

А. Н. Денисов, В. В. Коняхин

# СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Одним из основных направлений деятельности НПК «Технологический центр» является разработка, организация производства и сопровождение интегральных микросхем и микросборок для уникальной аппаратуры специального назначения. В основном это полузаказные микросхемы серий 5503 и 5507, вошедшие в Перечень МОП 44 001.02. При разработке используются оригинальные, созданные в организации средства проектирования и прототипирования разрабатываемых микросхем, что позволяет обеспечить высокое качество и значительное сокращение сроков разработки. Все разрабатываемые микросхемы осваиваются в производстве, и организуется их мелкосерийный выпуск. С этой целью создаются специальные измерительные стенды, изготавливается необходимая оснастка, разрабатываются программы контроля. Кроме этого, на базе НПК «Технологический центр» создан Центр коллективного пользования научным и испытательным оборудованием «Функциональный

контроль и диагностика микро- и наносистемной техники», который обеспечивает не только измерения и испытания микросхем в процессе их изготовления, но и проведение дополнительных испытаний по согласованной с заказчиком программе.

На базе БМК серий 5503 и 5507 разработано и выпускается более 400 типов полузаказных микросхем различного назначения, в том числе для космической аппаратуры, например, для космических кораблей «Прогресс-М» (34 пуска), «Союз-ТМА» (24 пуска), разгонного блока «Бриз-М» (47 пусков) и других аппаратов.

Технические параметры и эксплуатационные характеристики создаваемых микросхем закладываются на этапе разработки конструктивно-технологического базиса (КТБ). Средствами технологического моделирования выполняется разработка конструкции транзисторных структур и технологического маршрута их изготовления. В процессе моделирования определяются не только электрические па-



**Денисов  
Андрей  
Николаевич,**

начальник лаборатории, главный конструктор по интегральным схемам ГУ НПК «Технологический центр» МИЭТ.

Область научных интересов – проектирование и макетирование интегральных микросхем.

раметры будущего прибора, но и влияние внешних воздействий на его свойства. На рис. 1 в качестве примера приведена трехмерная модель прибора с распределением токов утечки после радиационного воздействия. Разработка КТБ выполняется с учетом конкретного технологического оборудования, благодаря чему достигается повышенная стойкость микросхем к воздействию специальных факторов, в том числе космического пространства.

На данный момент НПК «Технологический центр» выполняет разработки специализированных микро-

схем с применением следующих КТБ.

1. Технологический уровень 1,5 мкм (производство НПК «Технологический центр»):

КМОП, КМОП КНИ;

БиКМОП;

универсальные (с включением силовых и прецизионных элементов).

2. Технологический уровень 1,2 мкм (производство ОАО «Ангстрем»):

КМОП КНИ.

3. Технологический уровень 0,25 – 0,18 мкм (производство ОАО «НИИМЭ и Микрон»):

КМОП, КМОП КНИ.

В результате разработано семейство серий БМК, изготавливаемых по КМОП и КМОП КНИ технологии, имеющих единые средства проектирования и прототипирования на базе отечественной САПР «Ковчег», обладающих полной взаимной совместимостью по библиотекам элементов (рис. 2).

Библиотека унифицированных базовых элементов включает в себя более 250 типов, из которых 65 типов логических элементов, 125 типов триггеров и 68 типов периферийных ячеек.

Серии БМК 5503 и 5507 (таблица) освоены в производстве, имеют категорию качества «ВП». Радиационно стойкая КМОП – технология 1,5 мкм на объемном кремнии. Разводка в 1 слое металла и слое

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БМК СЕРИЙ 5503 И 5507 [ 1 ]

Тип БМК	Количество условных вентиляей в поле БМК	Количество внешних контактов	Напряжение питания, В	Рабочая частота, МГц	Тип корпуса
H5503XM1	576	28	5	30	H09.28-1B
H5503XM2	1296	42	5	30	H14.42-1B
H5503XM5	3072	64	5	30	H18.64-1B
5503БЦ7У	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

поликремния. Разрешены к применению в аппаратуре специального назначения.

С целью повышения качества и эксплуатационных характеристик ведутся работы по освоению серий 5503ОСМ и 5507ОСМ (категория качества «ОС»). Проведено совершенствование технологии изготовления:

- контактные окна типа «рюмка» (рис. 3);
- низкотемпературный подзатворный диэлектрик;
- переход на эпитаксиальные пластины;
- совершенствование конструкции базовых слоев БМК.

Введены методики контроля качества технологических операций, ужесточены нормы разбраковки [ 2 ], изготовление микросхем выполняется с дополнительными отбраковочными испытаниями. Далее приведены планируемые параметры для разных серий микросхем.

*Серии 5503ОСМ и 5507ОСМ:*

- надежность — не менее 150 000 ч;
- накопленная доза — не менее 6Ус;
- отсутствие тиристорного эффекта;
- устойчивость к ТЗЧ (сбой) — не менее 30 МэВ×см<sup>2</sup>/мг;
- устойчивость к ТЗЧ (отказ) — не менее 80 МэВ×см<sup>2</sup>/мг.

*Серии БМК 5508 и 5509 на структурах «кремний-на-изоляторе»:*

- категория качества «ВП»;
- серия 5508 с напряжением питания 5В±10%;
- серия 5509 с напряжением питания 3В±10% и 3,3В ±10%;

- в каждой серии по 3 типа БМК объемом от 7500 до 35 000 вентиляей в малогабаритных корпусах на 68, 100 и 144 вывода с шагом 0,5 мм;

- радиационно стойкая КМОП технология 1,0 мкм;
- рабочая частота до 100 МГц;
- накопленная доза не менее 6Ус;
- устойчивость к электростатике не менее 2 кВ;
- надежность не менее 150 000 ч.

Экспериментальные образцы микросхем на БМК серии 5509 были изготовлены в 2007 г. в ОАО «НИ-

ИМЭ и Микрон» и в 2010 г. — в ОАО «Ангстрем». Предварительные испытания микросхем на радиационную стойкость показали, что стойкость к накопленной дозе превышает 6Ус [ 3 ].

*Серия БМК 5521 на объемном кремнии:*

- 4 типа БМК объемом 100, 200 и 500 тыс. вентиляей;
- категория качества «ВП»;
- технология КМОП — 0,18 мкм с кольцевыми транзисторами на объемном кремнии;
- изготовитель кристаллов микросхем ОАО «НИ-ИМЭ и Микрон»;
- корпусное исполнение в малогабаритных корпусах 4 типа на 68, 144 и 176 выводов с шагом 0,5 мм;
- напряжение питания микросхем в диапазоне от 2,7 до 3,6 В;
- встроенные блоки ОЗУ и ПЗУ;
- надежность не менее 100 000 ч;
- оригинальные средства топологического проектирования и прототипирования.

Изготовлены экспериментальные образцы, предварительные испытания показали, что стойкость к накопленной дозе превышает 6Ус (рис. 4).

*Серия БМК 5529 на структурах «кремний на изоляторе»:*

- 4 типа БМК объемом 100, 200 и 500 тыс. вентиляей;
- категория качества «ВП»;
- технология КМОП — 0,25 мкм на структурах «кремний на изоляторе»;

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



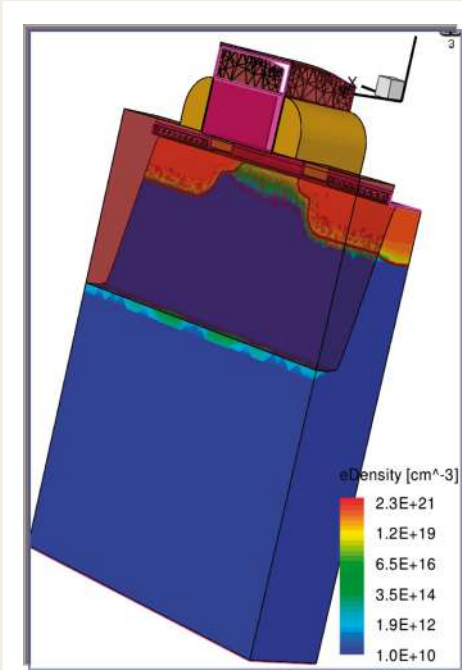


Рис. 1. Распределение токов утечки после радиационного воздействия

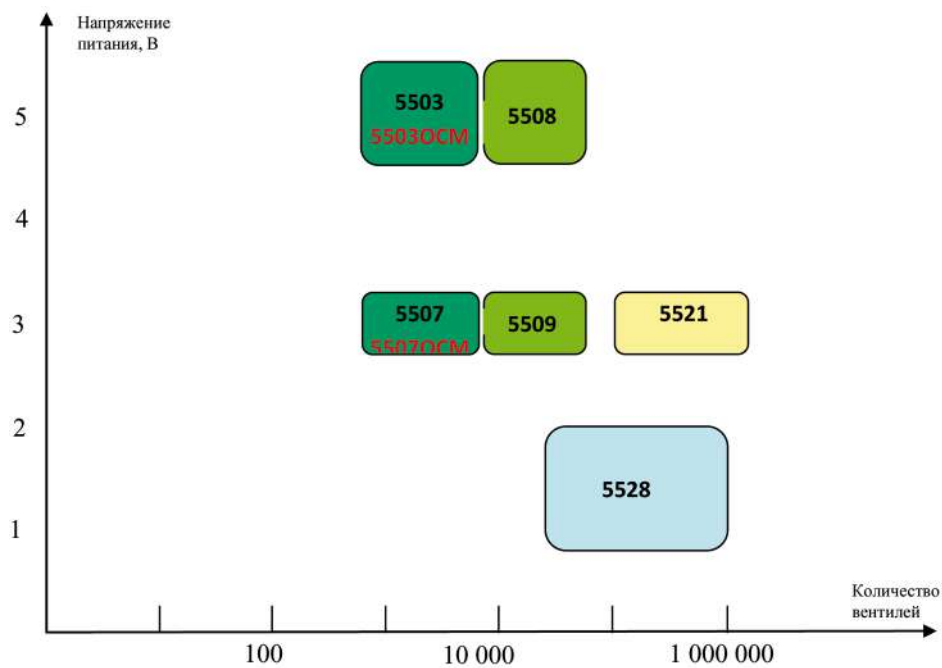


Рис. 2. Напряжение питания и степень интеграции семейства серий БМК

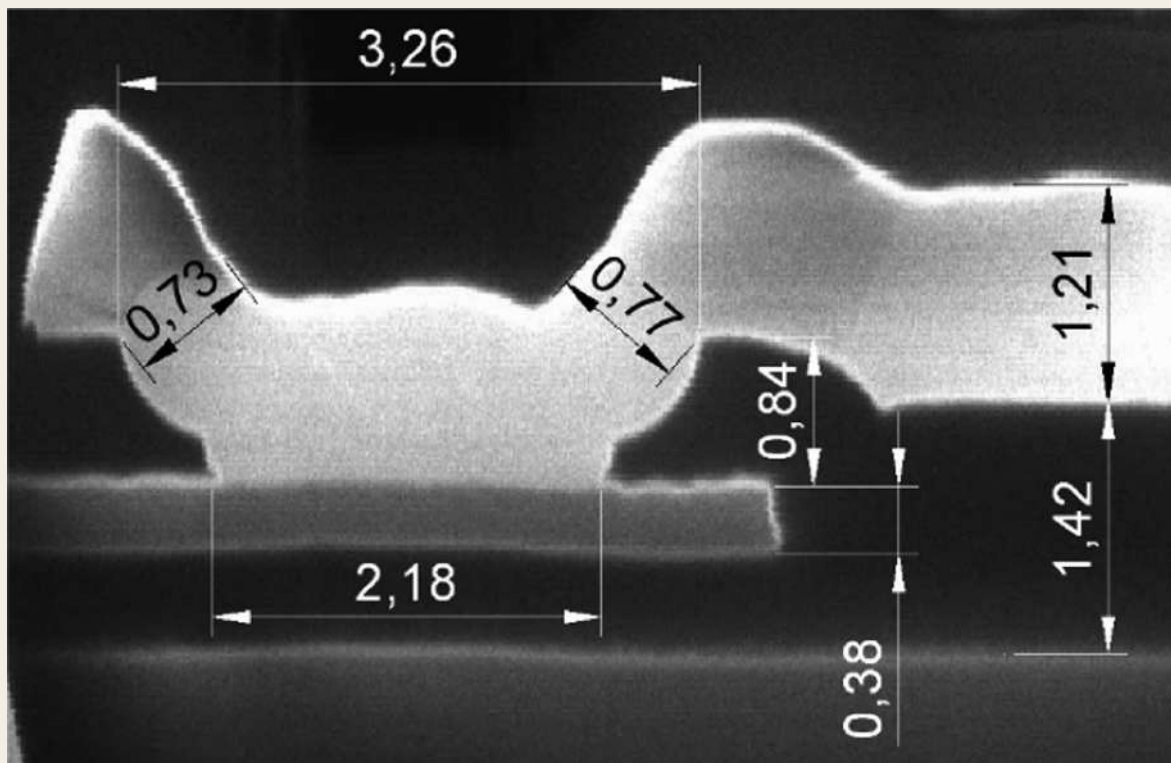


Рис. 3. Геометрические параметры контактных окон

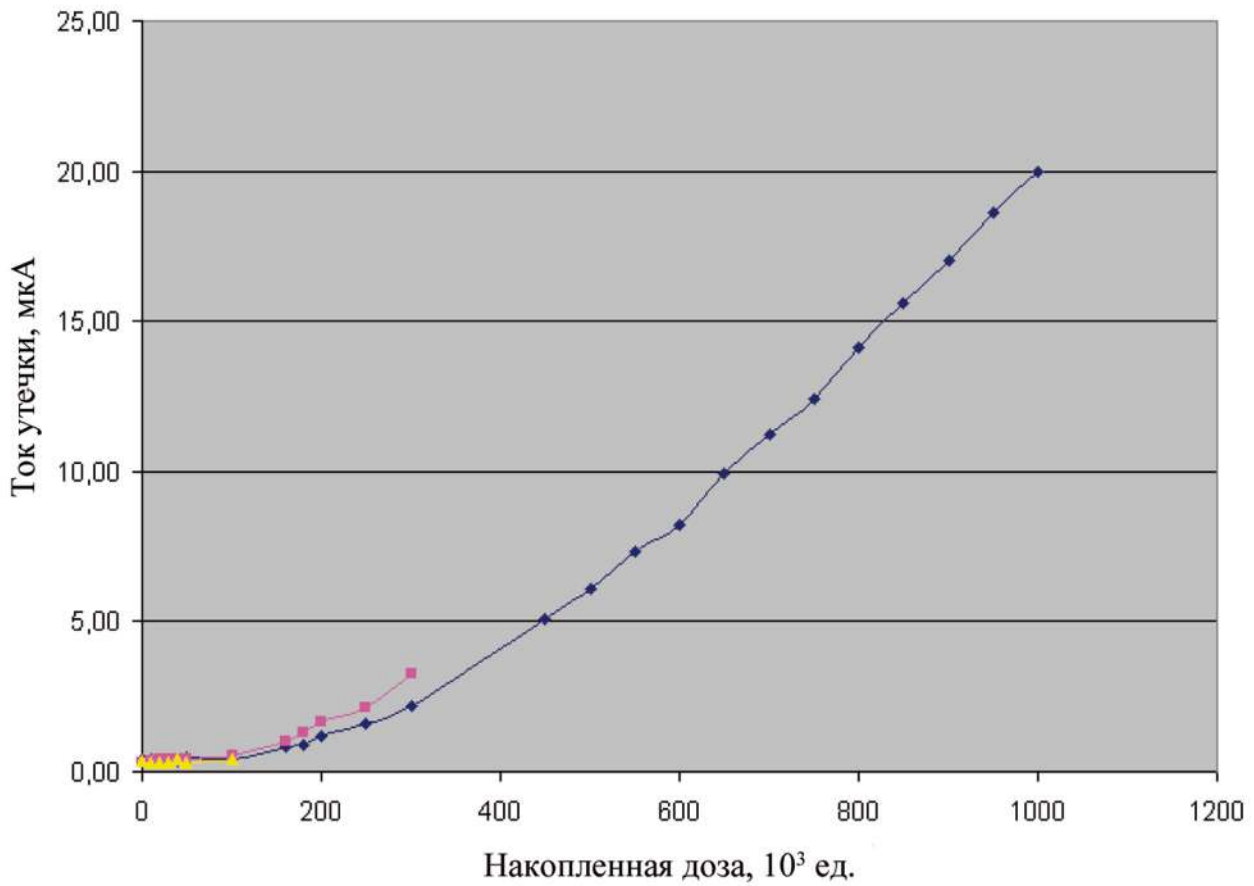


Рис. 4. Зависимость тока утечки от накопленной дозы

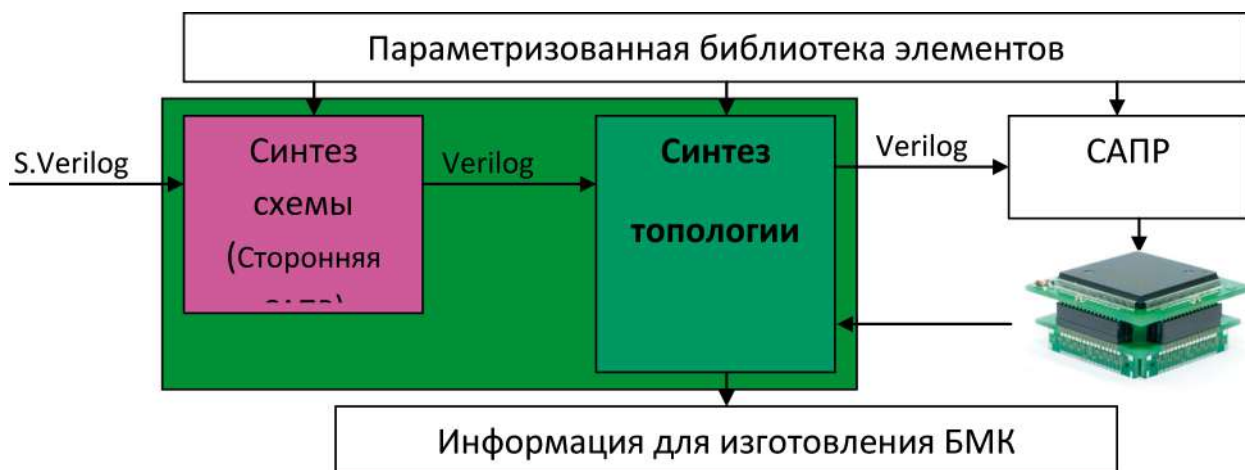


Рис. 5. Маршрут разработки БИС на БМК новых серий

изготовитель кристаллов микросхем ОАО «НИИМЭ и Микрон»;

корпусное исполнение в малогабаритных корпусах 4 типа на 68, 144 и 176 выводов с шагом 0,5 мм;

напряжение питания микросхем в диапазоне от 2,7 до 3,6 В;

встроенные блоки ОЗУ и ПЗУ;

надежность не менее 100 000 ч;

оригинальные средства топологического проектирования и прототипирования.

Экспериментальные образцы находятся в производстве, в конце 2012 г. планируется провести их оценочные испытания.

Кроме указанных серий БМК, освоенных в производстве или находящихся на стадии освоения, НПК «Технологический центр» ведет разработку новых серий, ориентированных на применение в аппаратуре специального назначения.

*Серия БМК 5528 с пониженным напряжением питания:*

3 типа БМК объемом 20, 100 и 1000 тыс. вентиляей; технология КМОП — 0,18 мкм с кольцевыми транзисторами на объемном кремнии;

изготовитель кристаллов микросхем ОАО «НИИМЭ и Микрон»;

напряжение питания микросхем в диапазоне от 0,8 до 3,0 В;

оригинальные средства топологического проектирования и прототипирования;

надежность не менее 50 000 ч;

получены макетные образцы, в конце 2012 г. планируется провести оценочные испытания.

*Серия БМК для сбое- и отказоустойчивой аппаратуры:*

радиационно стойкая КМОП технология 0,25 мкм на структурах «кремний на изоляторе»;

изготовитель кристаллов микросхем ОАО «НИИМЭ и Микрон»;

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

разводка до 6 слоев металла;

количество внешних выводов до 604 выводов; конструкция контактных площадок предназначена для 2-кратной разварки с целью аттестации кристаллов микросхем для последующего использования в многокристальных модулях.

Все перечисленные серии БМК имеют лицензионно чистые средства проектирования (САПР «Ковчег»), которые промышленно эксплуатируются и совершенствуются более 30 лет.

Сегодня САПР «Ковчег» представляет собой интегрированную систему автоматизированного проектирования, позволяющую провести все этапы проектирования полузаказной микросхемы, включая прототипирование [4, 5] будущей микросхемы до ее производства. Схемотехнический графический редактор обеспечивает графический ввод электрических схем. Описание микросхемы может быть подготовлено и на языке высокого уровня Verilog и System Verilog. 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. Маршрут разработки БИС на БМК новых серий представлен на рис. 5.

При разработке микросхем высокой сложности на

БМК объемом более 100 000 вентилях используются сторонние средства синтеза электрической схемы, который выполняется с применением параметризованной унифицированной библиотеки элементов.

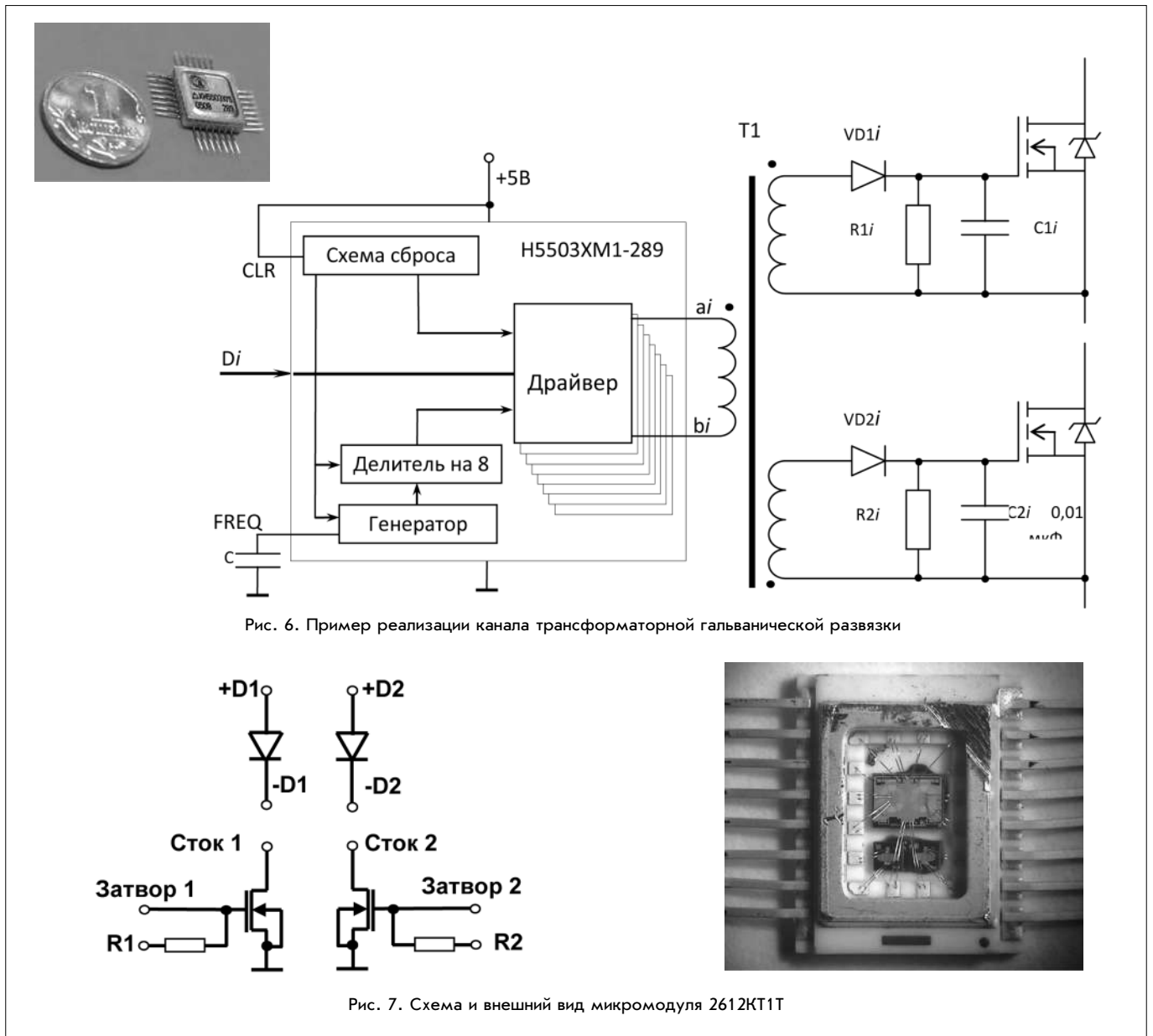
В последнее время НПК «Технологический центр» осуществляет разработку не только полузаказных микросхем, но и специализированных микросхем универсального назначения. Далее приведена краткая характеристика этих микросхем.

**1. Микросхема H5503XM1-289** предназначена для работы в качестве генератора, питающего первичную обмотку трансформатора гальванической развязки для управления одним или двумя мощными полевыми транзисторами по каждому из 8 каналов. На рис. 6. приведен пример реализации.

**2. Силовой ключ – микромодуль 2612KT1T** (рис. 7).

*Электрические параметры:*

максимальный ток транзистора – 0,4 А;



максимальный ток диода — 0,2 А;  
 сопротивление в открытом состоянии при  $U_3 = 5$  В — не более 1,5 Ом;  
 пробивное напряжение (исток — сток) — не менее 40 В;  
 пороговое напряжение — от 0,7 до 2,3 В;  
 максимальное напряжение на затворе — 10 В.  
**Эксплуатационные параметры:**  
 повышенная рабочая температура — + 85 °С;  
 повышенная предельная температура — + 150 °С;  
 пониженная рабочая температура — минус 60°С;  
 пониженная предельная температура — минус 60°С;  
 уровень электростатической защиты — 500 В;  
 устойчивость к ОЗЧ  
 15 МэВ×см<sup>2</sup>/мг при  $U_{си} > 26,2$ В;  
 40 МэВ×см<sup>2</sup>/мг при  $U_{си} > 20,7$ В;  
 69 МэВ×см<sup>2</sup>/мг при  $U_{си} > 19,3$ В;  
 7.И1 — 2Ус; 7.И6 — 4Ус; УБР 7.И8 —  $6 \times 10^{-4} \times 1$ Ус;  
 7.И7 — 4Ус;  
 7.С1 —  $5 \times 4$ Ус; 7.С4 —  $0,5 \times 1$ Ус; 7.К1 —  $0,65 \times 2$ К;  
 7.К4 —  $0,65 \times 1$ К

3. Микросхема тиристорной защиты (рис. 8) предназначена для предохранения электронной аппаратуры космических аппаратов от тиристорного эффекта, вызванного тяжелыми заряженными частицами и протонами.

Напряжение питания от 3 до 5 В. Ключ внешний.

4. 16-разрядный приемопередатчик (рис. 9) с 2 каналами 8-разрядного приемопередатчика, аналог микросхемы UT54ACS164245S (фирма AeroFlex). Обеспечивает преобразование сигналов из уровня напряжения 3,3 в 5 В и из 5 в 3,3 В.

В отличие от аналога уровни преобразуемых напряжений задаются питающими напряжениями.

**Планируемые параметры:**

надежность — не менее 100 000 ч;

накопленная доза — не менее 100 крад;

отсутствие тиристорного эффекта;

устойчивость к ОЗЧ (сбой) — не менее 20 МэВ×см<sup>2</sup>/мг;

полная устойчивость к ОЗЧ — не менее 80 МэВ×см<sup>2</sup>/мг.

Для облегчения доступа предприятиям — разработ-

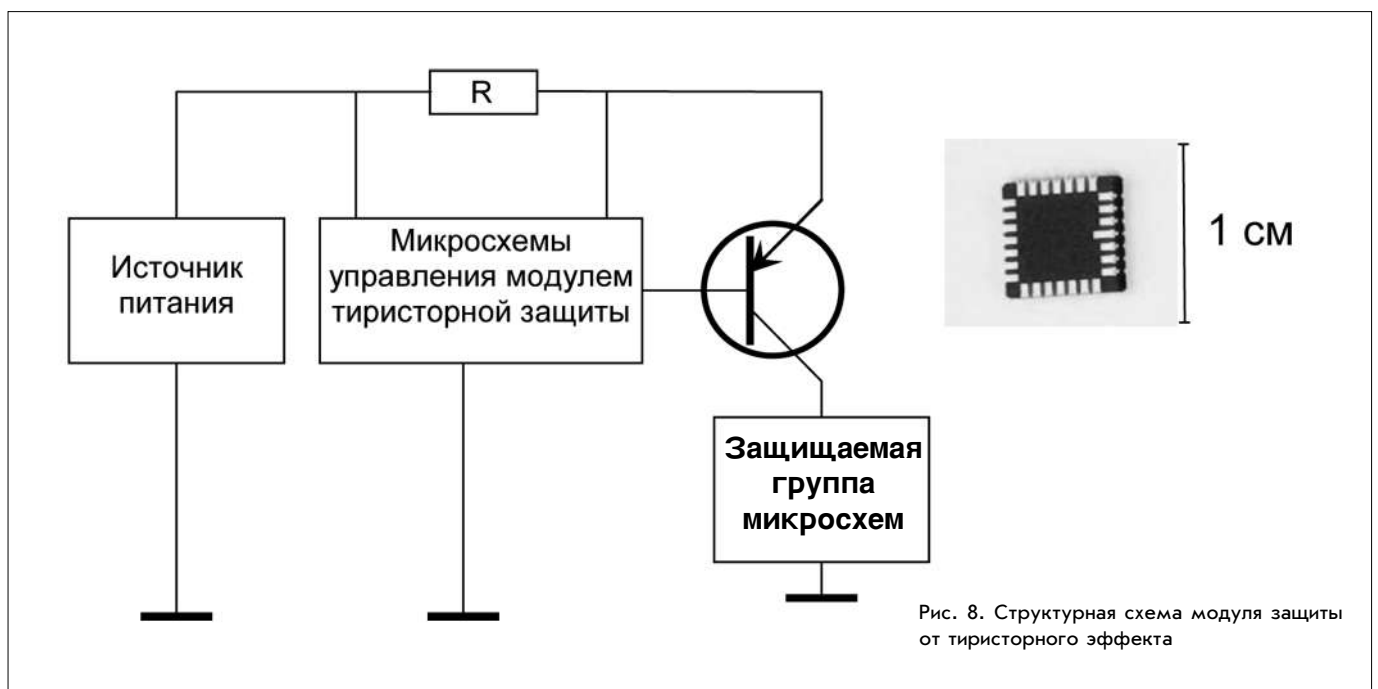


Рис. 8. Структурная схема модуля защиты от тиристорного эффекта



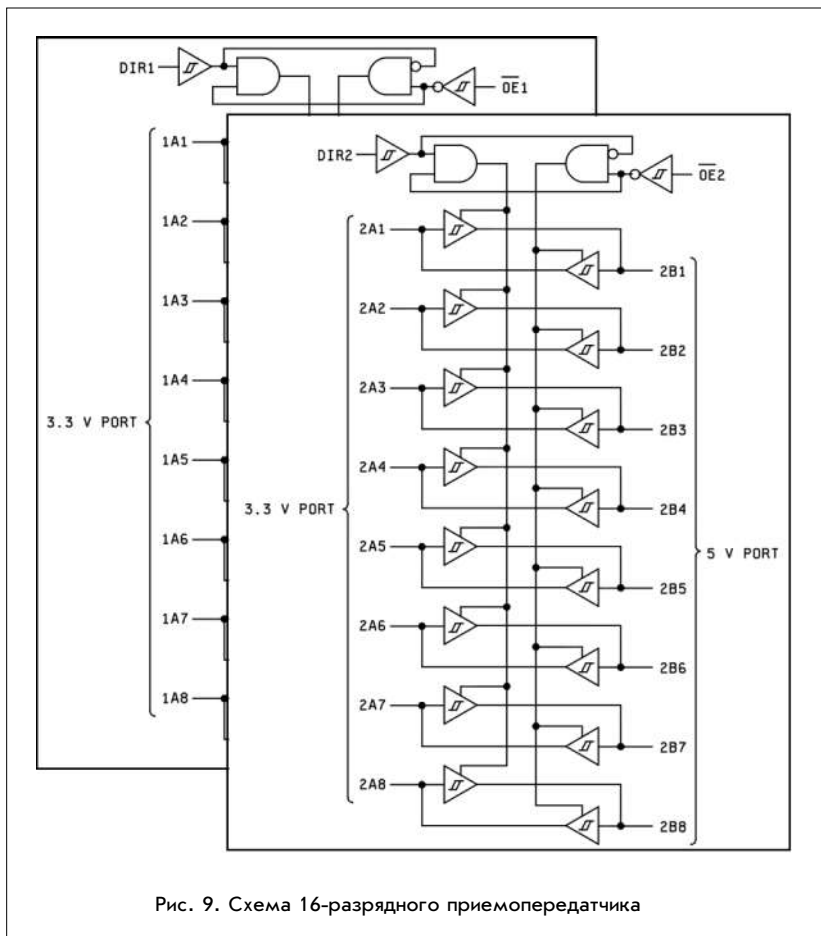


Рис. 9. Схема 16-разрядного приемопередатчика

чикам космической аппаратуры к современным технологиям разработки и изготовления БИС на основе БМК в НПК «Технологический центр» планируется организация специализированного дизайн-сервиса, который будет выполнять следующие функции:

1. Разработку и организацию маршрутов изготовления специализированных БИС.
2. Разработку и сертификацию маршрутов проектирования (средства проектирования, дизайн-киты, библиотеки, методология проектирования).
3. Подбор и координацию действий привлекаемых дизайн-центров по разработке новых типов БИС по заказу предприятия – разработчика аппаратуры.
4. Организацию выпуска и проведения испытаний БИС по согласованным маршрутам.

Модель взаимодействия с предприятиями – разработчиками радиоэлектронной аппаратуры в режи-

ме дизайн-сервиса апробирована при проведении ряда работ с НИИ «Субмикрон», ЦНИИ «Комета» и показала свою высокую эффективность.

## Заключение

Коллектив НПК «Технологический центр» имеет богатый практический опыт в разработке и освоении специализированных микросхем и микромодулей и готов к взаимовыгодному сотрудничеству с предприятиями – разработчиками радиоэлектронной аппаратуры при создании аппаратуры специального назначения.

Измерение параметров СБИС БМК, силового модуля и микросхемы защиты от тиристорного эффекта проводилось на оборудовании ЦКП «Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники» на базе НПК «Технологический центр» при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Специализированные интегральные микросхемы космического применения на основе базовых матричных кристаллов. / А.С.Басаев, А.Н.Денисов, В.В.Коняхин, П.П.Мальцев // Петербургский журнал электроники, 2008, №1, с. 34 – 39.
2. Денисов А.Н., Шелепин Н.А. Обеспечение качества РЭА на этапе проектирования специализированной ЭКБ // Петербургский журнал электроники, №3 – 4, 2004. – 169 с.
3. Методология проектирования радиационно стойких микросхем на основе БМК для космических аппаратов. / А.С.Басаев, А.Н.Денисов, В.В.Коняхин, П.П.Мальцев. – Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2008», (МЭС-2008). – п. Истра, 12 – 16 октября 2008 г. – 8 с.
4. Гаврилов С.В., Денисов А.Н., Коняхин В.В. Система автоматизированного проектирования «Ковчег 2.1». /Под ред. Ю.А.Чаплыгина. – М.: Микрон-Принт, 2001.
5. Денисов А.Н. Методология проектирования аппаратуры по технологии БМК-ПЛИС-БМК // Известия вузов. Электроника, № 5, 2009, с. 85 – 86.

