

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ЭЛЕКТРОННУЮ КОМПОНЕНТНУЮ БАЗУ

С.Г. Мещеряков¹, А.С. Грошев¹, Т.В. Скворцова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»

В работе рассматривается моделирование радиационных эффектов в средствах автоматизации проектирования. Особенно уделяется внимание разработке сложно-функциональных блоков и на их основе микроэлектронных изделий, требующих обеспечения технологической независимости при создании современных систем управления, обработки данных и связи.

Ключевые слова: микросхема, электронно-компонентная база, радиация, космическое пространство, системы автоматизированного проектирования (САПР).

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR MODELING THE IMPACT OF SPACE RADIATION ON THE ELECTRONIC COMPONENT BASE

S.G. Meshcheryakov¹, A.S. Groshev¹, T.V. Skvortsova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The paper considers the modeling of radiation effects in design automation tools. Special attention is paid to the development of complex functional blocks and microelectronic products based on them, which require ensuring technological independence when creating modern control systems, data processing and communication.

Keywords: microchip, electronic component base, radiation, outer space, computer-aided design (CAD) systems.

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 [1-12]. 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 питания R_{bus} убираются из схемы. Импульс ионизационного фототока между карманом и подложкой моделировался генератором тока I_0 (рисунок 1).

В [3] 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.

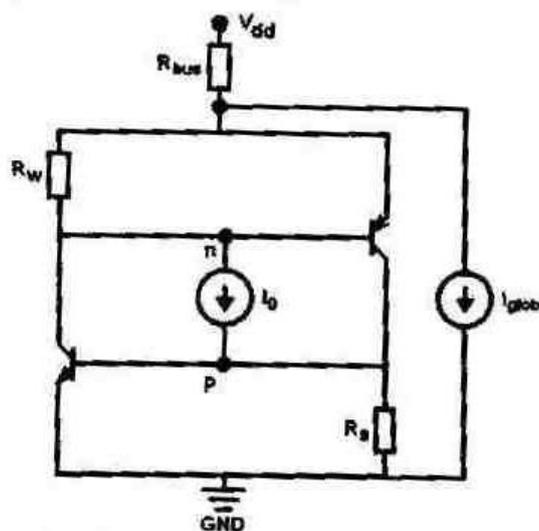


Рисунок 1 – Модифицированная двух-транзисторная эквивалентная схема для моделирования ионизационного фототока между карманом и подложкой при импульсном воздействии

Программно-аппаратное моделирование воздействия ИИ КП на ИС (внедрение отказа/ошибки) является широко распространенным методом для исследования поведения ЭКБ при наличии ошибки или отказа. Данный метод играет большую роль в разработке сбоеустойчивых СБИС. Основные цели внедрения ошибки:

- проверка исследуемой ИС по отношению требований надежности;
- обнаружение «критических областей» ИС, требующих доработки;
- предсказание поведения исследуемой ИС в случае возникновения ошибки.

В различных методах внесения ошибки существуют следующие общие элементы:

- должна быть выбрана ошибка, которую следует внедрить в ИС;
- исследуемая схема должна иметь прототип или модель;
- должен быть доступен набор тестовых программ для полного представления о функционировании ИС;
- ожидаемые результаты, соответствующие, в основном, измерению стойкости ИС при возникновении ошибки.

Ошибки (отказы) можно классифицировать по их длительности как необратимые, промежуточные и временные.

ИИ КП является основной причиной возникновения ОРЭ в ИС, данные ОРЭ принимают различные формы и имеют как необратимый, так и обратимый характер.

Результатом процедуры внедрения ошибки является вероятность отказа прибора при его работе. Обычно эту вероятность выражают числом отказов в ИС в единицу времени (FIT).

Внедрение ошибки можно провести как на физическом, так и на логическом уровне.

При физическом внедрении используются различные естественные радиационные источники (космическое пространство, атмосфера Земли на больших высотах). Данный способ является наиболее реалистичным, но и наиболее непрактичным, вследствие большой его стоимости и время-затратности. Также можно использовать радиационные испытания на ускорителях ЗЧ и других радиационных источниках, а также лазерных имитаторах.

При логическом внедрении ошибки используются логические ресурсы ИС для доступа к внутренним элементам и вставки ошибки (модель ошибок). Данные логические ресурсы: это, например, интерфейс JTAG; также некоторые коммерческие микропроцессоры включают в себя «отладку на чипе» (OCD), дающую доступ к внутренним элементам (программному счетчику, регистрам пользователя и т.д.); и реконфигурационные ресурсы для программирования приборов.

Например, ПО FIMBUL [4] использует OCD-ресурсы и JTAG-интерфейс для внедрения ошибок в виде переключения бита в элементы памяти микропроцессора. В BDM [5] использовалась OCD фирмы Моторола для внедрения ошибки через последовательный порт. Также были предложены несколько усовершенствований метода использования OCD [6-8].

Реконфигурационные ресурсы позволяют проводить непосредственное внедрение ошибки в память элементов прототипа схемы. Данный метод часто используется для исследования влияния ошибок в ПЛИС. Данный метод используется, например, в ПО JBits [9] и в других [10, 11].

Внесение ошибки требует высокой контролируемости каждого узла в ИС для модифицирования его логического состояния. Это достигается использованием механизмов реконфигурации ПЛИС. Другой подход состоит в том, чтобы вставить некоторую дополнительную аппаратную часть в прототип ИС для внесения ошибки. Такой дополнительный блок часто называют инструментом.

Список литературы

1. Зольников, В.К. Моделирование и анализ производительности алгоритмов балансировки нагрузки облачных вычислений / В.К. Зольников,

О.В. Оксюта, Н.Ф. Даюб // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 32-39.

2. Методы контроля надежности при разработке микросхем / К.В. Зольников, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова, А.Е. Гриднев // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 39-45.

3. Определение мероприятий по программе обеспечения качества работ проектирования и серийного производства микросхем и оценки их эффективности на примере СБИС 1867ВН016 / К.В. Зольников, А.С. Ягодкин, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 46-53.

4. Разработка проектной среды и оценка технологичности производства микросхемы с учетом стойкости к специальным факторам на примере СБИС 1867Ц6Ф / В.А. Складар, В.А. Смерек, К.В. Зольников, Д.Н. Чернов, А.С. Ягодкин // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 77-82.

5. Создание тестового окружения и порядок загрузки тестов в процессе проектирования микросхем / К.А. Чубур, А.Ю. Кулай, А.Л. Савченко, К.В. Зольников, А.Е. Гриднев // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 83-87.

6. Зольников, В.К. Методы верификации сложно функциональных блоков в САПР для микросхем глубоко субмикронных проектных норм / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 16-24.

7. Зольников, В.К. Практические методики выполнения верификации проектирования микросхем / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 25-30.

8. Зольников, В.К. Моделирование работоспособности микросхем на различных иерархических уровнях описания в САПР / В.К. Зольников, А.Л. Савченко, А.Ю. Кулай // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 30-39.

9. Зольников, В.К. Обзор программ для САПР субмикронных СБИС и учет электрофизических эффектов глубоко субмикронного уровня / В.К. Зольников, А.Л. Савченко, А.Ю. Кулай // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 40-47.

10. Информационные модели радиационных эффектов для оценки адекватности принятия решений / К.В. Зольников, В.М. Антимиров, А.Ю. Кулай,

И.И. Струков, М.В. Солодилов, К.А. Чубур // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 15-20.

11. Зольников, К.В. Математическая модель оценки показателей надежности сложных программно-технических комплексов / К.В. Зольников, Д.М. Уткин, Ю.А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 21-26.

12. Создание схмотехнического 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.