

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МИКРОСХЕМ ПЛИС В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ БАКАЛАРОВ НАПРАВЛЕНИЯ "ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ"

С.А. Иванец, А.А. Велигорский
Черниговский государственный технологический университет
Украина, ул. Шевченко 95, г. Чернигов, 14027
Тел. +38(04622) 3-16-96, E-mail: isa@inel.stu.cn.ua, alexveligorsky@gmail.com

Annotation – The experience of teaching of programmable logic device in Chernigiv state technological university is shown in the article. Questions of a choice of element base, the educational courses, the methodical literature are considered. The equipment used for training of students is resulted.

Key words – programmable logic device, Altera, Xilinx, VHDL.

ВВЕДЕНИЕ

Современная электроника развивается огромными темпами, что приводит к появлению новых классов устройств. Одним из таких новых устройств являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Развившиеся из известных всем программируемых логических матриц (ПЛМ) микросхемы ПЛИС на сегодняшний день прочно заняли место рядом с заказными микросхемами и микроконтроллерами. Область использования ПЛИС простирается от простых дешифраторов и периферийных микросхем до высокопроизводительных систем на кристалле. С каждым годом на рынке труда возрастает спрос на инженеров электроники, владеющих навыками разработки устройств на микросхемах программируемой логики, что приводит к необходимости введения в программу подготовки инженеров электронных специальностей курсов, посвященных изучению ПЛИС.

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ КУРСА

При выборе элементной базы следует учитывать следующие факторы:

1. Распространенность на рынке микросхем данного производителя.
2. Стоимость отладочного модуля.
3. Стоимость программного обеспечения (ПО).

Рассмотрим данные факторы подробнее.

Распространенность микросхем. При выборе микросхем для курса нужно помнить, что на сегодняшний день рынок ПЛИС на 90% занимает продукция двух фирм – Altera и Xilinx. Продукция этих фирм слабо отличается между собой, и многие разработки одного производителя имеют прямые аналоги в микросхемах конкурента. Поэтому не является принципиально важным, на какой элементной базе будет происходить обучение. Более важным является возможность и доступность приобретения программного обеспечения, отладочных модулей и поддержка университетов официальными дилерами фирм в Украине.

С другой стороны, микросхемы ПЛИС различаются по производительности и стоимости. Для процесса обучения наиболее подходят микросхемы, которые позиционируются производителями как микросхемы низкой стоимости. Это различные микросхемы семейств Cyclone фирмы Altera [1] и

Spartan фирмы Xilinx [2]. Конфигурация этих микросхем хранится в статическом ОЗУ, что дает возможность их многократного программирования.

Отладочные модули. Существующие на сегодняшний день отладочные модули ПЛИС можно разделить на две группы: фирменные отладочные модули и модули, выполненные под заказ. Типичный модуль (development board) представляет собой 6-8-слойную печатную плату, на которой кроме микросхемы ПЛИС находятся микросхемы статического и динамического ОЗУ, микросхемы флэш-памяти, кнопки и светодиоды для отладки, а также разъемы для подключения различных устройств. Стоимость таких отладочных модулей находится в районе 200 долларов. Однако, как и большинство подобных устройств, эти модули представляют собой платы, не защищенные корпусом, что существенно снижает надежность этих устройств при выполнении лабораторных работ студентами.

Заказные модули могут быть помещены в защитный корпус и снабжены различного рода защитными цепями, что оберегает дорогостоящие микросхемы от различного рода неправильных подключений или механических воздействий. Явным недостатком заказных модулей является их высокая стоимость и сниженная пропускная способность из-за наличия защитных цепей.

Завершающим этапом любого из учебных блоков является работа с отладочными модулями. Это не только позволяет студентам убедиться в работоспособности созданного проекта, но и овладеть навыками отладки сложных схем. И здесь особенно важно, чтобы у студентов был доступ к отладочным модулям и различной контрольно-измерительной аппаратуре. Минимальный состав рабочего места для работы с отладочным модулем ПЛИС должен быть следующим:

- отладочный модуль ПЛИС;
- персональный компьютер с установленным программным обеспечением. Для работы с системами на кристалле в персональном компьютере должен быть также доступен COM-порт, через который производится отладка программы во встроенном процессоре;

- ЦАП и АЦП для ввода-вывода аналоговых данных. Эти микросхемы могут быть в составе отладочного модуля ПЛИС или же находится на отдельных платах, подсоединенных к этому модулю;

- источники постоянного напряжения +5В, ±12 В для питания различных устройств;
- 7-сегментные и ЖК-индикаторы для вывода информации;
- генераторы синусоидального и прямоугольного сигналов;
- осциллограф.

На кафедре промышленной электроники Черниговского государственного технологического университета (ЧГТУ) используются:

1) Четыре заказных отладочных модуля ПЛИС Altera Flex10K10 (рис. 1). Каждый модуль имеет в своем составе микросхему ПЛИС, 8-битный аналогово-цифровой преобразователь AD9057, 8-битный цифро-аналоговый преобразователь AD9708, 7-сегментный 8-разрядный светодиодный индикатор, 16-разрядный жидкокристаллический индикатор с размером знака 5x7. Подключение индикаторов осуществляется посредством разъемов серии PLD, что позволяет при необходимости задействовать данные выводы модуля для сопряжения с другими устройствами. Использование стандартных разъемов CP-50 для ввода-вывода аналоговых сигналов облегчает подключение измерительного оборудования.



Рис. 1. Отладочный модуль ПЛИС Altera.

2) Отладочный модуль Cyclone (рис. 2), имеющий в своем составе: микросхему ПЛИС; 8 МБ флеш-памяти; 1 МБ статического ОЗУ; 16 МБ динамического ОЗУ; контроллер Ethernet с выделенным MAC-адресом; 41 доступный пользователю вывод; поддержку карт памяти Compact Flash; 2 последовательных порта RS-232; 4 пользовательские кнопки; 8 светодиодов, подключенных к выводам ПЛИС; 2 7-сегментных светодиодных индикатора. Микросхема ПЛИС тактируется внешним тактовым генератором частотой 50 МГц.

Программное обеспечение. Специализированное ПО для микросхем программируемой логики выпускается как фирмами-производителями ПЛИС так и третьими фирмами. Однако, завершающая процедура программирования микросхем ПЛИС в любом случае должна производиться с помощью

программ, разработанных производителем соответствующей ПЛИС.

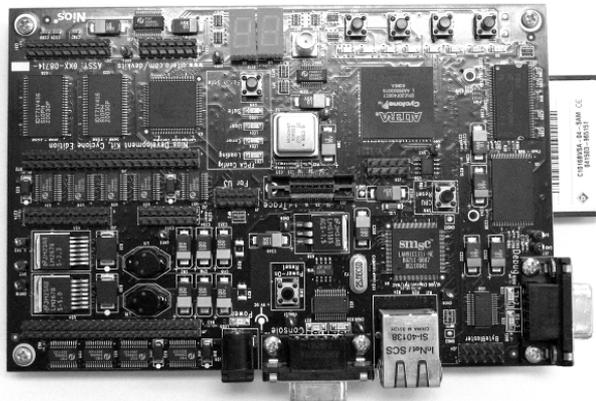


Рис. 2. Отладочный модуль ПЛИС Cyclone.

Фирмы производители ПЛИС кроме коммерческих версий программ предлагают и бесплатные версии ПО, которые отличаются от коммерческих либо объемом микросхемы, либо поддержкой усеченного количества микросхем. Однако эти ограничения не оказывают влияния на изучение микросхем ПЛИС. Бесплатные версии САПР можно либо заказать на сайте фирмы-производителя либо скачать их с этого же сайта. Также, кроме бесплатных версий, существуют различные виды лицензий, которые позволяют либо компилировать, либо программировать проект ограниченное количество раз.

Кроме того, следует учесть то, что фирмы-производители ПЛИС предлагают университетские программы, которые позволяют учебным заведениям получать новейшие версии полнофункционального программного обеспечения бесплатно. В поставку университетской версии ПО кроме фирменной САПР также входят программы третьих фирм, например, компиляторы языков описания аппаратуры или языка С для встроенного процессора для систем на кристалле, а также библиотеки компонентов для моделирования устройств на ПЛИС при помощи Simulink. Наличие такого комплекта существенно упрощает процесс интеграции различных версий ПО и микросхем ПЛИС в единый программно-аппаратный комплекс.

Стоимость программного обеспечения для разработки проектов на ПЛИС достаточно высока и находится в районе 2 тыс. долларов и выше. Поэтому, покупка программ для нескольких рабочих мест оказывается непосильной задачей для украинских ВУЗов.

Обобщая приведенное выше, можно сделать вывод о следующей конфигурации оборудования и программного обеспечения для изучения ПЛИС: отладочный модуль для микросхем семейств Cyclone или Spartan и бесплатно распространяемое программное обеспечение соответствующей фирмы. Этого набора вполне достаточно для выполнения

лабораторных работ из учебных дисциплин как по изучению ПЛИС, так и по изучению цифровой схемотехники.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСА.

Последовательность изучения микросхем программируемой логики, с нашей точки зрения, необходимо строить в таком порядке (рис. 3):

- изучение архитектуры микросхем ПЛИС;
- изучение САПР для разработки систем на ПЛИС;
- изучение одного из языков описания аппаратуры.

Дополнительно к вышеуказанным разделам возможно включение в программу курсов следующих модулей:

- разработка систем на кристалле;
- разработка систем цифровой обработки сигналов.

Подобная структура изучения также предлагается основными производителями ПЛИС на своих тренингах и он-лайн семинарах [4].

Рассмотрим методику изучения приведенных разделов. Дальнейшее изложение будет основываться на изучении ПЛИС фирмы Altera.

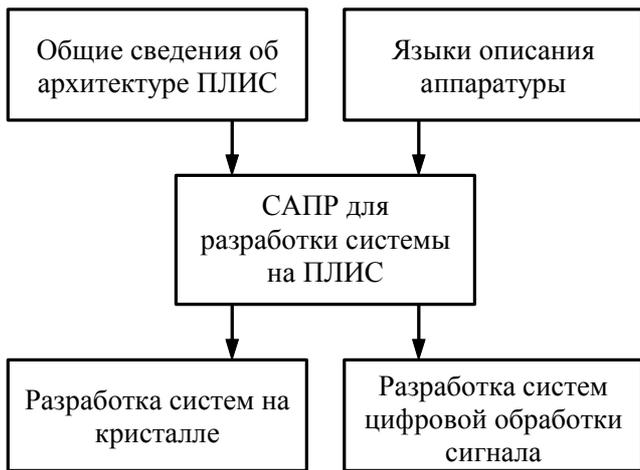


Рис. 3. Схема изучения микросхем ПЛИС.

Изучение архитектуры ПЛИС. Изучение архитектуры несет практическую ценность, которая проявляется при углубленном изучении САПР, поскольку опции компиляции во многом определяются архитектурой ПЛИС, а также анализе и отладке проекта. Данный блок включает следующие темы:

1. Классификация микросхем ПЛИС.
2. Архитектура микросхем FPGA: Flex10K, Cyclone, Stratix.
3. Архитектура микросхем CPLD: MAX7000, MAX II.

В Черниговском государственном технологическом университете изучение архитектуры ПЛИС проводится в рамках курса "Электронные системы" – лекции "ПЛИС Flex10K фирмы Altera. Устройство микросхем и схемотехника основных блоков", "ПЛИС MAX7000 фирмы Altera. Устройство

микросхем и схемотехника основных блоков", "Интерфейсы микросхем", "ПЛИС Cyclone фирмы Altera. Устройство микросхем и схемотехника основных блоков", "ПЛИС фирмы Xilinx. Устройство микросхем Virtex и Spartan", "Перспективные серии микросхем" общим объемом 16 часов.

Изучение САПР. Разработка проектов на ПЛИС полностью производится в специализированном программном обеспечении. В нашем случае – это пакет Quartus II [3], который изучается в рамках курса "Электронные системы". Изучение пакета MAX+PLUS II не представляется целесообразным по причине того, что пакет не поддерживает современные микросхемы и его последнее обновление производилось в 2000 году.

Изучение САПР включает в себя изучение методов создания в графическом редакторе, компиляцию, назначение выводов и различных ограничений компилятора, временной анализ и симуляцию проекта. Завершающим этапом является программирование микросхемы ПЛИС. При изучении этого раздела курса желательно сделать больший упор в лабораторный практикум, а лекционную часть свести к минимуму.

Языки описания аппаратуры. Изучение микросхем ПЛИС должно сопровождаться интенсивным изучением среды проектирования и одного из языков описания аппаратуры. Желательно изучение либо VHDL [5,6] или VerilogHDL. Все остальные языки описания аппаратуры (AHDL, Abel, SystemC) не получили существенного распространения. Сложность изучения языков описания аппаратуры заключается в том, что они являются последовательно-параллельными и требуют хорошего понимания логики работы цифровых устройств. Изучение языка VHDL входит в программу учебной дисциплины "Современная элементная база" – лекции "История развития языков описания аппаратуры", "Структура проекта", "Сигналы и переменные", "Последовательные и параллельные операторы", "Библиотеки компонентов", "Описание комбинационных устройств", "Описание последовательных устройств", "Описание иерархических проектов" общим объемом 18 часов. Кроме лабораторных занятий в объеме 16 часов в этом курсе также имеется курсовой проект, в тематику которого входят: системы управления электродвигателями, системы цифровой обработки сигналов, реализация интерфейсов с различными датчиками и индикаторами.

В современном мире сложность электронной техники постоянно возрастает, поэтому возникает необходимость командной разработки проектов, в которой участвует несколько разработчиков, каждый из которых разрабатывает отдельную часть проекта. В Черниговском государственном технологическом университете уже два года студенты 4 курса в рамках курсовой работы по дисциплине "Современная элементная база" участвуют в групповой разработке. Для этого формируется группа из 8-12 человек, из которой выбирается менеджер проекта, задачей которого является разделение проекта на части и

распределение их между участниками разработки. В процессе выполнения курсовой работы студенты должны разработать не только алгоритмы и схемы выделенной им части проекта, но и согласовать работу своего блока с остальными блоками проекта.

Важно отметить, что использование специализированного САПР для ПЛИС поддерживает командный стиль работы как на уровне ПО, так и на уровне управления ресурсами ПЛИС, т.е. каждый из участников разработки выполняет свою работу независимо от остальных и результаты его работы могут быть проверены независимо от работоспособности проекта в целом.

ЛИТЕРАТУРА ПО ПЛИС

Литература по ПЛИС на украинском языке отсутствует. Среди русскоязычной литературы стоит отметить книги [7,8], которые являются единственными учебниками, полностью посвященным микросхемам ПЛИС. За последний год появилась также книга [9], которая может быть рекомендована в качестве книги для начального ознакомления с данным направлением электроники. Отдельной группой стоят книги, рассказывающие об архитектуре микросхем ПЛИС различных производителей. Однако, литература об использовании САПР для ПЛИС практически отсутствует [3], за исключением статей в периодических изданиях и разрозненных материалов в Интернет. Это объясняется, прежде всего, быстрой сменой версий ПО – два-три раза в год. Поэтому издание подобного рода книг изначально является нерентабельным, а значит, вопросы обеспечения методической литературой по САПР ПЛИС каждому преподавателю необходимо решать самостоятельно путем перевода фирменной документации.

Литература по языкам описания аппаратуры на сегодняшний день в основном описывает язык VHDL [4, 5]. Хороших руководств на русском или украинском языке по использованию языка Verilog нет.

ВЫВОДЫ

Программируемые логические интегральные микросхемы прочно заняли свою нишу на рынке

электронных устройств. Область их использования, а значит и необходимость в специалистах, владеющих навыками разработки устройств на микросхемах ПЛИС, с каждым годом возрастает. Шагая в ногу со временем, на кафедре промышленной электроники Черниговского государственного технологического университета, начиная с 2002 года в учебный процесс введено изучение микросхем ПЛИС. В рамках курсов "Электронные системы" и "Современная элементная база" студенты направления подготовки 6.050802 "Электронные устройства и системы" изучают:

- архитектуру микросхем ПЛИС производства фирм Altera и Xilinx;
- САПР QuartusII;
- язык описания аппаратуры VHDL.

Полученные знания повышают конкурентоспособность выпускников ЧГТУ на рынке труда как области, так и Украины в целом.

- [1] <http://www.altera.com/products/devices/cyclone/cyc-index.jsp>
- [2] http://www.xilinx.com/products/silicon_solutions/fpgas/spartan_series/index.htm
- [3] Системы автоматизированного проектирования фирмы Altera MAX+plus II и Quartus II. Краткое описание и самоучитель. *Зобенко А.А., Филиппов А.С., Комолов Д.А., Мьяльк Р.А.* – М.: Радиософт, 2002. – 360 с.
- [4] <http://www.altera.com/education/training/curriculum/trn-curriculum.html>
- [5] *Авдеев Н.А., Бибило П.Н.* VHDL. Эффективное использование при проектировании цифровых систем. – М.: СОЛОН–Пресс, 2006. – 344 с.
- [6] *Перельройзен Е.З.* Проектируем на VHDL – М.: СОЛОН–Пресс, 2004. – 448 с.
- [7] *Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П.* Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: ВHV–Санкт-Петербург, 2002. – 608 с.
- [8] *Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П.* Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой. Учебное пособие. 2-е изд. – СПб.: ВHV–Санкт-Петербург, 2006. – 736 с.
- [9] *Максфилд К.* Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. – М.: Додэка, 2007. – 408 с.