

## СИСТЕМА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ AVOCAD

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ

**Система схемотехнического моделирования AVOCAD – продукт российско-малазийской компании UniqueIC'S ([www.uniqueics.ru](http://www.uniqueics.ru)), базирующейся в Зеленограде. Компания занимается проектированием аналоговых, оптоэлектронных, цифровых, аналого-цифровых интегральных схем с последующим производством на фабриках Малайзии и Тайваня. AVOCAD создан группой российских специалистов, имеющих многолетний опыт разработки численных алгоритмов схемотехнического моделирования, с учетом современных требований к проектированию аналого-цифровых интегральных схем.**

Одна из основных тенденций в проектировании интегральных схем – создание функционально завершенных устройств на одном кристалле, так называемых "систем на кристалле" (SoC – System-on-Chip) [1]. Уже сегодня значительная часть SoC включает не только цифровые, но и аналоговые, цифроаналоговые блоки и, по прогнозам [2, 3], доля таких систем будет расти. Для надежного проектирования заказных систем, содержащих аналоговые части, точности логического и поведенческого моделирования оказывается недостаточно. Схемотехническое (СхТ) моделирование необходимо при отладке аналоговых частей на этапе разработки принципиальной схемы, верификации перед запуском в производство (с учетом влияния межсоединений, полученных при топологическом проектировании). Использование таких возможностей систем схемотехнического моделирования, как параметрическая оптимизация и статистический анализ, позволяет добиваться повышения быстродействия и/или улучшения других характеристик схемы. Сегодня схемотехническое моделирование – обязательный этап маршрута проектирования заказных аналоговых и цифроаналоговых схем.

Однако существующие программы схемотехнического моделирования практически, из-за громадных временных затрат, не позволяют провести моделирование схем, включающих несколько миллионов транзисторов (а это не самые большие SoC), целиком. Когда проектируется схема такой размерности, ее обычно разбивают на блоки и моделируют по частям. При этом нет гарантий, что после формального объединения отлаженных блоков вся схема будет работать правильно. Гарантировать это можно только при моделировании всего проекта в целом. Задача очень важная, и на ряде крупных фирм, таких как Cadence, Synopsys, ведутся проекты по разработке специальных программ ускоренного схемотехнического моделирования, позволяющих верифицировать на схемотехническом уровне цифровые и аналого-цифровые КМОП-схемы большой размерности в экономически приемлемые сроки. Но пока что программы, такие как HSPICE, позволяющие точно моделировать схе-

Г.Казённов, С.Кокин,  
С.Макаров, В.Перминов,  
Д.Перминов



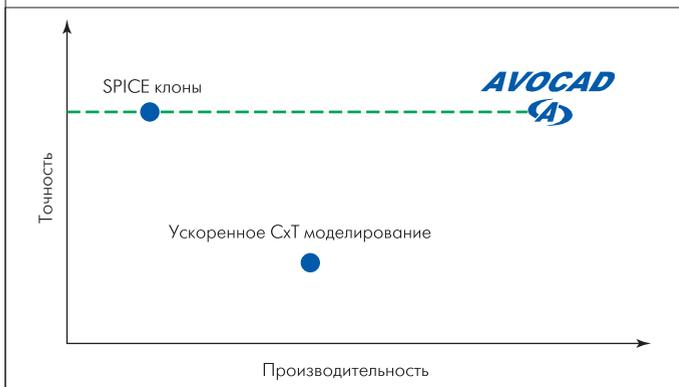
мы произвольной структуры, реально могут работать только со схемами (блоками) размерностью до 100 тысяч транзисторов [4].

#### НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ СИСТЕМЫ AVOCAD

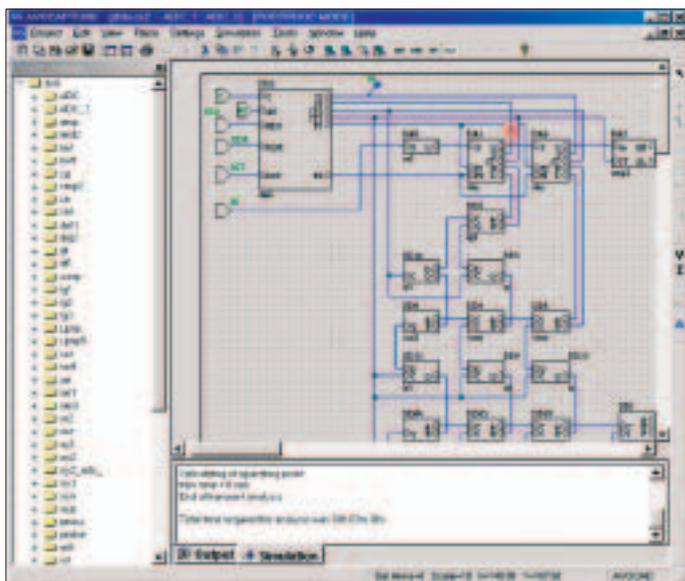
Система AVOCAD занимает особое место среди программ схемотехнического моделирования, совмещая точность и высокую производительность (рис. 1). Существующие подходы к повышению скорости схемотехнического моделирования либо приводят к снижению точности (при использовании упрощенных моделей элементов), либо применимы только для схем специального вида, например регулярных схем памяти [5]. Средства моделирования системы AVOCAD позволяют увеличить размер верифицируемых схем как с регулярной, так и с нерегулярной структурой до нескольких миллионов транзисторов. При сохранении высокой точности, новые алгоритмы, использованные в системе, значительно повышают производительность моделирования для цифровых и цифроаналоговых схем большой размерности, в которых в каждый момент времени переключается сравнительно небольшое количество транзисторов. Большинство цифровых и цифроаналоговых схем, имеющих практическую значимость, удовлетворяет этому критерию. В современных проектах SoC доля транзисторов, работающих в аналоговом режиме, составляет порядка 2% [6], среди оставшейся цифровой части число переключаемых транзисторов в каждый момент для большинства практических схем составляет от 2 до 20% от общего числа транзисторов. В настоящий момент система AVOCAD состоит из программы моделирования и среды разработчика с встроенным схемотехническим редактором.

#### СРЕДА РАЗРАБОТЧИКА И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Среда разработчика представляет собой интегрированную оболочку, реализованную на платформе Windows, в которую включены си-



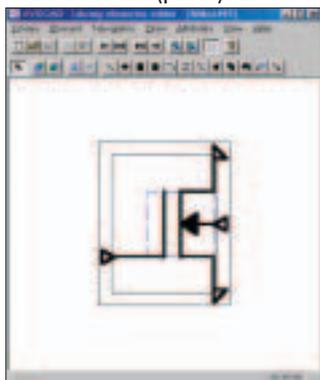
**Рис. 1. Место AVOCAD среди программ схемотехнического моделирования**



**Рис.2. Среда разработчика и встроенный схмотехнический редактор**

система управления проектами, полнофункциональный схемный редактор, средства визуализации и анализа результатов моделирования. Иерархические проекты принципиальных схем могут создаваться в виде текстового (формат HSPICE) и графического описания. В системе управления проектами предусмотрены средства генерации описания списка цепей в форматах систем HSPICE, SPECTRE, SPICE3e2. Поддерживается возможность повторного использования отлаженных иерархических блоков из других проектов. Для подключения готового блока в текущий проект достаточно простой ссылки на рабочий файл с описанием блока. Большое удобство – поддержка параметризованных иерархических блоков. Для каждого варианта набора параметров транзисторов (или других параметров) не нужно создавать отдельные блоки. Можно использовать единое описание принципиальной схемы, а конкретные параметры и настройки задавать уже при включении блока в общую схему.

Графическое описание принципиальной схемы создается с помощью встроенного полнофункционального схмотехнического редактора (рис.2). Редактор поддерживает неограниченную иерархию, имеет широкий набор настроек и утилит для прорисовки схемы (настройка цветовой палитры, задание сетки привязки, разбиение схемы на несколько чертежей, задание размеров чертежа, печать, предварительный просмотр перед выводом на печать, автоматическая нумерация элементов, прорисовка шин и др.). Пользователь может создавать собственные библиотеки графических элементов схемы (рис.3). Более того, параметры моделей элементов



**Рис.3. Программа создания графических изображений элементов**

могут задаваться с помощью специально разработанных графических утилит.

В схмотехническом редакторе системы AVOCAD разработаны удобные интуитивные инструменты для работы с маркерами токов и напряжений. Пользователь может задать маркер внутри описания иерархического блока (который будет воспроизводиться при каждом включении блока) либо выбрать ветку иерархического дерева описания схемы и для каждого конкретного вхождения блока

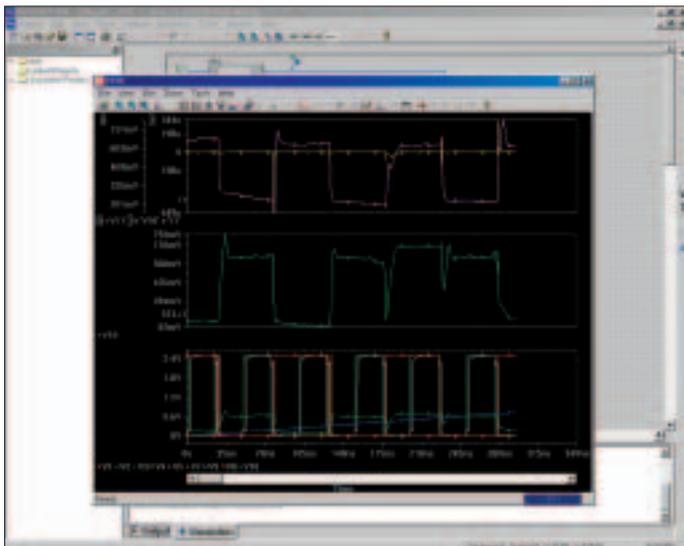
указать уникальную точку простановки маркера. Если необходимо поработать с отдельным фрагментом рабочей схемы или, наоборот, включить ее как часть в общий проект, создать дополнительный отладочный вариант, система автоматически сохранит установку маркеров.

Не выходя из среды разработчика, пользователь может задать и сохранить настройки моделирования: модели используемых элементов, тип моделирования, опции моделирования, параметры визуализации и сохранения результатов моделирования и др. Можно создавать несколько вариантов настроек и переключать их по мере необходимости. После запуска программы моделирования результаты можно наблюдать непосредственно в процессе ее работы, а также проанализировать впоследствии с помощью интерактивного постпроцессора обработки результатов (рис.4).

В среде разработчика системы AVOCAD можно разрабатывать целые программы аттестации проектов, формируя пакеты заданий на моделирование в различных режимах с различными настройками. Существует возможность моделирования как на компьютере разработчика, так и на удаленных компьютерах, в том числе и работающих под управлением операционной системы UNIX. Причем моделирование может проводиться не только собственными средствами системы, но и с помощью программ третьих фирм. Обработка результатов во всех случаях происходит в постпроцессоре среды разработчика.

### ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Программа моделирования – сердце системы AVOCAD. Она существует как в виде отдельного модуля, который можно запустить на



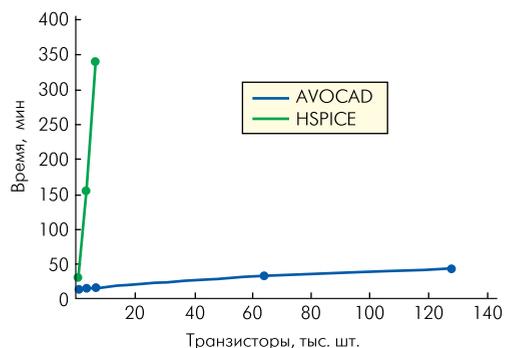
**Рис.4. Постпроцессор обработки результатов моделирования**

удаленном компьютере, так и в виде инструмента, непосредственно интегрированного в среду разработчика. Основная особенность программы моделирования – ориентация на проведение анализа интегральной схемы нерегулярной структуры, включающей сотни тысяч транзисторов (до нескольких миллионов), во временной области за минимальное время с сохранением точности моделирования, характерной для систем типа HSPICE.

В программе схемотехнического моделирования AVOCAD удалось удачно совместить общеизвестные подходы к схемотехническому моделированию и целый ряд оригинальных методов. Новые методы не подменяют базовые подходы к моделированию электрических схем, а дополняют их. Поскольку используются общепринятые модели элементов, увеличение скорости моделирования не сказывается на точности получаемых результатов.

Основное преимущество математических методов, примененных в системе AVOCAD, – возможность декомпозиции математической модели всей схемы. Такие методы относят к классу "диакоптических" методов. Декомпозиция позволяет существенно снизить затраты при использовании численных методов, характеризующихся нелинейным ростом временных затрат при росте размеров всей системы. Выбор способа декомпозиции – определяющий фактор для методов такого класса. Для программы моделирования AVOCAD разработаны новые оригинальные алгоритмы декомпозиции, учитывающие особенности задач схемотехнического моделирования и позволяющие значительно снизить общие затраты на моделирование, особенно для больших схем. В больших схемах связность элементов снижается (матрицы становятся более разреженными), и эффект от декомпозиции увеличивается. Отметим, что при увеличении размера схемы "выигрыш" по сравнению с известными программами схемотехнического моделирования увеличивается нелинейно и может составить сотни и тысячи раз, например, как при моделировании схем счетчиков разной размерности (рис.5).

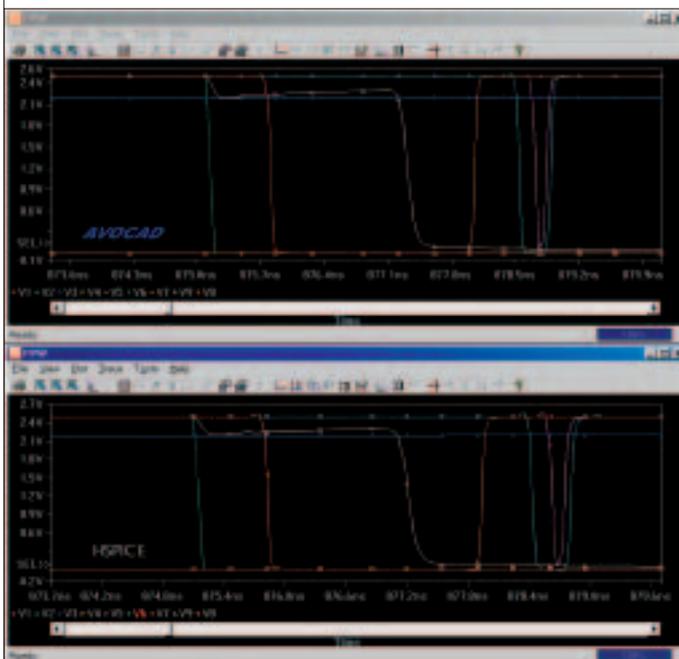
В настоящее время в программе моделирования реализованы следующие виды анализа: анализ по постоянному току (DC анализ);



**Рис.5. Изменение времени моделирования счетчика в зависимости от размера схемы**

анализ во временной области (TRAN анализ); анализ по переменному току (AC анализ). Кроме этого, каждый из перечисленных видов анализа может быть параметризован (SWEEP анализ). Поддерживаются модели резистора, физического резистора, конденсатора, диода, МДП-транзистора (модели Level 3, BSIM3v3, BSIM4), биполярного транзистора (модель Гуммеля-Пуна), зависимые и независимые источники тока и напряжения. Все названные модели совместимы по параметрам с параметрами моделей системы HSPICE компании Synopsys.

Сравнительное тестирование программы схемотехнического моделирования системы AVOCAD и таких известных систем как PSPICE 9.2, SPECTRE 4.4.6, HSPICE 99.2 в целом показали значительное ускорение расчетов при сохранении точности моделирования. Тестирование проводилось для различных классов схем. В качестве при-



**Рис.6. Результаты моделирования схемы трехразрядного АЦП на AVOCAD и HSPICE 99.2**

#### Результаты сравнительного тестирования программы схемотехнического моделирования системы AVOCAD

Программа моделирования	Вычислительные средства	АЦПЗ (1212 транзисторов)	Счетчик 10 (640 транзисторов)	Счетчик 100 (6400 транзисторов)	Счетчик 2000 (128000 транзисторов)
AVOCAD	Pentium IV – 2.4 GHz, 512Mб RAM	36 мин	14 мин	16 мин	43 мин
PSPICE 9.2	Pentium IV – 2.4 GHz, 512Mб RAM	Нет сходимости	23 мин	245 мин (4 ч 5 мин)	Более 2-х дней
SPECTRE 4.4.6	Sparc SUNW Ultra-5 – 400MHz, 256M RAM	68 мин (1 ч 8 мин)	39 мин	490 мин (8 ч 10 мин)	Более 2-х дней
HSPICE 99.2	Sparc SUNW Ultra-5 – 400MHz, 256M RAM	64 мин (1 ч 4 мин)	31 мин	340 мин (5 ч 40 мин)	Более 2-х дней



мера можно привести результаты моделирования схемы трехразрядного АЦП (рис.6). Моделирование схем трехразрядного АЦП и счетчиков разной размерности в системе AVOCAD требует значительно меньше времени (см. табл.).

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

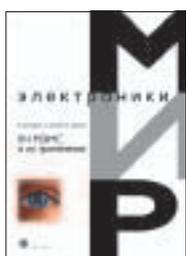
Система AVOCAD развивается как в направлении увеличения скорости моделирования, так и в плане расширения функциональных возможностей программы моделирования и среды разработчика. В настоящее время ведутся разработки версий для многопроцессорных и многомашинных вычислительных систем, которые, как ожидается, позволят сократить общее время моделирования еще в несколько раз. Алгоритмы моделирования, как уже отмечалось, используют принцип декомпозиции математической модели всей схемы. Это позволяет эффективно и естественно проводить распараллеливание вычислительного процесса. Другое важное направление развития – расширение библиотеки моделей элементов интегральных схем, в частности, за счет моделей, учитывающих особенности специализированных схем, разрабатываемых компанией UniqueIC'S по новым технологиям фабрик – партнеров компании.

Есть планы по созданию на базе AVOCAD системы сквозного проектирования. Уже ведется работа над модулями проектирования и верификации топологии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. George Neville-Nel, Telle Whitney. SoC: Software, Hardware, Nightmare, Bliss. – Queue, ACM Press, 2003, V. 1, Is. 2, P. 24.
2. CADENCE Annual report and form 10-K. 2001. <http://www.cadence.com>.
3. ASIC Market Alive and Well, In-Stat/MDR report "Customer-Specific, Cell-Based IC Consumption; An End-Use/Geographic Comparison". <http://www.instat.com>, 2004
4. HSPICE Frequently Asked Questions. <http://www.synopsys.com>.
5. Денисенко В. Проблемы схемотехнического моделирования КМОП СБИС.– Компоненты и технологии, 2002, № 3, с.74–78, № 4, с.100–104.
6. Analogue Design for SoC: Red is for Danger (panel discussion). – Design Automation and Test in Europe (DATE), 2004. <http://www.date-conference.com>.

## ИЗДАТЕЛЬСТВО "ТЕХНОСФЕРА" ПРЕДСТАВЛЯЕТ:



**Серия "Мир электроники"**

**Варадан В., Виной К., Джозе Л.**  
**ВЧ МЭМС и их применение**  
**Техносфера, 2004 г. – 528 с.**

Книга посвящена обзору состояния дел в области разработки и изготовления электромеханических систем и их компонентов. Авторы подробно рассматривают вопросы проектирования и технологические аспекты производства разнообразных микроустройств: переключателей, регулируемых индукторов и конденсаторов, фильтров, фазовращателей, линий передач и антенн, указывают преимущества и недостатки каждой конструкции, предлагают способы их оптимизации. Отдельная глава посвящена такой важной теме, как монтаж микросистем, где обсуждаются методы построения корпусов микросистем и способы их сборки. Особый интерес представляет описание методов изготовления микроустройств – как традиционных, применяемых в микроэлектронной промышленности, так и современных, разработанных специально для микросистем.

Актуальность издания обусловлена быстрым прогрессом в области беспроводных систем связи, повлекшим за собой расширение сфер применения ВЧ- и СВЧ-микротехники. Для России, где наблюдается существенное отставание в технологии изготовления микроэлектронных устройств, а развитие электромеханических микросистем и вовсе только начинается, важность книги во много раз возрастает. Тем более, что у нас наблюдается ощутимая нехватка литературы, посвященной этой тематике.

Несомненное достоинство книги в том, что в ней использованы материалы, написанные ведущими разработчиками микросистем со всего мира.

Книга предназначена, в первую очередь, для инженеров-разработчиков ВЧ- и СВЧ-электромеханических микросистем и их компонентов. Но будет полезна и специалистам, занимающимся разработкой мобильных систем связи.



**Серия "Мир электроники"**

**Немудров В., Мартин Г.**  
**Проектирование систем на кристалле**  
**Техносфера, 2004 г.**  
**Выход из печати – сентябрь 2004 г.**

В книге рассмотрены различные аспекты проектирования и развития нового класса перспективной электронной элементной базы – "систем на кристалле" (system-on-chip – SoC).

Представлены характерные особенности проектирования SoC: многократное использование в процессе проектирования IP-блоков, введение в САПР "системного" уровня, спиралевидная модель маршрута проектирования и т.д..

Анализируется новая инфраструктура проектирования и производства SoC, сложившаяся в мире в начале 2000-х годов. Изложены особенности взаимодействия фирм-участников создания конечного продукта – SoC.

Рассмотрена новая методология проектирования на основе многократного использования IP-блоков (блоков интеллектуальной собственности – Intellectual Property), а также полная методология проектирования SoC, включающая системный, функциональный, логический и физический уровни.

Проанализированы особенности и преимущества использования языка System C в процессе проектирования SoC на системном уровне.

На конкретном примере SoC в прикладной области беспроводной связи третьего поколения показаны особенности алгоритмически ориентированных методов проектирования SoC и методов "платформенного" проектирования SoC.

### Как заказать наши книги?

По почте: **125319 Москва, а/я 594**

По тел./факсу: **(095) 956-3346, 234-0110**

E-mail: **knigi@technosphera.ru; sales@technosphera.ru**