



Introdução a Microeletrônica

Relatório Transístores do tipo MOSFET

MATHEUS FRANCISCO BATISTA MACHADO

Professor:

TIAGO OLIVEIRA WEBERA

1 Introdução

O trabalho realizado 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.

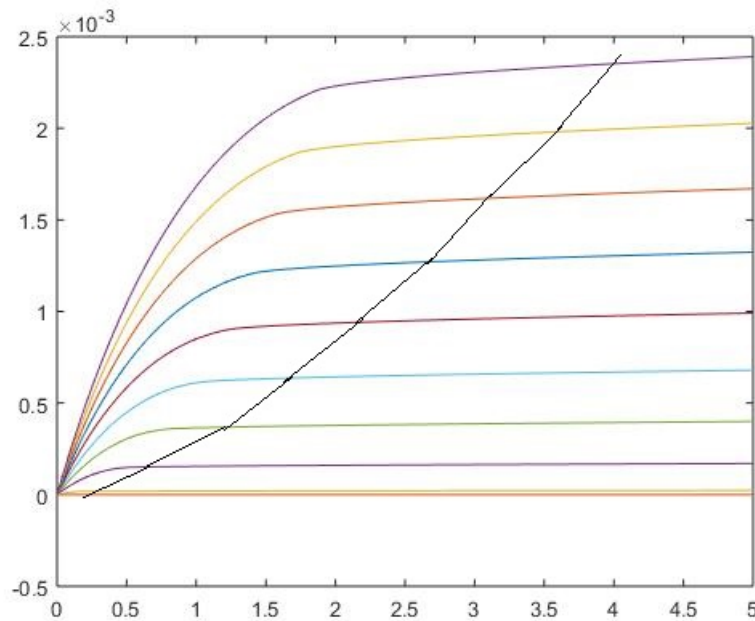


Figure 1: Simulação de um transistor tipo MOS

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 transístor 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 |
| 2,2 | 4 | 0,8 |
| 3,2 | 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 Vgs

| Valores de ID na região de saturação | VGS | VTH | Kp | 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 $I_D = (1/2)120 * 10^{-6}(3 * 10^{-6}/1.5 * 10^{-6})(0.2)^2 = 4.8 * 10^{-6}$.

Segue o gráfico da simulação realizada no ltspice.

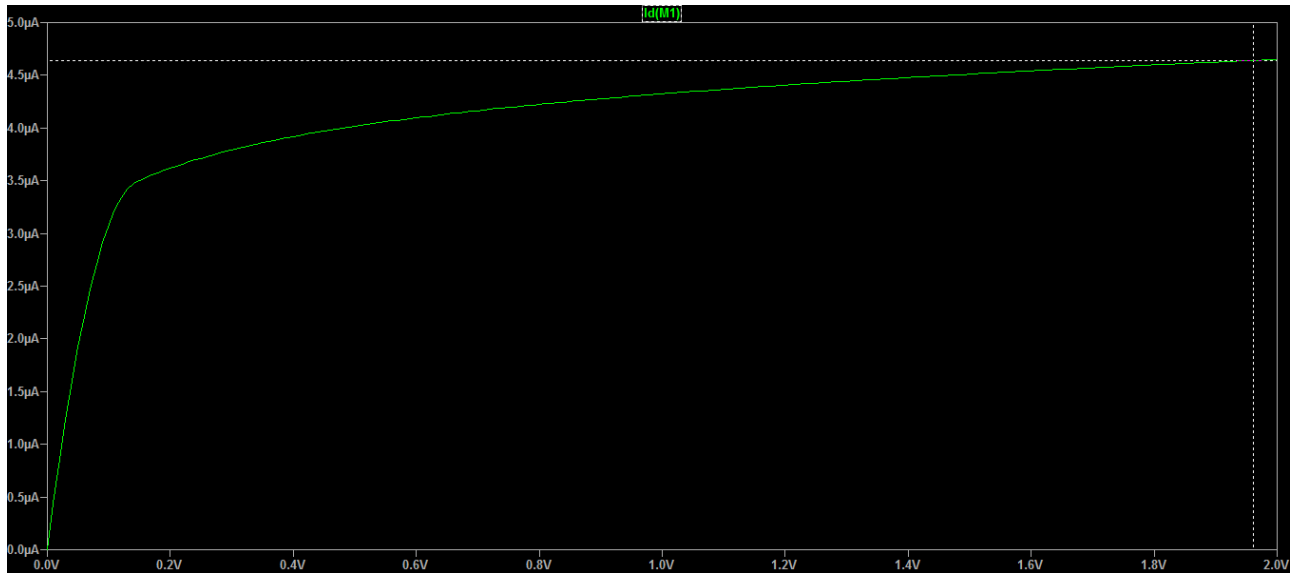


Figure 2:

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. Logo em seguida realizaremos os cálculos para correntes para cada dos gráficos.

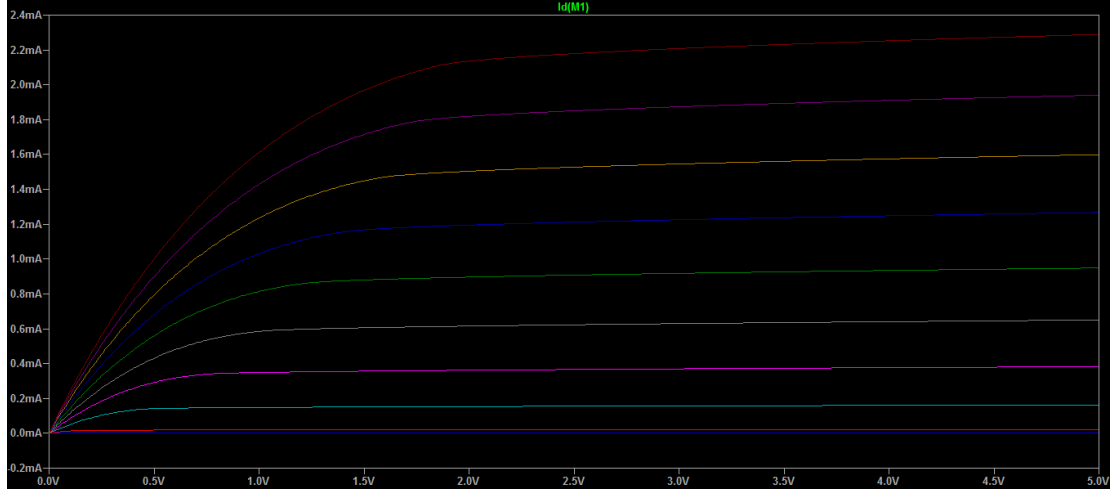


Figure 3: Simulação W = 9.6

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.

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 |

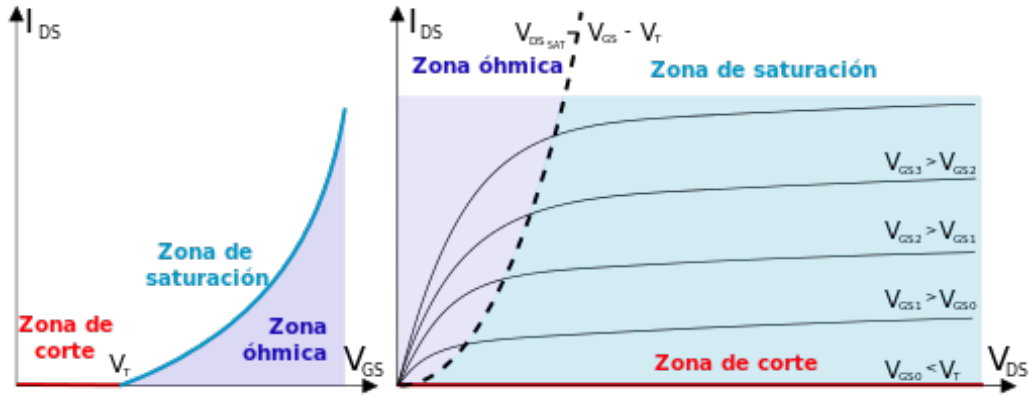


Figure 4: Zona de operação do transistor

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

| V_{gs} | $Id1$ | $Id2$ | dV | ΔId | 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 ΔV_{DS} e ΔI_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_{GS} e U_{DS} aos terminais, dá-se para um I_D mais baixo.

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

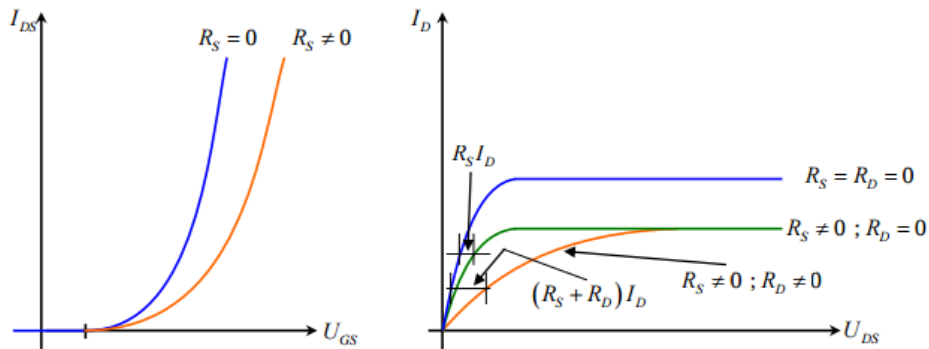


Fig. 4.24 – Efeito de R_S e R_D nas características estacionárias.

Figure 5: Gráfico da resistência incremental

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 | 0,00040888888888889 | 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} .