

Российская система проектирования ИС АВОКАД

**Денис Адамов, Сергей Кокин, Сергей Макаров,
Владимир Стешенко, Владимир Перминов (Москва)**

В статье описана отечественная САПР АВОКАД, которая позволяет осуществить полный цикл проектирования аналоговых и цифро-аналоговых микросхем с учётом различных дестабилизирующих факторов.

САПР – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ

Система автоматизированного проектирования (САПР) является ключевым элементом при проектировании интегральных схем (ИС), естественно, после знаний и опыта самого разработчика. САПР – это высокоинтеллектуальный «станок», который должен обеспечить полный маршрут проектирования, начиная от замысла и заканчивая выводом топологии ИС для передачи на фабрику изготовителя кристаллов. Большинство пользователей слабо представляют внутреннее устройство САПР, но они чётко знают, что хотят от него получить. Современные методы и способы автоматизированного проектирования настолько сложны, что профессиональное освоение возможностей системы может занимать от 2 до 5 лет. Зачастую даже профессиональные пользователи с многолетним стажем не знают до конца всех возможностей САПР, с которой они работают. Создание интуитивно понятной системы, которая позволила бы разработчику, в том числе не обладающему большим опытом работы, быстро и без «лишних» вопросов создавать законченные устройства с предельными характеристиками, – это, пожалуй, одна из основных задач, которую должны решать современные САПР ИС.

САПР является концентрированным опытом разработки изделия, включая все аспекты его работы: физику функционирования, математические методы моделирования, различные методики проектирования, графические интерфейсы и т.д. Возможность создания отечественной САПР, как и любого штучного высокотехнологичного станка, является основой технологической безопасности страны и показывает высокий уровень российских инженеров.

Рынок САПР ИС в России и ЗА РУБЕЖОМ

В России область микро- и нанoeлектроники только возрождается и рынок средств проектирования крайне незначителен. Рынок услуг по проектированию ИС является высокорискованным, а также требует значительных капиталовложений. В силу своей специфики на этом рынке в России практически отсутствуют малые и средние дизайн-центры, а те центры, которые были организованы в рамках различных ФЦП, оборудовались САПР централизованно. При таком подходе учесть требования каждого конкретного создаваемого дизайн-центра невозможно, соответственно, для таких дизайн-центров выбирается одна из крупных зарубежных САПР, являющаяся «индустриальным стандартом», который включает в себя все необходимые инструменты. Понятно, что такой подход к приобретению САПР далёк от рыночных отношений, поскольку применительно к каждой конкретной задаче каждый разработчик сам должен выбирать наиболее производительный, обеспечивающий необходимые требования и доступный по бюджету инструмент.

На зарубежном рынке основными потребителями крупных САПР являются большие корпорации, которые обеспечивают до 80% продаж. Малый и средний бизнес обычно вынужден приобретать минимальный пакет САПР у крупного поставщика, что обусловлено необходимостью использовать PDK (Process Design Kit – комплект разработчика) фабрики – производителя кристалла. Все оставшиеся рабочие места в малых и средних дизайн-центрах, как правило, оборудуются более дешёвыми или даже бесплатными инструментами, поставляемыми по лицензиям типа GPL (General Public License).

Выбор какой-либо фабрики в качестве основной САПР для разработки

PDK одного из крупных зарубежных производителей автоматически заставляет всех клиентов этой фабрики использовать данную САПР. Стоимость одного рабочего места разработчика в этом случае начинается от нескольких сотен тысяч долларов и может превысить один миллион долларов. Приобрести такие лицензии в российских условиях могут позволить себе только крупные компании, практически все они работают на государственный заказ. Мелкие и средние компании будут вынуждены пользоваться серыми лицензиями на ПО.

Значительную долю в прибыли САПР компаний составляют дополнительные услуги по обслуживанию и настройке программного обеспечения, выпуску на заказ инструментов, учитывающих специфические требования заказчика, разработке IP-блоков и др. Фактически данный сервис является не дополнительным, а необходимым для любого поставщика САПР.

При развитии отечественной САПР ИС необходимо учитывать её инфраструктурный характер. САПР ИС – это дорогостоящий инструмент, который используют не конечные потребители, а разработчики ИС. Для того чтобы в России возник рынок САПР ИС, сначала должен возникнуть рынок услуг по разработке ИС. Начинать развитие данного направления тогда, когда САПР уже будет востребована, явно поздно, поскольку создание конкурентного продукта потребует до 10 лет даже при наличии высококвалифицированных разработчиков с опытом. К сожалению, ни один из известных нам способов государственной поддержки инновационных проектов в России не предназначен для поддержки инфраструктурных проектов.

В силу специфичности рынка практически все крупные и средние компании – разработчики САПР ИС находятся в США. Возможно, это связано с законопослушностью разработчиков, работающих в этой стране, поскольку они всё время должны выбирать лучший продукт по соотношению цена-качество, или же с тем, что уже на начальном этапе формирования рынка в США компаниям – разработчикам САПР ИС

обеспечивалась серьезная поддержка в виде государственного заказа.

САПР ИС ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

При уменьшении характерных топологических размеров элементов ИС ниже 100 нм микроэлектроника постепенно переходит в наноэлектронику. Одной из принципиальных особенностей наноэлектроники является учёт квантовых эффектов, которые могут иметь паразитное влияние на работу активного прибора; или даже работа самого прибора может строиться на основе квантовых эффектов.

Возможность применения SPICE-моделирования для разработки наносхем подтверждается успешной разработкой моделей перспективных полупроводниковых нанозадач. В основе таких моделей лежат алгоритмы решения систем нелинейных дифференциальных уравнений. Так, например, уже существуют SPICE-модели для одноэлектронных транзисторов [1, 2] и нанотранзисторов на углеродных нанотрубках [3]. С другой стороны, при изготовлении полупроводниковых наносхем возникает необходимость учёта большого количе-

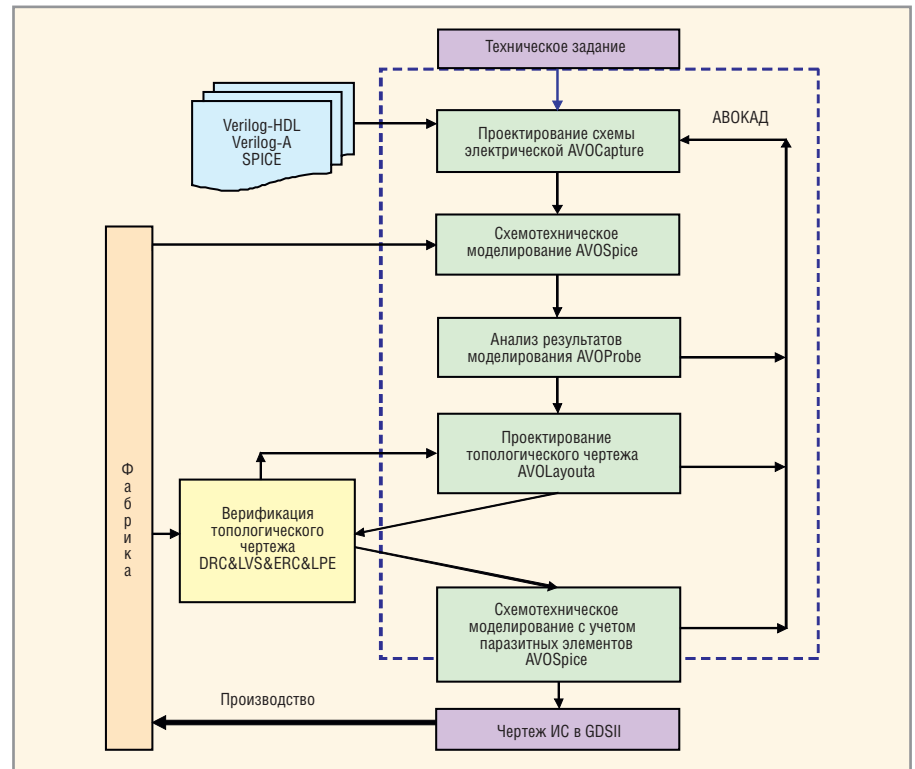


Рис. 1. Маршрут проектирования аналоговых и цифро-аналоговых ИС в САПР АВОКАД

ства специфичных для каждого производства технологических особенностей, не обязательно квантовых. Ведущие мировые компании – производители схем,

такие как TSMC (Тайвань), предоставляют специальный программный комплект, позволяющий учитывать технологические особенности в моделях на-

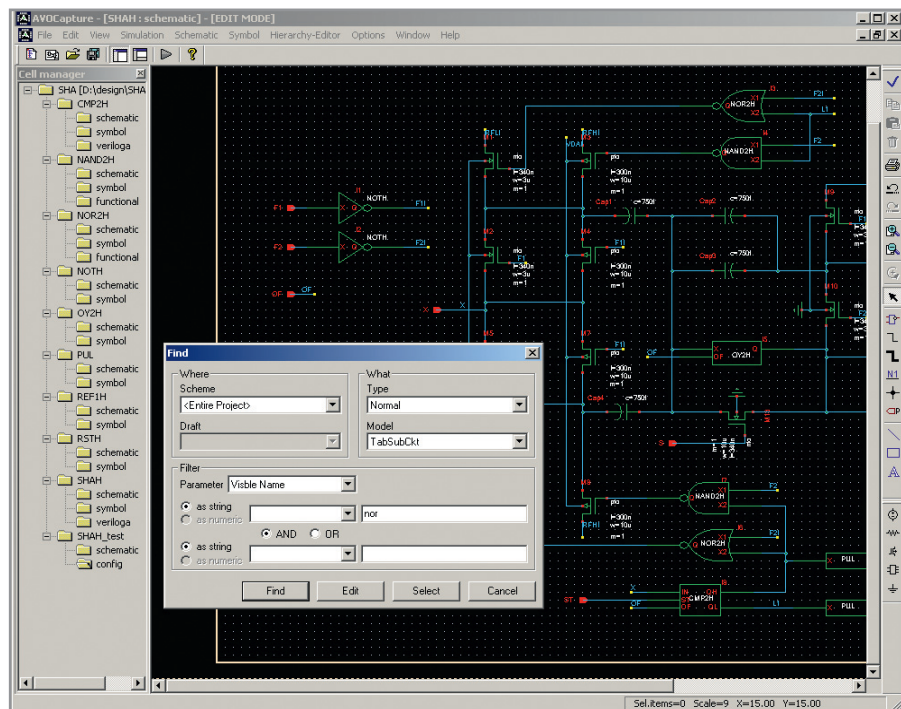


Рис. 2. Схемотехнический редактор AVOCapture

ноэлементов для программ SPICE-моделирования – iSDK (interoperable SPICE Design Kit). Этот программный комплект позволяет учесть особенности изготовления 65- и 40-нм схем [4].

Данный пример ещё раз показывает, что развитие передовых методов проектирования электронных схем идёт одновременно с совершенствованием средств автоматизированного проектирования и одно без другого невозможно. В условиях отсутствия доступа к исходным программным кодам и квалифицированной поддержки разработчиков САПР ИС Россия обречена бесконечно долго повторять зарубежные разработки с отставанием на десятилетия.

Ещё одной немаловажной причиной развивать отечественные САПР ИС является обеспечение технологической безопас-

ности. В рамках стратегии на закупку зарубежных средств проектирования нельзя застраховать себя от утечки проектной информации. Известны случаи, когда средства проектирования скрытно собирали такую информацию в процессе работы в целях отладки и совершенствования систем САПР самими разработчиками. Также в этом случае не может идти речь и о безопасном хранении кодов моделей элементов специального назначения, например с учётом ионизирующего воздействия, поскольку все такие коды пишутся на открытых высокоуровневых языках описания поведения модели.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ АВОКАД

Система АВОКАД представляет собой законченный маршрут проекти-

рования аналоговых схем с возможностью проектирования смешанных аналого-цифровых схем (рис. 1).

Проект в АВОКАД создаётся в подсистеме AVOCapture и имеет знакомую для разработчика ИС архитектуру: библиотека – ячейка – вид. Такая структура позволяет организовать смешанный проект прозрачным образом, когда разработчик в любой момент может заменить одно представление элемента на другое. AVOCapture является полнофункциональным редактором электронных схем с полным набором инструментов для построения сложных проектов (рис. 2).

Одним из основных достоинств системы АВОКАД является подсистема схемотехнического моделирования AVOSpice, которая предназначена для быстрого и точного аналогового (SPICE) моделирования и разработана специально для использования в процессе проектирования сверхбольших интегральных схем. AVOSpice относится к классу программ Fast-SPICE (быстрый и точный симулятор). Благодаря применению оригинальных математических методов AVOSpice обеспечивает более высокую скорость моделирования при сохранении заданной точности.

Отличие существующих программ быстрого и неточного моделирования смешанных схем, построенных на событийных алгоритмах, от программ класса Fast-SPICE можно продемонстрировать на примере результатов моделирования схемы 10-битного аналого-цифрового преобразователя (АЦП 10) (рис. 3).

Из представленных результатов моделирования видно, что результат существенно различается для режима по-

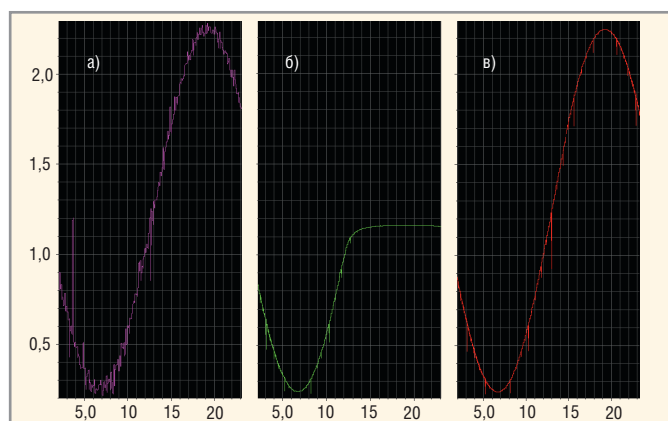


Рис. 3. Результаты моделирования схемы АЦП 10 для различных моделей точности

а) Нелинейная цифровая модель; б) аналоговая модель с постоянными емкостями; в) точная SPICE-модель

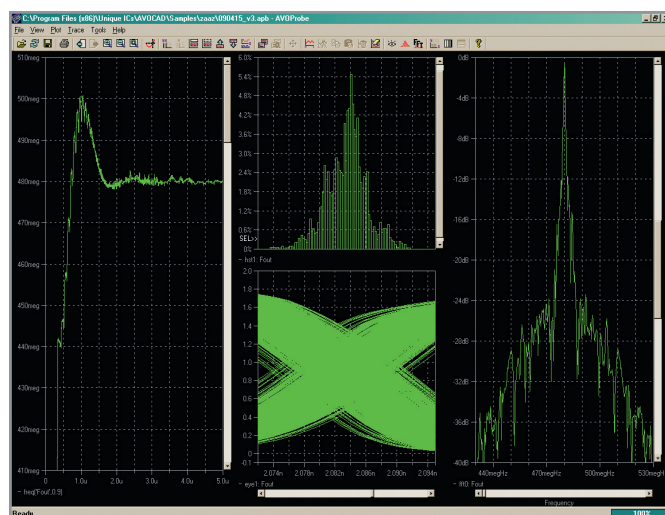


Рис. 4. Обработка результатов моделирования в программе AVOProbe

умолчанию, аналогового режима и режима без ускорения. Причём правильный результат достигается именно при моделировании в режиме без ускорения, когда скорость моделирования соответствует классическим SPICE-программам. В отличие от быстрых и неточных программ, программы класса Fast-SPICE гарантируют правильный результат при моделировании аналоговых схем. Скорость моделирования в программах Fast-SPICE зависит от особенности строения электронной схемы и, как правило, в разы выше, чем в классических SPICE-симуляторах.

Для визуализации и анализа полученных результатов моделирования в рамках системы АВОКАД была разработана программа AVOProbe. Поскольку при моделировании электронных схем сверхбольшой степени интеграции результаты могут занимать десятки гигабайт, при разработке AVOProbe большое внимание было уделено скорости работы с данными и их последующей обработке. Также в AVOProbe предусмотрено более 50 различных функций обработки аналогового сигнала, включая быстрое преобразование Фурье, индикаторные (EYE) диаграммы, гистограммы и другие виды анализа (рис. 4).

УЧЁТ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

В настоящее время технические требования, предъявляемые к аппаратуре систем управления и контроля различного назначения (для ракетно-космической и военной техники, связи и энергетики, а также научного физического эксперимента), определяют возможность их эксплуатации в условиях воздействия ионизирующих излучений. Выделяют два типа ионизирующих излучений – стационарные и импульсные. Среди радиационных факторов естественного и искусственного происхождения наибольшим поражающим действием по отношению к микроэлектронной элементной базе аппаратуры (по энергетическому критерию) обладает импульсное ионизирующее излучение. В ряде случаев достаточно учитывать воздействие стационарного ионизирующего излучения.

Задача проектирования радиационно-стойких схем требует использования специализированных методов и программ моделирования, учитывающих поведение схем при воздействии ионизирующего излучения. Доступные импортные САПР позволяют оце-

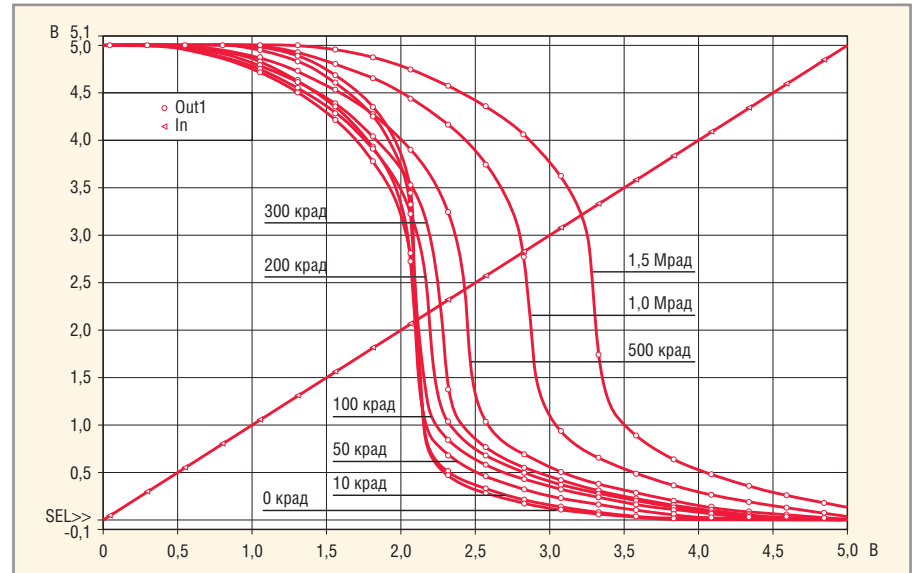


Рис. 5. Передаточная характеристика инвертора при различных дозах радиации

нить влияние стационарного ионизирующего излучения только косвенным образом через процедуру подгонки параметров транзисторов под экспериментальные данные. Однако, как отмечают сами разработчики, этого часто бывает недостаточно, поскольку, получив отрицательный результат, разработчик не находит ответа, как надо модифицировать схему, чтобы соответствовать предъявляемым требованиям. В результате процесс проектирования осуществляется методом «проб и ошибок» и тянется годами. Таким образом, можно утверждать, что в настоящее время в России отсутствуют полноценные современные средства моделирования поведения интегральных схем с учётом ионизирующих излучений. Зарубежные САПР ИС общего назначения не обладают специальными инструментами для схемотехнического моделирования радиационных эффектов. Такие средства разрабатываются специализированными фирмами и не предназначены для продажи.

Для полноценного развёртывания работ по созданию системы схемотехнического моделирования нано- и микросхем с учётом действия дестабилизирующих факторов космического пространства (ДФКП), в том числе и ионизирующих излучений, необходим доступ к исходным кодам программы моделирования. САПР АВОКАД может служить основой для развёртывания таких работ.

Проведённые в инициативном порядке эксперименты по встраиванию в модель МОП-транзистора всего двух эффектов деградации [5] показали существенное отличие поведения схемы

типа инвертор при различных дозах радиации (рис. 5).

Выводы

Разработка полноценной программы моделирования, учитывающей эффекты деградации элементов ИС при воздействии ДФКП, позволит разработчикам ИС исследовать работоспособность схемы до изготовления опытного образца, что существенно образом сэкономит время и ресурсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Deng J., Wong H.-S. P. A compact SPICE model for carbon-nanotube field-effect transistors including nonidealities and its application. Part 1: Model of the intrinsic channel region. IEEE Trans. Electron Devices. 2007. Vol. 54. PP. 3186–3194.
2. Zhang F., Tang R., Kim Y.-B. SET-based nano-circuit simulation and design method using HSPICE. Microelectronics J. August 2005. Issue 8. Vol. 36. PP. 741–748.
3. Boubaker A., Troudib M., Sgbaierb N., Souifi A., Baboux N., Kalboussi A. A SPICE model for single electron transistor applications at low temperatures: Inverter and ring oscillator. Design and Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era. 2008. DTIS 2008. 3rd Intern. Conf. March 2008. Issue 25–27. <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/4531359/4540199/04540266.pdf?arnumber=4540266>.
4. TSMC Unveils New 40/65-Nanometer SPICE Tool Qualification Program. <http://www.tsmc.com.tw/tsmcdotcom/PRListingNewsAction.do?action=detail&newsid=2641&newsdate=2008/04/22>.
5. Чумаков А.И. Действие космической радиации на интегральные схемы. М.: Радио и Связь, 2004.