

СОДЕРЖАНИЕ

Учредитель – Российский
новый университет



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Зернов В.А., д.т.н., профессор
Бугаев А.С., академик РАН
Гуляев Ю.В., академик РАН
Никитов С.А., чл.-корр. РАН
Андрюшин О.Ф., д.т.н., профессор
Волков В.Г., д.т.н.
Дворянkin С.В., д.т.н., профессор
Звежинский С.С., д.т.н., профессор
Крюковский А.С., д.ф.-м.н., профессор
Лукин Д.С., д.ф.-м.н., профессор
Минаев В.А., д.т.н., профессор
Палкин Е.А., к.ф.-м.н.
Филипповский В.В., к.т.н.
Черная Г.Г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – **Черная Г.Г.**
Научный редактор – **Дворянkin С.В.**
Научный консультант –
Растягаев Д.В., к.ф.-м.н.
Графика – **Абрамов К.Е.**
Распространение – **Михеев Б.Ю.**

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Спецтехника и связь»
Адрес редакции

111024 Москва,
ул. Авиамоторная, 55, кор. 31
Тел./факс: +7 (495) 544-4164,
тел.: +7(963) 636-8984
e-mail: rid@rosnou.ru
e-mail: galina_chemaya@bk.ru
<http://www.st-s.ru>

ISSN 2075-7298

Индекс в каталоге
Агентства «Роспечать» **80636**

Дизайн, верстка –
Фашевская И.А.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ООО «Астра Пресс»
105484 Москва, 16-я Парковая, д. 27
тел.: (495) 926-1572

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере связи
и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-32855
от 15 августа 2008 г.

© НОУ ВПО «РосНОУ», 2011 г.

Никифоров А.Ю., Телец В.А. Радиационная стойкость электронной компонентной базы систем специальной техники и связи	2
Яненко А.В., Чумаков А.И., Печенкин А.А., Савченков Д.В., Тарараксин А.С., Васильев А.Л. Сравнительный анализ испытаний электронной компонентной базы на стойкость к воздействию отдельных ядерных частиц на лазерных имитаторах и ускорителях ионов	4
Егоров А.Н., Маврицкий О.Б., Чумаков А.И., Никифоров А.Ю., Телец В.А., Печенкин А.А., Яненко А.В., Кольцов Д.О., Савченков Д.В. Лазерные имитаторы «пико» для испытаний электронной компонентной базы на стойкость к воздействию отдельных ядерных частиц	8
Тарараксин А.С., Савченков Д.В., Печенкин А.А. Автоматизация испытаний интегральных микросхем на стойкость к воздействию отдельных ядерных частиц с использованием аппаратно-программного комплекса National Instruments и технологий .NET	14
Васильев А.Л., Печенкин А.А., Чумаков А.И., Яненко А.В., Артамонов А.С. Верификация лазерных испытаний ИС на стойкость к воздействию отдельных ядерных частиц с использованием импульсной гамма-установки	17
Ахметов А.О. Особенности исследования стойкости одноплатных компьютеров к воздействию отдельных ядерных частиц	21
Кессаринский Л.Н., Бойченко Д.В. Эффекты от отдельных ядерных частиц во вторичных источниках питания	25
Елесин В.В., Никифоров А.Ю., Телец В.А., Чуков Г.В. Комплекс методических, аппаратных и программных средств для автоматизированных исследований параметров полупроводниковых СВЧ ИС в условиях испытаний на радиационную стойкость	28
Калашников О.А., Никифоров А.Ю. Методика сертификации электронной компонентной базы бортовой космической аппаратуры по стойкости к дозовому воздействию	32
Согоян А.В., Артамонов А.С., Богданов Ю.И., Никифоров А.Ю. Метод испытаний интегральных схем на стойкость к дозовому воздействию на основе совместного применения гамма и рентгеновских источников	39
Калашников О.А., Артамонов А.С., Бобровский Д.В., Бойченко Д.В., Кессаринский Л.Н., Некрасов П.В., Уланова А.В. Статистический разброс показателей радиационной стойкости интегральных схем иностранного производства	45
Бойченко Д.В., Кессаринский Л.Н., Печенкина Д.В. Влияние электрического режима на уровень дозовой стойкости аналоговых коммутаторов	48
Орлов А.А., Уланова А.В., Боруждина А.Б. Обеспечение радиационной стойкости микросхем энергонезависимых сегнетозлектрических запоминающих устройств	52
Орлов А.А., Согоян А.В., Герасимов В.Ф. Особенности поведения микросхем памяти на сегнетозлектриках при воздействии импульсного рентгеновского излучения	57
Ожегин Ю.А., Никифоров А.Ю., Телец В.А., Уваркин Д.С., Пыхтина А.С. Направления развития системы управления качеством радиационных испытаний электронной компонентной базы	59
Никифоров А.Ю. Заблуждения и реальность в области оценки радиационной стойкости электронной компонентной базы	63
Никитаев В.Г., Нагуманова Ю.Р., Проничев А.Н., Чистов К.С. Концептуальная модель распознавания бластных клеток в системе компьютерной микроскопии	67
Никитаев В.Г., Нагуманова Ю.Р., Проничев А.Н., Чистов К.С. Высокотехнологичная система поддержки принятия врачебных решений при диагностике острых лейкозов	70
Блиндарь В.Н., Никитаев В.Г., Нагуманова Ю.Р., Проничев А.Н., Чистов К.С. Экспертная система для диагностики острых лейкозов	74
Данилов А.В., Никитаев В.Г., Нагуманова Ю.Р., Проничев А.Н., Чистов К.С. Экспериментальное исследование вариабельности текстурных характеристик клеток крови	78

Рукописи, принимаемые к публикации, проходят научное рецензирование.
Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения автора. Редакция не несет ответственности за достоверность сведений, содержащихся в рекламе.
Перепечатка материалов из журнала допускается только с письменного разрешения редакции.
В этом случае статья должна сопровождаться ссылкой на журнал «Спецтехника и связь».

НИКИФОРОВ¹ Александр Юрьевич, д.т.н.; ТЕЛЕЦ² Виталий Арсеньевич, д.т.н.

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СВЯЗИ

Проанализированы проблемы и особенности обеспечения и контроля радиационной стойкости современной электронной компонентной базы как наиболее уязвимого звена систем специальной техники и связи. Представлены основные положения базовой технологии прогнозирования, оценки и контроля радиационной стойкости изделий микроэлектроники.

Problems and features of provision and the control of radiating hardness of modern electronic componental base as most vulnerable link of special technics and communication systems are analysed. Substantive provisions of base technology of forecasting, an estimation and the control of microelectronics items radiating hardness are presented.

Современные системы специальной техники и связи (ССТиС) в составе космических, авиационных, военных, ядерных комплексов работают в жестких условиях эксплуатации, подвергаясь радиационным воздействиям естественного и искусственного происхождения. Во многих случаях отказы бортовых систем управления, навигации, телеметрии, связи и обработки информации в реальных условиях определяются радиационными эффектами в комплектующей электронной компонентной базе (ЭКБ). Наиболее слабым звеном, определяющим отказы ССТиС является современная ЭКБ микро-, опто-, полупроводниковой и твердотельной СВЧ-электроники. Безотказная работа информационных систем в условиях радиационных воздействий обеспечивается применением ЭКБ с эксплуатационными характеристиками, соответствующими заданным требованиям и моделям эксплуатации, выбором безопасных режимов работы и применением общесистемных методов защиты и парирования отказов.

Номенклатура ЭКБ, применяемая в современных ССТиС, разнообразна и включает в себя несколько тысяч активных и пассивных компонентов — цифровых и аналоговых микросхем и электронных модулей, преобразователей вида и формы информации (аналога-цифровых, цифро-аналоговых, угол-код, физических величин и компонентов датчиков), источников питания, оптико-электронных устройств, изделий твердотельной СВЧ-электроники,

транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов и др.

Наиболее критичными компонентами с максимальной чувствительностью к радиационным воздействиям являются высокоинтегрированные сверхбольшие интегральные схемы (микропроцессоры, микроконтроллеры, программируемые логические интегральные схемы — ПЛИС, запоминающие устройства — ЗУ), прецизионные интегральные устройства (преобразователи, усилители, коммутаторы, стабилизаторы напряжения) и оптико-электронные системы (например, на приборах с зарядовой связью — ПЗС), поэтому вопросам радиационной стойкости этих устройств необходимо уделять наибольшее внимание при создании ССТиС на их основе. Пассивные компоненты, дискретные приборы (диоды, транзисторы, за исключением мощных и высоковольтных) — напротив, считаются относительно радиационно стойкими и не требуют специальных мер по обеспечению их работоспособности.

Особенностью современного этапа создания ССТиС является то обстоятельство, что около 80% ЭКБ являются изделиями иностранного производства (ИП) коммерческого или индустриального исполнения, к которым требования по радиационной стойкости изначально не предъявляются, а характеристики радиационной стойкости (РС) не контролируются и не регламентируются изготовителями в эксплуатационной документации.

Большинство типов применяемой отечественной ЭКБ в этом плане имеют

неоспоримые преимущества, так как их уровни РС указаны в технических условиях и соответственно гарантируются изготовителями. Однако в настоящее время отечественные изделия уступают иностранным аналогам на рынке ЭКБ для ССТиС по индексу применимости, доступности, цене и в целом по техническому уровню. Представленный на рынке номенклатурный ряд микросхем ИП много шире аналогичного ряда отечественных изделий, а их усредненный технический уровень на одно-два поколения превышает уровень отечественных схем.

Потребителям доступны сложно-функциональные отечественные микросхемы, созданные, например, в НИИСИ РАН, ЗАО ПКК «Миландр», ЗАО НТЦ «Модуль», ГУП НПЦ «ЭЛВИС», ОАО «НИИМЭ и Микрон», которые во многом формируют передовой уровень отечественной микроэлектроники. Многие из изделий, хотя и являются отечественными разработками, изготовлены на зарубежных кремниевых фабриках, технологический процесс которых, как правило, не обеспечивает для продукции требуемой РС.

Хотя справедливо отметить, что определенное исключение из этого ряда составляет ЭКБ НИИСИ РАН и ФГУП ФНПЦ НИИИС, элементно-технологический базис которой на структурах с диэлектрической изоляцией элементов изначально (т.е. на ранних этапах разработки и производства) ориентирован на обеспечение требований РС.

При создании современных ССТиС, предназначенных для работы в полях

¹ — профессор НИЯУ «МИФИ», генеральный директор ОАО «ЭНПО «СПЭЛС»;

² — директор ИЭПЭ НИЯУ «МИФИ».

радиационных воздействий, необходимо обеспечить оценку и контроль РС применяемой ЭКБ в процессе ее радиационных испытаний. Уровень радиационной стойкости ЭКБ зависит не только от конструктивно-технологических и схемно-топологических особенностей реализации изделия, но и от множества объективных и субъективных условий, таких как:

- ♦ выбора информативных параметров и критериев работоспособности (годности) изделий, методик и технических средств испытаний;
- ♦ режимов (электрических и функциональных) работы изделия в процессе испытаний (в сопоставлении с эксплуатационными);
- ♦ условий испытаний (климатических, сопутствующих) — в сопоставлении с эксплуатационными.

Достаточно острой стала проблема стабильности (разбросов) показателей РС в различных партиях однотипной ЭКБ: производственных — для отечественных микросхем и закупочных — для изделий ИП, и даже в пределах одной производственной (закупочной) партии.

Необходимость выполнения значительных объемов испытаний разнообразных, функционально и конструктивно сложных изделий на всех этапах их жизненного цикла (в процессе разработки, производства и эксплуатации) обусловили создание и реализацию отечественной интеллектуально защищенной базовой технологии прогнозирования, оценки и контроля РС ЭКБ (далее — Базовая технология).

Базовая технология стала результатом более 20 лет теоретических и экспериментальных исследований по созданию и отработке моделей, методов, комплексов испытательного и контрольно-измерительного оборудования, программных средств, системы стандартов, которые обеспечили:

- ♦ достоверную оценку РС микросхем в условиях запрета натурных полигонных испытаний на основе сочетания типовых моделирующих установок и впервые созданных энергосберегающих и экологичных имитаторов;
- ♦ прогнозирование и контроль РС изделий в процессе их разработки и производства для повышения выхода годных, достижения требуемого технического уровня и эксплуатационных характеристик;

- ♦ кардинальное повышение информативности результатов оценки РС изделий за счет увеличения количества контролируемых параметров, внедрения компьютерных технологий, обеспечения комплексного воздействия радиационных и климатических факторов.

В целом Базовая технология является собой единство научно-технических знаний, моделей, методов, методик, аппаратно-программных средств, технологических операций, конструктивно-технологических и схемно-топологических решений, испытательного и контрольно-измерительного оборудования, государственных и отраслевых стандартов и нормативных документов:

- ♦ образующая комплексную систему радиационных испытаний ЭКБ на моделирующих установках (МУ) и имитаторах на всех этапах активного жизненного цикла;
- ♦ имеющая лучшее из известных систем сочетание достоверности и технико-экономической эффективности испытаний в условиях запрета натурных облучательных опытов и ограниченных возможностей современных испытательных установок;
- ♦ открывающая принципиально новые возможности проведения испытаний на РС современной и перспективной ЭКБ с контролем всех информативных параметров непосредственно в условиях испытательных воздействий.

Базовая технология представима в совокупности следующих компонентов.

1 Научная база — комплекс научных знаний, моделей и программных средств моделирования радиационных эффектов и доминирующих механизмов отказов изделий микроэлектроники с учетом радиационных воздействий, в том числе с предельными уровнями. При ее формировании научно обоснован и определен состав доминирующих радиационных эффектов в полупроводниковых и других структурах ЭКБ, разработаны методы их имитационного экспериментального моделирования, основанные на эквивалентности реакций ЭКБ в условиях реальных радиационных воздействий и лазерных, рентгеновских и других испытательных воздействий.

2 Нормативная база — комплекс основополагающих нормативно-мето-

дических и директивных документов по заданию технических требований РС, методам прогнозирования и оценки соответствия ЭКБ требованиям РС, методам их радиационных испытаний. При ее формировании разработаны и внедрены комплексы военных отечественных государственных и отраслевых стандартов по обеспечению и контролю РС ЭКБ (ГОСТ РВ 20 57.415, ГОСТ РВ 20 39.414.2, ОСТ В 11 073.013, ч.10 и др.).

3 Экспериментальная база — комплекс научно обоснованных, разработанных и внедренных высокоэффективных методов радиационных испытаний ЭКБ, функционально полного ряда моделирующих и имитирующих испытательных установок, методик метрологической аттестации и дозиметрического обеспечения испытаний, методик и технических средств контроля работоспособности и диагностики отказов ЭКБ в ходе испытаний, обеспечивающих контроль информативных параметров (точностных, динамических, шумовых, др.), ранее не контролируемых. При ее формировании создан, аттестован и использован при испытаниях ЭКБ ряд лазерных (серия «РАДОН») и рентгеновских (серия «РЕИМ») имитаторов. Впервые созданы, аттестованы и внедрены в практику испытаний комплексы на основе малых МУ, которые сочетают в себе высокие проникающую способность излучений типовых МУ и производительность имитаторов.

4 Проектно-производственная база — комплекс конструктивно-технологических и схемно-топологических методов и решений, контрольных технологических операций, обеспечивающих заданный уровень РС изделий на этапах разработки и его гарантированную стабильность в процессе производства и эксплуатации в аппаратуре. При ее формировании радиационные испытания, ранее используемые лишь для финишного контроля микросхем, стали инструментом создания более широкой номенклатуры ЭКБ, обеспечивая оперативность принятия и апробации технических решений, выявления наиболее уязвимых элементов, параметров и режимов работы изделий. Разработанная и внедренная система 100% (сплошного) и/или выборочного (приемка партий пластин) контроля радиационной стойкости ЭКБ гарантирует обеспечение