

УДК 681.3.06:621.382

### К ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ МДП ИС

В.К.Королев, Н.И.Назаров, Д.С.Павленко

Обеспечение высокого качества разрабатываемых МДП ИС связано с выполнением значительного объема работ на этапе схемотехнического проектирования и требует широкого использования ЭВМ. В процессе схемотехнического проектирования МДП ИС решается ряд задач:

- расчет переходного процесса, передаточной характеристики, выходных параметров для проверки, что в схеме нет грубых ошибок, оценки возможностей схемы;
- оптимизация - отыскание параметров конструкции и электрофизических характеристик полупроводниковой структуры, обеспечивающих наилучшее сочетание выходных электрических параметров;
- статистический анализ - определение ожидаемого процента выхода годных ИС;
- статистическая оптимизация - определение условий, обеспечивающих максимальный процент выхода годных ИС.

В работе рассмотрены некоторые вопросы, относящиеся к постановке и решению задачи оптимизации МДП ИС. Выводы основаны на опыте разработки двух программ, в одной из которых включен блок оптимизации методом сопряженных градиентов, в другой - блок случайного поиска с адаптацией. Программы написаны на языке ФОРТРАН для ЭВМ "Минск-32" на основе имеющегося комплекса подпрограмм [1].

Разработка подпрограммы оптимизации предполагает не только выбор и реализацию какой-либо процедуры нахождения оптимума. Кроме этого, на основе изучения особенностей исследуемого класса схем должны быть определены перечень оптимизируемых переменных, перечень и способ вычисления выходных параметров, характеризующих качество схемы, способы учета ограничений на переменные и выходные параметры.

Оптимизируемыми переменными являются электрофизические и геометрические параметры интегральной схемы. Учет особенностей класса МДП ИС требует разработки достаточно гибкого языка описания условий оптимизации; например, в одном случае ширины каналов всех транзисторов должны оптимизироваться независимо, в другом - должно быть обеспечено равенство ширины каналов транзисторов одного типа проводимости в заданной группе транзисторов, в третьем - равенство ширины в группе транзисторов независимо от их типа.

Выходными параметрами МДП ИС, определяющими качество ее функционирования, являются напряжения логических уровней, величины задержек и фронтов, потребляемые токи, напряжение переключения. В программе предусмотрена возможность вычисления и включения в вектор выходных параметров любого из параметров независимо от других, а также нескольких значений одного и того же выходного параметра при различных напряжениях на внешних узлах схемы. Оказалось желательным включить в вектор выходных параметров также сумму ширины каналов транзисторов и сумму узловых емкостей; эти суммы характеризуют площадь интегральной схемы и динамический ток потребления.

Вычисление выходных параметров требует значительных затрат машинного времени. При использовании ЭВМ с невысоким быстродействием это значительно ограничивает допустимое число обращений к вычислению функции качества и сложность исследуемых схем. Тем не менее возможность оптимизации только схем невысокой сложности (до 12-20 транзисторов) не означает, что программы нельзя использовать при разработке более сложных ИС, так как проектирование последних обычно основано на предварительном проектировании отдельных фрагментов.

При проектировании конкретных схем следует иметь в виду, что построение обобщенного критерия качества предполагает использование произвольно задаваемых параметров (веса, масштабы и т.д.), от значений которых зависит положение оптимума. Поэтому можно говорить не о точке, а об области, в которой схема оптимальна; в случае ограниченности ресурсов машинного времени может оказаться более рациональным не поиск оптимума с высокой точностью, а поиск области оптимума с меньшей точностью с последующим исследованием ряда случайно взятых точек в этой области. Окончательный выбор может быть сделан разработчиком на основе личных не всегда легко формализуемых представлений о качестве схемы.

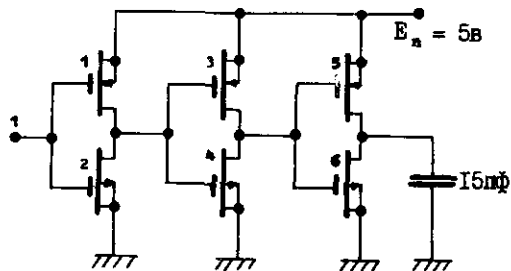


Рис. 1

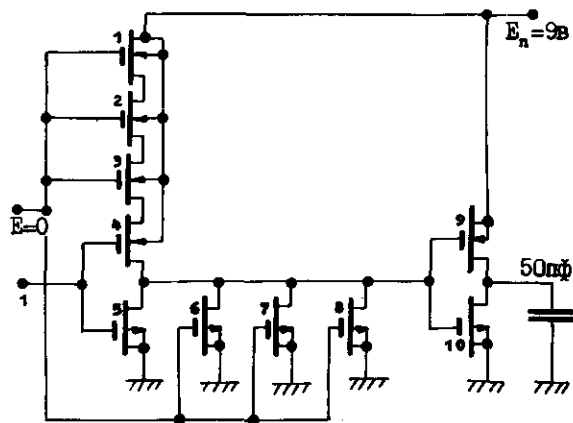


Рис. 2

верторов, на рис.2 - четырехходовая НЕ-ИЛИ с инвертором. В каждой из схем минимизировались задержки включения и выключения при подаче на вход I трапецидального импульса. В схемах оптимизировались ширины каналов транзисторов, для остальных параметров были взяты постоянные значения, характерные для технологии комплементарных МДП ИС.

В схеме на рис.1 оптимизировались  $w_1, w_2, w_3$  - ширины каналов транзисторов 1-2, 3-4, 5-6 соответственно при ограничениях:  $w_1 \leq 80$  мкм,  $w_2 \leq 250$  мкм,  $w_3 \leq 500$  мкм. В начальной точке ( $w_1 = 40$  мкм,  $w_2 = 40$  мкм,  $w_3 = 40$  мкм) задержки оказались рав-

Программы использовались при оптимизации комплементарных логических МДП ИС сложности до 10 транзисторов. Затраты машинного времени сильно зависят от выбора начальной точки, точности поиска, критериев останова и т.д. Обычно оптимизация параметров с целью минимизации задержек включения и выключения требует 12-25 обращений к вычислению функции качества и выносятся за 10-20 минут.

В качестве примера приведем результаты оптимизации двух схем. На рис.1 показана цепочка из трех ин-

ными 206 нсек и 194 нсек. В результате оптимизации была достигнута точка ( $w_1 = 80$  мкм,  $w_2 = 175$  мкм,  $w_3 = 450$  мкм), в которой задержки равны 92 нсек и 90 нсек.

В схеме на рис.2 оптимизировались  $w_1, w_2, w_3$  - ширины каналов транзисторов 1-4, 5-8, 9-10 соответственно. В начальной точке ( $w_1 = 200$  мкм,  $w_2 = 200$  мкм,  $w_3 = 200$  мкм) задержки оказались равными 70 нсек и 189 нсек. В результате оптимизации была достигнута точка ( $w_1 = 322$  мкм,  $w_2 = 52$  мкм,  $w_3 = 269$  мкм), в которой задержки одинаковы и равны 81 нсек.

Предварительный опыт использования разработанных программ показывает, что при выборе достаточно эффективных методов численного решения уравнений и методов оптимизации, учете особенностей класса исследуемых схем решение задач оптимизации МДП ИС с помощью ЭВМ с невысоким быстродействием является практически осуществимым и целесообразным.

#### Л и т е р а т у р а

1. НАЗАРОВ Н.И. Методика и программа электрического анализа МДП интегральных схем. - В кн.: Автоматизация проектирования в микроэлектронике. Теория. Методы. Алгоритмы. (Вычислительные системы, вып.64.) Новосибирск, 1975, с.128-135.

Поступила в ред.-изд. отд.  
17 декабря 1976 года