

Implementação do Método Y-Function para a extração da mobilidade em transistores MOS

Gabriel Magalhães Cervi, Marcelo Antonio Pavanello
Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI
bielcervi@gmail.com, pavanello@fei.edu.br

Resumo: Neste projeto será realizada a implementação do Método da Função Y com o auxílio do programa Matlab, com o intuito de automatizar o processo de extração da mobilidade dos portadores de carga em transistores MOS, a partir das características elétricas e construtivas dos transistores. Para a validação da implementação realizada serão utilizados resultados de simulações numéricas e medidas experimentais.

1. Introdução

Nos últimos anos, a indústria da microeletrônica tem investido maciçamente em novas tecnologias objetivando a fabricação de dispositivos com dimensões extremamente reduzidas e de escala nanométrica. A perda de controle sobre as cargas na região de canal em transistores curtos torna o uso de dispositivos MOS planares extremamente complexo em circuitos integrados digitais com altíssima escala de integração (*Ultra Large Scale Integration* - ULSI). Deste modo, tecnologias alternativas, como aquelas com arquitetura de múltiplas portas, têm ganhado interesse na comunidade científica e das indústrias de semicondutores.

Neste âmbito, a automatização da extração dos dados dos transistores MOS emerge como uma alternativa muito eficaz e de extrema funcionalidade para todos os seus possíveis usos.

Dentre os diversos parâmetros importantes para averiguar o desempenho dos transistores MOS, um dos principais é a mobilidade dos portadores de carga. Dentre os diversos métodos disponíveis na literatura, um dos mais largamente utilizados é o Método da Função Y .

Neste projeto deseja-se implementar o método da função Y , para obtenção automática do valor da mobilidade em transistores MOS, a partir de curvas da corrente de dreno em função da tensão de porta fornecidas, utilizando a ferramenta Matlab. A implementação realizada será comparada com resultados de simulações numéricas e medidas experimentais.

Além disso, mostrou-se de grande utilidade fornecer esta solução, já estando pronta, para a comunidade. Isto pode ser concretizado por meio de um *site*, o qual poderia retornar os valores inseridos pelo usuário, por intermédio da programação desenvolvida, alvo deste projeto. Tal fato revolucionaria a utilização do Y-Function, tornando esta ferramenta totalmente automatizada.

2. O Método da Função Y

A característica primordial deste método se dá pelo fato dele promover a extração dos parâmetros, independentemente da Resistência Série coexistente no transistor. A seguir será representado uma descrição deste, com base no algoritmo recursivo para a implementação do programa, em conformidade com Sedra (2000) e Fleury (2008).

Inicialmente, declaramos os valores de entrada:

- t_{ox} (espessura da camada de óxido de porta).
- V_{DS} (tensão de dreno).
- precisão requerida.
- L (comprimento da região do canal).
- W (largura de canal do transistor MOS).
- I_{ds} (corrente de dreno).
- V_{GS} (tensão aplicada à porta).

Após isso, determinamos os valores da transcondutância (g_m), os quais são delineados a partir de uma derivada numérica da corrente de dreno, em relação à tensão de porta, conforme a equação (1):

$$g_m = dI_{ds}/dV_{GS} \quad (1)$$

Tendo feito isso, pode-se confeccionar uma matriz M , a qual permite uma melhor análise dos dados a serem utilizados nos seguintes cálculos do Y-Function. Esta matriz seria composta desta forma:

- V_{GS} (1ª coluna).
- I_{DS} (2ª coluna).
- g_m (3ª coluna).

Nesta matriz, busca-se o valor de $g_{mMáx}$, uma vez que este será responsável por delimitar a região a ser estudada com o método proposto. Com isto, obtêm-se os pontos:

- $(V_{GS}, g_{mMáx})$.
- $(I_{DS}, g_{mMáx})$.

A seguir, realizam-se duas aproximações polinomiais:

- I_{DS} por um polinômio do 4º grau, após $(V_{GS}, g_{mMáx})$.
- g_m por um polinômio do 3º grau, após $(V_{GS}, g_{mMáx})$.

O próximo passo é aplicar o Y-Function, segundo a equação (2):

$$Y = \frac{I_{DS}}{\sqrt{g_m}} = \sqrt{\beta V_{DS} V_{GS}} \quad (2)$$

Deste modo, pode-se obter fator de ganho do transistor MOS (β) e a tensão de limiar do transistor (V_{TH}), após minimizarem-se os erros, conforme o fluxograma apresentado na figura 1.

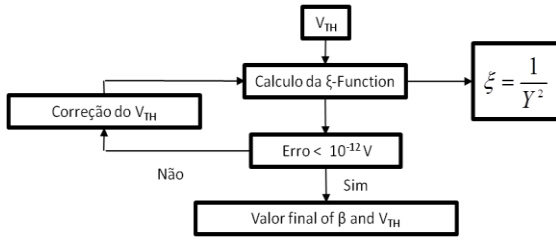


Figura 1 – Fluxograma para implementação da função Y.

Para o fluxograma da figura 1, temos as seguintes relações:

$$\xi = \frac{1}{Y^2} = \frac{1}{\beta V_{DS}} \left\{ \frac{1}{(V_{GT}^* + \varepsilon)^2} - \Theta_2 \right\} \quad (3)$$

$$V_{TH}^* = V_{G,M} - \frac{I_D(V_{gt,M})}{\max(g_m)} - \frac{V_{DS}}{2} \quad (4)$$

Na equação (4), $I_D(V_{gt,M})$ é a corrente de dreno no ponto de transcondutância máxima, $\max(g_m)$ é o valor da transcondutância máxima e $V_{G,M}$ é a tensão de porta na transcondutância máxima.

Dessa forma, a cada passo desse algoritmo, o valor de erro que é adicionado a tensão de limiar estimada, que tende ao valor real. Com o valor de V_{TH} bem definido, pode-se extrair o valor de β , que também fica com valor mais preciso devido a precisão de V_{TH} .

Por decorrência das novas tecnologias, o efeito da rugosidade de superfície foi incluído nas equações, assim como os parâmetros de degradação da mobilidade (θ_1 e θ_2). Para obtermos estes valores, previamente precisamos da sobre tensão de porta (V_{GT}) obtida por:

$$V_{GT} = V_{GS} - V_{TH} - V_{DS}/2 \quad (5)$$

Assim, podemos reescrever a equação (2) com base nestes novos parâmetros, obtendo:

$$Y = \frac{I_{DS}}{\sqrt{g_m}} = \sqrt{\frac{\beta V_{DS}}{1 - \Theta_2 V_{GT}^2}} V_{GT} \quad (6)$$

Da equação (6), torna-se possível obter os coeficientes de degradação da mobilidade e a variação da tensão de limiar (ΔV_{TH}). Seguem as equações destes:

$$\theta_2 = \Theta_2 / (1 - \Delta V_{TH}^2 * \Theta_2) \quad (7)$$

$$\theta_1 = \Theta_1 * (1 + \Delta V_{TH}^2 * \Theta_2) * 2 * \theta_2 * \Delta V_{TH} \quad (8)$$

$$\Delta V_{TH} = \frac{\{(\beta * V_{DS} / g_m)^{1/2} - 1 - \Theta_1 * (V_{g_{gm}[\text{Max}]} - V_{TH} - V_{DS}/2)\}}{2 * \Theta_2 * (V_{g_{gm}[\text{Max}]} - V_{TH} - V_{DS}/2)} \quad (9)$$

Por conseguinte, pode-se extrair o valor da mobilidade (μ_0) e obter-se um modelo completo para a corrente de dreno:

$$\mu_0 = \frac{\beta L_G t_{ox}}{W_{eff} \varepsilon_{ox}} \quad (10)$$

$$I_{DS} = \beta \frac{V_{DS} V_{GT} (1 + \theta_2 \Delta V_{TH}^2)}{1 + \theta_1 V_{GT} + \theta_2 (V_{GT} - \Delta V_{TH})^2} \quad (11)$$

Vale ressaltar, que na equação (10) W_{eff} e L_G correspondem respectivamente à largura do transistor (W) e ao comprimento do canal (L), declarados no início deste método.

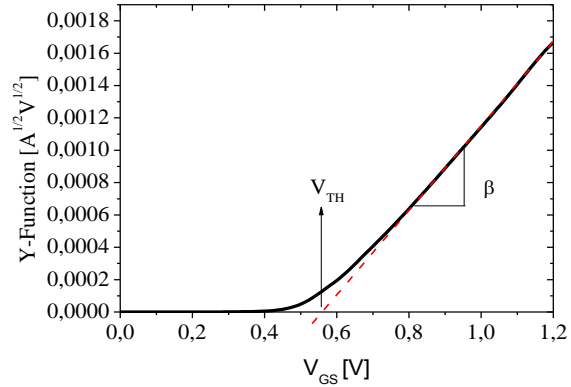


Figura 2 – Curva da função Y pela tensão aplicada a porta, com baixo valor de V_{DS} , para um transistor MOS.

A figura 2 retrata a utilização da Função Y, a qual é dependente da tensão aplicada a porta (V_{GS}), a partir de resultados obtidos para um transistor nMOS. O método consiste na extrapolação da região linear do Y-Function, com a qual se pode obter o fator de ganho do transistor MOS (β), que corresponde à inclinação deste reta. Além disso, é possível obter-se a tensão de limiar do transistor (V_{TH}) no ponto de cruzamento com o eixo x da curva.

3. Conclusão

Nesse trabalho foi apresentada a metodologia para a implementação do método da Função Y, com o intuito de extrair automaticamente a mobilidade e a corrente de dreno dos transistores MOS. Deste modo, vislumbra-se o caminho para reproduzir tal função no Matlab, uma vez que este programa, dotado de diversas funções matemáticas, permite uma análise mais minuciosa dos dados, culminando em resultados com maior exatidão.

Vale ressaltar que esta ferramenta torna mais abrangente este trabalho, possibilitando a confecção de um *site* para a utilização do Y-Function, tal como fora inicialmente proposto.

4. Referências Bibliográficas

[1] Adel S. Sedra, Microeletrônica, 4ª edição, 2000.

[2] D. FLEURY et al. “New Y -Function-Based Methodology for Accurate Extraction of Electrical Parameters on Nano-Scaled MOSFETs”, *IEEE Conference on Microelectronic Test Structures*, March 2008.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, a todos que sempre me incentivaram, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por fomentar o desenvolvimento deste trabalho.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI, cuja pesquisa é fomentada pelo CNPq. Projeto com vigência de 08/18 a 08/19.