

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БЛОКАХ МИКРОСХЕМ В КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

К.В. Зольников<sup>1</sup>, Ю.Ю. Громов<sup>2</sup>, С.А. Евдокимова<sup>3</sup>, Т.В. Скворцова<sup>3</sup>,  
О.В. Оксюта<sup>3</sup>, О.В. Вихрова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»

В работе рассматривается схемотехнический и конструктивно-технологический базис новых разработок микросхем специального назначения, определены перспективы его развития. Установлена сложность решения проблемы, которая заключается в комплексном сочетании и устранении противоречий различных принципов создания аппаратуры. Предполагается, что частица попадает в схему в момент времени равный началу переключения. Частота работы микросхемы составляет 30 МГц, что соответствует большинству частот, которые используются в космических летательных аппаратах.

Ключевые слова: микросхема, электронная компонентная база (ЭКБ), физический процесс, радиоэлектроника, космическая среда.

## **SIMULATION OF PHYSICAL PROCESSES IN MICROCIRCUITS IN SPACE ENVIRONMENT**

K.V. Zolnikov<sup>1</sup>, Yu.Yu. Gromov<sup>2</sup>, S.A. Evdokimova<sup>3</sup>, T.V. Skvortsova<sup>3</sup>,  
O.V. Oksyuta<sup>3</sup>, O.V. Vikhrova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Scientific research institute electronic engineering

<sup>2</sup>Tambov State Technical University

<sup>3</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The paper considers the circuit engineering and structural-technological basis of new developments of special-purpose microcircuits, the prospects for its development are determined. The complexity of solving the problem is established, which consists in a complex combination and elimination of contradictions of various principles of creating equipment. It is assumed that the par-

title enters the circuit at a time equal to the beginning of switching. The frequency of the chip is 30 MHz, which corresponds to most of the frequencies that are used in spacecraft.

Keywords: microchip, electronic component base (ECB), physical process, radio electronics, space environment.

В процессе разработки ЭКБ и БРЭА и для отработки применяемых схемотехнических и структурно-алгоритмических решений на стадии разработки до начала производства целесообразно проводить численное моделирование влияния возникновения сбоев на функционирование ЭКБ или БРЭА [1-8]. Для данной цели можно использовать описанные ниже методы.

Рассмотрим SPICE-моделирование воздействия ИИ КП на ЭКБ.

Одним из известных методов моделирования воздействия ИИ КП на изделия ЭКБ и аппаратуру является схемотехнический, при этом, схема представляется в виде эквивалентной, в которой проводится моделирование воздействия ИИ КП на рассматриваемый элемент. Сама процедура моделирования воздействия ИИ КП на ЭКБ заключается в следующем:

- для данной технологии на основе испытаний разрабатывается радиационная модель транзистора (функции изменения SPICE-параметров при воздействии ИИ или новые эквивалентные схемы для применения в SPICE-моделировании);

- далее, разрабатываются радиационные модели поведения базовых блоков и затем разработанные модели используются в САПР, в которой ведется проектирование СБИС.

Выявление ошибки при моделировании SPICE проводится на схемотехническом уровне.

В [1] предложена модифицированная двух-транзисторная эквивалентная схема паразитной тиристорной структуры, состоящая из двух паразитных биполярных  $p-n-p$ - и  $n-p-n$ -транзисторов и сосредоточенных сопротивлений кармана  $R_w$  и подложки  $R_s$ . Кроме того, схема содержит два генератора импульсного тока  $I_0$  и  $I_{glob}$  и эффективное сопротивление шины питания  $R_{bus}$ . Первый из них моделирует эффекты локальных фототоков в отдельной инверторной КМОП-ячейке, второй – глобальные эффекты, обусловленные протеканием фототоков в шинах питания. Численное моделирование процессов развития радиационно-индуцированного ТЭ под воздействием ТЗЧ проводится с помощью программы PSpice в рамках стандартной двух-транзисторной эквивалентной схемы. В этом случае, генератор  $I_{glob}$  и эффективное сопротивление шины пи-

тания  $R_{bus}$  убираются из схемы. Импульс ионизационного фототока между карманом и подложкой моделировался генератором тока  $I_0$  (

Форма импульса ионизационного фототока задавалась выражением

$$I_0(Q_0, t) = \frac{Q_0}{\tau_F - \tau_R} \left( \exp\left(-\frac{t}{\tau_F}\right) - \exp\left(-\frac{t}{\tau_R}\right) \right), \quad (1)$$

где  $\tau_R$  и  $\tau_F$  – времена нарастания и спада фототока;

$Q_0$  – полный заряд, собранный в чувствительной области и удовлетворяющий следующему условию

$$Q_0 = \int I_0(t) dt. \quad (2)$$

Устойчивость КМОП-ИС объемной технологии к паразитному ТЭ можно охарактеризовать критическим зарядом  $Q_C$ , определенным как минимальное значение заряда, собранного в ЧО, приводящего к запуску механизма положительной обратной связи [9-16].

В ходе моделирования производится последовательный переходный анализ воздействия импульса фототока на эквивалентную схему с постепенно увеличивающимся значением  $Q_0$ . Минимальное значение  $Q_0$ , при котором ток потребления начинает резко возрастать, дает значение критического заряда защелки  $Q_C$ .

В [2] предлагается метод моделирования радиационно-чувствительных характеристик двухканальных ОУ с помощью SPICE. Наиболее важными радиационно-чувствительными характеристиками ОУ являются входной ток, коэффициент усиления по напряжению и реакция на воздействие отдельной ТЗЧ. Для уменьшения входных токов используется двухтактный дифференциальный каскад, образованный  $n$ - $p$ - $n$ - и  $p$ - $n$ - $p$ -транзисторами, работающими в режиме микротоков, причем, используемая архитектура двухканального ОУ позволяет получить необходимый коэффициент усиления. Основной вклад в величину входного тока вносит высокочастотный канал, также образованный согласованными дифференциальными парами на  $n$ - $p$ - $n$ - и  $p$ - $n$ - $p$ -транзисторах. Для моделирования ТЗЧ с помощью SPICE (в частности, PSPICE) используется источник тока, задаваемый функцией

$$I_0(Q_0, t) = \frac{Q_0}{\tau_F - \tau_R} \left( \exp\left(-\frac{t}{\tau_F}\right) - \exp\left(-\frac{t}{\tau_R}\right) \right). \quad (3)$$

Таким образом, получают все библиотечные элементы, начиная от самого простого до сложного, которые соответствуют поведению элементов на схемотехническом уровне при воздействии ТЗЧ.

## Список литературы

1. Автоматизация управления и проектирования в электронной промышленности : монография / Ю.К. Фортинский, В.Е. Межов, В.К. Зольников, П.П. Куцько. – Воронеж: ВГУ, 2008. – 275 с.
2. Зольников, В.К. Проектирование микросхем с учетом радиационного воздействия / В.К. Зольников, В.П. Крюков, А.И. Яньков // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2009. – № 2. – С. 28-30.
3. Анциферова, В.И. Анализ подготовки специалистов по радиоэлектронике для научно-производственных и коммерческих структур в современных условиях / В.И. Анциферова, В.К. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2009. – № 3-4. – С. 5-12.
4. Акинин, А.А. Оценка быстродействия программной реализации алгоритмов полиномиального преобразования булевых функций / А.А. Акинин, Ю.С. Акинина, С.В. Тюрин // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 4-9.
5. Акинина, Ю.С. Аналитический метод оценки эффективности одного способа повышения сбоеустойчивости микропроцессорных систем / Ю.С. Акинина, С.В. Тюрин, М.А. Худяков // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 3. – С.10-15.
6. Журавлева, И.В. Повышение уровня безопасности производственных и эксплуатационных процессов на железнодорожном транспорте / И.В. Журавлева // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 24-29.
7. Создание схемотехнического и конструктивно-технологического базиса микросхем специального назначения / В.К. Зольников, В.П. Крюков, А.Ю. Кулай, Ю.К. Фортинский, И.И. Струков, М.В. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 27-29.
8. Меерсон, В.Э. Общая характеристика ионизирующих излучений космического пространства, влияющих на работу бортовой аппаратуры космических аппаратов / В.Э. Меерсон, Е.Д. Богачева // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 37-40.
9. Кононов, В.С. Особенности проектирования многозарядных КМОП-КНИ-АЦП для создания многоканальных высокоскоростных систем ЦОС с повышенной сбоеустойчивостью / В.С. Кононов // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 59-64.

10. Исследование диодов Шоттки на стойкость для применения в радиоэлектронной аппаратуре / А.И. Яньков, К.В. Зольников, А.Ю. Кулай [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 78-83.
11. Результаты исследований выпрямительных диодов на стойкость / А.И. Яньков, К.В. Зольников, А.Ю. Кулай [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 83-89.
12. Результаты оценки надежности микросхемы 1921ВК028 / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, Е.В. Грошева, А.И. Яньков // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 37-41.
13. Особенности технологического процесса изготовления микросхем космического назначения по технологии КМОП КНС / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, И.В. Журавлева, Е.А. Маклакова, А.А. Илунина // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 53-58.
14. Разработка тестового кристалла при проектировании микросхем технологии КМОП / В.К. Зольников, О.В. Оксюта, К.А. Чубур, О.Н. Квасов // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 58-65.
15. Особенности проектирования базовых элементов микросхем космического назначения / В.К. Зольников, Т.В. Скворцова, И.И. Струков, А.А. Илунина, Е.А. Маклакова // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 66-70.
16. Координация проектных работ в области СнК и сложнофункциональных блоков / К.В. Зольников, В.И. Анциферова, С.А. Евдокимова, С.В. Гречаный // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 71-76.