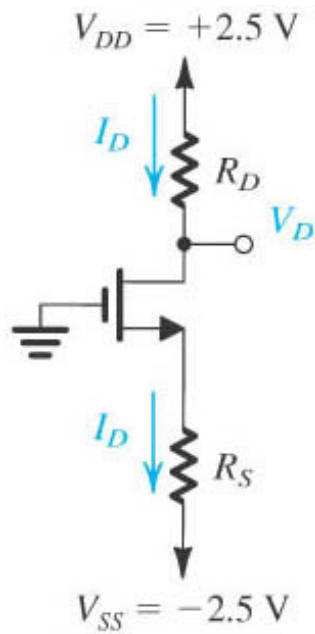


Exemplo 4.2: Projete o circuito abaixo para $I_D=400 \mu\text{A}$ e $V_D = +0,5\text{V}$, sabendo-se que $V_t=0,7 \text{V}$, $\mu_n C_{ox} = 100 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $L = 1 \mu\text{m}$ e $W = 32 \mu\text{m}$ ($\lambda = 0$).



NMOSFET (considerando λ)

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

Parabólica

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

$$\begin{aligned} \mu_n(\text{superfície}) &= 450 \text{cm}^2/\text{Vs} \\ \mu_p(\text{superfície}) &= 100 \text{cm}^2/\text{Vs} \\ \epsilon_{ox} &= 0,345 \times 10^{-12} \text{F/cm} \\ \epsilon_{si} &= 1 \times 10^{-12} \text{F/cm} \end{aligned}$$

Linear { se $V_{DS} < 2(V_{GS} - V_t)$ }

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

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

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

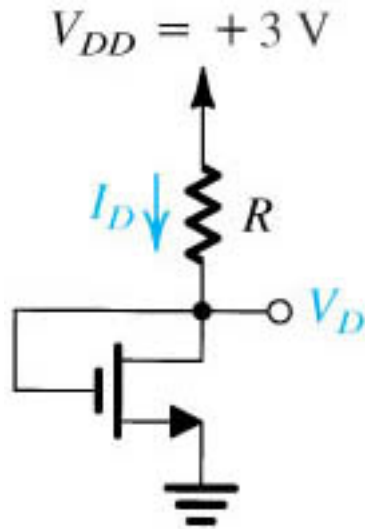
(Parâmetro de Transcondutância do processo [A/V^2])

$$\text{onde } k'_n = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{x_{ox}} = \mu_n \cdot C_{ox}$$

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

$$I_D = 0$$

Exemplo 4.3: Projete o circuito abaixo para $I_D=80 \mu\text{A}$. Determine R e V_D . Considere $V_t=0,6 \text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 200 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $L = 0,8 \mu\text{m}$ e $W = 4 \mu\text{m}$ ($\lambda = 0$).



NMOSFET (considerando λ)

$$\begin{aligned} \mu_n(\text{superfície}) &= 450 \text{ cm}^2/\text{Vs} \\ \mu_p(\text{superfície}) &= 100 \text{ cm}^2/\text{Vs} \\ \epsilon_{ox} &= 0,345 \times 10^{-12} \text{ F/cm} \\ \epsilon_{si} &= 1 \times 10^{-12} \text{ F/cm} \end{aligned}$$

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

Parabólica

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

Linear { se $V_{DS} < 2(V_{GS} - V_t)$ }

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

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

(Parâmetro de Transcondutância do processo [A/V^2])

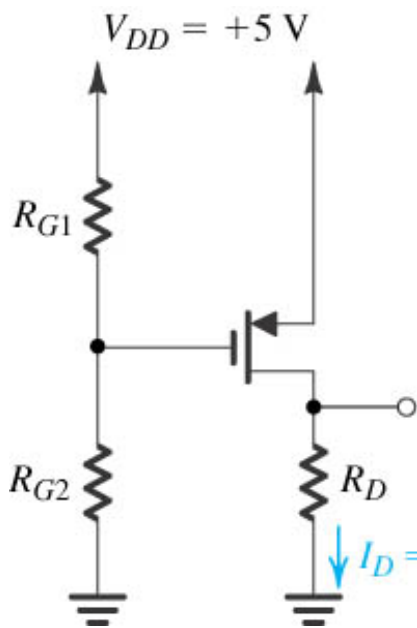
$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2} (1 + \lambda V_{DS})$$

onde $k'_n = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{x_{ox}} = \mu_n \cdot C_{ox}$

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

$$I_D = 0$$

Exemplo 4.6: Projete o circuito abaixo para $I_D=500 \mu\text{A}$ e $V_D = +3\text{V}$, sabendo-se que $V_t = -1 \text{ V}$, $k_p'(W/L) = 1 \text{ mA/V}^2$ ($\lambda = 0$).



NMOSFET (considerando λ)

$$\begin{aligned} \mu_{n(\text{superfície})} &= 450 \text{ cm}^2/\text{Vs} \\ \mu_{p(\text{superfície})} &= 100 \text{ cm}^2/\text{Vs} \\ \epsilon_{\text{ox}} &= 0,345 \times 10^{-12} \text{ F/cm} \\ \epsilon_{\text{si}} &= 1 \times 10^{-12} \text{ F/cm} \end{aligned}$$

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

Parabólica

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

Linear { se $V_{DS} < 2(V_{GS} - V_t)$ }

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

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

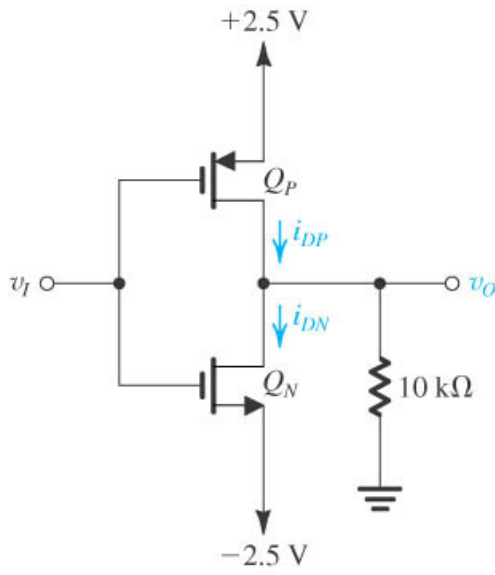
$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2} (1 + \lambda V_{DS})$$

(Parâmetro de Transcondutância do processo [A/V^2])
onde $k'_n = \frac{\mu_n \epsilon_{\text{ox}}}{x_{\text{ox}}} = \mu_n \cdot C_{\text{ox}}$

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

$$I_D = 0$$

Exemplo 4.7: O PMOS e o NMOS do circuito abaixo são casados, isto é, $k_n'(W/L) = k_p'(W/L) = 1 \text{ mA/V}^2$ e $V_{tn} = -V_{tp} = 1\text{V}$. Considerando $\lambda = 0$ para ambos, determine I_{DN} e I_{DP} e v_o para $v_i = +2,5\text{V}$, $-2,5\text{V}$ e 0V .



NMOSFET (considerando λ)

$\mu_n(\text{superfície}) = 450 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
 $\mu_p(\text{superfície}) = 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
 $\epsilon_{ox} = 0,345 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$
 $\epsilon_{si} = 1 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$

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

Parabólica

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

Linear { se $V_{DS} < 2(V_{GS} - V_t)$ }

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

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

- **Região de Saturação** ($V_{GS} > V_t$): $0 < V_{GS} - V_t \leq V_{DS}$ (Parâmetro de Transcondutância do processo [A/V^2])

$$I_D = k_n' \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2} (1 + \lambda V_{DS})$$

onde $k_n' = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{x_{ox}} = \mu_n \cdot C_{ox}$

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

$$I_D = 0$$

PMOSFET V_{GS}, V_{DS} e $V_t < 0$

$\mu_n(\text{superfície}) = 450 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
 $\mu_p(\text{superfície}) = 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
 $\epsilon_{ox} = 0,345 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$
 $\epsilon_{si} = 1 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$

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

Parabólica

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

Linear (se $|V_{DS}| < 2|V_{GS} - V_t|$)

$$I_D \approx \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t) v_{DS}$$

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

- **Região de Saturação:** $V_{DS} \leq V_{GS} - V_t < 0$ e $V_{GS} < V_t$ (Parâmetro de Transcondutância do processo [A/V^2])

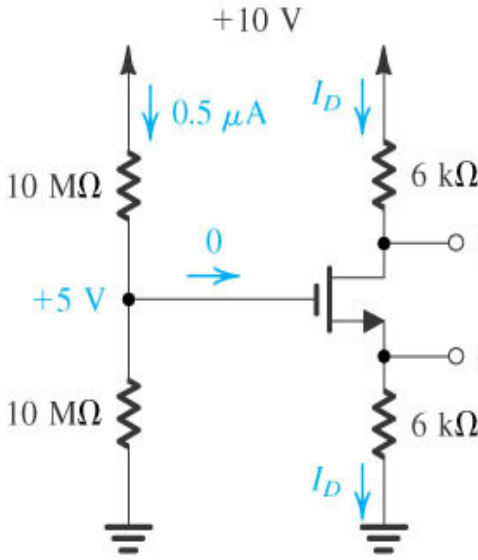
$$I_D = k_p' \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2} (1 + |\lambda V_{DS}|)$$

onde $k_p' = \frac{\mu_p \epsilon_{ox}}{x_{ox}} = \mu_p \cdot C_{ox}$

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

$$I_D = 0$$

Exemplo 4.5: Analise o circuito abaixo e determine todas as tensões nos nós e correntes nos ramos. Considere $V_t = 1,0 \text{ V}$ e $k_n'(W/L) = 1 \text{ mA/V}^2$



(b)

NMOSFET (considerando λ)

$$\begin{aligned} \mu_n(\text{superfície}) &= 450 \text{ cm}^2/\text{Vs} \\ \mu_p(\text{superfície}) &= 100 \text{ cm}^2/\text{Vs} \\ \epsilon_{\text{ox}} &= 0,345 \times 10^{-12} \text{ F/cm} \\ \epsilon_{\text{si}} &= 1 \times 10^{-12} \text{ F/cm} \end{aligned}$$

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

Parabólica

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

Linear { se $V_{DS} < 2(V_{GS} - V_t)$ }

$$I_D \approx \mu_n C_{\text{ox}} \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t) v_{DS}$$

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

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

(Parâmetro de Transcondutância do processo $[A/V^2]$)

$$I_D = k_n' \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_t)^2}{2} (1 + \lambda V_{DS})$$

onde $k_n' = \frac{\mu_n \epsilon_{\text{ox}}}{x_{\text{ox}}} = \mu_n \cdot C_{\text{ox}}$

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

$$I_D = 0$$