

## Организация обучения инженеров-системотехников технологиям быстрого прототипирования электронных схем

Южный федеральный университет  
В.Т. Лобач, В.В. Шеболков

В статье описывается организация и принципы обучения инженеров-системотехников автоматизации проектирования электронных устройств на основе технологий быстрого прототипирования в научно-образовательном центре системных технологий проектирования кафедры радиотехнических и телекоммуникационных систем Южного федерального университета.

**Ключевые слова:** образование, автоматизированное проектирование, инженер-системотехник, электронные устройства, быстрое прототипирование, технологии проектирования.

**Key words:** education, automation of designing, systems engineer, electronic devices, rapid prototyping, design technologies.

Задачи повышения качества инженерного образования вузе с учетом современного уровня развития техники, появления новых технологий и требований к качеству и уровню инженерных решений требуют пересмотра некоторых аспектов образовательного процесса. Одним из доминирующих направлений в подготовке инженеров в области радиоэлектроники и телекоммуникаций является обучение студентов методам и технологиям сокращения трудоемкости и сроков разработки инженерных проектов. Необходимость решения этой задачи обусловлена востребованностью на рынке труда инженеров-системотехников (так называемых системных интеграторов) способных реализовывать проектные задачи «от идеи до железа». Возможность ее решения – лавинообразным прогрессом в области электроники и легкой доступностью электронных схем с программируемой архитектурой, наиболее распространенными из которых являются программируемые интегральные схемы (ПЛИС) и сигнальные процессоры (СП). Появление этой элементной базы позволило принципиально

изменить технологии проектирования электронных устройств и соответственно изменить требования к подготовке специалистов для решения этих задач [1].

Специалист в области проектирования электронных устройств помимо традиционной подготовки в области схемотехники должен достаточно хорошо владеть основами программирования, уметь работать с программно-аппаратными средствами проектирования и отладки электронных схем. С компетентной точки зрения инженер-системотехник должен обладать весьма широким спектром знаний и умений в области и фундаментальных, и прикладных наук, умением видеть задачу проектирования в целом, алгоритмизировать ее, увязывать между собой нестыковки и ограничения отдельных частей проекта, оценивать каким образом скажутся изменения тех или иных проектных решений на качестве проекта. Помимо этого он должен хорошо представлять себе возможности средств и технологий автоматизированного проектирования, учитывать возможности и ограничения,

Рис. 1. Технологический цикл проектирования устройств цифровой обработки информации на ПЛИС и СП



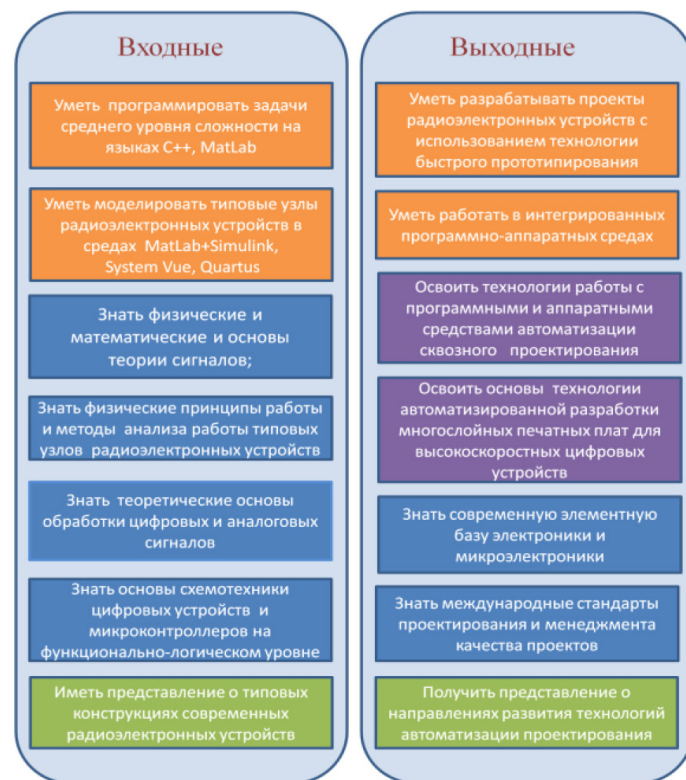
накладываемые используемой элементной базой, конструкцией устройств и технологиями их производства [2].

Организационный аспект задачи требует проведения ряда организационных мер: междисциплинарной координации рабочих программ учебных дисциплин, обеспечения доступа студентов к современным системам автоматизированного проектирования и их информационным ресурсам, обеспечения возможности тесных контактов студентов с инженерами-проектировщиками научно-производственных конструкторских учреждений и организаций.

На кафедре радиотехнических и телекоммуникационных систем Южного

федерального университета с 2010 года ведется подготовка специалистов в области сквозного автоматизированного проектирования устройств цифровой обработки сигналов. Такая подготовка организована для магистров по специализации «Базовые системные технологии проектирования» и специалистов по специальности «Радиоэлектронные устройства». Подготовка магистров осуществляется в первом семестре обучения в рамках дисциплины «Автоматизированное проектирование устройств цифровой обработки информации». Цикл подготовки специалистов двухсеместровый, он предшествует выполнению дипломного проекта и реализуется

Рис. 2. Компетенции студентов



в рамках дисциплины «Основы проектирования и конструирования радиоэлектронных устройств». В течение первого семестра подготовки студенты изучают и осваивают технологию быстрого прототипирования объектов проектирования, во время второго семестра – автоматизацию конструкторского проектирования.

Технологический цикл проектирования радиоэлектронных устройств показан на рис. 1, где цветом выделена часть технологической цепочки, по которой студенты проходят подготовку в рамках вышеперечисленных дисциплин.

Особенностью устройств цифровой обработки информации как объектов проектирования является тесная интеграция двух аспектов: схемотехнического и программного, то есть специалист по проектированию таких устройств

должен одинаково хорошо владеть комплексом компетенций, показанных на рис. 2.

Подготовка ведется по одному из наиболее перспективных и востребованных направлений разработки высокоскоростных цифровых устройств обработки сигналов – методу прототипирования объектов проектирования. Суть этого метода заключается в том, что при проектировании устройства вначале создается его физическая модель – прототип, на базе некоторой стандартной платформы (Kit-design), на которой проводятся предварительная отработка проектируемого устройства и выполняется анализ его работы. После необходимых корректировок, которые вносятся непосредственно в эту физическую модель, проектируется электрическая схема устройства и разрабатывается его

Рис. 3. Организация рабочего места для автоматизированного проектирования



конструкция – многослойная печатная плата и некоторый внешний конструктив (корпус прибора), в котором будет установлена печатная плата.

Метод прототипирования широко применяется в самых разных областях техники [3]. Его применение при проектировании устройств цифровой обработки сигналов, реализуемых на основе сигнальных процессоров (СП) и программируемых интегральных схем (ПЛИС) позволяет существенно сократить временные и материальные затраты на разработку. Как СП так и ПЛИС с точки зрения разработчика можно объединить общим принципом: их работа организуется программным путем. Принцип организации работы устройств цифровой обработки сигналов на основе программирования привлекателен по целому ряду причин наиболее зна-

чимыми из которых являются высокая надежность и относительная дешевизна разрабатываемых, а также возможность их перепрограммирования в процессе эксплуатации.

Kit-design для СП и ПЛИС представляет собой печатную плату, на которой установлены соответствующие СП или ПЛИС и их «обвязка» - узлы, обеспечивающие их работу (тактовые генераторы, переключатели, микросхемы питания, интерфейсов, согласования с внешними устройствами и т.д.), а также устройства индикации и разъемы для связи с внешними устройствами и компьютером. Kit-design через соответствующий интерфейс подключается к компьютеру, на котором устанавливается программное обеспечение для моделирования и автоматизированного проектирования. Через этот интерфейс организуется ин-



формационный обмен между средствами моделирования и автоматизированного проектирования и физической моделью проектируемого устройства.

Исходные данные для проектирования формулируются в техническом задании (ТЗ), где описываются назначение проектируемого устройства и его основные технические характеристики. Результатами проектирования является набор файлов, необходимых для изготовления устройства – файлы прошивки ПЛИС или СП, файлы топологии и сверловки для изготовления печатных плат (gerber-файлы и dreel-файлы), файлы сборочных чертежей и т.д.

Маршруты проектирования устройств обработки цифровых сигналов, реализуемых на ПЛИС и СП несколько различаются: при проектировании устройства на основе СП из маршрута исключается ветвь аппаратной реализации проекта (рис. 1).

Организация типового рабочего места в научно-учебной лаборатории автоматизированного проектирования цифровых устройств показана на рис. 3-4.

Спецификация устройства – перечень основных функций и параметров проектируемого устройства – разрабатывается на основе технического задания на проектирование и представляет собой структурный уровень проекта.

На этом уровне (который также называют системным) выполняется укрупненное рассмотрение всей системы в целом, выбираются структурные схемы устройств, определяются их основные компоненты и их параметры. Этот уровень наиболее трудно формализуется, поэтому возможности автоматизированного проектирования здесь ограничиваются построением упрощенных математических моделей структурных единиц системы. Эти модели (имитационные и расчетные) используются для выбора наиболее значимых параметров структурных единиц (уровней сигналов, их временных и спектральных характе-

ристик, точностных параметров, обеспечением условий электромагнитной совместимости и т.д.). На этом уровне элементами системы являются такие устройства, как процессоры, каналы связи, различные датчики, исполнительные устройства и др. В качестве средств автоматизации проектирования радиоэлектронных устройств на этом этапе используются следующие пакеты программ:

- 1) MatLab корпорации Matworks с подсистемой Simulink;
- 2) SystemVue компании Agilent EESof;
- 3) LabView компании National Instruments.

На уровне аппаратной и программной реализации проекта решаются наиболее трудоемкие и сложные задачи проектирования: разрабатываются функциональные схемы и алгоритмы работы устройств обработки цифровых сигналов, разрабатываются программы, с помощью которых реализуются указанные схемы и алгоритмы, выполняется размещение этих устройств в кристалле ПЛИС. Процедура проектирования на этом уровне выполняется в два этапа: программном и программно-аппаратном. На программном уровне строятся и отлаживаются математические модели функциональных узлов и структурных единиц проекта, после чего выполняется процедура их верификации. На аппаратно-программном уровне выполняется прототипирование разработанных моделей структурных единиц в соответствующей аппаратной платформе (Kit-design), позволяющей проверить работу проектируемого устройства с реальными физическими сигналами.

На этом уровне используются интегрированные программно-аппаратные средства проектирования. В качестве программных средств используются интегрированные пакеты MatLab+ Simulink+Code Composer – для проектирования устройств на основе СП и

MatLab+ Simulink+DSP Builder + САПР Quartus – для проектирования устройств на основе ПЛИС [4].

**Рис. 4. Рабочее место для автоматизированного проектирования**



Интегрированный пакет MatLab+ Simulink+Code Composer позволяет автоматизировать разработку программ для СП компании Texas Instruments. Его использование позволяет сочетать графическое программирование с программированием на языке С. Исходная информация о проектируемом устройстве может частично или полностью вводиться как в графическом виде (в форме функциональных схем в пакете Simulink), а результаты проектирования (выходные файлы) с помощью пакета Code Composer представляться на языке С, либо в форме исполняемых двоичных файлов непосредственно передаваться в флеш-память СП, установленного на аппаратной платформе.

Интегрированный пакет MatLab+ Simulink+DSP Builder + САПР Quartus обеспечивает автоматизированное проектирование устройств обработки цифровых сигналов на основе ПЛИС фирмы Altera. Этот пакет обладает весьма широкими возможностями автоматизации проектирования. Входная информация об устройстве может вводиться непосредственно в САПР Quartus либо в графическом виде в форме функциональной схемы иерархической структуры, либо с помощью HDL-языков. Помимо этого в пакете MatLab+ Simulink+DSP

Builder информация о функциональной схеме устройства может вводиться непосредственно из Simulink и с помощью DSP Builder транслироваться в файлы на одном из HDL-языков. Эти файлы являются входными для САПР Quartus.

Использование перечисленных интегрированных пакетов, позволяет существенно снизить трудовые и временные затраты на автоматизацию разработки алгоритмов и программ для ПЛИС и СП, по сравнению с другими методами, например описанными в работах [5,6]. Вместе с тем следует отметить, что качество программ, полученных таким путем, безусловно уступает программам, разработанным квалифицированным программистом. Однако, исходные коды этих программы доступны для корректировки вручную, что позволяет при необходимости скорректировать их.

В качестве аппаратных средств для проектирования используются упомянутые выше платформы Kit-design, которые связаны с компьютером, где установлены выше перечисленные программные средства, через интерфейсы Jtag, RTDX и USB-Blaster (средствами отладки). Это позволяет организовать обмен данными между установленными на компьютере программами и аппаратными платформами: переписывать в флеш-память установленных на них микросхем СП или ПЛИС разработанные в проекте программы обработки цифровой информации и верифицировать работу разрабатываемого устройства на аппаратном уровне.

В качестве средств измерения используются измерительные приборы, набор которых изменяется в зависимости от вида проектируемого устройства. Общим измерительным средством для всех рабочих мест является широкополосный многоканальный осциллограф.

Конструкторская часть проекта заключается в проектировании многослойной печатной платы. Этот этап проектирования не является тривиальным в



силу высоких скоростей обработки цифровых сигналов, реализуемых на основе ПЛИС. Длительности сигналов, передаваемых по проводникам печатной платы, могут составлять единицы наносекунд, вследствие чего с одной стороны необходимо обеспечить широкополосность конструктива, с другой стороны принять меры к уменьшению взаимного влияния линий передачи сигналов до допустимых пределов и обеспечить условия электромагнитной совместимости разрабатываемого устройства с другими устройствами. Это требует от студентов понимания физики процессов передачи сигналов через электрические цепи с распределенными параметрами и знания методов борьбы с нежелательными явлениями, возникающими при такой передаче. В качестве средства автоматизации кон-

структорского проектирования используется САПР компании Mentor Graphics, позволяющая в той или иной мере решать указанные выше задачи.

Общий вид рабочего места для автоматизированного проектирования показан на рис. 4. В научно-учебной лаборатории научно-образовательного центра кафедры организовано девять подобных рабочих мест, которые различаются типами используемых платформ Kit-design.

Все рабочие места подключены к общему серверу, на котором размещены информационные ресурсы, используемые для автоматизированного проектирования и с которого загружаются соответствующие программные средства для проектирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грушвицкий, Р.И. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой / Р.И. Грушвицкий, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. – СПб., 2006. – 736 с.
2. Автоматизация проектирования систем и средств управления : учеб. пособие / А.Ф. Иванько, М.А. Иванько, В.Г. Сидоренко, Г.Б. Фалк. – М., 2001. – 148 с.
3. Преимущества структурной эволюционной модели быстрого прототипирования [Электронный ресурс] // Языки программирования. Life-prog.ru : сайт. – [2009–2014]. – URL: [http://www.life-prog.ru/1\\_16763\\_preimushchestva-strukturnoy-evolyutsionnoy-modeli-bistrogo-prototipirovaniya.html](http://www.life-prog.ru/1_16763_preimushchestva-strukturnoy-evolyutsionnoy-modeli-bistrogo-prototipirovaniya.html), свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 18.11.2014).
4. Шеболков, В.В. Моделирование компонентов радиоэлектронных устройств в пакете Simulink : учеб. пособие / В.В. Шеболков. – Таганрог, 2012. – 84 с.
5. Шек-Иовсепянц, Р.А. Генерация проектных решений бортового оборудования с использованием аппарата генетических алгоритмов / Р.А. Шек-Иовсепянц, И.О. Жаринов // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 3 (67). – С. 67–70.
6. К вопросу об унификации бортовых алгоритмов комплексной обработки информации / В.Д. Суслов, Р.А. Шек-Иовсепянц, Б.В. Видин, И.О. Жаринов, О.Ф. Немолочнов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49, № 6. – С. 39–40.

#### УДК 378

## Технология обучения экологии как основа формирования экологической безопасной образовательной среды

Калининградский государственный технический университет  
В.А. Даниленкова

**В статье анализируется технология обучения экологии в техническом вузе на основе интеграции, интенсификации, диагностики знаний и ее влияние на формирование экологической безопасной образовательной среды.**

**Ключевые слова:** экологическая безопасная образовательная среда, интеграция, интенсификация, диагностика.

**Key words:** ecological safe educational environment, integration, intensification, diagnostics.

В последнее время уровень и масштаб инженерного образования определяется не только уровнем технологического развития, но и другими факторами, среди которых определяющим является – состояние окружающей среды, экологическая безопасность. Динамично развивающаяся экономика, базирующаяся на высоких технологиях, неизбежно мотивирует развитие инженерного образования, требует от него постоянно актуализировать содержание, обеспечить подготовку инженерных кадров, отвечающих за экологическую безопасность окружающей природы, повышать уровень экологической ответственности у студентов технических вузов.

Как известно, направления инженерной деятельности либо копируют природу, либо, если и создают новое, то лишь в рамках законов природы. Все практические направления деятельности людей базируются на знаниях, полученных в результате образовательной деятельности. Естественнонаучные и технические дисциплины объединены общностью материальных основ и фундаментальных законов природы, которым подчиняются любые материальные процессы.

Блок естественнонаучных дисциплин в техническом вузе, в который входит и

экология описывает с различных сторон один и тот же объект – природу. Блок общепрофессиональных дисциплин по техническим специальностям базируется на естественнонаучных дисциплинах, обслуживающих более 300 технических специальностей, разнообразных по содержанию, но единых по фундаментальности, они базируются на концепциях о материальном единстве окружающего нас мира и на концепции, о единстве законов, которым подчиняются все материальные процессы. Таким образом, подготовка в технических вузах современных инженеров предполагает повышение экологической грамотности на основе интеграции всех видов знаний в сознании студентов.

Под влияние современных экологических проблем сегодня необходимо создать экологическую образовательную среду для обеспечения экологической безопасности студентов.

В связи с этим в инженерном образовании происходят процессы переориентации от узкопрофессионального подхода подготовки специалистов к развитию новой парадигмы образования суть, которой состоит в формировании экологически грамотной широко образованной личности, обладающей системным и



В.А. Даниленкова