



Introdução a Microeletrônica

Relatório Transístores do tipo MOSFET

MATHEUS FRANCISCO BATISTA MACHADO

Professor:

TIAGO OLIVEIRA WEBERA

1 Introdução

O trabalho realizado tem função de mostrar o comportamento e funcionamento da curva corrente de dreno por tensão entre dreno e fonte de um transistor do tipo MOS. Assim fazendo a comparação dos resultados obtidos por cálculo manual e obtidos com simulador elétrico Ltspice.

2 Simulação de um transístor do tipo NMOS

Foi simulado para um transístor NMOS no software Ltspice utilizamos o modelo N1u. Nesta simulação será adicionado uma fonte de tensão entre a porta e fonte V_{GS} e uma fonte de tensão entre o dreno e a fonte V_{DS} . A análise irá considerar as fontes variando de 0 até 5V. V_{DS} varia com passo de 0.01 e enquanto V_{GS} varia com um passo de 0.5. As medidas do transístor são 1,5 μ m L (length) e 3 μ m w (width).

O gráfico da Figura 1 mostra a curva de I_d por V_{DS} para os diferentes valores de V_{GS} simulados. No entanto podemos perceber que na simulação a região de saturação ocorre um pouco antes da região calculada pela fórmula devido não levarmos em conta alguns fatores do transístor, como o u_n e C_{ox} , por esse motivo nossa curva mostrando as regiões de saturação parecem um pouco depois do real motivo da saturação.

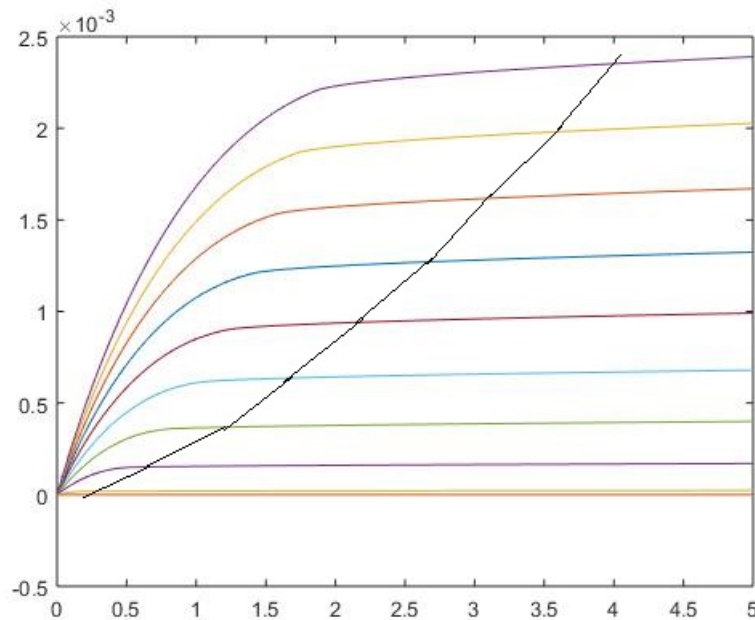


Figure 1: Simulação de um transistor tipo MOS

As regiões de operação do transistor são:

- Região de Corte: quando $V_{GS} < V_{th}$, onde V_{GS} é a tensão entre a porta (gate) e a fonte (source). O transistor permanece desligado, e não há condução entre o dreno e a fonte. Enquanto a corrente entre o dreno e fonte deve idealmente ser zero devido à chave estar desligada, há uma fraca corrente invertida.
- Região de Triodo (ou região linear): quando $V_{GS} > V_{th}$ e $V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$ onde V_{DS} é a tensão entre dreno e fonte. O transistor é ligado, e o canal que é criado

permite o fluxo de corrente entre o dreno e fonte. O MOSFET opera como um resistor, controlado pela tensão na porta. A corrente do dreno para a fonte é:

$$I_D = Kp(W/L)(V_{GS} - V_{th})V_{DS} - 1/2(V_{DS})^2$$

- Região de Saturação: quando $V_{GS} > V_{th}$ e $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$. O transistor fica ligado, e um canal que é criado permite o fluxo de corrente entre o dreno e a fonte. Como a tensão de dreno é maior do que a tensão na porta, uma parte do canal é desligado. A criação dessa região é chamada de “pinch-off”. A corrente de dreno é agora relativamente independente da tensão de dreno (numa primeira aproximação) e é controlada somente pela tensão da porta de tal forma que :
- $$I_D = (1/2)Kp(W/L)(V_{GS} - V_{th})^2$$

Como podemos perceber na figura 1 temos uma reta onde passa pelos pontos onde $V_{DS} = V_{GS} - V_{th}$ podemos considerar o início do ponto de saturação da corrente I_D para os pontos

Table 1: Tabela de V_{DSsat} para V_{GS} variando

Valores de VDS de saturação	VGS	VTH
0,2	1	0,8
0,7	1,5	0,8
1,2	2	0,8
1,7	2,5	0,8
2,2	3	0,8
2,7	3,5	0,8
3,2	4	0,8
3,7	4,5	0,8
4,2	5	0,8

Também podemos obter a corrente de saturação na tabela 2

Table 2: I_D na zona de saturação calculada para as variações de V_{GS}

Valores de I_D na região de saturação	V_{GS}	V_{TH}	K_p	W	L
$4,8 \cdot 10^{-6}$	1	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$58,8 \cdot 10^{-6}$	1,5	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$172,8 \cdot 10^{-6}$	2	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$346,8 \cdot 10^{-6}$	2,5	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$580 \cdot 10^{-6}$	3	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$874,8 \cdot 10^{-6}$	3,5	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$1228,8 \cdot 10^{-6}$	4	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$1642,8 \cdot 10^{-6}$	4,5	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$2116,8 \cdot 10^{-6}$	5	0,8	$120 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$

3 Parte 2- Simulação para comparar valor da corrente

Foi realizado a simulação para um transistor NMOS do mesmo modelo do anterior com o mesmo comprimento e largura e com $V_{DS} = 2V$ e $V_{GS} = 1V$ variando . Logo em seguida foi realizado os cálculos manuais para a corrente. Como podemos perceber o calculo será realizado com $V_{th} = 0.8$ dado o arquivo *cmosedmodels.txt*, com isso para $V_{DS} = 2V$ e $V_{GS} = 1V$ podemos perceber que a corrente esta na zona de saturação dado que $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$, temos $2 > 1 - 0.8$,então temos $I_D = (1/2)120 \cdot 10^{-6}(3 \cdot 10^{-6}/1.5 \cdot 10^{-6})(0.2)^2 = 4.8 \cdot 10^{-6}$.

Segue o gráfico da simulação realizada no ltspice.

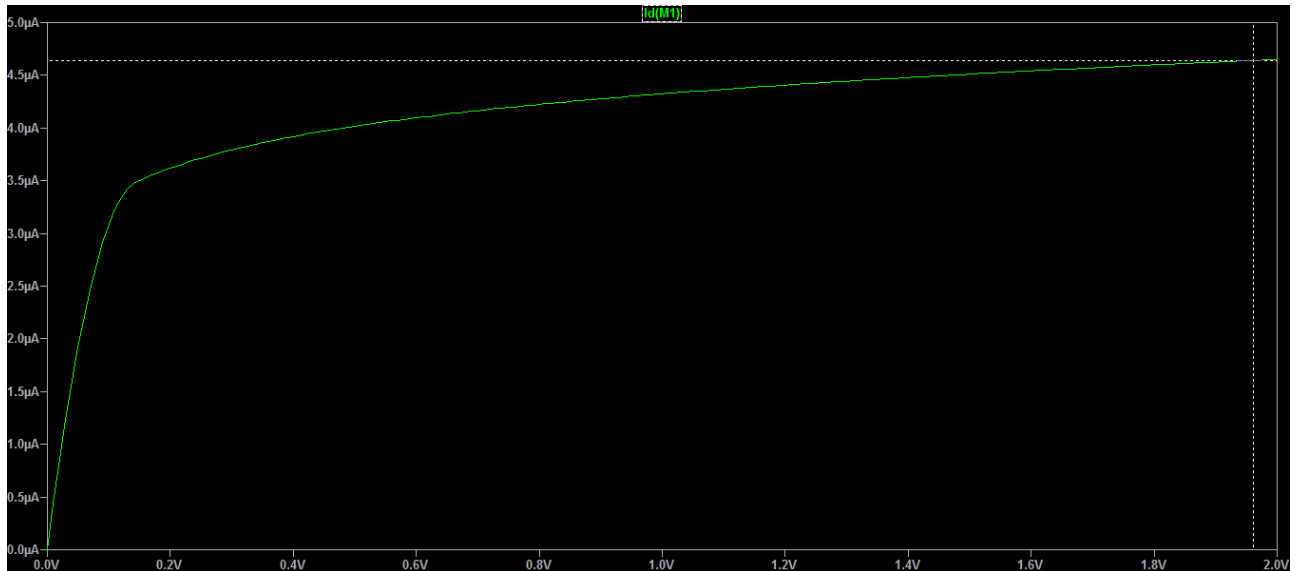


Figure 2:

4 Parte 3- Realizar simulação e calcular correntes.

Nesta etapa iremos realizar o passo 1 e 2 novamente porém mudaremos o valor do W (width) para 9.2um

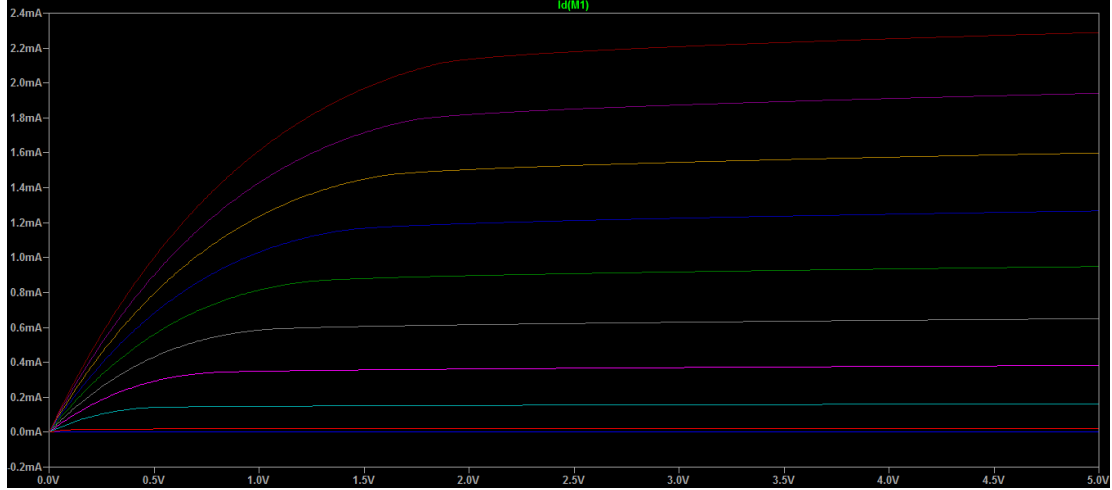


Figure 3: Simulação W = 9.6

Após a simulação começamos a calcular a corrente, porém devemos entender que quando $V_{GS} > V_{th}$ estamos na região de corte onde a corrente é zero, logo em seguida entramos na região de triodo, onde para calcular a corrente é $I_D = Kp(W/L)(V_{GS} - V_{th})V_{DS} - 1/2(V_{DS})^2$, quando $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ estamos na região saturada. Então iremos calcular a corrente para a região saturada utilizando a formula é $I_D = (1/2)Kp(W/L)(V_{GS} - V_{th})^2$ Como podemos perceber na Figura 4 que quando $V_{GS} < V_{th}$ temos a região de corte logo a corrente $I_D = 0$ e para $V_{GS} > V_{th}$ e $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ estamos na zona de saturação

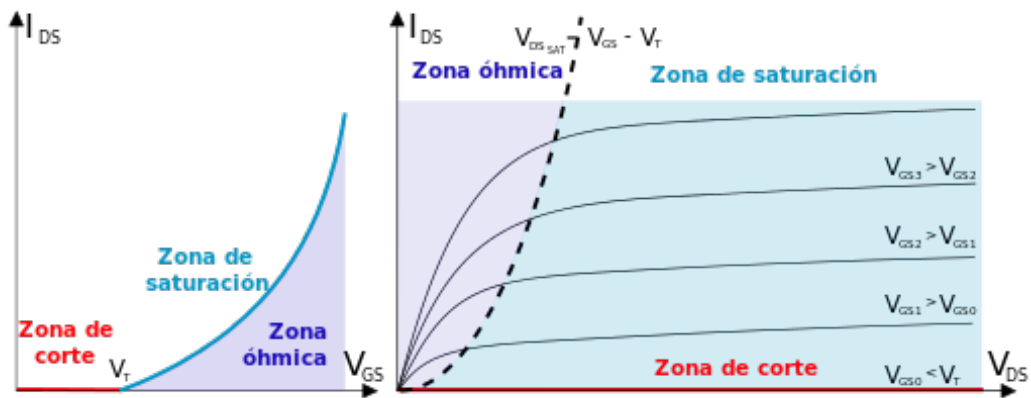


Figure 4: Zona de operação do transistor

Na tabela 3 temos os I_D calculados para a Figura 3, no caso percebemos uma pequena diferença entre os I_D calculado para o simulado

Table 3: I_D calculado para simulação da figura 3

Valores de ID na região de saturação	VGS	VTH	Kp	W	L
0,00001472	1	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$
0,00018032	1,5	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$
0,00052992	2	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$
0,00106352	2,5	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$
0,00178112	3	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$
0,00268272	3,5	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$
0,00376832	4	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$
0,00503792	4,5	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$
0,00649152	5	0,8	$120*10^{-6}$	$9,2*10^{-6}$	$1,5*10^{-6}$

5 Parte 4: Calcular resistência incremental entre Dreno e Fonte do transistor

Para figura 3 foi calculado a resistência incremental, entre o Dreno e Fonte do transistor, para uma variação de V_{ds} de aproximadamente 0,5V sem pontos que estão acima da zona de saturação os resultados obtidos estão na tabela 4.

Table 4: Calculo das Resistência incremental

Vgs	Id1	Id2	dV	delta Id	Resistencia incremental
1	1,5933057E-05	1,6025731E-05	0,5	9,26739999999988E-08	5395256,49049363
1,5	0,00014801091	0,00014894456	0,5	9,33650000000004E-07	535532,587157926
2	4,35775324958437E-16	0,0003656148	0,5	0,0003656148	1367,55951892701
2,5	0,00062799945	0,00063236861	0,5	4,36915999999996E-06	114438,473299217
3	0,00092431392	0,00093075883	0,5	6,44491000000003E-06	77580,6023668286
3,5	0,0012408277	0,0012498412	0,5	9,01349999999994E-06	55472,3470350034
4	0,0015713736	0,001582821	0,5	1,14474000000003E-05	43678,0404283931
4,5	0,0019111097	0,001925327	0,5	1,42173000000001E-05	35168,4215709029
5	0,002257317	0,0022743258	0,5	1,70088000000001E-05	29396,5476694416

Na tabela esta sendo mostrado apenas um calculo da resistência incremental pois para cada V_{GS} variado para um $\Delta V_{DSe} \Delta I_D$ temos uma resistência incremental igual. A ligação dos contactos do dreno e da fonte ao canal é feita através de materiais que apresentam uma certa resistência pelo que, em geral, deve ter-se em linha de conta a resistência associada ao dreno e a resistência associada à fonte. O efeito destas resistências nas tensões aos terminais do dispositivo podem ser expressas como $U'_{DS} = U_{DS} + (R_{fonte} + R_{dreno})I_D$ logo $U'_{GS} = U_{GS} + R_{fonte}I_D$. As características estacionárias vão portanto ser alteradas, nomeadamente a entrada em saturação, para as mesmas tensões U_{GSe} U_{DS} aos terminais, dá-se para um I_D mais baixo.

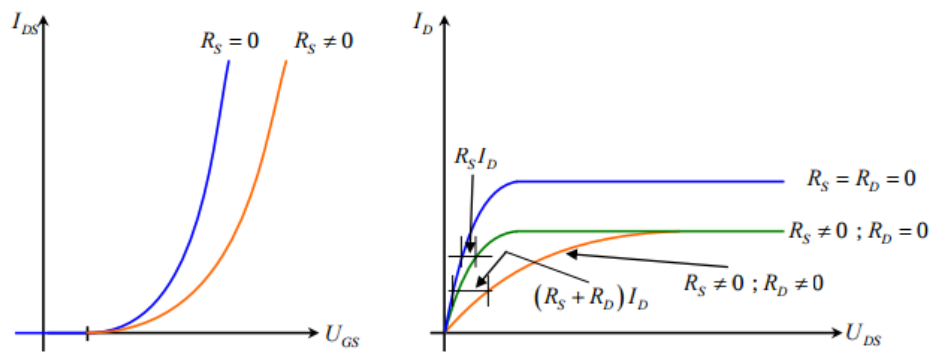


Fig. 4.24 – Efeito de R_s e R_D nas características estacionárias.

Figure 5: Gráfico da resistência incremental

Percebemos que ao aumentar a resistência de saída das fontes de corrente conseguimos um ganho maior, além de minimizar o erro de corrente.

6 Parte 5: Comparar pequenas variações em V_{GS} e V_{DS}

A partir de resultados obtidos na parte 3 do experimento referente a figura 3 onde nosso $W=9.6$ variamos alguns parâmetros para perceber se há alguma influencia na corrente de I_d , logo percebemos que variações de V_{GS} influencia um pouco mais na corrente que variações de V_{DS} . Segue os cálculos abaixo na tabela.

Table 5: Calculo de I_d para pequenas variações.

W	L	Vds	Vgs	Id Calculado	Id Simulado
9,2E-06	1,5E-06	2	1	0,000368	348.25973*10 ⁻⁶
1,012E-05	1,5E-06	2	1	0,0004048	384.73386*10 ⁻⁶
8,28E-06	1,5E-06	2	1	0,0003312	311.81927*10 ⁻⁶
9,2E-06	1,65E-06	2	1	0,00033454545454545	327.72891*10 ⁻⁶
9,2E-06	1,35E-06	2	1	0,0004088888888889	384.6806*10 ⁻⁶
9,2E-06	1,5E-06	2,2	1	0,00052992	349.74161*10 ⁻⁶
9,2E-06	1,5E-06	1,8	1	0,00023552	347.12711*10 ⁻⁶
9,2E-06	1,5E-06	2	1,1	0,00029808	31.977109*10 ⁻⁶
9,2E-06	1,5E-06	2	0,9	0,00044528	4.4696761*10 ⁻⁶

7 Conclusão

Após os experimentos realizados pode-se concluir que houve um aprendizado grande na parte de simulação elétrica devido não conseguir, aprendendo como usar o ltspice para simular um transistor com fontes V_{GS} e V_{DS} , aprender as influencias de um transistor e conhecer as regiões de atuação, também aprendemos a calcular a corrente de dreno em cada região: triodo e saturação como foi realizado nos experimentos acima juntamente com a relação corrente de dreno percebemos que ela não depende de V_{DS} e vimos que ela tem um relação quadrática com V_{GS} .