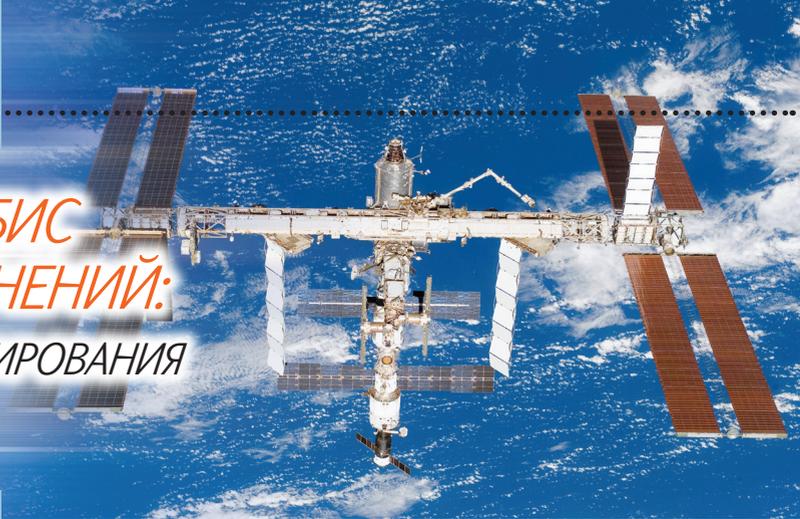


# СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СБИС ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ: ПЛАТФОРМЕННЫЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АППАРАТНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ



Платформенный метод разработки аппаратуры – это еще один модный, но малосодержательный лозунг? Или же практический инструмент, позволяющий существенно упростить и ускорить процессы создания аппаратуры и элементной базы? Авторы показывают, как на основе платформенного подхода можно реально создавать специализированные аппаратно-программные комплексы и элементную базу для них. Что существенно, рассказано об аппаратных средствах, обеспечивающих верификацию на промежуточных стадиях сложного проекта.

## ПЛАТФОРМЕННЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В предыдущей статье [1] был сформулирован подход к разработке и производству ЭКБ космического применения на отечественной технологической базе. Мы показали, что в ближайшей перспективе (до 2015 года) возможен переход на преимущественное использование отечественной элементной базы (ЭКБ) в аппаратуре служебных систем КА. Что касается аппаратуры целевых систем, то там еще долго доля ЭКБ зарубежного производства будет оставаться значительной. Причем зачастую индустриального уровня качества, в силу отсутствия ЭКБ космического уровня качества, обеспечивающей требуемые функциональные характеристики – быстродействие, логическую емкость, объем памяти и т.п. И разработчики аппаратуры следуют понимать эту ситуацию при формировании перечней и заявок, и на разработку ЭКБ.

Несмотря на то, что в России появляются первые субмикронные производства, необходимо отдавать себе отчет в том, что ряд технологий в России не будет еще относительно долго. Достаточно проанализировать текст ФЦП "Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 годы", чтобы увидеть – ближайшие 5–10 лет не следует ожидать технологии радиационно стойкой памяти большой емкости, флеш-памяти, технологий ГЛИС типа "antifuse" и т.п. Это означает, что при проектировании аппаратуры необходимо разумное сочетание отечественной и импортной ЭКБ, а при формировании номенклатуры при опытно-конструкторских работах (ОКР) следует учитывать текущие возможности и перспективы развития микроэлектронных производств.

Ю. Гулин, к.т.н., С. Заводсков, В. Стешенко, к.т.н.  
ОАО "Российские космические системы"  
А. Руткевич, НПП "Цифровые решения"  
steshenko@steshenko.ru

Сокращение сроков выхода продукции на рынок стало в последние годы не переменным условием работы даже в сфере космической электроники. Это предьявляет особые жесткие требования к методологии и средствам проектирования, которые должны обеспечить минимум итераций при создании нового продукта и его производственного освоения.

Одновременно значительно возрастает сложность процесса проектирования. При традиционном подходе хороший дизайнер работает со средней скоростью порядка 100 эквивалентных вентиляей в день или 30 строк RTL-кода [2]. Чтобы спроектировать СБИС сложностью 100 тыс. вентиляей, потребуется 1000 человеко-дней, т.е. команда из пяти человек сможет разработать такую СБИС за год. А на разработку сложной СБИС, порядка 10 млн. вентиляей, в течение одного года потребует команда из 500 человек, что зачастую неприемлемо с точки зрения стоимости разработки.

В последнее время сложилась тенденция постоянного роста доли затрат на разработку программного обеспечения (ПО) РЭА. Если вести разработку ПО и СБИС отдельно, то увеличивается вероятность выявления ошибок на этапах тестирования или эксплуатации всего комплекса аппаратуры.

Можно выделить дополнительные ряд причин, по которым необходимо переходить на новую методологию проектирования:

- в условиях рынка при приближении значительной степени зависимости от времени проектирования;
- такие технические параметры СБИС, как производительность, площадь кристалла и потребляемая мощность являются ключевыми факторами в продвижении товара на рынок;
- увеличение степени интеграции делает задачу верификации качественно более сложной;
- из-за новых особенностей и глубокосубмикронных технологий все труднее удовлетворить все требования при временных ограничениях (timing);
- команды разработчиков высокоинтегрированных СБИС имеют различный уровень знаний и опыта в области проектиро-



вания, и часто при выполнении проектов СБИС расположены в различных частях мира.

Выход из создавшейся ситуации очевиден – необходимо изменить методологию проектирования СБИС. Наиболее перспективным направлением сегодня представляется методология проектирования СБИС типа "система на кристалле" (СНК) с использованием платформенного принципа организации.

В современной российской электронике нет четкого определения понятия "аппаратная платформа". В общем случае, в платформах СБИС типа "система на кристалле" должны содержаться, как минимум, процессорное ядро, контроллер памяти, универсальный асинхронный приемопередатчик, таймер, схема обеспечения безопасности, универсальные средства ввода/вывода с открытой шинной архитектурой для связывания всех элементов между собой, например, на базе шины AMBA или Wishbone

Платформенный подход к проектированию означает применение единой среды проектирования "комплекс-аппаратура-компоненты" на основе перспективных микроэлектронных технологий. Он предполагает систематическое повторное использование стандартных высокоинтегрированных сертифицированных СФ-блоков. В результате достигается высокая степень унификации проектных решений и нормативной базы, а также возможность контроля качества на любом этапе разработки, производства и эксплуатации.

Основными преимуществами такого подхода являются:

- значительное сокращение сроков и стоимости разработки сложных систем при сохранении высокой функциональности;
- гибкость при решении нестандартных задач за счет возможности наращивания физических интерфейсов и программного обеспечения;
- улучшение массогабаритных характеристик аппаратуры, построенной на базе СБИС аппаратных платформ;
- аппаратная верификация алгоритмов на всех стадиях разработки проекта.

Предлагаемая методика проектирования предусматривает инвариантность технологически библиотекам элементов конкретных производителей ЭКБ, обеспечивая возможность миграции проекта.

### СРЕДСТВА АППАРАТНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ

Одной из основных задач при платформенном подходе к проектированию СНК становится совместная верификация программного и аппаратного обеспечения, а также отработка функционирования СНК в составе прибора, комплекса. Для этих целей применяются специализированные аппаратные решения – платформы для верификации.

На мировом рынке аппаратных платформ для верификации уже намечилось несколько лидеров. Одной из первых разработок является персональный эмулятор ZeBu-ZV компании EVE (рис. 1). Архитектура ZeBu-ZV позволяет исполь-



Рис. 1. Персональный эмулятор ZeBu-ZV компании EVE

зовать эту платформу как разработчиками аппаратуры, так и разработчиками ПО.

Эмулятор обладает логической емкостью до 1,5 млн. эквивалентных вентилях, системной памятью объемом 128 Мбит и тактовой частотой до 12 МГц. Данная модель идеальна для верификации отдельных логических блоков, СФ-блоков, небольших проектов, реализуемых в FPGA или ASIC. Эмулятор реализован в виде стандартной РСI-платы, вставляемой непосредственно в настольный ПК, с возможностью интеграции с популярными логическими симуляторами средствами синтеза. Интерфейс внутри схемной эмуляции СЕРод позволяет подключить эмулятор к целевой системе или СФ-ядру с использованием 744 портов ввода/вывода. Эмулятор можно сопрягать с популярными программными отладчиками через 16-контактный интерфейс SmartICE или виртуальный JTAG-транзактор.

Для аппаратной верификации систем на базе процессорного ядра LEON (синтез абельное 32-разрядное процессорное RISC-ядро архитектурой SPARC V8 компании Aeroflex Gaisler) существуют аппаратные платформы компаний Surrey Space Centre и Astrium SAS (рис. 2)

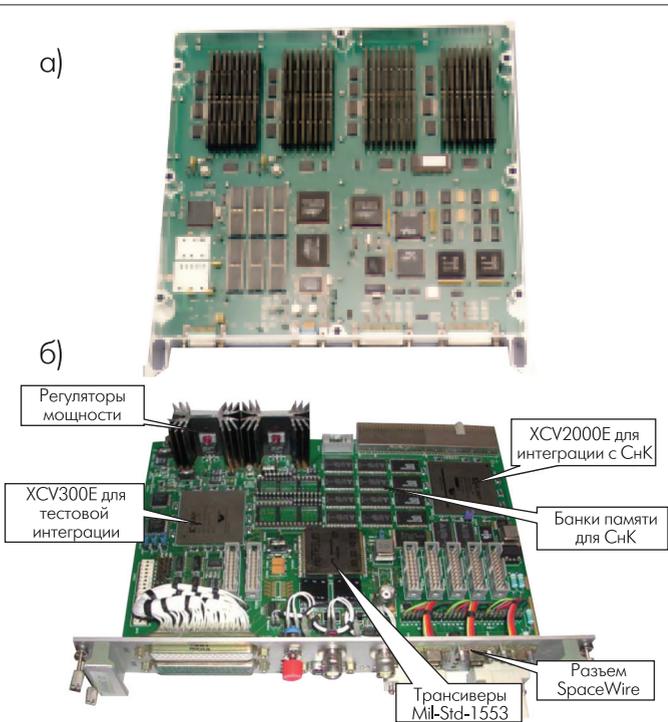


Рис. 2. Аппаратные платформы компаний Surrey Space Centre (а) и Astrium SAS (б) для аппаратной верификации систем на базе процессора LEON

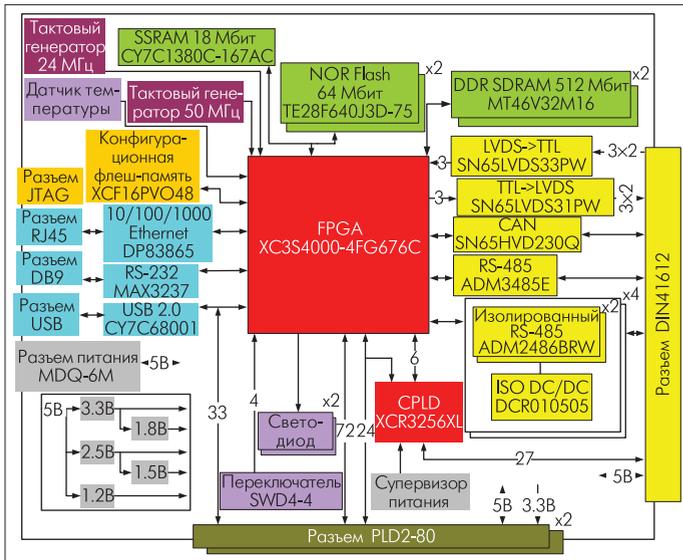


Рис. 3. Структурная схема аппаратной платформы "DS-E-4000"



Рис. 4. Конструкция аппаратной платформы "DS-E-4000"

Начинает формироваться и отечественный сегмент средств аппаратной верификации. В частности, для полной верификации и прототипирования СБИС и аппаратной верификации СФ-блоков компания ИГТТ "Цифровые решения" производит аппаратную платформу "DS-E-4000" (рис. 3, 4).

Для программно-аппаратной верификации СБИС и СФ-блоков РЭА высокоскоростной обработки и передачи потоков данных в Отраслевом центре проектирования СБИС при ОАО "Российские космические системы" разработан специализированный унифицированный электронный модуль (УЭМ). В его состав входят (рис. 5) четыре электронных узла сбора и обработки данных (УЭСОД), вторичный источник питания (ВИП) и электронный узел коммутации (УЭК). УЭСОД связаны между собой шиной LVDS, а также шинами MIL-STD-1553 и CAN, имеющими один основной и один резервный каналы. Внешние устройства подключаются к УЭМ по шинам MIL-STD-1553, CAN и по одному из трех возможных интерфейсов: LVDS, RS-485 и дискретные порты ввода/вывода общего назначения (DIO) (в зависимости от выбранной конфигурации). Питание на УЭСОД подается с ВИП через УЭК.

УЭСОД исполнен по типу размеру 6U (233,35×160 мм) стандарта МЭК 60297 (Евромеханика 19) (рис. 6, 7). Он непосредственно обеспечивает программно-аппаратную верификацию

СБИС и СФ-блоков, а также обработки и передачу потоков данных. УЭСОД поддерживает ряд наиболее популярных интерфейсов, включая видеовыход в формате DVI Single Link (см. табл.).

Применение аппаратных средств верификации позволяет сократить число итераций при проектировании СБИС, что особенно важно при работе в режиме заказного производства.

### ПЛАТФОРМЕННЫЙ МЕТОД ПРИ СОЗДАНИИ СБИС

С использованием платформенного принципа проектирования в Отраслевом центре проектирования специализированных СБИС ОАО "Российские космические системы" разработан ряд СФ-блоков, в частности — процессорные ядра, АЦП, контроллеры памяти, интерфейсов и видеоконтроллеры. В качестве примера СНГ, разработанной в Центре на основе платформенных принципов, рассмотрим СБИС контроллера наземной и бортовой аппаратуры проектного минораммио, 18 мкм (рис. 8). Сейчас опытные образцы этой СБИС проходят испытания.

СБИС содержит набор СФ-блоков:

- 32-разрядное процессорное ядро с архитектурой SPARC V8;
- модуль отладки;
- контроллеры интерфейсов: MIL-STD-1553, CAN, USB 2.0, Ethernet (MAC-уровень); UART (с функцией отладки);
- SVGA-видеоконтроллер;
- контроллер памяти;
- контроллер шины AMBA, мост AMBA — AHB/APB;
- таймеры, контроллер прерываний, контроллер портов общего назначения;
- цифровой блок сигма-дельта АЦП;
- системный контроллер.

СФ-блоки взаимодействуют через шину AMBA.

На базе разработанной базовой СБИС контроллера планируется создать модельный ряд специализированных СБИС для применения в унифицированных узлах служебной аппа-

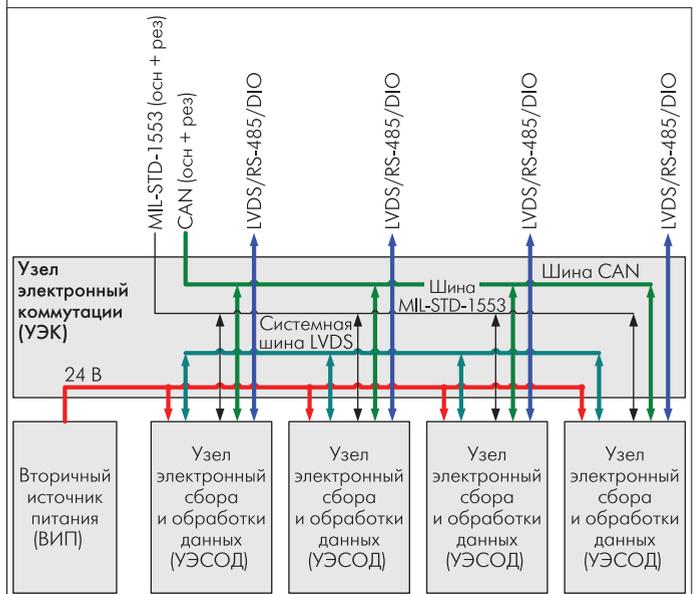


Рис. 5. Структурная схема УЭМ

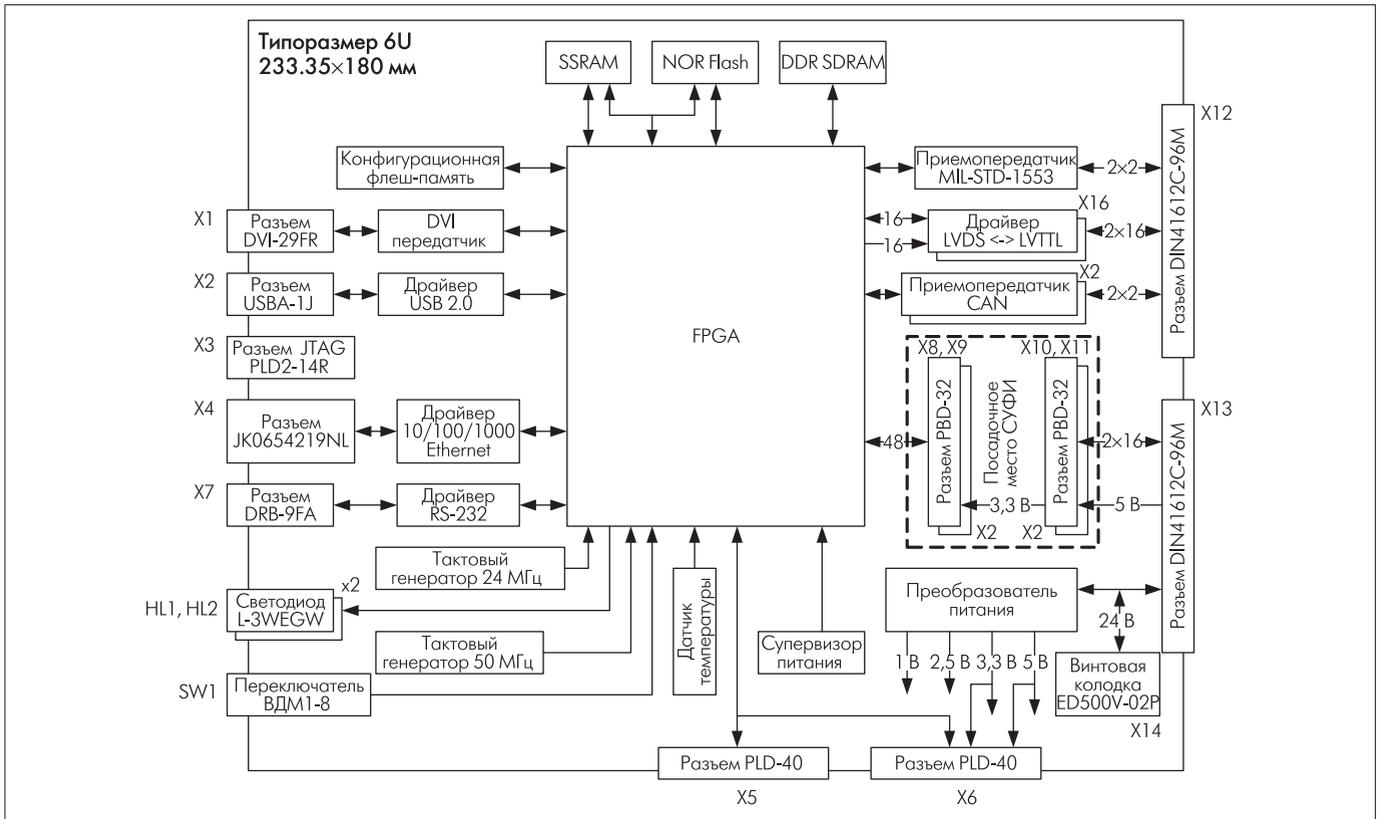


Рис. 6. Структурная схема УЭСОД

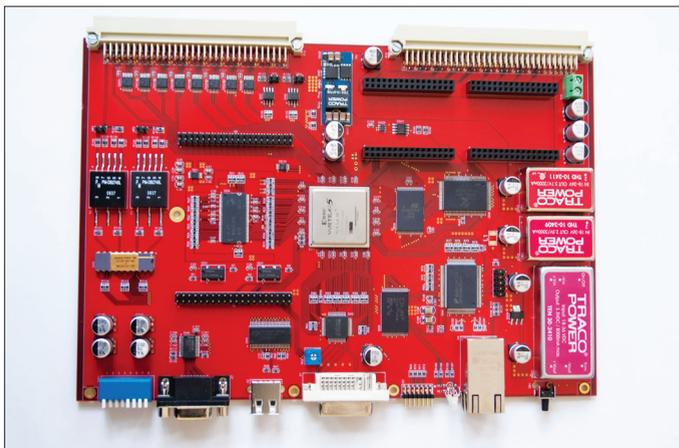


Рис. 7. Конструкция УЭСОД

Интерфейсы УЭСОД

Физический интерфейс	Число физических драйверов
MIL-STD-1553 основной	1
MIL-STD-1553 резервный	1
CAN основной	2
CAN резервный	2
LVDS двунаправленный	16
USB 2.0	1
Ethernet	1
DVI	1
RS-232	1

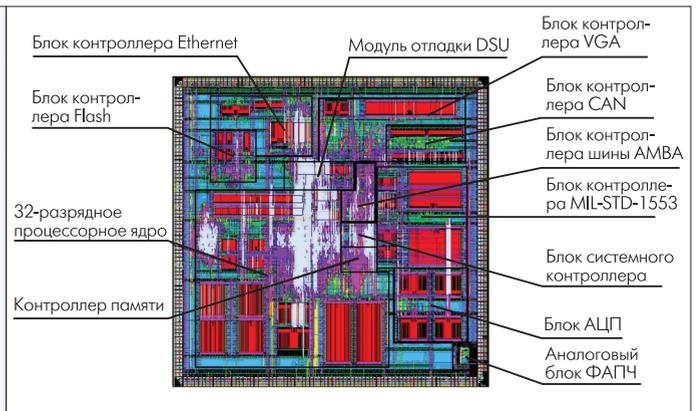


Рис. 8. СБИС типа СЖК контроллера наземной бортовой аппаратуры

ратуры КА. При этом планируется использование отработанных технологических решений в виде протестированных в кремнии СФ-блоков и отработанного встроенного ПО. Подобные решения позволяют заместить СБИС импортного производства, упростить весь цикл производства за счет сокращения номенклатуры применяемых компонентов, повысить надежность и срок службы приборов и систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бумагин А. и др. Специализированные СБИС для космических применений: проблемы разработки и производства. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2010, №1, с.50–56.
2. Бухтеев А.В. Методы и средства проектирования систем на кристалле. – Chip news, 2003, №4, с. 4–14.