

## Применение базовых матричных кристаллов при разработке аппаратуры специального назначения

© А. С. Басаев, А. Н. Денисов, В. В. Коняхин, А. Н. Сауров, 2011

Рассмотрены виды специализированных интегральных схем, применяемых при проектировании аппаратуры специального назначения. Описана последовательность проектирования аппаратуры на основе полузаказных микросхем с использованием методологии базовый матричный кристалл – программируемая логическая интегральная схема. Предлагаемая методология позволяет проводить отладку аппаратурного комплекса с использованием имитаторов базовых матричных кристаллов и значительно сокращает время и стоимость разработки. Приведены характеристики отечественных серий базовых матричных кристаллов и системы автоматизированного проектирования "Ковчег", на основе которых реализована эта методология проектирования.

**Ключевые слова:** разработка аппаратуры, полузаказная интегральная схема, базовый матричный кристалл, надёжность микросхем, имитатор микросхемы, система автоматизированного проектирования полузаказных микросхем, стойкость к внешним воздействующим факторам.

Одним из основных способов достижения необходимых эксплуатационных параметров при разработке современной радиоэлектронной аппаратуры, предназначенной для критических условий эксплуатации, является применение специализированных микросхем.

Традиционно специализированные интегральные схемы (*ASIC – Application-Specific Integrated Circuits*) по способу изготовления и освоения в производстве разделяют на три большие группы:

– полностью заказные схемы, для которых требуется изготовление полного комплекта фотошаблонов, выполнение полного цикла обработки кремниевых пластин и проведение полного комплекса квалификационных испытаний;

– полузаказные схемы на основе базового матричного кристалла (БМК), для изготовления которых используются базовые пластины с заранее сформированными транзисторными структурами и частично сформированными слоями разводки, а сам процесс изготовления сводится к формированию одного или нескольких слоёв межсоединений, для чего требуется изготовление фотошаблонов только переменных слоёв. Квалификационные испытания проводятся только на этапе освоения БМК и для выпуска конкретных типов полузаказных микросхем не требуются;

– программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), которые представляют собой корпусированные микросхемы, специализация ("зашивка") которых осуще-

вляется индивидуально пользователем вне кремниевой фабрики путём замыкания или размыкания перемычек внутри схемы с помощью специальных программно-аппаратных средств. Поэтому надёжность специализированных микросхем на ПЛИС определяется не только самой ПЛИС, но и надёжностью способа специализации каждой конкретной микросхемы.

Оптимальный выбор элементной базы для реализации аппаратуры зависит от множества факторов. Для аппаратуры специального назначения при всей важности экономических показателей определяющими факторами являются повышенная стойкость к внешним воздействующим факторам (ВВФ), высокая надёжность и долговечность, низкое энергопотребление, высокая функциональность, обеспечение разработки и поставки интегральных микросхем (ИС) в оговоренные сроки, длительный период поддержания производства данного типа ИС. При этом серийность специализированных микросхем крайне низка и может составлять сотни и даже десятки микросхем.

Принято считать, что полностью заказные микросхемы обеспечивают максимальную функциональность, надёжность и стойкость, минимальную стоимость при массовом производстве, но требуют максимальных затрат на этапе разработки и освоения производства и для производства малых партий не применимы. ПЛИС имеют более высокое энергопотребление, дополнительные элементы для специализации, что снижает надёжность микросхем и определя-

ет их более высокую стоимость по сравнению с другими группами специализированных ИС. Полузаказные ИС занимают промежуточное положение между полностью заказными ИС и ПЛИС. По показателям надежности, энергопотребления и стойкости к ВВФ они сравнимы с заказными ИС, в то же время по длительности цикла "разработка – изготовление – испытания" сопоставимы с ПЛИС. Производство БМК, как правило, поддерживается в течение длительного времени (более 15 лет), производители предлагают заказчикам собственные библиотеки и технологии проектирования ИС, а также предоставляют услуги по прототипированию полузаказных микросхем. Как уже отмечалось, выбор способа реализации специализированных ИС для специальной аппаратуры определяется множеством факторов, но во многих случаях именно полузаказные ИС обеспечивают наилучшие показатели.

### Особенности БМК

Базовый матричный кристалл – это универсальная заготовка для полузаказных ИС. В отличие от ПЛИС, БМК специализируется технологически путём формирования слоёв металлизации. В структуре БМК отсутствуют избыточные элементы, обеспечивающие программирование электрической схемы, что значительно снижает общую сложность микросхемы, повышая её надежность. Использование полузаказных микросхем обеспечивает следующие преимущества:

- уменьшение габаритных размеров аппаратуры за счёт снижения количества используемых микросхем и уменьшения размеров печатных плат;
- улучшение технических характеристик за счёт увеличения системного быстродействия и сокращения потребляемой мощности;
- повышение надежности изделия за счёт более высокой надежности БИС по сравнению с дискретными элементами;
- возможность объединения в полузаказной микросхеме цифровой и аналоговой обработки информации;
- обеспечение защиты разработки от возможного несанкционированного воспроизводства.

Все наиболее дорогостоящие и длительные процедуры проектирования, произ-

водства и аттестации полузаказных ИС выполняются на этапе освоения БМК, разработка которого осуществляется с учётом жестких условий эксплуатации. Изготовление микросхем выполняется по стандартной технологии массового производства. Эксплуатационные параметры ИС определяются параметрами БМК и подтверждаются квалификационными испытаниями. Для этого проводятся испытания тестовых микросхем, выпускаются групповые технические условия (ТУ). В качестве документации на полузаказную ИС формируется карта заказа, которая является приложением к групповым ТУ, поэтому квалификационные испытания новой микросхемы не проводятся.

Для создания полузаказной ИС выбирается необходимый по объёму и параметрам БМК. Проектирование микросхемы заключается в разработке электрической схемы и соответствующей топологии слоёв металлизации, а производство кристаллов – в формировании этих слоёв на ранее изготовленных и аттестованных пластинах – полуфабрикатах с уже сформированными транзисторными структурами.

### Технология проектирования специальной аппаратуры с применением БМК

Разработка современной аппаратуры – сложный и длительный процесс, в ходе которого решаются системные и технические задачи, выполняется проектирование специализированной элементной базы, отрабатываются алгоритмы функционирования, интерфейсы и взаимодействие блоков в составе изделия, разрабатываются конструкция и печатные платы, тестируется программное обеспечение и т. д. При этом используются определённые методы и маршруты проектирования, позволяющие реализовать необходимые схемотехнические решения с помощью программных или аппаратных средств. Поэтому процесс разработки аппаратуры можно назвать технологией проектирования.

При разработке аппаратуры специального назначения широкое распространение получили полузаказные микросхемы и связанные с ними технологии проектирования специальной аппаратуры с применением

специальной аппаратуры с применением БМК, которые формировались на основе технологии проектирования с применением стандартных компонентов.

Технология проектирования специальной аппаратуры с применением стандартных компонентов базировалась на микросхемах малой и средней степени интеграции, а также дискретных компонентах. Разработчик мог использовать серийно выпускаемые разрешённые к применению в специальной аппаратуре микросхемы и дискретные компоненты, функциональные возможности которых были весьма ограничены. Хотя технология проектирования на стандартных компонентах имела существенные ограничения, связанные с функциональными возможностями элементной базы и тем, что программные средства проектирования были недостаточно развиты, она заложила принцип ориентации на серийный образец, его технологичность и тестопригодность, а также на выполнение всего цикла разработки макетного, опытного и серийного образцов в рамках единой компонентной базы, что позволяло эволюционно построить процесс разработки новых изделий.

Следующим шагом в развитии технологий разработки аппаратуры стала технология разработки аппаратуры с применением БМК, элементной базой которой явились базовые матричные кристаллы [1, 2]. Традиционная методология разработки полужаказных микросхем на основе БМК предполагает моделирование поведения микросхемы специальными программными средствами и конечную проверку правильности функционирования микросхемы в аппаратуре после её изготовления. Разработка выполняется на основе отработанных методов, средств и маршрутов проектирования и ориентирована на получение годных микросхем уже при первом изготовлении. Это обеспечивается высокими требованиями к тестируемости и качеству проектирования, что гарантируется средствами систем автоматизированного проектирования (САПР), которые учитывают специфику конкретных серий БМК и технологию их изготовления.

Основными недостатками технологии разработки аппаратуры с применением БМК являются длительный цикл изготовления

полузаказных микросхем и невозможность исследования проектов микросхем в аппаратуре, что, как правило, ведет к многократным коррекциям и повторным изготовлениям микросхем в процессе разработки изделия. Поэтому появление ПЛИС, позволяющих легко выполнять коррекцию проекта специализированной ИС непосредственно в аппаратуре, стало новым шагом в развитии методологии разработки аппаратуры. Методология разработки аппаратуры с применением ПЛИС обеспечивает рекордно короткий проектно-технологический цикл, минимальные затраты на проектирование, максимальную гибкость при модификации аппаратуры. При этом весь проектно-технологический цикл выполняется разработчиком РЭА на одном рабочем месте. Попыткой совместить преимущества разработки аппаратуры с применением ПЛИС с одновременным обеспечением высоких эксплуатационных и надежностных характеристик стала методология ПЛИС–БМК, которая предполагает отработку макетных образцов аппаратуры на ПЛИС с последующей их заменой на БМК. Наиболее сложным этапом указанной методологии является переход от проекта ПЛИС к проекту БМК, который, как правило, требует полного перепроектирования. Это обусловлено конструктивными особенностями ПЛИС, применяемыми методами проектирования, особенностями библиотек элементов. В результате перехода от ПЛИС к БМК формируется новый проект микросхемы, который существенно превосходит объём исходного проекта, что снижает выход годных при изготовлении микросхем. При необходимости его коррекции в результате испытаний экспериментальных образцов требуется либо одновременное сопровождение изменений в проектах ПЛИС и БМК, либо повторная отладка проекта на ПЛИС с последующим переводом скорректированного проекта в базис БМК.

Методология разработки аппаратуры ПЛИС – БМК имеет возможность отработки проекта микросхемы средствами ПЛИС в составе аппаратуры, но не обеспечивает гарантированного перехода от проекта в базисе ПЛИС к проекту в базисе БМК, что зачастую ведет к необходимости перепроектирования и повторного изготовления ИС.

Следующим шагом в развитии технологии проектирования стала методология БМК – ПЛИС – БМК, разработанная и реализованная специалистами НПК "Технологический центр" на базе лицензионно чистой САПР "Ковчег". Она позволяет в короткие сроки выполнить разработку и отладку макетного образца с использованием имитаторов БМК на основе ПЛИС, а при переходе к опытному образцу обеспечивает быструю и гарантированную реализацию изделия на отечественной элементной базе в базисе БМК.

Можно выделить четыре основных принципа, которые лежат в основе методологии БМК – ПЛИС – БМК:

1. Ориентация на отечественную элементную базу, разрешенную к применению в аппаратуре специального назначения. Разработка технических требований к изделию выполняется с учетом возможностей освоенных в производстве серий БМК, исходя из этого разрабатывается архитектура изделия, формулируются требования к полузаказным микросхемам, проектируются печатные платы под конструктивное исполнение ИС на БМК.

2. Получение годных образцов микросхем с первой попытки. Это достигается за счет:

– применения методов бездефектного проектирования на стадии разработки микросхемы;

– разработки функциональных и контрольно-диагностических тестов проверки проекта микросхемы, обеспечивающих не только проверку правильности функционирования и тестируемости, но и возможность измерения электрических параметров микросхемы;

– разработки топологии ИС с учетом специфики проекта микросхемы и списка скоростных цепей;

– аттестации проекта микросхемы с учетом факторов окружающей среды и разброса параметров технологии.

3. Применение оригинальной библиотеки элементов, учитывающей специфику БМК и ориентированной на методы бездефектного проектирования.

4. Прототипирование микросхем, позволяющее провести исследования и испытания микросхемы средствами имитатора микросхем на ПЛИС в составе реальной аппаратуры до изготовления ИС в базисе БМК.

Таким образом, методология БМК – ПЛИС – БМК объединяет в себе преимущества методологий БМК и ПЛИС – БМК. Данная методология поддерживается средствами САПР "Ковчег", в состав которой входят все основные подсистемы, необходимые для разработки и подготовки к производству полузаказных ИС.

#### **Средства проектирования полузаказных микросхем**

САПР БИС "Ковчег" имеет единую программную оболочку, функционирующую в среде *Windows XP* (рис. 1). Схемотехнический графический редактор обеспечивает графический ввод электрических схем. Подсистема функционально-логического моделирования позволяет получить временные диаграммы функционирования проекта БИС, оценить устойчивость проекта в зависимости от воздействия внешних факторов, провести анализ влияния топологических и технологических параметров на функционирование и устойчивость проекта. Совмещенная подсистема ручного и автоматического размещения ячеек на поле БМК позволяет достичь коэффициента заполнения поля БМК до 90 %. Синтез топологии выполняется с учетом списков цепей приоритетной разводки и скоростных цепей. Подсистема верификации, с одной стороны, проверяет выполнение требований конструктивно-технологических ограничений на топологию ИС, с другой – осуществляет проверку соответствия полученной топологии ИС ее логической схеме. Подсистема расчета задержек обеспечивает расчет задержек в топологических цепях с учетом конкретной топологии и возможного разброса технологических параметров. Подсистема аттестации проекта позволяет проверить поведение проекта микросхемы в зависимости от значений внешних воздействующих факторов и разброса технологических параметров.

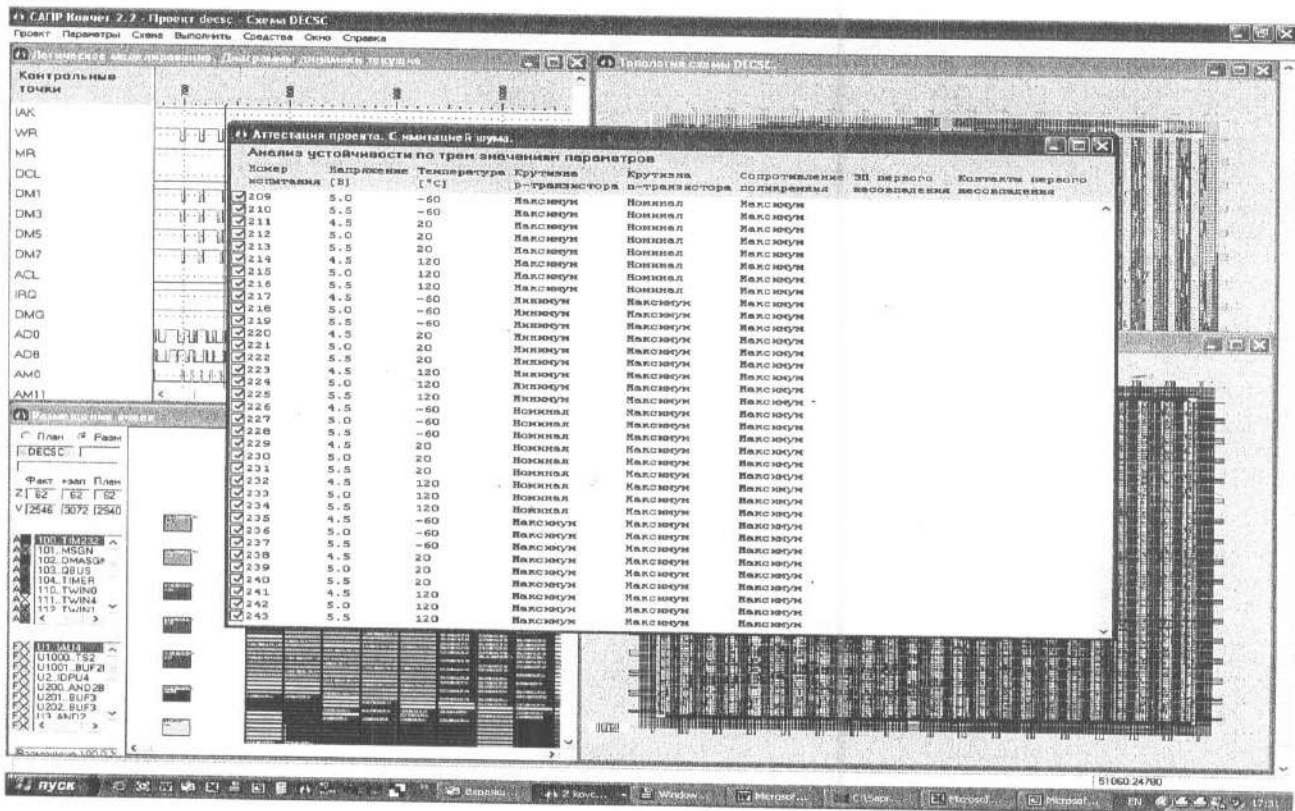


Рис. 1. Внешний вид оболочки САПР "Ковчег"

САПР "Ковчег" поддерживает технологию разработки аппаратуры БМК – ПЛИС – БМК, основанную на прототипировании микросхем с использованием имитаторов БМК (рис. 2) [3]. Конструкция имитаторов представляет собой микромодуль, в нижней части которого располагается ПЛИС в микрокорпусе, а в верхней части – ПЗУ и реализована схема загрузки ПЛИС. Тип ПЛИС соответствует объёму имитируемого БМК. ПЗУ обеспечивает возможность загрузки в ПЛИС логической модели прототипируемого проекта ИС. На нижней печатной плате расположены выводы, соответствующие выводам ИС. Размер печатной платы равен размеру корпуса, в котором выпускаются БМК. Расположение внешних выводов имитаторов полностью соответствует расположению выводов БМК. Разработка микросхемы изначально ведётся средствами САПР "Ковчег" в базе БМК, готовый проект оперативно "записывается" в имитатор ИС, а запуск в производство ИС на БМК производится только после проверки имитатора ИС и отладки макетных образцов аппаратуры. Во время изготовления ИС на БМК разработчик аппаратуры может продолжать создание программного обеспечения, обрабатывать взаимодействие блоков в составе комплекса, используя имитаторы.

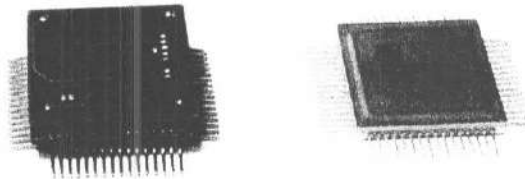


Рис. 2. Имитаторы БМК

Разработка средств прототипирования проводится при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Процедура разработки аппаратуры с использованием имитаторов БМК представлена на рис. 3.

### Семейство серий БМК, разработанных НПК "Технологический центр"

В настоящее время существует высокая потребность в специализированных микросхемах для различной аппаратуры аэрокосмического, научного, военного назначения, систем связи и промышленной автоматики [4]. НПК "Технологический центр" предоставляет полный комплекс услуг по разработке и производству БМК и специализированных ИС на их основе. На сегодняшний день разработано семейство серий БМК, имеющих унифицированную библиотеку базовых и типовых функциональных ячеек, единые средства проектирования на базе САПР "Ковчег" и средства прототипирования микросхем [5].

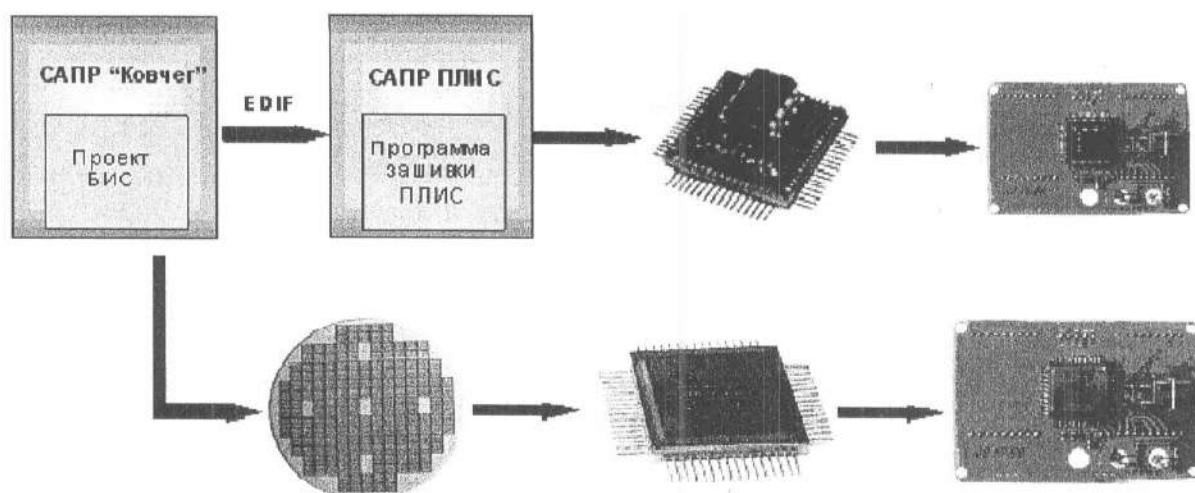


Рис. 3. Технология разработки аппаратуры специального назначения БМК–ПЛИС–БМК

Таблица 1

Основные характеристики БМК серий 5503 и 5507

Тип БМК	Количество		Напряжение питания, В	Рабочая частота, МГц	Тип корпуса
	условных вентилях в поле БМК	внешних контактов			
H5503XM1	576	28	5	30	H09.28-1B
H5503XM2	1296	42	5	30	H14.42-1B
H5503XM5	3072	64	5	30	H18.64-1B
5507БЦ7У	5478	64	5	25	H18.64-1B
5507БЦ1У	576	28	3	25	H09.28-1B
5507БЦ2У	1296	42	3	25	H14.42-1B
5507БЦ5У	3072	64	3	25	H18.64-1B
5507БЦ7У	5478	64	3	25	H18.64-1B

**Серии БМК 5503 и 5507** (табл. 1) имеют следующие особенности:

- радиационнотойкая КМОП-технология 1,5 мкм на объемном кремнии;
- разводка в одном слое металла и слое поликремния;
- освоены в производстве с приёмкой военным представительством;
- разрешены к применению в аппаратуре специального назначения.

На базе БМК серий 5503 и 5507 разработано и выпускается более 400 полужаказных микросхем различного назначения, в том числе для космической аппаратуры, например, для космических кораблей "Прогресс-М" (25 запусков), "Союз-ТМА" (18 запусков), разгонного блока "Бриз-М" (39 запусков) и других аппаратов. Среди них можно выделить различные контроллеры, интерфейсные ИС,

приемопередатчики, ИС трансформаторной развязки. Примеры некоторых специализированных схем приведены по адресу [<http://www.asic.ru/bistrans.html#1>].

**Серии БМК 5508 и 5509** (на структурах "кремний на изоляторе") имеют следующие особенности:

- радиационнотойкая КМОП-технология 1,0 мкм;
- 3 типа объемом 7; 15 и 30 тыс. условных вентилях;
- разводка в двух слоях металла;
- количество внешних выводов от 42 до 132;
- рабочая частота до 100 МГц.

Сравнительные характеристики БМК серий 5508, 5509 и 5503 приведены в табл. 2 [6].

Сравнительные характеристики серий БМК

Параметр	5508	5509	5503
Напряжение питания, В	2,7...3,3	4,5...5,5	4,5...5,5
Максимальная частота, МГц	100		30
Объем поля БМК, условных вентиляей	30000		5500
Значение статического потенциала, В	>2000		>2000
Устойчивость к фактору 7И6(И2)	2·5Ус(3У)		(5·2У)
Устойчивость к фактору 7И7(И3)	6Ус(3У)		(2У)
Устойчивость к фактору 7С4(С32)	5Ус		(1У)
Устойчивость к фактору 7К1(К1)	0,5·2К		(2·1У)
Устойчивость к фактору 7К4(К3)	0,5·2К		(0,5·1У)

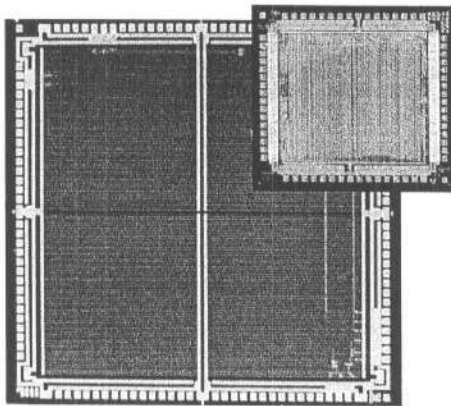


Рис. 4. БМК серии 5509

Экспериментальные образцы микросхем на БМК серии 5509 были изготовлены в 2007 г. в ОАО "НИИМЭ и Микрон". Испытания микросхем на радиационную стой-

кость были проведены в НПО СПЭЛС и показали следующие результаты:

уровень стойкости к воздействию фактора с характеристикой 7·И6 составляет не менее 2·5Ус, при этом катастрофических отказов и тиристорного эффекта не наблюдается;

уровень стойкости БИС определяется нормой на параметр "статический ток потребления". В результате воздействия фактора с характеристикой 7И7 ток потребления БИС К5509БЦ8У монотонно снижался до уровня  $(1,6...2) \cdot 10^6$  ед. Далее происходил плавный рост тока потребления. Наблюдалось изменение выходных уровней в пределах 0,3 В.

На рис. 5 приведены дозовые зависимости статического тока потребления.

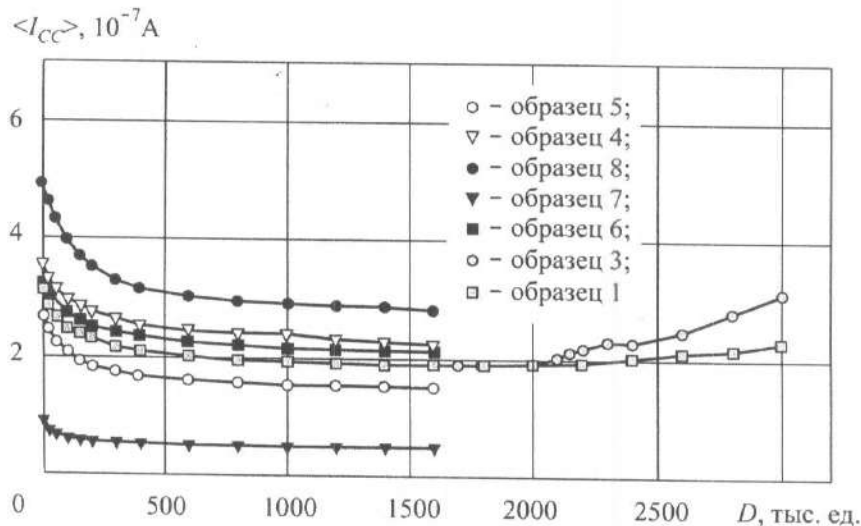


Рис. 5. Дозовые зависимости статического тока потребления БИС

**Серия БМК 5521** на объёмном кремнии:<sup>\*</sup>

– базовая КМОП-технология 0,18 мкм, освоенная на производстве ОАО "НИИМЭ и Микрон";

– 3 типа объёмом 400; 800 и 1500 тыс. условных вентиляей;

– напряжение питания 3,3 В;

– разводка от 4 до 6 слоёв металла;

– количество внешних выводов от 64 до 240.

Экспериментальные образцы БМК объёмом 800 тыс. находятся в производстве. В ноябре 2011 г. планируется провести их предварительные испытания.

Кроме указанных серий БМК, освоенных в производстве или находящихся на стадии освоения, НПК "Технологический центр" ведёт разработку новых серий, ориентированных на применение в аппаратуре космического назначения.

**Серия БМК повышенной стойкости к специальным факторам на структурах "кремний на изоляторе":**

– КНИ КМОП-технология 0,25 мкм, разрабатываемая в ОАО "НИИМЭ и Микрон";

– объём 250...1000 тыс. условных вентиляей;

– разводка до 6 слоёв металла;

– количество внешних выводов до 600;

– конструкция контактных площадок предназначена для 2-кратной разварки с целью аттестации кристаллов микросхем для последующего использования в многокристалльных модулях.

Экспериментальные образцы находятся в производстве. В конце 2011 г. планируется провести их оценочные испытания.

**Серия БМК для сбое- и отказоустойчивой аппаратуры:**

– КНИ КМОП-технология 0,25 мкм, разрабатываемая в ОАО "НИИМЭ и Микрон";

– поле БМК конструктивно состоит из 4 независимых по питанию областей объёмом 100 и 250 тыс. условных вентиляей каждая, что позволяет реализовать системы с мажорированием и "холодным резервом";

– разводка до 6 слоёв металла;

– количество внешних выводов до 600;

– конструкция контактных площадок предназначена для 2-кратной разварки с целью аттестации кристаллов микросхем и последующего использования в многокристалльных модулях.

Опытно-конструкторские работы по разработке данной серии планируется начать в 2012 г.

### Обеспечение качества полужаказных микросхем

Качество полужаказных ИС закладывается на этапе освоения серии БМК и последующей разработки проекта микросхемы. Все этапы разработки подтверждаются испытаниями. Так, стадия освоения БМК завершается квалификационными испытаниями, которые распространяются на все типы ИС на основе данного БМК. Характеристики микросхем подтверждаются периодическими испытаниями. В процессе производства все микросхемы проходят отбраковочные и приемосдаточные испытания. Кроме того, каждая партия базовых пластин проходит аттестацию на стойкость к специальным ВВФ, для чего изготавливаются партии тестовых микросхем, которые и подвергаются испытаниям [7].

Поставка полужаказных БИС осуществляется по параметрам, приведенным в ТУ. Для цифровых микросхем это, как правило, следующие параметры, характеризующие входные и выходные ячейки:

– выходные напряжения низкого и высокого уровней под нагрузкой  $U_{OL}$ ,  $U_{OH}$ ;

– ток потребления  $I_{CC}$ ;

– токи утечки на входах  $I_{IL}$ ,  $I_{IH}$ ;

– токи утечки на входах и выходах в состоянии "Выключено"  $I_{OZL}$ ,  $I_{OZH}$ ;

– токи доопределения внутренних резисторов  $I_R$ .

<sup>\*</sup> Разработка выполнена в рамках ГК № 07.527.12.9006 (ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.").



Возможность контроля указанных параметров должна быть заложена в логическом проекте и контрольно-диагностических тестах, которые кроме этого должны обеспечивать проверку функционирования и переключения максимально возможного числа функциональных ячеек микросхемы. Для корректного контроля выходных каскадов микросхемы в состав библиотеки функциональных ячеек семейства серий БМК, поставляемых НПК "Технологический центр", входят специальные драйверы периферийных ячеек, обеспечивающие отключение выходных транзисторов для измерения токов утечки. Если бы выход не отключался и все время находился в активном состоянии, дефект бы маскировался и не был обнаружен. Для измерения статического тока потребления в логическом проекте реализуется условный переход схемы в статический режим. Тестовые последовательности обеспечивают возможность измерения выходных напряжений низкого и высокого уровней под нагрузкой на каждом выходе микросхемы.

В процессе изготовления осуществляется контроль электрических параметров в составе пластины, по нормам цеха и нормам ТУ при приемосдаточных испытаниях. Традиционно нормы ТУ ужесточаются на две погрешности измерительного прибора при измерении по нормам цеха и на три погрешности при разбраковке пластин. Это позволяет осуществить отсев потенциально "слабых" микросхем в процессе производства.

Распределение параметров микросхем в рамках производственной партии соответствует нормальному распределению с несколькими экстремумами. Типичное распределение для тока потребления микросхем серии 5503 приведено на рис. 6.

С целью повышения качества выпускаемых микросхем в НПК "Технологический центр" введены Таблицы норм электрических параметров микросхем, которые позволяют при разбраковке в составе пластин и при первом измерении после сборки провести отсев потенциально "ненадежных" микросхем за счет резкого сужения границ отбраковки (табл. 3).

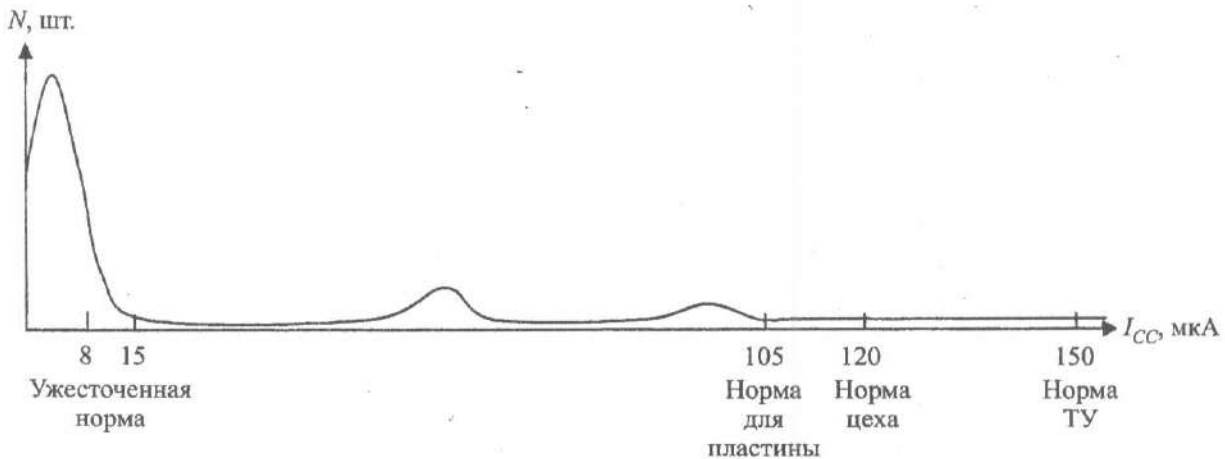


Рис. 6. Типичное распределение микросхем серии 5503 по значениям тока потребления

Таблица 3

Значения ужесточенных норм электрических параметров для БМК серии 5503

Параметр	На пластине		После сборки		По ТУ	
	Не менее	Не более	Не менее	Не более	Не менее	Не более
Ток потребления, мкА		15		8		150
Ток утечки высокого и низкого уровней, нА	-20	40	-5	15		± 300
Выходное напряжение низкого уровня, В		0,18		0,15		0,4
Выходное напряжение высокого уровня, В	4,3		4,35		4,0	

Измерения на пластине проводятся на шлейфе с контактирующим устройством, которые вносят дополнительную погрешность в результат измерения. Поэтому нормы разбраковки при первом измерении после сборки еще более ужесточены. По токам утечки и токам потребления ужесточение норм разбраковки соответствует 18-кратному запасу.

Указанные в таблице параметры позволяют проверить периферийные ячейки микросхемы и выявить находящиеся в них дефекты. Кроме этого, измеряется динамический ток потребления микросхемы при функционировании, который обеспечивает контроль наличия дефектов в элементах поля БМК. Изготовленная по этим нормам партия микросхем состоит из однородных по электрическим параметрам микросхем.

Введение ужесточенных норм позволило провести анализ возможных причин повышения значений контролируемых параметров и выявить критичные технологические процессы и операции. Их оптимизация привела к стабилизации выходных параметров микросхем.

#### Организация дизайн-сервиса для разработчиков аппаратуры

Максимальный эффект от применения полузаказных ИС достигается в том случае, когда разработка радиоэлектронных систем ведётся "сверху-вниз", что предполагает самое непосредственное участие разработчиков аппаратуры в производстве микросхем. В идеальном случае при предприятии-разработчике радиоэлектронной аппаратуры должен быть собственный дизайн-центр по проектированию специализированных ИС. Для облегчения доступа предприятиям-разработчикам космической аппаратуры к современным технологиям разработки и изготовления ИС на основе БМК в НПК "Технологический центр" планируется создание специализированного дизайн-сервиса, который будет выполнять следующие функции:

1. Разработка и организация маршрутов изготовления специализированных ИС.

2. Разработка и сертификация маршрутов проектирования (средства проектирования, дизайн-киты, библиотеки, методология проектирования).

3. Подбор и координация действий привлекаемых дизайн-центров по созданию новых типов ИС по заказу предприятия-разработчика аппаратуры.

4. Организация выпуска и проведения испытаний ИС по согласованным маршрутам.

Модель взаимодействия с предприятиями-разработчиками радиоэлектронной аппаратуры в режиме дизайн-сервиса апробирована при проведении ряда работ с НИИ "Субмикрон", ЦНИИ "Комета", НИИМА "Прогресс" и показала свою высокую эффективность.

#### Список литературы

1. *Денисов А. Н.* Методология проектирования аппаратуры по технологии БМК-ПЛИС-БМК // Изв. вузов. Электроника. 2009. № 5. С. 85–86.

2. *Басаев А. С., Денисов А. Н., Коняхин В. В., Мальцев П. П.* Методология проектирования радиационнотойких микросхем на основе БМК для космических аппаратов // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции "Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем-2008" (МЭС-2008). Пос. Истра, 12–16 окт., 2008 г. 8 с.

3. *Денисов А. Н., Шелепин Н. А.* Обеспечение качества РЭА на этапе проектирования специализированной ЭКБ // Петербургский журнал электроники. 2004. № 3–4. С. 169.

4. *Басаев А. С., Гришин В. Ю.* Космическое приборостроение: главное – правильная концепция // Электроника НТБ. 2009. № 8.

5. *Басаев А. С., Денисов А. Н., Коняхин В. В., Мальцев П. П.* Специализированные интегральные микросхемы космического применения на основе базовых матричных кристаллов // Петербургский журнал электроники. 2008. № 1. С. 34 – 39.

6. *Saurov A. N.* Manufacture and experience of application of semicustom LSI // Сб. тезисов докладов научно-технологических секций Третьего Международного Форума по нанотехнологиям, 1–3 нояб. 2010 г. М., 2010. С. 115–117.

7. Сауров А. Н. Базовые матричные кристаллы для аппаратуры специального применения // Радиоэлектронные технологии: состояние и перспективы развития: сб. тез. докл. VII отраслевой конф. Воронеж, 2009. С. 308–311.

Поступила 29.09.11.

---

**Басаев Александр Сергеевич** – канд. физ.-мат. наук, Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, первый заместитель директора НПК "Технологический центр", г. Москва.

Область научных интересов: системы автоматического проектирования ИС, наноматериалы и наноразмерные элементы для ИС и МЭМС/НЭМС.

**Денисов Андрей Николаевич** – главный конструктор направления "Интегральные микросхемы", Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, НПК "Технологический центр", г. Москва.

Область научных интересов: разработка средств и методов проектирования БИС на БМК.

**Коняхин Валерий Вячеславович** – Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, начальник отдела НПК "Технологический центр", г. Москва.

Область научных интересов: разработка средств и методов проектирования БИС на БМК.

**Сауров Александр Николаевич** – чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, директор НПК "Технологический центр", г. Москва.

Область научных интересов: методы самоформирования, наноэлектроника, микро- и наноэлектромеханические системы, электронная компонентная база.