

А. С. Басаев, А. Н. Денисов, В. В. Коняхин, П. П. Мальцев

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИС КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА БАЗОВЫХ МАТРИЧНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Метод разработки космической аппаратуры на основе специализированных интегральных микросхем (СПИС) становится все более популярным в кругах разработчиков космических систем. Такой подход позволяет минимизировать число элементов в аппаратуре при гарантированном обеспечении требуемой функциональности, что соответственно повышает надежность аппаратуры, ее массогабаритные характеристики.

Традиционно специализированные интегральные схемы (ASIC – Application-Specific Integrated Circuits) по способу изготовления разделяют на три большие группы.

1. Полностью заказные схемы, для которых требуется изготовление полного комплекта фотошаблонов и проведение полного цикла обработки кремниевых пластин.

2. Полузаказные схемы, 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 слоев межсоединений, для

чего требуется изготовление фотошаблонов только переменных слоев.

3. Программируемые логические интегральные микросхемы (ПЛИС), которые представляют собой корпусированные микросхемы, специализация («зашивка») которых осуществляется пользователем вне кремниевой фабрики путем замыкания или размыкания перемычек внутри схемы с помощью специальных программно-аппаратных средств.

Оптимальный выбор того или иного способа для изготовления конкретной схемы зависит от множества факторов, среди которых функциональность, надежность, стойкость, время разработки и изготовления, стоимость разработки, стоимость изготовления, затраты на подтверждение качества и надежности. Принято считать, что полностью заказные микросхемы обеспечивают максимальные функциональность, надежность и стойкость, минимальную стоимость в массовом производстве, но требуют максимальных затрат на этапе разработки и освоения производства. ПЛИС, в свою очередь, обладают худшими показателями по функциональности, стойкости и надежности, наиболее дороги в

массовом производстве, но обеспечивают лучшие показатели по стоимости разработки и освоению в производстве. Полузаказные микросхемы сравнимы с полностью заказными ИС по показателям стойкости и надежности, по остальным параметрам занимают промежуточное положение.

Для гражданских применений, где одним из основных критериев является экономика, при больших тиражах ИС (более миллиона штук) обычно используются полностью заказные схемы, при тиражах от десятков тысяч – полузаказные, а при меньших тиражах – ПЛИС. Но, как уже говорилось, окончательное решение в пользу того или иного способа изготовления делается с учетом всех остальных факторов.

Для микросхем космического применения при всей важности экономических показателей, больший вес приобретают другие факторы:

- гарантии стойкости, надежности и долговечности;
- объем дополнительных затрат на подтверждение стойкости и надежности;
- обеспечение разработки и поставки ИС в оговоренные сроки;
- длительный период поддержки производителем данного типа ИС.

Эти специфические требования к СпИС космического применения значительно понижают границу тиража, при которых наиболее целесообразным выбором становится использование полузаказных СпИС. Не случайно многие ведущие производители ИС для космоса предлагают собственные решения для изготовления СпИС на основе базовых матричных кристаллов (БМК) емкостью от сотен до нескольких миллионов вентиляей [1]. Как правило, производство БМК поддерживается в течение длительного временного промежутка (более 10 лет), производители предлагают заказчикам собственные библиотеки и технологию проектирования ИС, а также предоставляют услуги по переводу проектов с ПЛИС на БМК.

Серии БМК 5503 и 5507

На российском рынке полный комплект услуг по разработке и производству СпИС на основе БМК предоставляет НПК «Технологический центр» МИЭТ.

Основные характеристики БМК серий 5503 и 5507 приведены в табл. 1.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БМК СЕРИЙ 5503 И 5507 (ВЫДЕЛЕНА ТИПЫ МИКРОСХЕМ, ПРОИЗВОДИМЫЕ С ПРИЕМКОЙ «5»)

Тип БМК	Количество условных вентиляей в поле БМК	Количество внешних контактов	Напряжение питания, В	Рабочая частота, МГц	Тип корпуса
КН5503ХМ1	576	28	5	30	Н09.28-1В(ВН)
Н5503ХМ1	576	28	5	30	Н09.28-1В(ВШ)
КН5503ХМ2	1296	42	5	30	Н14.42-1В(ВН)
Н5503ХМ2	1296	42	5	30	Н14.42-1В(ВН)
КН5503ХМ4	1728	48	5	30	Н16.48-1В(ВН)
КН5503ХМ5	3072	64	5	30	Н18.64-1В(ВН)
Н5503ХМ5	3072	64	5	30	Н18.64-1В(ВН)
КН5503ХМ7	5478	64	5	25	Н18.64-1В(ВН)
5503БЦ7У	5478	64	5	25	Н18.64-1В(ВН)
5507БЦ1У	576	28	3	25	Н09.28-1В(ВН)
5507БЦ2У	1296	42	3	25	Н14.42-1В(ВН)
5507БЦ5У	3072	64	3	25	Н18.64-1В(ВН)
5507БЦ7У	5478	64	3	25	Н18.64-1В(ВН)

Серии БМК 5503 и 5507 имеют единую библиотеку элементов с универсальной системой обозначений. Библиотека состоит из трех частей.

1. Библиотека базовых элементов 5503. Включает в себя все основные группы логических элементов, периферийные элементы, обеспечивающие функции входа, выхода и вход/выхода цифровых и аналоговых сигналов, а также пассивную или активную нагрузку внешнего сигнала. Библиотека состоит из 252 элементов.

2. Библиотека цифроаналоговых элементов 5503+. Включает в себя 28 элементов, позволяющих реализовать аналого-цифровую обработку информации в поле БМК.

3. Библиотека специальных элементов 5503++. Состоит из специализированных элементов, разработанных для конкретных применений различных заказчиков.

На базе БМК серий 5503 и 5507 разработано и выпускается более 400 СПИС различного назначения. Примеры некоторых специализированных схем приведены в [2].

Разработка СПИС на БМК серий 5503 и 5507 осуществляется с помощью САПР БИС «Ковчег 2.2». В состав САПР БИС «Ковчег» версии 2.2 входят все основные подсистемы, необходимые для разработки и подготовки к производству полузаказной БИС:

подсистема функционально-логического моделирования;

Басаев Александр Сергеевич – заместитель директора НПК «Технологический центр» МИЭТ, кандидат физико-математических наук, лауреат премии Правительства РФ, Почетный работник науки и техники.

Денисов Андрей Николаевич – главный конструктор направления НПК «Технологический центр» МИЭТ, лауреат премии Правительства РФ.

Коняхин Валерий Вячеславович – начальник отдела НПК «Технологический центр» МИЭТ, лауреат премии Правительства РФ.

Мальцев Петр Павлович – заместитель директора НПК «Технологический центр» МИЭТ, доктор технических наук, профессор, член экспертного совета ВАК России, действительный член Международной академии информатизации.

подсистема размещения ячеек на поле БМК;
подсистема синтеза топологии;
специализированный топологический редактор;

подсистема верификации;

подсистема расчета параметров топологии;

подсистема аттестации проекта.

САПР БИС «Ковчег 2.2» имеет единую программную оболочку, функционирующую в среде Windows. Подсистема функционально-логического моделирования позволяет получить временные диаграммы функционирования проекта БИС, оценить устойчивость проекта в зависимости от воздействия внешних факторов, провести анализ влияния топологических параметров на функционирование и устойчивость проекта. Совмещенная подсистема ручного и автоматического размещения ячеек на поле БМК позволяет повысить коэффициент заполнения поля БМК до 80–90%. Синтез топологии выполняется с учетом списков цепей приоритетной разводки и скоростных цепей. Подсистема верификации, с одной стороны, проверяет выполнение требований стандарта кодирования топологии БИС, с другой – осуществляет проверку соответствия полученной топологии БИС ее логической схеме. Подсистема расчета топологии обеспечивает расчет задержек в топологических цепях с учетом возможного разброса топологических параметров. Подсистема аттестации проекта позволяет проверить поведение проекта микросхемы в зависимости от значений внешних воздействующих факторов и топологического разброса.

САПР «Ковчег 2.2.» поддерживает технологию разработки СПИС с использованием имитаторов БМК на ПЛИС. При этом разработка микросхемы изначально ведется средствами САПР «Ковчег 2.2.» в базисе БМК, готовый проект оперативно «зашивается» в имитатор БИС, а запуск в производство СПИС на БМК производится только после проверки и отладки имитатора ИС в макетных образцах аппаратуры. Во время изготовления СПИС на БМК разработчик аппаратуры может продолжать отладку системы и программного обеспечения, используя имитаторы, которые по посадочным местам, функциональным и электрическим характеристикам

полностью соответствуют СпИС на БМК. Процедура разработки аппаратуры с использованием имитаторов БМК представлена на рис. 1.

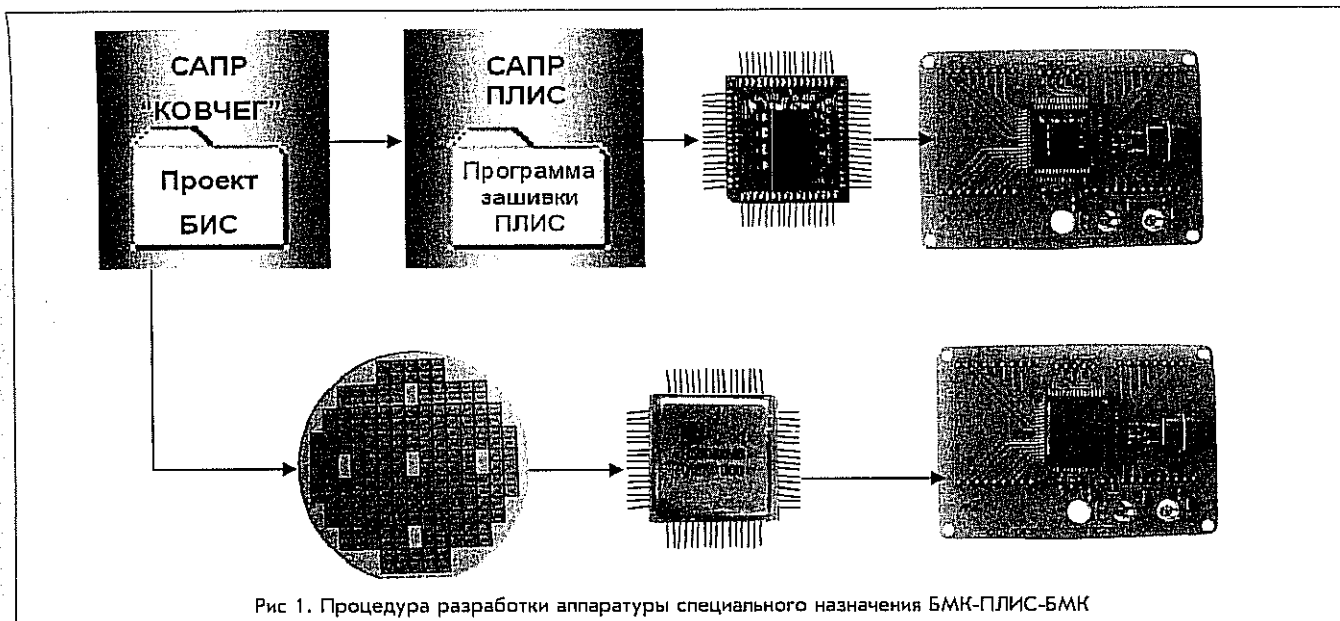


Рис 1. Процедура разработки аппаратуры специального назначения БМК-ПЛИС-БМК

Новые радиационно стойкие БМК серий 5508 и 5509

В НПК «Технологический центр» МИЭТ разработаны новые радиационно стойкие БМК серий 5508 (на объемном кремнии) и 5509 (на структурах кремний-на-изоляторе). Серии двухметалльных БМК 5508 и 5509 имеют структуру «море вентиляей» и повышенную рабочую частоту до 100 МГц. Серия 5509, кроме того, имеет повышенную устойчивость к

воздействию одиночных ядерных частиц. По средствам САПР, библиотекам и корпусам новые серии БМК полностью совместимы с БМК серий 5503 и 5507, что позволит без дополнительного перепроектирования реализовать все СпИС серий 5503 и 5507 на новых сериях БМК. Сравнительные характеристики БМК серии 5509 и существующих серий БМК производства НПК «Технологический центр» МИЭТ и ОАО «Ангстрем» приведены в табл. 2.

Таблица 2

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БМК

Наименование характеристики	5509	5503ХМ5	1537ХМ2	1592ХМ1У	1515ХМ1
Напряжение питания, В	от 2,7 до 5,5	от 4,5 до 5,5	от 4,5 до 5,5	от 4,5 до 5,5	от 4,5 до 5,5
Максимальная частота срабатывания триггера D-типа в счетном режиме, МГц	100	50	20	50	10
Объем поля БМК, условных вентиляей	30000	3100	17600	100000	3036
Значение статического потенциала, не более, В	2000	2000	500	2000	200
Устойчивость к фактору 7И6(И2)	2·5Ус(3У)	(5·2У)	(2У)	(0,2·1У)	(1У)
Устойчивость к фактору 7И7(И3)	6Ус(3У)	(2У)	(2У)	(10·1У)	(0,3·1У)
Устойчивость к фактору 7С4(С32)	5Ус	(1У)	(2У)	(0,1·1У)	(0,1·1У)
Устойчивость к фактору 7К1(К1)	0,5·2К	(2·1У)	(2У)	(5·1У)	(0,1·1У)
Устойчивость к фактору 7К4(К3)	0,5·2К	(0,5·1У)	(2У)	(0,5·1У)	(0,1·1У)
Временная потеря работоспособности после воздействия характеристики 7И6, не более, мкс	5	50	60	2000	60

Экспериментальные образцы кристаллов ИС на БМК серии 5509 были изготовлены во второй половине 2007 г. в ОАО «НИИМЭ и завод «Микрон». Испытания микросхем на радиационную стойкость были проведены в НПО СПЭЛС и показали следующие результаты.

1. Уровень стойкости БИС К5509БЦ8У к воздействию фактора с характеристикой 7.И8 составляет не менее 5Ус.

2. Уровень стойкости образцов БИС К5509БЦ8У к воздействию фактора с характеристикой 7.И6 составляет не менее 2·5Ус, при этом катастрофических отказов и тиристорного эффекта не наблюдается.

3. Уровень стойкости БИС К5509БЦ8У определяется нормой на параметр «статический ток потребления». В результате воздействия фактора с характеристикой 7.И7 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. 2 приведены дозовые зависимости статического тока потребления.

Перспективные разработки в области БМК

В 2007 г. НПК «Технологический центр» МИЭТ приступил к разработке САПР и серии БМК емкостью до 1 млн. вентиляей. Работа выполняется в рамках проекта по мероприятию 2.7 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007 – 2012 гг.». Общий объем финансирования проекта – 210 млн.руб., в том числе 105 млн. руб. – внебюджетные средства ОАО «НИИМЭ и завода «Микрон». Изготовление пластин БМК планируется на новой линейке ОАО «НИИМЭ и завода Микрон» уровня 0,18 мкм. Планируемый срок завершения разработки – декабрь 2009 г.

Помимо освоения новых серий БМК отечественного производства, планируется освоение маршрута разработки и изготовления СпИС на основе серий БМК фирмы «Аэрофлекс» (Колорадо-Спрингс, США).

Максимальный эффект от применения СпИС достигается в том случае, когда разработка радиоэлектронных систем ведется по методологии проектирования «сверху – вниз», что предполагает самое непосредственное участие разработчиков аппаратуры в разработке СпИС. В идеальном случае при предприятии – разработчике радиоэлектронной

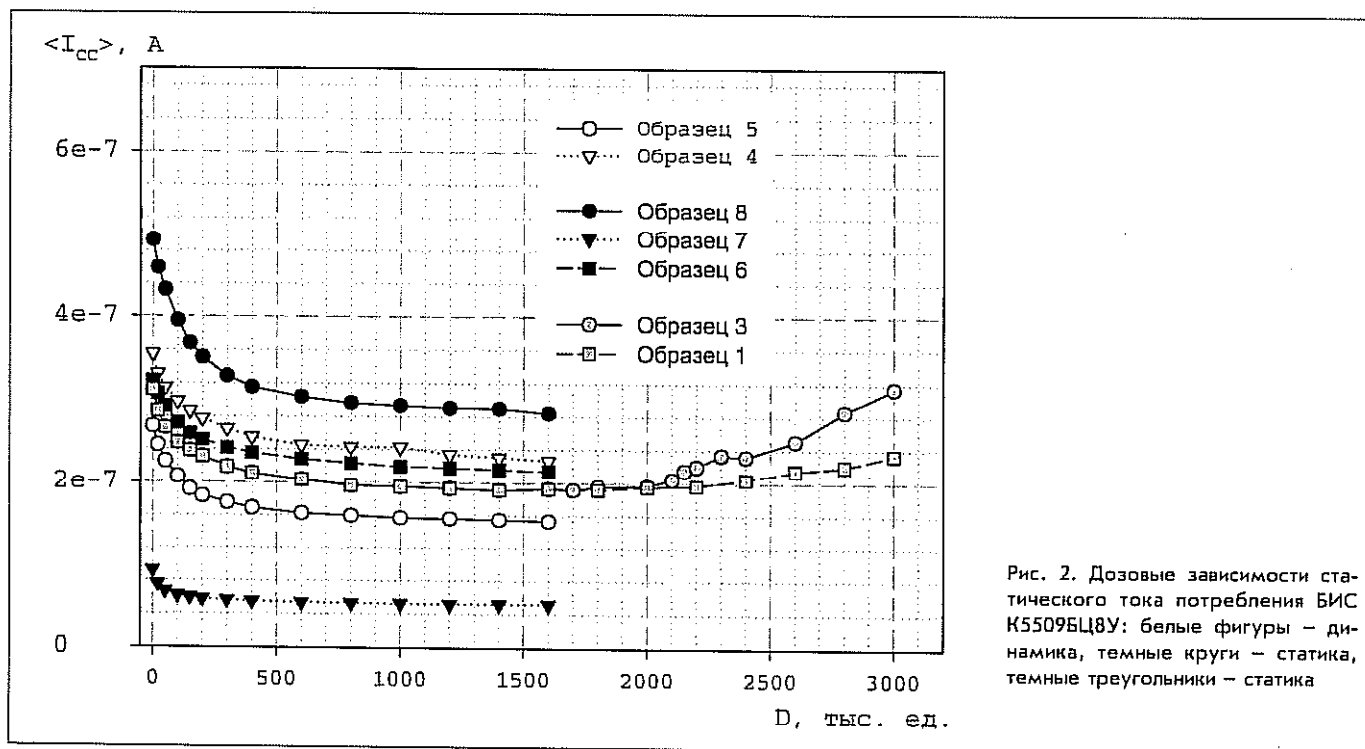


Рис. 2. Дозовые зависимости статического тока потребления БИС К5509БЦ8У: белые фигуры – динамика, темные круги – статика, темные треугольники – статика

аппаратуры должен быть собственный дизайн-центр по проектированию специализированных ИС. Для облегчения доступа предприятиям – разработчикам космической аппаратуры к современным техноло-

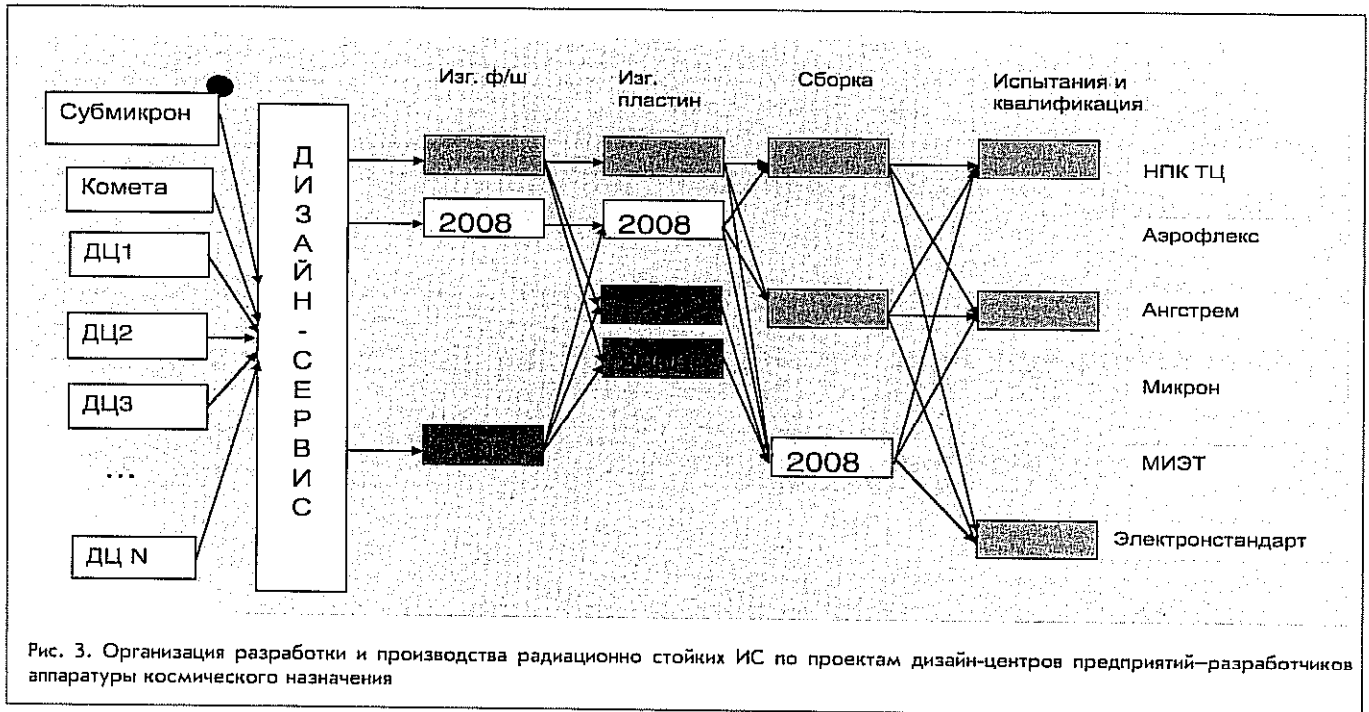


Рис. 3. Организация разработки и производства радиационно стойких ИС по проектам дизайн-центров предприятий-разработчиков аппаратуры космического назначения

гиям разработки и изготовления СпИС на основе БМК в НПК «Технологический центр» планируется организация специализированного дизайн-сервиса со следующими функциями.

1. Разработка и сертификация маршрутов изготовления ИС.
2. Разработка и сертификация маршрутов проектирования (САПР, дизайн-киты, библиотеки, методология проектирования).
3. Обеспечение программами по подготовке и переподготовке разработчиков ИС.
4. Координация действий дизайн-центров по разработке новых типов ИС.
5. Организация выпуска и сертификации ИС по согласованным маршрутам.

Схема организации разработки и производства радиационно стойких ИС по проектам дизайн-центров предприятий-разработчиков аппаратуры космического назначения приведена на рис. 3.

Модель взаимодействия с предприятиями – разработчиками радиоэлектронной аппаратуры в режиме дизайн-сервиса апробирована при проведении ряда работ с ФГУП НИИ «Субмикрон»,

ФГУП ЦНИИ «Комета» и показала свою высокую эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.amis.com/products/structured_digital/index.html
http://ams.aeroflex.com/ProdFamilyPages/RH_ASICFamily.cfm
<http://www.austinsemiconductor.com/asicdsgn.aspx>
2. <http://www.asic.ru/bistrans.html#1>

◆

*Все
о «Петербургском журнале
электроники»
читайте на сайте:*

WWW.elstandart.spb.ru