

БМК КОМПАНИИ UniqueICs

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Новый базовый матричный кристалл (БМК) компании UniqueICs (www.uniqueics.ru, г. Зеленоград) предназначался в первую очередь для реализации ее собственных проектов, но воспользоваться возможностями созданного БМК компания предлагает также и другим разработчикам заказных цифровых БИС.

Пятнадцать лет назад заказные цифровые БИС разрабатывались практически исключительно на основе базовых матричных кристаллов. Позднее применение БМК стало неэффективным из-за снижения стоимости производства микросхем, развития ПЛИС и микропроцессоров, а также появления новых САПР. Однако в последние два года опять появилось множество предложений по разработке заказных БИС на основе БМК. Это обусловлено объективными причинами. Во-первых, с уменьшением размеров элементов значительно увеличилась стоимость фотошаблонов. Для размеров 0,18 мкм фотошаблоны стоят раз в десять дороже, чем для размеров 1,5 мкм. Во-вторых, во многих заказных БИС с субмикронными размерами элементов не удается эффективно использовать всю площадь кристалла, поскольку его размеры определяются числом контактных площадок. Конечно, БМК не являются универсальным средством реализации цифровых микросхем, однако для ряда задач их применение оказывается экономически эффективным. Проанализируем существующие варианты реализации заказных цифровых БИС и сформулируем оптимальные условия использования БМК.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАКАЗНЫХ ЦИФРОВЫХ БИС

Цифровые устройства в основном реализуются как цифровые автоматы (в виде заказных БИС) либо как программируемые устройства на основе серийно выпускаемых микропроцессоров и ПЛИС. Программируемые устройства не требуют разработки и выпуска специальных микросхем, относительно дешевы и доступны. Однако, по сравнению с цифровыми автоматами, такая интегральная характеристика, как произведение потребляемой электрической мощности на вычислительную производительность, у них на порядок хуже. Ниже и надежность, поскольку программируемые функции хранятся в элементах электронной памяти и подвержены сбоям.

Цифровые автоматы являются основой промышленной и военной электроники, так как обеспечивают наилучший комплекс технических параметров. Технология производства ИС позволяет сегодня реализовать на кристалле ИС десятки миллионов логических элементов. Однако многофункциональные цифровые автоматы такой сложности использовать нельзя, поскольку число выводов существующих типов корпусов микросхем недостаточно. Системы на кристалле (СНК), объединяющие несколько цифровых автоматов (блоков) и управляющий микропроцессор, позволяют снизить требования к числу выводов за счет того, что функции выводов корпуса программируются и в каждый момент времени информацией с выводами обмениваются

Д.Адамов,
Ю.Адамов,
Ю.Тишин



лишь ограниченное число блоков. СНК – это компромиссное решение, обеспечивающее многократное увеличение степени интеграции заказных БИС. Рассмотрим подробнее структурные характеристики цифровых БИС.

Число выводов. Эмпирически давно установлена связь между уровнем сложности цифровой БИС и необходимым числом сигнальных выводов. Эта связь известна как правило Рента:

$$K = C \cdot N^r, \quad (1)$$

где K – число сигнальных выводов, N – число логических элементов в схеме, а C и r – коэффициенты Рента, определяемые на основе статистики завершенных проектов.

Величины коэффициентов Рента зависят от внутренней структуры БИС. Опубликованы следующие их значения:

- простые цифровые автоматы (менее 30 тыс. вентиляей) – $r = 0,4 \div 0,45$, $C = 1,0 \div 1,1$;
- сложные структурированные цифровые автоматы (более 30 тыс. вентиляей) – $r = 0,33 \div 0,35$, $C = 5 \div 6$;
- микропроцессоры и СНК – $r = 0,2 \div 0,25$, $C = 4 \div 6$;
- микросхемы памяти не подчиняются правилу Рента.

Технологии монтажа печатных плат и сборки БИС ограничивают возможности увеличения числа выводов микросхем. Для большинства заказных микросхем число выводов не должно превышать шестисот. Этот уровень обеспечивает реализацию цифровых автоматов, содержащих до миллиона вентиляей. Дальнейшее расширение функциональности возможно только за счет организации шинной структуры сигнальных связей и программирования назначения выводов. Для этого на кристалле БИС должен быть микропроцессор, благодаря которому заказная схема превращается в СНК. При ограничении сложности до 500 тыс. вентиляей для реализации заказных цифровых автоматов можно использовать дешевые пластмассовые корпуса с числом выводов до 240. И именно в диапазоне до 500 тыс. вентиляей эффективно применение БМК.

Площадь кристалла. Результирующая площадь кристалла определяется площадью, занятой под реализацию логических элементов, сигнальных связей, а также периметром, необходимым для размещения контактных площадок. Вклад каждого из этих факторов зависит от используемой технологии производства ИС. Для наглядности сравним две распространенные КМОП-технологии с минимальными размерами 0,25 мкм и 0,6 мкм.

Число уровней металлизации в КМОП-технологии с минимальным размером 0,6 мкм составляет $B = 3$, а в технологии с размером 0,25 мкм – $B = 4$. Средняя площадь простого двухвходового логического элемента – около $15 X_{min} \times 15 X_{min}$, где X_{min} – минималь-



ный размер. Размер кристалла, ограниченный площадью вентиляей, равен:

$$D_1 = 15 \cdot X_{min} \cdot N^{0,5}, \quad (2)$$

где N – число эквивалентных двухходовых вентиляей в схеме.

С ростом сложности площадь проводников S в схеме увеличивается быстрее, чем площадь логических элементов, за счет вклада длинных связей между блоками. В общем случае

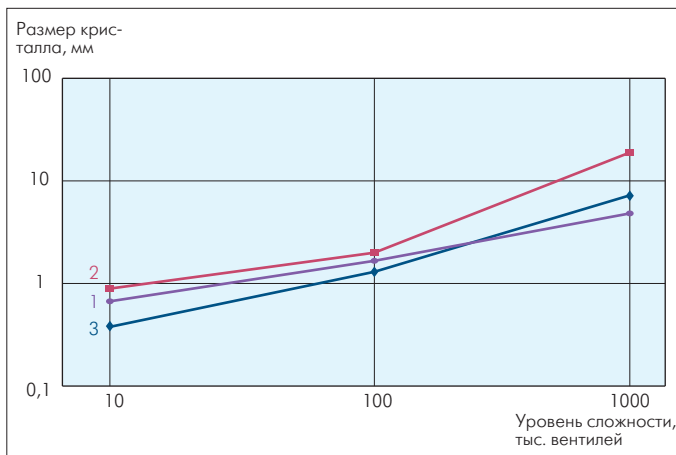
$$S = \frac{A^2}{B^2} \cdot N^{1,5}, \quad (3)$$

где A – масштабный коэффициент, примерно равный шагу металлизации ($A \approx 3 \cdot X_{min}$). Размер кристалла оценивается как

$$D_2 = \frac{A}{B} \cdot N^{0,75}, \quad (4)$$

Если число выводов K велико, то площадь может ограничиваться периметром, необходимым для размещения контактных площадок. Технология сборки не позволяет размещать площадки с шагом менее 100 мкм. Поэтому размер кристалла ограничивается площадками и не может быть меньше

$$D_3 = 0,01 \text{ мм} \cdot \frac{K}{4}. \quad (5)$$



Зависимость минимального размера кристалла от уровня сложности

На рисунке приведены зависимости минимальных возможных размеров кристаллов от уровня сложности для различных технологий. Линия 1 соответствует размеру кристалла, ограниченному периметром, рассчитанному с использованием формул (1) и (5) без учета технологии. Линия 2 соответствует технологии 0,6 мкм, линия 3 – технологии 0,25 мкм. Для технологии 0,6 мкм размер кристалла определяется внутренней структурой БИС, а не требуемым числом выводов. Применение БМК в данном случае будет существенно ухудшать и технические, и экономические показатели заказной БИС. Для технологии 0,25 мкм размер кристалла определяется числом выводов. На кристалле более половины площади не занято логическими элементами и проводниками. Поэтому в таком случае использование разреженной матричной структуры БМК не приводит к росту площади кристалла, а стоимость разработки значительно ниже. Область эффективного применения БМК для КМОП-технологии с минимальными размерами элементов 0,25 мкм – устройства со сложностью до 500 тыс. вентиляей. Это значит, что при производстве по этой технологии реализация довольно широкого спектра заказных БИС экономически более выгодна именно на основе БМК.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БМК КОМПАНИИ UniquelCs

Созданный компанией UniquelCs БМК на 200 000 вентиляей предназначен для разработки цифровых интегральных схем с рабочей частотой до 90 МГц. Матрица БМК содержит 200 000 четырехтранзисторных нескоммутированных ячеек, используемых для построения функциональных узлов ИС, и 84 ячейки для реализации элементов ввода-вывода. По периферии кристалла на фиксированных местах расположены 116 контактных площадок для подключения элементов ввода-вывода и питания. БМК выполнен по КМОП-технологии с минимальным размером 0,25 мкм. Размер кристалла $5,2 \times 5,2 \text{ мм}^2$. По углам кристалла расположены 32 пассивные площадки для подключения питания. Они объединены по две на вывод корпуса. Основные характеристики БМК приведены в табл. 1, рекомендуемые эксплуатационные режимы – в табл. 2.

Библиотека стандартных элементов состоит из двух разделов – библиотеки ядра и библиотеки ввода-вывода. Библиотека ядра содержит следующие группы стандартных элементов: комбинационная логика, элементы с третьим состоянием, усилители тактового сигнала, триггеры-защелки, D-триггеры, JK-триггеры, фрагменты сумматора, мультиплексоры. Среднее время задержки при нагрузке на один вентиль – 0,3 нс. В составе библиотеки ввода-вывода – универсальные и программируемые элементы с различной выходной мощностью. Для реализации элементов ввода-вывода с высокой мощностью ($I_{\text{вых}}$ – до 16 мА) на кристалле БМК предусмотрена 21 ячейка, а для экономных ($I_{\text{вых}}$ – до 4 мА) – 63 ячейки. Генератор опорной частоты имеет две площадки для подключения внешнего кварцевого резонатора.

Если для разрабатываемой БИС достаточно 100 000 ячеек, то БМК можно использовать в режиме разреженной матрицы. Когда задействуется только 100 000 ячеек, можно сократить количество заказных фотошаблонов. Так, если для проектов, использующих 200 000 ячеек, необходимо пять заказных фотошаблонов (один фиксированный и три программируемых уровня металлизации), то при работе в режиме разреженной матрицы – только три (два программируемых и один фиксированный уровень металлизации). Выбор режима не влияет на библиотеку элементов и не требует других средств САПР.

Таблица 1. Основные характеристики БМК компании UniquelCs

Число ячеек	200 000
Число библиотечных элементов	Ядро – более 128, ввод-вывод – более 28
Число слоев металлической разводки	Три программируемых и один фиксированный
Тактовая частота, МГц	До 90
Напряжение питания, В	3,3
Ток нагрузки выходных элементов, мА	4 (63 ячейки), 16 (21 ячейка)
Максимальная мощность рассеивания в корпусе, Вт	1,5
Число функциональных выводов в корпусе	84
Тип корпуса	PLCC, 100-выводной пластмассовый
Рабочая температура, °C	-40...85

Таблица 2. Рекомендуемые эксплуатационные режимы ИС на базе БМК компании UniquelCs

Параметр	Норма	
	Мин.	Макс.
Напряжение питания (КМОП-вход), U_{cc} , В	3,0	3,6
Низкий уровень входного напряжения (КМОП-вход), V_{IL} , В	-0,5	0,7
Высокий уровень входного напряжения (КМОП-вход), V_{IH} , В	1,7	$U_{cc} + 0,5$
Емкость внешних выводов (вход-вывод), C_{VO} , пФ	-	4,0
Рабочая температура, Т, °C	-40	85

На базе БМК в режиме разреженной матрицы (100 000 ячеек) выполнена разводка схемы декодера Рида-Соломона. При этом достигнута эффективность использования базовых ячеек около 85%. Моделирование работы декодера с учетом паразитных емкостей соединений показало надежное функционирование на рабочей частоте 40 МГц и наличие больших запасов по динамическим параметрам. В нормальных условиях максимальная рабочая частота достигала 60 МГц. В режиме полной матрицы (200 000 ячеек) выполнена разводка схемы декодера Витерби. При этом эффективность использования ячеек превышала 95%, рабочая частота достигала 60 МГц. На тестовом кристалле реализованы и экспериментально измерены схемы делителей частоты, сдвиговых регистров, линий задержки. Результаты измерений полностью подтверждают расчетные параметры логических элементов.

СТОИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БМК ДЛЯ ОПЫТНЫХ РАЗРАБОТОК И СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Производство микросхем с минимальными размерами элементов 0,25 мкм ведется на пластинах диаметром 200 мм. Стоимость обработанной пластины на фабриках общего пользования не превышает 1000 долл. в серийном производстве. Стоимость шаблонов металлизации – 2–3 тыс. долл. Для выпуска БМК на 100 тыс. вентиляей требуется три заказных фотошаблона. В одном кадре экспозиции помещается более 20 базовых кристаллов. Таким образом, с помощью одного комплекта заказных фотошаблонов можно изготовить более 20 типов заказных БИС. Изготовление партии из 2–3 пластин с индивидуально заказанными фотошаблонами металлизации обойдется еще в 2–3 тыс. долл. Следовательно, подготовка производства потребует 10–12 тыс. долл., что примерно в 10–15 раз меньше, чем

необходимо для полностью оригинального проекта. В режиме разделения кремниевой пластины на несколько проектов эти расходы распределяются между всеми участниками.

Разработку электрической схемы и топологии заказчика могут выполнить самостоятельно, если они имеют опыт проектирования заказных БИС. В этом случае разработчики БМК осуществляют только физическую верификацию топологии и сопровождение партии на фабрике. Стоимость таких услуг – 1,5–2 тыс. долл. Если заказчик имеет только ПЛИС-макет своего цифрового автомата и описание на языке высокого уровня, разработчики БМК могут переложить проект в базовый кристалл и провести его верификацию за 6–8 тыс. долл. Для тех, у кого нет ПЛИС-макета, а имеется только техническое задание и программная модель, стоимость заказа возрастет до 20–25 тыс. долл. Если сложность заказной схемы превышает 100 тыс. вентиляей, то потребуются варианты БМК на 200 тыс. вентиляей. В этом случае необходимо изготовить пять заказных фотошаблонов, а стоимость подготовки производства возрастет на 5–6 тыс. долл. Остальные расходы существенно не изменятся.

Для аттестации проекта и мелкосерийного производства наиболее эффективно применение метода разделения кремниевой пластины. При объединении 10 проектов полные затраты на производство одной БИС составят не более 1500 долл., за которые заказчик получает 200 кристаллов. Техническая поддержка производства БМК обойдется заказчику в сумму от 1 тыс. до 25 тыс. долл. в зависимости от степени их участия в проекте. В серийном производстве (более 100 тыс. шт.) себестоимость кристалла составит 1,5–2 доллара. С учетом стоимости сборочных операций и операций контроля себестоимость микросхем в пластмассовом корпусе не должна превышать 4–5 долларов. ○



Встраиваемые компьютерные технологии. Третий российский форум

25 октября 2005 года в Центральном доме предпринимателя прошел Третий российский форум "Встраиваемые компьютерные технологии (ВКТ)", организованный российской компанией РТСофт при участии ведущих фирм-производителей оборудования и программного обеспечения Kontron, Intel и LynuxWorks. Этот Форум – ставшая уже традиционной встреча ведущих представителей технических и бизнес-кругов в области разработки отечественных аппаратно-программных комплексов мирового уровня. Цель встречи – освещение тенденций развития ВКТ, перспективных аппаратных технологий, используемых разработчиками процессоров, модулей, плат и систем, а также программных платформ (ОС, систем реального времени). В рамках Форума была организована выставка образцов ВКТ ведущих компаний-производителей и отечественных разработок на их основе.

Форум открыла генеральный директор РТСофт Синенко О.В., осветившая основные бизнес-тенденции развития ВКТ. Технические аспекты ключевых тенденций развития ВКТ в обстоятельном докладе раскрыл технический директор РТСофт Рыбаков А.Н.

Учитывая состав организаторов, доклады на Форуме были сконцентрированы на четырех направлениях:

- новейшие технологии, продуктовые линии на их основе и универсальные платформы, модули, контроллеры, производимые компанией Kontron AG, и их применение в России и по всему миру (докладчики: Ульрих Герман – вице-председатель совета директоров компании и Норберт Хаузер – вице-президент по маркетингу);

- передовые микропроцессорные архитектуры компании Intel, используемые для рынка встраиваемых систем (докладчик Александр Буравлев – менеджер по маркетингу компании Intel);
- открытые решения и системное программное обеспечение (ПО) встраиваемых систем, разрабатываемое компанией LynuxWorks (докладчик Золотарев С.В. – РТСофт);
- новые разработки аппаратного и программного обеспечения для ВКТ (все докладчики – представители РТСофт): компьютеры на модулях (Афонин Д.Ю., читатели шестого номера нашего журнала за текущий год могли познакомиться с этой темой более подробно), стандарты сРСІ и АТСА, универсальные PLC-контроллеры и промышленные компьютеры ThinkIO (Бретман В.В.); современные мобильные компьютерные платформы (Свиридов В.П.) и VME-компьютеры для спецприложений (Сысоев А.Д.).

Форум прошел успешно, что объяснялось его четкой организацией, заинтересованной аудиторией, сопутствующей выставкой, интересной тематикой докладов, их практической направленностью и информационной насыщенностью. Завершился он обсуждением за круглым столом профессиональных инженерных и бизнес-проблем по тематике ВКТ, в котором приняли участие все ведущие докладчики Форума и заинтересованные представители ряда организаций потребителей продукции компаний Kontron, Intel и LynuxWorks.

Н. Слепов