

Использование вероятностных нечетких моделей при прогнозировании функциональных отказов СВЧ БИС при воздействии радиации

¹ Барбашов В.М., ¹ Трушкин Н.С.

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Каширское шоссе, 31, г. Москва, 115409, РФ
vmbarbashov@mephi.ru
nstrushkin@mephi.ru

Аннотация: Представлены результаты анализа радиационного поведения СВЧ БИС на функционально-логическом уровне описания. Показано, что в ряде случаев характерны детерминированные и не детерминированные отказы. Каждый порог срабатывания логических элементов при воздействии ИИ обладает зоной неопределенности и количественно может быть выражен нечетким числом. В первом случае поведения сложных устройств определяется конкретным соотношением радиационно-чувствительных параметров элементов, во втором - статистическим разбросом пороговых уровней отказа для однотипных образцов.

1. Введение

Создание сложных систем СВЧ БИС, устойчивых к воздействию радиационных дестабилизирующих факторов, на сегодняшний день невозможно без активного использования логического моделирования, обеспечивающего необходимую адекватность описания и точность расчетов. При этом реальный характер радиационного поведения сложной электронной системы определяется конкретным соотношением радиационно-чувствительных параметров ее элементов и учетом влияния их статистического разброса. Соотношение между функцией распределения плотности вероятности разброса и критериальной функцией принадлежности (КФП) определяет, в конечном итоге, целесообразность использования функционально-логических моделей радиационного поведения СВЧ БИС применительно к каждому конкретному случаю [1]. Такое сопоставление является необходимым этапом общей процедуры анализа стойкости БИС.

2. Моделирующая среда

Пусть из узла n выходит m ветвей. Тогда кратность узла при нормальной работе равна m [1]. При воздействии внешних факторов (радиация, СВЧ излучение и т.д.) начинают деградировать пороги срабатывания логических элементов связанных с рассматриваемым узлом l_{nj}^n , $j = 1, 2, \dots, m$. Кроме этого изменяются уровни амплитуд логического нуля и единицы (U^0 , U^1), что приводит к уменьшению импульса l_n . Таким образом, работоспособность схемы зависит от величины превышения $\Delta_n = l_n - l_n^n$, $j = 1, 2, \dots, m$.

В этом случае каждый порог обладает зоной неопределенности, при попадании в которую логический элемент начинает переключаться случайным образом и кратность узла становится неопределенной и количественно может быть выражено нечетким числом.

В данной работе, как и в [2], используются треугольные $L - R$ числа, что значительно упрощает расчетные оценки.

Зона неопределенности, l_n , l_{nj}^n являются случайными величинами. Поэтому для упрощения задачи в дальнейших выкладках будет использоваться максимальное значение величины зоны неопределенности $q_{Lj \max}$ по каждой ветви, которое определяется экспериментально и при создании САПР может использоваться по умолчанию.

Так например применительно к дозовым эффектам в структурах КМОП БИС, чаще всего, наблюдается обратный характер зависимости дисперсии разброса от уровня облучения (Рис. 2). Поэтому в разных диапазонах уровней воздействия модель объекта может носить как нечеткий, так и вероятностный характер [5 - 7]. В целом можно предположить, что для объемных эффектов смещения и эффектов ионизации с возрастанием уровня и интенсивности воздействия становится более достоверным нечеткое описание радиационного поведения БИС, в то время как для поверхностных эффектов зачастую предпочтительнее использование вероятностных моделей. Однако для однозначной оценки радиационного поведения требуется совместный учет параметров, которые описываются нечеткими и вероятностными моделями.

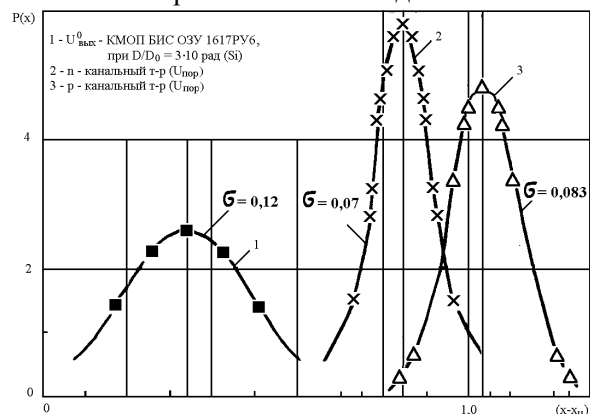


Рисунок 2. Распределения усредненных по пластине $U^0_{\text{вых}}$ чипов КМОП БИС ОЗУ 1617РУ6 от дозы (1), Упор n- и p- канальных МОП транзисторов (2, 3), полученные на ускорителе электронов с $E_e = 130$ кэВ

4. Заключение

Обеспечение стойкости БИС в условиях ионизирующего излучения определяется конкретным спектром дерева топологии БИС и соотношением радиационно-чувствительных параметров: кратности узлов, мощности спектра дерева, моды нечеткого числа. В этом случае соотношение между функцией распределения разброса и моды нечеткого числа определяет, в конечном итоге, целесообразность использования функционально-логических моделей радиационного поведения СВЧ БИС применительно к каждому конкретному случаю. Проведение такого сопоставления является необходимым этапом общей процедуры анализа радиационной стойкости СВЧ БИС. При этом следует отметить, что в разных диапазонах уровней или интенсивностей воздействия оценка мощности спектра дерева топологии СВЧ БИС может носить как нечеткий, так и вероятностный характер. В этом случае нечеткая кратность может задаваться в n-мерном пространстве с сохранением базовых параметров модели, а радиационные эффекты, возникающие в СВЧ БИС, при различных уровнях облучения, оцениваются в ней по изменению одного и того же параметра системы. Такая структура модели является вероятностно-нечеткой с операторами вероятностного типа, а критериальная функция принадлежности является суперпозицией статистической и детерминированной критериальной функцией принадлежности. При этом, определена взаимосвязь нечеткой кратности и вероятностной логик, позволяющая наиболее точно оценивать качество функционирования БИС при воздействии радиации.

Список литературы

1. Frank M.J. Associativity in a class of operations on spaces of distribution functions. Aequationes Math 12 (1975), 121-144.
2. V.M. Barbashov, N.S. Trushkin Evaluation performance of digital integrated circuits while exposed to radiation. 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 151 012011.
3. Барбашов В.М., Трушкин Н.С. Взаимосвязь вероятностных и порядковых моделей при моделировании функциональной безопасности БИС// Безопасность информационных технологий (БИТ). 2008, Вып. 3, с. 90-95.
4. Барбашов В.М., Трушкин Н.С. Особенности моделирования информационных отказов цифровых КМОП СБИС при воздействии радиации// Безопасность информационных технологий (БИТ). 2018, Том 25, № 1, с. 34-40.
5. В.М. Барбашов, Б.И. Подлепецкий, Н.С. Трушкин Моделирование радиационной надежности цифровых устройств на функционально-логическом уровне. Датчики и системы. - 2016. - №4, с. 54-57.
6. Гретцер Г. Общая теория решеток. М.: Мир, 1982. 456 с.
7. Нечеткие множества и теория возможностей. Под ред. Р.Р. Ягера. М.: Радио и связь, 1986. 408 с.