

# Программная реализация алгоритма определения статического запаса по шуму цифровых интегральных схем

Лихтар Ю., Новиков П.

Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Ловшенко И.Ю.

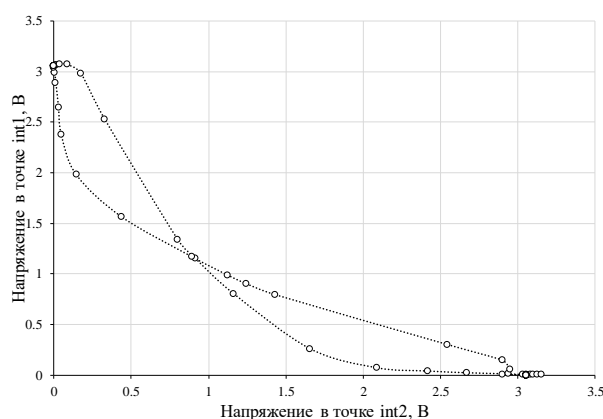
Проведён анализ метрик и методов оценки помехоустойчивости элементов цифровых интегральных схем. Разработан программный инструмент на Python для автоматического вычисления статического запаса по шуму на основе передаточных характеристик ячеек памяти. Реализованы функции импорта данных моделирования, определения контуров характеристики и расчёта статического запаса по шуму с использованием вписанных квадратов. Проведена верификация инструмента на тестовых структурах ячеек памяти, выполненных по КМОП-технологии с проектными нормами 0,35 мкм.

Надёжность элементов цифровых интегральных схем приобретает особую значимость в современных нанометровых КМОП-технологиях. Повышенная вариативность технологических параметров приводит к существенному разбросу электрических характеристик транзисторов. Среди логических устройств, реализуемых в составе микросхем и наиболее подверженных негативным проявлениям названных эффектов, можно выделить ячейки статической оперативной памяти (англ. Static Random Access Memory, SRAM). Для ячеек SRAM ключевым показателем устойчивости хранения данных является статический запас по шуму (англ. Static Noise Margin, SNM) – минимальное напряжение помехи, способное вызвать ложное переключение состояния ячейки. Значение SNM измеряется в вольтах и напрямую определяет вероятность отказа при чтении.

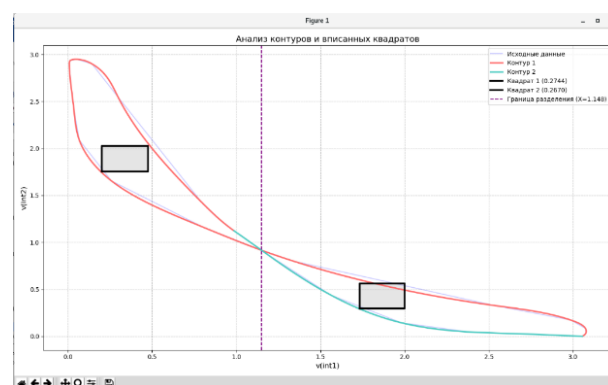
Классический подход к оценке SNM основан на графическом анализе передаточных характеристик инверторов, образующих триггерную структуру ячейки. Метод предполагает построение двух графиков: зависимости напряжения одного узла от другого и наоборот при проведении операции чтения. Получаемая характеристика (рисунок 1, а), называемая англ. «butterfly curve» содержит две области, разделённые точкой пересечения. SNM определяется как длина диагонали максимального квадрата, вписанного в меньшую из двух петель характеристики.

В рамках работы реализован программный инструмент для автоматизированного расчёта SNM на основе графического метода. Программное обеспечение, разработанное на языке Python с применением библиотек численного анализа и машинного обучения, выполняет следующие функции: импорт данных моделирования (напряжения узлов инвертора); детектирование контуров, образованных двумя передаточными характеристиками; поиск оптимальных вписанных квадратов и расчёт итогового значения SNM.

Проверка корректности работы алгоритма проведена на наборе ячеек SRAM, выполненных по КМОП-технологии с проектными нормами 0,35 мкм. На рисунке 1, б представлен результат автоматической обработки передаточной характеристики, включая найденные квадраты и соответствующие рассчитанные значения  $SNM_1 = 0,2744$  В и  $SNM_2 = 0,2670$  В. Разница в значениях обусловлена асимметрией передаточной характеристики, возникающей ввиду несогласованности параметров транзисторов и погрешностью расчетов, связанной с малым количеством опорных точек исходной характеристики (рисунок 1, а).



а



б

Рисунок 1 – Передаточная характеристика ячейки памяти до (а) и после (б) обработки

Разработанный инструмент может быть интегрирован в стандартный поток проектирования матриц SRAM для ускорения параметрической оптимизации и оценки надёжности на ранних этапах.

#### Список использованных источников:

1. Osada, K. «Low power and reliable SRAM memory cell and array design» / K. Osada // Springer Series in Advanced Microelectronics. – V. 31. – 2011. – P. 5-10.
2. Athe, P. A Comparative Study of 6T, 8T and 9T Decanano SRAM cell / P. Athe, S. Dasgupta // 2009 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA 2009). – 2009. – P. 889–894.