EDA/CAD para Nanoelectrónica

2º Relatório prático ref. ano 2015-2016

Docente: Professora Doutora Helena Fino

Elaborado pelos alunos de MIEEC:

António João Marques de Andrade Pereira 39971

Filipe Miguel Aleixo Perestrelo 39656

Silvana Regina Ferreira de Oliveira Costa 30159

Índices

Índice Geral

Objectivos: 2

Introdução Teórica: 5

Modelo EKV 5

Especificações do Modelo EKV: 5

Fase 1 alínea a: 7

Fase 1 alínea b: Determinação da tensão de Pinch-off, *Vp* 11

Fase 1 alínea c: Determinação da tensão *Vt*: 13

Fase 1 alínea d: Determinação de **γ** e **Φ**: 15

Fase 1 alínea e: Determinação de n(*Vg)*: 15

Fase 1 alínea f: Determinação do parametro *Kp*: 15

Fase 1: Comentários: 15

Referências: 16

Índice de Tabelas

Tabela 1. Parâmetros do modelo EKV2.6 2

Tabela 2. Relação W/L dos transístores Nmos. 4

Índice de Figuras

Figure 1: Transístor MOS utilizado no modelo EKV [Fonte: Ref. (1)] 6

Figure 2: Grafico log(ID) onde se demonstram as inversões fraca,moderada e forte do transístor – [Fonte: Ref. (1)] 7

Figure 3 : Esquemático do circuito desenvolvido no software Cadence 8

Figure 4: Curve Fitting utilizado para determinação da corrente específica 9

Figure 5: Característica ID (Vs) de um transístor com W=4u e L=2u e Vd fixo em 1.2V 11

Figure 6: Característica ID (Vs) de um transístor com W=1u e L=0.5u e Vd fixo em 1.2V 11

Figure 7: Montagem para determinação de Vp 12

Figure 8: Característica Vp(Vg) de um transístor com W=4u e L=2u 13

Figure 9: Característica Vp(Vg) de um transístor com W=1u e L=0.5u 13

Figure 10: Curve Fitting da característica Vp(Vg) de um transístor com W=4u e L=2u 14

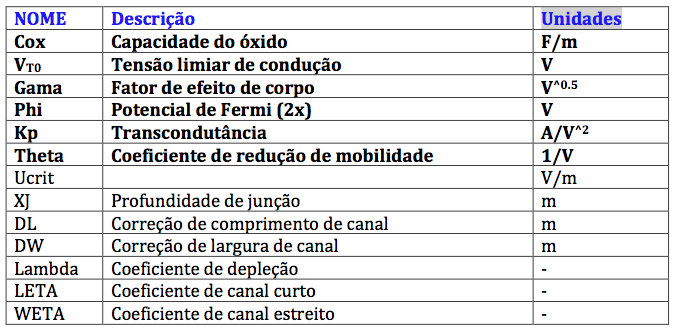
Figure 11: Curve Fitting da característica Vp(Vg) de um transístor com W=1u e L=0.5u 15

# Objectivos:

Este trabalho tem como objectivo a determinação dos parâmetros do modelo EKV para transístores NMOS da tecnologia UMC065. Serão apenas considerados transístores de canal longo. Assim como o trabalho anterior, este também contará com o auxílio de ferramentas importantes, como o *software Cadence* para dimensionamento e simulação, E o software Matlab para determinação e cálculos dos parâmetros.

O modelo EKV2.6 é caracterizado pelos seguintes parâmetros:

Tabela 1. Parâmetros do modelo EKV2.6



Dos parâmetros acima do modelo EKV 2.6, não foram considerados todos, apenas foram obtidos os relativos a transístores de canal longo.

Este trabalho é constituído por 3 fases que serão descritas a seguir:

**Fase 1:** Determinação dos parâmetros do Modelo EKV para um transístor Nmos1 com W = 4µ e L = 2µ:

Nesta fase são determinados os seis parâmetros seguintes deste modelo, tendo por base características de funcionamento dos dispositivos obtidas por simulação:

* Corrente I*s*;
* Tensão de *Pinch-off,Vp;*
* Tensão V*t*;
* γ e Φ;
* n(Vg);
* Kp.

Estes parâmetros são obtidos com recurso ao software denominado *Matlab*

**Fase 2:** Implementar, em Matlab, um script que permite gerar características ID(VGS) e ID(VDS) utilizando o modelo EKV.

Nesta fase é sugerido o desenvolvimento de um script contendo as seguintes funções:

* Função get\_Vp : Que devolve valor de VP em função da tensão VG;
* Função get\_Is: Que devolve valor de IS em função de VG;
* Função get\_ifr: Que devolve valor de corrente if(r) em função de VG e de VS(D)

Uma vez obtidos os valores de todos os parâmetros do modelo, são traçadas as curvas características a partir das funções acima mencionadas e é feita graficamente uma comparação destas curvas com as curvas obtidas por simulação tanto para o transístor Nmos1 como para o Nmos2.

As características dos transístores usados podem ser consultadas na seguinte tabela 2 apresentada:

Tabela 2. Características dos transístores utilizados na fase 2.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| TRANSÍSTOR | MODELO | W | L |
| NMOS1 | N\_12\_11hvt | 4 µ | 2 µ |
| NMOS2 | 1 µ | 0.5 µ |

**Fase 3:** Repetir as fases 1 e 2 para um transistor PMOS com as mesmas dimensões.

# Introdução Teórica:

## Modelo EKV

As suas origens remontam aos primeiros desenvolvimentos de relógios electrónicos em *CEH* (*sigla em francês para relojoeiros do Centro Electrónico)* na Suíça.

O consumo total de energia teve que ser extremamente baixa, inferior a 1μW, para garantir alguns anos de vida para a bateria. Após as primeiras versões baseadas em transístores bipolares, a tecnologia CMOS logo foi identificada como a melhor abordagem para implementar os circuitos electrónicos digitais.

Logo, o modelo EKV é uma evolução dos primeiros modelos de transístores de inversão fraca dos anos 70. Este foi desenvolvido na época de 90 por Christian Enz, François Krummenacher e Eric Vittoz, cujas iniciais do nome do modelo tem sua origem.

Existem duas versões para este modelo com diferentes graus de simplicidade. A versão mais complexa é o EKV3.0 e a mais simples, denominada de modelo EKV2.6, é a versão usada neste trabalho e apresenta algumas limitações para canais muito curtos.

Este é um modelo físico dedicado à análise de circuitos de baixa tensão e baixa corrente, construído sob propriedades físicas fundamentais da estrutura dos transístores e que permite a continuidade de pequenos e grandes sinais desde a inversão fraca até a forte.

Portanto, a criação desde modelo veio permitir uma reprodução mais fiel das novas características de funcionamento dos transístores em todas as zonas de inversão.(2)

### Especificações do Modelo EKV:

Este modelo tem 13 (treze) parâmetros que descrevem o comportamento do transístor em todas as regiões de operação. Os parâmetros do modelo EKV estão resumidos na tabela 1 anteriormente apresentada.

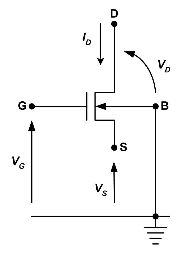
Também preserva a simetria intrínseca do transístor referindo todas as tensões ao Bulk mantendo-se a simetria do dispositivo, como pode ser visto na Figura 1 abaixo:

Figura 1: Transístor MOS utilizado no modelo EKV [Fonte: Ref. (1)]

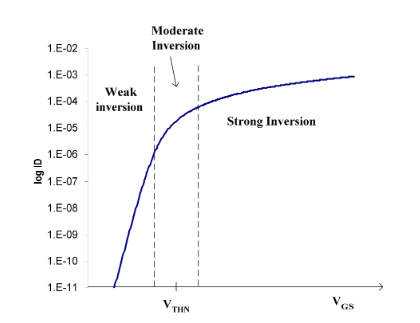
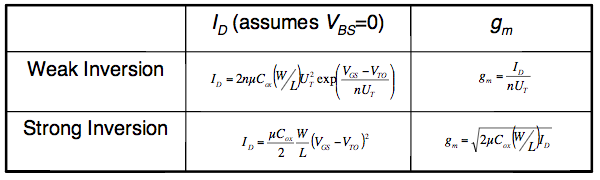
As zonas de operação do transístor são descritas através do que é definido como o potencial eletrostático na superfície do material semicondutor.

Figura 2: Gráfico log(ID) onde se demonstram as inversões fraca, moderada e forte do transístor – [Fonte: Ref. (1)]

Observando a figura 2, na zona de inversão fraca, ou *subtreshold,* o canal é ligeiramente invertido. Esta zona é usada em aplicações de baixo consumo de potência e baixa frequência. Na inversão moderada, o erro resultante não é muito significativo. Por ultimo, na zona de inversão forte, existe a possibilidade de medição da tensão em que o transístor entra em saturação (tensão de *pinch-off*).

As equações variam muitas vezes conforme a zona de inversão forte ou fraca. Tradicionalmente não se considera equações gerais para inversão moderada1. Na tabela seguinte (tabela 3) temos:

Tabela 3: Equações de ID conforme as zonas de inversão [Fonte: ver ref. (1)]



Portanto, no modelo EKV acaba por se considerar uma única equação em todos os níveis de inversão.

# Implementação Prática

Através do *software Cadence*, desenvolveu-se o seguinte esquemático do circuito:

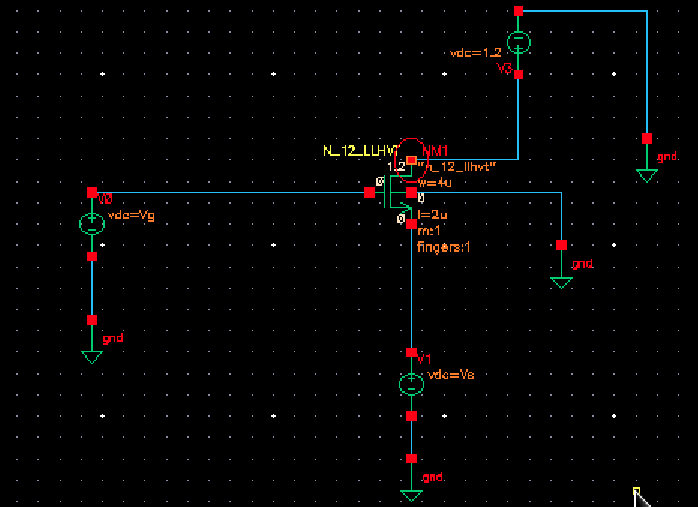


Figura 3 : Esquemático do circuito desenvolvido no software Cadence

Após a simulação, Os dados foram exportados para o Matlab onde obteve-se os seguintes gráficos das curvas características ID(VS):

### Fase 1 alínea a: Determinação da Corrente *Is* (Corrente Específica)

A corrente de dreno ID, é decomposta em corrente directa e inversa conforme a expressão:

(1)

Em que,

(2)

(3)

(4)

Uma vez que, quando um transístor se encontra em inversão forte, com e é desprezável, tem-se:

(5)

logo, a corrente de dreno é dada por:

(6)

pelo que a característica é uma recta com declive:

(7)

e com ordenada na origem:

(8)

Através da simulação efectuada utilizando o *software Cadence,* considerando o transístor em inversão forte, obteve-se a característica .De seguida utilizou-se o método de *curve fitting* para determinar *m* e *b.*

O curve fitting pode ser visualizado na figura abaixo (figura 4):

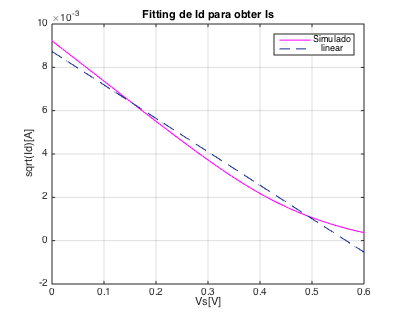


Figura 4: Curve Fitting utilizado para determinação da corrente específica

E os valores obtidos foram:

(9)

(10)

Uma vez determinados *m* e *b.* Através de *m,* Torna-se possível o calculo da corrente IS Uma vez que:

(11)

Tendo em conta que:

(Valor definido pela docente)(12)

Então:

(13)

Dos dados exportados para o Matlab, também obteve-se os seguintes gráficos das curvas características ID(VS):

Características

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

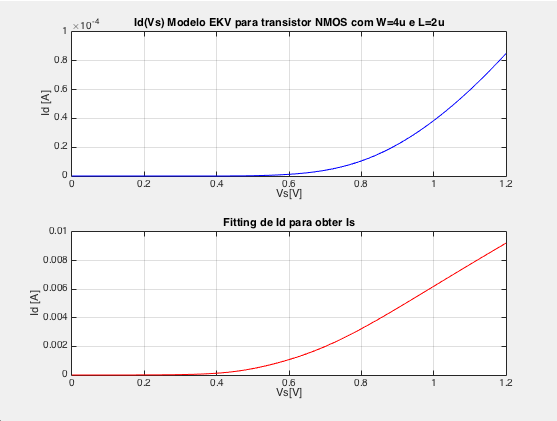


Figura 5: Característica ID (Vs) de um transístor com W=4u e L=2u e Vd fixo em 1.2V

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

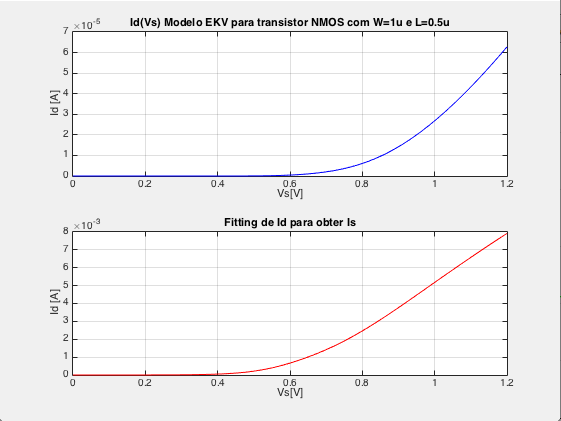


Figura 6: Característica ID (Vs) de um transístor com W=1u e L=0.5u e Vd fixo em 1.2V

### Fase 1 alínea b: Determinação da tensão de Pinch-off, *Vp*

A tensão de pinch-off é definida como a tensão do canal para o qual a inversão de carga é zero sob efeito da inversão forte(4) . Esta fornece um método eficiente de determinação dos principais parâmetros do modelo tais como a tensão de threshold e outros parâmetros relativos à concentração de portadores no canal(4)

A determinação da tensão de pinch-off consiste em usar uma corrente de polarização constante, tipicamente igual a da corrente. Para medir a característica varia-se todos os valores da tensão da porta e mede-se a tensão da fonte.

Para a determinação da tensão *Pinch-off,Vp,* considerou-se a seguinte equação:

(14)

Através do seguinte esquemático desenvolvido:

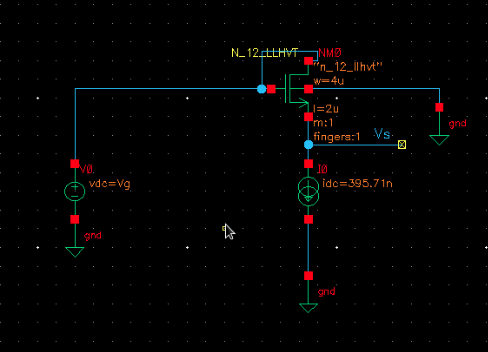


Figura 7: Montagem para determinação de Vp

Obtida a equação, simulando no *Cadence* o circuito da figura 7, obteve-se a recta representada na figura 8:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

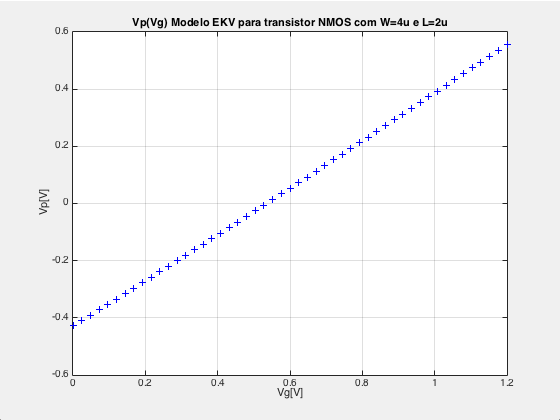


Figura 8: Característica Vp(Vg) de um transístor com W=4u e L=2u

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

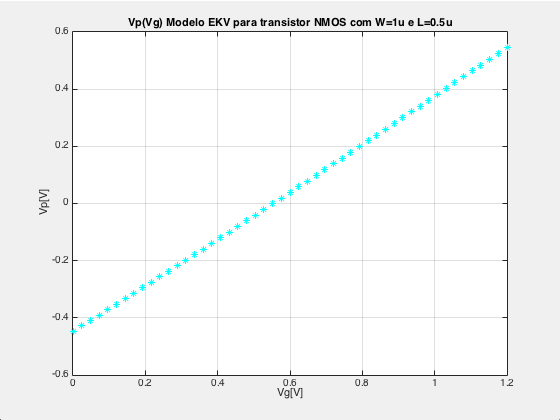


Figura 9: Característica Vp(Vg) de um transístor com W=1u e L=0.5u

### Fase 1 alínea c: Determinação da Tensão de *Threshold* (*Vt ou Vt0* ):

A partir da característica *VP(VG)* determinou-se o valor de *Vt*, considerando as seguintes equações:

(15)

Onde são novos valores de declive e ordenada de origem obtidos da característica *VP(VG).*

A tensão de threshold é definida como sendo a tensão da gate, denominada *VG,* para a qual a inversão de carga no canal, no equilíbrio é zero, ou seja, quando *VP* = 0, logo:

(16)

Para determinar o valor de , fez-se um curve fitting às características *VP(VG)* que podem ser observadas das figuras seguintes (figuras 10 e 11).

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

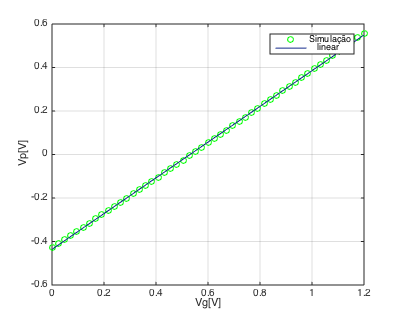


Figura 10: Curve Fitting da característica Vp(Vg) de um transístor com W=4u e L=2u

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

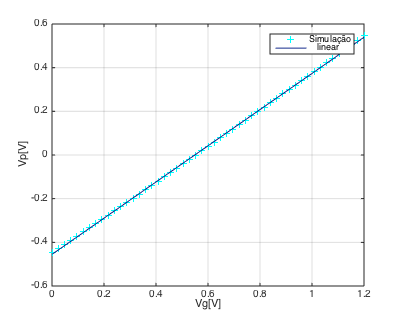


Figura 11: Curve Fitting da característica Vp(Vg) de um transístor com W=1u e L=0.5u

Através das curvas acima, obteve-se os seguintes valores:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

Logo, obteve-se também os seguintes valores para cada Vt0:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

*Vt0 = 0.5209 [V].*

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

*Vt0 = 0.5390[V].*

### Fase 1 alínea d: Determinação dos parâmetros γ e Φ:

A tensão de *pinch-off* no modelo EKV em função da tensão da *gate* VG é dada por:

(17)

Onde é denominado por *coeficiente de corpo ou factor de substracto,* e é dado por:

(18)

E é uma aproximação do potencial da região em inversão forte e a tensão da *gate* é dada por:

(19)

em que *Vt0*  é a tensão de *threshold*.

Para transístores de canal longo, a aproximação é válida, caso o efeito de corpo tem de ser tido em conta.

Uma vez obtido através de simulação, realizando um fitting à equação da tensão de *pinch-off (Vp),* obteve-se os valores pretendidos neste ponto, dos parâmetros **γ** e Φ:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

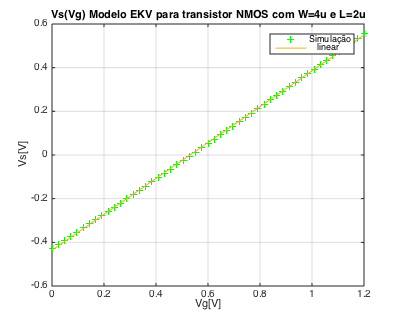


Figura 12: Curve Fitting Vs(Vg) de um transístor com W=4u e L=2u

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

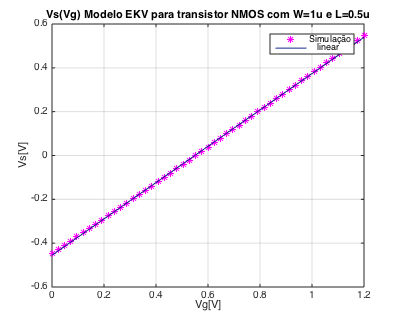


Figura 13: Curve Fitting Vs(Vg) de um transístor com W=1u e L=0.5u

### Fase 1 alínea e: Determinação de n(*Vg)*:

Uma vez que o declive na zona de inversão fraca, é dado por:

(20)

Substituindo **γ,** Φ e *Vp* pelos valores anteriormente determinados obteve-se as características n(*Vg)*, conforme representado nas figuras 14 e 15 abaixo :

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

Figura 14: Característica n(Vg) de um transístor com W=4u e L=2u

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

Figura 15: Característica n(Vg) de um transístor com W=1u e L=0.5u

### Fase 1 alínea f: Determinação do parametro *Kp*:

O factor de ganho de transcondutância ,(Kp), é extraído a partir da curva do ID(*VG)* do transístor. Assim, simulando o circuito com *VD* = 1.2 V e variando o *VG,* obteve-se as seguintes características abaixo conforme as figuras 16 e 17:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

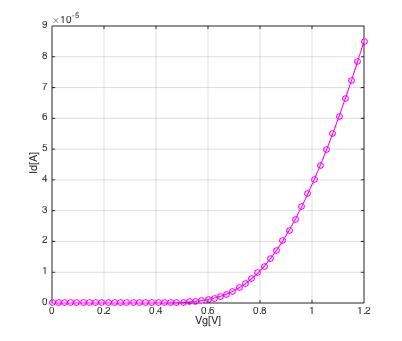


Figura 16: Característica ID(Vg) de um transístor com W=4u e L=2u

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

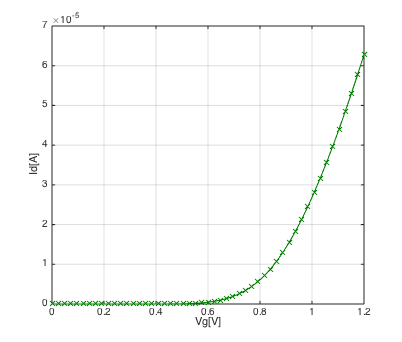


Figura 17: Característica ID(Vg) de um transístor com W=1u e L=0.5u

Obtidas as características, sabe-se que,

(21)

em que:

(22)

Assim, tendo por base a equação da corrente realizou-se um *fitting* em cada transistor obtendo- se os valores de e para cada.

Os resultados do *fitting’s* podem serem vistos nas figuras 18 e 19:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

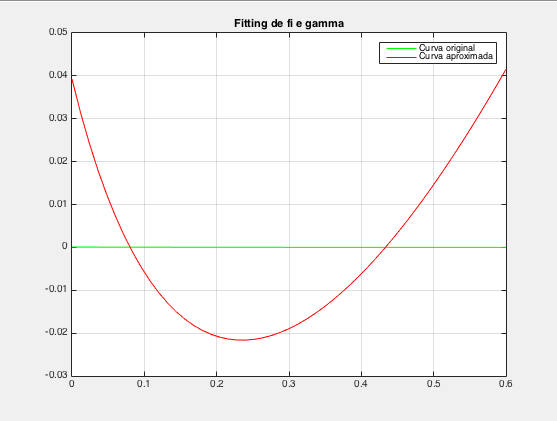


Figura 18: Característica ID(Vg) de um transístor com W=4u e L=2u

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

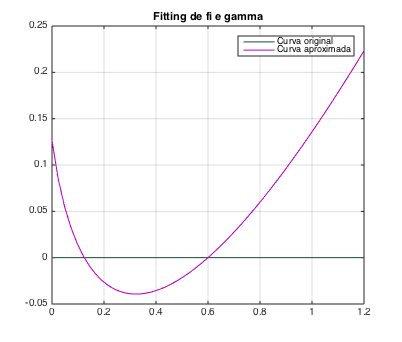


Figura 19: Característica ID(Vg) de um transístor com W=1u e L=0.5u

E os seus respectivos valores obtidos foram:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

Obteve-se também os seguintes valores para cada parâmetro β:

Tendo em conta que:

(22)

Logo:

* Para o transístor NMOS1 com W=4u e L=2u:

β *=*

* Para o transístor NMOS2 com W=1u e L=0.5u:

β *=*

### Fase 1: Comentários:

# Referências:

1. <http://web.eecs.utk.edu/~bblalock/ece532/ece532_pres_ekv_bsim.pdf>
2. Book: *Charge-Based MOS Transistor Modeling: The EKV Model for Low-Power and RF IC Design* C. Enz and E. Vittoz 2006 John Wiley & Sons, Ltd.
3. <http://ekv.epfl.ch/files/content/sites/ekv/files/workshop/2011/Enz_NanoTera_2011.pdf>
4. https://nsti.org/publications/Nanotech/2007/pdf/897.pdf
5. Material disponibilizado pela docente da disciplina: http://moodle.fct.unl.pt/pluginfile.php/292366/mod\_label/intro/ieee\_icmts96\_bucher\_vp\_extraction\_method.pdf