

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДЕРЖЕК В МЕЖСОЕДИНЕНИЯХ ИС С УЧЁТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭФФЕКТОВ

Рябов Н.И., Гладышева Е.И.

Научно-исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
(Московский институт электроники и математики), г. Москва

## Введение

Неравномерный нагрев линий межсоединений приводит к искажению передаваемых сигналов, в частности, увеличению времени задержки, что может вызвать рассогласование сигналов во времени. Распределение температуры в линии межсоединения обусловлено как неравномерным нагревом кристалла, по которому проходит линия, так и током, протекающим в линии (так называемый «саморазогрев»). Кроме того, ток линии вызывает падение напряжения вдоль нее.

В настоящей работе ставится задача создать программное обеспечение для моделирования задержек в межсоединениях ИС с учётом температурных эффектов.

## Электро-тепловое моделирование межсоединений



Рис. 1. Линия межсоединения, проходящая по подложке,  
отделенная слоем изоляции

В настоящей работе авторы используют модель межсоединения (рис. 1) в виде распределённой RC-цепи, параметры которой зависят от температуры данной точки межсоединения (рис. 2).

Распределение температуры на поверхности кристалла рассчитывается с помощью программы «Перегрев –MC» [1], исходя из распределения температуры вдоль линии межсоединения рассчитываются параметры модели межсоединения – сопротивления  $R(T_i)$  и ёмкости  $C(T_i)$  звеньев RC цепи. Авторами разработана программа расчёта параметров

модели, выводящая результаты расчёта в виде описания электрической схемы в формате SPICE.

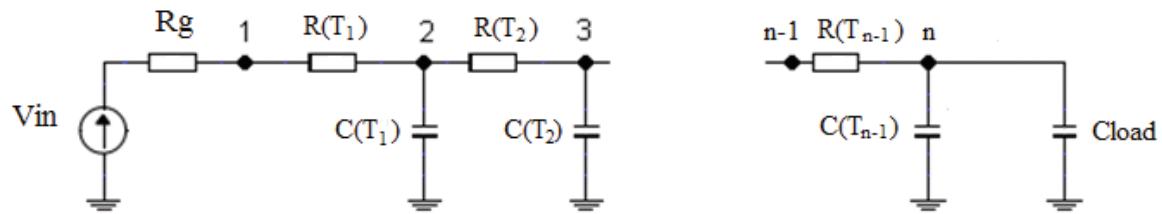


Рис. 2. Модель межсоединения в виде распределённой RC цепи. Величины сопротивлений  $R$  и емкостей  $C$  зависят от температуры данной точки межсоединения  $T_i$ .  $V_{in}$  – напряжение входного генератора,  $R_g$  - сопротивление генератора,  $C_{load}$  – ёмкость нагрузки

С помощью разработанной программы сделан расчет одного из межсоединений для микросхемы 4-х разрядного сумматора, реализованного на базе топологических ячеек НЕ, 2ИЛИ-НЕ, ЗИЛИ-НЕ, 4ИЛИ-НЕ, полусумматора на два входа, входящих в состав БМК серии 6501ХМ1. Приведенная схема рассеивает мощность 0,37 Вт, занимает на кристалле площадь  $0,6 \cdot 0,5$  мм<sup>2</sup> и входит в качестве фрагмента в состав более сложных блоков процессора специализированной ЭВМ со сверхвысоким быстродействием. Для данного фрагмента были смоделированы тепловые поля для температуры корпуса микросхемы 27 °C (рис. 3). На рис. 4 распределение температуры вдоль линии межсоединения.

С помощью полученной модели межсоединения произведён расчёт задержек распространения сигнала в межсоединении (рис. 5). Задержки распространения сигнала в межсоединении без учета неоднородного температурного профиля составила 22.9 пс, задержка с учетом неоднородного температурного профиля 31.9 пс, т.е. погрешность составляет 28%.

При входном напряжении 1.5 В на выходе мы получаем 0,981 В (или 35%) с учетом теплового влияния на межсоединение. То есть наблюдается эффект «просадки» напряжения, который важно учитывать при конструировании БИС.

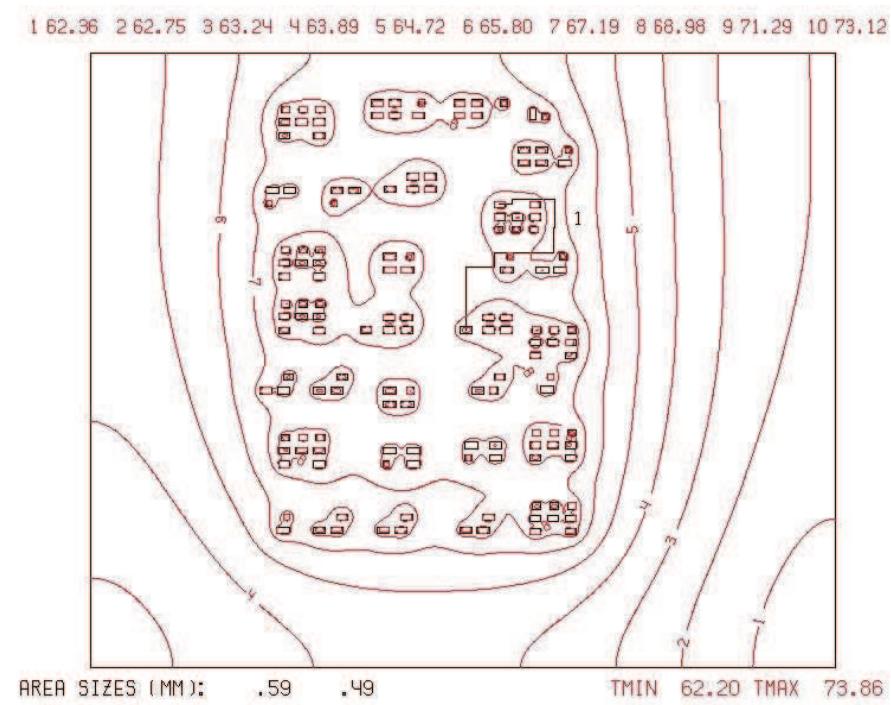


Рис. 3. Микросхема К142ЕН9.

1 - линия межсоединения, изолинии температуры поверхности – в градусах Цельсия, соответствие номеров и температур – в верхней строке рисунка

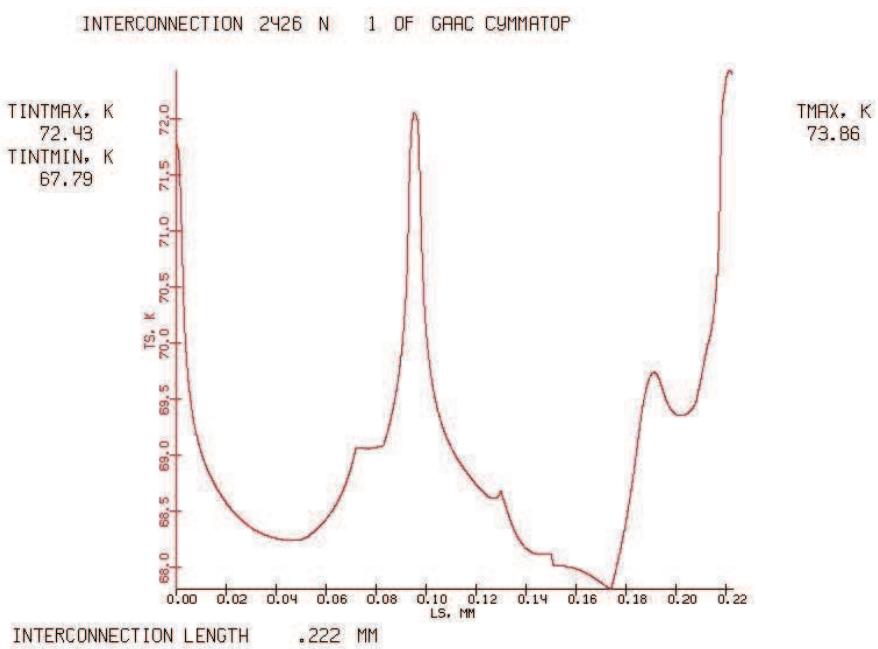


Рис. 4. Распределение температуры кристалла вдоль линии межсоединения

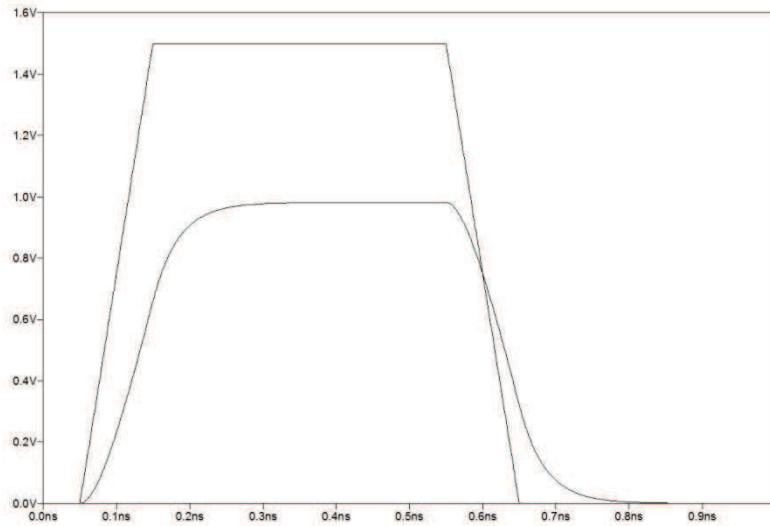


Рис. 5. Результат моделирования задержек линии межсоединения с помощью SPICE. Задержка переднего фронта составляет 31.9 пс, заднего – 31.1 пс

### Выводы

Разработано программное обеспечение для анализа задержек в межсоединениях ИС в зависимости от температурных эффектов.

Температура межсоединения определяется тепловым режимом микросхемы, который рассчитывается с помощью программы «Перегрев – МС», ранее разработанной авторами.

Авторами разработана программа расчёта параметров модели межсоединения (сопротивлений и емкостей) в зависимости от температуры в точках межсоединения. Результаты расчёта выводятся в формате SPICE.

Расчёт задержек в межсоединении производится с помощью SPICE.

Приведён пример расчёта межсоединения микросхемы 4-х разрядного сумматора, реализованного на БМК серии 6501ХМ1.

В отличии от описанных в литературе аналитических методов, методика численного расчета задержек в межсоединениях БИС предложенная в этой работе, позволяет учитывать произвольное распределение температуры в кристаллах.

### Литература

- Петросянц К.О., Рябов Н.И. Программа для ЭВМ «Перегрев МС». Свидетельство № 2007613306 от 6.08.2007 г. об официальной регистрации программы для ЭВМ.