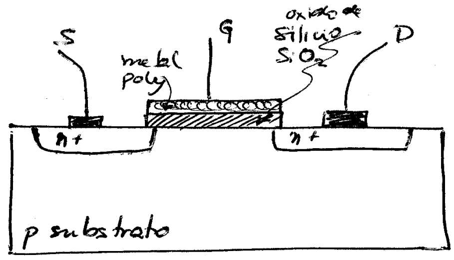
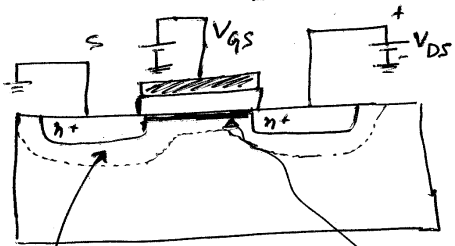
ELECTRÓNICA 1 — AULA 5

TRANSISTOR MOS



Metal oxide (MOS)
semiconductor
field effect transistor (FET)

criando um canal ...



Canal é formado quando

$$V_{GS} \geq V_T$$

V_T ≡ tensão de threshold (tensão limiar) — é um parâmetro da tecnologia ($0.6V \leq V_T < 2V$)

Equação fundamental do MOSFET (fácil de derivar — pág 362)

$$I_D = \overbrace{\mu_n C_{ox}}^{KP} \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

- μ_n — mobilidade dos electrões
- C_{ox} — capacidade por unidade de área
- W — largura do canal
- L — comprimento do canal

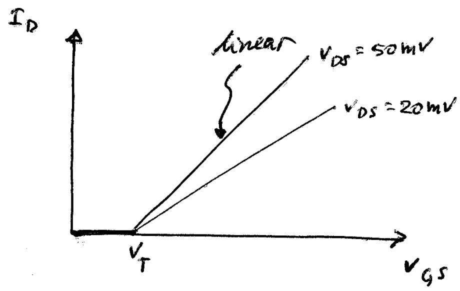
$\beta = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$ — parâmetro de transcondutância $\left[\frac{A}{V^2}\right]$

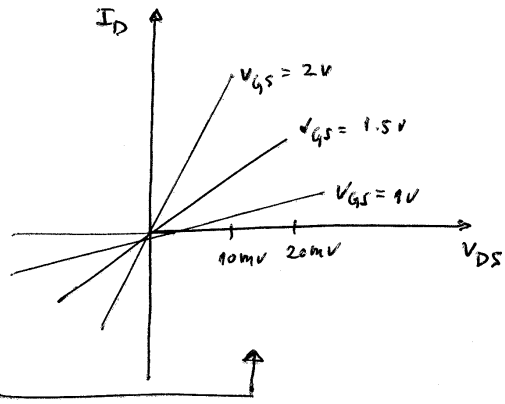
Assumindo que $V_{DS} \ll 1\,V$

$$I_D \simeq \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)\, V_{DS}$$ ZONA LINEAR

Curvas características

$I_D = f(V_{GS})$ $\qquad$ $I_D = f(V_{DS})$



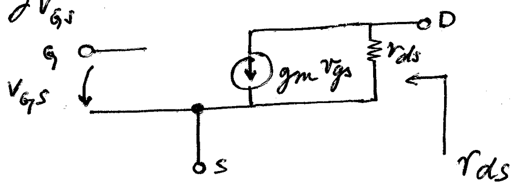


o transistor comporta-se como uma resistência controlada (por uma tensão)!

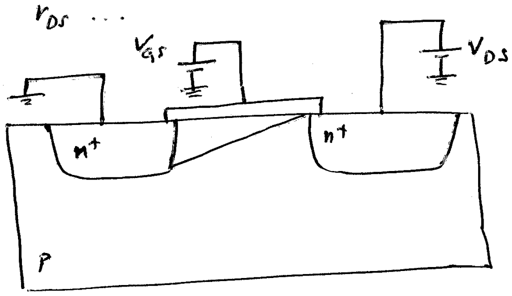
Modelo de pequeno sinal

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} V_{DS}$$

$$\frac{1}{r_{ds}} = \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)$$



Aumentando V_{DS} ...



Há canal nos dois extremos quando

$$V_{GS} \geq V_T$$

$$V_{GD} \geq V_T$$

O canal é cortado no dreno quando

$$V_{GD} < V_T$$

ou seja $V_{DG} > -V_T$

ou seja

$$V_D > V_G - V_T$$

ou seja $\boxed{V_{DS} > V_{GS} - V_T}$ cut off / pinch off

Continua a haver corrente ...

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

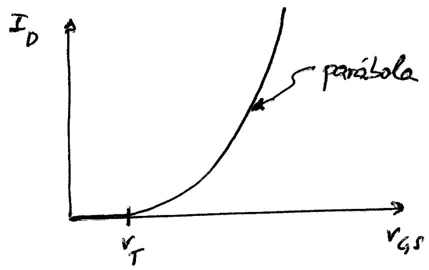
substituindo $V_{DS} = (V_{GS} - V_T)$

vem $I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$ // ZONA de Saturação

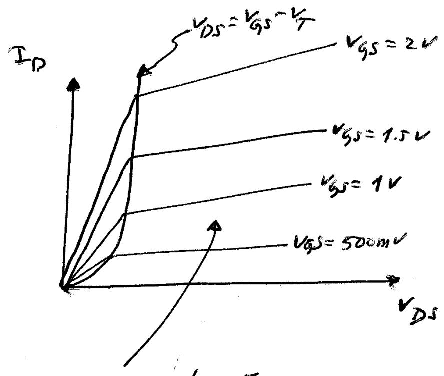
(I_D não depende mais de V_{DS} e apenas de $(V_{GS} - V_T)^2$

Curvas características

$I_D = f(V_{GS})$



$I_D = f(V_{DS})$



I_{DS} depende levemente de V_{DS} (porque o comprimento do canal diminui ...)

$$I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

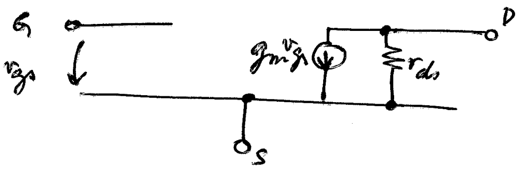
$\lambda = \frac{1}{V_E}$ ($V_E \sim 10, 100\ V$ — tensão de Early por analogia com o transistor bipolar)

Modelo de pequenos sinais

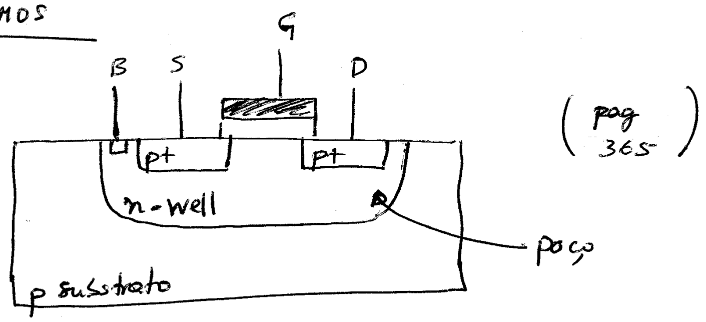
$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} = \frac{2 I_D}{(V_{GS} - V_T)}$$

$$\frac{1}{r_{ds}} = \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \cong \lambda I_D$$

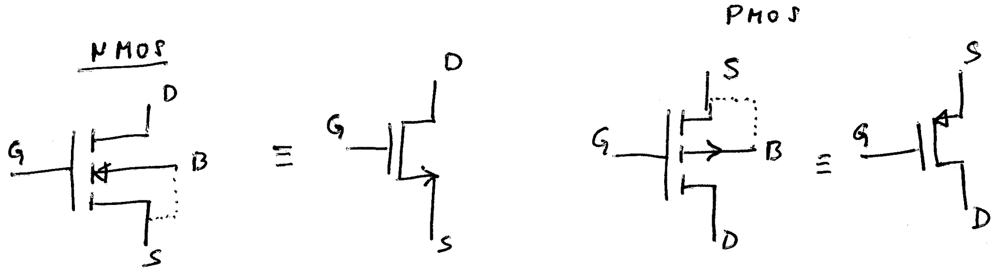
$$r_{ds} = \frac{V_E}{I_D} = \frac{1}{\lambda I_D}$$



TRANSISTOR PMOS

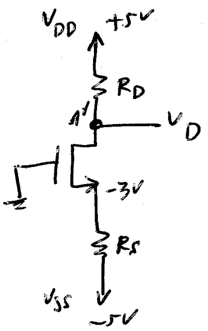


Símbolos para transistores MOS



ANÁLISE DC

1)



$V_D = 1V$

$V_G = 0$

$V_{GD} > V_T$ é falso

logo transistor na zona de saturação

$$I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_T)^2$$

$$0.4\times10^{-3} = \frac{1}{2}\times 20\times10^{-6}\times\frac{400}{10}(V_{GS}-2)^2$$

$\rightarrow$ $V_{GS} = 3V$

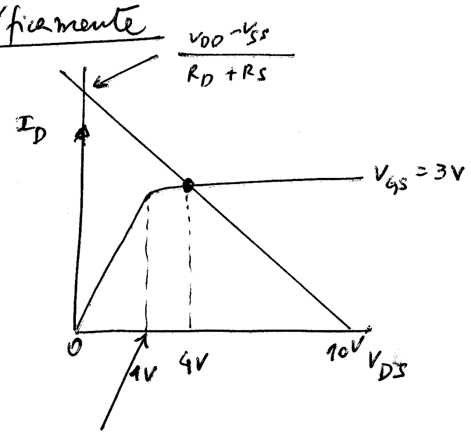
$$R_S = \frac{V_S - V_{SS}}{I_D}$$

logo $V_S = -3V$

$$R_S = \frac{-3-(-5)}{0.4\times10^{-3}} = 5k\Omega$$

e $$R_D = \frac{V_{DD}-V_D}{I_D} = \frac{5-1}{0.4\times10^{-3}} = 10k\Omega$$

Gráficamente

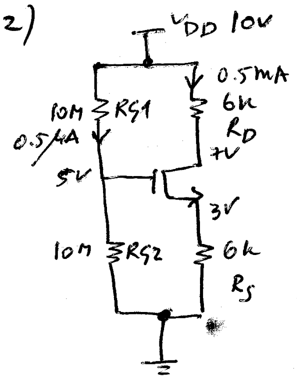


$V_{DS} = V_{GS} - V_T = 3 - 2 = 1V$

$$V_{DD} - V_{SS} = (R_D + R_S) I_D + V_{DS}$$

$$I_D = \frac{V_{DD}-V_{SS}}{R_D+R_S} - \frac{1}{R_D+R_S}V_{DS}$$

2)



$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1}+R_{G2}} = 5V$$

$$I_{BIAS} = \frac{V_{DD}}{R_{G1}+R_{G2}} = \frac{10}{20 \times 10^6} = 0.5\,\mu A$$

Vamos assumir que o transistor está a funcionar na zona de saturação

$$I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_T)^2$$

mas

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S I_D$$

logo

$$I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_G - R_S I_D - V_T)^2$$

$$I_D = \frac{1}{2} \times 1\times10^{-3} \times (5 - 6\times10^3 I_D - 1)^2$$

soluções ~~$I_D = 0.89\,mA$~~ e $I_D = 0.5\,mA$

~~$(R_S I_D = 5.34V)$~~

$V_S = 6K \times 0.5\,mA$

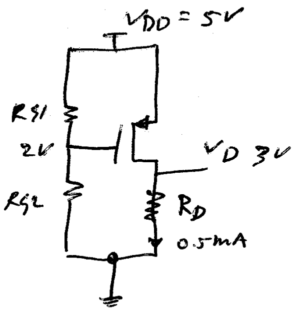
$V_S = 3V$

Tambem

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D$$
$$= 10 - 6k \times 0.5\,mA = 7V$$

$V_{DS} > V_{GS} - V_T \longrightarrow$ transistor em zona de saturação, como tínhamos assumido

3)



$$I_D = \frac{1}{2}\mu_p C_{ox}\frac{W}{L}\left(V_{SG} - |V_T|\right)^2$$

$$0.5\times10^{-3} = \frac{1}{2}\times 1\times10^{-3}\left(5 - V_G - 1\right)^2$$

$$V_G = 2\,V$$

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{3V}{0.5mA} = 6\,K$$

$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1}+R_{G2}}V_{DD}$$

Fazendo $R_{G1} = 3\,M$

vem $R_{G2} = 2\,M$