

(Окончание, начало в №1 – 2/2000, №1/2001)

## Программируемые логические интегральные схемы: обзор архитектур и особенности применения

### Выбор ПЛИС для реализации проекта

Быстрые темпы роста продаж ПЛИС относительно высокой степени интеграции привели к тому, что к началу девяностых годов они стали практически единственной разумной альтернативой БМК и заказным ИС.

К этому времени относятся и первые применения ПЛИС высокой степени интеграции в российских разработках, чему способствовало немало причин. Во-первых, в конце восьмидесятых годов в СССР происходил настоящий бум производства полузаказных БИС на базе БМК. Были закуплены современные (на то время) средства САПР, такие как Compass, SL2000 и др., предназначенные для разработки БМК и заказных БИС. Данные продукты имели неплохой графический интерфейс пользователя и были реализованы на мини-ЭВМ, таких как MicroVAX, HP9000 и др. Разработчики начинали освоение матричной реализации алгоритмов, постепенно накапливая определенный опыт. Характерной особенностью процесса было то, что БМК осваивались не только предприятиями министерства электронной промышленности, но и предприятиями Миноборонпрома, Минобщемаши и других ведомств-разработчиков аппаратуры. Таким образом, разработка собственного изделия в виде БИС стала реальностью. Во-вторых, начаты при "перестройке" экономические преобразования позволили выйти на внешний рынок негосударственным фирмам-импортерам, и западная элементная база перестала быть совершенно недоступной (к тому же были сняты ограничения КОКОМА). В-третьих, были освоены отечественные аналоги PAL микросхем. Однако распад Союза и существующих производственных связей внес свои коррективы. Стало ясно, что прежних объемов финансирования уже не будет, поэтому требовалась альтернатива БМК в малосерийных и опытных разработках. Появление FPGA в России пришлось как нельзя кстати. В частности на FPGA была реализована часть аппаратуры некоторых связных спутников, известны факты применения ПЛИС в разработках специального назначения.

В настоящее время одним из активно развивающихся в России направ-

лений разработок является аппаратура для телекоммуникаций. Несмотря на то, что крупнейшие операторы коммуникаций в нашей стране используют, в основном, готовое западное оборудование, открытым остается вопрос о сопряжении его с существующими отечественными каналами связи, а также реализации дополнительных функций, необходимых потребителю. На базе технологии ПЛИС создаются коммутаторы, системы защиты информации и т. п. Немаловажно, что специальная связь реализуется только на отечественном оборудовании, при разработке которого в последние годы широко используется импортная элементная база, в том числе, ПЛИС. При этом "пионерами" в применении ПЛИС высокой степени интеграции были разработчики из МО и спецслужб, в силу своей специфики первыми получившие доступ к элементной базе и системам автоматизированного проектирования.

Известно, что применение БМК и заказных ИС становится выгодным при больших объемах производства. Для того, чтобы снизить затраты на "обкатку" разрабатываемого алгоритма, представляется целесообразным произвести его отработку на ПЛИС, а затем приступить к проектированию БМК. В настоящее время в России существуют предприятия, способные выпускать БМК емкостью 30–50 тысяч вентилей, работоспособные на частотах в несколько десятков МГц. В частности, подобные разработки в состоянии выполнить коллектив АО "Микрон. Передовые технологии", возглавляемый Ю. И. Щетининым. В ряде случаев подобный подход является неплохой альтернативой применению ПЛИС в особо стойком исполнении, стоимость которых высока, да и возможность импорта, в силу понятных причин, затруднена.

Говорить о собственных российских разработках ПЛИС высокой степени интеграции пока, к сожалению, не приходится. Однако при соответствующей позиции заказывающих ведомств данный вопрос не настолько неразрешим, как может показаться на первый взгляд.

Рассмотрим основные подходы при выборе ПЛИС для реализации проектов. Как известно, при выборе элементной базы руководствуются сле-

дующими критериями отбора:

- I быстродействие;
- I логическая емкость, достаточная для реализации алгоритма;
- I схемотехнические и конструктивные параметры ПЛИС, надежность, рабочий диапазон температур, стойкость к ионизирующим излучениям и т. п.;
- I стоимость владения средствами разработки, включающая как стоимость программного обеспечения, так и наличие и стоимость аппаратных средств отладки;
- I стоимость оборудования для программирования ПЛИС или конфигурационных ПЗУ;
- I наличие методической и технической поддержки;
- I наличие и надежность российских поставщиков;
- I стоимость микросхем.

Рассмотрим с этих позиций продукцию ведущих мировых производителей ПЛИС, имеющих российских дилеров.

Фирма Altera Corporation ([www.altera.com](http://www.altera.com)) была основана в июне 1983 г. В настоящее время High-End продуктом этой фирмы является семейство APEX20K, особенности архитектуры которого упоминались выше, а в таблице 4 приведены основные параметры ПЛИС этого семейства.

Кроме того, Altera выпускает CPLD семейств MAX3000, MAX7000, MAX9000 (устаревшие серии специально не упоминаются), FPGA семейств FLEX10K, FLEX8000, FLEX6000.

*Дополнительным фактором при выборе ПЛИС фирмы Altera является наличие достаточно развитых бесплатных версий САПР. В таблице 6 приведены основные характеристики пакета Max+Plus II Baseline ver. 9.6 фирмы Altera, который можно бесплатно скачать с сайта [www.altera.com](http://www.altera.com) или получить на CD Altera Digital Library, на котором также содержится полный набор документации по архитектуре и применению ПЛИС.*

Кроме того, ПЛИС фирмы Altera выпускаются с возможностью программирования в системе непосредственно на плате. Для программирования и загрузки конфигурации устройств опубликована схема загрузочного кабеля ByteBlaster и ByteBlasterMV. Следует отметить, что новые конфигурационные ПЗУ EPC2 допускают программирование с помощью этого устройства, тем самым отпадает нужда в программаторе, что, естественно, снижает стоимость владения технологией.

ПЛИС фирмы Altera выпускаются в коммерческом и промышленном диапазоне температур.

Компания Xilinx, Inc. ([www.xilinx.com](http://www.xilinx.com)) была основана в феврале

Таблица 6. Основные характеристики пакета Max+Plus II Baseline ver. 9.4

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Поддерживаемые устройства    | EPF10K10, EPF10K10A, EPF10K20, EPF10K30, EPF10K30A, EPF10K30E (до 30000 эквивалентных вентилях), EPM9320, EPM9320A, EPF8452A, EPF8282A, MAX7000, FLEX6000, MAX5000, MAX3000A, Classic |
| Средства описания проекта    | Схемный ввод, поддержка AHDL, средства интерфейса с САПР третьих фирм, топологический редактор, иерархическая структура проекта, наличие библиотеки параметризуемых модулей           |
| Средства компиляции проекта  | Логический синтез и трассировка, автоматическое обнаружение ошибок, поддержка мегафункций по программам MegaCore и AMPP   |
| Средства верификации проекта | Временной анализ, функциональное и временное моделирование, анализ сигналов, возможность использования программ моделирования (симуляторов) третьих фирм                              |

1984 г., ее High-End продуктом являются ПЛИС семейства Virtex, рассмотренные ниже.

Архитектура семейства Virtex характеризуется широким разнообразием высокоскоростных трассировочных ресурсов, наличием выделенного блочного ОЗУ, развитой логикой ускоренного переноса. ПЛИС данной серии обеспечивают высокие скорости межкристалльного обмена – до 200 МГц (стандарт HSTL IV). Кристаллы серии Virtex, за счет развитой технологии производства и усовершенствованного процесса верификации, имеют достаточно низкую стоимость (до 40% от эквивалентной стоимости серии XC4000XL).

Помимо семейства Virtex, Xilinx выпускает FPGA семейств XC3000A, XC4000E, Spartan, XC5200, а также CPLD XC9500 и малопотребляющую серию CoolPLD (которая ранее выпускалась фирмой Philips).

Существует бесплатная версия САПР – WebPACK, поддерживающая CPLD XC9500 и CoolPLD, ввод описания алгоритма с помощью языка описания аппаратуры VHDL.

Следует заметить, что Xilinx существенно обновил модельный ряд как своих ПЛИС, так и программного обеспечения, которое теперь разрабатывается с участием фирмы Synopsys. Для ВУЗов предусмотрены значительные скидки на ПО.

ПЛИС Xilinx выпускаются не только в коммерческом и промышленном диапазоне температур, но и с военной (Military) и космической (Space) приемкой.

Компания Actel Corporation ([www.actel.com](http://www.actel.com)) была основана в 1985 г. Особенностью ПЛИС Actel является применение так называемой Antifuse технологии, представляющей собой создание металлизированной перемычки при программировании. Данная технология обеспечивает высокую надежность и гибкие ресурсы трассировки, при этом не требуется конфигурационное ПЗУ. По данной технологии выпускаются

семейства ACT1, ACT2, 1200XL, а также новые семейства 54SX, A40MX и A42MX (современными модулями памяти), имеющих хорошие показатели “цена – логическая емкость” (ПЛИС, заменяющая 300–350 корпусов логических микросхем,

стоит \$10 и способна работать на частоте более 250 МГц).

Данные ПЛИС являются хорошей альтернативой БМК при среднесерийном производстве.

ПЛИС нового семейства ProASIC фирмы Actel имеют емкость до 500000 эквивалентных логических вентилях. Их отличительной особенностью является энергонезависимость, обусловленная применением Flash технологии, а также наличие интегрированного на кристалле запоминающего устройства.

Для проектирования устройств на ПЛИС фирмой Actel распространяется бесплатный пакет Actel DeskTOP, содержащий средства ввода проекта, моделирования, генерации тестов разработки VeriBest и средства синтеза разработки Synplicity. Пожалуй, система проектирования Actel DeskTOP является наиболее мощным из всех бесплатных пакетов САПР ПЛИС.

К сожалению, микросхемы Actel, выпускаемые по Antifuse технологии, требуют применения специального программатора, стоимость которого пока еще весьма высока. Однако их отличает высокая надежность, поэтому они являются весьма перспективной базой для специальных применений. Так, ПЛИС серии RH1280, имеют следующие характеристики:

- l допустимая доза облучения 300000 РАД;
- l логическая емкость 16000 эквивалентных вентилях;
- l быстродействие до 135 МГц.

ПЛИС данного типа были применены в системе управления и обработки изображения цифровой видеокамеры робота-марсохода Pathfinder и в формирователе кадра для передачи информации на Землю. В настоящее время выпущены радиационно-стойкие ПЛИС новых семейств.

ПЛИС всех семейств Actel выпускаются в коммерческом и промышленном диапазоне температур, а также с военной и космической

приемкой.

Увеличение эквивалентной логической емкости ПЛИС привело к тому, что в 1998–1999 гг. началось изменение отношения к программному обеспечению САПР ПЛИС как со стороны разработчиков ПО, так и со стороны пользователей. Если до конца девяностых годов основным средством описания проекта являлся ввод схемы с помощью графических редакторов с использованием библиотек стандартных логических примитивов (логических элементов, простейших комбинационных и последовательностных функциональных узлов, аналогов стандартных ИС малой и средней степени интеграции 74-й серии), то в настоящее время актуальным является использование языков описания аппаратуры (Hardware Description Languages) для реализации алгоритмов на ПЛИС. Причем в современных САПР поддерживаются как стандартизованные языки описания аппаратуры, такие как VHDL, Verilog HDL, так и языки описания аппаратуры, разработанные компаниями-производителями ПЛИС специально для использования только в своих САПР и учитывающие архитектурные особенности конкретных семейств ПЛИС. Примером может служить AHDL (Altera Hardware Description Language), поддерживаемый САПР Max+Plus II и Quartus компании Altera. Кроме того, многие крупные фирмы-производители САПР интегральных схем активно включились в процесс создания ПО, поддерживающего ПЛИС различных производителей. Это позволяет проводить разработку алгоритмов, пригодных к реализации на ПЛИС не только разных семейств, но и различных производителей, что облегчает переносимость алгоритма и ускоряет процесс разработки. Примером таких систем являются продукты серии FPGA Express фирмы Synopsys, OrCAD Express фирмы OrCAD, продукты фирм VeriBest, Aldec, Cadence Design Systems и многих других.

С ростом логической емкости кристалла ПЛИС стало обычным явлением участие третьих фирм в разработке фирменных пакетов САПР ПЛИС. Примером являются поставляемый фирмой Xilinx пакет ПО Alliance, содержащий в своем составе компилятор FPGA Express фирмы Synopsys, пакет Actel DeskTOP, содержащий средства ввода проекта, моделирования, генерации тестов разработки VeriBest и средства синтеза разработки Synplicity; пакет FPGA Compiler II Altera Edition фирмы Synopsys; а также САПР для ПЛИС фирмы Atmel.

Также, характерным в настоящее время является и наличие готовых модулей (ядер, cores), мегафункций

(mega-functions), предназначенных для решения достаточно сложных задач обработки сигналов. Быстрыми темпами идет разработка готовых функций усилиями третьих фирм. Так, в августе 1995 г. была создана программа поддержки партнеров-разработчиков мегафункций (AMPP, Altera Megafunction Partners Program). К 1999 г. в данной программе участвует 21 независимая фирма-разработчик. Основную массу разработок составляют мегафункции, реализующие стандартные микропроцессоры и микроконтроллеры, устройства обслуживания шинных магистралей (ISA, PCI), сетевые контроллеры и т. д. Типичными предложениями средств ЦОС являются мегафункции, реализующие быстрое преобразование Фурье (БПФ) и фильтры конечной импульсной характеристики (КИХ-фильтры). Фирма Vendor объявила о реализации фильтра бесконечной импульсной характеристики (БИХ-фильтра) и медианного фильтра. Лидером по разработке мегафункций в области ЦОС является фирма Integrated Silicon Systems (ISS). Этой фирмой разработаны библиотеки мегафункций БИХ-фильтров, фильтров обработки изображений, медианных фильтров, а также мегафункции, реализующие некоторые алгоритмы адаптивной обработки сигналов.

В составе САПР фирмы Xilinx имеется генератор логических ядер (Core Generator). Сгенерированные ядра (LogiCore) представляют собой функциональные параметризованные блоки системного уровня, предназначенные для применения в цифровой обработке сигналов. Среди ядер фирмы Xilinx имеются разнообразные КИХ-фильтры, построенные на основе распределенной арифметики с возможностью каскадирования, интерполяции и децимации, структуры фильтров без использования умножителей, корреляторы, перемножители, аккумуляторы, сумматоры/вычитатели, делители, БПФ на 1024 точки. Кроме того, фирма Xilinx поддерживает программу разработки готовых решений для САПР AllianceCORE.

Несмотря на вышеперечисленные программы, до сих пор на рынке отсутствует ПО для реализации нелинейных, оптимальных и большинства типов адаптивных структур; не реализованы давно известные алгоритмы последовательностной фильтрации. Между тем, из бесед с разработчиками на ведущих предприятиях становится ясно, что существует огромная потребность в реализации известных и хорошо обоснованных теоретически алгоритмов, тем более, что становится обычным применение импортной элементной базы и в разработках специального назначения.

Разумеется, в рамках одной статьи невозможно охватить все аспекты, связанные с архитектурой ПЛИС и их производителями. Остались нерассмотренными изделия ряда фирм, например, фирмы Dynachip. В следующих статьях цикла мы будем рассматривать вопросы, связанные с проектированием устройств ЦОС на современной элементной базе, особенности их схемотехники и конструирования, а также некоторые аспекты применения специализированного программного обеспечения при разработке устройств.

### **Литература**

1. Вицын Н. *Современные тенденции развития систем автоматизированного проектирования в области электроники*. // *Chip News*, № 1, 1997, с. 12–15.
2. Губанов Д. А., Стешенко В. Б., Храпов В. Ю., Шипулин С.Н. *Перспективы реализации алгоритмов цифровой фильтрации на основе ПЛИС фирмы ALTERA*. // *Chip News*, № 9–10, 1997, с. 26–33.
3. Губанов Д. А., Стешенко В. Б. *Методология реализации алгоритмов цифровой фильтрации на основе программируемых логических интегральных схем*. // *Сборник докладов 1-й Международной конференции “Цифровая обработка сигналов и ее применения”* 30.06–3.07.1998, Москва, МЦНТИ, том 4, с. 9–19.
4. Щербаков М. А., Стешенко В. Б., Губанов Д. А. *Цифровая полиномиальная фильтрация: алгоритмы и реализация на ПЛИС* // *“Инженерная микроэлектроника”*, № 1, март 1999, с. 12–17.
5. Губанов Д. А., Стешенко В. Б., Шипулин С.Н. *Современные алгоритмы ЦОС: перспективы реализации*. // *“Электроника: наука, технология, бизнес”*, № 1, 1999, с. 54–57.
6. Шипулин С. Н., Губанов Д. А., Стешенко В. Б., Храпов В. Ю. *Тенденции развития ПЛИС и их применение для цифровой обработки сигналов* // *“Электронные компоненты”*, № 5, 1999, с. 42–45.
7. Стешенко В. *Школа разработки аппаратуры цифровой обработки сигналов на ПЛИС*// *“Chip News”*, 1999, №8–10, 2000, № 1,3–5.
8. Стешенко В. Б. *Школа схемотехнического проектирования устройств обработки сигналов*. // *“Новые компоненты и технологии”*, №3–8, 2000 г.
9. Стешенко В. *ПЛИС фирмы ALTERA: проектирование устройств обработки сигналов – М.: “Додека”, 2000.*
10. Стешенко В. Б. *Особенности проектирования аппаратуры цифровой обработки сигналов на ПЛИС с использованием языков описания аппаратуры* // *Сборник докладов 2-й Меж-*

*дународной конференции “Цифровая обработка сигналов и ее применения” 21.09–24.09.1999, Москва, МЦНТИ, том 2, с. 307–314.*