

EE 530 Eletrônica Básica I

AMPLIFICADORES CMOS

Prof. Pedro Xavier

Características IxV

- Corrente de dreno $v = -\mu_n E$

$$I = Q \cdot v$$

$$v = +\mu_n \frac{dV}{dx}$$

$$Q(x) = WC_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}]$$

$$I_D = WC_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \mu_n \frac{dV(x)}{dx}$$

$$\int_0^L I_D dx = \int_0^{V_{DS}} WC_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \mu_n dV$$

$$I_D L = \mu_n C_{ox} W \left[\int_0^{V_{DS}} [V_{GS} - V_{TH}] dV - \int_0^{V_{DS}} V(x) dV \right]$$

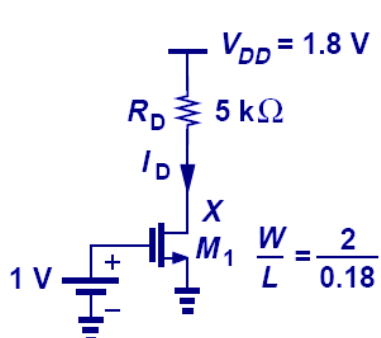
$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left[2(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

μ : mobilidade dos portadores
[cm²/(V·s)]

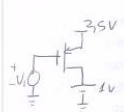
Regiões de operação

- Exemplo 6.6 - Razavi: Calcule I_D e V_D , se V_G aumentar de 10 mV, qual o novo valor de V_D ?



$$\mu_n C_{ox} = 100\ \mu\text{A}/\text{V}^2 \text{ and } V_{TH} = 0.4\text{ V.}$$

* Exemplo 6.6.5



$$\begin{aligned}
 V_{TH} &= 0.5\text{ V} \\
 V_{GS} &= V_{DD} - V_D \\
 V_{GS} &= |V_{in} - V_{D1}| = 2.5 - V_{in} \\
 V_{DS} &= V - 2.5 \\
 V_{DS} &= 4.5\text{ V}
 \end{aligned}$$

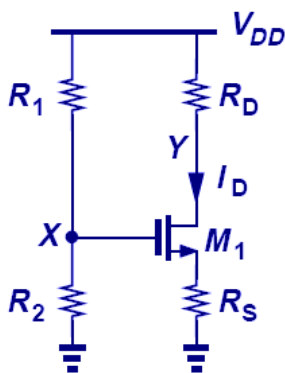
- Corte $\Rightarrow V_{GS} \leq V_{TH}$
 $2.5 - V_{in} \leq 0.5 \Rightarrow V_{in} \geq 2\text{ V} \Rightarrow 2\text{ V} \leq V_{in} \leq 2.5\text{ V}$
- Saturação $\Rightarrow V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$
 $4.5 > 2.5 - V_{in} - 0.5 \Rightarrow V_{in} > 0.5\text{ V} \Rightarrow 0.5\text{ V} < V_{in} < 2\text{ V}$
- Triodo $\Rightarrow V_{in} \leq 0.5\text{ V} \Rightarrow 0.5\text{ V} < V_{in} \leq 0.5\text{ V}$

Polarização

- Existem várias técnicas de polarização, vamos estudar duas:
 - Polarização por divisor resistivo
 - Autopolarização
- OBS: O transistor deve estar polarizado na região de saturação para funcionar como amplificador.

Polarização

- Polarização por divisor resistivo



$$V_X = \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} R_2$$

$$V_{GS} = V_X - I_D R_S$$

$$\begin{cases} V_{GS} = \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} R_2 - I_D R_S \\ I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \end{cases}$$

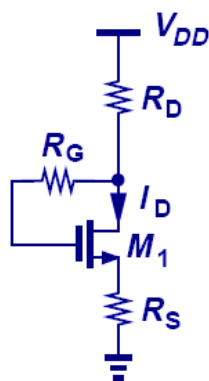
$$V_{GS} = -(V_1 - V_{TH}) + \sqrt{V_1^2 + 2V_1 \left(\frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} - V_{TH} \right)}$$

$$V_1 = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} R_S}$$

Prof. Pedro Xavier

Polarização

- Autopolarização



$$I_G = 0 \Rightarrow V_D = V_G \Rightarrow V_{DS} = V_{GS}$$

$$V_{DS} = V_{GS} = V_{DD} - I_D R_D - I_D R_S$$

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

$$\begin{cases} V_{GS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \\ I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \end{cases}$$

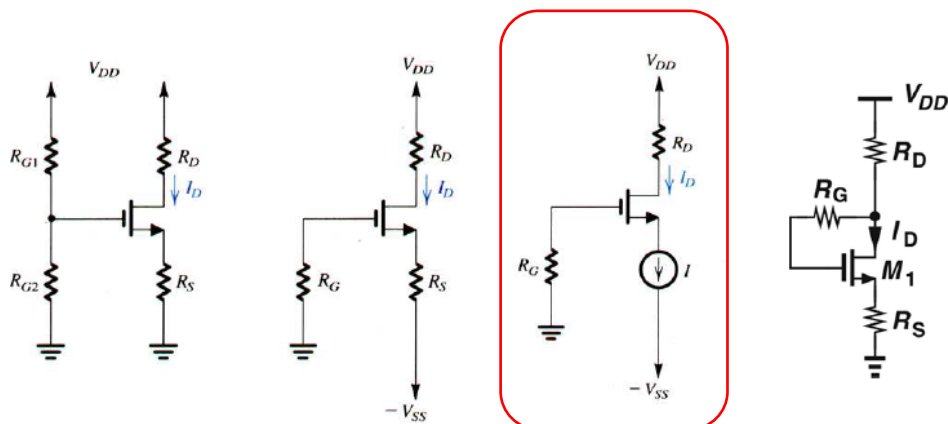
Prof. Pedro Xavier

Polarização de circuitos amplificadores MOS

Divisor resistivo

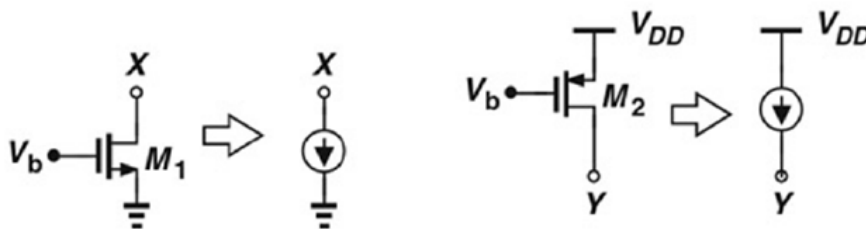
Fonte dual

Fonte de corrente

Resistor R_G 

Prof. Pedro Xavier

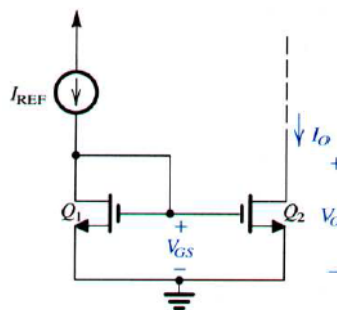
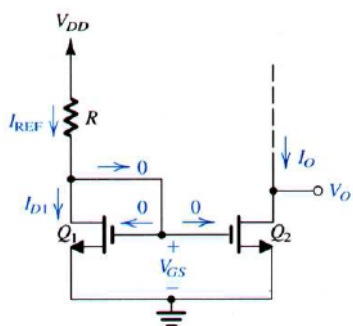
Realização de Fontes de Corrente



OBS: Para esta aproximação, devemos garantir que o transistor opere na região de saturação

Prof. Pedro Xavier

Fonte de corrente básica (espelho de corrente)



$$I_{REF} = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{R}$$

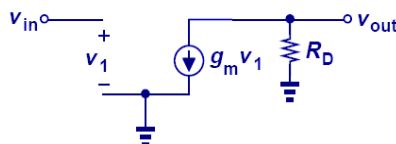
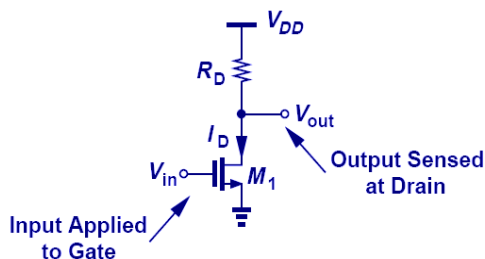
$$I_{REF} = I_{D1} = \frac{1}{2} k_n \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS} - V_t)^2$$

$$I_O = I_{D2} = \frac{1}{2} k_n \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{GS} - V_t)^2$$

$$\frac{I_O}{I_{REF}} = \frac{\left(\frac{W}{L} \right)_2}{\left(\frac{W}{L} \right)_1}$$

Configurações básicas de amplificadores MOS

- Fonte comum



$$\lambda = 0$$

$$A_v = -g_m R_D$$

$$A_v = -\sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_D} R_D$$

$$I_G \rightarrow 0 \Rightarrow A_i \rightarrow \infty$$

$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} = R_D$$

Condição para operar na saturação

$$V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$$

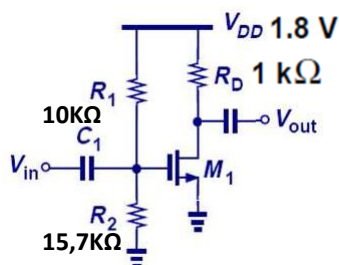
$$V_{DD} - R_D I_D > (V_{GS} - V_{TH})$$

$$R_D I_D < V_{DD} - (V_{GS} - V_{TH})$$

Prof. Pedro Xavier

Exercício

- A_v ?; z_{in} ?; z_{out} ?; limites v_{in} ?

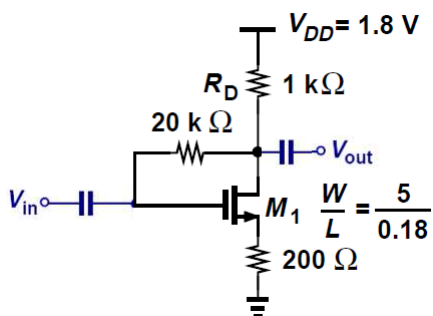


$$\begin{aligned} \mu_n C_{ox} &= 100 \mu\text{A}/\text{V}^2 \\ V_{TH} &= 0.5 \text{ V} \\ \lambda &= 0 \\ \frac{W}{L} &= \frac{10}{0.18} \end{aligned}$$

Prof. Pedro Xavier

Exercício para nota

- A_v ?; z_{in} ?; z_{out} ?; limites v_{in} ?

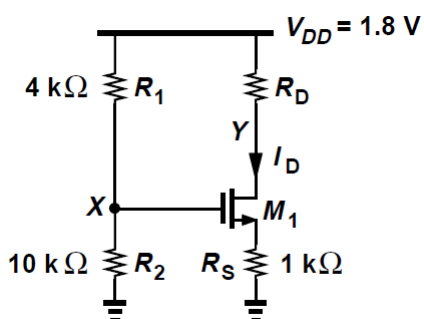


$$\begin{aligned} \mu_n C_{ox} &= 100 \mu\text{A}/\text{V}^2 \\ V_{TH} &= 0.5 \text{ V} \\ \lambda &= 0 \\ \frac{W}{L} &= \frac{5}{0.18} \end{aligned}$$

Prof. Pedro Xavier

Exemplo 7.1 RAZAVI

- Máximo R_D para saturação?

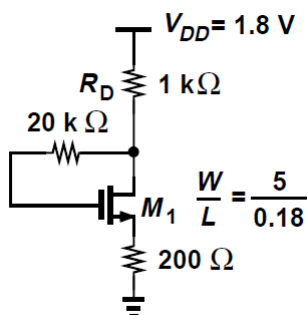


$$\begin{aligned}\mu_n C_{ox} &= 100 \mu\text{A}/\text{V}^2 \\ V_{TH} &= 0.5 \text{ V} \\ \lambda &= 0 \\ W/L &= 5/0.18\end{aligned}$$

Prof. Pedro Xavier

Exemplo 7.3 RAZAVI

- Valor de R_D para $I_D = I_{D0}/2$?



$$\begin{aligned}\mu_n C_{ox} &= 100 \mu\text{A}/\text{V}^2 \\ V_{TH} &= 0.5 \text{ V} \\ \lambda &= 0\end{aligned}$$

Prof. Pedro Xavier

Fontes de figuras da aula

- Aula do prof. Fabiano Fruett
- Fundamentos de Microeletrônica (Razavi)
- Microeletrônica (Sedra)

Prof. Pedro Xavier

Sugestão de estudo

- Razavi, cap. 7
- Sedra/Smith cap. 5 seções 5.4 até 5.6
 - Exemplos, exercícios e problemas correspondentes

Para saber mais:

Paul R. Gray e Robert G. Meyer, Analysis and Design of Analog integrated Circuits, John Wiley & Sons

T. Tsvividis, Design considerations in single-channel MOS analog integrated circuits – A tutorial”, IEEE JSSC SC 13, pp 383-391, junho de 1978