

# DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO DE SIMULAÇÃO DE TRANSISTORES MOS PARA MATLAB

Beatriz Barsocchi Testa<sup>1</sup>, Cleiton Fidelix Pereira<sup>2</sup>, Renato Camargo Giacomin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, Brasil  
beatriz.testa@hotmail.com, renato@fei.edu.br

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de um código criado baseado no modelo BSIM3v3.1 para transistores MOSFET. Este código foi feito através da implementação das equações características do modelo BSIM3v3.1 no ambiente de software do MATLAB, visando a versatilidade da simulação do modelo. Deste modo, é possível a realização de um estudo mais completo e aprofundado das características e parâmetros do transistor, uma vez que o programa permite extrair quaisquer dados calculados.

## 1. Introdução

O transistor MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (transistor de efeito de campo metal - óxido - semiconductor) é o tipo mais comum de transistores de efeito de campo em circuitos digitais e analógicos [1]. Os MOSFETs tornaram-se, de longe, os dispositivos eletrônicos mais utilizados, especialmente no projeto de circuitos integrados (ICs) [2], e é composto de um canal de material semiconductor de tipo N ou de tipo P e é chamado respectivamente de nMOS ou pMOS [1].

O BSIM3v3.1 é um dos mais recentes modelos baseados na física submicrométrica dos MOSFETs, voltado para projetos de circuitos digitais e analógicos do Grupo de Dispositivos da Universidade da Califórnia em Berkeley. O BSIM3v3.1 foi extensivamente modificado a partir de sua versão anterior (BSIM3 versão 2.0) [3].

Normalmente, este modelo é implementado em simuladores SPICE, permitindo sua aplicação à simulação de circuitos com resultados bastante realistas. Os simuladores SPICE são, atualmente, fáceis de usar, rápidos e precisos. Por outro lado, tais simuladores restringem o uso do modelo, limitando variáveis e parâmetros de entrada e observação. Este trabalho mostra como uma implementação de modelo em nível de código pode ser útil para uma análise mais profunda de dispositivos e modelos.

## 2. Características do modelo

O transistor MOS pode ser operado em cada uma das três regiões possíveis: a região de corte, a região de triodo e a região de saturação. Os dois primeiros são úteis se o MOSFET for utilizado como um comutador. Por outro lado, se o MOSFET for usado para projetar um amplificador, ele deve operar na região de saturação [2].

O modelo BSIM3v3.1 evoluiu através de três versões diferentes. A terceira versão é a usada para o desenvolvimento do código. Tornou-se um padrão da indústria para a modelagem de tecnologias MOS

submicrométricas e inclui as características do primeiro e do segundo: base original do modelo, correções de erros matemáticos e introdução de novos parâmetros. Isso permite que os usuários modelem com precisão o MOSFET em uma ampla gama de comprimentos de canal, larguras de canal para tecnologias atuais e futuras. O modelo é adequado para aplicações digitais e analógicas devido à melhor modelagem de sua condutância de saída [4].

Além disso, o BSIM3v3.1 ainda se baseia em uma formulação para modelar vários efeitos de curto e alto campo, tais como limiar de tensão, redução de mobilidade devido a campo vertical, saturação de velocidade de portadora, modulação de comprimento de canal, etc. [3].

O modelo teve suas 39 equações principais usadas para a implementação do código. A principal equação do modelo é descrita abaixo:

Equação 1 – Equação principal do modelo BSIM3v3.1.

$$I_{ds}(i) = \left( \frac{I_{dso}}{1 + \left( \frac{r_{ds} * I_{dso}}{v_{dseff}} \right)} \right) * \left( 1 + \left( \frac{v_{ds} - v_{dseff}}{v_a} \right) \right) * \left( 1 + \left( (v_{ds} - v_{dseff}) * \left( \frac{1}{v_{ascbe}} \right) \right) \right)$$

Onde:

$I_{DS}$ =corrente dreno-fonte;  $R_{DS}$ =resistência dreno-fonte;  $I_{DS0}$ = $I_{DS}$  inicial;  $V_{DSeff}$ =tensão dreno-fonte efetiva;  $V_{DS}$ =tensão dreno-fonte;  $V_A$ = tensão Early; e  $V_{ASCBE}$ =tensão Early devido ao efeito de corpo induzido pela corrente de substrato.

## 3. Implementação e análise

O código é dividido em 4 partes: declaração da função e das variáveis globais utilizadas em todas as equações do programa (parâmetros e variáveis); características e tensões das curvas (300mV, 600mV, 900mV e 1200mv); equações do modelo BSIM3V3; e código complementar para exportação dos dados obtidos com as curvas em arquivo .csv.

Para que o código funcione, foi criado um segundo arquivo somente com os parâmetros do modelo 8HP, o qual pode ser substituído com o avanço da tecnologia. Este arquivo é “chamado” pela função principal, a qual contém todas as equações.

Após o término do código, foram geradas quatro curvas,  $I_{DS}V_{DS}$  e  $I_{DS}V_{GS}$  de ambos os transistores nMOS e pMOS. Ao realizar a comparação das curvas geradas pelo MATLAB com as curvas do texto base, percebe-se que o código reproduziu corretamente o comportamento da curva  $I_{DS}V_{DS}$  do transistor nMOS. Contudo, o transistor pMOS ainda necessita alguns ajustes. As quatro curvas descritas estão representadas nas figuras 1, 2, 3 e 4 a seguir.

Figura 1 – Sobreposição da curva  $I_{DS}V_{DS}$  nMOS gerada no Eldo pela curva do MATLAB.

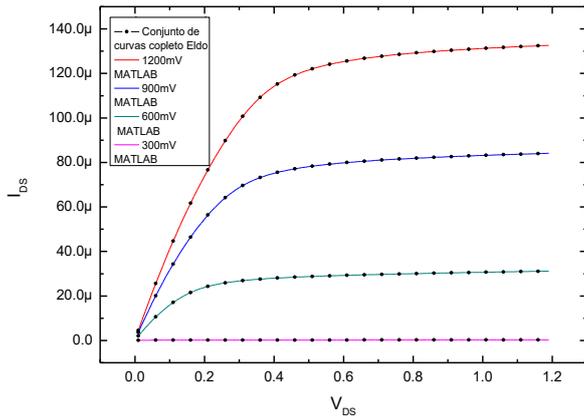


Figura 2 – Sobreposição da curva  $I_{DS}V_{GS}$  nMOS gerada no Eldo pela curva do MATLAB.

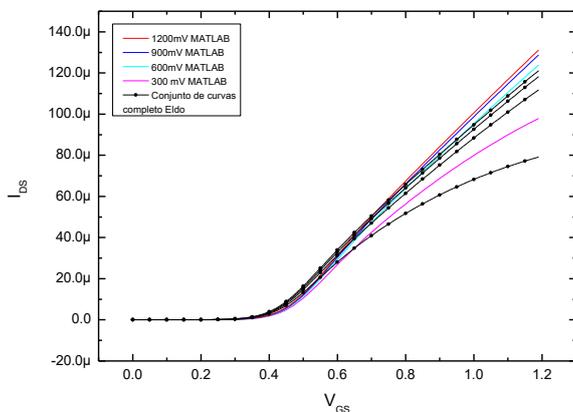


Figura 3 – Sobreposição da curva  $I_{DS}V_{DS}$  pMOS gerada no Eldo pela curva do MATLAB.

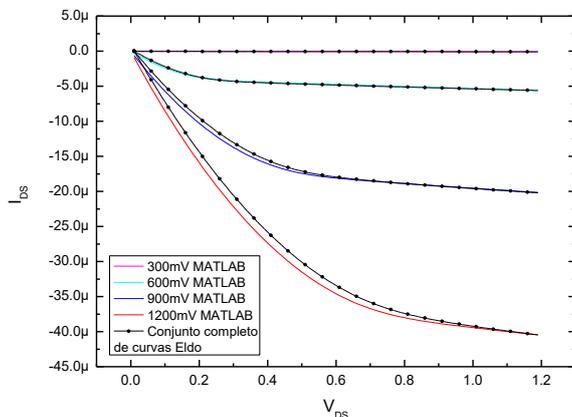
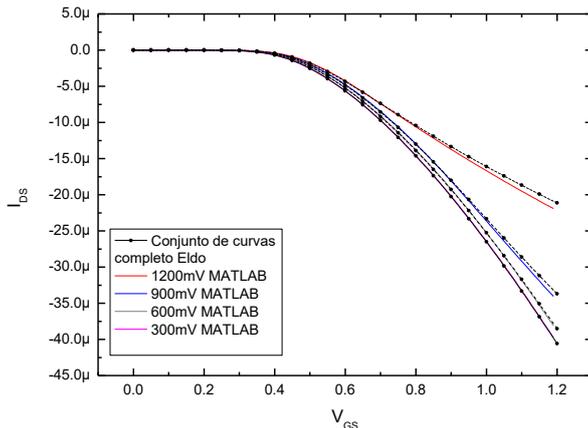
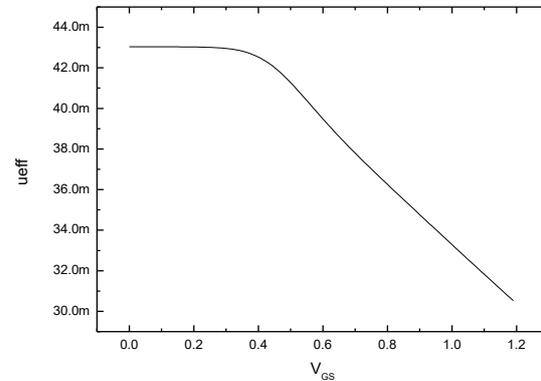


Figura 4 – Sobreposição da curva  $I_{DS}V_{GS}$  pMOS gerada no Eldo pela curva do MATLAB.



Assim, o código do transistor nMOS tem a capacidade de reproduzir corretamente quaisquer variáveis desejadas sem limitações, necessitando somente dos valores obtidos pelo próprio programa. A Figura 5 demonstra a versatilidade do código para a mobilidade efetiva ( $\mu_{eff}$ ) no nMOSFET.

Figura 5 – Mobilidade efetiva ( $\mu_{eff}$ ) gerada pelo código do MATLAB no transistor nMOS.



Futuramente com as devidas correções, os códigos do transistor pMOS e o código da curva  $I_{DS}V_{GS}$  do transistor nMOS também abrangerão todas as vantagens listadas para o código da curva  $I_{DS}V_{DS}$  no nMOS.

#### 4. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo a implementação das equações características do modelo BSIM3v3.1 no ambiente do software MATLAB, visando uma análise mais profunda e completa do modelo e dispositivos. São apresentadas famílias de curvas  $I_D V_D$  e  $I_D V_G$  dos transistores nMOS e pMOS, em que pode se notar uma boa aproximação do modelo BSIM3v3.1 com as equações implementadas no MATLAB.

#### 5. Referências

- [1] J.-P. Colinge and C.A. Colinge, "Physics Of Semiconductor Devices", Springer; 2002 edition (October 3, 2005).
- [2] Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith, "Microelectronic Circuits", Sixth Edition. Oxford Series in Electrical & Computer Engineering.
- [3] Yuhua Cheng, Mansun Chan, Kelvin Hui, Min-chie Jeng, Zhihong Liu, Jianhui Huang, Kai Chen, James Chen, Robert Tu, Ping K. Ko, Chenming Hu, "BSIM3v3 Manual", Department of Electrical Engineering and Computer Sciences University of California, Berkeley, p. 7, 1995-1996.
- [4] Henok Abebe and Vance C. Tyree, "BSIM3v3.1 Model Parameters Extraction and Optimization", USC-ISI, The MOSIS Service: October'2000.
- [5] Mentor Graphics Corporation, "Eldo Device Equations Manual", Release 12.2a.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro da CAPES e do CNPq.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 11/17 a 10/18.