

EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DA RESISTÊNCIA SÉRIE DE TRANSISTORES MOS COM COMPRIMENTOS DE CANAL NANOMÉTRICOS

Vinicius Bueso Soares¹, Marcelo Antonio Pavanello
Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI
vinicius.bueso@gmail.com, pavanello@fei.edu.br

Resumo: O projeto apresentado por este artigo trata-se, na prática, de uma continuação dos trabalhos desenvolvidos em [1], onde foi feita a implementação em ambiente computacional de parte do método de extração de resistência série de transistores MOS de canal curto desenvolvido pelo prof. doutor Renan Trevisoli [2]. Neste artigo será exposta a implementação completa do método no software Mathcad, contendo melhorias nos procedimentos de regressão e a adição do fitting-não linear para a extração da resistência série. Além disso, será abordada a integração desta implementação com o script de extração de mobilidade desenvolvido por Thales Augusto Ribeiro em [3].

1. Introdução

O método de extração de resistência série para transistores MOS com comprimento de canal nanométricos proposto pelo prof. Dr. Renan Trevisoli [2] considera dois tipos de fitting da curva da resistência total em função do inverso do Y function, levando em conta a consideração ou não do fator de degradação de mobilidade de segunda ordem nas expressões que descrevem o comportamento do dispositivo. Quando esse fator é considerável devemos utilizar o fitting não-linear do tipo $(a \cdot x + b + c/x)$, caso contrário o valor extraído da resistência série se torna superestimado.

No projeto passado [1] foi feita a implementação no software Mathcad desse método de extração. Essa implementação, porém, só considerava o fitting linear do método. O fluxograma da Figura 1 resume o algoritmo utilizado:

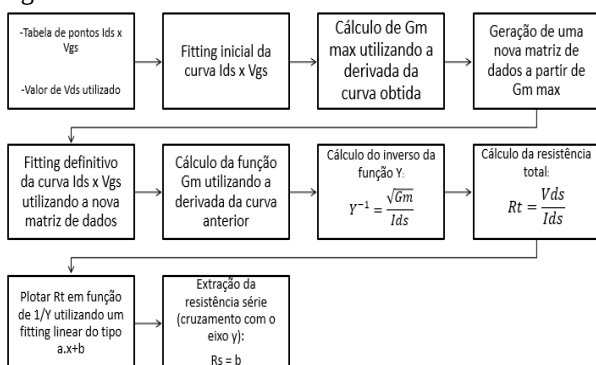


Figura 1 - Fluxograma utilizado na implementação anterior.

Uma dificuldade encontrada nessa implementação foi a identificação de um método apropriado de ajuste das curvas de dados. Utilizou-se para o fitting polinômios arbitrários de ordem alta (ordem 10 para o

fitting inicial e ordem 7 para o fitting definitivo) e não se sabe ao certo o quanto essa arbitrariedade pode influenciar nos resultados. Em alguns casos, em especial na curva de transcondutância utilizada para a determinação do Gm máximo, a regressão parecia não gerar uma curva confiável, como mostra a Figura 2:

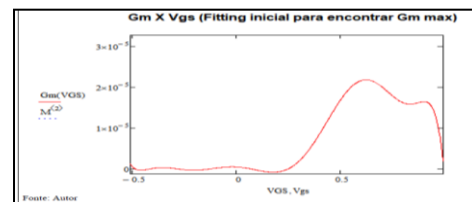


Figura 2 - Curva de transcondutância apresentando oscilações indesejáveis provenientes do ajuste de curva não otimizado.

Levando em conta as informações acima expostas, viu-se a necessidade de aprimorar o modo como as curvas são ajustadas e de adicionar o fitting não-linear contido no método à implementação. Além disso, para fazer do programa uma solução ainda mais completa e robusta, foi realizada a integração deste script com o script desenvolvido por Thales Augusto Ribeiro em seu mestrado [3], que consegue através de um algoritmo recursivo extrair com precisão diversos parâmetros do transistor.

2. Metodologia

Tanto as melhorias nos métodos de ajuste de curvas quanto a incorporação do fitting não-linear foram feitas a partir da implementação já realizada no projeto passado utilizando o software Mathcad.

Na Figura 3 temos o fluxograma atualizado contendo todos aperfeiçoamentos:

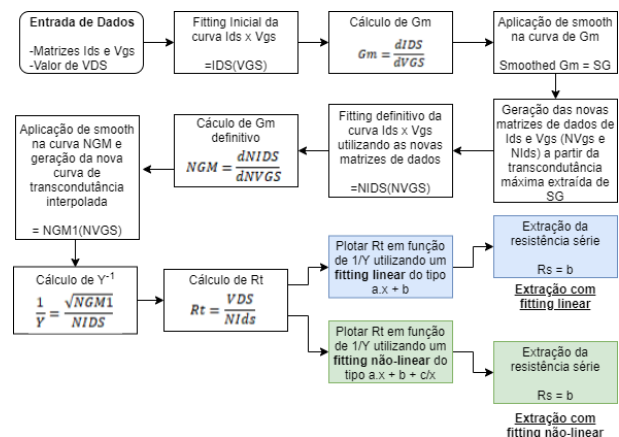


Figura 3 - Fluxograma atualizado utilizado nesse projeto.

Depois de realizada a implementação completa do método de extração o próximo passo tomado foi a integração com o script extrator de mobilidade desenvolvido por Thales Augusto Ribeiro.

A integração entre os scripts é baseada na troca de dados entre eles. O programa que extrai a mobilidade não possui nenhum código capaz de gerar a curva de transcondutância por conta própria a partir da curva $I_d \times V_{gs}$ e precisa que a matriz de G_m lhe seja fornecida como dado de entrada. O script que extrai a resistência série, por sua vez, além de calcular a transcondutância a partir da derivada da corrente de dreno, ainda aplica algoritmos para suavizar esta curva eliminando os ruídos gerados na derivação. Dito isso, o primeiro passo para a integração é o fornecimento automático da curva de transcondutância calculada e suavizada ao programa que extrai a mobilidade. O segundo passo é o fornecimento dos parâmetros calculados no programa de extração de mobilidade ao programa de extração de resistência série. A Figura 4 esquematiza a forma que os dois programas interagem, além de informar os inputs e outputs do sistema.

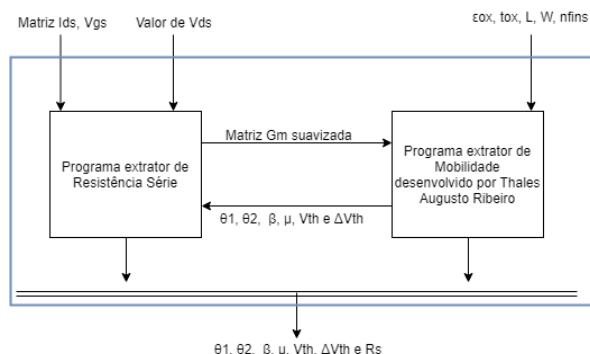


Figura 4 – Diagrama de blocos da integração

3. Resultados

Para testar o funcionamento do programa, foram utilizados os dados que o prof. Dr. Renan Trevisoli empregou para plotar os pontos “amarelos” do gráfico da figura 5, usufruindo do novo método de extração. Com isso pudemos fazer uma comparação entre os resultados obtidos a partir do programa e os apresentados pelo próprio artigo.

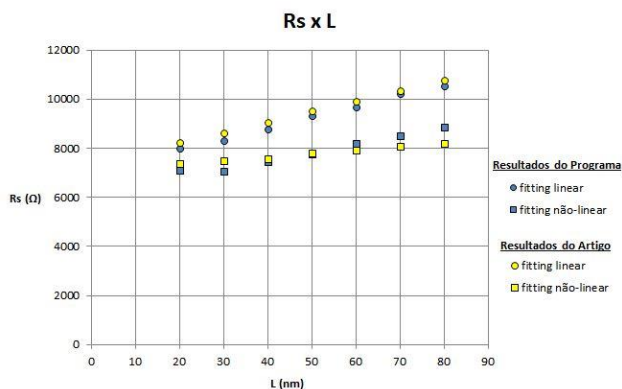


Figura 5 – Gráfico da resistência extraída em função de L contendo a comparação dos resultados provenientes do programa com os apresentados no artigo [2].

A próxima etapa foi testar a integração entre os scripts. Partindo do fato de que alguns parâmetros poderem ser calculados por ambos os programas, como é o caso de β , θ_1 , θ_2 e os termos “a”, “b” e “c” do polinômio usado no fitting não linear, uma boa forma de testar a coerência dos resultados fornecidos pela integração dos softwares é fazer uma comparação dos valores destes parâmetros gerados pelos dois algoritmos. A tabela 1 apresenta os resultados desta análise comparativa:

Tabela 3 - Comparação dos valores dos parâmetros calculados através dos dois métodos.

	Programa extrator de R_s	Programa extrator de μ	Erro
termo “a”	14,258	14,125	0,94%
termo “b”	6,938E+03	6,894E+03	0,64%
termo “c”	6,054E+05	7,667E+05	21,04%
β	2,459E-04	2,506E-04	1,88%
θ_1	1,706	1,727	1,22%
θ_2	0,348	0,453	23,18%
R_s (fitting linear)	9,077E+03	***	***
V_{th}	***	0,559	***
ΔV_{th}	***	0,264	***
μ	***	4,358	***

4. Conclusões

Com base nos resultados observados, é possível concluir que tanto a integração com o algoritmo de extração de mobilidade quanto as melhorias no próprio script original foram implementados com sucesso, apresentando erros bastante reduzidos.

A incorporação do fitting não-linear do método ao programa e a integração com o script de extração de mobilidade permitem agora a obtenção de diversos parâmetros além da resistência série, suportando também extrações em dispositivos cujo coeficiente de redução de mobilidade de segunda ordem é determinante.

5. Referências

- [1] SOARES, V. B. **Implementação do Método de Extração da Resistência Série de Transistores MOS com Comprimentos de Canal Nanométricos**. 2018. 35 p. Relatório Final de Iniciação Científica apresentado ao Centro Universitário FEI como parte dos requisitos do Programa PIBIC-FEI. Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2018.
- [2] TREVISOLI, Renan et al. **A New Method for Series Resistance Extraction of Nanometer MOSFETs**. Ieee Transactions On Electron Devices, Piscataway, Nova Jersey, EUA, v. 64, n. 7, p.2797-2803, jul. 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/ted.2017.2704928>.
- [3] RIBEIRO, Thales Augusto. **Impacto da Rotação do Substrato sobre as Características Elétricas de FinFETs de Porta Tripla**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2016.

Agradecimentos

Ao Thales Augusto Ribeiro pelo fornecimento do script e ao Renan Trevisoli pelo fornecimento dos dados experimentais.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 08/18 a 07/19.