ПЛАТФОРМЕННЫЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС И ПЛИС. Часть 1

МИХАИЛ БАДИН, руководитель проекта, НПП «Цифровые решения»
ДМИТРИЙ ВОРОНКОВ, руководитель проекта, НПП «Цифровые решения»
АЛЕКСАНДР РУТКЕВИЧ, исполнительный директор, НПП «Цифровые решения»
МАКСИМ СЕНЧЕНКО, инженер-исследователь, ФГУП «РНИИ КП»
ВЛАДИМИР СТЕШЕНКО, к.т.н., начальник отдела разработки СБИС, ФГУП «РНИИ КП»
ГРИГОРИЙ ШИШКИН, главный конструктор, НПП «Цифровые решения»

В первой части статьи проанализированы тенденции в развитии методов проектирования СБИС с учетом современных тенденций развития как массовой, так и специальной электроники с использованием передовых методов и подходов, в том числе и технологий аппаратных платформ для функциональной верификации СБИС. Рассмотрены особенности процесса проектирования с учетом рыночных механизмов.

Не секрет, что полупроводниковая промышленность занимает в мировой экономике уникальное положение: она развивается по детально разработанному плану, который, однако, не только не препятствует конкурентоспособности участников, но даже способствует ей. Этот план известен как International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) и представляет собой план-прогноз, ежегодно обновляемый и публикуемый международной организацией Semiconductor Industry Association (SIA).

В основе ITRS лежат несколько простых принципов, в том числе знаменитый закон Мура об удвоении числа элементов СБИС каждые 1,5—2 года. Закон Мура не отражает никаких фундаментальных законов природы, а лишь описывает ситуацию, складывающуюся на рынке в результате конкуренции между производителями, а также вследствие взаимного стимулирования радиоэлектронной и полупроводниковой отраслей. Играет роль и психологический фактор. Разработчики и производители придерживаются прогнозных сроков закона Мура и ITRS потому, что знают: конкуренты действуют так же. Более того, стремление обогнать конкурентов часто приводит к тому, что разработчики и производители выводят на рынок новое изделие раньше, чем это предусмотрено ITRS. В результате в наши дни закон Мура, строго говоря, должен формулироваться иначе, поскольку из экспоненциального он превратился в суперэкспоненциальный.

Главное же значение ITRS в том, что этот план — не только прогноз динамики параметров, но и содержит точные указания относительно того, какими конструкторскими и технологическими средствами новые параметры могут быть достигнуты, когда и какие технические средства должны быть разработаны и освоены производством. Таким образом, ITRS является руководством к действию для разработчиков не только приборов, но и техпроцессов и технологического оборудования.

Фундаментальным понятием ITRS является масштабирование (scaling) — пропорциональное уменьшение всех геометрических размеров ИС в каждом новом поколении, что позволяет повысить их рабочие и тактовые частоты, сократить потребление и т.д. Каждому узлу сетевого графика ITRS соответствует очередное поколение ИС, характеризуемое некоторым линейным параметром, который в ITRS именуется просто «узлом». За величину характеристического размера (ХР) данного поколения ИС обычно принимают половину шага между сигнальными дорожками в схемах памяти; для микропроцессоров ХР определяется как половина шага между поликремниевыми затворами МОП-транзисторов.

С переходом к «узлам» с проектными нормами менее 130 нм в конструировании ИС возникли принципиально новые проблемы. Помимо проблем технологического свойства, связанных с тем, что традиционная конструкция МОП-транзистора перестает работать из-за паразитных эффектов, возникли проблемы, связанные с программно-аппаратным и методологическим обеспечением проектирования. Дело в том, что с уменьшением проектных норм ИС возрастает стоимость подготовки производства и, соответственно, цена риска технической и идеологической ошибок.

Так, в настоящее время подготовка производства (изготовление фотошаблонов) и выпуск опытной партии из 10—12 пластин (так называемый «инженерный лот») на фабриках Юго-Восточной Азии (X-fab Sarawak, Siltera и т.п.) для технологии 0,18 мкм стоит около 120 тыс. долл., для 0,13 мкм — 350 тыс. долл., а для 0,09 мкм — 1 млн долл. [1].

Очевидно, что при такой динамике цена ошибки возрастает многократно. Тенденция уменьшения проектных норм в первую очередь связана со стремлением получить как можно больше кристаллов с одной пластины, поскольку стоимость пластины составляет 800—1800 долл., при этом с уменьшением размера кристалла вдвое выход увеличивается в четыре раза. Кроме того, выход годных кристаллов не зависит от их размера, но на каждой пластине их получается больше, а значит, они становятся дешевле. Таким образом, разработчик массовой аппаратуры оказывается под дамокловым мечом ответственности за принимаемые проектные решения.

Не легче ситуация в высокотехнологичном, но малосерийном секторе аппаратуры для космической и военной техники. Для этого сегмента рынка характерны:

– широкая функциональная номенклатура — около 1500 типов (по данным ESCIES (www.escies.org) — координационного центра Европейского косми-

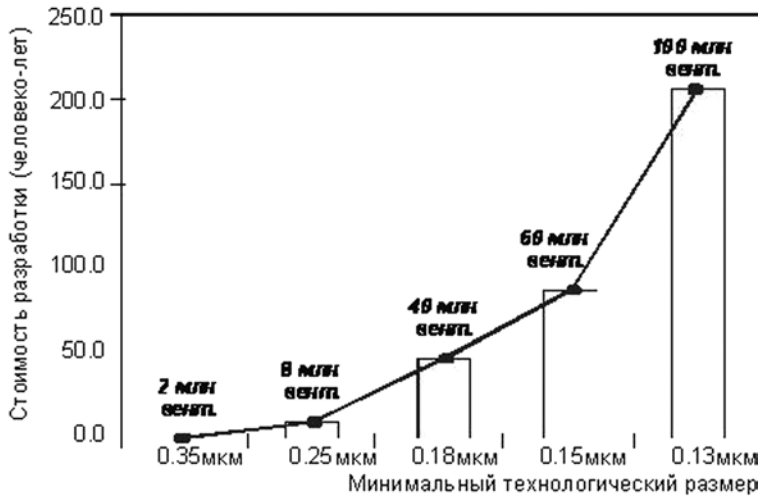


Рис. 1. **Зависимость стоимости разработки СБИС от технологии** (по материалам Cadence Design Systems)

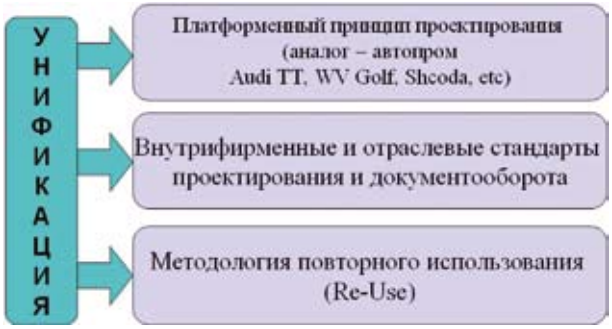


Рис. 2. **Платформенный принцип проектирования СБИС и аппаратуры**

ческого агентства по применению электронных компонентов для космических программ);

– крайне малая серийность (не более 15—100 тыс. шт.), не характерная для магистрального направления развития электронной промышленности;

– высокие требования к надежности (безотказность, ресурс, сохраняемость);

– стойкость к воздействию ионизирующих излучений космического пространства и других факторов;

– расширенный температурный диапазон;

– необходимость обеспечения длительных сроков безотказной работы (15 лет и более).

Как для массовой, так и для специальной электроники тенденцией последних лет стало сокращение срока выхода продукции на рынок. Это накладывает особенно жесткие требования на методологию и средства проектирования, которые должны обеспечить минимум итераций при освоении производства.

Значительно возрастает сложность процесса проектирования [2]. При использовании традиционных методов проектирования хороший разработчик может выполнять проект со средней скоростью 100 вентилей в день или 30 строк RTL-кода. В этом случае, чтобы спроектировать СБИС сложностью 100 тыс. вентилей, потребуется 1000 человеко-дней, т.е. команда из пяти человек сможет разработать такую СБИС в течение года. Следуя данной логике, чтобы разработать сложную СБИС порядка 10 млн вентилей в течение одного года, потребуется команда из 500 человек, что неприемлемо с точки зрения стоимости разработки.

По более точным прогнозам (см. рис. 1), если при переходе на глубокие субмикронные технологии (0,18… …0,13 мкм) пользоваться существующей методологией проектирования, то стоимость проекта увеличивается до 250 человеко-лет, что неприемлемо для заказчика.

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

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

– в условиях рынка прибыль в значительной степени зависит от сроков проектирования;

– такие технические параметры СБИС, как производительность, площадь кристалла и потребляемая мощность, являются ключевыми в продвижении товара на рынок;

– увеличение степени интеграции делает задачу верификации качественно более сложной;

– из-за новых особенностей глубокой субмикронной технологии (DSM — Deep Submicron) все труднее удовлетворить требованиям по временным ограничениям (timing);

– команды разработчиков высокоинтегрированных СБИС имеют различный уровень знаний и опыта в области проектирования и часто при выполнении проектов СБИС расположены в различных частях мира.

Выход из создавшейся ситуации очевиден — необходимо изменить методологию проектирования СБИС. Наиболее перспективным направлением в настоящий момент представляется методология проектирования СБИС типа «система на кристалле» с использованием платформенного принципа организации.

Таким образом, становится очевидным общее место у двух, казалось бы противоречивых, направлений — необходимость единого методического и программно-аппаратного обеспечения процесса проектирования. Такой подход к разработке назовем *платформенным принципом проектирования* (см. рис. 2). Некоторые его элементы изложены в [3—8].

Как обычно, в современной российской электронике нет четкого определения слову «платформа». В общем случае, в платформах СБИС класса «система на кристалле» (СнК) должны содержаться, как минимум, процессорное ядро, контроллер памяти, универсальный асинхронный приемопередатчик, таймер, схема обеспечения безопасности и универсальные средства ввода/вывода с открытой шинной архитектурой для связывания всех элементов между собой, например на базе шины AMBA или Wishbone (см. рис. 3).

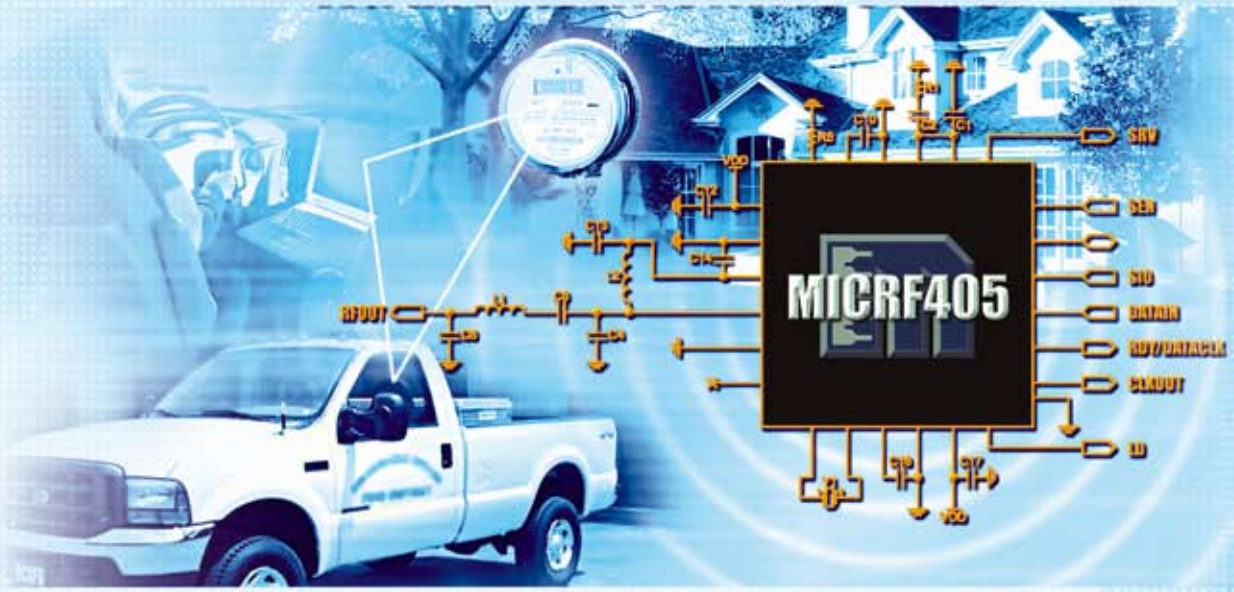
Платформенный подход к проектированию предполагает использование единой среды проектирования «комплекс–аппаратура–компоненты». Это технология создания систем и комплексов на основе перспективных микроэлектронных технологий с учетом специализации компонентов под решение конкретных целевых задач аппаратуры и комплексов.

MICREL®

приёмники
передатчики
трансиверы

электронные компоненты

РАДИОСВЯЗЬ до 1 км



RadioWire®

- микросхемы и модули
- скорость обмена до 200 кбит/с
- низкое энергопотребление 12 мА (Rx) / 21 мА (Tx)
- малые размеры
- минимум внешних компонентов

www.eltech.spb.ru

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР MICREL

ЭЛТЕХ
электронные компоненты

Санкт-Петербург ул.Победы, 11 тел.: (812) 327-90-90 факс: (812) 373-98-90 e-mail: micrel@eltech.spb.ru

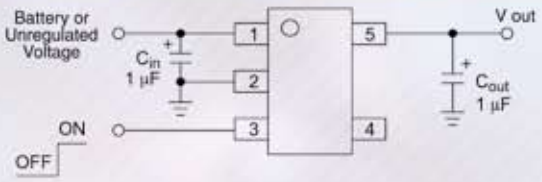
Москва	Новосибирск	Екатеринбург	Ростов-на-Дону	Ижевск	Минск
(495) 788-5948	(383) 212-5874	(343) 351-0094	(863) 220-3071	(3412) 600-660	(37517) 256-1860
(495) 788-5946	(383) 212-5875	(343) 257-7037	(863) 220-3072	(3412) 600-661	(37517) 256-1861
info@eltech.msk.ru	info@eltech.nsk.ru	info@eltech.ur.ru	info@eltech.rostov.ru	info@eltech.udm.ru	info@eltech.by

Новые линейные стабилизаторы напряжения с улучшенными характеристиками

ON Semiconductor®

NCP699

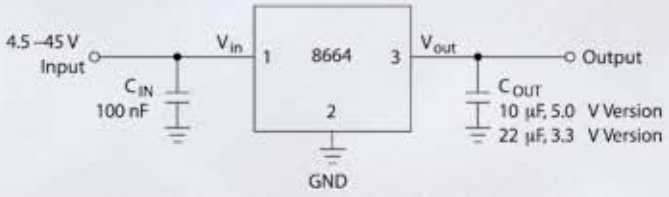
- PMOS выходной транзистор
- вых. напряжения: 1.5/1.8/2.5/2.8/3.0/3.3/5.0 V
- max рабочий ток 150 mA
- max потребляемый ток (Quiescent Current) 40 µA
- max падение напряжения 340mV
- защита по току и температуре
- диапазон рабочих температур от -40 до +85°C
- функция дистанционного выключения (Enable)



TSOP-5
(SOT23-5, SC59-5)
SN SUFFIX

NCV8664

- вых. напряжения: 3.3 или 5.0 V
- max рабочий ток 150 mA
- max потребляемый ток (Quiescent Current) 30 µA
- max падение напряжения 600mV
- входное напряжение от 4.5 до 45 V
- диапазон рабочих температур от -40 до +125°C

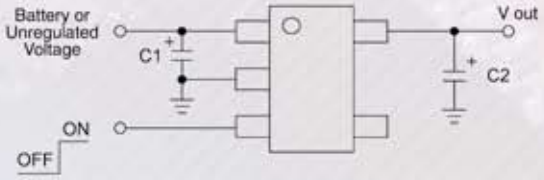


TSOP-5
(SOT23-5, SC59-5)
SN SUFFIX

DPAK
DT SUFFIX

NCP551/NCV551

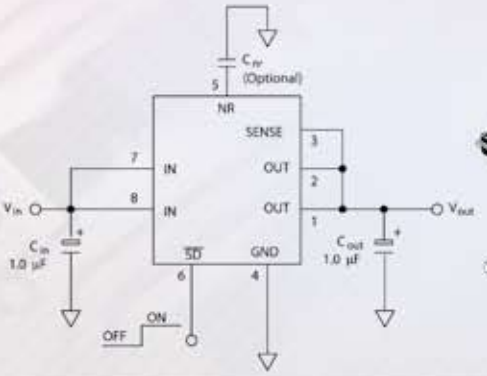
- PMOS выходной транзистор
- вых. напряжения: 1.5/1.8/2.5/2.7/2.8/2.9/3.0/3.1/3.2/3.3/5.0 V
- max рабочий ток 150 mA
- потребляемый ток (Quiescent Current) 4.0 µA !!!
- max падение напряжения 220mV
- защита по току и температуре
- диапазон рабочих температур от -40 до +85°C (NCP серия)
  от -40 до +125°C (NCV серия)
- функция дистанционного выключения (Enable)



TSOP-5
(SOT23-5, SC59-5)
SN SUFFIX

NCP3335A

- нестабильность вых. напряжения: 0.9%
- max рабочий ток 500 mA
- вых. напряжения: 1.2/1.8/2.5/2.8/2.85/3.0/3.3/5.0 V или ADJ
- низкий уровень шумов 31 µVrms
- max падение напряжения 220mV
- защита по току
- диапазон рабочих температур от -40 до +85°C



Micro8 ™
DM SUFFIX

DFN10
MN SUFFIX

техническая поддержка • сопровождение проектов

ОФИС В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ:
198099, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Калинина, д. 13 (м. Нарвская)
Тел.: +7 (812) 325-36-85
Факс: +7 (812) 786-85-79
E-mail: micro@mtgroup.ru

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО В МОСКВЕ:
Россия, Москва,
1-й Котляковский переулок, д.4
Тел./факс: +7 (495) 988-20-73
+7 (495) 988-20-74
E-mail: micro@mtgroup.ru

MT system
www.mt-system.ru

NXP HOLTEK RENESAS SAMSUNG Tyco Electronics CLARE Panasonic Futaba CD TECHNOLOGIES VARITRONIX OPTEK sim

Данная технология предусматривает применение методов систематического повторного использования стандартных высокоинтегрированных сертифицированных СФ-блоков и платформенного подхода к проектированию и производству аппаратуры. Она характеризуется высокой степенью унификации проектных решений, нормативной базой и возможностью 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 за счет использования методологии «систематического повторного использования» IP-блоков и унифицированных аппаратных платформ;

– гибкость при решении нестандартных задач за счет возможности наращивания физических интерфейсов и программного обеспечения;

– улучшение массогабаритных характеристик аппаратуры, построенной на базе СБИС;

– аппаратная верификация алгоритмов на всех стадиях разработки проекта.

Предлагаемая методика проектирования предусматривает инвариантность к используемым библиотекам, обеспечивая возможность миграции проекта.

Включение платформ СнК в методологию конструирования имеет несколько преимуществ. Уменьшается сложность интеграции; сокращается время на лицензирование и составление контракта, поскольку платформа ограничивается одной лицензией. И наконец, благодаря повторному использованию содержимого платформы в многочисленных последующих конструкциях значительно снижается стоимость разработки.

Важным преимуществом СнК-платформ является функциональная изоляция. Компоненты могут быть проверены изолированно. Сама платформа может быть также изолирована от компонентов и проверена независимо. Использование платформ помогает вводу конструкции в различные изделия ввиду встроенной гибкости. При этом требуется минимальный объем нового проектирования и меньший объем повторной верификации. Если конструкторский коллектив не имеет ресурсов, времени, кадров для разработки гибкой платформы, он может приобрести необходимый СФ-блок у сторонней фирмы.

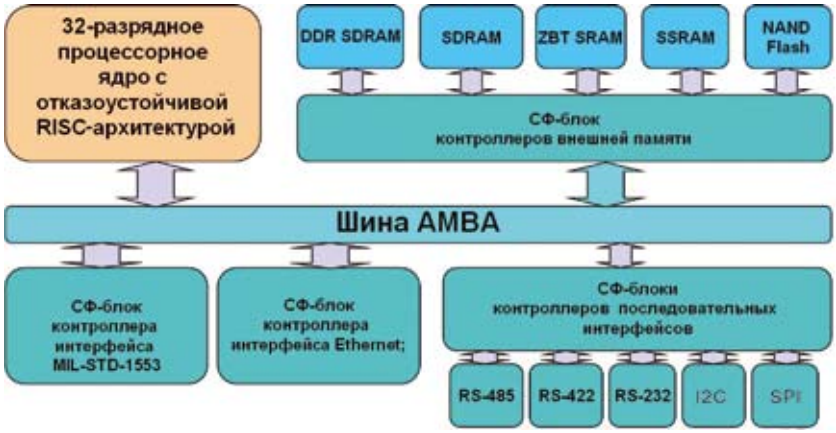


Рис. 3. **Пример структуры СБИС аппаратной платформы**

Платформенный принцип проектирования СнК является «прорывной» технологией, которая может сократить цикл конструирования на 10—12 мес.

По приблизительной оценке, стоимость конструирования СнК «с нуля» без использования платформ составляет 4,5 млн долл. Сокращение сроков разработки до 12 мес. резко уменьшит эту стоимость.

Разумеется, для создания некоторых проектов на базе СнК-платформ требуются значительные модификации или специальные меры по обеспечению конфигурируемости. К таким случаям можно отнести ограничения по максимальной или минимальной ширине шины на кристалле, особенностям отображения системной памяти, ограничения по тактовой частоте и максимальным размерам кристалла, согласование задержек.

Совмещая концепцию СФ-блока с реконфигурируемой архитектурой и базовой платформой, можно получить реконфигурируемую аппаратную платформу для малосерийных и настраиваемых изделий.

При создании реконфигурируемых платформ также целесообразно использование совместного конструирования аппаратных и программных средств. Платформы могут поставляться с уже конфигурируемыми средами разработки, состоящими из сборочных файлов проекта, программ на макроязыке и даже инструментальных средств разработки, таких, как компиляторы и устройства отладки. Программное обеспечение может включать как коды простых процедурных интерфейсов и аппаратных средств, так и законченные операционные системы реального времени. Это позволяет осуществить разработку структуры программных средств ядра системы и его тестирование еще до интеграции дополнительных СФ-блоков, предназначенных для намеченного рынка.

Поддержка выбора многочисленных процессоров в платформе приводит к трудностям. В этом случае среда разработки программного обеспечения должна быть реконфигурируемой для поддержки различных компиляторов, форматов файлов и синтаксиса командного языка. Хотя значительная часть кода может быть написана на языке высокого уровня, например Си, и выполняться на любом процессоре, для решения некоторых задач часть кода приходится писать на низком уровне и такой код специфичен для каждого типа процессора. Это осложняет как сборку проекта, так и разработку платформы.

Выходом может быть такая организация среды разработки, при которой процессорные коды и сборочные файлы проекта отделены от элементов, не зависящих от процессора. Этот метод позволяет вести совместную разработку всех процессоров, обеспечивая хранение объектов, скомпилированных для одного процессора, отдельно от объектов, сгенерированных для других процессоров. Кроме того, конечный пользователь может оценить различные процессоры в конструкции при использовании лишь одной программной среды. Недостаток метода заключается в том, что имеющиеся код и сборочные файлы проекта как в каталогах, независимых от процессора, так и в процессорных каталогах, могут сбить с толку конечного пользователя, который уже выбрал нужный процессор.

Рассмотрим вкратце рынки компаний, которые заинтересованы в продвижении и применении платформенного принципа проектирования и соответствующих средств аппаратной верификации.

КОМПАНИИ-РАЗРАБОТЧИКИ УНИКАЛЬНЫХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СБИС

Компании данного профиля нуждаются в использовании совершенно

нового подхода к методам верификации, использующим аппаратную поддержку. Такой подход объединяет лучшие аспекты традиционных систем эмуляции и быстрого прототипирования в одну универсальную платформу, одинаково пригодную для отладки проектов СнК и встроенного ПО.

Высокая емкость, простота настройки и приемы отладки, связанные с процессом эмуляции, а также оптимальное соотношение цена/производительность делают разрабатываемую аппаратную платформу удобным средством для совместной отладки аппаратуры и ПО на этапе системной интеграции проекта. Разработчики аппаратуры и ПО имеют при этом возможность пользоваться общим представлением проекта, что упрощает взаимодействие при отладке сложных взаимосвязей между аппаратной и программной частями проекта. В результате, интеграцию аппаратуры и ПО можно начинать на более ранних стадиях проектирования, что, в свою очередь, уменьшает число повторных итераций проекта в кремнии и сокращает время разработки.

Средства промышленной автоматики, коммуникаций и робототехники

Несмотря на то, что в данном сегменте рынка существует огромный выбор вариантов построения систем, актуальным остается создание миниатюрных гибких контроллеров для применения в самых широких сферах. Это контроллеры для ЖКХ и энергетики — системы учета и контроля электроэнергии, тепла, водо- и газоснабжения, мониторинга коммунальных сетей. Учитывая изношенность основных средств, необходима срочная модернизация основных средств. Программа реформирования ЖКХ предусматривает широкое оснащение объектов унифицированными модулями контроля и управления на базе программно-аппаратных платформ.

Перспективным является внедрение универсальных платформ и СБИС на их основе в системах мониторинга качества топлива, экологической обстановки, предотвращения террористических актов, чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф.

Предлагаемая архитектура аппаратно-программной платформы для решения широкого класса задач цифровой обработки сигналов может быть полезна при построении систем контроля качества изготовления бумажного полотна, как аппаратная основа высокопроизводительных систем обработки видеоизображений в реальном времени, при контроле качества продукции легкой промышленности (тканые и нетканые материалы).

Методология аппаратно-программной верификации актуальна при проектировании сложных навигационных комплексов и позволяет сократить сроки проектирования и выведения на рынок таких систем в 2—3 раза при значительном снижении затрат на разработку.

Космическая техника и авионика

Унифицированная платформа позволит создать единую информационно-управляющую систему, обеспечивающую сбор, сжатие, обработку и передачу телеметрической информации в соответствии с международными рекомендациями CC SDS, реализацию задач управления и навигации космического аппарата с использованием систем ГЛОНАСС, «Навстар» и «Галилео».

Применение интегрированной платформы, основанной на СнК, позволит снизить массу и габариты бортовой аппаратуры в 3—4 раза, потребление мощности — на 30—50%, сроки изготовления — в 2—5 раз, стоимость — на 30—50%, увеличить срок активного существования в 1,5—2 раза.

Несмотря на очевидные выгоды от применения интегрированных унифицированных платформ в космических системах, консерватизм космического сообщества замедляет быстрое внедрение этих технологий как в уже существующие, так и новые системы. Это объясняется тем, что для национальных космических программ успех измеряется в большей степени отсутствием отказов систем при запуске, и в меньшей степени — коммерческим эффектом. При разработке и внедрении унифицированных платформ в космические программы эту особенность нужно учитывать.

Необходима стратегия развития интегрированных платформ в космических системах, которая удовлетворяет и принцип наименьшего риска, и использует новейшие достижения микроэлектроники. Она основана на создании автономных малых систем для контроля пускового оборудования, космического корабля и полезной нагрузки. По мере накопления опыта в отработке микросистем они будут заменять существующие подсистемы. Пригодные для полета микросистемы могут быть использованы для создания микро- и наноспутников, которые базируются на основном спутнике для выполнения специальных задач.

Медицинская техника

Данный сегмент рынка является наиболее требовательным к надежности и безопасности, длительной безотказной работе и возможности адаптации аппаратуры под конкретного пациента (слуховые аппараты, кардио- и миостимуляторы, холтеровские кардиомониторы и т.п.).

Исследовательские и учебные лаборатории

Несмотря на кажущуюся малую емкость и неперспективность данного рынка с точки зрения быстрой окупаемости и возврата вложенных средств, подготовка нового поколения специалистов становится в последние годы все острее и актуальнее. Существующий разрыв в возрасте между опытными и квалифицированными, но, увы, великовозрастными специалистами и новой волной молодых и талантливых выпускников вузов, не имеющих достаточного опыта, может быть устранен только приближением обучения в вузах к реальному процессу проектирования и производства. В результате выполнения заявляемого проекта обеспечивается подготовка квалифицированных кадров, способных освоить субмикронное производство.

Таким образом, мы рассмотрели предпосылки появления и базовые принципы платформенного проектирования. Во второй части статьи будут приведены примеры существующих зарубежных и отечественных аппаратных платформ для верификации СБИС и обработки сигналов, показаны особенности их проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *www.dsol.ru.*
2. *Бухтеев А.В. Методы и средства проектирования систем на кристалле//Chip news, 2003, №4, с. 4—14.*
3. *Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы ALTERA: проектирование устройств обработки сигналов//М.:Додека, 2000.*
4. *Стешенко В.Б. EDA. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры//М.: Нолидж, 2002.*
5. *Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы ALTERA: элементная база, системы проектирования и языки описания аппаратуры//М.: ИД «Додека-XXI», 2002.*
6. *Загидуллин Р.Ш., Карутин С.Н., Стешенко В.Б. System View. Системотехническое моделирование радиоэлектронных устройств//М.; Горячая линия — Телеком, 2004.*
7. *Стешенко В.Б. Программируемые логические интегральные схемы: обзор архитектур и особенности применения в аппаратуре ЦОС//Цифровая обработка сигналов, 2000, №2.*
8. *Стешенко В.Б. Школа схемотехнического проектирования устройств обработки сигналов//Компоненты и технологии, 2000, №3—8; 2001, №1—3.*

wavecom

БУДЬ ПЕРВЫМ

в новых технологиях

GSM/GPRS/EDGE/3G

Security

ЖКИ

C-GPS

Internet

Bluetooth

–40...+85°C

беспроводной процессор

WMP100

www.eltech.spb.ru

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР WAVECOM

ЭЛТЕХ
ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Санкт-Петербург ул.Победы, 11 тел.: (812) 327-90-90 факс: (812) 373-98-90 e-mail: wavecom@eltech.spb.ru

Москва	Новосибирск	Екатеринбург	Ростов-на-Дону	Ижевск	Минск
(495) 788-5948	(383) 212-5874	(343) 351-0094	(863) 220-3071	(3412) 600-660	(37517) 256-1860
(495) 788-5946	(383) 212-5875	(343) 257-7037	(863) 220-3072	(3412) 600-661	(37517) 256-1861
info@eltech.msk.ru	info@eltech.nsk.ru	info@eltech.ur.ru	info@eltech.rostov.ru	info@eltech.udm.ru	info@eltech.by