



# КОМПАКТНЫЕ SPICE-МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ КМОП И БИКМОП СБИС, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

## COMPACT SPICE MODELS OF CMOS AND BICMOS VLSI DEVICES WITH ACCOUNT FOR THERMAL AND RADIATION EFFECTS

УДК 621.382.3: 004.942

ПЕТРОСЯНЦ КОНСТАНТИН ОРЕСТОВИЧ<sup>1,2</sup>  
kpetrosyants@hse.ru

PETROSYANTS KONSTANTIN O.<sup>1,2</sup>  
kpetrosyants@hse.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»  
(Московский институт электроники и математики)  
123458, г. Москва, ул. Таллинская, 34

<sup>1</sup> National Research University "Higher School of Economics"  
(Moscow Institute of Electronics and Mathematics,  
Department of Electronics Engineering)  
34 Tallinskaya St., Moscow, 123458, Russia

<sup>2</sup> Институт проблем проектирования в микроэлектронике  
Российской академии наук  
124365, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Советская, 3

<sup>2</sup> Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian  
Academy of Sciences (IPPM RAS)  
3 Sovetskaya St., Zelenograd, Moscow, 124365, Russia

Приведена библиотека радиационных и электротепловых SPICE-моделей биполярных и МОП транзисторов СБИС различных типов. Библиотека содержит SPICE-модели МОПТ, МОПТ КНИ/КНС, Si БТ, SiGe ГБТ, учитывающие влияние эффекта саморазогрева, высоких (до +300 °С) и низких (до –200 °С) температур, радиационных эффектов (нейтронов, электронов, гамма- и рентгеновских лучей, протонов, импульсного излучения, одиночных ядерных частиц).

**Ключевые слова:** биполярные и МОП-транзисторы; SPICE-модели; КМОП и БиКМОП интегральные схемы; радиация; температура; космическая электроника.

The paper presents a library of radiation and electrothermal BJT and MOSFET VLSI SPICE models. The library contains models for MOSFET, SOI/SOS MOSFET, Si BJT, SeGe HBT taking into account self-heating, high (up to +300 °C) and low (up to –200 °C) temperatures, the influence of radiation (neutrons, electrons,  $\gamma$ - and X-ray, protons, pulsed radiation, single particles).

**Keywords:** MOSFET; BJT. SPICE models; CMOS VLSI; BiCMOS VLSI; radiation; temperature; space electronics.

К полупроводниковым приборам, ИС и БИС космического назначения предъявляются повышенные требования по надежности работы в условиях воздействия внешних факторов.

Рассмотрено современное состояние работ в области моделирования элементов КМОП и БиКМОП БИС с учетом влияния различных видов радиации, высоких и низких температур.

В качестве разработки, превышающей зарубежный уровень, приведена функционально полная, аттестованная рядом отечественных предприятий библиотека радиационных и электротепловых SPICE-моделей биполярных и МОП-транзисторов БИС различных типов, встроенная в схемотехнические симуляторы PSPICE, HSPICE, LTSpice, Eldo, Spectre, СИМИКА и др. Библиотека содержит SPICE-модели четырех типов:

1. Модели МОПТ, МОПТ КНИ/КНС, Si БТ, SiGe ГБТ, учитывающие влияние радиационных эффектов (нейтронов, электронов, гамма- и рентгеновских лучей, протонов, импульсного излучения, одиночных ядерных частиц [1]);
2. Модели приборов п. 1, учитывающие влияние внешней высокой температуры (до +300 °С) и внутреннего эффекта «саморазогрева» [2, 3];
3. Модели приборов п. 1, учитывающие влияние низких (до –200 °С) температур (для схем криогенной электроники) [4, 5];
4. Электротепловые модели межсоединений ИС и БИС в виде компактных пассивных  $R_T C_T$ -цепей с температурно-зависимыми параметрами [6].

Модели пп. 1–3 построены по единому принципу. В качестве основы используется одна из стандартных SPICE-моделей: для МОПТ — BSIM/BSIM SOI, EKV/EKV SOI; для БТ — GP, VBIC, HICUM, MEXTRAM (по выбору разработчика ИС). Радиационные и тепловые эффекты учитываются путем включения в базовую модель дополнительных выражений и/или схемных элементов. Для моделей SPICE-RAD-THERM пп. 1–4 отработаны процедуры экстракции параметров из стандартных I-V, C-V,  $f_T/f_{max}$ , S- и др. характеристик, измеренных в диапазонах радиационных и/или температурных воздействий. В качестве экстрактора используется IC-CAP.

Основные преимущества для разработчиков:

1. В рамках одной модели учитываются все виды радиационных воздействий;
2. Расширенный температурный диапазон от –200 °С до +300 °С (для существующих аналогов –100...+150 °С);
3. Одновременный учет в рамках одной модели совместного влияния радиации и температуры;
4. Учет электрических и тепловых потерь и задержек в межсоединениях ИС и БИС.

Погрешность моделирования — 10–15 % для статических и 15–20 % для динамических характеристик приборов.

Приведены практические примеры использования моделей пп. 1–4 для расчета типовых узлов и фрагментов КМОП и БиКМОП БИС космического назначения, подвергнутых воздействию различных видов радиации, высокой и низкой температуры.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Petrosyants K. O., Kharitonov I. A., Sambursky L. M., Kozhukhov M. V. Expanding Commercial SPICE Possibilities in the Field of Extreme Environment Electronics Design by Using New BJT and MOSFET Models with Account for Radiation Influence, in: Innovative Information Technologies: Materials of the International Scientific-practical Conference. Part 3 / Ed. by Uvaysov S. U. Part 3. M.: HSE, 2014, pp. 244–253.
2. Петросянц К. О., Лебедев С. В., Попов Д. А., Самбурский Л. М. и др. Моделирование КНИ МОП-транзисторов для высокотемпературных КМОП интегральных схем (до 300 °С) // Сб. трудов «Микроэлектроника-2015». — М.: Техносфера, 2016. — С. 470–474.
3. Петросянц К. О., Самбурский Л. М., Харитонов И. А. Определение параметров SPICE-моделей биполярных транзисторов в диапазоне температуры (–60...+125 °С) // Материалы XIV научно-технической конференции специалистов «Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА», 7–9 октября 2015. — Москва, 2015. — С. 239–243.
4. Petrosyants K., Dvornikov O., Prokopenko N., Kozhukhov M. Extension of Standard SPICE SiGe HBT Models in the Cryogenic Temperature Range // Proc. of THERMINIC 2017, Sept. 2017, Amsterdam.
5. Dvornikov O. V., Dziatlau V. L., Prokopenko N. N., Petrosyants K. O., Kozhukhov N. V., Tchekhovski V. A. The Accounting of the Simultaneous Exposure of the Low Temperatures and the Penetrating Radiation at the Circuit Simulation of the BiJFET Analog Interfaces of the Sensors // Proc. of XIII Intern. Siberian Conf. on Control and Communications (Sibcon 2017), Astana, Kazakhstan, June 2017.
6. Петросянц К. О., Козынько П. А., Рябов Н. И., Харитонов И. А. Подсистемы электротеплового моделирования СБИС и печатных плат, расширяющие возможности коммерческих САПР // Сб. трудов «Микроэлектроника-2015». — М.: Техносфера, 2016. — С. 439–448.

Отраслевой научно-технический журнал Издатель – АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»

# СТАНКОИНСТРУМЕНТ

НАУКА | ПРОЕКТИРОВАНИЕ | ПРОИЗВОДСТВО

Журнал «СТАНКОИНСТРУМЕНТ» – отраслевой научно-технический журнал, комплексно рассматривающий проблемы станкоинструментальной промышленности на всем протяжении жизненного цикла ее продукции: от научных разработок до промышленного производства и эксплуатации.

Периодичность: 4 номера в год

Тел.: +7 495 234 01 10 (доб. 144)  
моб.: +7 967 037 19 20  
E-mail: olesya200707@bk.ru

[www.stankoinstrument.su](http://www.stankoinstrument.su)

