

# **ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ И ИНФОРМАТИКЕ: ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

**Материалы международной  
научной конференции,  
посвященной 85-летию Белорусского  
государственного университета**

**Минск, 25—28 октября 2006 г.**

# **INFORMATIZATION OF TEACHING MATHEMATICS AND INFORMATICS: PEDAGOGICAL ASPECTS**

**Proceedings of the International  
Scientific Conference  
in honour of 85 years Jubilee  
of Belarusian State University**

**Minsk, October 25—28, 2006**



# ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ УЧЕБНО-ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Л. А. Золоторевич**

*Белорусский государственный университет*

*Минск, Беларусь*

*E-mail: zolotorevichla@bsu.by*

Рассматриваются проблемы подготовки специалистов для отраслей электронного направления. Предлагается программная система моделирования сверхбольших и сверхскоростных интегральных схем, ориентированная на применение в учебном процессе и в промышленности.

*Ключевые слова:* Проблемы проектирования в электронной отрасли, моделирование, тестовое диагностирование.

Отсутствие средств отечественной компьютерной техники, отставание интегральной схемотехники в большой степени обусловлено отсутствием необходимой теоретической базы, недостаточным уровнем подготовки специалистов для работы в данных областях. Особенностью указанных направлений является высокая наукоемкость, большая потребность применения математического моделирования на всех стадиях разработки технологий производства и проектирования устройств, разработки средств их тестового диагностирования. Создание новых субмикронных технологий, проектирование «систем на кристалле» доступно специалистам, обладающим не только знаниями в области физики процессов, но и умеющим грамотно применять математические методы и оценивать степень адекватности разных математических моделей реальным процессам в устройстве, так как математическое моделирование в интегральной схемотехнике является единственным инструментом для исследования проекта.

Общеизвестно, что микроэлектроника и электронная промышленность являются ведущими отраслями любой современной индустриально-развитой страны и служат одним из существенных источников национального дохода, в том числе и валютных поступлений. Как показывает мировой опыт, для устойчивого развития приоритетных направлений промышленности указанные направления получают постоянную государственную поддержку. Необходимость такой поддержки в Беларуси ощущается в первую очередь в плане создания необходимой программно-методической базы для подготовки кадров.

Происходящий весьма активно в последние годы процесс компьютеризации всех отраслей народного хозяйства предоставил большие возможности для внедрения современных технологий. Казалось бы, что наиболее простым, естественным и первостепенным должно быть эффективное использование возможностей современных ЭВМ для быстрого и эффективного развития высоких технологий в наиболее наукоемких областях техники – в микроэлектронике, электронной технике. Однако быстрого проникновения новых технологий в указанные области не произошло по той причине, что указанные технологии являются стратегическими, дорогостоящими и не подлежащими широкому распространению ведущими зарубежными фирмами.

Основными составными частями технологии микроэлектроники являются технология изготовления и технология автоматизированного проектирования. Технология проектирования основана на итерационных процессах синтеза и анализа проектов на основе математического моделирования, которое применяется на различных стадиях проектирования для верификации проектов и разработки средств контроля. В настоящее время отечественной технологией проектирования Республика Беларусь не обладает.

В Республике Беларусь имеются специалисты и научный задел для создания теоретической базы и вместе с тем предпосылок для разработки собственной технологии проектирования в областях микроэлектроники и электронной техники. Только наличие собственной технологии проектирования и современной системы подготовки кадров позволит Республике Беларусь создавать практически конкурентно-способные изделия микроэлектроники и электронной техники за счет применения эффективных структурных решений без огромных капитальных вложений в новые технологии производства. Здесь наиболее широкой является ниша микроконтроллеров, которые обладают наибольшей специализацией и разнообразием функций за счет их широкого применения во встроенных системах управления, в том числе в бытовой аппаратуре. Наличие теоретической базы, своей технологии проектирования обеспечит создание (в русле наметившейся общей мировой тенденции в микроэлектронике, направленной на максимизацию прибыли в рамках старых технологий производства) предпосылок для производства на имеющейся технологической базе заказных и полузаказных интегральных схем.

К сожалению, решение данной задачи возможно только при соответствующем уровне подготовки кадров. Рассмотрим основные направления использования современных технологий в обучении. Первое и наиболее распространенное – использование информационных систем на базе ПЭВМ, обеспечивающих оперативный поиск и обращение к источникам необходимой информации по различным интересующим предметам. Второе – использование обучающих систем, ориентированных на изучение языков программирования, операционных систем и оболочек к ним, баз данных, то есть на изучение инструментальных средств универсального характера. Третье – использование технических средств учебного и производственного назначения, ориентированных собственно на подготовку специалиста в заданной предметной области, к примеру, на подготовку инженера-логика.

Необходимо отметить, что подключение к международной информационной сети не может решить в полной мере задачи оперативного доступа к необходимой информации ввиду ее неполноты или отсутствия. Отечественные информационные системы практически отсутствуют. Наиболее развитым направлением в настоящее время является использование обучающих систем универсального назначения. Достаточно широко используются программные средства для изучения языков программирования, иностранных языков, оболочек операционных систем, текстовых и графических редакторов. При этом применяются как отечественные средства, так и ряд зарубежных продуктов, к сожалению, часто нелегального вида. Изучение и последующее использование программных средств универсального характера позволяет существенным образом повысить уровень использования ЭВМ при решении на ней задач общего назначения: при создании баз данных и систем управления ими, при ведении издательской деятельности и т. д. В то же время для использования ЭВМ при обучении специалистов в конкретной предметной области, в частности, при подготовке специалиста для работы в области САПР микроэлектроники, необходимо в первую очередь разработка математической базы, а также соответствующих информационных и учебных систем, созданных на основе программных средств промышленного назначения.

Следует отметить, что в динамично развивающихся наукоемких отраслях, таких как микроэлектроника, и теоретическая, и практическая базы для подготовки специалистов быстро устаревают и требуют постоянного обновления. Что касается собственно предметной области САПР микроэлектроники, то подобная база первоначально была развита крайне недостаточно. Так до настоящего времени отсутствуют монографии, тем более учебники с изложением известных и применяемых на практике методов построения математических и программных моделей изделий микроэлектронной техники, их сравнительным анализом с точки зрения точности получаемых моделей, эффективности моделирования, с результатами исследований областей их наиболее эффективного применения. Знания в указанной области складываются из разрозненных идей и результатов, с которыми можно ознакомиться только по публикациям в отечественных и зарубежных периодических изданиях. В сложившейся обстановке в республике оказалось очень мало специалистов, которые способны грамотно интерпретировать результаты моделирования проекта, выбрать нужный на соответствующем этапе проектирования метод моделирования, обеспечить максимальный уровень автоматизации процесса проектирования и соответственно ускорить момент запуска изделия в серию.

Исследования как теоретического, так и практического характера в областях микроэлектроники и электронной техники в развитых зарубежных странах осуществляются в широком объеме с привлечением постоянных государственных инвестиций. Однако основные результаты, имеющие практическое применение, в открытой печати публикуются весьма ограниченно. Это касается в равной степени исследований в области физики твердого тела, физики полупроводников, создания субмикронных технологий производства СБИС, а также в области разработки математических методов и моделей и построения систем моделирования технологий и СБИС в целом.

Известно, что более половины общих затрат на проектирование изделий микроэлектроники, функционально-сложных устройств электроники приходится на верификацию проектов на всех этапах проектирования, которая осуществляется на основе математического и имитационного моделирования. Это связано с интерактивностью процессов проектирования, т. к. на сегодняшний день в мире нет автоматических кремниевых компиляторов функционально-сложных устройств, а имеющиеся средства ориентированы все еще на относительно простые проектируемые объекты. Наименее автоматизированы уровни системного и функционально-логического проектирования. Поэтому в проектах зачастую появляются ошибки, связанные с временным рассогласованием сигналов в цепях схемы, ряд других ошибок, что требует проведения комплексного исследования корректности проекта.

Задача автоматического комплексного контроля проекта на всех стадиях, а в особенности полученного после создания топологии, с целью выявления всех видов ошибок проектирования является одной из наиболее актуальных и от эффективности ее решения определяющим образом зависит эффективность проектирования изделия в целом. В связи с большой трудоемкостью задача верификации решается на основе моделирования, которое, в свою очередь, невозможно без построения соответствующих математических моделей объекта на всех этапах проектирования, а также формальных методов установления функциональной эквивалентности моделей различных уровней. К настоящему времени задача сквозной верификации проектов СБИС не получила удовлетворительного решения как в теоретическом, так и практическом плане. Математические модели являются базой для решения задач тестового диагностирования.

Тестовое диагностирование представляет собой один из путей повышения функциональной надежности изделий в интегральном исполнении. Стоимость его, по зару-

бежным данным, составляет до 60 % от стоимости полного жизненного цикла изделия. Задача построения проверяющих тестов для современных цифровых устройств (ЦУ) вызывает большие затруднения, что связано с быстрым ростом сложности и степени интеграции выпускаемых устройств, а также расширением класса рассматриваемых неисправностей, обусловленным применением новых технологий изготовления интегральных схем (например, КМОП-технологий, регулярных матричных БИС, программируемых логических структур и др.). Применение методов проектирования контролепригодных устройств позволяет значительно упростить задачу построения тестов, зачастую сводя ее к задаче диагностики комбинационных схем. Однако в современных ЦУ широко используются функционально-сложные элементы (например, программируемые логические структуры, элементы из микропроцессорных комплектов интегральных схем и др.), на обработку которых не ориентированы известные методы и средства автоматизированного построения тестов. Кроме того, значительно возросшие требования к качеству проверки изделий поставили задачу расширения класса анализируемых физических дефектов и функциональных нарушений. Известные трудности вызывает процесс тестового диагностирования объектов цифровой электроники при отсутствии структурной схемы диагностируемого устройства. Таким образом, с учетом современных достижений в области проектирования и производства объектов микроэлектроники и устройств электронной техники актуальными являются следующие задачи:

- разработка математических моделей для сквозной динамической верификации проектов, позволяющих описывать устройства, содержащие различные базовые элементы, применяемые в современных ЦУ (в том числе функционально-сложные элементы, транзисторные структуры, характерные для МОП-технологии);
- разработка математических моделей физических дефектов и функциональных нарушений, характерных для современных технологий изготовления интегральных схем, пригодных для практического применения в системах автоматизированного построения тестов;
- разработка формальных методов построения диагностических процедур, удовлетворяющих современным требованиям по качеству диагностирования и ориентированных на устройства практической сложности;
- создание на базе разработанной теории диагностирования программных систем автоматизированного диагностирования устройств вычислительной техники, позволяющих удовлетворить предъявляемым требованиям по качеству диагностирования.

Для подготовки специалистов для работы в области САПР микроэлектроники необходима в первую очередь разработка математической базы, а также наличие соответствующих научно- и учебно-исследовательских систем, созданных на основе программных систем промышленного назначения.

В последнем десятилетии определился новый подход к проектированию в микроэлектронике, основанный на применении языка описания и моделирования высокого уровня VHDL. В рамках данного подхода процесс нисходящего проектирования осуществляется автоматически (автоматизированно) от формулировки задания на проектирование в наиболее общем виде и создания проекта на системном уровне до детализации и получения топологического проекта. При таком подходе проект изделия на функционально-логическом и последующих уровнях является результатом автоматизированного синтеза и представляет собой автоматически полученное описание на языке VHDL.

Моделирование некоторой структуры на языке VHDL принципиально отличается от традиционного подхода к моделированию структуры. В первом случае исходными данными для моделирования является программа функционирования моделируемой схемы,

написанная на языке VHDL. Данная программа содержит все особенности функционирования объекта, которые может знать только специалист, проектирующий данное устройство. Поэтому конструктор должен кроме своей предметной области знать в совершенстве также и язык программирования. При втором подходе для моделирования требуется лишь описание списка связности, которое может выполняться специалистом низкой квалификации. Все особенности функционирования структуры при данном подходе учитываются автоматически программой моделирования.

Для эффективного решения задач проектирования на базе использования фирменных систем, таких как ModelSim фирмы Model Technology необходима разработка VHDL-библиотек компонентов, а также средств, позволяющих автоматизировать процесс построения и приложения входной тестовой последовательности, подаваемой на модель в процессе контроля функционирования объекта. Необходимо заново осмыслить и решить задачи анализа качества тестов, генерации тестов и др.

В докладе приводятся практические результаты подготовки специалистов на факультете прикладной математики и информатики в Белгосуниверситете для работы в отраслях электронного направления. В Белгосуниверситете разработана и доведена до уровня промышленного применения программная система VLSI\_SIM (*Very Large Scale Integration – Simulation*) для решения ряда задач интегральной схемотехники и цифровой электроники. VLSI\_SIM предназначена для иерархического моделирования, верификации проектов, решения задач по созданию средств тестового диагностирования цифровых БИС и устройств цифровой электроники, контроля цифровых блоков. Система работает с проектами цифровых БИС, разработанных по МОП и БиКМОП технологиям, и устройств цифровой электроники, представленных на функционально-логическом или функционально-переключательном уровнях.

VLSI\_SIM предназначена также для применения в учебном процессе для изучения цифровых устройств, для получения их моделей с разной степенью точности отражения процессов, для разработки тестов контроля, изучения влияния неисправностей на функционирование устройств, для организации процессов поиска неисправностей и др.

Система VLSI\_SIM позволяет работать с описанием проекта как в текстовом виде на языках поконтрактного описания (поддерживается международный стандарт EDIF), так и с помощью известных графических редакторов. VLSI\_SIM ориентирована на цифровые устройства общего вида, представленные в иерархическом виде как структурная взаимосвязь функциональных компонентов, заданных их автоматными моделями, и фрагментов на уровне транзисторного представления.

Система разработана на языках Delphi, Visual C++, имеет стандартный интерфейс Windows.

В системе обеспечивается:

- подготовка графических и текстовых описаний схем;
- создание и ведение баз данных компонентов схем;
- синтаксический и семантический анализ, трансляция исходных описаний во внутреннее представление для функциональных программ моделирования и генерации тестов;
- логико-динамическое моделирование иерархических структур БИС;
- моделирование неисправностей;
- генерация тестов структур общего вида БИС;
- контроль цифровых блоков.

В докладе излагается опыт применения данной системы при подготовке студентов БГУ.