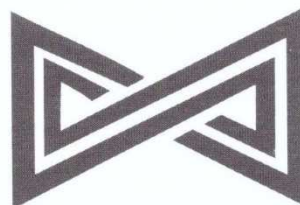


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
МОСКОВСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО РАДИОТЕХНИКИ,
ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ им. А.С.ПОПОВА



**XVI Всероссийская научно-техническая
конференция
«Электроника, микро- и наноэлектроника»:
3 -7 июля 2017 года, г. Суздаль, Россия**

Москва 2017 год

УДК 621.38+621.38.049.77+621.382.049.77

ББК 32.85+32.852

Э45

XVI Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника, микро- и наноэлектроника»: 3-7 июля 2017 года, г. Суздаль, Россия

М.: Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, 2017. - 72 с.

Сборник содержит программу и тезисы докладов 16-ой Всероссийской научно-технической конференции «Электроника, микро- и наноэлектроника», проводимой в г. Суздаль с 3 по 7 июля 2017 года Федеральным государственным учреждением «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской Академии наук», Московским научно-техническим обществом радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Грант РФФИ № 17-07-20297 г).

Представленные тезисы отражают широкую панораму деятельности сотрудников российских вузов и научно-производственных организаций в областях электроники, микроэлектроники и наноэлектроники, а также специализирующейся в этих областях учащейся молодёжи.

Сборник предназначен для специалистов, аспирантов и студентов, интересующихся работами в области современной электроники.

© Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», 2017 г.

ISBN 978-5-93838-062-2

Научная программа
XVI Всероссийской научно-технической конференции
«Электроника, микро- и наноэлектроника»

Понедельник, 3 июля

15.00 - 20.00. Регистрация и заселение

Вторник, 4 июля

09.30 – 10.30. Выступление сопредседателей Программно-организационного комитета конференции научного руководителя ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН академика РАН В.Б.Бетелина и директора ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН д.т.н., профессора С.Г.Бобкова .

Секция 1. Проектирование СБИС. Наноэлектроника

Вопросы маршрута проектирования сложнофункциональных блоков СБИС, в том числе на базе технологий с проектными нормами менее 100 нм

10.30-11.00. В.Я.Стенин «Эффекты зарядовой связи элементов КМОП микросхем при воздействии одиночных ядерных частиц» (НИЯУ МИФИ, Москва, Россия).

11.00-11.20. М.С.Горбунов «Транзисторная гонка в космосе» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН и НИЯУ МИФИ, Москва, Россия).

11.20-11.40. А.М.Антонова, М.Е.Барских, П.С.Зубковский «Способы фильтрации SNOOP-запросов в многоядерных микропроцессорах» (НИЯУ МИФИ и ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

11.40-12.00. Coffee break

Секция 1. Проектирование СБИС. Наноэлектроника (продолжение)

12.00-12.20. С.И.Бабкин, С.И.Волков, А.С.Новосёлов «Исследование возможности использования технологии 05КНИ с вольфрамовой металлизацией для создания высокотемпературных интегральных схем» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

12.20-12.40. В.В.Мастеров, Ю.Б.Рогаткин «Цифровая ФАПЧ для технологического процесса с нормами 65 нм» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

12.40-13.00. К.О.Петросянц, Е.И.Батаруева, Н.И.Рябов «Расчёт задержек в межсоединениях цифровых СБИС с учётом электро-тепловых эффектов» (НИУ «Высшая школа экономики», Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова, Москва, Россия)

13.00-14.00. Обеденный перерыв

Секция 1. Проектирование СБИС. Наноэлектроника (продолжение)

14.10-14.30. Л.М.Самбурский, М.Р.Исмаил-Заде, Е.Ю.Кузин, И.А.Четвериков, В.С.Даныкин «Исследование характеристик и определение параметров SPICE-моделей субмикронных КНИ МОПТ в диапазоне температуры до 300° С» (НИУ «Высшая школа экономики», Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова, Москва, Россия)

Расчёт задержек в межсоединениях цифровых БИС с учётом электротепловых эффектов

К.О.Петросянц¹, Е.И.Батаруева², Н.И.Рябов³

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
(Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова), Москва, Россия,

E-mail's : ¹kpetrosyants@hse.ru, ²yegl@yandex.ru, ³nryabov@gmail.com

Ключевые слова: межсоединения БИС, редукция, электротепловая модель, задержка сигналов в межсоединениях

В работе ставится задача создания программного обеспечения для моделирования задержек в межсоединениях СБИС с учётом температурных эффектов.

Используется модель межсоединения в виде распределённой RC -цепи, параметры которой зависят от распределения температуры в линии межсоединения [1]. Распределение температуры на поверхности кристалла рассчитывается с помощью программы «Перегрев – МС» [2]. 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. Такой подход позволяет учитывать влияние неравномерного разогрева кристалла на электрические свойства линии межсоединения.

С целью упрощения ЭТ-модели межсоединений и уменьшения времени счёта многозвенная RC -модель редуцирована в компактную П-образную эквивалентную схему с температурно-зависимыми параметрами. Элементы редуцированной RC -цепи имеют множители $1+\alpha\cdot\Delta T$ и $1+\theta\cdot\Delta T$, где α - температурный коэффициент сопротивления, θ - температурный коэффициент диэлектрической постоянной. На примере 10-ти звенной RC -цепи показано, что погрешность по амплитуде сигнала при переходе к П-образной схеме составляет не более 7%, по фазе 2%. При этом время счёта сокращается на 25-30%.

С использованием разработанных моделей проведен расчет межсоединений для микросхемы 4-х разрядного сумматора, реализованного на базе топологических ячеек НЕ, 2ИЛИ-НЕ, 3ИЛИ-НЕ, 4ИЛИ-НЕ, полусумматора на два входа из состава БМК серии 6501ХМ1. Схема полусумматора рассеивает мощность 0,37 Вт, занимает на кристалле площадь $0,6\cdot 0,5$ мм² и входит в качестве фрагмента в состав более сложных блоков процессора специализированной ЭВМ со сверхвысоким быстродействием. Для данного фрагмента было смоделировано общее тепловое поле. Полученное распределение температуры вдоль линии межсоединения использовано для расчета параметров её ЭТ-модели.

Задержка распространения сигнала по линии межсоединения без учёта неоднородного температурного профиля составила 22,9 пс, а с учётом 31,9 пс, т.е. пренебрежение тепловыми эффектами вызывает погрешность 28%.

Кроме того, была проведена оценка совместного влияния электрических и тепловых эффектов на амплитуду напряжения сигнала при его передаче по межсоединению. При входном напряжении 1,5 В в начальной точке металлизированной линии, на её выходе в результате расчёта было получено значение 0,981 В. То есть, потери по амплитуде сигнала составили 35%. Таким образом, в линиях межсоединений наблюдается эффект «просадки» напряжения, который важно учитывать при конструировании БИС.

Разработано программное обеспечение для анализа задержек и электрических потерь в межсоединениях СБИС в зависимости от температурных эффектов.

Температура межсоединения определяется по тепловым полям микросхемы, которые рассчитываются с помощью программы «Перегрев – МС» [2].

Разработана программа расчёта параметров модели межсоединения (сопротивлений и ёмкостей) в зависимости от температуры в точках межсоединения.

Разработана процедура редукции многозвенной распределенной электротепловой цепи в компактную П-образную эквивалентную схему, которая включена в библиотеку моделей программ H-SPICE, LTSPICE и др.

Приведены примеры ЭТ-расчета временных задержек и электротепловых потерь в межсоединениях в цифровых фрагментах БИС.

В отличие от описанных ранее аналитических методов, методика численного расчета задержек в межсоединениях БИС предложенная в данной работе, позволяет:

1) учитывать произвольное распределение температуры в п/п кристаллах БИС и металлизированных межсоединениях;

2) автоматизировать процедуру синтеза компактной П-образной модели межсоединений БИС с температурно-зависимыми параметрами для расчёта цифровых и аналоговых узлов БИС с помощью SPICE подобных программ.

Литература

1. Amir H. Ajami, Member, Kaustav Banerjee, Senior Member, and Massoud Pedram, Fellow. Modeling and Analysis of Nonuniform Substrate Temperature Effects on Global ULSI Interconnects. IEEE Trans. on computer-aided design of intergrated circ. and sys., v. 24, №. 6, June 2005, 849-860.

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

СПИСОК АВТОРОВ ДОКЛАДОВ

1. А.В.Амирханов- стр. 8, 22
2. А.В.Андрианов- стр. 8, 9
3. А.А.Антонов- стр. 8, 11
4. А.М.Антонова- стр. 5, 13
5. А.В.Антонюк- стр. 8, 15
6. С.И.Бабкин- стр. 5, 16
7. А.С.Бакеренков- стр. 7, 47
8. М.Е.Барских- стр. 5, 13
9. Е.И.Батаруева- стр. 5, 51
10. В.В.Беляков- стр. 7, 47
11. В.Б.Бетелин- стр. 5, 8
12. С.Г.Бобков- стр. 5, 8.
13. А.Ю.Богданов- стр. 6, 18
14. Д.В.Бородин- стр. 6, 19
15. Ю.И.Бочаров- стр. 7, 68
16. А.С.Будяков- стр. 8, 37
17. Ю.Д.Бурсиан- стр. 7, 47
18. В.А.Бутузов- стр. 7, 68
19. А.В.Ванюшкин- стр. 8, 21
20. В.В.Васильев- стр. 6, 19
21. А.С.Ватуев- стр. 7, 31
22. А.О.Власов- стр. 8, 11
23. С.И.Волков- стр. 5, 16
24. Е.А.Гагарин- стр. 8, 11
25. А.М.Галимов- стр. 7, 24
26. Р.М.Галимова- стр. 7, 24
27. Н.С.Глухов- стр. 7, 47
28. А.А.Глушко- стр. 8, 22
29. М.С.Горбунов- стр. 5, 26
30. В.С.Даныкин- стр. 5, 55
31. П.Ю.Демьянов- стр. 6, 63
32. В.Р.Джафаров- стр. 6, 28
33. М.Г.Дроздецкий- стр. 7, 29
34. И.В.Елушов- стр. 7, 24
35. В.В.Емельянов- стр. 7, 31
36. Г.И.Зебрев- стр. 7, 24, 29
37. П.С.Зубковский- стр. 5, 13
38. М.Р.Исмаил-Заде- стр. 5, 6, 55, 66
39. С.А.Кизиев- стр. 6, 33
40. Н.М.Клоков- стр. 8, 37
41. Е.Ю.Кузин- стр. 5, 6, 55, 66
42. О.Н.Кусь- стр. 7, 68
43. А.А.Краснюк- стр. 8, 21
44. М.С.Ладнушкин- стр. 6, 35
45. А.А.Лебедев- стр. 8, 37
46. В.В.Макарчук- стр. 8, 22
47. Н.В.Масальский- стр. 8, 39
48. В.В.Мастеров- стр. 5, 41
49. Н.Ю.Миронов- стр. 6, 63
50. А.Г.Мирошниченко- стр. 7, 47
51. О.В.Момотова- стр. 6, 43
52. Е.В.Мрозовская- стр. 7, 24
53. А.Е.Назаренко- стр. 7, 68
54. А.С.Новосёлов- стр. 5, 8, 16, 22
55. В.В.Орлов- стр. 7, 29
56. Ю.В.Осипов- стр. 6, 19
57. В.С.Першенков- стр. 7, 45, 47
58. К.О.Петросянц- стр. 5, 6, 7, 49, 51, 53
59. В.Ю.Прокопьев- стр. 7, 68
60. Ю.Б.Рогаткин- стр. 5, 41
61. А.С.Родин- стр. 7, 47
62. Н.И.Рябов- стр. 5, 51
63. Е.М.Савченко- стр. 8, 37
64. Л.М.Самбурский- стр. 5, 6, 53, 55
65. А.П.Скоробогатов- стр. 7, 57
66. Д.И.Слинкин- стр. 6, 59
67. К.К.Смирнов- стр. 6, 33
68. В.Я.Стенин- стр. 5
69. Е.С.Стенькин- стр. 6, 63
70. Д.В.Трошенков- стр. 8, 21
71. Д.А.Трубицын- стр. 8, 61
72. Р.Г.Усейнов- стр. 7, 31
73. В.А.Фелицын- стр. 7, 47
74. В.А.Харин- стр. 6, 63
75. И.А.Харитонов- стр. 6, 7, 53, 64, 66
76. И.А.Четвериков- стр. 5, 6, 55, 66
77. П.А.Чибисов- стр. 8, 61
78. В.Е.Шунков- стр. 7, 68
79. Л.А.Щигорев- стр. 7, 70
80. Г.А.Яшин- стр. 8, 22

Подписано в печать 22.05.2017 г.
Формат 60x90/8
Печать цифровая. Печатных листов 9,0.
Тираж 120 экз. Заказ № 630.

Отпечатано в ППП «Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер, 6