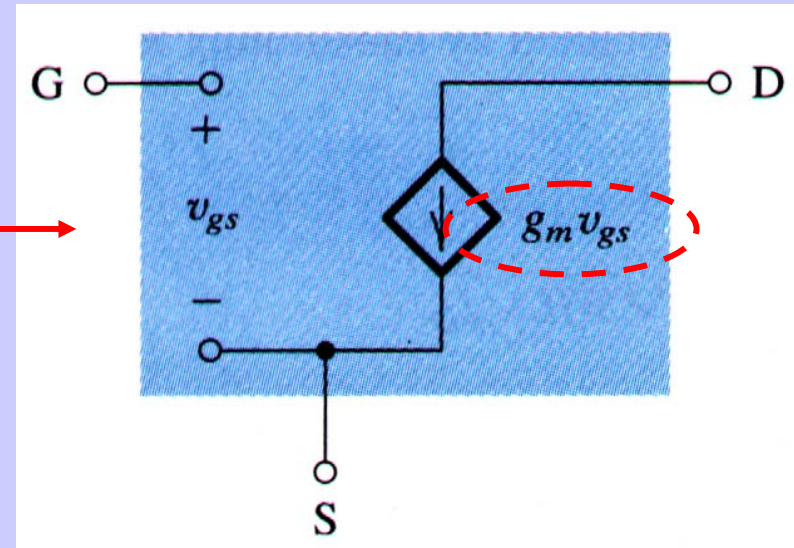
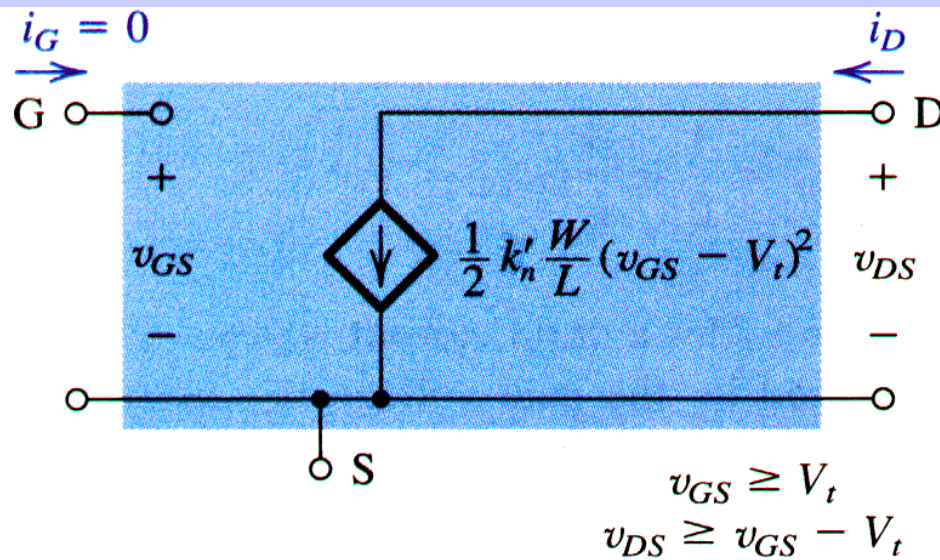


Na 24^a Aula: O MOSFET como Amplificador

Ao final desta aula você deve ter se tornado apto a:

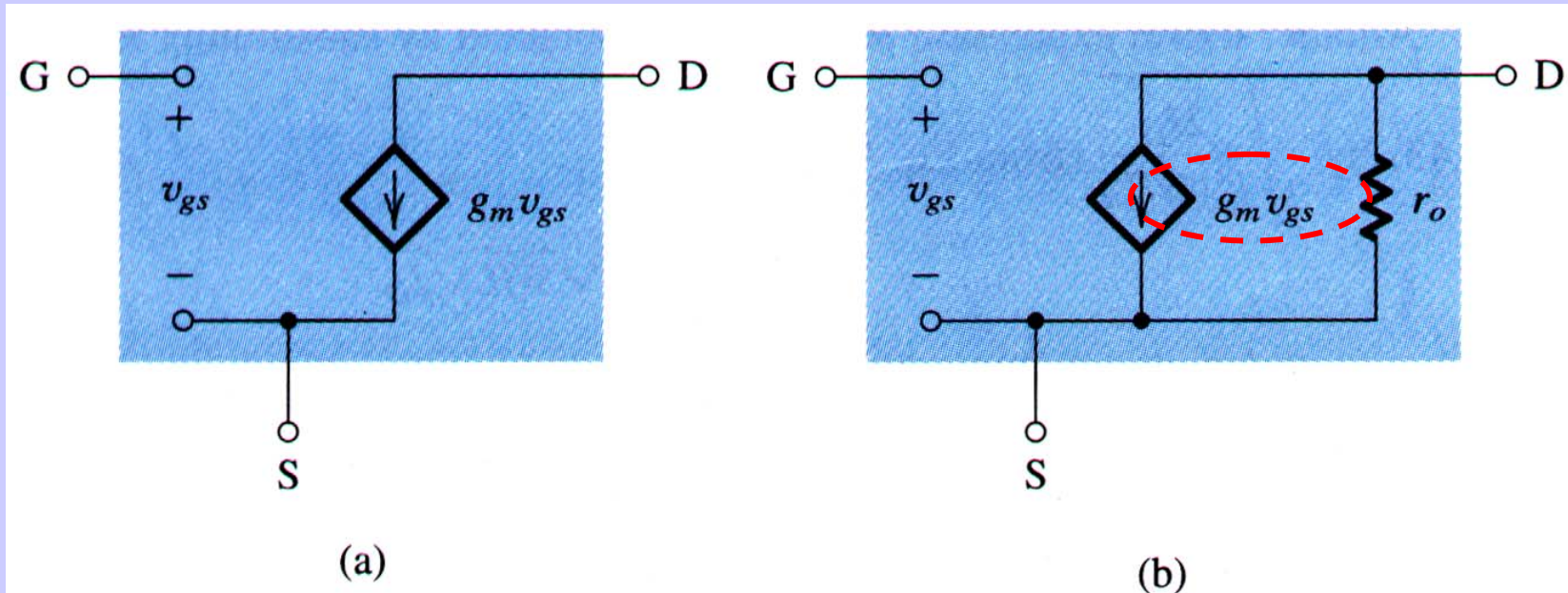
- **Distinguir a aplicação do MOSFET polarizado no corte, na região triodo e na região de saturação**
- **Explicar a utilização do MOSFET como amplificador quando opera na região de saturação**
- **Empregar o Modelo para pequenos sinais para calcular o ganho de tensão em amplificadores como MOSFET**

Modelos Equivalentes de Circuitos para Pequenos Sinais



$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t)$$

Modelos Equivalentes de Circuitos para Pequenos Sinais

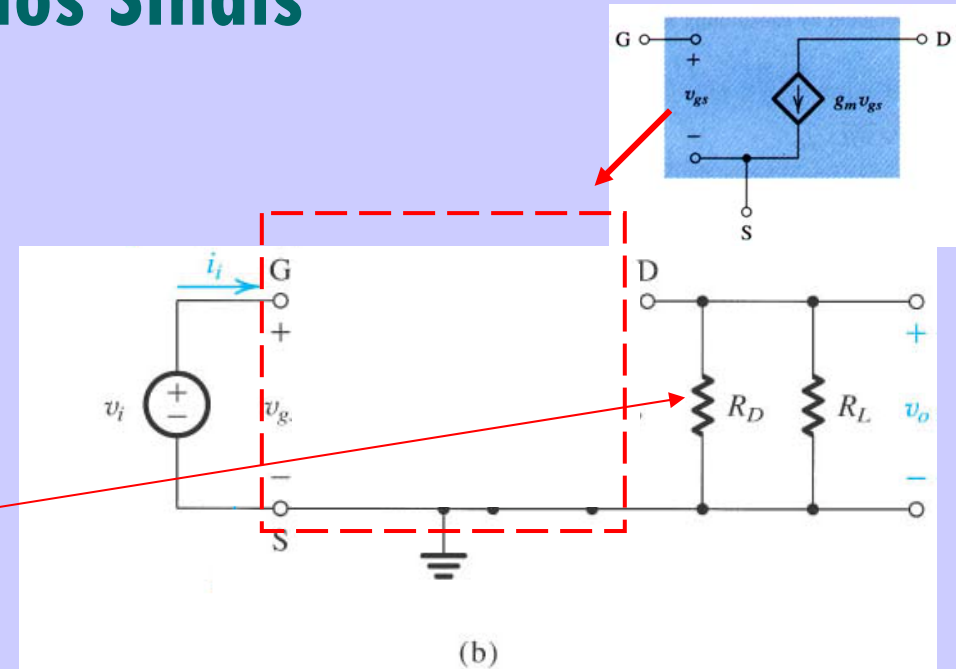
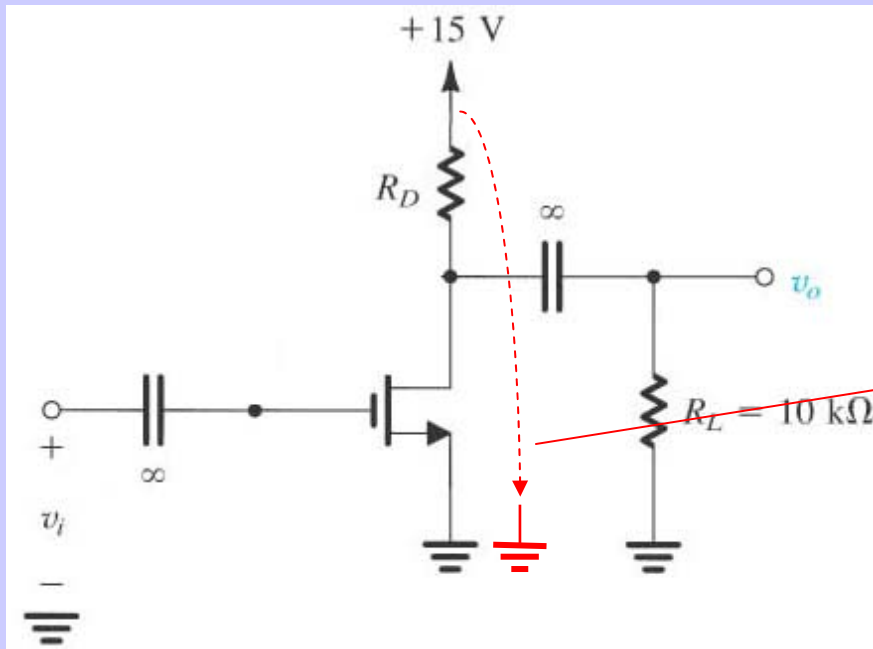


$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2}$$

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t)$$

$$r_o \cong \frac{V_A}{I_D}$$

Modelos Equivalentes de Circuitos para Pequenos Sinais



Ganho de Tensão

$$A_V = \frac{v_d}{v_{gs}} = -g_m (R_D \parallel r_o \parallel R_L)$$

24^a Aula:

O MOSFET como Amplificador II

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Empregar o Modelo para pequenos sinais para calcular o ganho de tensão em amplificadores como MOSFET
- Identificar as configurações básicas de amplificadores MOSFET empregados em Circuitos Integrados
- Explicar a necessidade de polarizar para I_D constante
- Determinar o ganho de tensão nas configurações fonte comum, porta comum e dreno comum

NMOSFET

Equações de $I_D = f(V_{GS}, V_{DS})$ de 1ª Ordem

- **Região Triodo:** $0 < V_{DS} \leq V_{GS} - V_t$

Parabólica

$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_t) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

Linear (se $V_{DS} \ll V_{GS} - V_t$)

$$I_D \approx \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t) v_{DS}$$
$$r_{DS} = 1 / \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t)$$

- **Região de Saturação:** $0 < V_{GS} - V_t \leq V_{DS}$

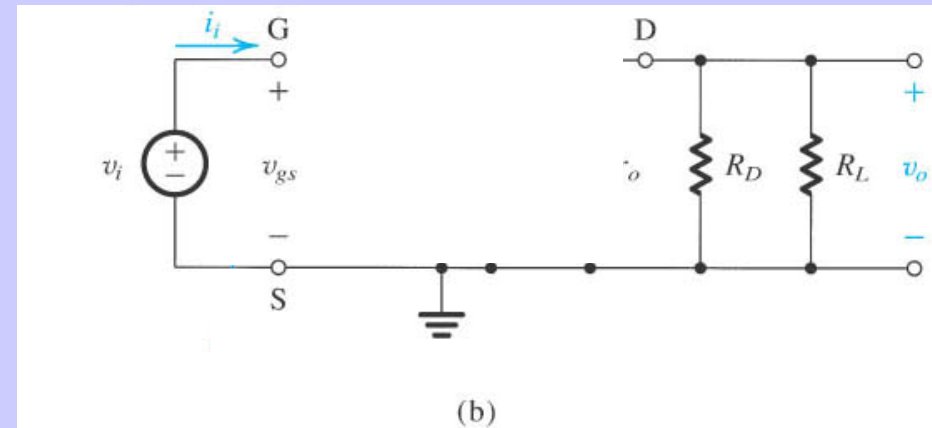
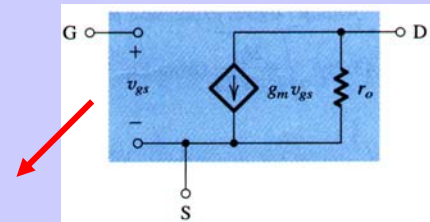
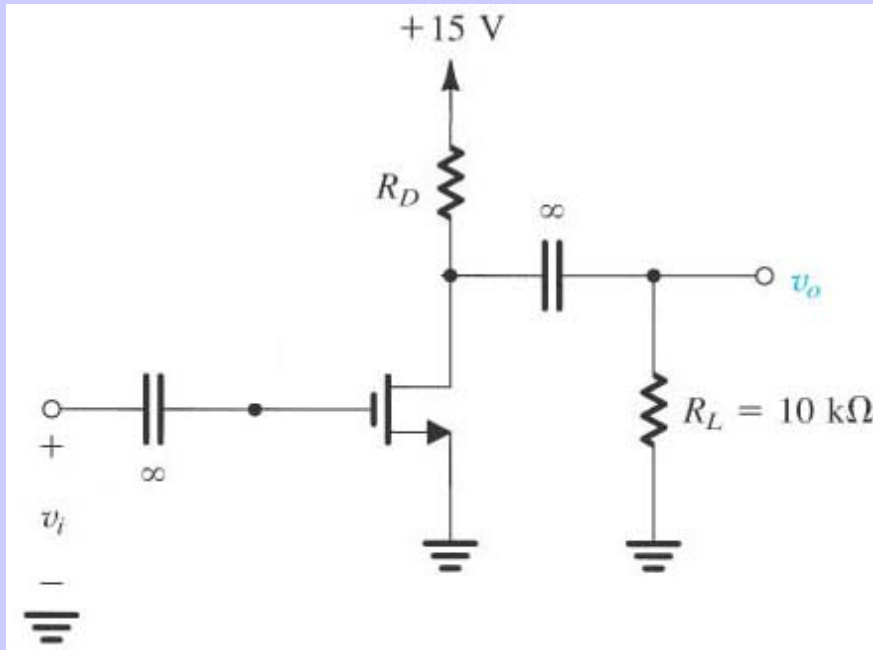
$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2}$$

onde $k'_n = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{x_{ox}} = \mu_n \cdot C_{ox}$ } (Parâmetro de Transcondutância do processo [A/V²])

- **Região de Corte:** $V_{GS} \leq V_t$ ou $V_{GS} - V_t \leq 0$

$$I_D = 0$$

Modelos Equivalentes de Circuitos para Pequenos Sinais



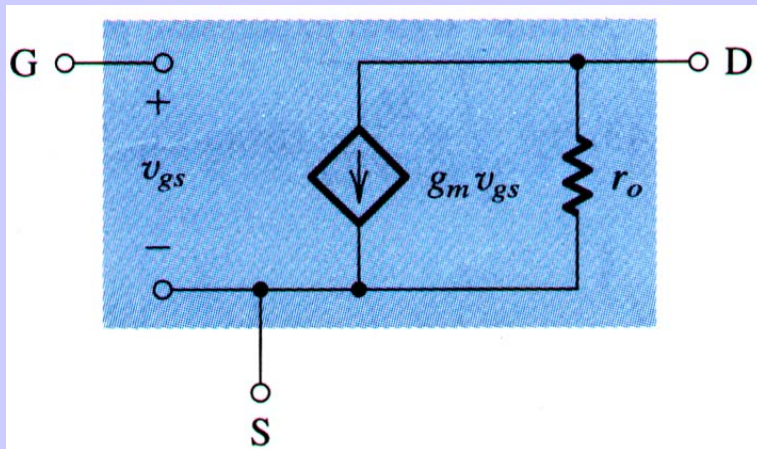
Ganho de Tensão

$$A_V = \frac{v_d}{v_{gs}} = -g_m (R_D \parallel r_o \parallel R_L)$$

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t)$$

$$r_o \cong \frac{V_A}{I_D}$$

Modelos Equivalentes de Circuitos para Pequenos Sinais



$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{[(V_{GS} + v_{gs}) - V_t]^2}{2} \text{ (saturação)}$$

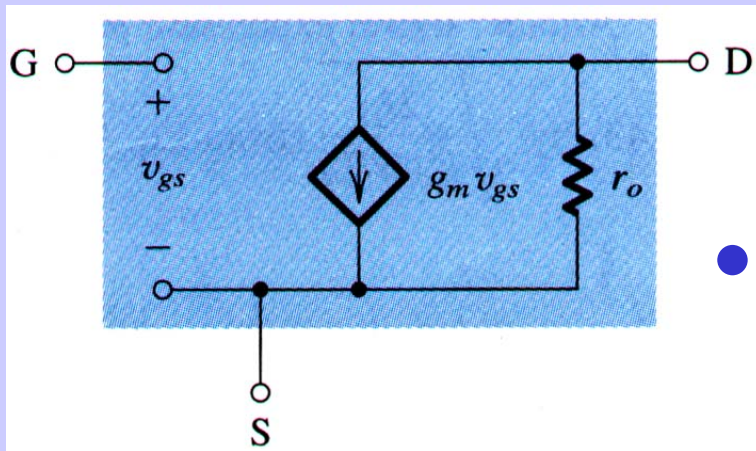
$$I_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 + k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) v_{GS} + \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} v_{GS}^2$$

Pequenos Sinais!

$$\frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} v_{GS}^2 \ll k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) v_{GS} \rightarrow v_{GS} \ll 2(V_{GS} - V_t)$$

Modelos Equivalentes de Circuitos para Pequenos Sinais

Pequenos Sinais!



$$v_{GS} \ll 2(V_{GS} - V_t)$$

- $g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = k'_n \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_t)$

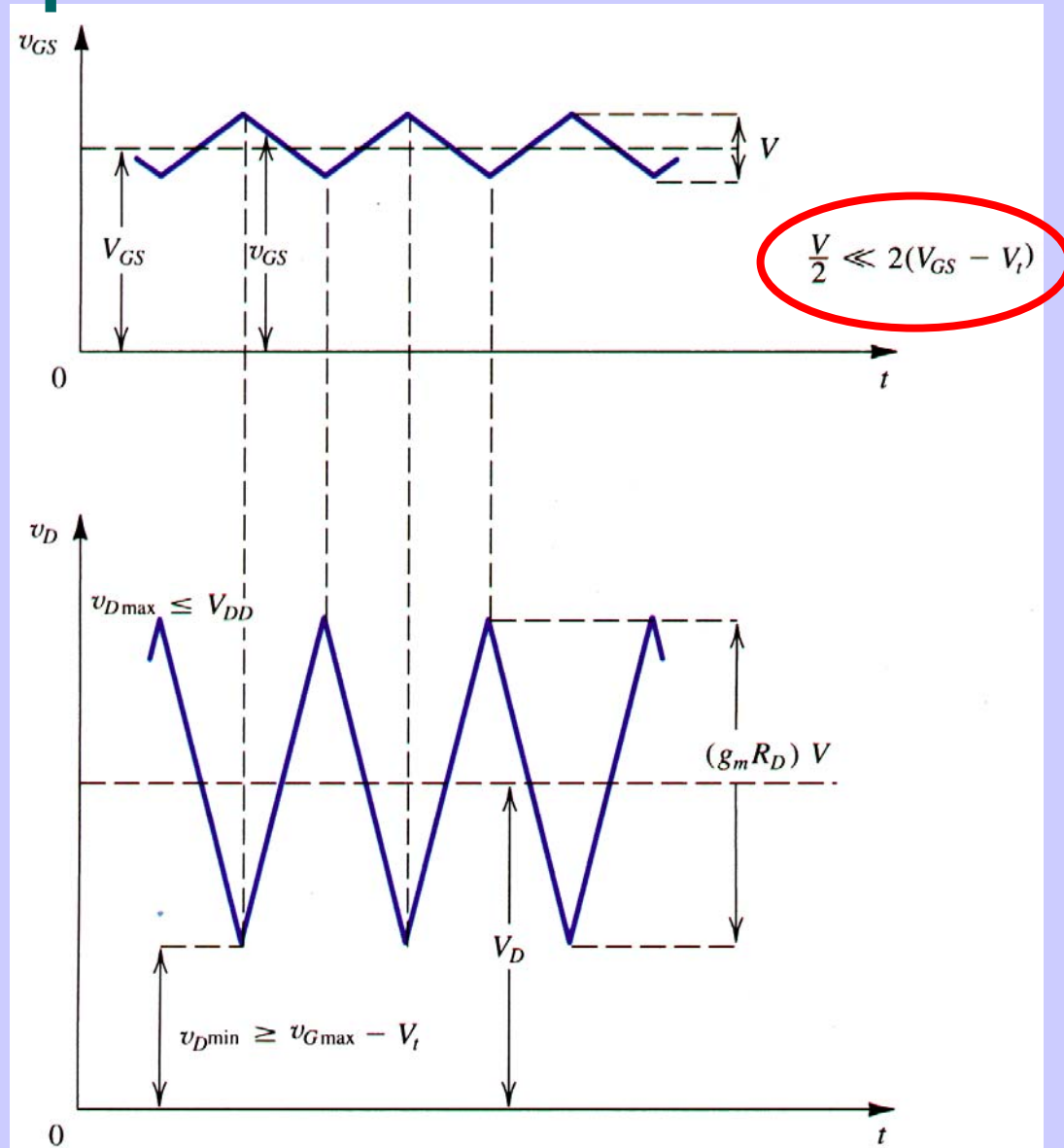
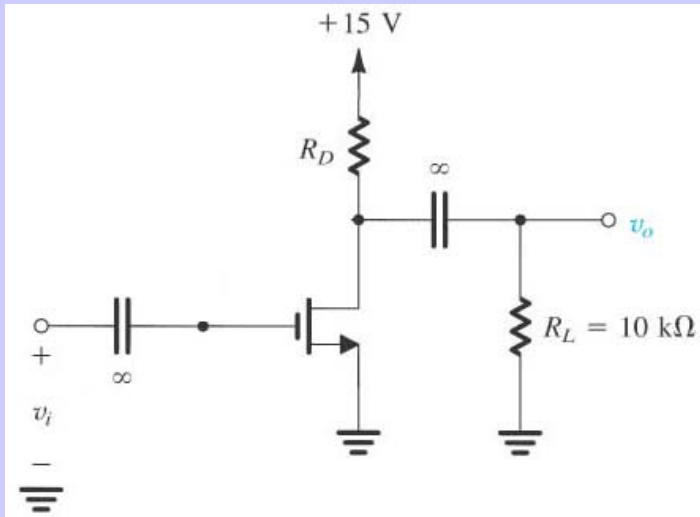
$$r_o \cong \frac{V_A}{I_D}$$

Outras maneiras de expressar g_m

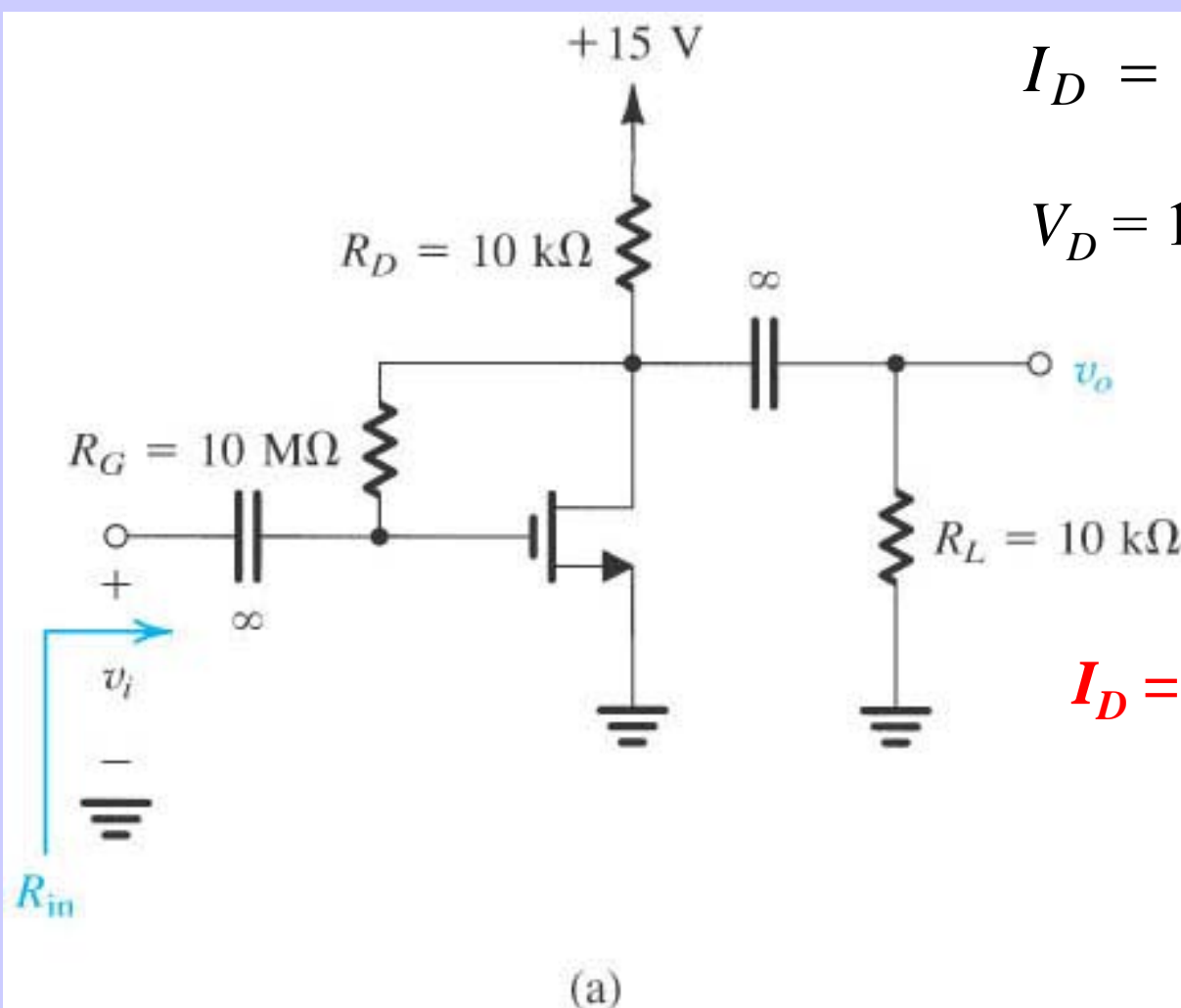
- $g_m = \sqrt{2k'_n} \cdot \sqrt{\frac{W}{L}} \cdot \sqrt{I_D}$

- $g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_t}$

Modelos Equivalentes de Circuitos para Pequenos Sinais



Ex. 4.10: Amplificador MOSFET fonte comum empregando um resistor de realimentação dreno-porta: Qual o ganho de tensão? Qual a resistência de entrada? Qual o maior sinal possível na entrada?

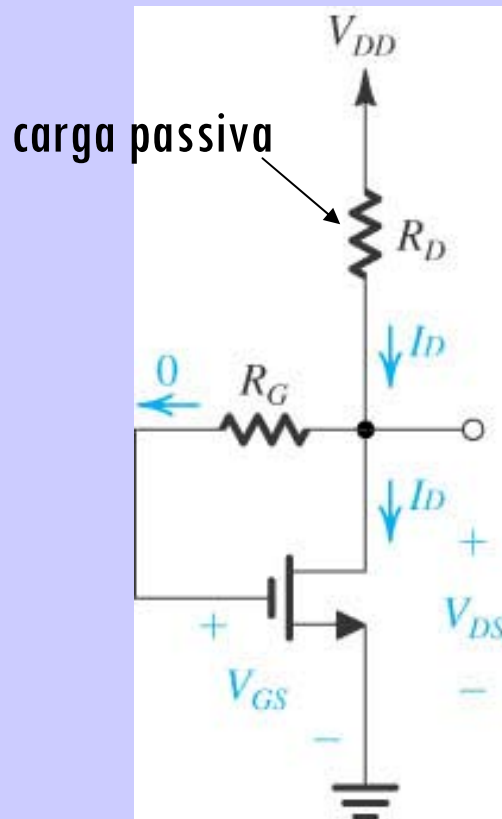


$$I_D = \frac{1}{2} \times 0,25(V_{GS} - 1,5)^2$$

$$V_D = 15 - R_D I_D = 15 - 10I_D$$

$$I_D = 1,06 \text{ mA e } V_D = 4,4 \text{ V}$$

O papel do resistor de realimentação R_G entre dreno e porta



I_D mais constante

Saturação: $V_{DS} > V_{GS} - V_t$

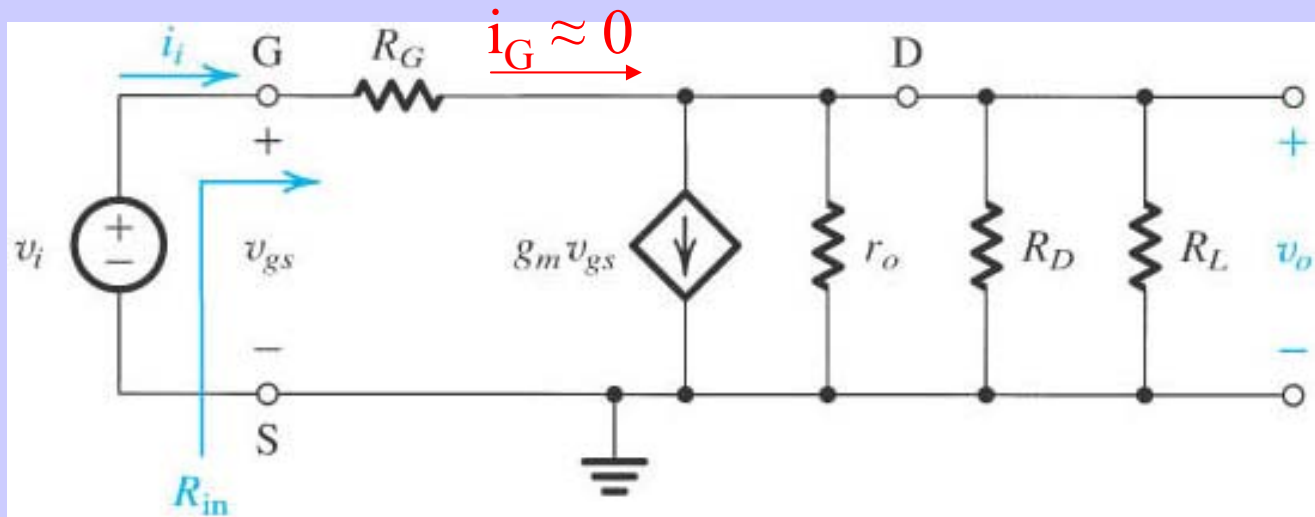
$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2}$$

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

$$V_{DD} = V_{GS} + R_D I_D$$

Se I_D tende a aumentar, V_{GS} diminui, forçando I_D a diminuir. E vice-versa

Ex. 4.10: Qual o ganho de tensão?



$$v_o \cong -g_m v_{gs} (R_D // R_L // r_o)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -g_m (R_D // R_L // r_o)$$

$$= -0,725(10 // 10 // 47) = -3,3 \text{ V/V}$$

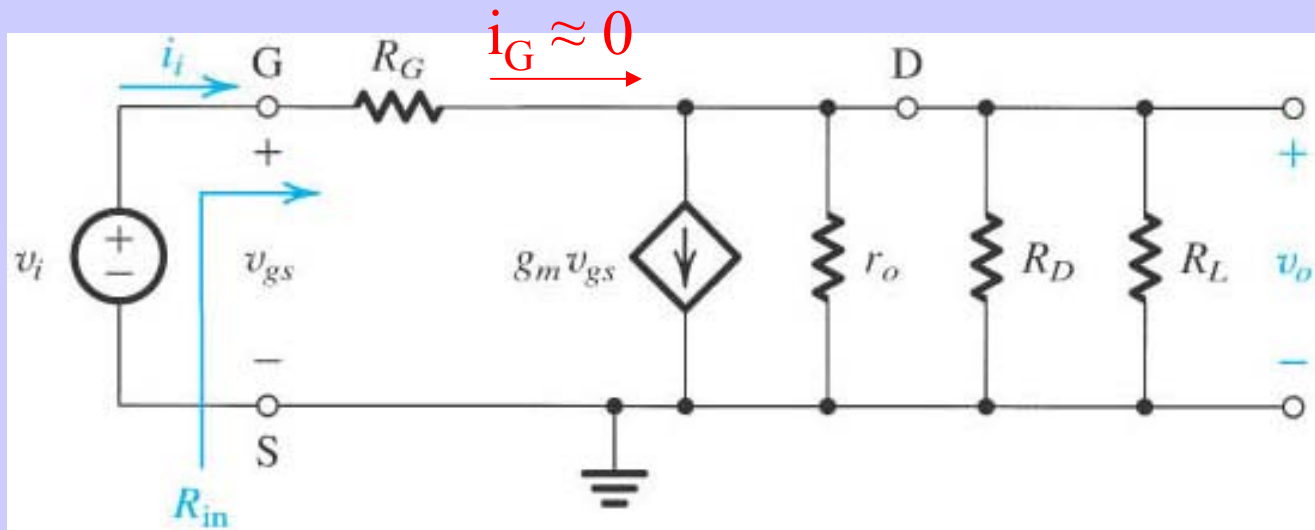
$$g_m = k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)$$

$$= 0,25(4,4 - 1,5)$$

$$= 0,725 \text{ mA/V}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{50}{1,06} = 47 \text{ k}\Omega$$

Ex. 4.10: Qual a resistência de entrada?

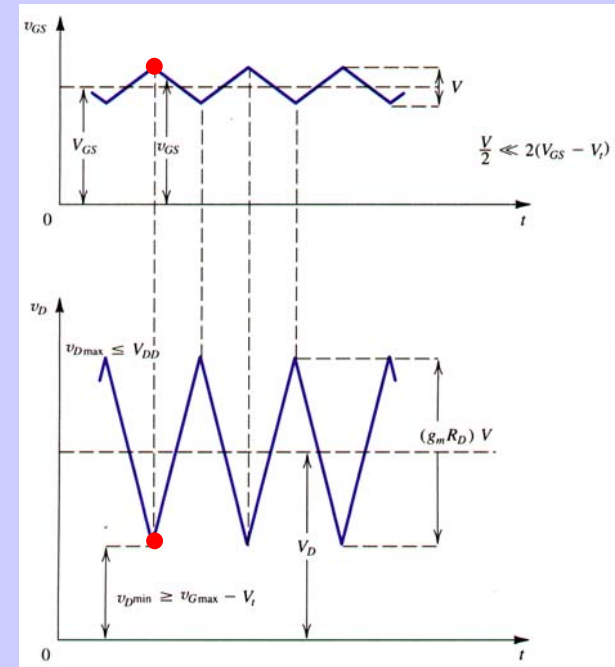
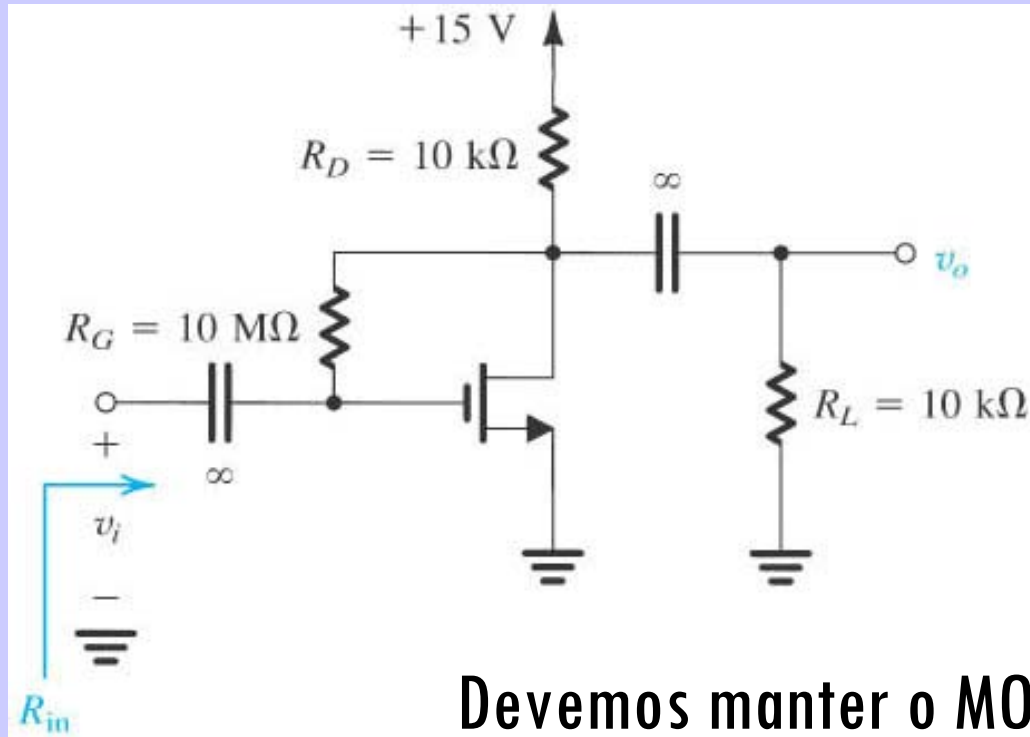


$$i_i = (v_i - v_o)/R_G$$

$$= \frac{v_i}{R_G} \left(1 - \frac{v_o}{v_i} \right)$$

$$= \frac{v_i}{R_G} [1 - (-3,3)] = \frac{4,3v_i}{R_G} = \frac{10}{4,3} = 2,33\text{M}\Omega$$

Ex. 4.10: Qual o maior sinal possível na entrada?



Devemos manter o MOSFET na saturação:

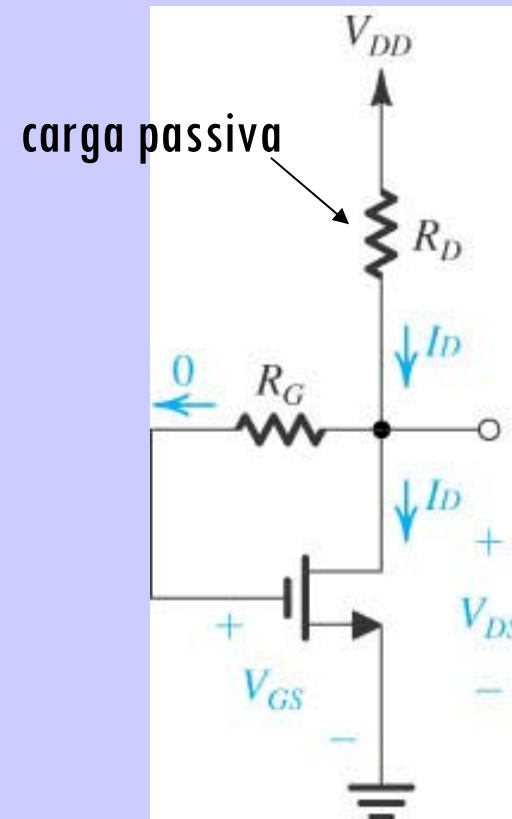
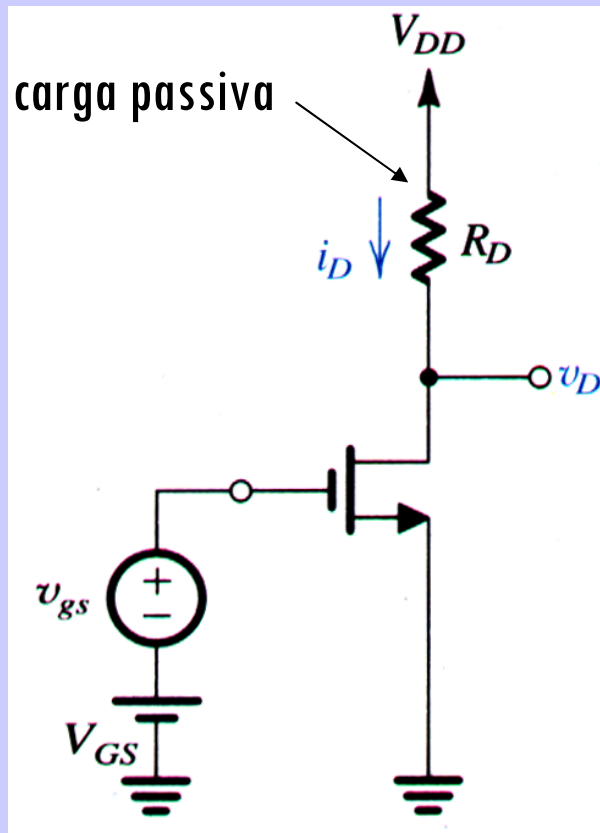
$$v_{DS} \geq v_{GS} - V_t \quad \text{OU} \quad v_{DS\min} = v_{GS\max} - V_t$$

$$V_{DS} - |A_v| \Delta v_i = V_{GS} + \Delta v_i - V_t$$

$$4,4 - 3,3 \Delta v_i = 4,4 + \Delta v_i - 1,5$$

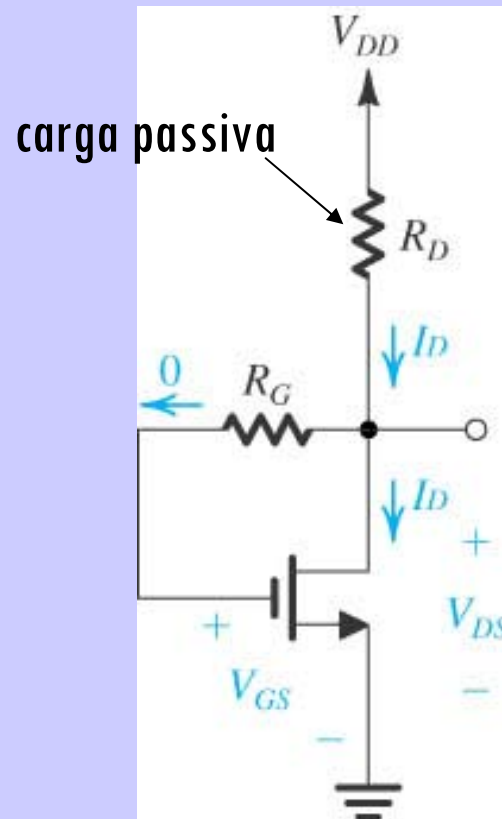
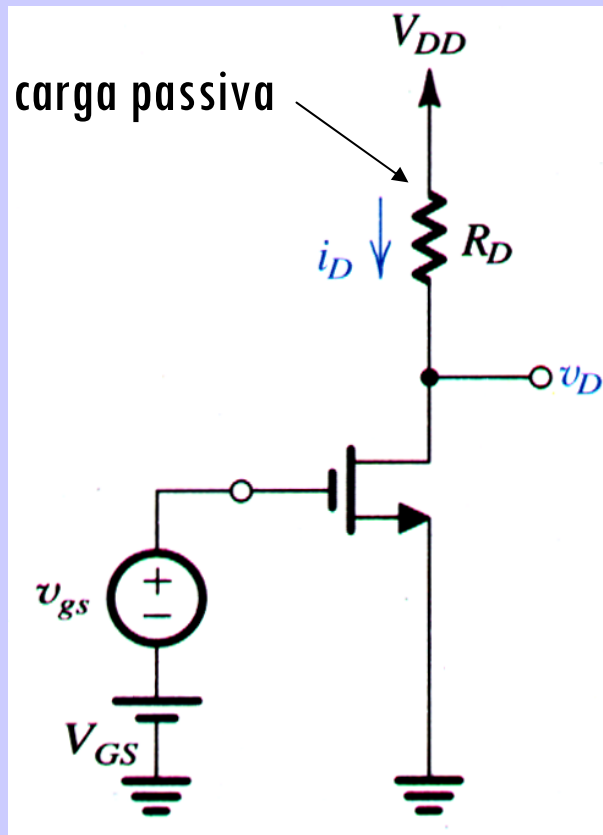
$$\Delta v_i = 0,34V$$

Configurações Básicas de Amplificadores MOS em Circuitos Integrados

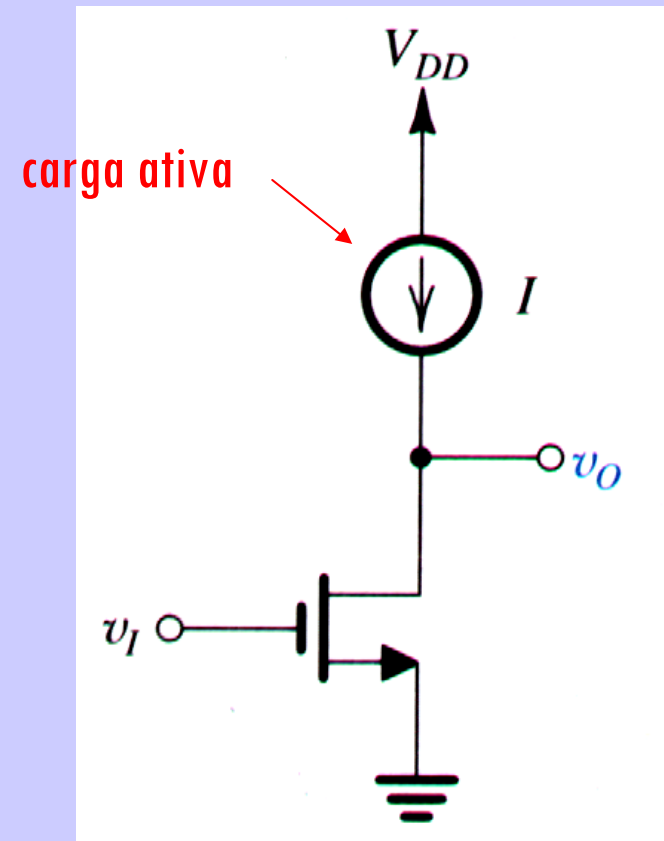


I_D mais constante

Configurações Básicas de Amplificadores MOS em Circuitos Integrados



I_D mais constante



I_D total// constante