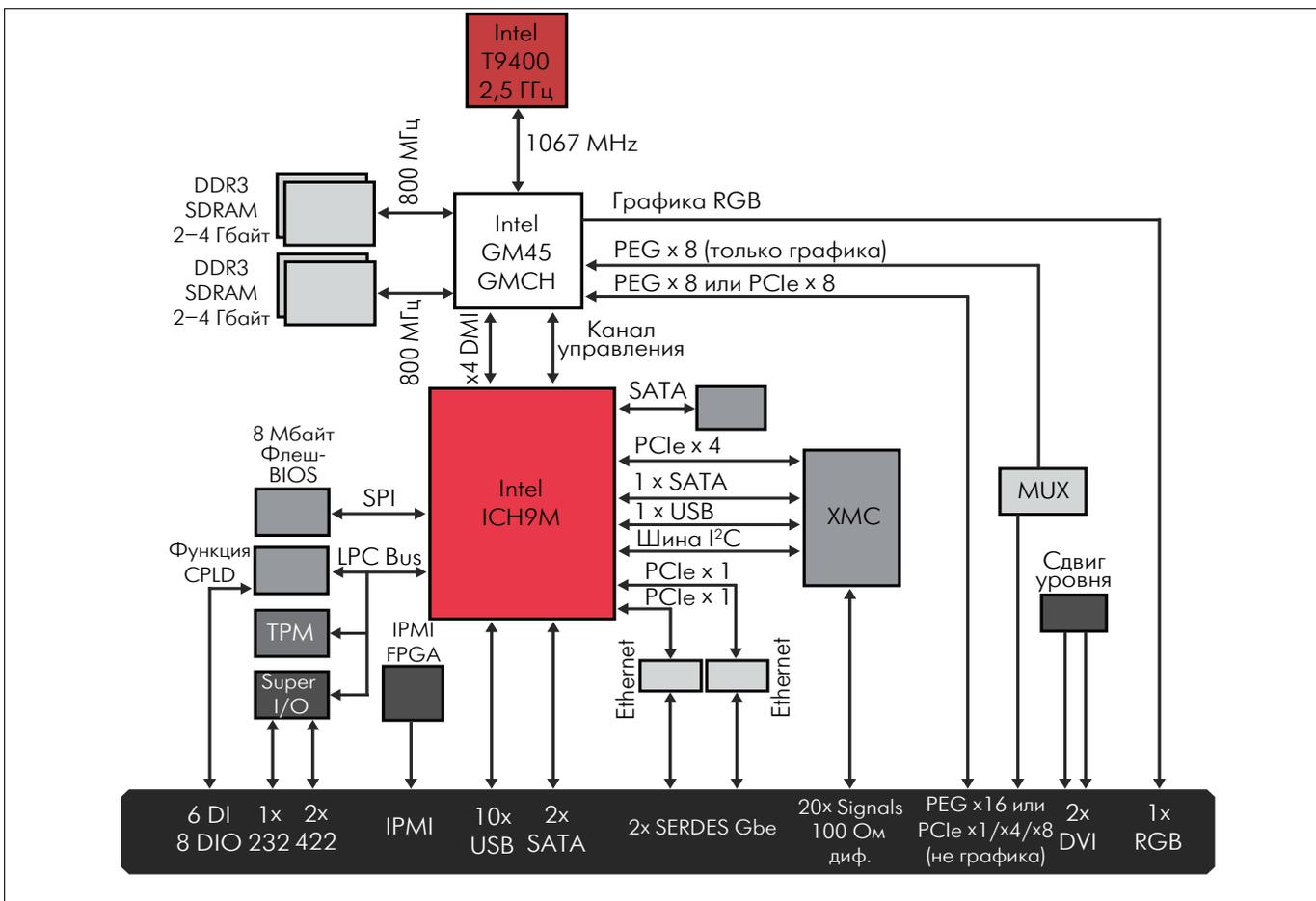


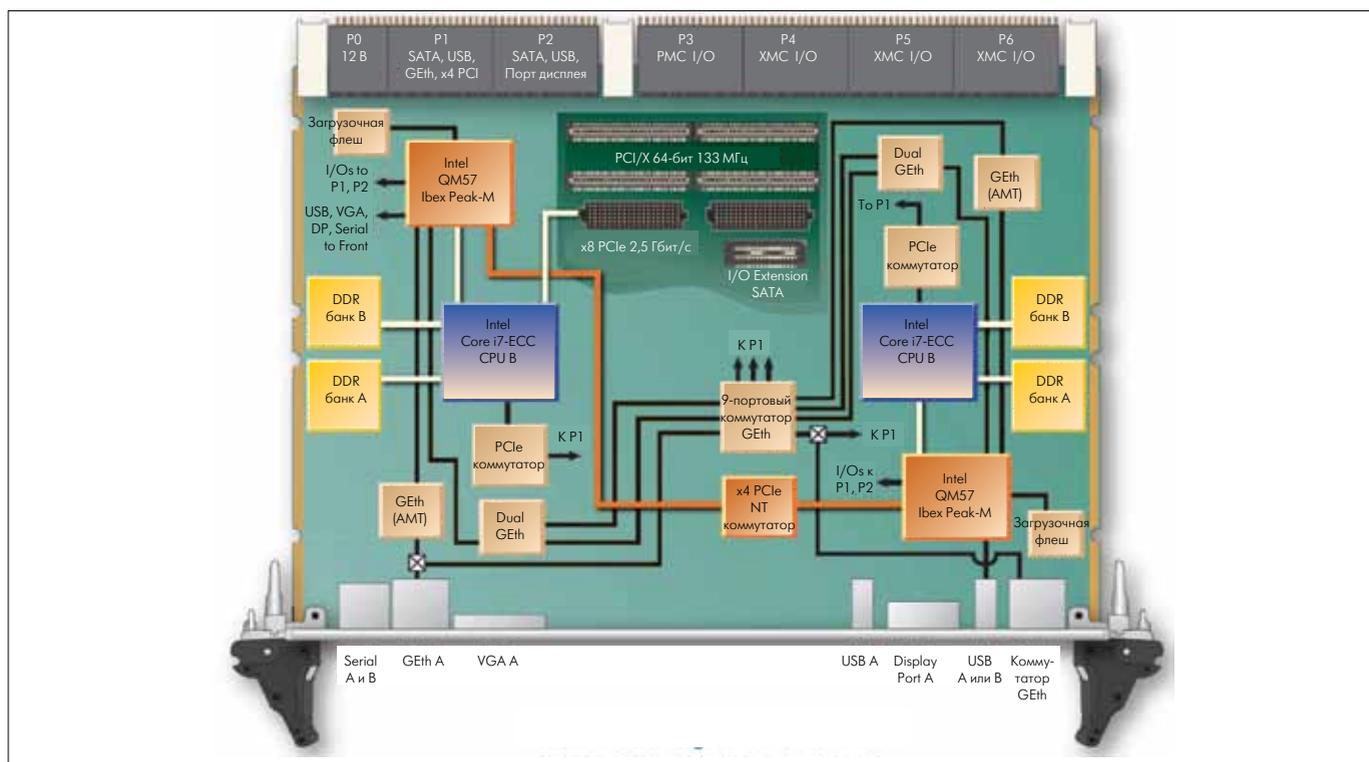
Рис.7. Структурная схема VPX6-1952 [8]

11 мс, синусоидальную вибрацию с пиковым ускорением 10g и частотой 15 Гц–2 кГц, что позволяет использовать его на борту колесных шасси.



Рис.8. Модуль VX6060 фирмы Kontron [10]

Сравнение 6U-модуля VPX6-1952 с его 3U-аналогом VPX3-1252 [9] и другими 3U-модулями свидетельствует об увеличении пропускной способности интерфейса обмена данными с кросс-платой (восемь линий PCIe вместо четырех). Другая тенденция заключается в постепенной миграции микропроцессоров, используемых в настольных компьютерных системах, во встраиваемые промышленные и военные приложения. Например, в начале 2010 года фирма Kontron первой в мире приступила к серийному выпуску 6U-модулей стандарта OpenVPX с кондуктивным охлаждением VX6060, оснащенных двумя процессорами Intel Core i7 (рис.8,9) [10]. Примененные в VX6060 двухъядерные процессоры имеют тактовую частоту 2 или 2,53 ГГц и обеспечивают выполнение каждым из ядер до восьми независимых операций с плавающей запятой за один такт при 64-битном представлении данных, что очень важно, к примеру, для программной реализации операции быстрого преобразования Фурье (БПФ). По количеству и типу используемых процессоров модуль VX6060 стал флагманом в своем классе. Он рассчитан на установку до 8 Гб ОЗУ DDR3 1066 МГц, XMC-модуля расширения с интерфейсом восемь линий PCIe. К его недостаткам можно отнести повышенную рассеиваемую мощность (100–145 Вт,



**Рис.9. Блок-схема модуля VX6060 фирмы Kontron [10]**

в зависимости от конфигурации), а также использование для обмена с кросс-платой (разъем P1, рис.9) двух каналов по четыре линии или одного канала из восьми линий PCIe первого поколения, что ограничивает возможности по скоростному обмену данными с периферийными платами ввода-вывода.

Об аналогичных планах по использованию Intel Core i7 на второе полугодие 2010 года заявила и фирма GE Intelligent Platforms. Данный тренд отражает неизбежный рост производительности одноплатных компьютеров стандарта VITA65, который будет лишь способствовать внедрению рассмотренного здесь подхода.

Возросшие показатели вычислительной мощности демонстрируют в форм-факторе 6U и устройства ввода-вывода. Примером тому является модуль FPE-650 фирмы Curtiss-Wright Controls Embedded Computing [11]. Он реализован на четырех микросхемах FPGA Virtex-5 фирмы Xilinx и обеспечивает установку двух мезонинов FMC (рис.10). Принцип построения многоплатной системы ввода-вывода сигналов на его основе проиллюстрирован на рис.11.

Следует отметить, что форм-фактор 6U в стандарте VITA-65 предоставляет большие возможности по построению коммутируемых сетевых конфигураций.

В заключение можно сделать вывод о том, что проведенная систематизация доступных на рынке ВКС стандартов VITA 65 и VITA 57 свидетельствует о возможности эффективной ре-

ализации на их основе цифрового сегмента радиотехнических систем. Реализация оборудования в рамках стандартов на встраиваемые компьютерные системы VITA 65 и мезонинные устройства ввода-вывода FMC (VITA 57) позволяет соблюсти требования, предъявляемые к бортовым и наземным радиотехническим комплексам по виброударопрочности и стойкости к воздействию климатических факторов. Анализ представленных на рынке технических решений в стандарте OpenVPX позволил отобрать наиболее производительные из них, как по количеству линий PCIe в интерфейсных каналах связи, так и по использованному в них поколению данного интерфейса.



**Рис.10. Модуль FPE-650 [11]**

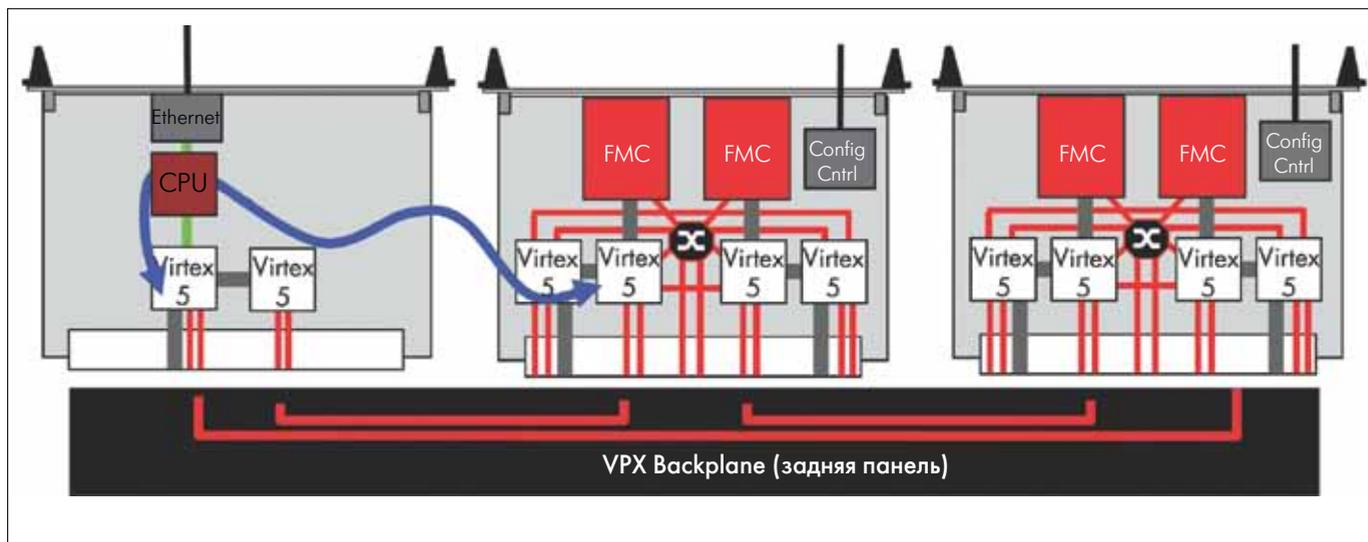


Рис. 11. Вариант построения многоплатной системы ввода-вывода на модулях FPE-650 [11]

### ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянов. А. От стандарта VME к VPX: новые возможности для специальных применений. — ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2008, № 2, с.82.
2. Cooper R. OpenVPX: Architectures for High-Performance Embedded Computing. Thirteenth Annual Workshop on High Performance Embedded Computing (HPEC2009). — Massachusetts Institute of Technology, Lincoln Laboratory, 22–24 September, 2009, [http://www.ll.mit.edu/HPEC/agendas/proc09/Day1/F2\\_1600\\_Cooper\\_presentation.pdf](http://www.ll.mit.edu/HPEC/agendas/proc09/Day1/F2_1600_Cooper_presentation.pdf).
3. TR 501/36x. Intel Core 2 Duo Processor Single Board Computer. — [http://www.gocct.com/sheets/TR/datasheet/tr50136x\\_0110.pdf](http://www.gocct.com/sheets/TR/datasheet/tr50136x_0110.pdf).
4. VX3020. High Performance 3U VPX Rugged PC. — <http://emea.kontron.com/products/boards+and+mezzanines/vpx/vx3020.html>.
5. ADC511 Dual Channel 400MSPS 14-bit Analog Input FMC. Data Sheet.— <http://www.cwcembedded.com/documents/contentdocuments/ADC510-datasheet.pdf>.

6. ADC510 Dual Channel 500MSPS Analog Input FMC. Data Sheet. — <http://www.cwcembedded.com/documents/contentdocuments/ADC510-datasheet.pdf>.
7. FPE320 Xilinx Virtex-5 3U VPX Processor with FMC Site. Data Sheet. — <http://www.cwcembedded.com/documents/contentdocuments/FPE320-datasheet.pdf>.
8. VPX6-1952 VPX Intel Core 2 Duo T9400 Single Board Computer. Data Sheet.— <http://www.cwcembedded.com/documents/contentdocuments/VPX6-1952-datasheet.pdf>.
9. VPX3-1252 VPX Intel Core 2 Duo SP9300 Single Board Computer. Data Sheet. — <http://www.cwcembedded.com/documents/contentdocuments/VPX3-1252-datasheet.pdf>.
10. VX6060. 6U VPX Dual Intel Core i7 Computing Node. — <http://emea.kontron.com/products/boards+and+mezzanines/vpx/vx6060.html>.
11. FPE650 Quad Xilinx Virtex-5 6U Processor. Data Sheet. — <http://www.cwcembedded.com/documents/contentdocuments/FPE650-datasheet.pdf>.