

О.В. ДВОРНИКОВ, Н.Н. ПРОКОПЕНКО, Н.В. БУТЫРЛАГИН, А.В. БУГАКОВА
**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МИКРОСХЕМ
БАЗОВОГО МАТРИЧНОГО И БАЗОВОГО СТРУКТУРНОГО
КРИСТАЛЛОВ В ДАТЧИКОВЫХ СИСТЕМАХ**

Дворников О.В., Прокопенко Н.Н., Бутырлагин Н.В., Бугакова А.В. **Перспективы применения новых микросхем базового матричного и базового структурного кристаллов в датчиковых системах.**

Аннотация. Приведены краткие сведения о существующих интегральных схемах (ИС) базового матричного (БМК) и базового структурного (БСК) кристаллов отечественного и иностранного производства, ориентированных на применение в датчиковых системах, в том числе роботов различного назначения и летательных аппаратах.

Рассмотрены структуры новых микросхем БМК (АБМК-2.1) и БСК (МН2ХА010), а также перспективы проектирования на их основе радиационно-стойких ИС для аналоговой обработки сигналов и интерфейсов датчиков различной физической природы.

Ключевые слова: базовый матричный кристалл, базовый структурный кристалл, аналоговый интерфейс, аналоговый процессор, датчиковые системы, радиационная стойкость, робототехнический комплекс, мобильный робот.

Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Butyrlagin N.V., Bugakova A.V. **Perspectives of application of new chips of analog master slice array and configurable structured array of crystals in the sensor systems.**

Abstract. Summary information on existing integrated circuits (IC) analog master slice array (MSA) and configurable structured array (CSA) crystals of domestic and foreign production-oriented applications in sensor systems, including robots for various purposes, and aircraft are reduced.

The parameters of the new integrated circuits MSA (AGAMC-2.1) and CSA (MH2XA010), as well as the prospects of designing on their basis of radiation-resistant IC for analog signal processing and interfaces of sensors of different physical kind.

Keywords: analog master slice array, configurable structured array, analog interface, analog processor, sensor systems, radiation hardness, robotic complex, mobile robot.

1. Введение. Целью настоящей статьи является рассмотрение основных характеристик существующих, а также новых (2016 г.) микросхем БМК и БСК, предназначенных для проектирования и производства многоканальных (до восьми каналов) радиационно-стойких аналоговых интерфейсов различных датчиков.

Существенное отличие параметров и условий эксплуатации датчиков различной физической природы приводит к необходимости использования разнообразных схем интерфейсов [1]. В ряде случаев серийно выпускаемые микросхемы аналоговых интерфейсов не соответствуют предъявляемым требованиям, например, из-за отсутствия радиационной стойкости. Поэтому актуальным является проектирование и малосерийное производство специализированных ИС, ориентированных на применение в датчиковых системах в условиях радиации

и низких температур. Заметим, что данные дестабилизирующие факторы оказывают одинаковое влияние на деградацию (в 5-10 раз) коэффициента усиления по току базы (β) биполярных транзисторов (БТ).

2. Российские и зарубежные БМК для построения микросхем аналоговых интерфейсов. Концепция БМК предполагает предварительное изготовление полупроводниковых пластин со сформированной матрицей несоединенных базовых ячеек, а также наличие библиотеки стандартных элементов и комплекса программ для схемотехнического и топологического проектирования полужаказных ИС [2, 3].

В настоящее время для создания высококачественных аналоговых интерфейсов применяются зарубежные БМК на БТ, допускающие работу при напряжении питания до ± 6 В, например, такие как: AN930, AN931, AN940, AN941 фирмы Panasonic [4], QuickChip10 фирмы Maxim [5], B150A, B250A, B500A, B1000A фирмы TEMIC [6], АБМК 1.3 [7]. Из указанных БМК выделим АБМК-1.3 (ОАО «МНИПИ» г. Минск), на котором создана серия аналоговых ИС, радиационная стойкость которых подтверждена экспериментально [8, 9].

Универсальность БМК обуславливает их широкое распространение. Так, в настоящее время изготовление аналоговых микросхем возможно на основе следующих БМК российского производства [3]:

- НПО «Автоматики», содержащем биполярные n-p-n транзисторы с граничной частотой $f_T > 0,8$ ГГц, p-n-p с $f_T > 0,6$ ГГц, металлические резисторы и МОП-конденсаторы;

- «Руль» 5515ХТ ОАО «Ангстрем», выполненном по БиКМОП-технологии с $f_T > 1,5$ ГГц/n-p-n и $f_T > 0,5$ ГГц/p-n-p;

- К1451БК1У, созданном по КМОП-технологии дизайн-центром «Союз» и ОАО «Ангстрем»;

- НБК1501Т, выполненном по КМОП-технологии на ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»;

- серии изделий ОАО НИИТАП, в том числе аналоговых БМК «Сигналист» ($f_T < 2,5$ ГГц/n-p-n и $f_T < 1,5$ ГГц/p-n-p), «Старт» ($f_T < 0,9$ ГГц/n-p-n и $f_T \ll 0,1$ ГГц/p-n-p) и «Лидер» ($f_T < 3,0$ ГГц/p-n-p и $f_T < 0,15$ ГГц/p-n-p).

К сожалению, существующие российские БМК не всегда удовлетворяют разработчиков аналоговых интерфейсов:

- не обеспечивают требуемую радиационную стойкость;

- обычно не позволяют создавать многоканальные ИС;

- во многих БМК отсутствуют активные элементы для синтеза малошумящих аналоговых устройств, работающих с емкостными источниками сигналов;

- содержат большое количество КМОП-элементов, применение которых в аналоговых устройствах ограничено из-за высокого уровня низкочастотных шумов и вносимых статических погрешностей [2];

– используют избыточные для ряда применений конструктивные решения, увеличивающие стоимость изготовления полупроводниковых кристаллов.

3. Краткие сведения о новом базовом матричном кристалле АБМК-2.1. В 2016 г. в ОАО «МНИПИ» при участии «Института ядерных проблем» Белорусского государственного университета и Донского государственного технического университета разработан новый БМК типа АБМК-2.1, ориентированный на применение в радиационно-стойких датчиковых системах различного назначения. При этом существующий технологический маршрут изготовления микросхем [11] доработан для обеспечения граничной частоты n - p - n транзисторов более 2,2 ГГц, p - n - p — более 1,5 ГГц, напряжение пробоя коллектор-эмиттер всех БТ — более 14 В и формирование JFET с каналом p -типа (p JFET).

Дополнительным преимуществом модернизированного технологического маршрута является малое радиационное изменение граничной частоты f_T , одинаковое изменение коэффициента усиления тока базы (β) и напряжения база-эмиттер p - p - n - и p - n - p - транзисторов при воздействии флюенса электронов $F_E = 3 \cdot 10^{14}$ эл/см² с энергией 4 МэВ и поглощенной дозе $D_G = 3$ Мрад гамма-излучения ⁶⁰Co, обеспечивающее разработку аналоговых ИС, малочувствительных к воздействию ионизирующего излучения.

Микросхема АБМК-2.1 содержит четыре идентичных блоков, каждый из которых состоит из двух макроячеек, позволяющих создать аналоговую ИС малой степени интеграции: ОУ, компаратор, зарядочувствительный усилитель (ЗЧУ), ОТА-усилитель (operational transconductance amplifier).

Всего АБМК-2.1, кроме большого количества резисторов и конденсаторов, имеет следующие транзисторы:

- малосигнальные pnp — 288 шт.
- малосигнальные pnp — 288 шт.
- мощные pnp — 8 шт.
- мощные pnp — 12 шт.
- мощные $pППП$ — 36 шт.

Мощные p JFET рекомендуется использовать во входных цепях малошумящих аналоговых ИС.

4. Особенности микросхем базовых структурных кристаллов. Основное отличие БСК от БМК заключается в том, что в БСК некоторые соединения элементов выполнены заранее. Таким образом, БСК представляют собой спроектированную и изготовленную полупроводниковую пластину, обычно содержащую блоки памяти, интерфейс ввода-вывода, функциональные аналоговые блоки и матрицу несоединенных элементов. Для специализации БСК также формируются

соединения элементов на полупроводниковом кристалле, но проектирование выполняется на уровне IP-модулей блоков. При этом часто указывают, что БСК имеют структуру «море модулей» по сравнению с «морем вентилях» во многих БМК.

Применение в БСК апробированных и сертифицированных аналоговых блоков существенно уменьшает риск проектирования ИС и позволяет оценить радиационную стойкость создаваемой радиоэлектронной аппаратуры на начальных этапах ее проектирования.

По мнению ряда зарубежных специалистов, проектирование полужаказных микросхем на БМК, выполненных по КМОП-технологии, в большинстве случаев не позволило достичь высокого уровня параметров аналоговых устройств, хотя для цифровых изделий оказалось вполне успешным. Такая ситуация объясняется тем, что характеристики КМОП аналоговых схем в большой степени определяются выполнением топологии [12]. Поэтому БСК, в которых аналоговые ячейки разработаны на БТ по правилам проектирования заказных схем, имеют преимущество перед КМОП БМК.

Из серийно выпускаемых зарубежными фирмами БСК следует выделить:

– аналого-цифровые БСК фирмы Gigoptix, содержащие до 500 полностью сформированных (с металлом) ячеек входа/выхода, логические вентиля, память и др. [13];

– XPressArray-II (ХРА-II) фирмы ON Semiconductor, изготовленный по технологии фирмы AMI Semiconductor, в том числе для использования в военных целях (М-ХРА-II). Такие БСК предназначены для перевода проектов, выполненных на ПЛИС типа Altera АРЕХ-II и Stratix, XilinxVirtexII, в полужаказные ИС [14];

– цифровой БСК фирмы Faraday, содержащий сформированные и программируемые металлом блоки. В числе сформированных блоков — ОЗУ, логические вентиля, блоки дискретного преобразования Фурье, сдвиговые регистры, устройства самотестирования, JTAG периферийное сканирование, высокоскоростные ячейки ввода/вывода и IP-блоки. Логические вентиля, триггеры и структуры высокого уровня могут быть сконфигурированы для получения требуемых системных функций [15];

– радиационно-стойкий аналого-цифровой БСК ViArray фирмы Sandia, в котором требуемая конфигурация системы реализуется изменением фотошаблона межуровневого контакта и одного металла [16, 17]. Кристалл содержит следующие аналоговые, смешанные и пассивные элементы: 8 АЦП двух типов, восемь 8-разрядных ЦАП, девять 32-канальных мультиплексоров, 48 ОУ общего назначения, 64 компаратора, 128 аналоговых ключей, 4 ИОН, высокоскоростное

УВХ, 2 температурных датчика, матрицу резисторов с сопротивлением 2 кОм, матрицу МОП-конденсаторов с емкостью 2 пФ.

Наиболее ориентированными на изготовление аналоговых устройств являются БСК серии VCA (Via Configurable Analog) фирмы Triad Semiconductor [18, 19].

Конструкция серии кристаллов VCA защищена патентами США. Серия содержит следующие аналого-цифровые изделия: VCA-1 VCA-12, Mocha-1, TSX1001 и RF-VCA. При этом для создания интерфейсов датчиков наиболее пригодны кристаллы VCA-3, 4, 5, 8 и 12. Кристалл типа VCA-4 изготовлен по КМОП технологическому маршруту фирмы AMS с проектной нормой 0,35 мкм и включает 6 маломощных аналоговых ячеек, имеющих дифференциальный вход и парафазный выход; 6 маломощных малощумящих аналоговых ячеек с однофазным выходом; 12 ячеек с широкополосными, малощумящими ОУ; 1 маломощный источник, задающий режимы работы аналоговых устройств; ячейку с высокоомными сопротивлениями; два 10-разрядных цифровых потенциометра; датчик температуры; маломощную логику и электрически стираемое программируемое ПЗУ (ЭСП ПЗУ).

Кристаллы VCA-3, 5, 8 содержат один тип аналоговой ячейки и различаются, главным образом, функциональными возможностями.

Кристалл малой площади VCA-12 изготовлен по КМОП-технологии фирмы ИТАР с проектной нормой 0,18 мкм и допускает работу с повышенными (до 12 В) напряжением питания и током нагрузки.

В последнее время фирмы Triad и Sandia начали совместные работы по созданию радиационно-стойкого БСК для аэрокосмических и военных применений на основе наработок Triad в серии VCA и КМОП технологического маршрута типа кремний на изоляторе (Silicon on Insulator, SOI) с проектной нормой 0,35 мкм фирмы Sandia [20].

Из серийно выпускаемых БСК интерес для робототехники представляют следующие:

– ТА-1-2-4, ТА-1-1-3, ТА-1-4-8 фирмы New Japan Radio, содержащие ОУ, вертикальные p-p-n БТ, горизонтальные p-p-n БТ, активные и пассивные элементы [21];

– серия RLA/RFA фирмы Svenska Grindmatriser, особенно RFA120, включающий ОУ с головным JFET, БТ, RC-элементы [22];

– VCA-12 фирмы Triad Semiconductor [18], созданный специально для обработки сигналов датчиков. Он включает небольшую цифровую часть и минимальное количество аналоговых блоков, достаточное для реализации большинства требуемых функций предварительной обработки сигналов датчиков, а его напряжение питания составляет 12 В. Основным недостатком VCA-12 является отсутствие малощумящих усилителей и радиационной стойкости [17].

5. Краткая информация о микросхеме базового структурно-го кристалла МН2ХА010. В настоящее время электронная компонентная база (ЭКБ) включает более 50 вариантов построения активных элементов [23], каждый из которых имеет свои «ниши» применения и преимущества в конкретных аналоговых устройствах. Наиболее распространенными аналоговыми элементами (АЭ) являются классические ОУ, ОУ с токовой отрицательной обратной связью, мультидифференциальные ОУ, трансимпедансные усилители и т.д. Более одной трети АЭ, применяемых в современной электронике [23], могут быть реализованы на основе нового БСК МН2ХА010 (рисунок 1).

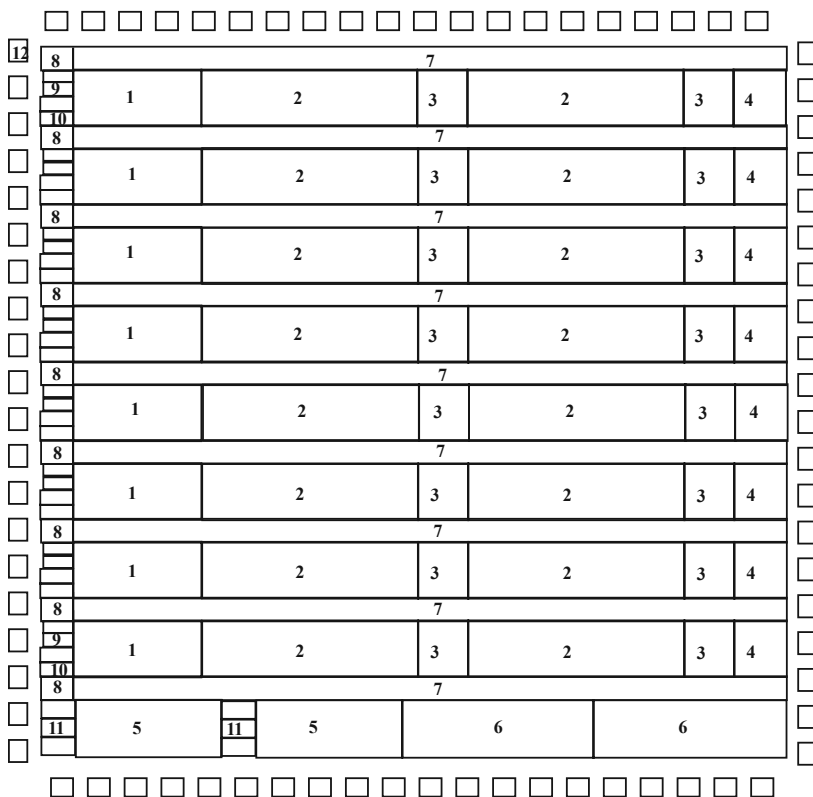


Рис. 1. Упрощенная структура микросхемы БСК

Микросхема МН2ХА010 представляет собой изготовленную в ОАО «Интеграл» (г. Минск) полупроводниковую пластину, содержащую функционально-завершенные IP-модули (ОТА-усилители, различные буферные и малощумящие входные повторители, компарато-

ры, зарядочувствительные усилители и др.) и матрицу несоединенных элементов. Проектирование конкретной ИС в этом случае выполняется на уровне СФ-блоков за счет разводки межсоединений элементов.

Базовый структурный кристалл МН2ХА010 (основной разработчик – ОАО «МНИПИ» при участии Донского государственного технического университета и «Института ядерных проблем» Белорусского государственного университета) содержит 6 функциональных ячеек с аналоговыми ИР-модулями, активными и пассивными элементами.

В структуре БСК используются апробированные и сертифицированные аналоговые ИР-модули, что позволяет оценить радиационную стойкость создаваемой радиоэлектронной аппаратуры на начальных этапах ее проектирования [8-10, 24-28].

БСК состоит из 8-ми одинаковых усилительных блоков и 1-го дополнительного канала.

Каждый усилительный блок включает:

– функциональную ячейку ФЯ1 (рисунок 1), содержащую двоярный входной повторитель напряжения с головными р-ПТП, 12 резисторов типа 2R8u (последовательное соединение резисторов с сопротивлением 0,65 кОм и 1,4кОм) и 2 резистора с сопротивлением 1,4 кОм;

– ФЯ2, содержащую ОТА-усилитель, 2 конденсатора с емкостью 0,5 пФ, 6 конденсаторов с емкостью 1 пФ, 6 резисторов 2R8u, 12 резисторов с сопротивлением 1,4 кОм;

– ФЯ3, содержащую маломощный повторитель напряжения, 12 резисторов с сопротивлением 0,65 кОм, 6 резисторов 2R8u и 16 резисторов типа 2R4u (последовательное соединение резисторов с сопротивлением 1,4 кОм и 2,7 кОм);

– ФЯ4, выходной повторитель напряжения (рисунок 1);

– БЯ7, базовую ячейку (рисунок 1), содержащую 69 конденсаторов с емкостью 0,5 пФ, 110 резисторов 2RR4u (последовательное соединение резисторов с сопротивлением 5,5 кОм и 11 кОм);

– БЯ8, содержащую 3 конденсатора с емкостью 0,5 пФ и 6 резисторов 2R4u;

– малошумящие (мощные) n-p-n- транзисторы (9), малошумящие (мощные) p-n-p- транзисторы (10).

В дополнительный канал входят:

– ФЯ5, содержащая ЗЧУ, 4 конденсатора с емкостью 1 пФ, 2 резистора 2R8u, 2 резистора 2R4u;

– ФЯ6, содержащая компаратор, 3 резистора 2R8u, 6 резисторов 2R4u.

Перед каждым ЗЧУ размещены защитные диоды (11).

По периметру кристалла БСК расположено 80 контактных площадок (12).

Отметим, что аналоговые ИС, близкие по схемотехнике функциональным ячейкам БСК, ранее были изготовлены и успешно испытаны при воздействии ионизирующего излучения [8, 10]. На основании этого можно утверждать, что созданный БСК является радиационно-стойким.

Таким образом, наличие в новом базовом структурном кристалле МН2ХА010 достаточно большого количества заранее сформированных активных компонентов может стать основой для проектирования радиационно-стойких аналоговых процессоров и преобразователей сигналов различного назначения [25-28], в том числе операционных, мультидифференциальных и инструментальных усилителей основных модификаций, малощумящих и зарядочувствительных усилителей, RC-фильтров, мостовых измерительных схем, пьезо- и биосенсоров, функциональных генераторов сигналов, приемников дифференциальных линий связи, многоканальных активных сумматоров потенциальных сигналов, пьезоэлектрических датчиков ускорения, управляемых усилителей, амплитудных детекторов, дифференциальных преобразователей емкости, усилителей мощности с аддитивной коррекцией нелинейных искажений, дифференциальных и мультидифференциальных усилителей токов, преобразователей сигналов кремниевых фотодиодов и многоэлементных фотоприемников, прецизионных источников опорного напряжения, логических элементов с токовым преобразованием сигналов, схем подавления шумов в стабилизаторах напряжения, аналоговых ключей, компараторов АЦП и т.д.

6. Заключение. В условиях мелкосерийного производства создание аналоговых устройств для датчиковых систем роботов различного назначения экономически выгодно на основе БМК и БСК.

Универсальность БМК обуславливает их широкое распространение для производства специализированных аналоговых ИС. В то же время по ряду причин существующие зарубежные и российские БМК не в полной мере удовлетворяют разработчиков интерфейсов датчиков.

Наиболее подходящими для проектирования интерфейсов датчиков являются БСК фирмы Triad Semiconductor. Однако эти изделия спроектированы максимально универсальными, содержат большую цифровую часть и избыточное количество аналоговых блоков, что увеличивает конечную стоимость изделия. Кроме того, БСК фирмы Triad Semiconductor не обеспечивают требуемый уровень радиационной стойкости и малопригодны для проектирования многоканальных ИС.

При проектировании и производстве высококачественных радиационно-стойких аналоговых интерфейсов роботов и беспилотных лета-

тельных аппаратов целесообразно применение новых БМК (АБМК-2.1) и БСК (МН2ХА010), изготовленных по модернизированному технологическому маршруту, обеспечивающему граничную частоту n-p-n-транзисторов более 2,2 ГГц, p-n-p — более 1,5 ГГц, напряжение пробоя коллектор-эмиттер всех БТ — более 14 В и формирование одновременно с БТ полевых JFET для синтеза малошумящих усилителей. Дополнительным преимуществом элементной базы БМК и БСК является малое радиационное изменение граничной частоты f_T , одинаковое изменение коэффициента усиления тока базы и напряжения база-эмиттер n-p-n- и p-n-p- транзисторов при воздействии флюенса электронов $F_E = 3 \cdot 10^{14}$ эл/см² с энергией 4 МэВ и поглощенной дозе $D_G = 3$ Мрад гамма-излучения ⁶⁰Со, обеспечивающее разработку аналоговых ИС, малочувствительных к воздействию ионизирующего излучения.

Микросхема АБМК-2.1 содержит четыре идентичных блока, каждый из которых включает две макроячейки, позволяющие создать аналоговую ИС малой степени интеграции: ОУ, компаратор, ЗЧУ, ОТА-усилитель.

Микросхема БСК МН2ХА010 состоит из 8-ми одинаковых усилительных блоков и дополнительного канала. Каждый усилительный блок включает сдвоенный входной повторитель напряжения с головными JFET, два ОТА-усилителя, два маломощных повторителя напряжения, выходной повторитель напряжения, малошумящие n-p-n- и p-n-p- транзисторы, резисторы и конденсаторы. В дополнительный канал входят два зарядочувствительных усилителей с защитными диодами, два компаратора, резисторы и конденсаторы.

Главным преимуществом разработанных БСК является применение ранее апробированных и сертифицированных блоков, что уменьшает риск проектирования, снижает требования к квалификации разработчиков ИС, значительно упрощает и ускоряет создание радиационно-стойких микроэлектронных интерфейсов.

Результаты успешных радиационных испытаний аналоговых блоков, близких по схемотехнике к компонентам МН2ХА010, позволяют утверждать, что разработанные БМК и БСК являются радиационно-стойким при воздействии флюенса электронов $3 \cdot 10^{14}$ эл/см² с энергией 4 МэВ и поглощенной дозе 3 Мрад гамма-излучения ⁶⁰Со.

Микроэлектронные интерфейсы для широкой номенклатуры датчиков различного назначения могут быть реализованы в виде систем в корпусе, объединяющих несколько полупроводниковых кристаллов, например, аналоговой части, выполненной на БМК и БСК, и цифровых КМОП IP-модулей.

Литература

1. *Дворников О., Чеховский В., Дятлов В., Прокопенко Н.* Особенности аналоговых интерфейсов датчиков. Часть 2 // Современная электроника. 2013. № 3. С. 58–63.
2. *Абрамов И.И., Дворников О.В.* Проектирование аналоговых микросхем для прецизионных измерительных систем // Минск: Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. 2006. 286 с.
3. *Прокопенко Н.Н., Дворников О.В., Крутчинский С.Г.* Элементная база радиационно-стойких информационно-измерительных систем // Шахты: ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС». 2011. 208 с.
4. Analog Master Slice Service. URL: <http://www.semicon.panasonic.co.jp/en/products/analog-master-slice/> (дата обращения: 20.02.2016).
5. Semicustom QuickChip ASICs Implement RF Functions to 9GHz. URL: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/646> (дата обращения: 20.02.2016).
6. Analog ASICs. URL: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheet-054/DSA0018514.pdf> (дата обращения: 20.02.2016).
7. *Baturitsky M.A., Dvornikov O.V., Tchekhovskiy V.A.* An analog bipolar-JFET master slice array for front-end electronics design // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2003. vol. 498. no 1. pp. 443–452.
8. *Дворников О.В., Чеховский В.А., Дятлов В.Л., Богатырев Ю.В., Ластовский С.Б.* Влияние быстрых электронов на аналоговые интегральные элементы и схемы // Вопросы атомной науки и техники. Серия: физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2012. Выпуск 3. С. 54–59.
9. *Дворников О.В., Чеховский В.А., Дятлов В.Л., Богатырев Ю.В., Ластовский С.Б.* Радиационно-стойкие аналоговые интегральные схемы // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем. М.: ИПИМ РАН. 2012. С. 280–283.
10. *Dvornikov O.V., Tchekhovskiy V.A., Dzatlav V.L., Prokopenko N.N.* Influence of Ionizing Radiation on the Parameters of an Operational Amplifier Based on Complementary Bipolar Transistors // Russian Microelectronics. 2016. vol. 45. no 1. pp. 54–62.
11. *Baturitsky M.A., Dvornikov O.V., Reutovich S.I., Solomashenko N.F.* Multichannel monolithic frontend system design. Part 2. Microwave bipolar-JFET process for low-noise charge-sensitive preamplifiers // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1996. vol. 378. no 3. pp. 570–576
12. *Clein D.* CMOS IC layout: concepts, methodologies, and tools // Newnes. 1999. 281 p.
13. Structured ASIC. Gigoptix. URL: www.gigoptix.com/products/39-structuredasic. (дата обращения: 20.02.2016).
14. ON Semiconductor Delivers Structured ASIC Technology for Military and Aerospace SoCs and FPGA-to-ASIC Conversions. URL: www.onsemi.com/PowerSolutions/newsItem.do?article=1734. (дата обращения: 20.02.2016).
15. Structured ASIC Technology. URL: www.faradaytech.com/html/products/structured-ASIC.html. (дата обращения: 20.02.2016).
16. Ma K.K., Teifel J., Flores. R.S. Sandia Rad-Hard, Fast-Turn Structured ASIC. The ViArray. URL: https://nepp.nasa.gov/respace_mapld11/talks/tue/MAPLD/1500%20-%2020KKMa.pdf. (дата обращения: 20.02.2016).
17. ViArray. Trusted Rad-Hard Structured ASIC. URL: www.sandia.gov/mstc/documents/factsheets/ViArray_Fact_%20Sheet_SAND20113935P.pdf (дата обращения: 20.02.2016).
18. Triad Semiconductor. URL: www.triadsemi.com/services/productcatalog (дата обращения: 20.02.2016).

19. Via Configurable ASICs for Analog and Mixed Signal Applications. Triad Semiconductor. URL: www.triadsemi.com/2007/01/25/viaconfigurable-asics-for-analog-and-mixedsignal-applications (дата обращения: 20.02.2016).
20. SOI Analog/Mixed Signal ASICs for Radiation Hardened applications using Mixed Signal Via-Configurable Analog Arrays. Radiation Capability Responses to RFI #NNH09ZDA008L. Europa Jupiter System Mission Instrument Workshop. July 15–17. 2009. pp. 63–67.
21. Analog Master Slice. URL: <http://www.njr.com/semicon/analogmasterslice/develop.html> (дата обращения: 20.02.2016).
22. Specific components SGA. URL: <http://www.sga.se> (дата обращения: 20.02.2016).
23. *Biolek D., Senani R., Biolkova V., Kolka Z.* Active Elements for Analog Signal Processing: Classification, Review, and New Proposals // *Radioengineering*. 2008. vol. 17. no. 4. pp. 15–32.
24. *Дворников О.В., Чеховский В.А., Дятлов В.Л., Богатырев Ю.В., Ластовский С.Б.* Изменение параметров комплементарных биполярных транзисторов при воздействии ионизирующих излучений // *Вопросы атомной науки и техники “ВАНТ”*. 2015. С. 17–22.
25. *Дворников О., Чеховский В., Дятлов В., Прокопенко Н.* Модуль на малошумящих полевых транзисторах для обработки сигналов лавинных фотодиодов // *Современная электроника*. 2014. № 8. С. 82–87.
26. *Дворников О., Чеховский В., Дятлов В., Прокопенко Н.* Применение структурных кристаллов для создания интерфейсов датчиков // *Современная электроника*. 2014. № 1. С. 32–37.
27. *Дворников О., Чеховский В., Дятлов В., Прокопенко Н.* Интерфейсы датчиков для систем на кристалле // *Современная электроника*. 2013. № 8. С. 40–47.
28. *Дворников О., Чеховский В., Дятлов В., Прокопенко Н.* Особенности аналоговых интерфейсов датчиков. Часть 1 // *Современная электроника*. 2013. № 2. С. 44–49.

References

1. Dvornikov O., Chehovskij V., Djatlov V., Prokopenko N. [Features analog sensor interfaces. Part 2]. *Sovremennaja jelektronika – Modern electronics*. 2013. no 3. pp. 58–63. (In Russ.).
2. Abramov I.I., Dvornikov O.V. *Proektirovanie analogovyh mikroschem dlja precizionnyh izmeritel'nyh sistem* [Designing analog chips for precision measuring systems]. Minsk Academy of Management at the President of the Republic Belarus. 2006. 286 c. (In Russ.).
3. Prokopenko N.N., Dvornikov O.V., Krutchinsky S.G. *Jelementnaja baza radiacionno-stojkikh informacionno-izmeritel'nyh sistem* [Element base radiation-resistant information and measuring systems]. Shakhty. 2011. 208 p. (In Russ.).
4. Analog Master Slice Service. Available at: <http://www.semicon.panasonic.co.jp/en/products/analog-master-slice/> (accessed 20.02.2016).
5. Semicustom QuickChip ASICs Implement RF Functions to 9GHz. Available at: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/646> (accessed 20.02.2016).
6. Analog ASICs. Available at: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheet-054/DSA0018514.pdf> (accessed 20.02.2016).
7. Baturitsky M.A., Dvornikov O.V., Tchekhovskiy V.A. An analog bipolar-JFET master slice array for front-end electronics design. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 2003. vol. 498. no 1. pp. 443–452.
8. Dvornikov O.V., Chehovskij V.A., Djatlov V.L., Bogatyrev Ju.V., Lastovskij S.B. [Effect of fast electrons in the analog integrated circuit and elements]. *Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Serija: fizika radiacionnogo vozdejstviya na radiojelektronnuju apparaturu - Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation effects on electronic equipment*. 2012. vol. 3. pp. 54–59. (In Russ.).

9. Dvornikov O.V., Chehovskij V.A., Djatlov V.L., Bogatyrev Ju.V., Lastovskij S.B. [Radiation-resistant analog integrated circuits]. *Problemy razrabotki perspektivnyh mikro- i nanoelektronnyh sistem*. [Problems of development of advanced micro- and nanoelectronic systems.]. M.: IPPM RAN, 2012. pp. 280–283.
10. Dvornikov O.V., Tchekhovskij V.A., Dziaulau V.L., Prokopenko N.N. Influence of Ionizing Radiation on the Parameters of an Operational Amplifier Based on Complementary Bipolar Transistors. *Russian Microelectronics*. 2016. vol. 45. no. 1. pp. 54–62.
11. Baturitsky M.A., Dvornikov O.V., Reutovich S.I., Solomashenko N.F. Multichannel monolithic frontend system design. Part 2. Microwave bipolar-JFET process for low-noise charge-sensitive preamplifiers. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 1996. vol. 378. no. 3. pp. 570–576.
12. Clein D. CMOS IC layout: concepts, methodologies, and tools. Newnes. 1999. 281 p.
13. Structured ASIC. Available at: www.gigoptix.com/products/39-structuredasic. (accessed 20.02.2016).
14. ON Semiconductor Delivers Structured ASIC Technology for Military and Aerospace SoCs and FPGA8to8ASIC Conversions. Available at: www.onsemi.com/PowerSolutions/newsItem.do?article=1734. (accessed 20.02.2016).
15. Structured ASIC Technology. Available at: www.faradaytech.com/html/products/structuredASIC.html. (accessed 20.02.2016).
16. Ma K.K., Teifel J., Flores R.S. Sandia Rad-Hard, Fast-Turn Structured ASIC. The ViArray. Available at: www.nepp.nasa.gov/respace_mapld11/talks/tue/MAPLD/1500%20-%20KKMa.pdf. (accessed 20.02.2016).
17. ViArray. Trusted Rad-Hard Structured ASIC. Available at: www.sandia.gov/mstc/documents/factsheets/ViArray_Fact_%20Sheet_SAND20113935_P.pdf. (accessed 20.02.2016).
18. Triad Semiconductor. Available at: www.triadsemi.com/services/productcatalog. (accessed 20.02.2016).
19. Via Configurable ASICs for Analog and Mixed Signal Applications. Triad Semiconductor. Available at: www.triadsemi.com/2007/01/25/viaconfigurable-asics-for-analog-and-mixedsignal-applications. (accessed 20.02.2016).
20. SOI Analog/Mixed Signal ASICs for Radiation Hardened applications using Mixed Signal Via-Configurable Analog Arrays. Radiation Capability Responses to RFI #NNH09ZDA008L. Europa Jupiter System Mission Instrument Workshop. July 15–17. 2009. pp. 63–67.
21. Analog Master Slice. Available at: <http://www.njr.com/semicon/analogmasterslice/develop.html>. (accessed 20.02.2016).
22. Specific components SGA. Available at: <http://www.sga.se> (accessed 20.02.2016).
23. Biolek D., Senani R., Biolkova V., Kolka Z. Active Elements for Analog Signal Processing: Classification, Review, and New Proposals. *Radioengineering*. 2008. vol. 17. no. 4. pp. 15–32.
24. Dvornikov O.V., Chehovskij V.A., Djatlov V.L., Bogatyrev Ju.V., Lastovskij S.B. [Changing the complementary bipolar transistors when exposed to ionizing radiation]. *Voprosy atomnoj nauki i tehniki "VANT" – Problems of Atomic Science and Technology "PAST"*. 2015. pp. 17–22. (In Russ.).
25. Dvornikov O., Chehovskij V., Djatlov V., Prokopenko N. [Module for low-noise FET for signal processing avalanche photodiodes]. *Sovremennaja elektronika – Modern electronics*. 2014. no. 8. pp. 82–87. (In Russ.).
26. Dvornikov O., Chehovskij V., Djatlov V., Prokopenko N. [The use of structural crystals to create a sensor interface]. *Sovremennaja elektronika – Modern electronics*. 2014. no. 1. pp. 32–37. (In Russ.).
27. Dvornikov O., Chehovskij V., Djatlov V., Prokopenko N. [Sensor interfaces for systems on a chip]. *Sovremennaja elektronika – Modern electronics*. 2013. no. 8, pp. 40–47. (In Russ.).

28. Dvornikov O., Chehovskij V., Djatlov V., Prokopenko N. [Features analog sensor interfaces. Part 1]. *Sovremennaja jelektronika – Modern electronics*. 2013. no. 2. pp. 44-49. (In Russ.).

Дворников Олег Владимирович — д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ОАО «Минский научно-исследовательский приборостроительный институт» (МНИПИ). Область научных интересов: аналоговые микросхемы, аналоговая микроэлектроника, радиационная стойкость, интерфейсы, биполярно-полевые технологии, усилители, преобразователи сигналов, источники опорного напряжения, PSpice модели. Число научных публикаций — 300. oleg_dvornikov@tut.by; ул. Я. Коласа, 73, Минск, 220113, Беларусь; р.т.: +375296164587.

Dvornikov Oleg Vladimirovich — Ph.D., Dr. Sci., professor, senior researcher, Plc. «Minsk research instrument- making institute» (MNIPI). Research interests: analog ICs, analog microelectronics, radiation resistance, interfaces, bipolar and field-effect technologies, amplifiers, signal converters, voltage references, PSpice models. The number of publications — 300. oleg_dvornikov@tut.by; 73, Kolasa st., Minsk, 220113, Belarus; office phone: +375296164587.

Прокопенко Николай Николаевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем и радиотехники, Донской государственный технический университет (ДГТУ). Область научных интересов: аналоговая микроэлектроника, аналого-цифровая схемотехника. Число научных публикаций — 599. prokopenko@sssu.ru; ул. Шевченко, 147, Шахты, 346500; р.т.: 8(8636) 226050, Факс: 8(8636) 226050.

Prokopenko Nikolay Nikolayevich — Ph.D., Dr. Sci., professor, head of the information systems and radio engineering department, Don State Technical University (DSTU). Research interests: analog microelectronics, analog-to-digital circuitry. The number of publications — 599. prokopenko@sssu.ru; 147, Shevchenko st., Shakhty, 346500, Russia; office phone: 8(8636) 226050, Fax: 8(8636) 226050.

Бутырлагин Николай Владимирович — аспирант кафедры информационных систем и радиотехники, Донской государственный технический университет (ДГТУ). Область научных интересов: аналоговая микроэлектроника, аналого-цифровая схемотехника. Число научных публикаций — 100. nbutyrlagin@mail.ru; ул. Шевченко, 147, Шахты, 346500; р.т.: +79034320799.

Butyrlagin Nikolay Vladimirovich — PhD student of the information systems and radio engineering department, Don State Technical University (DSTU). Research interests: analog microelectronics, analog-to-digital circuitry. The number of publications — 100. nbutyrlagin@mail.ru; 147, Shevchenko st., Shakhty, 346500, Russia; office phone: +79034320799.

Бугакова Анна Витальевна — магистрант кафедры информационных систем и радиотехники, Донской государственный технический университет (ДГТУ). Область научных интересов: аналоговая микроэлектроника, аналого-цифровая схемотехника. Число научных публикаций — 50. annabugakova.1992@mail.ru; ул. Шевченко, 147, Шахты, 346500; р.т.: +79094169380.

Bugakova Anna Vitalievna — master student of the information systems and radio engineering department, Don State Technical University (DSTU). Research interests: analog microelectronics, analog-to-digital circuitry. The number of publications — 50. annabugakova.1992@mail.ru; 147, Shevchenko st., Shakhty, 346500, Russia; office phone: +79094169380.

Поддержка исследований. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-00122).

Acknowledgements. The article was prepared within the framework of the project 16-19-00122 of the Russian Science Foundation for 2016-2018.

РЕФЕРАТ

Дворников О.В., Прокопенко Н.Н., Бутырлагин Н.В., Бугакова А.В.
Перспективы применения новых микросхем базового матричного и базового структурного кристаллов в датчиковых системах.

Целью настоящей статьи является рассмотрение особенностей существующих микросхем базового матричного (БМК) и базового структурного (БСК) кристаллов, предназначенных для проектирования аналоговых интерфейсов.

Приведены краткие сведения об интегральных схемах (ИС) БМК и БСК отечественного и иностранного производства, ориентированных на применение в датчиковых системах, в том числе роботов различного назначения и летательных аппаратах.

Рассмотрены структуры новых (2016 г.) микросхем БМК (АБМК-2.1) и БСК (МН2ХА010), а также перспективы проектирования на их основе радиационно-стойких ИС для аналоговой обработки сигналов и интерфейсов датчиков различной физической природы.

Микросхема БСК МН2ХА010 предназначена, прежде всего, для создания многоканальных (до восьми каналов) специализированных аналоговых интерфейсов датчиков. Это обеспечивается за счет формирования межсоединений имеющихся в ее структуре IP модулей, которое может быть выполнено профильными предприятиями.

Преимуществом элементной базы БМК и БСК является малое радиационное изменение граничной частоты f_T , одинаковое изменение коэффициента усиления тока базы и напряжения база-эмиттер p-p-n- и p-n-p-транзисторов при воздействии флюенса электронов $FE = 3 \cdot 10^{14}$ эл/см² с энергией 4 МэВ и поглощенной дозе $DG = 3$ Мрад гамма-излучения ⁶⁰Со, обеспечивающее разработку аналоговых ИС, малочувствительных к воздействию ионизирующего излучения.

Наличие в БСК МН2ХА010 достаточно большого количества заранее сформированных активных компонентов может стать основой для проектирования радиационно-стойких аналоговых процессоров и преобразователей сигналов различного назначения, в том числе IP-модулей мостовых измерительных схем, преобразователей сигналов кремниевых фотодиодов и многоэлементных фотоприемников, пьезо- и биосенсоров, дифференциальных преобразователей емкости, операционных, мультидифференциальных и инструментальных усилителей основных модификаций, малошумящих и зарядо-чувствительных усилителей, RC-фильтров, приемников дифференциальных линий связи, многоканальных активных сумматоров потенциальных сигналов, пьезоэлектрических датчиков ускорения, управляемых усилителей, амплитудных детекторов, усилителей мощности с аддитивной коррекцией нелинейных искажений, дифференциальных и мультидифференциальных усилителей токов, прецизионных источников опорного напряжения, логических элементов с токовым преобразованием сигналов, схем подавления шумов в стабилизаторах напряжения, аналоговых ключей, компараторов АЦП и т.д.

SUMMARY

Dvornikov O.V., Prokopenko N.N., Butyrlagin N.V., Bugakova A.V.

Perspectives of Application of New Chips of Analog Master Slice Array and Configurable Structured Array of Crystals in the Sensor Systems.

The purpose of this article is to examine the features of the existing chip of analog master slice array (MSA) and configurable structured array (CSA) crystals, intended for the design of analog interfaces.

Summary information on existing integrated circuits (IC) analog master slice array (MSA) and configurable structured array (CSA) crystals of domestic and foreign production-oriented applications in sensor systems, including robots for various purposes, and aircraft are reduced.

The structures of the new (2016) integrated circuits MSA (AGAMC-2.1) and CSA (MH2XA010), as well as the prospects of designing on their basis of radiation-resistant IC for analog signal processing and interfaces of sensors of different physical kind are considered.

Chip MH2XA010 is designed primarily to create multi-channel (up to eight channels) specialized analog interfaces of sensors. This is achieved through the formation of interconnect elements available in its structure IP modules, that can be performed by specialized companies.

The advantage of element base MSA and CSA radiation is small change in the cutoff frequency f_{cutoff} , the same gain change of the base current and voltage, the base-emitter n-p-n and p-n-p transistors when exposed to a fluence of electrons $FE = 3 \cdot 10^{14}$ e/cm² with an energy of 4 MeV and absorbed dose $DG = 3$ Mrad of gamma radiation ⁶⁰Co, ensuring the development of analog IP, which is insensitive to ionizing radiation.

The presence in CSA MH2XA010 rather large number of pre-formed active components can be the basis for designing radiation hardened analog processors and signal transducers for various purposes, including IP modules of bridge measuring circuits, signal converters, silicon photodiodes and multi-element photodetectors, piezo- and biosensors, transducers differential capacitance, operating, and differential difference instrumentation amplifiers the main modifications, and low-noise charge-sensitive amplifiers, RC filters, differential line receivers, multi-active potential of adders signals of the piezoelectric sensors for acceleration, managed amplifiers, amplitude detectors, power amplifier with additive correction linear distortion, differential and differential difference amplifier currents, precision voltage references, logic elements with the current transformation signals, charts suppress the noise in the voltage regulators, analog switches, comparators ADC, etc.