

回路シミュレータへのユーザー指定MOSモデル挿入法の検討

YAGI, Hiroyuki / DANG, Ryo / 檀, 良 / 八木, 浩行

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

32

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

1996-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003819>

回路シミュレータへのユーザー指定 MOS モデル挿入法の検討

八木 浩行*・檀 良**

On Implementing the User Specified MOS Device Models in a Circuit Simulator

Hiroyuki YAGI* and Ryo DANG**

Abstract

With the advent of SPICE¹⁾ and its derivatives for PC-use, an easy-to-access circuit simulation environment has been available not only to design houses but also to education sites of every echelon.

But one of the bottleneck with using SPICE is that this latter is not ready to accept user-specified device models, except for MACROS which are but pseudo-models unable to express all the subtleties of a full scale device model as described by a set of explicit mathematical equations, such as those of MOS Level 1 through 3 of SPICE.

We are developing a non-SPICE environment using POISK²⁾ with accommodation to whatever user-built device models, provided these latter be described in the form of a subroutine or subroutines to be docked freely with the main simulator. In the present paper, we report how we implemented MOS level 1 through 3.

§1 はじめに

回路を設計するのに、道具としてコンピュータシミュレーションを行うのは、もはや常識といえる。そのシミュレーションの際、最も重要であり、問題となるのが、モデルである。しかし、残念ながら、市販の、電子回路シミュレータ、たとえば、SPICEなどは、内部モデルの変更が困難であり³⁾、そのため、サブ回路をつくりこれをモデルパラメータとして登録する、“マクロモデル”の使用が広く行われている。

しかし、現在の半導体デバイスにおける、複雑な多数のパラメータを持つ素子の振る舞いを、マク

*大学院電気工学専攻

**電子情報学科

ロモデルによって表現するのはなかなか難しく、ある程度の誤差を考慮する必要がある。さらに素子の微細化により、その数学モデルはより複雑になりつつある。

そこで、我々は、シミュレータ内部モデルをユーザーが、ある程度自由に変更できるよう、今まで導入されていなかった素子モデル(MOS デバイス)を導入することによって実験し、より簡単に内部モデルが変更できるよう改良した。本稿では、その組み込み法について、報告する。

§2 POISK の構成

POISKの過渡解析フローチャートをFig. 1に示す。解析ステップは以下のように要約される。

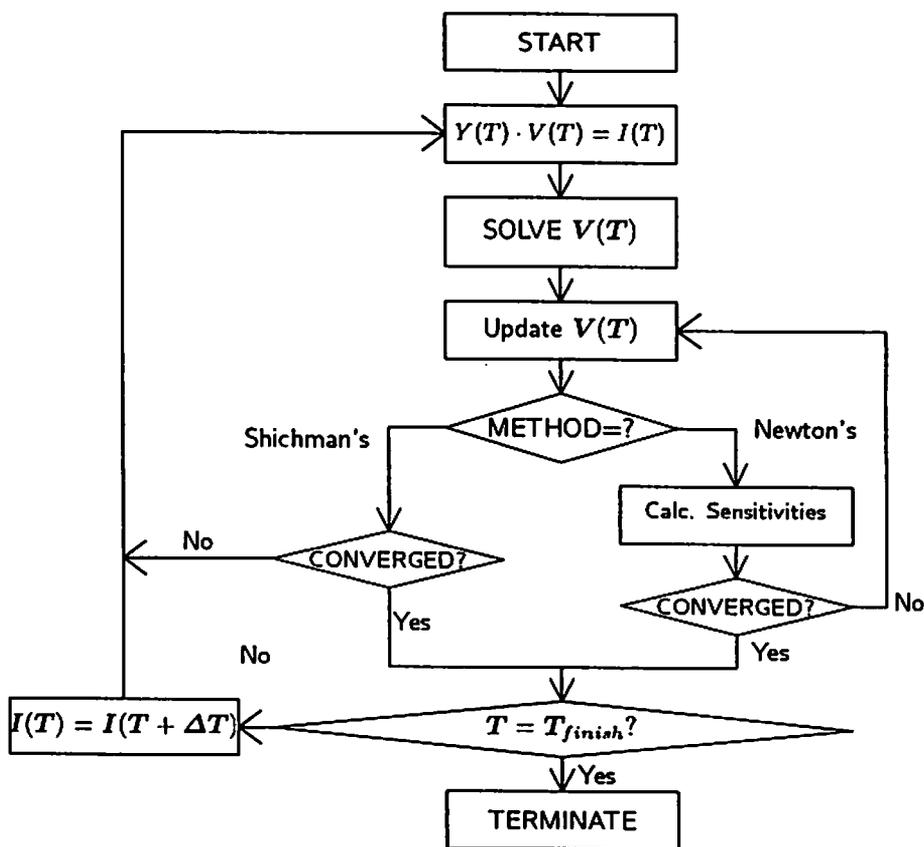


Fig. 1: “POISK” の過渡解析フローチャート

- Step 1. すべての素子を、2 接点間のコンダクタンス成分と等価電流源として、コンダクタンス行列と電流ベクトルをつくる。
- Step 2. コンダクタンス行列を LU 分解し、電圧ベクトルを前進消去、後退代入により解く。
- Step 3. 非線形素子のコンダクタンス成分および等価電流源ベクトルを更新する。
- Step 4. 収束したら結果を出力し、次の時間での電源の値に更新し、Step 1. に戻る。

§3 MOS モデル

どの LEVEL のモデルにおいても等価回路は同じで、代表的な回路シミュレータである SPICE に使用されているもの⁴⁾を用いた。MOSFET 線形等価回路を Fig. 2 に示す。

ここで、電圧制御電流源 $I_0 = I_{DS} - g_m V_{GS} - g_D V_{DS} - g_{mb} V_{BS}$ は、与えられた時間での値により計算され、電流源ベクトルに挿入される。出力コンダクタンス g_D 、相互伝達コンダクタンス g_m および、バルク相互コンダクタンス g_{mb} もまたコンダクタンス行列に挿入される。

3.1 MOS ドレイン電流式

簡単のために LEVEL=1 のドレイン電流式を示す。

線形領域において、

$$I_{DS} = \beta \left(V_{GS} - V_{TH} - \frac{V_{DS}}{2} \right) V_{DS} (1 + \lambda V_{DS})$$

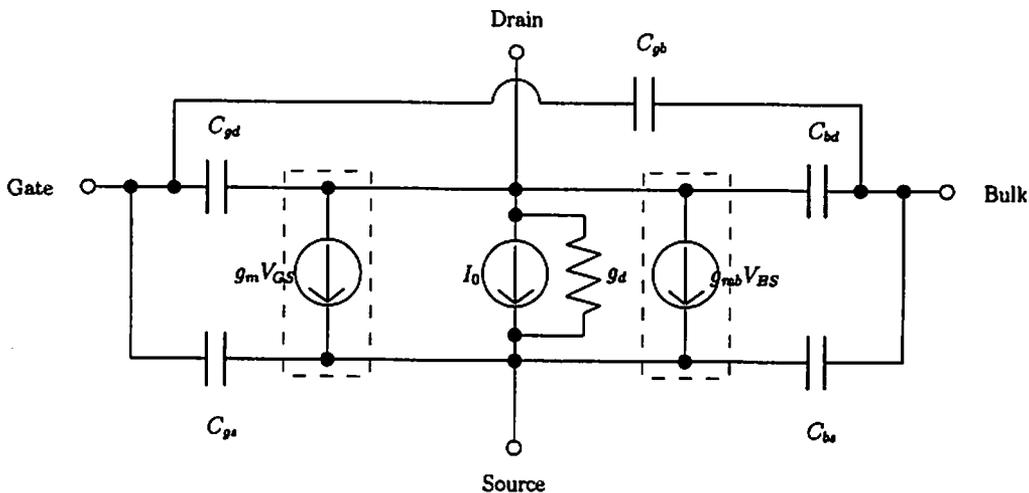


Fig. 2 : MOSFETの線形等価回路

飽和領域において、

$$I_{DS} = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

カットオフ領域では、

$$I_{DS} = 0$$

3.2 ゲートキャパシタンスモデル

ゲートキャパシタンスモデルは、Meyer モデル⁵⁾を使用した。詳細は、紙面の関係で省略する。

§ 4 シミュレータへの組み込み

サブルーチン MOSX のみを変更することによって、シミュレータ本体とは無関係に、ユーザーがモデルを定義することができる。

サブルーチン MOSX は、以下の 4 ブロックからなる。

- Block 1. (NCX=1) パラメータおよびデフォルト値の設定を行う。
- Block 2. (NCX=2) 入力ファイルにより、デフォルト値を切り替え、配列 SETMOS() に挿入する。
- Block 3. (NCX=3) 入力ファイルにより、パラメータ値を更新する。
- Block 4. (NCX=4) モデル式を定義する。

引数は、システムのフラグ NCX、IC、SET、LEVEL および端子間電圧 V_{gs} 、 V_{ds} 、 V_{bs} を受け取り、ドレイン電流値 I_{ds} 、コンダクタンス成分 g_d 、 g_m 、 g_{mb} 、およびゲートキャパシタンスの計算に必要な実効チャンネル長およびチャンネル幅 L_{eff} 、 W_{eff} 、横方向拡散 LD、単位面積あたりのゲート容量 COX、しきい電圧 V_{TH} を返す。

§ 5 シミュレーション結果

Fig. 3 に示す トグルフリップフロップセルを、SPICE との比較のため実験を行った。

LEVEL=3 を使用した、“POISK” および PSPICE 双方の結果を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。

“POISK” と SPICE の結果を比較しると概形は、よく一致しているが細部は多少の差異が認められる。これは、根本的には、非線形なゲートキャパシタンスおよび接合キャパシタンスの影響である。

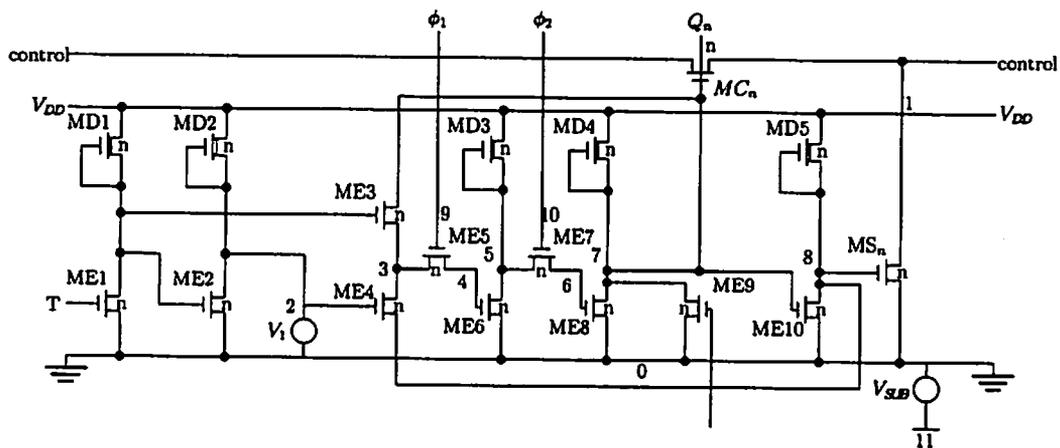


Fig. 3: トグルフリップフロップセル

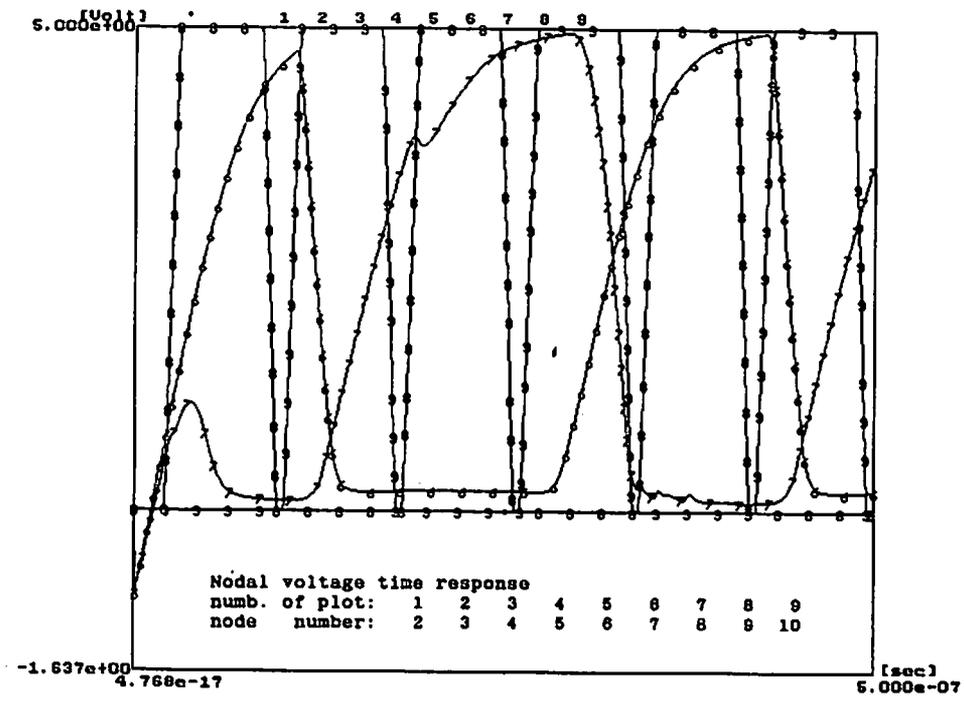


Fig. 4 : "POISK" による解析結果

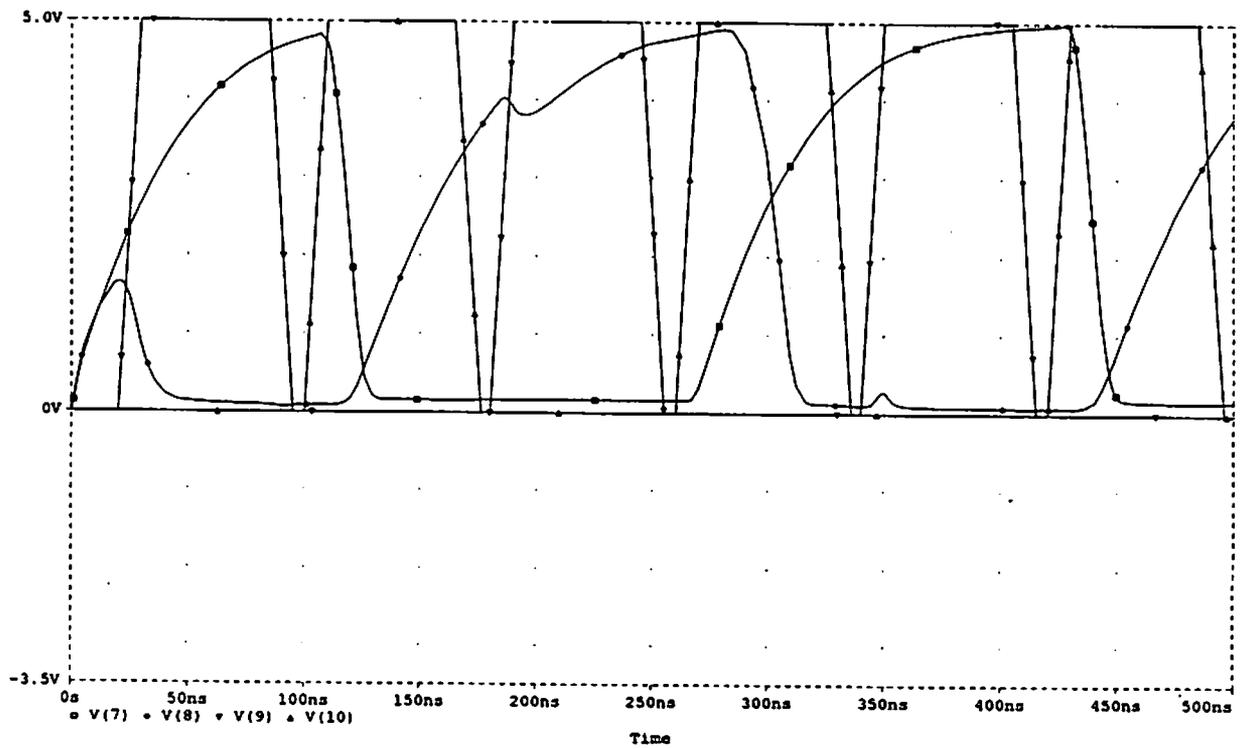


Fig. 5 : SPICE による解析結果

§6 お わ り に

回路シミュレータ“POISK”の改良を行い、新しい内部モデル MOS モデルの組み込みに成功した。実験結果からわかるように、“POISK”は SPICE と同様の性能を持っており、更にユーザーが自由にモデルを定義し、それを組み込むことができる。

今回は、MOS モデルの組み込みを行ったが、将来の多端子素子にむけて、同様な手順によって、ユーザーがシミュレータ本体とは、別個にモデルを定義し、使用できる環境作りも行われている。また現在、本稿で発表したものと同等の機能を SPICE において、実現すべく拡張を行っている。

参 考 文 献

- 1) L. Nagel and P. Pederson, “Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis (SPICE)”, 16 th Midwest Symposium on Circuit Theory, Waterloo, Ontario, 1973 .
- 2) E. Laksberg, 八木 浩行 : POISK を用いたアナログ電子回路解析, 法政大学工学部研究集報第 30 号, pp.1-5, 1994 .
- 3) The Design Center 回路解析リファレンス・マニュアル, サイバネット システム株式会社, 1994 .
- 4) P. Antognetti and G. Massobrio, “Semiconductor Device Modeling with SPICE”, McGraw Hill, New York , 1987 .
- 5) J. E. Meyer, “MOS Models and Circuit Simulation”, RCA Rev. , 32, 1971 .