

# Проектирование аналогово-цифровых компонентов для “систем в корпусе”

С.В. Шведов, В.Н. Гришков

Унитарное предприятие “Завод полупроводниковых приборов” Научно-технический центр “Белмикросистемы” (Беларусь, г. Минск), grishkovvn@tut.by

**Аннотация** — Рассмотрены проблемы проектирования сложных микроэлектронных устройств типа “система на кристалле” (СнК) и “система в корпусе” (СвК). Для обеспечения высокого уровня характеристик микросхем, в том числе радиационной стойкости, предпочтительнее создание “систем в корпусе”, аналого-цифровые компоненты которых целесообразно изготавливать с помощью Би-КМОП технологий. Предложен маршрут проектирования аналогово-цифровых компонентов СвК на основе библиотек сложных функциональных (СФ) - блоков. элементов биполярных микросхем. элементов биполярных микросхем.

**Ключевые слова** — Система в корпусе, маршрут проектирования, сложные функциональные блоки, аналого-цифровые микросхемы.

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время постоянное увеличение темпов создания электронной аппаратуры приводит к ужесточению требований к электронной компонентной базе. Разработчики аппаратуры сталкиваются с проблемами миниатюризации, сокращения межсоединений, числа дискретных элементов и т.д. [1]. Требование миниатюризации при возрастающем уровне сложности микросхем привело к созданию СБИС типа СнК и СвК.

Появление СнК обусловлено, в первую очередь, существенным прогрессом в технологии производства интегральных схем – возможностью достижения степени интеграции в несколько десятков миллионов вентилей на кристалле. Сегодня нет общепринятого определения СБИС типа СнК, однако, обычно предполагают, что СнК должна изготавливаться по технологии не хуже 0,35 мкм и содержать не менее 1 млн. вентилей. В общем случае, система на кристалле может включать в себя различные типы блоков: программируемые процессорные ядра, блоки программируемой логики, памяти, периферийных устройств, аналоговые компоненты и различные интерфейсные схемы [2].

Сложность проектирования СнК и невозможность обеспечения в ряде случаев требуемого уровня харак-

теристик аналоговых блоков привела к появлению альтернативного типа СБИС – “систем в корпусе”.

СвК содержат нескольких кристаллов внутри одного корпуса. Кристаллы располагаются на одном уровне или один над другим, дополняются пассивными или иными необходимыми компонентами и образуют интегрированные модули в одном корпусе, осуществляющие полноценное функционирование конечного электронного устройства [3].

Целью настоящей статьи является анализ проблем проектирования СнК и выработка подхода к проектированию сложных микроэлектронных устройств с высококачественными аналоговыми блоками.

## II. ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Потребность современного рынка в аналогово-цифровых (смешанных) микроэлектронных системах постоянно растет, однако работы по их созданию затрудняются значительными проблемами в проектировании, верификации и производстве.

Одна из причин – переход к субмикронным размерам элементов. Так, МОП- транзисторы с малой длиной затвора имеют большую малосигнальную передаточную проводимость (крутизну). В то же время, они обладают рядом недостатков, ограничивающих их применение в аналоговых блоках, а именно: значительным разбросом порогового напряжения и удельной крутизны, приводящим к появлению большого напряжения смещения операционных и дифференциальных усилителей; высоким уровнем низкочастотного шума типа  $1/f$ ; нестабильностью рабочего режима вследствие температурного и временного дрейфа порогового напряжения; малой величиной выходного малосигнального сопротивления и усиления каскадов с активной нагрузкой. Небольшие размеры транзистора приводят к уменьшению пробивного напряжения и росту токов утечки, что вынуждает снижать напряжение питания и ухудшать отношение сигнал/шум.

Особо актуальным и трудоемким является выбор при проектировании параметров и режимов работы МОП- транзисторов, вольт- амперные характеристики

которых различны в линейной области и области насыщения, в режиме сильной и слабой инверсии, для длинноканальных и короткоканальных транзисторов. В этой связи параметрическая оптимизация схем на субмикронных МОП- транзисторах превращается в многофакторный процесс, занимающий продолжительное время даже при использовании современных средств автоматизированного проектирования [4].

Одним из эффективных способов, позволяющих сократить сроки и снизить стоимость разработки микроэлектронных систем, является применение встраиваемых СФ- блоков. Для расширения области применения и, таким образом, обеспечения окупаемости затрат на создание СФ- блоков обычно осуществляют их унификацию и оптимизацию, направленную на достижение наилучшего сочетания занимаемой площади кристалла, быстродействия, потребляемой мощности [5].

К сожалению, указанные параметры не могут выступать в качестве основных критериев качества аналоговых устройств. Аналоговые блоки описываются набором статических и динамических параметров, приоритетное сочетание которых зависит от конкретных условий применения. Сложность в унификации выполняемых функций и параметров аналоговых устройств затрудняет проектирование и увеличивает материальные и временные затраты на создание аналоговых СФ- блоков.

В последнее время ряд компаний проводят работы по созданию СнК, содержащих цифровые, аналоговые и высокочастотные (ВЧ) блоки на одной кремниевой подложке. Но качество подобных систем в большой степени определяется квалификацией и опытом разработчиков, которые должны объединить в одном кристалле аналоговые, цифровые, ВЧ компоненты с учетом их возможного взаимодействия по полупроводниковой подложке, шинам питания, корпусу микросхемы, печатной плате.

Таким образом, применение передовых технологий изготовления микросхем и существующих СФ- блоков не гарантирует достижения наилучшего качества микроэлектронных систем с большим количеством аналоговых функций, но может существенно увеличить стоимость их производства.

Указанные проблемы СнК стимулировали работы по производству СвК. СвК – это объединение нескольких различных кристаллов, в том числе сформированных на основе кремния на изоляторе (КНИ) и кремния на сапфире (КНС), модулей памяти, цифровой логики, пассивных компонентов, фильтров, антенн, в одном стандартном или специально спроектированном корпусе. При разработке СвК главное внимание уделяют не увеличению количества применяемых транзисторов, а числу различных функций, которые можно интегрировать в одном устройстве на ос-

нове апробированных ранее технологических решений максимально надёжным и дешёвым способом.

Применение СвК позволяет обеспечить [6]:

- значительное увеличение выполняемых функций в единице объема и веса;
- снижение энергопотребления;
- создание уникальных аналого-цифровых систем;
- резкое сокращение себестоимости проектов и сроков реализации за счет сокращения квалификационных испытаний.

Дополнительным преимуществом рассмотренного подхода к проектированию микроэлектронных систем является возможность параллельной работы над различными компонентами СвК разработчиков, специализирующихся и имеющих большой опыт в узком направлении электроники (ВЧ- устройства, прецизионные аналоговые микросхемы, антенны и др.), а также возможность применения в одном изделии технологий, не совместимых при изготовлении полупроводниковых микросхем.

### III. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ “СИСТЕМ В КОРПУСЕ”

Как указывалось ранее, компонентами СвК являются полупроводниковые кристаллы, выполняющие как аналоговые, так и цифровые функции. Для обеспечения проектирования аналогово-цифровых компонентов СвК в НТЦ «Белмикросистемы» разработана библиотека СФ- блоков на основе БиКМОП элементной базы с 0,8 мкм проектными нормами.

По составу и функциональному назначению разработанная библиотека СФ- блоков предназначена для проектирования и изготовления компонентов телевизионной техники.

Библиотека СФ- блоков включает:

- программируемый источник опорного напряжения,
- генератор сигналов прямоугольной формы с частотой от 3 до 100 МГц, управляемый током,
- генератор сигналов прямоугольной формы с частотой от 3 до 100 МГц, управляемый напряжением,
- усилитель с регулируемым коэффициентом усиления и полосой пропускания от 20 до 60 МГц,
- усилитель с регулируемым коэффициентом усиления и полосой пропускания от 3 до 20 МГц,
- блок автоматической регулировки усиления со среднеквадратичным детектором,
- блок автоматической регулировки усиления с пиковым детектором,
- усилитель видеосигнала с восстановлением постоянной составляющей и регулировками автоматического баланса белого, яркости и контрастности,
- многостандартная матрица G-Y сигналов,
- линия задержки на переключаемых конденсаторах,

- линия задержки на гираторных элементах,
- полосовой фильтр сигнала цветности (PAL/NTSC),
- полосовой фильтр сигнала цветности (SECAM),
- режекторный фильтр канала яркости,
- демодулятор промежуточной частоты изображения с фазовой автоподстройкой частоты,
- демодулятор промежуточной частоты звука с фазовой автоподстройкой частоты,
- SECAM декодер,
- PAL/NTSC декодер,
- приемо-передатчик последовательного интерфейса,
- дельта-сигма модулятор первого порядка,
- восьмиразрядный цифро-аналоговый преобразователь,
- блок кадровой геометрии.

Разработанная библиотека прошла аттестацию электрических параметров и стандартную процедуру испытаний на надежность в составе тестовой матрицы.

Проектирование компонентов СвК осуществляется с помощью библиотеки СФ-блоков и модернизированного маршрута, показанного на рис. 1. Он разработан на основе типового маршрута создания аналого-цифровых СБИС НПО «Интеграл» [7] и отличается наличием новых работ и изменением последовательности выполнения этапов.

Процесс проектирования начинается с создания архитектурной модели компонента системы на основе технического задания и поведенческой модели полученной от разработчика СвК. Архитектурная модель разрабатывается с учетом возможности использования СФ-блоков собственного производства и предоставляемых сторонними предприятиями.

Интегрируя в проекте готовые СФ-блоки от сторонних разработчиков и блоки, разрабатываемые собственными проектными группами, возможно обеспечить необходимый компромисс между стоимостью и сроками создания микросистемной системы. Преимущество готовых блоков заключается в том, что при их использовании разработчик не тратит время и средства на их разработку и верификацию. Однако в этом случае необходимы средства на покупку отдельных СФ-блоков [8].

На следующем этапе проводится высокоуровневое поведенческое моделирование разрабатываемого компонента. Для верификации компонента СвК разрабатывают набор тестов. При переходе с системного уровня на уровень транзисторов и топологии целесообразно выполнение верификации всех существенных модификаций структуры компонента с помощью аналого-цифрового (смешанного) моделирования. Электрическая схема и топология компонента разрабатываются на основании базы данных для проектирования (Process Design Kit). Проектирование «сверху-

вниз» с моделированием системы на высоком уровне и тщательной верификацией вносимых изменений при детализации проекта позволяет заранее обнаруживать возможные проблемы и корректировать их без больших затрат времени [5].

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа проблем проектирования сложных микросистемных систем сделан вывод о том, что для интеграции в одном устройстве разнообразных аналого-цифровых функций целесообразно создание СвК. При этом аналого-цифровые компоненты СвК рекомендуется изготавливать с помощью БИКМОП технологий, обеспечивающих работоспособность аналоговых блоков в диапазоне напряжений питания до 5 В. Рассмотрен маршрут проектирования аналого-цифровых компонентов СвК и библиотека СФ-блоков для изделий телевизионной техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Завьялов А. В., Коломенская Н. Г., Молчанова Е. Д. Сверхбольшие интегральные схемы типа «система на кристалле» и сложные функциональные блоки: основные нюансы при разработке нормативных документов // Нано- и микросистемная техника. - 2005. - № 10. - С. 19–22.
- [2] Евтушенко Н., Немудров В., Сырцов И. Методология проектирования Систем на кристалле. Основные принципы, методы, программные средства // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - 2003. - № 6. - С. 7–11.
- [3] Мосиенко С., Корнеев И., Немудров В. Модули навигационных приемников: проблемы и перспективы // Chip news. - 2006. - № 4. - С. 36–39.
- [4] Дворников О., Гришков В. Выбор параметров и режимов работы МОП-транзисторов при схемотехническом моделировании аналоговых IP-компонентов Часть 1. Критерии качества МОП-транзисторов для аналоговых применений // Современная электроника. - 2009. - №9. - С. 38–45
- [5] Немудров В., Мартин Г. Системы-на-кристалле. - М.: Техносфера. - 2004. - 216 с.
- [6] Данилин Н. С., Димитров Д. М., Сабиров И.Х. Системы в корпусе. Магистральный путь развития ЭКБ для авиации, космоса и ВПК // Сетевой электронный научный журнал «Системотехника». - 2010. - № 8.
- [7] Гришков В., Коннов Е., Шведов С., Библиотека функциональных ячеек – инструмент для проектирования заказных БИКМОП-микросхем // Электронные компоненты. - 2007. - № 5. - С. 23–25.
- [8] Шагурин И.И., Родионов А.А., Каньшев В.О. Проектирование СнК на базе библиотеки IP-блоков GRLIB компании Gaisler Research // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2008. Сб. научных трудов / под общ. ред. А.Л. Стемповского. - М.: ИППМ РАН, 2008. - С. 453–457.

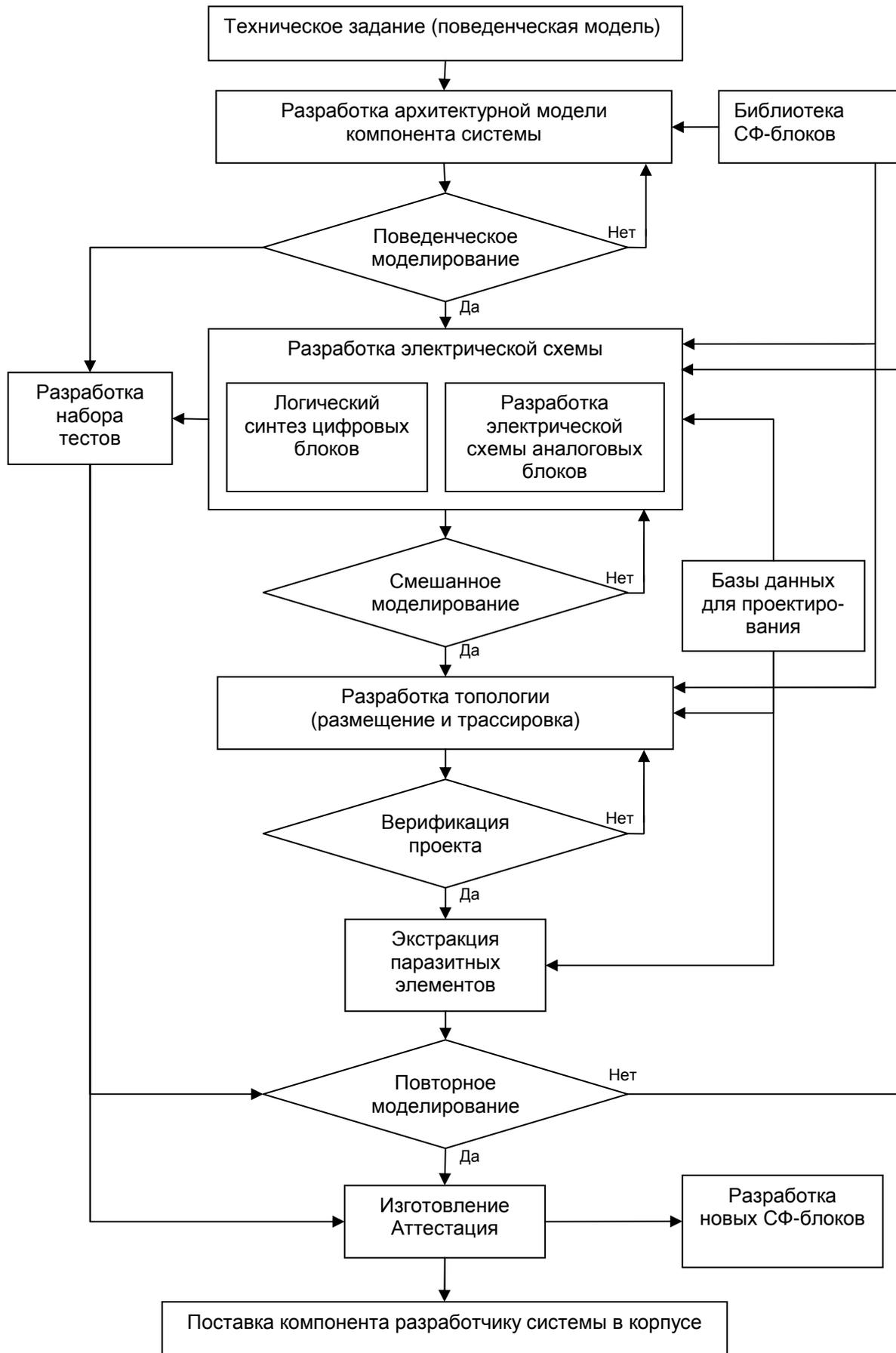


Рис. 1. Маршрут проектирования аналогово-цифровых компонентов для систем в корпусе