

ВЫБОР ПРАВИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Такой широкий выбор

Наша жизнь была бы намного проще, если бы не приходилось постоянно что-нибудь выбирать. Например, заказывая обычный воскресный американский завтрак, состоящий из яиц, бекона, жареной картошки и тоста, можно потратить уйму времени из-за большого количества альтернатив.

Во-первых, официантка спросит, как именно яйца вам приготовить (глазунью, слабо прожарить, средне прожарить, сильно прожарить, болтунью, омлет, яйцо-пашот, вкрутую и так далее). Затем вас спросят, желаете ли вы американский или канадский бекон, подать ли вам картофель с луком, томатом, сыром, ветчиной, чили или сразу с несколькими из этих продуктов; хотите ли вы, чтобы хлеб для тоста был белый, ржаной, пшеничный, приготовленный из муки грубого помола, на опаре...

Самое ужасное, что сложность выбора завтрака меркнет по сравнению с выбором ПЛИС, так как в мире существует огромное множество семейств этих устройств от разных производителей. Линейки и семейства изделий одного и того же производителя частично совпадают, а изделия от разных производителей могут как совпадать, так и иметь разные особенности и возможности. И эта ситуация с завидным постоянством меняется почти ежедневно.

Главное, чтобы инструмент был

Прежде, чем приступить к обсуждению этой темы, стоит отметить, что размер — это еще не самое главное в мире ПЛИС. На самом деле при выборе устройства нужно руководствоваться и такими требованиями к нему, как количество контактов ввода/вывода, наличие логических ресурсов, специальных функциональных блоков и так далее.

Вместе с тем, следует учитывать, имели ли вы прежде дело с каким-либо определённым производителем или семейством ПЛИС, или столкнулись с ними впервые. Если у вас уже есть опыт работы с каким-либо поставщиком и вы уже знакомы с использованием его компонентов, инструментов и методов проектирования, тогда стоит сотрудничать с ним и в дальнейшем, пока не появится веская причина, чтобы перейти к продукции другого производителя.

Однако в нашем случае давайте предположим, что мы начинаем с самого начала и, следовательно, не можем отдать предпочтение какому-либо поставщику. В подобной ситуации выбор оптимального устройства для конкретного проекта будет представлять собой довольно сложную задачу.

Знакомство с архитектурой, ресурсами и возможностями различных семейств компонентов от разных производителей ПЛИС требует много времени и усилий. В современном мире время выхода нового товара на рынок настолько ограничено, что разработчики могут про-

В 1939 г., в Америке, Джордж Стибиц (George Stibitz) разработал цифровой калькулятор, способный складывать комплексные числа и выполнять другие алгебраические вычисления. Это устройство назвали калькулятором комплексных чисел (Complex Number Calculator).

1939 г. Америка. Джон Атанасов (John Atanasoff) и Клиффорд Берри (Clifford Berry) собрали первый специальный цифровой компьютер, который должен был производить вычисления с помощью электронных ламп. Его назвали ABC (Atanasoff-Berry Computer). Работы по доводке компьютера продолжались до 1942 года.

В 1939 г. компания Bell Labs приступила к тестированию высокочастотного радара.

В том же 1939 году Мессерс Бай (Messers Bay) и Бела Сигети (Szigeti) запатентовали светодиод.

известии лишь поверхностную оценку всего многообразия существующих устройств, прежде чем остановиться на определённой модели, серии и производителе. Таким образом, выбранная ПЛИС почти наверняка не является оптимальным компонентом для устройства, но такова жизнь.

В процессе выбора хотелось бы получить доступ к какому-нибудь своему рода мастеру, желательно Web-приложению, позволяющему осуществлять выбор ПЛИС по определённым признакам. Эта программа позволила бы нам подобрать конкретного производителя, сделать подборку производителей или произвести открытый поиск по производителям

Мастер запросил бы у нас значения таких параметров, как количество эквивалентных вентилях заказной микросхемы (ASIC) или количество системных вентилях ПЛИС (при условии, что существуют хорошие определения этих понятий, см. гл. 4), а также требования к контактам и интерфейсам ввода/вывода, допустимые варианты корпуса и т. д.

Для больших схем мастер выдал бы запрос о необходимости использования гигабитных передатчиков или встроенных функций, например, умножителей, сумматоров, операций умножения с накоплением, блоков ОЗУ (как встроенного, так и распределённого ОЗУ) и т. д. Мастер также позволил бы нам определить, нужен ли доступ к встроенным микропроцессорным ядрам (аппаратным или программным) с выбором соответствующей периферии.

И ещё, не менее важное, было бы здорово, если бы мастер мог подсказать, какие потребуются блоки интеллектуальной собственности. Коль мечтать, так мечтать! И в завершении, после нажатия кнопки Готово создавался бы подробный отчет, содержащий допустимые варианты, их возможности и расценки.

Спустившись на грешную Землю, мы обнаруживаем, что на самом деле таких программ пока нет в природе¹⁾, поэтому нам придётся производить все эти оценки вручную. Ну, разве это не чудесно?

Разумеется, создание такого приложения не было бы тривиальной задачей, и его поддержка потребовала бы определённых временных затрат, но я уверен, что проектные организации или инженеры-разработчики готовы выложить кругленькую сумму за такую услугу, если бы кто-то рискнул принять вызов и справился бы с этой задачей.

Технология изготовления

Прежде всего, нам предстоит выбрать технологию, на основе которой будут построены ПЛИС. Имеются следующие варианты для выбора:

- **На основе ячеек статического ОЗУ** — несмотря на то, что устройства, изготовленные по такой технологии, отличаются чрезвычайной гибкостью, для их работы потребуется внешнее конфигурационное устройство (как правило, микросхема памяти), а сам процесс конфигурирования после включения системы может занять несколько секунд. Первые версии этих устройств могли потреблять большой ток из-за больших кратковременных токов переключения, но эта проблема уже решена в современных устройствах. Основное преимущество этого варианта заключается в том, что он основан на стандартной КМОП-техно-

¹⁾ В своё время существовали средства, подобные описанным здесь, которые помогали выбирать программируемые логические устройства (ПЛУ), но работали они со значительно менее сложным пространством решений.

логии и не требует никаких дополнительных шагов в процессе производства. Это значит, что ПЛИС на основе ячеек статического ОЗУ изготавливаются с использованием самых современных технологических процессов.

- *На основе наращиваемых перемычек* — эта технология предлагает наилучшую защиту для блоков интеллектуальной собственности (IP), а также обеспечивает низкое энергопотребление, мгновенную готовность к работе, и не нуждается во внешних конфигурационных устройствах (что позволяет сократить стоимость, размеры и вес печатной платы). Устройства на основе наращиваемых перемычек, в отличие от всех других технологий, отличаются повышенной радиационной стойкостью, что представляет интерес для авиакосмических приложений. К сожалению, эти устройства не подходят для применения в качестве прототипов, так как являются однократно программируемыми. Также устройства на основе наращиваемых перемычек отстают на одно или несколько поколений от текущего уровня технологического процесса, так как в отличие от КМОП-устройств при их производстве необходимо задействовать дополнительные технологические этапы.
- *На основе технологии Flash* — хотя эти устройства обладают большей степенью защиты, чем при использовании ячеек статического ОЗУ, но, применительно к блокам IP, они всё же уступают по этому показателю устройствам на основе наращиваемых перемычек. ПЛИС-компоненты на основе технологии Flash не требуют для своей работы внешних конфигурационных устройств и при необходимости могут быть перепрограммируемы внутрисистемно. Также как и компоненты на основе наращиваемых перемычек, Flash-устройства мгновенно готовы к работе сразу после включения, но и они отстают на одно или несколько поколений от текущего уровня технологического процесса, так как в отличие от КМОП-устройств при их производстве необходимо задействовать дополнительные технологические этапы. К тому же эти устройства обычно содержат гораздо меньшее количество вентилях, чем их аналоги на статическом ОЗУ.

В 1939 году в Англии началось регулярное телевидение.

1939 г. Америка.
Джордж Стибитц (George Stibitz) продемонстрировал первый пример удалённых вычислений между Нью-Йорком и Нью-Гемпширом.

Основные ресурсы и корпус

После выбора технологии изготовления микросхем надо определить, какие устройства будут удовлетворять вашим потребностям в ресурсах, и в каком корпусе они могут быть реализованы. Что касается основных ресурсов, в большинстве случаев ограничивающим фактором является количество выводов микросхемы, только при создании устройств, требующих обработки сложных алгоритмов (например, преобразование цветового пространства), вы столкнетесь с ограничениями по количеству логических элементов. Итак, независимо от типа устройства нам необходимо принять решение о количестве требуемых контактов ввода/вывода, и определить приблизительно количество основных логических элементов (таблиц соответствия и регистров).

Как уже обсуждалось в гл. 4, сочетание таблиц соответствия, регистров и связующей логики одни называют *логическими элементами*, а другие — *логическими ячейками*. В общем случае предпочтительнее пользоваться именно этими категориями, чем структурами более высокого уровня — *секциями*, *конфигурируемыми логическими блоками* (КЛБ или CLB — *configurable logic block*) или *блоками логических массивов* (LAB — *logic array bloc*), так как определение этих более сложных структур может меняться в зависимости от семейства устройств.

В 1940 г. Bell Labs приступила к разработке технологии сотовой связи (но до рыночного уровня эта технология доводилась почти 30 лет).

В 1941 г. осуществлена первая коротковолновая передача.

Далее надо определить, какие компоненты содержат достаточное количество зон синхронизации, систем ФАПЧ, систем автоматической подстройки по задержке или *цифровых диспетчеров синхронизации (DCM — digital clock manager)*.

И напоследок, при наличии собственных конкретных требований к корпусу было бы хорошо, чтобы устройства, которые привлекли наше внимание, находились в требуемом корпусе. Я знаю, это кажется само собой разумеющимся, но готовы ли вы побиться об заклад, что до вас никто не споткнулся на этом?

Интерфейсы ввода/вывода общего назначения

Следующий пункт для обдумывания заключается в выборе микросхем, которые располагают конфигурируемыми блоками ввода/вывода общего назначения, поддерживающие стандарты и технологии передачи данных, необходимые для связи с другими компонентами на печатной плате.

Предположим, что в начале процесса проектирования разработчики системы выбрали один или несколько стандартов ввода/вывода для обмена между устройствами на печатной плате. Вам повезёт, если удастся найти такую ПЛИС, которая поддерживает все требуемые стандарты, а также предоставляет другие необходимые возможности. В противном случае можно:

- выбрать другое семейство, может быть, от другого поставщика — если в результате первоначального отбора ПЛИС не удовлетворяет некоторым обязательным общим требованиям или требованиям к функциональным возможностям;
- если изначально выбранный ПЛИС-компонент только частично удовлетворяет предъявляемым требованиям, то вы можете использовать дополнительные внешние навесные элементы (подобное решение приведет к повышению стоимости устройства и уменьшению свободного места на печатной плате). В качестве альтернативы, совместно с командой разработчиков системы вы можете изменить архитектуру печатной платы. Это решение может оказаться довольно дорогим, если разработка системы уже достигла некоторого высокого уровня.

Встроенные умножители, блоки ОЗУ и т. д.

На некотором этапе выбора устройства вам необходимо произвести оценку требуемого объема распределенной оперативной памяти (распределенного ОЗУ) и количества встраиваемых блоков ОЗУ (с учетом требуемой разрядности).

Аналогично, необходимо подумать о количестве специальных встраиваемых функций, таких как умножители и сумматоры, а также об их разрядности и возможностях. В случае разработки системы для цифровой обработки сигналов (ЦОС) некоторые ПЛИС могут содержать встроенные функции, подобные операциям вида «умножение с накоплением» (MAC), которые будут крайне полезны для решения этих задач и могут помочь принять верное решение при выборе компонентов.

Встроенные микропроцессорные ядра

При желании использовать в своём проекте встроенные процессорные ядра придется принять решение, будет ли программное ядро достаточным для решения поставленных задач (такие ядра могут быть

реализованы в микросхемах многих семейств) или лучше применить аппаратное ядро (см. гл. 13).

В случае выбора программного ядра можно принять решение об использовании наработок, предлагаемых производителем ПЛИС. В этом случае вы ограничиваете себя продукцией только выбранного производителя, поэтому необходимо произвести тщательный анализ всех возможных вариантов до принятия окончательного решения. В качестве альтернативы можно использовать программные ядра сторонних разработчиков, которые могут быть реализованы на устройствах от разных поставщиков¹⁾.

При использовании аппаратного ядра возникнут проблемы, связанные с ограниченным выбором микросхем, и, в конечном итоге, вы окажетесь жестко привязанными к продукции одного конкретного производителя. На процесс принятия решения может оказать влияние личный опыт работы с различными типами процессоров. Если, например, вы обладаете «черным поясом» в вопросах построения систем на основе платформы PowerPC, то наверняка пожелаете вложить свои капиталы в средства разработки и технологии для этой платформы. Таким образом, решение, вероятнее всего, будет в пользу ПЛИС фирмы Xilinx, поскольку они поддерживают платформу PowerPC. Однако если вы «гуру» в отношении процессоров ARM или MIPS, то наверняка предпочтёте продукцию компаний Altera или QuickLogic.

Возможности гигабитного ввода/вывода

Если в системе необходимо использовать гигабитные приемопередатчики, то предметом обсуждения должно стать число таких блоков в устройстве и конкретный стандарт передачи, выбранный разработчиками системы (см. гл. 21).

Блоки интеллектуальной собственности

Каждый поставщик ПЛИС имеет свой набор блоков, представляющих интеллектуальную собственность (блоки IP). Часто эти средства у разных поставщиков во многом схожи, но какие-то важные скрытые функции могут быть реализованы только устройствами конкретного производителя, что может существенно ограничить выбор компонентов.

Альтернативой может стать приобретение права на интеллектуальную собственность у стороннего поставщика. В этом случае блоки интеллектуальной собственности могут быть использованы применительно ко многим ПЛИС от разных поставщиков или только к ограниченному числу (или к определённому подмножеству микросхем от этих поставщиков).

Необходимо заметить, что, в общем, под термином *блок IP* мы подразумеваем аппаратную реализацию некоторых функций, но какие-то блоки интеллектуальной собственности могут быть реализованы также в форме программных решений²⁾. В качестве примера рассмотрим функцию связи, которая может быть реализована аппаратно в составе

В 1941 г. появились первые кнопочные телефоны с тональным вызовом (которые были слишком дорогими для массового использования).

В период 1942-1946 гг. в Германии Конрад Зюс (Konrad Zuse) разрабатывает идею высокоуровневого компьютерного языка программирования, который получил название Plankalkul.

1943 г. Германия. Конрад Зюс (Konrad Zuse) начал работу над своим компьютером общего назначения под название Z4, который работал на электромеханических реле.

1944 г. Америка. Говард Айкен (Howard Aiken) и его команда завершили построение электромеханического компьютера под названием Harvard Mark I (который также известен как IBM ASCC).

В 1945 году венгерский и американский математик Джон фон Нейман (John Von Neumann) опубликовал статью под названием «Предварительный доклад о машине EDVAC».

¹⁾ Примером решения такого типа может служить продукт под названием Nexar компании Altium Ltd. (www.altium.com), который рассматривался нами в главе 13.

²⁾ Существуют также средства тестирования, представляющие собой интеллектуальную собственность, которые мы рассматривали в главе 19.

В 1946 году Перси Спенсор (Percy Spensor) изобрел микроволновую печь (первые продажи которой состоялись в 1947 году).

1945 г., научный фантаст Артур Кларк (Arthur Clark) выдвинул гипотезу о геостационарных спутниках связи.

1946 г. Америка. Джон Моучли (John Mauchly) и Преспер Эккерт (Presper Eckert) совместно с командой разработчиков завершили построение электронного компьютера общего назначения под названием ENIAC.

1946 г., автомобильный радиотелефон был подключен к телефонной сети.

23 декабря 1947 г. американские физики Уильям Шокли (William Shockley), Вальтер Браттейн (Walter Brattain) и Джон Бардин (John Bardeen) создали первый в мире точечный германиевый транзистор.

структуры ПЛИС, либо может представлять собой программу, которая будет выполняться встроенным процессором. В последнем случае вы можете принять решение о покупке такой программы у стороннего разработчика, тогда фактически вы приобретёте программное средство интеллектуальной собственности.

Скоростные показатели

После выбора ПЛИС для своего устройства необходимо определиться со скоростью его работы. Поставщики ПЛИС обычно при определении стоимости своих устройств в качестве главного критерия рассматривают его производительность (скорость работы).

Увеличение скорости работы устройства, в результате которого производительность возрастет на 12...15%, приводит к увеличению его стоимости на 20...30%. И наоборот, если вы можете с помощью изменения архитектуры вашего устройства улучшить его производительность на 12...15% (скажем, с помощью увеличения длины конвейера), тогда это позволит снизить скорость его работы и сэкономить на каждой микросхеме от 20 до 30% её стоимости.

Если вы намереваетесь создать только одно устройство в качестве прототипа какой-либо системы, тогда скорость его работы не будет являться для вас существенным фактором. С другой стороны, если вы собираетесь покупать сотни или тысячи этих маленьких штучек, тогда вам предстоит очень серьёзно подумать, насколько медленными устройствами вы можете обойтись.

Вся проблема заключается в том, что модификация и перепроверка RTL-описания для выполнения ряда оценок вида «что-если» разных альтернативных реализаций одного и того же устройства требует много времени и больших усилий. (Выполнение таких оценок может включать формирование некоторых операций в параллельном и последовательном режимах, с применением конвейера и без него, с распределением ресурсов и так далее.) Это значит, что команда разработчиков может быть ограничена в анализе возможных реализаций устройства, что в конечном итоге, может привести к неоптимальному решению.

Как рассматривалось в гл. 11, в качестве альтернативы можно использовать методы проектирования на основе чистой (стандартной) версии языка С. Такое проектирование подразумевает использование С/С++ анализа и синтеза, которые позволяют приходить к микроархитектурным компромиссным решениям, а также оценивать их эффективность по размеру (или площади) и частоте шины (скорости работы) устройства. Это позволяет повысить производительность устройства, и, тем самым, снизить требуемую скорость работы системы.

На оптимистической ноте

Мой друг Том Диллон (Tom Dillon) сказал, что после того, как я заставлял всех описанными выше сложностями, я должен закончить свой рассказ на оптимистической ноте. Поэтому с радостью могу сообщить, что после того, как команда разработчиков остановила свой выбор на каком-либо из поставщиков ПЛИС и освоила работу с его линейкой продуктов, в течение некоторого времени это существенно облегчит выбор нового устройства для последующих проектов.