

Д. т. н. А. И. БЕЛОУС, В. А. ЕМЕЛЬЯНОВ,  
В. С. СЯКЕРСКИЙ, к. т. н. А. В. СИЛИН

Республика Беларусь, г. Минск, НПО «Интеграл»  
E-mail: office@bms.by

Дата поступления в редакцию  
30.10.2007 г.

Оппонент к. т. н. В. И. ЗОЛОТАРЕВСКИЙ  
(НИИ микроприборов, г. Киев)

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ЦЕПЕЙ ПИТАНИЯ МИКРОМОЩНЫХ БИС НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕКЦИОННОЙ ЛОГИКИ

*Проведено компьютерное моделирование режимов работы цепей питания инжекционной части цифровых и аналоговых БИС с локальными «скрытыми» слоями  $n^+$ -типа. Предложенная базовая математическая модель описывает наиболее распространенную конфигурацию цепи питания.*

Элементы интегральной инжекционной логики (И<sup>2</sup>Л), наряду с КМОП- и БиКМОП-элементами, находят широкое применение в качестве элементной базы современных микромоощных БИС, поскольку обеспечивают высокую плотность компоновки при достаточно высоком быстродействии [1]. Однако с ростом числа размещаемых на кристалле И<sup>2</sup>Л-элементов все больше усиливается проблема организации внутренних цепей питания инжекционных БИС, т. к. возрастают абсолютные значения тока, протекающего по режимным цепям в статическом и динамическом режимах работы БИС. Это существенно усложняет задачу обеспечения равенства тока инжекторов всех И<sup>2</sup>Л-элементов, независимо от их местоположения на поверхности кристалла БИС, что является одним из важнейших условий нормального функционирования микросхем в рабочем диапазоне напряжения и температуры окружающей среды.

Отсутствие работ, посвященных проблеме проектирования цепей питания инжекционных БИС, обус-

ловлено сложностью решения задачи расчета и анализа распределенных цепей, когда необходимо описать и учесть взаимное влияние большого числа геометрических и электрофизических параметров БИС.

В данной работе представлены основные результаты реализации нового методического подхода к проблеме компьютерного моделирования режимов работы цепей питания инжекционной части цифровых и аналоговых БИС с локальными «скрытыми» слоями  $n^+$ -типа. Предложенная базовая математическая модель описывает наиболее распространенную конфигурацию цепи питания, эскиз топологического фрагмента которой представлен на рис. 1. Здесь  $L_1$  — ширина положительной шины питания инжекторов одной ветви дерева питания БИС;  $L_0$  — ширина общей (нулевой) шины питания инжекторов;  $L_N$  — длина нулевой шины;  $L_V$  — расстояние между положительной и нулевой шинами питания инжекторов.

В процессе построения и анализа модели определяли максимально допустимое число инжекторов, объединяемых одной положительной шиной питания. Проведен сравнительный анализ влияния ширины нулевой шины и омического сопротивления локального скрытого слоя на характер изменения токораспределения в цепи И<sup>2</sup>Л-элементов, связанных общей положительной шиной питания. Исследовано влияние изменения расстояния между положительной и нулевой шинами на характер токораспределения в цепи И<sup>2</sup>Л-элементов, разработаны практические рекомендации по обеспечению минимального разброса значений тока инжекторов И<sup>2</sup>Л-элементов при организации цепи питания БИС. Методика расчета всех вышеуказанных параметров имеет исключительно важное значение для специалистов-разработчиков микромоощных БИС, поскольку от результатов расчета, в конечном итоге, зависят такие технико-экономические показатели, как процент выхода годных кристаллов в серийном производстве и выход годных микросхем на технологических операциях сборки и испытания.

Эквивалентная электрическая схема показанного фрагмента цепи питания И<sup>2</sup>Л-БИС представлена на рис. 2.

В предложенной модели общий для цепочки И<sup>2</sup>Л-элементов «скрытый»  $n^+$ -слой разбит по координатам  $x$  и  $y$  на элементарные ячейки с эквивалентной сосредоточенной проводимостью:

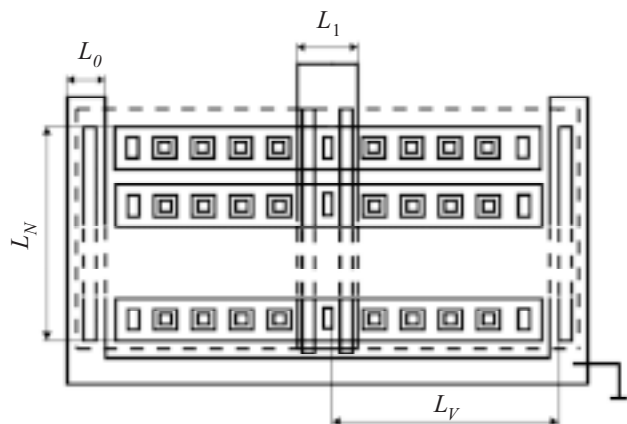


Рис. 1. Топология фрагмента цепи питания инжекционных элементов

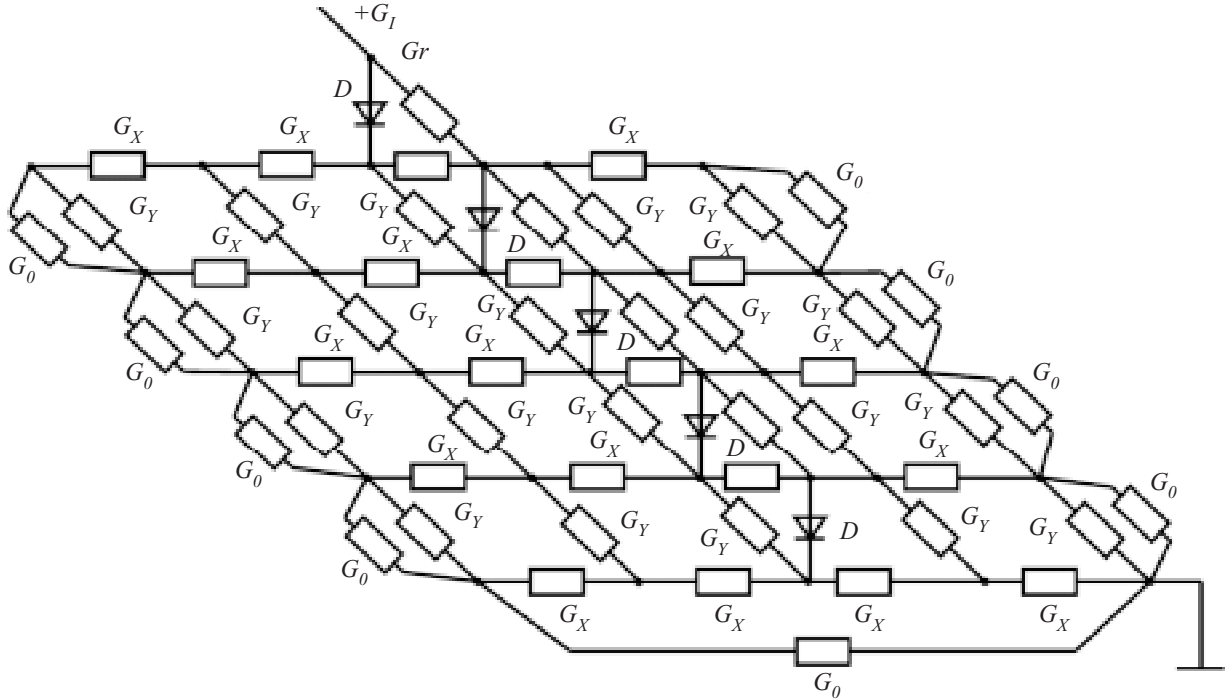


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема фрагмента цепи питания И<sup>2</sup>Л-БИС

$$G_x = \frac{n+1}{mR_c}, \quad G_y = \frac{m+1}{nR_c},$$

где  $m, n$  — количество разбиений по осям  $x$  и  $y$ , соответственно;  
 $R_c$  — величина поверхностного сопротивления скрытого слоя.

Проводимости положительной ( $G_I$ ) и нулевой ( $G_0$ ) шин питания определялись аналогично, исходя из их длины, количества разбиений по оси  $y$  и величины поверхностного сопротивления слоя металлизации. Учет влияния металлизации положительной шины питания инжекторов осуществлялся посредством введения параметра  $G_x$ , эквивалентного сосредоточенной проводимости элементарной ячейки.

Для моделирования инжекторного перехода ( $D$ ) была выбрана модель второго порядка, в которой ток через инжекторный переход описывается выражением

$$I_0 = \exp(a_0 + a_1 V + a_2 V^2),$$

где  $a_0, a_1, a_2$  — коэффициенты аппроксимации вольт-амперных характеристик инжекторного перехода, определенные по экспериментальным результатам.

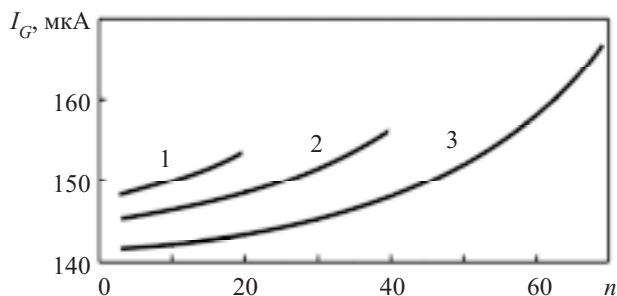


Рис. 3. Распределение токов инжекторов И<sup>2</sup>Л-элементов в печочках с различным числом объединенных инжекторов: 1 — 20; 2 — 40; 3 — 70

Система нелинейных алгебраических уравнений решалась методом полных эквивалентных проводимостей, а система линейных уравнений — методом динамического программирования [2].

На рис. 3 представлены результаты расчета распределения тока цепей питания  $I_G$  при заданном типовом токе инжектора каждого элемента  $I_{GI} = 150$  мкА и фиксированной ширине нулевой шины  $L_0 = 12$  мкм. Учет сопротивления скрытого  $n+$ -слоя, согласно принятой модели, позволяет обеспечить сравнительно небольшой (12,5%) относительный разброс значений тока инжекторов для последовательной цепи из 70 инжекторов.

Результаты расчета изменения потенциала на сопротивлении скрытого  $n+$ -слоя  $U_c$  на участке  $L_y$  (рис. 4) между общей и нулевой шинами питания для последовательной цепи из 70 инжекторов показали, что оно носит линейный характер и обуславливает аналогичное изменение входных характеристик И<sup>2</sup>Л-элементов. Эта зависимость ограничивает возможность объе-

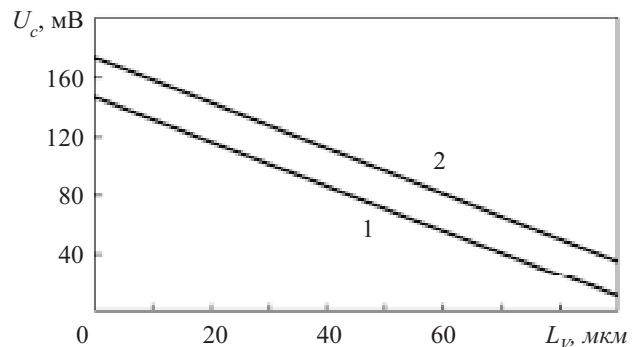


Рис. 4. Изменение потенциала на скрытом  $n+$ -слое на участке между общей шиной и шиной питания под первым (1) и семидесятью (2) И<sup>2</sup>Л-элементами

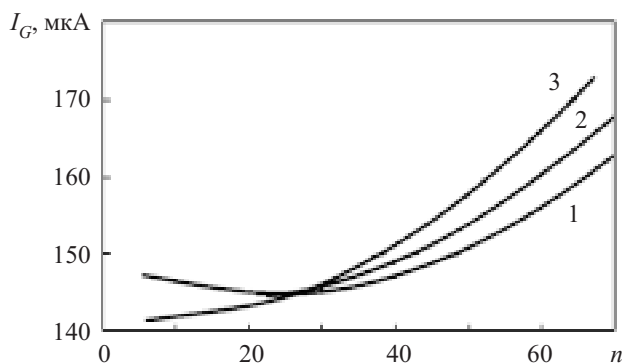


Рис. 5. Распределение токов инжекторов И<sup>2</sup>Л-элементов в цепи из 70 инжекторов при разной ширине общей шины: 1 — 6; 2 — 15; 3 — 40 мкм

динения одной шиной входов нескольких И<sup>2</sup>Л-элементов из-за эффекта «перехвата тока». При организации цепей синхронизации, где подобное объединение необходимо, общей шиной синхронизации должны соединяться входы элементов, имеющих одинаковые потенциалы скрытых слоев (одинаковые позиции).

На рис. 5 представлены результаты расчета распределения величины тока последовательной цепи из 70 инжекторов для трех значений ширины металлизации нулевой шины питания. Как видно из рисунка, увеличение этой ширины от 6 до 40 мкм приводит к увеличению в 1,3 раза разброса абсолютных значений тока инжекторов цепи. Поэтому при организации цепей питания И<sup>2</sup>Л-БИС со «скрытыми» слоями для уменьшения такого разброса ширину нулевой шины целесообразно снижать до минимальной величины, определяемой технологическими ограничениями.

Этот вывод противоречит традиционным принципам построения внутренних цепей питания кристаллов БИС, где ширина общей шины выбирается как можно большей для снижения ее омического сопротивления [3, 4].

Практический интерес представляют также результаты исследования влияния расстояния  $L_v$  между ме-

таллизацией положительной шины питания инжекторов и нулевой шиной на характер токораспределения. Установлено, что изменение этого параметра практически не влияет на величину разброса абсолютных значений тока инжекторов исследуемых И<sup>2</sup>Л-элементов. Так, изменение  $L_v$  от 200 до 50 мкм приводит к снижению разброса тока не более чем на 0,2%.

Экспериментальное исследование БИС, спроектированной с учетом изложенных результатов, подтвердило работоспособность предложенной модели цепи питания. Измеренные значения тока инжекторов отличались от расчетных не более чем на 10%, при этом суммарная площадь металлизации шин питания составила всего 1,3% от общей площади кристалла БИС.

Таким образом, использование предложенной модели для расчета эквивалентных омических сопротивлений «скрытых» слоев И<sup>2</sup>Л-БИС обеспечивает значительное уменьшение величины разброса эффективных значений тока инжекторов базовых элементов, повышение надежности функционирования в расширенном рабочем диапазоне тока и температуры, уменьшение площади кристалла БИС за счет сокращения суммарной площади металлизации шин питания.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Эннс В. И., Кобзев Ю. М. Проектирование аналоговых микросхем.— М.: Горячая линия – Телеком.— 2005.— С. 156—170.
2. Белоус А. И., Яковлев А. В., Силин А. В. Особенности организации цепи питания инжекторных БИС // ЦНИИ «Электроника».— Электронная промышленность.— 1985.— № 9 (147).— С. 48—50.
3. Белоус А. И., Вайнилович О. С. Схемотехнические особенности инжекторных микропроцессорных БИС.— М.: Электронная промышленность.— 1988.— № 4 (172).— С. 24—26.
4. Белоус А. И., Яржембицкий В. Б. Схемотехника цифровых микросхем для систем отображения и передачи информации.— Минск: «Технопринт», 2001.— С. 89—90.

#### НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Гуменюк А. Д., Журавлев В. И., Мартюшев Ю. Ю., Петрухин Г. Д., Струков А. З., Цветков С. И. Основы электроники, радиотехники и связи.— М.: Горячая линия–Телеком, 2008.— 480 с.

Рассмотрены принципы работы наиболее широко применяемых электронных приборов. Дано краткое изложение теории детерминированных и случайных электрических процессов (сигналов). Приведены основные типы частотно-селектирующих цепей и линий задержки, изложена теория работы электронных усилителей, генераторов, модуляторов, преобразователей частоты, детекторов, логических схем, волноведущих устройств. Описаны принципы кодирования сигналов и их обработки в радиоприемных устройствах, методики формирования сигнальных потоков в современных линиях связи. Кратко изложены принципы построения вторичных источников питания и их отдельных функциональных узлов.

Для студентов, обучающихся по специальностям «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», «Комплексное обеспечение безопасности автоматизированных систем», «Компьютерная безопасность», будет полезна специалистам в этих областях.

