

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСА ИЗДЕЛИЙ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

К.В. Зольников¹, С.А. Евдокимова², А.С. Ягодкин², С.В. Гречаный²,
П.Л. Пармон¹

¹АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

В статье предложена методика расчетно-экспериментальной оценки срока службы изделий в заданных радиационных условиях космического пространства. Описанная методика оценки ресурса изделий учитывает аддитивный характер ионизационных и структурных эффектов в заданных радиационных условиях космического пространства. Данная методика включает экспериментальный и расчетный этапы.

Ключевые слова: микроэлектроника, СБИС, радиационное воздействие, космическое пространство, ионизационные и структурные эффекты, биполярная технология.

PRODUCT LIFE ASSESSMENT METHODOLOGY UNDER RADIATION EXPOSURE

K.V. Zolnikov¹, S.A. Evdokimova², A.S. Yagodkin², S.V. Grechany², P.L. Parmon¹

¹Scientific research institute electronic engineering

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The article proposes a method for calculating and experimental evaluation of the service life of products in the specified radiation conditions of outer space. The described method of estimating the resource of products takes into account the additive nature of ionization and structural effects in the specified radiation conditions of outer space. This method includes experimental and computational stages.

Keywords: microelectronics, VLSI, radiation exposure, outer space, ionization and structural effects, bipolar technology.

В настоящее время основным методическим подходом является использование моноэнергетических пучков электронов и протонов или замена электронного и протонного излучений КП на облучение гамма-квантами и нейтронами [1, 2].

Основу указанных выше методических подходов составляет допущение об аддитивном характере ионизационных и структурных эффектов, возникающих при воздействии ИИ КП. Это означает, что общее изменение информативного параметра может быть найдено как сумма изменений, определяющихся ионизационными дозовыми эффектами и эффектами структурных повреждений.

Предлагаемый метод содержит в себе два этапа. На первом этапе (экспериментальном):

- 1) Формируются две выборки изделий. Первая выборка предназначена для облучения гамма-квантами, а вторая — для облучения реакторными нейтронами.

- 2) Проводится пошаговое облучение гамма-квантами и строится зависимость среднего изменения информативного параметра от ионизационной дозы $D_{ион}$.

- 3) Проводится пошаговое облучение быстрыми нейтронами строится зависимость среднего изменения информативного параметра от $D_{стр}$.

Расчетный этап:

- 1) Для заданных радиационных условий применения испытываемых изделий на борту КА рассчитывается $D_{ион}$ и $D_{стр}$, приходящиеся на единицу времени работы в данных условиях.

- 2) Выбирается шаг по шкале времени Δt и для каждого момента времени t_i рассчитываются соответствующие значения ионизационной дозы и дозы структурных повреждений.

- 3) Для каждого момента времени t_i по измеренным деградационным кривым (шаги 2 и 3 экспериментального этапа) определяется изменение рассматриваемого информативного параметра за счет ионизационных эффектов и за счет эффектов структурных повреждений.

Предложенная методика позволяет по кривым деградации, полученным на экспериментальном этапе, рассчитать зависимость изменения информативных параметров от времени эксплуатации в любых заданных радиационных условиях, при любых соотношениях между $D_{стр}$ и $D_{ион}$.

Для повышения ресурса используется метод резервирования [3-8].

Данный метод относится к группе методов N-кратного резервирования и является развитием метода с N-кратным резервированием с ненагруженным резервным элементом. Метод заключается в том, что в систему, которую необходимо защитить от сбоев и отказов, вводятся M резервных элементов, находящихся в режиме ненагруженного резерва, причем, каждый из ненагруженных резервных элементов может заменить любой отказавший основной элемент [9-15].

На рисунке 1 показана схема метода скользящего резервирования. На данной схеме каждый из основных элементов должен обладать способностью выставлять признак ошибки, по которому блок управления резервом должен отключить отказавший элемент и включить один из ненагруженных резервных элементов.

Следует отметить, что, если количество ненагруженных резервных элементов (M) больше или равно количеству основных элементов (N), то данный метод позволяет повысить стойкость системы к радиационным ДЭ. Физический механизм данного явления заключается в том, что скорость накопления радиационно-индуцированного положительного заряда при воздействии ИИ зависит от напряженности поля, которое растягивает образующиеся заряды. Если ИС или ее часть находится в пассивном (ненагруженном) электрическом режиме, то большинство образующихся электронно-дырочных пар рекомбинирует, тем самым, не оказывая влияния на характеристики ИС. Считается, что ПНД для цифровой КМОП-ИС в пассивном электрическом режиме минимум на порядок выше, чем для ИС, находящейся в активном электрическом режиме.

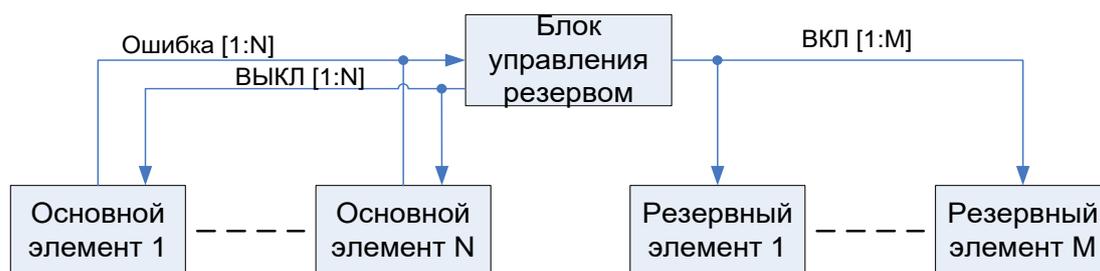


Рисунок 1— Схема метода скользящего резервирования

Достоинства метода:

- обеспечивает обнаружение ОС и отказов, вызванных не только ИИ КП, но и любого другого характера;
- обладает повышенным ресурсом, по сравнению с другими методами, так как ресурсы резервных элементов не снижаются до отказа основного элемента;

- если количество ненагруженных резервных элементов больше или равно количеству основных элементов, то данный метод позволяет повысить стойкость системы к радиационным ДЭ.

Недостатки метода:

- требует увеличения аппаратных затрат пропорционально количеству резервных элементов;

- требует наличия средств обнаружения сбоя или отказа в составе основных элементов;

- ячейки ввода/вывода ИС, находящейся в режиме холодного резерва, должны выдерживать подачу напряжения высокого уровня, что требует специальных схемотехнических и технологических решений;

- требуется специальная схема управления подачей напряжения питания на основной и резервные объекты, которая должна обладать стойкостью к радиационным ДЭ не менее, чем результирующая стойкость объекта управления.

Метод сторожевого таймера направлен на обнаружение всех видов обратимых и необратимых ОРЭ, а также других видов сбоев и отказов, которые проявляются как нарушение заданного алгоритма выполнения программы. Метод заключается в том, что в систему вводится специальное устройство – сторожевой таймер, функция которого заключается в формировании сигнала высокоуровневого прерывания или сигнала сброса, если в течение заданного промежутка времени не была произведена определенная последовательность действий. Например, при нормальном функционировании программа должна выполнять цикл записи по определенному адресу с определенной периодичностью и это действие сбрасывает внутренний счетчик сторожевого таймера. Если произошел сбой, в результате которого алгоритм работы программы был нарушен, то в заданный момент цикла записи не произойдет, что приведет к срабатыванию сторожевого таймера и позволит, в свою очередь, своевременно принять необходимые меры по устранению последствий сбоя, например, произвести перезагрузку системы. Метод относится к группе схемотехнических методов.

Достоинство метода – позволяет обнаружить и зафиксировать факт нарушения алгоритма функционирования, что может быть следствием сбоев и отказов по любым причинам, как радиационного, так и нерадиационного характера.

Недостаток метода: требует введения в систему дополнительного элемента – сторожевого таймера, который также может быть источником сбоев и отказов.

Список литературы

1. MIL-STD-883J. Method 1019.9. Ionizing Radiation (Total Dose) Test Procedure. – 2013.

2. ESCC Basic Specification No. 22900. Total Dose Steady-State Irradiation Test Method. – 2010.

3. Petrov, A. Radiation testing of optocouplers intended for space application using the consecutive modelling of ionizing and displacement damage effects / A. Petrov, K. Tapero, G. Mosina // ISROS 2016 Proceedings, Otwock, Poland, 6–9 June 2016.

4. Таперо, К. И. Определение срока службы оптронов в условиях космического пространства с использованием последовательного моделирования ионизационных эффектов и эффектов структурных повреждений / К. И. Таперо, А. С. Петров, Г. М. Мосина // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2016. – Вып. 3. – С. 23–29.

5. Проектирование интерфейсов сбоеустойчивых микросхем / В.К. Зольников, Н.В. Мозговой, С.В. Гречаный, И.Н. Селютин, И.И. Струков // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 17-24.

6. Зольников, В.К. Балансировка нагрузки в облачных вычислениях / В.К. Зольников, О.В. Оксюта, Н.Ф. Даюб // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 25-32.

7. 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.

8. 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.

9. Системы на кристалле (СнК) и влияние данной технологии на создание современной ЭКБ / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, М.Ю. Арзамасцев, А.Е. Гриднев // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 19-23.

10. Макаренко, Ф.В. Сужение спектра излучения GaAs светодиода за счет применения светофильтра InP (Ag) / Ф.В. Макаренко, А.В. Арсентьев, К.В. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 32-38.
11. Юров, А.Н. Организация технических условий и информационных данных в 3D моделях программных систем / А.Н. Юров, В.В. Сокольников, К.С. Меремьянин // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 83-89.
12. Зольников, В.К. Верификация проектов и создание тестовых последовательностей для проектирования микросхем / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 10-16.
13. 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.
14. Создание базиса для микросхем сбора и обработки данных / В.А. Скляр, А.В. Ачкасов, К.В. Зольников, И.И. Струков, К.А. Чубур // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 2. – С.66-71.
15. Защита микропроцессоров от одиночных сбоев / В.А. Смерек, В.М. Антимиров, А.Ю. Кулай, А.Л. Савченко // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 2. – С.71-77.