



*Кривошеин Борис Николаевич*

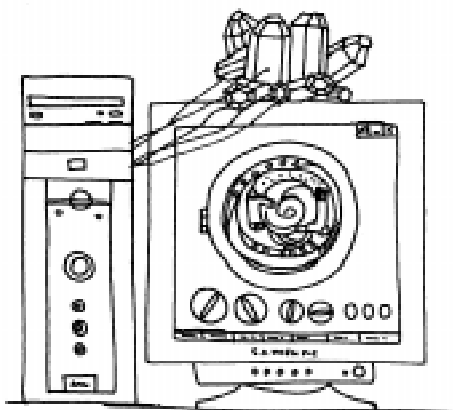
## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

В наше время трудно представить себе мир без электронной техники. Компьютеры, которые еще 10–20 лет назад были доступны только узкому кругу специалистов, сегодня проникли во все сферы нашей жизни и стали столь же привычны, как телевизор или автомобиль. В то же время у этого «взрывного» роста есть и обратная сторона: купив новый компьютер, через 2–3 года вы обнаружите, что он безнадежно устарел и современное программное обеспечение отказывается на нем работать. Эти неудобства – плата за новые возможности компьютеров, появляющиеся быстрее, чем мы успеваем привыкнуть к старым. Производительность серийных персональных компьютеров сегодня намного выше, чем у «больших ЭВМ» 70-х годов, занимавших целые залы и предназначенных для одновременной работы множества пользователей. Что же послужило движущей силой такого развития? Это, в первую очередь, развитие электронных технологий. Современные технологии позволяют создавать микросхемы с расстоянием между элементарными логическими элементами (вентильями) всего в 0,11 микрона. Именно технологический рост позволяет так быстро выпускать новые версии процессоров и каждые 2–3 года создавать «новое поколение» персональных компьютеров.

В то же время прогресс технологий производства и увеличение объемов интегральных схем требует и новых подхо-

дов к разработке цифровых систем. Кроме фирм-гигантов, занимающихся созданием универсальных процессоров и компьютеров нового поколения, существует множество компаний, работающих над проектированием автоматизированных систем на производстве, современных средств связи и управляющих устройств. Люди редко задумываются над тем, что за «начинка» находится внутри техники, которой они пользуются каждый день. Мобильные телефоны, цифровые фотоаппараты и видеокамеры, безопасные автомобили обязаны своим появлением тому же развитию электроники, что и персональные компьютеры. Конечно, все эти новинки появились только благодаря новым технологиям разработки нестандартных, специализированных систем. Что же это за технологии?

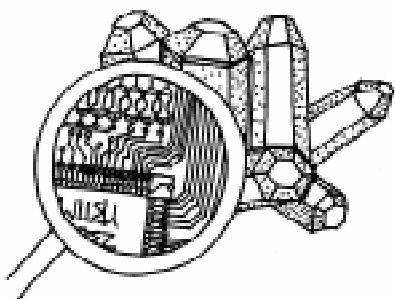
Очень большую роль сыграло появление электронных компонентов нового типа – программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Лет 10–15 назад, до наступления эры ПЛИС, только крупные производители могли себе позволить выпустить специализированную (ориентированную на конкретную задачу) интегральную схему, потому что разработка такой микросхемы и ее серийный выпуск требуют огромных затрат и с точки зрения разработки, и с точки зрения производства. Выпуск такого компонента коммерчески оправдан только при большой серии – от десятков до сотен тысяч уст-



*Инженер... может описать его поведение на языке программирования так же, как это делают программисты для персональных компьютеров...*

ройств. В то же время очень большая ниша электронных устройств с низкой серийностью оставалась незанятой.

Кристалл типа ПЛИС – это серийное (а значит, недорогое) устройство, которое содержит матрицу блоков, выполняющих логические функции, и встроенную сеть ресурсов, связывающих эти блоки. Функции каждого блока и структура связей между ними задаются программой пользователя. Инженер, создающий новое устройство, может описать его поведение на языке программирования так же, как это делают программисты для персональных компьютеров, но эта программа с помощью системы проектирования преобразуется в программу конфигурации ПЛИС. Загрузив файл конфигурации в ПЛИС, мы можем обращаться с ней, как с микросхемой, которая выполняет уни-



*Загрузив файл конфигурации в ПЛИС, мы можем обращаться с ней, как с микросхемой, которая выполняет уникальные функции...*

кальные функции, заданные пользователем. Таким образом, технология ПЛИС позволила создавать недорогие и компактные устройства без производства уникальных микросхем, ориентированных на приложения (*Application Specific Integrated Circuit, ASIC*).

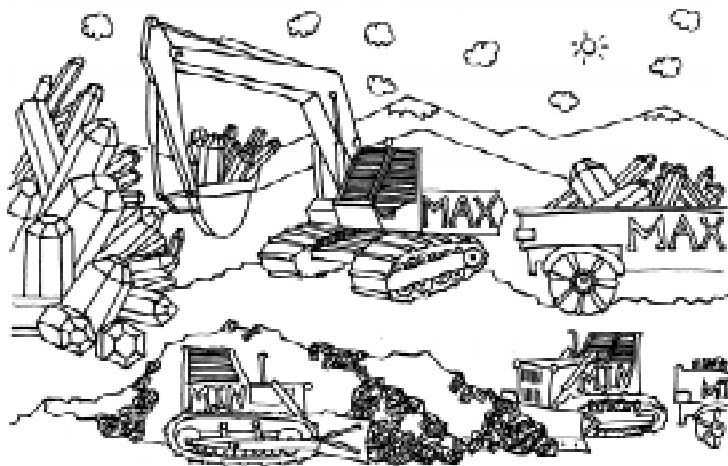
В начале 90-х годов основной областью применения ПЛИС было построение прототипов электронных устройств с последующим переходом к микросхемам, ориентированным на приложения (*ASIC*). Применением ПЛИС решалась задача удешевления процесса разработки микросхем, поскольку выпуск нескольких версий специализированной микросхемы требует больших расходов. Подготовка к производству интегральной схемы – сложный и дорогой процесс, а разработка большой электронной системы не может быть выполнена идеально с первого раза. Требуется несколько итераций, чтобы получить требуемый результат, и для каждой итерации необходимо пройти процесс отладки. Только очень крупные компании могли позволить себе разработку и выпуск специализированных микросхем, и требовалось решение для расширения этого рынка, чтобы дать возможность небольшим предприятиям разрабатывать свои собственные микросхемы. Компоненты ПЛИС дали возможность создавать аппаратные макеты на базе серийно выпускаемых микросхем и полностью отладить устройство до выпуска микросхемы, которая будет использоваться в серийном производстве.

В то же время в серийных устройствах компоненты ПЛИС не использовались из-за их дороговизны и ограниченного объема. По мере развития технологий микросхемы ПЛИС становились все больше по объему, быстродействию, набору функций и при этом дешевели. Сегодня можно приобрести микросхему ПЛИС объемом в несколько сотен тысяч вентилей и быстродействием, измеряющимся сотнями миллионов операций в секунду, всего за 20–30 долларов. Это позволяет применять ПЛИС в серийных изде-

лиях, и многие известные фирмы, такие как Hewlett Packard и Texas Instruments, широко используют эту возможность.

Кроме этого, открылись и новые области применения технологий ПЛИС. Одна из таких областей – аппаратный реинжиниринг. До сих пор в мире используется множество специализированных компьютеров и управляющих систем, разработанных в конце XX века, которые уже не удовлетворяют современным требованиям. В то же время эти системы используют программное обеспечение, которое достаточно надежно, к тому же персонал хорошо умеет им пользоваться. Понятно, что замена такого программно-аппаратного комплекса на новый – это очень большой, дорогостоящий проект. Нередко программное обеспечение таких систем создается и отлаживается годами, так что переход на новое оборудование может быть очень болезненным. Есть и другой подход – сохранить программное обеспечение, подменив аппаратную часть новой системой, полностью совместимой на программном уровне.

Приведу один пример. Наше предприятие было одним из первых в России, использующих технологии ПЛИС в задачах аппаратного реинжиниринга. Такую работу мы проводили, в частности, для реинжиниринга телефонной станции МТ-20. Эта станция была разработана фирмой Alcatel в конце 70-х – начале 80-х годов и по сей день является самой массовой цифровой АТС в нашей стране. На сегодня в России установлено 269 таких станций, к которым подключено более 3 миллионов абонентов. АТС МТ-20 была первой цифровой телефонной станцией в СССР, но, естественно, за 20 лет, которые прошли с момента ее разработки, вся аппаратная часть очень сильно устарела, а многие из компонентов, необходимых



*Только очень крупные компании могли позволить себе разработку и выпуск специализированных микросхем...*

для ее производства, уже не выпускались. В то же время появились новые программные протоколы, которые из-за нехватки производительности невозможно реализовать на этой станции. Во многих городах требовалось увеличить число абонентов. Станция МТ-20 была рассчитана на 20 тысяч абонентов, и подключить при старом процессоре больше абонентов было невозможно.

Таким образом, перед операторами стоял целый комплекс задач, которые можно было решить двумя способами: либо купить и установить новую станцию, что, естественно, очень дорого, либо модернизировать станцию МТ-20. Конечно, при модернизации требовалось полностью сохранить оригинальное программное обеспечение, которое было сертифицировано для этой станции и хорошо знакомо персоналу. Мы пошли по второму пути и в результате разработали совершенно новый процессор на базе микросхемы ПЛИС (для таких систем сейчас используют термин «Система в кристалле» – *System on chip, SoC*). При этом внутри одной микросхемы нам удалось реализовать функции аппаратуры, которая раньше занимала несколько больших стоек – целый ряд шкафов с сотнями печатных плат. Новый процессор не только заменил устаревшее оборудование, но и открыл новые возможности: с увеличением произ-

водительности и объема памяти в 6–8 раз к станции МТ-20 теперь можно подключить до 80 тысяч абонентов, тем самым она получила «вторую жизнь». Таким образом, если сравнить систему 20-летней давности с современной, легко увидеть, что одна и та же функциональность в то время требовала огромного количества оборудования, а сейчас может быть реализована на одной микросхеме ПЛИС с конфигурацией, разработанной под задачу.

Технология разработки сложных систем на платформе ПЛИС была бы невозможна без комплекса программных средств, обеспечивающих синтез электрической схемы устройства и ее реализацию в микросхеме. Как выглядит сегодня процесс разработки электронных систем? Всем известно, как устроен компьютер, что такое программирование и как организован процесс создания программ. Программист описывает поведение некоторой системы, затем, пользуясь специальными инструментами, например, Visual C++ или другой средой разработки, отлаживает эту систему и, наконец, транслирует это описание в исполняемый код компьютера. Таким образом, программист, работающий на языке высокого уровня, создает алгоритмическое описание, которое не привязано к аппаратной платформе и может при необходимости переноситься на любую вычислительную систему. В этом случае программа, описывающая алгоритм решения задачи, транслируется в машинный код, который исполняется процессором. При создании больших аппаратных систем необходимо иметь такую же удобную среду ввода и возможность описывать алгоритмы работы электронных схем на языках высокого уровня.

Создание таких систем – сложная задача, требующая глубоких знаний в области математики и электроники, поэтому она может быть решена только большим коллективом специалистов. В настоящие время такие системы создаются, как правило, рабочими группами или предприятиями, непосредственно связанными с производителями ПЛИС. Использование

программных средств разработки и синтеза электронных систем с помощью языков VHDL и Verilog уже стало стандартом де-факто, поскольку без таких средств невозможно описать систему, состоящую из миллионов вентилях. Современный разработчик цифровых систем, в отличие от инженера-электронщика образца 80-х годов, не рисует электрические схемы. Разработка современных электронных систем ведется с помощью языков высокого уровня и средств автоматизированного проектирования, так же, как в случае программирования для обычного компьютера.

Грани между программированием и электроникой сейчас все больше стираются, и появляются новые подходы к проектированию программно-аппаратных комплексов, такие, как кодизайн – разработка системы без начального разделения на часть, реализуемую программно, и часть, реализуемую аппаратно. Это разделение происходит в процессе разработки и уже с помощью средств автоматизированного проектирования, которые позволяют получить оптимальную реализацию системы. При этом и программная часть, и аппаратная часть описываются на языках высокого уровня.

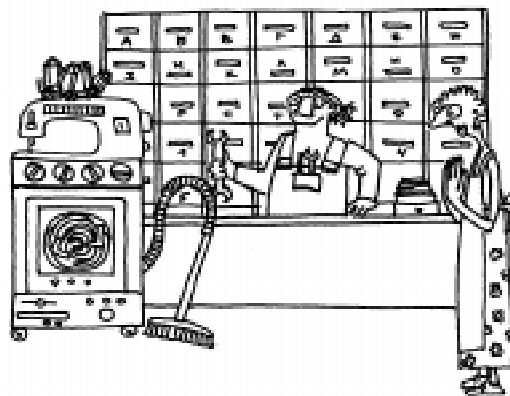
Такой подход, кроме удобства поведенческого описания системы, имеет еще массу преимуществ. Аппаратные блоки, описанные в виде модулей, могут собираться в библиотеки. Один из очень важных современных принципов разработки – повторное использование компонентов, и именно он позволяет создавать сложные системы за короткое время

Считается, что уже через несколько лет до 90 % объема электронных схем будут порождаться из библиотечных элементов. Таким образом, разработчик будет заниматься только новыми свойствами системы, а различные « типовые » блоки, например, интерфейсные или реализующие стандартные протоколы, будут использоваться повторно. Возможен и обмен (или торговля) между компаниями такими программными модулями. Этот рынок уже существует и активно развивается. Исполь-

зование готовых модулей – практически единственный способ создания сложных электронных систем с реальным временем выхода на рынок. В условиях конкуренции любая компания, занимающаяся разработками таких систем, обязана следовать этому принципу.

Высокие темпы развития электронных технологий, которые мы видим сегодня, возможны только благодаря фундаментальным исследованиям, которые проводятся многими крупнейшими научными центрами мира. В первую очередь, это касается технологий производства интегральных схем. За каждой «ступенькой» роста производительности компьютеров стоят серьезные исследования в области физики и техники. Еще одна важнейшая задача – это создание систем автоматизированного проектирования нового поколения. Эффективные средства логического синтеза, оптимизации системы, поддержки кодизайна могут быть созданы только на базе фундаментальных математических исследований. Часто результаты таких исследований находят применение лишь через 10–20 лет, но без них движение вперед невозможно.

К сожалению, наша российская наука и промышленность «прозевала» начало бурного роста этих направлений, и сегодня мы отстаем не только в технологиях производства микросхем, но и в области создания средств автоматизации проектирования электронных систем. Безусловным лидером в этой области являются США, интересные результаты есть в крупных европейских университетах, наши же отечественные разработки пока не могут с ними конкурировать. Конечно, и в российских университетах существуют небольшие научные группы, занимающиеся проблемами логического синтеза, оптимизацией алгоритмов, технологиями проектирования, но эти группы не могут создать продукт промышленного уровня. Таким образом, наши разработчики сегодня «привязаны» и к импортной элементной базе, и к импортным программным средствам проектирования.



*...через несколько лет до 90% объема электронных схем будут порождаться из библиотечных элементов...*

Думаю, что в России существует достаточно серьезная научная база для создания собственных электронных технологий, но для ее развития требуется государственная поддержка и большее внимание со стороны научного сообщества. Появление нового, быстро растущего направления в развитии общества не всегда подкрепляется должным вниманием со стороны ученых, привыкших к своей научной «нише», но в наше время нельзя полагаться только на традиционные дисциплины, если мы хотим оставаться лидерами в научном мире. Это прекрасно понимают в странах Европы и США, создавая в крупных университетах целые факультеты и научные центры компьютерных наук, системного проектирования, кодизайна. Считаю, что в этом мы вполне можем и должны взять пример с наших западных коллег.

Теперь можно подвести некоторые итоги.

Область применения цифровых электронных устройств сейчас резко расширяется. С одной стороны, это связано с тем, что появилась достаточно дешевая элементная база, которая позволяет создавать управляющие системы, средства связи и другую сложную электронную технику, доступную самому широкому кругу людей. С другой стороны, появились мощные системы автоматизированного проектирования, позволяющие очень быстро

разрабатывать сложные системы при минимальных затратах труда. Новые поколения интегральных схем дали возможность создавать в одной микросхеме мощные интеллектуальные устройства, которые раньше могли быть реализованы только с помощью сотен и тысяч электронных компонентов. При этом нынешние устройства обладают гораздо большей производительностью и эффективностью, поскольку внутри «кристалла» информация передается всегда намного быстрее, чем в системе, состоящей из множества разнесенных устройств. Современные микросхемы, как универсальные, так и специализированные, могут работать на частотах до 2 ГГц, в то время как на печатной плате и между отдельными устрой-

ствами частоты передачи данных, как правило, находятся в пределах 100–200 МГц. Дополнительные преимущества миниатюризации – снижение энергопотребления и высокая надежность. Если сравнить по надежности устройство, выполненное на одной микросхеме, и аналогичное устройство, состоящее из тысячи микросхем, очевидно, что надежность первого будет выше примерно в тысячу раз.

Ключом к созданию устройств такого уровня служат современные технологии разработки электронных систем, и в наших интересах уже сегодня позаботиться о завтрашнем дне, чтобы занять достойное место в списке лидеров. Думаю, что нашим ученым и инженерам это вполне по силам.



Наши авторы, 2002.  
Our authors, 2002.

*Кривошеин Борис Николаевич,  
начальник отдела телекоммуникаций  
и встроенных систем ГУП «Терком»,  
Санкт-Петербург.*