



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»

МИР Электроники

Серия практических пособий в 4 книгах
«ПОЛУЗАКАЗНЫЕ БИС НА БМК СЕРИЙ 5503 и 5507»

КНИГА 1

А.Н. Денисов

В.В. Коняхин

Под общей редакцией
академика РАН А.Н. Саурова

Методология
проектирования
и освоение
производства

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2019

**УДК 621.38
ББК 31.2
П53**

**П53 Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507. В 4 кн.:
Практическое пособие. Кн. 1.
Методология проектирования и освоение производства
/ Под общ. ред. академика РАН А.Н. Саурова
Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 198 с. ISBN 978-5-94836-442-1**

Это первая книга серии практических пособий в четырех книгах под общим названием «Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507», посвященных общим сведениям о базовых матричных кристаллах, вопросам методологии проектирования БИС на их основе, средствам проектирования и библиотекам ячеек полузаказных микросхем серий 5503 и 5507, нашедших широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре.

Книга содержит сведения об отечественных базовых матричных кристаллах, применяемых в настоящее время в аппаратуре космического назначения. Детально описана конструкция БМК серий 5503 и 5507, приведены их основные характеристики. В книге представлена методология проектирования полузаказных БИС и разработки аппаратуры на их основе, изложен порядок освоения производства БИС, дан обзор нормативно-технической документации, регламентирующей требования к микросхемам, приведен пример проектирования микросхемы на БМК серии 5503 средствами САПР «Ковчег 3.04».

Промышленная версия САПР «Ковчег 3.04» свободно распространяется и размещена на сайте (<http://www.asic.ru>).

Книга предназначена для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, а также для преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов, изучающих современные методы проектирования специализированных БИС.

**УДК 621.3
ББК 31.2**

**Авторы: А.Н. Денисов
В.В. Коняхин**

© 2019, АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление
© 2019, А.Н. Денисов, В.В. Коняхин

ISBN 978-5-94836-442-1

Предисловие

Для аппаратуры космического назначения при всей важности экономических показателей определяющими требованиями являются высокая надежность, долговечность, повышенная стойкость к внешним воздействующим факторам (ВВФ), низкое энергопотребление, высокая функциональность, оперативность разработки и возможность изготовления в заданные сроки, длительный период поддержания производства. Непрерывное обновление и расширение номенклатуры и ассортимента радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) требует разработки специализированных микросхем. При этом потребность в специализированных микросхемах конкретных типов может быть крайне низкой и составлять сотни и даже десятки микросхем. Кроме того, для подавляющего большинства аппаратуры космического назначения обязательным условием является применение отечественной электронной компонентной базы (ЭКБ).

Специализированные микросхемы можно разделить на три группы: заказные микросхемы, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и полужаказные большие интегральные схемы (БИС) на основе базовых и базовых матричных кристаллов. Принято считать, что полностью заказные микросхемы обеспечивают максимальную функциональность, надежность и стойкость к ВВФ, минимальную стоимость при массовом производстве, но требуют максимальных затрат при разработке и освоении производства, поэтому для производства малых партий БИС экономически не эффективны. ПЛИС, обладая преимуществами при разработке микросхемы, в то же время за счет наличия дополнительных элементов для программирования их структуры, снижающих надежность микросхем, имеют более высокое энергопотребление и более высокую стоимость по сравнению с заказными БИС. Полузаказные большие интегральные схемы (БИС) занимают промежуточное положение между полностью заказными микросхемами и ПЛИС. По показателям надежности, энергопотребления и стойкости к ВВФ они сравнимы с заказными БИС, по длительности цикла «разработка – изготовление – поставка» сопоставимы с циклом «разработка – поставка – специализация» для ПЛИС. Это достигается благодаря применению методов прототипирования проекта полужаказной БИС средствами имитатора базового матричного кристалла (БМК) на ПЛИС. Производство полужаказных БИС наиболее эффективно при изготовлении малых и средних партий микросхем и может поддерживаться в течение длительного срока – более 15 лет.

Выбор способа реализации специализированных БИС определяется множеством критериев, но, как правило, именно полужаказные БИС обеспечивают наилучшее соотношение эксплуатационных показателей и затрат на разработку и освоение.

Базовый матричный кристалл (англ. Uncommitted Logic Array, ULA) – это универсальная заготовка в виде кремниевой пластины, на которой сформированы

кристаллы с матрицей транзисторных структур. Такие кристаллы называют базовыми, поскольку все фотошаблоны для их изготовления, за исключением слоев металлизации, являются постоянными и не зависят от реализуемой схемы. Простейшие элементы (КМОП транзисторы) располагаются на БМК в виде регулярной матрицы, поэтому его называют матричным.

В отличие от ПЛИС, логика работы которых задается посредством программно управляемых элементов, БМК специализируется технологически в процессе микроэлектронного производства путем формирования соединений транзисторов на поле БМК в одном или нескольких слоях металлизации. В сравнении с ПЛИС в структуре БМК отсутствуют избыточные элементы, что в несколько раз снижает общую сложность микросхемы, повышая ее надежность.

Кроме того, необходимо отметить следующие преимущества БМК:

- развитая библиотека функциональных ячеек и типовых схмотехнических решений значительно упрощает процесс разработки логического проекта, уменьшает время и повышает качество проектирования;
- в составе одного БМК могут быть реализованы как цифровые, так и цифроаналоговые узлы и блоки;
- БМК имеют фиксированную геометрическую структуру, что значительно упрощает автоматическое размещение ячеек и синтез топологии БИС;
- формирование БИС на БМК выполняется с помощью малого числа фотошаблонов, что значительно уменьшает сроки изготовления и затраты при производстве БИС;
- БИС, разработанные на основе БМК, не требуют проведения квалификационных испытаний, что существенно сокращает сроки и стоимость освоения их в производстве.

Таким образом, при выборе отечественной элементной базы для создания новой аппаратуры космического назначения необходимо учитывать, что универсальные БИС не обеспечат реализацию эффективных схемных решений, а разработка заказных микросхем и их освоение в производстве потребуют существенных финансовых и временных затрат. Применение же полузаказных микросхем на основе БМК обеспечит быструю реализацию необходимых микросхем требуемого уровня качества, при этом экономическая эффективность изготовления микросхем будет достигнута для партий размером от единиц до сотен тысяч штук. Благодаря указанным преимуществам для аппаратуры космического назначения на данный момент БИС на основе БМК не имеют альтернативы.

Серия практических пособий в 4 книгах под общим названием «Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507» позволяет изучить методологию проектирования микросхем на основе указанных серий БМК, освоенных в производстве и разрешенных к применению в аппаратуре космического назначения, содержит необходимые сведения для организации процесса разработки и позволяет получить практические навыки в разработке полузаказных БИС.

Книга 1 «Методология проектирования и освоение производства» посвящена теоретическим основам разработки полузаказных микросхем на основе БМК. В ней описаны конструкция и технология изготовления БМК серий 5503 и 5507, назначение и область применения полузаказных микросхем, приведены основные характеристики БМК. Отдельный раздел книги посвящен методологии разработки БИС, в том числе маршруту и методике проектирования микросхем, средствам

прототипирования полузаказных БИС. Рассмотрены нормативная техническая документация, виды и состав испытаний микросхем.

В качестве примера для получения практических навыков по методике проектирования детально описан процесс разработки средствами САПР «Ковчег 3.04» микросхемы управления бытовым двухкамерным холодильником и морозильником, от формирования технических требований к микросхеме до подготовки конструкторской документации для ее изготовления.

Книга 2 «Система автоматизированного проектирования «Ковчег 3.04» содержит описание САПР «Ковчег 3.04», предназначенной для разработки полузаказных КМОП БИС на основе БМК серий 5503 и 5507. В ней приведены типовые проектные процедуры, используемые при разработке специализированных КМОП микросхем на основе БМК, детально описаны меню, параметры и команды подсистем САПР, обеспечивающие разработку и подготовку БИС к производству: графический редактор схем, редактор описания схем в формате Verilog Netlist, подсистема функционально-логического моделирования, подсистема размещения ячеек на поле БМК, подсистемы синтеза и оптимизации топологии, специализированный топологический редактор, подсистемы верификации и расчета параметров топологии, подсистема анализа устойчивости проекта, средства обеспечения оперативного прототипирования БИС с помощью имитатора и др.

В книге 3 «Библиотека функциональных ячеек» приведено описание унифицированных библиотек функциональных ячеек 5503 и 5503+ для проектирования средствами САПР «Ковчег» различных интегральных микросхем на основе БМК серий 5503 и 5507. Рассмотрены особенности функциональных ячеек, представлена система буквенных обозначений, состав групп ячеек. В алфавитном порядке представлены описания функциональных ячеек, включающие имя ячейки, графический образ, описание функционирования, таблицу истинности, расчетные значения задержек распространения сигналов, рекомендуемые значения нагрузочной способности выходов, топологический размер ячейки и др. В отдельном разделе описаны аналоговые и цифроаналоговые ячейки, такие как компараторы, операционные усилители, и другие ячейки специального назначения.

Книга 4 «Библиотека ячеек для проектирования самосинхронных полузаказных микросхем» содержит описание унифицированной библиотеки функциональных ячеек 5503СС, предназначенной для проектирования средствами САПР «Ковчег» самосинхронных интегральных микросхем на основе БМК серий 5503 и 5507. В книге представлена система буквенных обозначений, состав групп ячеек, в алфавитном порядке представлены описания самосинхронных ячеек.

Самосинхронные схемы характеризуются рядом параметров, выгодно отличающих их от синхронных и асинхронных схем, в том числе устойчивостью функционирования к разбросу параметров технологии изготовления БИС, отклонениям параметров элементной базы из-за старения элементов, изменения температуры, напряжения источника питания и других внешних факторов.

Учитывая относительную новизну самосинхронных схем, в книге 4 подробно рассмотрены основные принципы и методы проектирования самосинхронных схем, приведены потенциальные преимущества самосинхронных схем и причины медленного развития самосинхронной схемотехники, на качественном уровне описываются различия синхронных, асинхронных и самосинхронных схем. Приведена классификация самосинхронных схем, изложены основные принципы

проектирования комбинационных и последовательностных схем, подробно рассмотрены вопросы конвейеризации самосинхронных схем, реализации отказоустойчивости самосинхронных схем и оптимизации их энергопотребления, а также ограничения при проектировании самосинхронных схем и организация интерфейса между синхронными и самосинхронными схемами, изложено руководство по квалификационному анализу разработанных схем на предмет их соответствия принципам самосинхронности.

Промышленная версия САПР «Ковчег 3.04» доступна для свободного копирования на нашем сайте (<http://www.asic.ru>). Приобретя книги серии, читатель сможет создать на своем компьютере полноценное рабочее место для разработки БИС на БМК серий 5503 и 5507, которые могут быть изготовлены на микроэлектронном производстве НПК «Технологический центр» (www.asic.ru).

Авторы надеются, что выпуск серии практических пособий «Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507» будет способствовать подготовке инженеров – специалистов в области разработки БИС и аппаратуры на их основе. Авторы будут признательны всем читателям, которые пришлют свои замечания и предложения по содержанию книг серии по адресу: kovcheg@asic.ru.

Введение

Предлагаемая вашему вниманию книга посвящена процессу создания полузаказных микросхем на основе БМК и содержит шесть разделов. Каждый раздел имеет самостоятельное оглавление и составную нумерацию страниц, включающую номер раздела и номер страницы в пределах раздела. Рисунки также имеют составные номера.

- ***Раздел 1. Базовые матричные кристаллы***

Раздел содержит общие сведения о базовых матричных кристаллах, информацию об отечественных БМК, выпускаемых в настоящее время. Также в разделе описаны конструкции БМК серий 5503 и 5507, технология их изготовления, приведены основные электрические параметры, описан маршрут проектирования БИС и аппаратуры с применением имитаторов БМК.

- ***Раздел 2. Нормативно-техническая документация на полузаказные микросхемы***

Раздел включает сведения о нормативно-технической документации, регламентирующей требования к микросхемам, составу и назначению конструкторской документации, необходимой при производстве полузаказных микросхем.

- ***Раздел 3. Группы и состав испытаний полузаказных микросхем***

Раздел посвящен группам и составу испытаний, гарантирующим качество микросхем в процессе их разработки и производства.

- ***Раздел 4. Порядок разработки и освоения производства полузаказной микросхемы***

В разделе рассмотрены порядок разработки полузаказной микросхемы, взаимодействие заказчика и исполнителя в процессе разработки и освоения серийного выпуска микросхем.

- ***Раздел 5. Рекомендации по разработке аппаратуры с применением БМК***

Раздел посвящен методологии разработки полузаказных микросхем, правилам проектирования и средствам прототипирования.

- ***Раздел 6. Пример проектирования полузаказной микросхемы средствами САПР «Ковчег 3.04»***

В разделе приведен пример разработки полузаказной микросхемы средствами САПР «Ковчег». Детально описан весь процесс разработки микросхемы управления бытовым двухкамерным холодильником и морозильником, от формирования технических требований к микросхеме до подготовки конструкторской документации для ее изготовления.