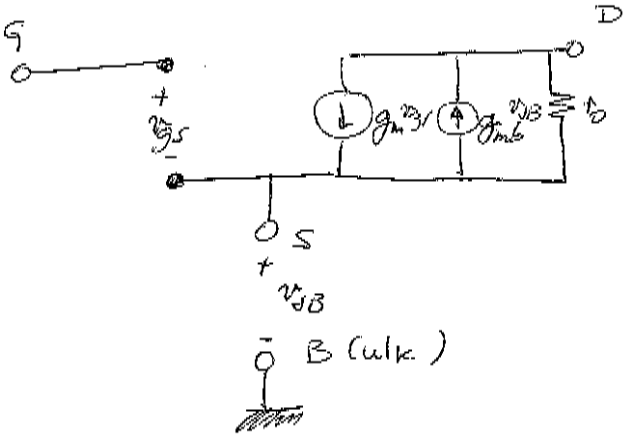
AULA 4 | MICROELECTRÓNICA

MODELO PARA PEQUENOS SINAIS PARA MOSFETS, MODELOS E PARÂMETROS SPICE

Modelo p/ pequenos sinais a baixas frequências (i.e., desprezando as capacidades intrínsecas e parasitas do MOSFET)



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

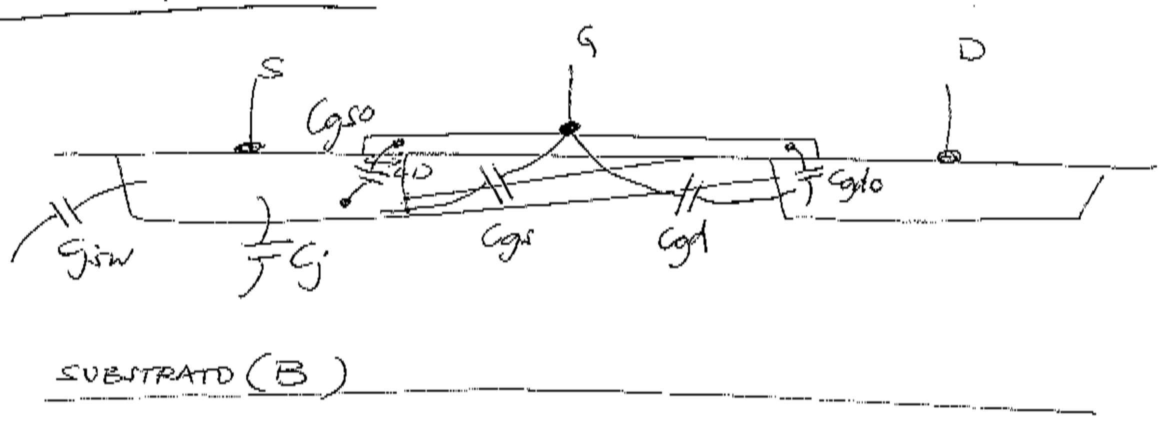
$$V_T = V_{T0} + \gamma\left(\sqrt{V_{SB} + 2\phi} - \sqrt{2\phi}\right)$$

$$g_m = \left.\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}\right|_{V_{GS} = V_{GSQ}} = \frac{2\mu C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T) = \frac{2 I_D}{(V_{GS} - V_T)}$$ $\left[g_m \text{ bipolar} = \frac{I_C}{\phi_T} \right.$ (ϕ_T = 25 mV)

$$g_{mb} = \frac{\partial I_D}{\partial V_{BS}} = -2 \frac{\mu C_{ox}}{2} (V_{GS} - V_T) \gamma \frac{1}{\sqrt{V_{SB} + 2\phi}} = -\frac{2 I_D}{(V_{GS} - V_T)} \gamma \frac{1}{\sqrt{V_{SB} + 2\phi}} = -\frac{g_m \gamma}{\sqrt{V_{SB} + 2\phi}}$$

$$\frac{1}{r_o} = \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = \lambda I_D$$

MODELO PARA FREQ ELEVADAS



1 – Capacidades de junção CJ (SOURCE, DRAIN)

$C_{sb} = C_{J_S} = C_{bottom_S} + C_{sidewall_S} = \frac{CJ \times AD}{\sqrt{1+\frac{V_{DB}}{\phi_0}}} + \frac{CJSW \times PD}{\sqrt{1+\frac{V_{DB}}{\phi_0}}}$

$C_{db} = C_{J_D} = C_{bottom} + C_{sidewall} = \frac{CJ \times AS}{\sqrt{1+\frac{V_{SB}}{\phi}}} + \frac{CJSW * PS}{\sqrt{1+\frac{V_{SB}}{\phi}}}$

Considere WORST CASE

2 – Capacidades de overlap

$C_{gs0} = C_{gd0} = C_{ox}\ LD \times W = CGSO \times W$

$C_{gd0} = CGDO \times W$

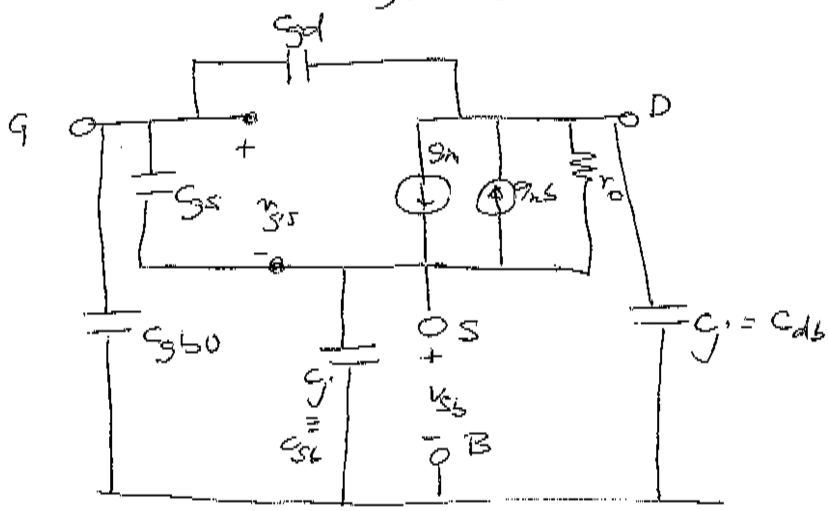
3 – capacidade do canal c_{gs}, c_{gd}

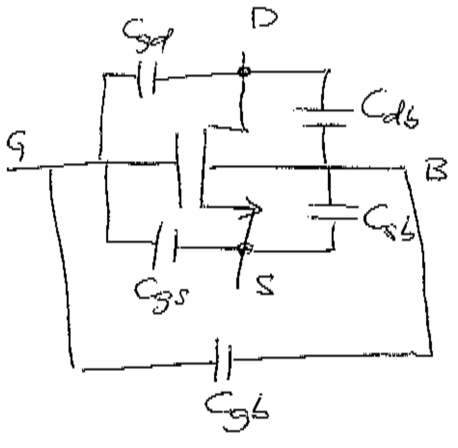
na zona linear $c_{gs} = \frac{1}{2} C_{ox} W \times L$

$c_{gd} = \frac{1}{2} C_{ox} W \times L$

na zona saturação $c_{gs} \cong (\frac{2}{3}) C_{ox} W \times L$

$c_{gd} \cong 0$



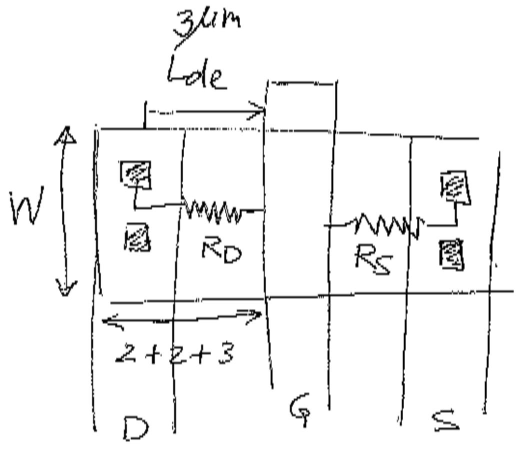


MODELOS SPICE

LEVEL 1

.MODEL C2ONMOS NMOS LEVEL 1 VTØ GAMMA PHI (NSUB NSS TPG)
+ KP TOX LAMBDA LD UØ
+ RSH
+ CGBO CGDO CGSO PB PBSW CJ CJSW MJ MJSW

.MODEL C2ONMOS NMOS LEVEL 2



$R_S = R_D = RSH \times \frac{L_{gate-diffusion\ edge}}{W}$

Ω/□

LEVEL 2 (NÍVEL 2) - inclui termos de segunda ordem para modelizar efeitos em transistores com L < 2µm

LEVEL 3 - idem, com alguns parâmetros empíricos

Finalmente

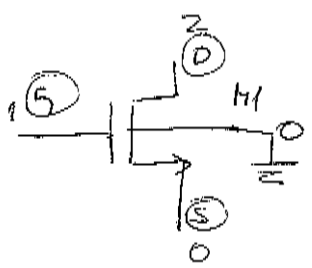
BSIMv1 (LEVEL 4)
BSIM v2
BSIM v3 (LEVEL 8)

(L < 1µm)

modelos muito complexos (+60 parâmetros)

utilizados para modelizar transistores submicron (~120 parâmetros)

Todos os parâmetros são funções das dimensões (W, L) dos transistores



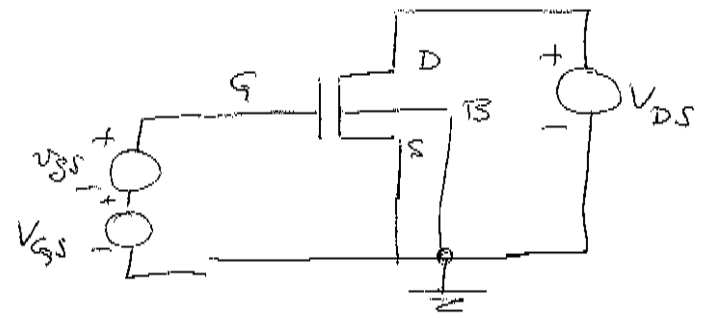
M1 2 1 ØØ C2ONMOS W = 4u L = 2u

+ AD = 28E-12 AS = 28E-12 PD = 18E-6 PS = 18E-6

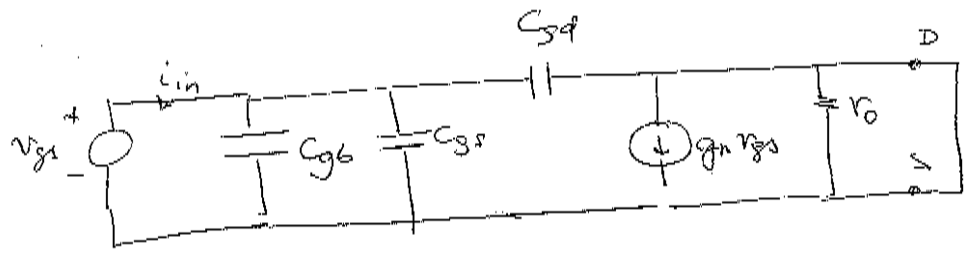
NRS (= 7/4) = 1.7 NRD = 1.7

AULA 4 (CONT.)

Cálculo da frequência para a qual o ganho em corrente do transistor é igual a 1 — f_T



circuito equivalente



(as capacidades C_{sb} e C_{dB} não entram porque a sua tensão é fixa)

$$i_{in} = v_{gs} \cdot j\omega\,(C_{gb} + C_{gs} + C_{gd})$$

$$i_{out} = g_m v_{gs} \qquad (\text{assumindo que } v_{gs} \cdot j\omega C_{gd} \ll g_m v_{gs})$$

$$\left|\frac{i_{out}}{i_{in}}\right| = \frac{g_m}{\omega\,(C_{gs} + C_{gs} + C_{gd})} \simeq \frac{KP\,\frac{W}{L}\,(V_{GS} - V_T)}{2\pi f\, C_{gs}} = \frac{KP\,\frac{W}{L}\,(V_{GS} - V_T)}{2\pi f\,\frac{2}{3} W L\, C_{ox}}$$

$$= \frac{3}{4}\,\frac{KP}{\pi f\, L^2 C_{ox}}\,(V_{GS} - V_T)$$

$$\left|\frac{i_{out}}{i_{in}}\right| = 1 \Rightarrow f_T = \frac{3}{4\pi}\,\frac{KP}{L^2 C_{ox}}\,(V_{GS} - V_T)$$

não depende de W
aumenta para L mínimo
aumenta com $(V_{GS} - V_T)$

exercício
Calcular o f_T máximo para a tecnologia CN20

f_T NMOS =
f_T PMOS =