

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ МОЩНЫХ МОП – ТРАНЗИСТОРОВ

Так как персональные компьютеры становятся более мощными, а время цикла проектирования сокращается, все больше и больше разработчиков связывают решение их с расчетами на компьютерах на основе пространственной модели SPICE.

К сожалению, SPICE развивалась для маломощных интегральных схем, в частности МОП-приборы в SPICE представлены латерального типа. Конкретно в SPICE не рассматривались вопросы вертикальных с двойной диффузией мощных МОП, ДМОП и БТИЗ-транзисторов. Простота является ключевым моментом в SPICE моделировании. Конечный результат приводит к пониманию работы схемы, но не к развитию моделей, на 100 % учитывающих работу прибора.

Результаты моделирования, согласующиеся с результатами маркетинга мощных электронных схем, могут быть получены только при учете всех паразитных эффектов, проявляющихся в схемах, и именно они являются сущностью формируемой задачи. Большинство ограничений в моделировании на персональных компьютерах снимается при использовании более мощных рабочих станций и связанного с ним программного обеспечения. Один такой материал по программному обеспечению называется Saber, выпущенный:

Analogy, Inc  
9205 S. W. Gemini Dr, Suite D  
P. O. Box 1669  
Beaverton, OR 97075-1669  
(503) 626-9700

### Проблема

Основным ограничением при применении SPICE к модели мощного МОП ПТ и БТИЗ является влияние емкости затвор-сток, Crss или емкости Миллера, которая является существенно нелинейной функцией особенно при низких значениях Vds.

В паспортных данных на МОП-транзисторы приводятся графики, отображающие этот эффект. К сожалению, в SPICE моделирование осуществляется на фиксированной емкости. Следовательно, согласованное моделирование характеристик переключения с действительным поведением прибора является фундаментальной проблемой в моделировании ключевых схем, содержащих мощные МОП-транзисторы.

Для разрешения этого положения затрачены значительные усилия. Полупроводниковые компании наработали пакет субсхемных моделей (см. IR AN 975, которая закрывает несколько ранних типов мощных МОП приборов с гексагональной топологией).

Различные моделирующие программы развиты в ряде компаний для мощного МОП-транзистора. Три компании развили программы применительно только к информации, имеющейся в справочных данных,

IR долго не применяла модели SPICE к своей продукции, однако, используя одну из этих программ, возможно распространить модель для практически любого МОП прибора с гексагональной топологией. Некоторые из программ применимы к БТИЗ в качестве дополнения к мощным МОП ПТ. Моделирование БТИЗ дополнительно подтверждает тот факт, что в SPICE не предусмотрена модель БТИЗ, поэтому необходимо использовать эквивалентную схему, содержащую МОП входной и БИП выходной каскады.

### Машинное оснащение

Эти советы конструктору обращают внимание на программы моделирования, разработанные тремя компаниями (адреса и телефоны в конце статьи). Три пакета программ имеют сходные базовые особенности – они все используют графический интерфейс как для сбора информации, так и для анализа результатов моделирования. :

В разделе моделирования все три пакета базируются на SPICE. Все три пакета оптимизируют рабочие машинные модели для мощных МОП-транзисторов на основе паспортных данных. Главное различие среди них в основных подходах, а именно, как преодолеть ограничения SPICE модели, не содержащей модели мощного вертикального МОП (БТИЗ) транзистора. Имеются два способа компенсации этих ограничений: 1) простое распространение параметров MODEL на модель встроенного латерального МОП-транзистора; 2) использование дополнительных схемных элементов в SUBCKT раздела.

### Реализация

Программа MODEL базируется на введении физических характеристик в моделирование МОП-транзистора, диода и других полупроводниковых приборов.

Вводимые параметры модифицируют уравнения, используемые в программе SPICE при расчете тока и напряжения приборов. Например, таким параметром для МОП-транзистора является пороговое напряжение затвора,  $V_{TO}$ , которое определяет минимальное напряжение на затворе относительно истока, при котором отмечается проводимость канала. С другой стороны, программа SUBCKT может быть сравнена с подпрограммой на языке программирования. С внешней точки зрения мощный МОП-транзистор в SUBCKT представляет собой трехвыводной прибор, даже при детальном анализе пользователь видит, что пакет SUBCKT содержит МОП прибор, резисторы, ключи, диоды, зависимые источники и т. д.

Критерии выбора метода (MODEL или SUBCKT) включают:

- время моделирования;
- точность (особенно важно в ключевых схемах применения);
- сходимость (convergence).

Метод MODEL сокращает время моделирования и уменьшает вероятность несходимости за счет точности в основном в области переключения.

С другой стороны, цель метода SUBCKT заключается в компенсации изменений входной емкости (за счет изменений  $V_{ds}$  и эффекта Миллера) для обеспечения точности. Эта цель достигнута за счет времени моделирования (увеличением числа узлов итераций) и увеличения возможности несходимости решения. Так как оба метода основаны на SPICE синтаксисе, любой из них может быть употреблен на любой машине, пригодной к SPICE-моделированию.

### Программы

IS SPICE является разделом моделирования в программном обеспечении фирмы IN-TUSOFT CORPORATION ICAP CAE.

В январе 1992 г. их библиотека содержала 160 моделей мощного МОП-транзистора различных SUBCKT. Они также имеют программу под названием SPICE MOD, которая вырабатывает SPICE модели мощных МОП-транзисторов, минуя библиотеку, на основе паспортных данных приборов. Они будут высылать модели заинтересованным партнерам, общаясь с ними для более полной информации.

PSPICE – раздел моделирования в программном обеспечении MICROSIM CORPORATION DESIGN CENTER CAE.

В январе 1992 года их библиотека мощных МОП-транзисторов содержала 553 модели прибора различных MODEL. Их метод характеристик прибора позволяет пользователю развивать модели мощных МОП приборов, минуя библиотеку и не применяя ничего, кроме информации, содержащейся в справочных данных. Пользователь снимает значения с графиков в справочных данных и вводит их в программу, которая затем вырабатывает модель.

При проверке программного обеспечения они названы частными программами. MICRO CAP – IV – сводное программное обеспечение фирмы SPECTRUM SOFTWARE, которое включает схемное применение, моделирование и анализ.

В июне 1992 года их библиотека содержала 315 моделей мощного МОП прибора различных MODEL.

В пакет включена модель генерации программ для мощного МОП-транзистора, минуя библиотеку.

Эта модель генерации программ аналогична описанному выше в том, что пользователь выбирает значения из графиков в справочных данных и затем вводит их в программу, которая выбирает модель.

### Памятка при применении SPICE для мощных МОП схем

Два главных условия проектирования не учитываются при пользовании этими программами;

1. Рассеиваемая мощность вызывает повышение температуры перехода, которая в свою очередь влияет на рабочие характеристики.
2. Разброс параметров, не содержащийся в графиках справочных данных, в которых обычно приводятся типовые значения. Мощными обычно называются приборы, рассеивающие значительные уровни мощности. Длительное время отбор нужных мощных МОП приборов основывался на тепловых характеристиках конструкции. Многие из основных параметров значительно меняются при повышении температуры перехода, например,  $R_{ds(on)}$  мощного МОП-транзистора в норме увеличивается примерно вдвое при максимальной температуре перехода от его значения при 25°C.

Возможное решение этих недостатков в следующем: производить вычисления вручную для определения примерной рабочей температуры перехода и масштабировать  $R_{ds(on)}$  до приемлемой величины  $R_{ds(on)}$ , снятой с графика зависимости от температуры, используя вычисленную температуру перехода как заданную.

Пороговое напряжение также меняется с температурой примерно – 6 мВ/°С. Таким образом, имеет место итеративный процесс, требующий дополнительных усилий в ходе моделирования. При этом будут получены лучшие результаты, чем при простой подстановке в  $TEMP = 100$  для входной схемы (100°C приняты как некоторая средняя определяющая рабочую температуру). Для преодоления типичной проблемы иногда возможно взять отношение из раздела Электрические характеристики справочных данных в виде типовых и максимальных значений интересующих параметров. Это отношение затем используется для графического масштабирования от типовых значений к максимальным. Могут возникнуть некоторые неудобства при выполнении четвертого узла управления пакета SPICE MOSFET – корпус/ подложка. Так как все современные мощные МОП транзисторы имеют структуру VERTICAL типа о двойной диффузией, узел корпус/подложка всегда связан с истоком.

Все МОП-транзисторы фирмы IR являются n- или p-канальными приборами с обогащением, т. е. приборы требуют положительного напряжения между затвором и истоком для образования канала проводимости тока. При нулевом напряжении на затворе между стоком и истоком существуют только токи утечки ( $I_{dss}$ ) в противоположность МОП-транзистору с обеднением. Все параметры модели относятся к кристаллу, безотносительно к корпусу МОП-транзистора с гексагональной топологией. Таким образом, если попытаться моделировать стандартный гексагональный МОП-транзистор, отсутствующий в библиотеке, часто возможно найти имеющуюся модель, которая используется для того же типоназвания кристалла. Приспосабливая имеющуюся модель (индуктивность корпуса и другие параметры), возможно развить модель для решения части задач.

Простейший метод, когда два корпусированных прибора используют один и тот же кристалл, заключается в сравнении  $R_{ds(on)}$ ,  $V(BR)_{dss}$  (напряжение пробоя, также известное как  $V_{(dss)}$  и  $V_{gs(th)}$ ).

Возможно развитие модели для гексагональных МОП приборов с логикой (IRL...) из стандартного гексагонального МОП прибора (IRF...), деля  $T_{ox}$  на два, изменяя  $V_{to}$  до нижней величины и модифицируя величину  $E_{ox}$ .

Эти три модификации должны давать приемлемую точность значения зависимости  $I_d$  от значений  $V_{gs}$  для МОП-транзистора гексагональной структуры.

### Заключение

SPICE первоначально предназначалась для моделирования маломощных схем, однако ее популярность расширила ее применение за пределы ее назначения. Мощные электронные схемы могут с успехом моделироваться, если учитывать присущие модели ограничения. Для последних моделей мы обеспечим Вам непосредственный контакт с фирмами, занимающимися моделированием.