

\* CAP 06 - RAZAVI (3, 5, 9, 12, 14, 21, 24, 28, 33, 43)

## Exercícios

6.3)  $C_{ox} = 10 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$      $L = 0,1 \mu\text{m}$      $V_{DS} = 0 \text{ V}$   
 $W = 5 \mu\text{m}$      $V_{GS} - V_{TH} = 1 \text{ V}$

$$Q_T = C_{ox} \cdot A \cdot \Delta V$$

$$= 10 \text{ fF} \cdot 5 \mu\text{m} \cdot 0,1 \mu\text{m} \cdot \underbrace{(V_{GS} - V_{TH})}_{1 \text{ V}} \rightarrow Q_T =$$

$$\boxed{Q_T = 5 \text{ fC}}$$

6.5)  $I = Q \cdot v$

$$v = \mu_n \cdot E = \mu_n \frac{dV(x)}{dx}$$

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

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} I_D = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \cdot \mu_n \frac{dV(x)}{dx}$$

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

$$\Rightarrow I_D = \underbrace{W C_{ox} \mu_n}_{K_1} \left[ \underbrace{V_{GS} - V_{TH}}_{K_2} - V(x) \right] \frac{dV(x)}{dx}$$

$$I_D dx = K_1 \cdot [K_2 - V(x)] dV(x)$$

$$\int I_D dx = K_1 \int [K_2 - V(x)] dV(x)$$

$$I_D \cdot x = K_1 \left[ K_2 V(x) - \frac{V(x)^2}{2} \right]$$

$$\frac{I_D x}{K_1} = K_2 V(x) - \frac{V(x)^2}{2} \Rightarrow \frac{V(x)^2}{2} + \frac{I_D x}{K_1} - K_2 V(x) = 0$$

$$\Rightarrow V(x)^2 + 2K_1 x - 2K_2 \cdot V(x) = 0$$

$$\Rightarrow V(x)^2 - 2K_2 V(x) + 2K_1 x = 0$$

$$\Delta = 4K_2^2 - 8K_1 x \Rightarrow V(x) = \frac{+2K_2 \pm \sqrt{4K_2^2 - 8K_1 x}}{2} = \frac{2 \cdot K_2 \pm \sqrt{4(K_2^2 - 2K_1 x)}}{2}$$

$$V(x) = \frac{2K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 2K_1 x}}{2} \Rightarrow V(x) = K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 2K_1 x}$$

$$\therefore V(x) = (V_{GS} - V_{TH}) \pm \sqrt{(V_{GS} - V_{TH})^2 - 2 \cdot \frac{I_D \cdot x}{K_1}}$$

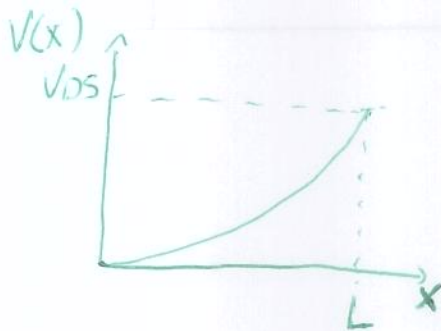
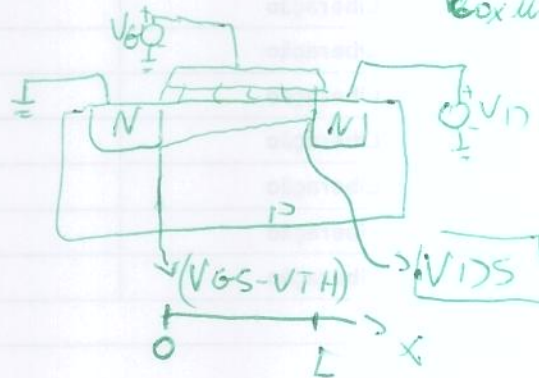
$\rightarrow$  Como  $0 \leq V(x) \leq (V_{GS} - V_{TH})$  e  $V(x)$  não é complexo, temos

$$V(x) = (V_{GS} - V_{TH}) - \sqrt{(V_{GS} - V_{TH})^2 - \frac{2I_D x}{K_1}}$$

$$V(x) = (V_{GS} - V_{TH}) - \sqrt{(V_{GS} - V_{TH})^2 - \frac{2I_D \cdot x}{W C_{ox} \mu_n}}$$

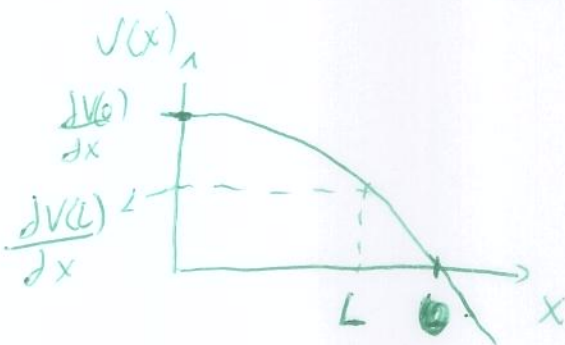
$$\therefore V(0) = \phi$$

$$V(L) = (V_{GS} - V_{TH}) - \sqrt{(V_{GS} - V_{TH})^2 - \frac{2I_D \cdot L}{C_{ox} \mu_n W}} = V_{DS}$$



$$\frac{dV(x)}{dx} = -0,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{(V_{GS} - V_{TH})^2 - \frac{2I_D \cdot x}{C_{ox} \mu_n W}}} \cdot \frac{-2I_D}{W C_{ox} \mu_n}$$

$$\frac{dV(x)}{dx} = \frac{1}{\sqrt{(V_{GS} - V_{TH})^2 - \frac{2I_D \cdot x}{C_{ox} \mu_n W}}} \cdot \frac{I_D}{W C_{ox} \mu_n}$$



$$\frac{dV(0)}{dx} = \frac{I_D}{(V_{GS} - V_{TH}) W C_{ox} \mu_n}$$

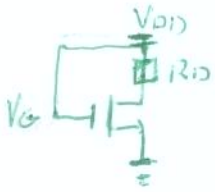
$$\frac{dV(L)}{dx} = \frac{1}{\sqrt{(V_{GS} - V_{TH})^2 - \frac{2I_D L}{C_{ox} \mu_n W}}} \cdot \frac{I_D}{W C_{ox} \mu_n}$$

6.9  $V_{TH} = 0,4V$ ;  $\mu_n C_{ox} = 200 \mu A/V^2$ ;  $\frac{W}{L} = 20$ ;  $V_{DD} = 1,8V$

$$R_{on} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})} \Rightarrow R_{on} = \frac{1}{200 \cdot 10^{-6} \cdot 20 (1,8 - 0,4)}$$

$L > V_{GSmax} = V_{DD}$

$$\Rightarrow R_{on} = 178,5714 \Omega$$



obs:

$$V_{DS} = R_D \cdot I_D + V_{DD} \Rightarrow V_{DS} = -R_D I_D + V_G$$

$$V_G = V_{DD}$$

para usar a fórmula de  $R_{on}$

$$V_{DS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$$

$1,8 \rightarrow 0,4$

$$V_{DS} \ll 2,18V$$

$$\Rightarrow V_{DS} \sim 0,28V \Rightarrow R_D = \frac{V_{DS} - V_G}{-I_D} = \frac{1,52}{I_D}$$

6.12  $\tau = R_{on} C_{gs}$

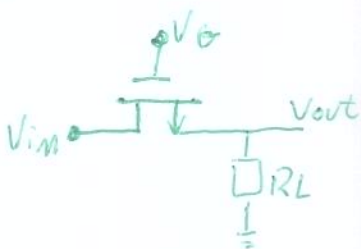
$$\tau = R_{on} \cdot W L C_{ox}$$

$$\tau = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})} \cdot W \cdot L \cdot C_{ox} \Rightarrow \tau = \frac{L^2}{\mu_n (V_{GS} - V_{TH})}$$

• Para diminuir  $\tau$ :

- 1-) Minimizar L
- 2-) Aumentar  $V_{GSmax}$

6.14



$$v_{in} = V_G \cos \omega t + V_1$$

$$\Rightarrow v_{out} = 0,95 v_{in}$$

$$\frac{R_{on} L}{R_{on} + R_L} = 0,95 \Rightarrow R_{on} 0,95 + 0,95 R_L = R_L$$

$$R_{on} = \frac{0,05 R_L}{0,95} = 0,0526 R_L$$

$$\Rightarrow 0,0526 R_L = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})} \Rightarrow \frac{W}{L} = \frac{19}{\mu_n C_{ox} (V_G - v_{out} - V_{TH}) \cdot R_L}$$

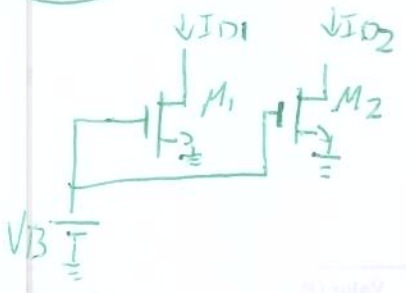
$V_G = V_{RL}$   
 $\hookrightarrow V_{out}$

$$\frac{W}{L} = \frac{19}{\mu_n C_{ox} (V_G - v_{out} - V_{TH}) \cdot R_L}$$

a)  $\frac{W}{L} = \frac{19}{\mu_n C_{ox} (V_G - V_G \cos \omega t - V_{TH}) R_L}$

b)  $\frac{W}{L} = \frac{19}{\mu_n C_{ox} (V_G - V_G \cos \omega t - 0,5 - V_{TH}) R_L}$

6.21



• fonte de corrente  $\Rightarrow$  saturação  
 $M_1 = M_2$

$$I_{D1} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \cdot (1 + \lambda V_{DS1})$$

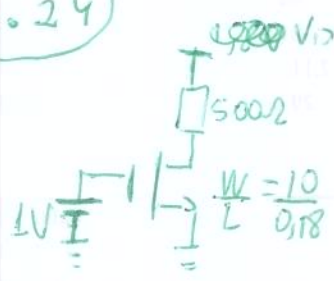
$$I_{D2} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS2})$$

$$\frac{I_{D1}}{I_{D2}} = 0,99 = \frac{1 + \lambda V_{DS1} \xrightarrow{0,5}}{1 + \lambda V_{DS2} \xrightarrow{1V}} \Rightarrow 1 + 0,5\lambda = 0,99 + 0,99\lambda \Rightarrow 0,49\lambda = 0,01$$

$$\lambda = 0,0204 V^{-1}$$

não pode ser 1, pois  $V_{DS1} < V_{DS2}$

6.24



$\mu_n C_{ox} = 200 \cdot 10^{-6} A/V^2$   
 $V_{TH} = 0,4V$

$\Rightarrow$  Fronteira da saturação

$$V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$$

$$V_{DS} = 0,6V$$

$\xrightarrow{\text{min}}$   
 $\rightarrow V_{DS} = V_{DD} - 500 \cdot I_D \Rightarrow 0,6 = V_{DD} - 500 I_D$

$$V_{DD} = 0,6 + 500 I_D$$

$$\rightarrow I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10}{0,18} \cdot (1 - 0,4)^2$$

$$I_D = 2 \cdot 10^{-3} A$$

$$\rightarrow V_{DD} = 0,6 + 500 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,6V$$

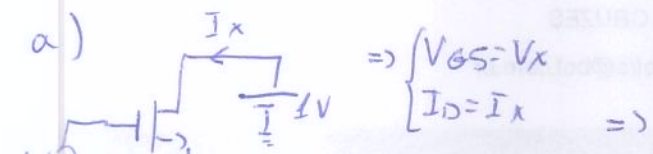
6.28

$V_{DD} = 1,8V$

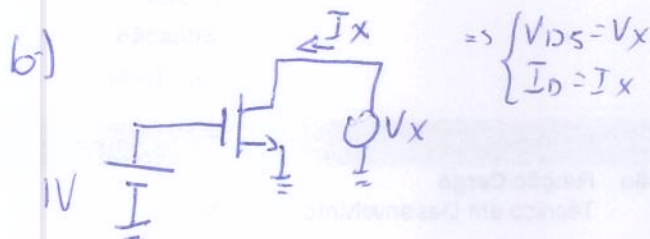
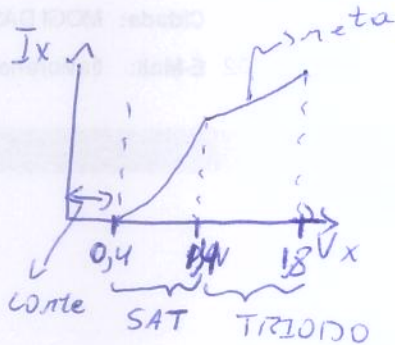
• corte  $\Rightarrow I_D = 0 \Rightarrow V_{GS} \leq V_{TH}$

• saturação  $\Rightarrow I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \Rightarrow V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$

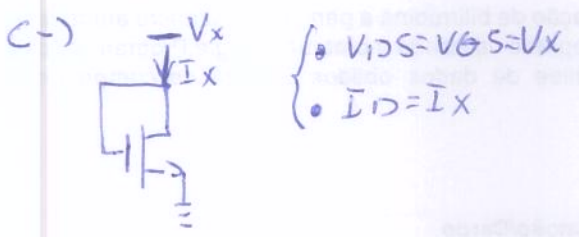
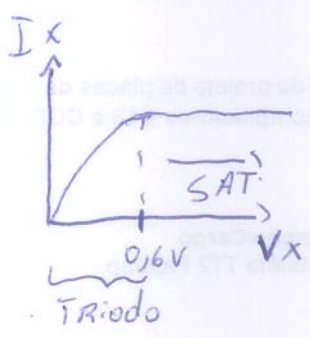
• Triodo  $\Rightarrow I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} [2 \cdot (V_{GS} - V_{TH}) \cdot V_{DS} - V_{DS}^2] \Rightarrow V_{DS} \leq (V_{GS} - V_{TH})$



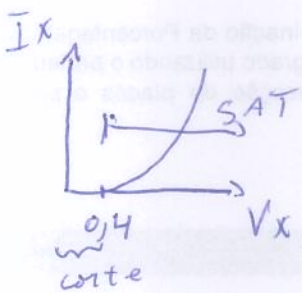
- Corte  $\Rightarrow V_x \leq 0,4$
- SAT  $\Rightarrow 1 > (V_x - 0,4) \Rightarrow V_x \leq 1,4$
- Triodo  $\Rightarrow V_x > 1,4$



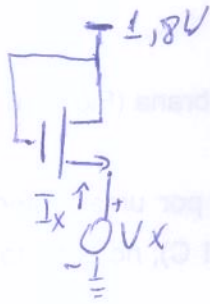
- $\Rightarrow$  Corte  $\Rightarrow V_{GS} \leq 0,4 \Rightarrow$  não ocorre
- $\Rightarrow$  SAT  $\Rightarrow V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH}) \Rightarrow V_x > 0,6V$
- $\Rightarrow$  Triodo  $\Rightarrow V_x \leq 0,6V$



- $\Rightarrow$  corte  $\Rightarrow V_{GS} \leq 0,4 \Rightarrow V_x \leq 0,4$
- $\Rightarrow$  SAT  $\Rightarrow V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH}) \Rightarrow V_x > V_x - 0,4$
- $\Rightarrow$  Sempre Verdadeiro
- $\Rightarrow$  Sempre na SAT, não está em Triodo



d)



$$\begin{cases} \bar{I}_D = -I_x = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (1.8 - V_x - 0.4)^2 \\ V_{DS} = V_{GS} = 1.8 - V_x \end{cases}$$

$\Rightarrow$  Corte  $\Rightarrow V_{GS} \leq 0.4 \Rightarrow 1.8 - V_x \leq 0.4 \Rightarrow V_x \geq 1.4V$

$\Rightarrow$  SAT  $\Rightarrow V_{DS} > V_{GS} - 0.4 \Rightarrow (1.8 - V_x) > (1.8 - V_x) - 0.4$

↳ sempre verdade  
↳ sempre em saturação

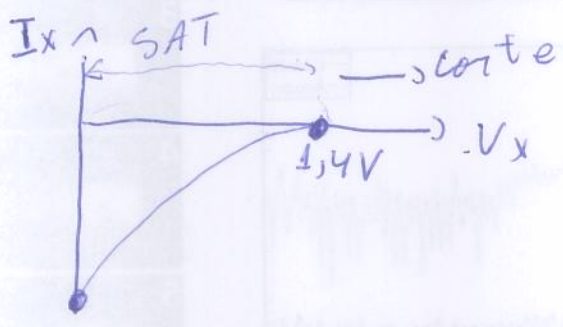
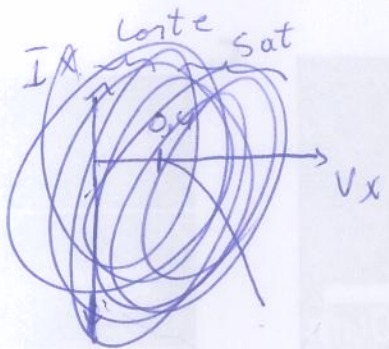
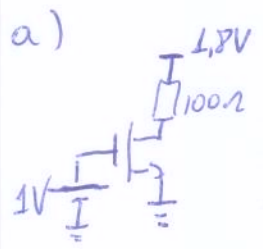


Figura 8.12 A e C as imagens de uma célula...  
 a) imagem de um microscópio eletrônico...  
 b) imagem de um microscópio eletrônico...  
 c) imagem de um microscópio eletrônico...  
 d) imagem de um microscópio eletrônico...  
 e) imagem de um microscópio eletrônico...  
 f) imagem de um microscópio eletrônico...  
 g) imagem de um microscópio eletrônico...  
 h) imagem de um microscópio eletrônico...  
 i) imagem de um microscópio eletrônico...  
 j) imagem de um microscópio eletrônico...  
 k) imagem de um microscópio eletrônico...  
 l) imagem de um microscópio eletrônico...  
 m) imagem de um microscópio eletrônico...  
 n) imagem de um microscópio eletrônico...  
 o) imagem de um microscópio eletrônico...  
 p) imagem de um microscópio eletrônico...  
 q) imagem de um microscópio eletrônico...  
 r) imagem de um microscópio eletrônico...  
 s) imagem de um microscópio eletrônico...  
 t) imagem de um microscópio eletrônico...  
 u) imagem de um microscópio eletrônico...  
 v) imagem de um microscópio eletrônico...  
 w) imagem de um microscópio eletrônico...  
 x) imagem de um microscópio eletrônico...  
 y) imagem de um microscópio eletrônico...  
 z) imagem de um microscópio eletrônico...

6.33

$\lambda = 0,1 V^{-1}$       $\mu_n C_{ox} = 200 \cdot 10^{-6} A/V^2$   
 $\frac{W}{L} = \frac{20}{0,18}$       $V_{TH} = 0,4 V$



→ saturação

$$\begin{cases} I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \\ V_{DS} = 1,8 - 100 \cdot I_D \end{cases}$$

$$V_{DS} = 1,8 - 100 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{20}{0,18} \cdot (1 - 0,4)^2 \cdot (1 + 0,1 V_{DS}) \right]$$

$$V_{DS} = 1,8 - 0,4 (1 + 0,1 V_{DS}) \Rightarrow V_{DS}(1 + 0,04) = 1,4$$

$$V_{DS} = 1,3462 V$$

$$\Rightarrow I_D = \frac{1,8 - 1,3462}{100} \Rightarrow I_D = 4,5385 \cdot 10^{-3} A$$

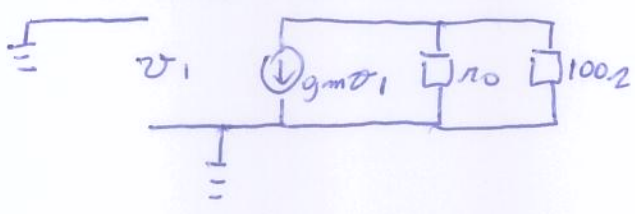
$L \gg V_{GS} - V_{TH} \Rightarrow \text{OK} \Rightarrow \text{SAT}$   
 $\approx 0,16 V$

$g_m = \frac{2 I_D}{V_{GS} - V_{TH}} \Rightarrow g_m = \frac{2 \cdot 4,5385 \cdot 10^{-3}}{1 - 0,4} = 15,128 S$

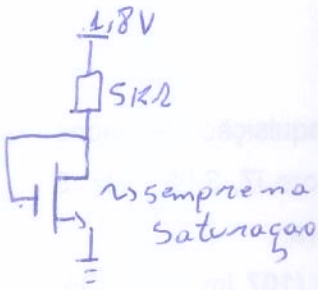
$L \gg$  não leva em conta  $\lambda \Rightarrow$  a aproximação ruim

$g_m = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) \Rightarrow g_m = 13,333 \cdot 10^{-3} A$

$r_o = \frac{1}{\lambda \cdot I_D} \Rightarrow r_o = 2,2034 \cdot 10^3 \Omega$



b)



$$\begin{cases} \bullet V_{GS} = V_{DS} = 1,8 - 5 \cdot 10^3 \cdot I_D \\ \bullet I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_{GS} = 1,8 - 5 \cdot 10^3 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{20}{0,8} \cdot (V_{GS} - 0,4)^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot V_{GS}) \right]$$

$$V_{GS} = 1,8 - 5 \cdot 10^3 \cdot \left[ 0,0111 \cdot (V_{GS}^2 - 0,8V_{GS} + 0,16) \cdot (1 + 0,1V_{GS}) \right]$$

$$V_{GS} = 1,8 - 55,5556 \cdot (V_{GS}^2 - 0,8V_{GS} + 0,16 + 0,1V_{GS}^3 - 0,08V_{GS}^2 + 0,016V_{GS})$$

$$V_{GS} = 1,8 - 55,5556 \cdot (0,1V_{GS}^3 + 0,92V_{GS}^2 - 0,784V_{GS} + 0,16)$$

$$V_{GS} = -5,5556V_{GS}^3 - 51,1111V_{GS}^2 + 43,5556V_{GS} - 8,8889 + 1,8$$

$$5,5556V_{GS}^3 + 52,1111V_{GS}^2 - 43,5556V_{GS} + 7,0889 = 0$$

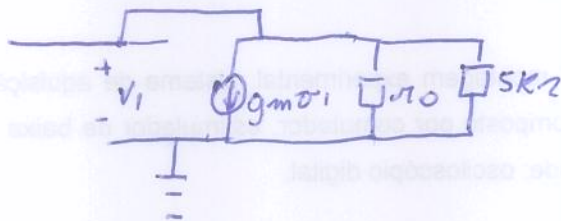
$$V_{GS} = \begin{cases} -10,637V \\ \boxed{0,5592V} \\ 0,2245V \end{cases}$$

$\hookrightarrow V_{GS} \geq V_{TH}$

$$g_m = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) \Rightarrow \boxed{g_m = 3,5384 \cdot 10^{-3} S}$$

$$\bullet I_D = \frac{1,8 - V_{GS}}{5 \cdot 10^3} \Rightarrow \boxed{I_D = 2,4815 \cdot 10^{-4} A}$$

$$\bullet r_o = \frac{1}{\lambda I_D} \Rightarrow \boxed{r_o = 4,0297 \cdot 10^4 \Omega}$$





c)



•  $I_D = 1\text{mA}$ ;  $V_{DS} = V_{GS}$

•  $I_D = \frac{1}{2} \mu_m C_{ox} \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \cdot (1 + \lambda V_{DS})$   
↳  $V_{GS}$

$\Rightarrow 1 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{20}{0,18} \cdot (V_{GS} - 0,4)^2 \cdot (1 + 0,1 V_{GS})$

$1 \cdot 10^{-3} = 0,0111 \cdot (V_{GS}^2 - 0,8 V_{GS} + 0,16) \cdot (1 + 0,1 V_{GS})$

$1 \cdot 10^{-3} = 0,0111 (V_{GS}^2 - 0,8 V_{GS} + 0,16 + 0,1 V_{GS}^3 - 0,08 V_{GS}^2 + 0,016 V_{GS})$

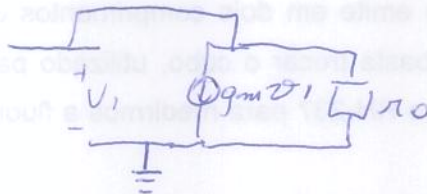
$\frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,0111} = 0,1 V_{GS}^3 + 0,92 V_{GS}^2 - 0,784 V_{GS} + 0,16$

$0,1 V_{GS}^3 + 0,92 V_{GS}^2 - 0,784 V_{GS} + 0,16 = 0$

$V_{GS} = \begin{cases} -0,99017\text{V} \\ \boxed{0,6902\text{V}} \\ 0,1015\text{V} < V_{TH} \end{cases}$

•  $g_m = \mu_m C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) \Rightarrow g_m = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{6,4479} \text{S}$

•  $r_o = \frac{1}{\lambda I_D} \Rightarrow \boxed{r_o = 10.000 \Omega}$



d)



$$\begin{cases} V_{GS} = V_{DS} = 1,8 - 2 \cdot 10^3 I_D \\ I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \cdot (1 + \lambda V_{DS}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_{GS} = 1,8 - 2 \cdot 10^3 \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{200 \cdot 10^{-6} \cdot 20}{0,8} (V_{GS} - 0,4)^2 (1 + 0,1 V_{GS}) \right]$$

$$V_{GS} = 1,8 - 2 \cdot 10^3 \left[ 0,0111 \cdot (V_{GS}^2 - 0,8 V_{GS} + 0,16) (1 + 0,1 V_{GS}) \right]$$

$$V_{GS} = 1,8 - 22,2222 \cdot (V_{GS}^2 - 0,8 V_{GS} + 0,16 + 0,1 V_{GS}^3 - 0,08 V_{GS}^2 + 0,016 V_{GS})$$

$$V_{GS} = 1,8 - 22,2222 \cdot (0,1 V_{GS}^3 + 0,92 V_{GS}^2 + 0,784 V_{GS} + 0,16)$$

$$V_{GS} = 1,8 - (2,2222 V_{GS}^3 + 20,4444 V_{GS}^2 - 17,4222 V_{GS} + 3,5556)$$

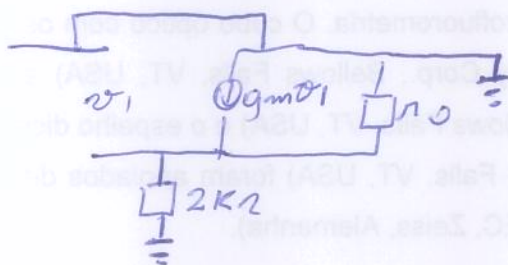
$$2,2222 V_{GS}^3 + 20,4444 V_{GS}^2 - 17,4222 V_{GS} + 1,7556 = 0$$

$$\bullet V_{GS} = \begin{cases} -9,9925 V \\ \boxed{0,6755 V} \\ 0,120 V \end{cases}$$

$$\bullet I_D = \frac{1,8 - V_{GS}}{2 \cdot 10^3} \Rightarrow \boxed{I_D = 5,6227 \cdot 10^{-4} A}$$

$$\bullet g_m = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_{TH}) \Rightarrow \boxed{g_m = 6,1212 \cdot 10^{-3} S}$$

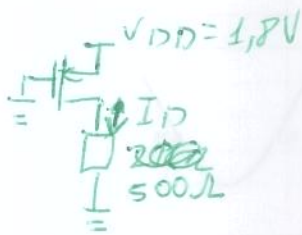
$$\bullet r_o = \frac{1}{\lambda I_D} \Rightarrow \boxed{r_o = 1,7785 \cdot 10^4 \Omega}$$



6.43  $\frac{W}{L} = \frac{10}{0,18}$   $\lambda = 0$   $|V_{TH}| = 0,4$

$\mu_p C_{ox} = 100 \cdot 10^{-6} \mu A/V^2$

a)



$|V_{GS}| = 1,8 > |V_{TH}|$

• SAT

$I_D = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} \cdot (|V_{GS}| - |V_{TH}|)^2$

$I_D = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10}{0,18} \cdot (1,8 - 0,4)^2$

$I_D = 5,44 \cdot 10^{-3} A$

$|V_{DS}| = 1,8 - 500 \cdot 5,44 \cdot 10^{-3} \Rightarrow |V_{DS}| = 0,922$

• TRIODO

$\hookrightarrow$  não está na saturação

$I_D = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} \cdot [(|V_{GS}| - |V_{TH}|)^2 \cdot 2|V_{DS}| - |V_{DS}|^2]$

$|V_{DS}| = 1,8 - 500 \cdot I_D$

$|V_{DS}| = 1,8 - 500 \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10}{0,18} \cdot [(1,8 - 0,4)^2 \cdot 2|V_{DS}| - |V_{DS}|^2] \right\}$

$|V_{DS}| = 1,8 - 500 \cdot \left\{ 0,0028 \cdot [2,8|V_{DS}| - |V_{DS}|^2] \right\}$

$|V_{DS}| = 1,8 - 1,3889 \cdot [2,8|V_{DS}| - |V_{DS}|^2]$

$1,3889 |V_{DS}|^2 - 4,889 |V_{DS}| + 1,8 = 0$

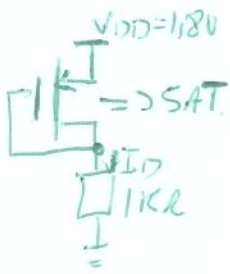
$|V_{DS}| = \frac{4,889 \pm \sqrt{4,889^2 - 4 \cdot 1,3889 \cdot 1,8}}{2 \cdot 1,3889}$

$|V_{DS}| = \begin{cases} 3,1022 > |V_{GS}| - |V_{TH}| \\ 0,4178 \leq |V_{GS}| - |V_{TH}| \end{cases}$

$|I_D| = \frac{1,8 - |V_{DS}|}{500} \Rightarrow |I_D| = 2,7645 \cdot 10^{-3} A$

$\hookrightarrow$  Triodo Ok

(6.43) b)



•  $V_{GS} = V_{DS}$

•  $|V_{DS}| = 1,8 - 1000 |I_D|$

•  $|I_D| = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} \cdot (|V_{GS}| - |V_{TH}|)^2$

$\Rightarrow |V_{GS}| = 1,8 - 1000 \left( \frac{1 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot \frac{10}{0,18} \cdot (|V_{GS}| - 0,4)^2 \right)$

$|V_{GS}| = 1,8 - 1000 \cdot [0,0028 \cdot (|V_{GS}|^2 - 0,8|V_{GS}| + 0,16)]$

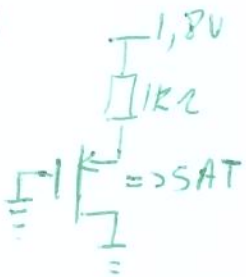
$|V_{GS}| = 1,8 - [2,7778 |V_{GS}|^2 - 2,222 |V_{GS}| + 0,444]$

$2,7778 |V_{GS}|^2 - 4,222 |V_{GS}| + 1,3556 = 0$

$|V_{GS}| = \begin{cases} 0,9524 \text{ V} \\ -0,8124 \end{cases}$

$|I_D| = \frac{1,8 - 0,9524}{1000} \Rightarrow |I_D| = 0,8476 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

c-)



•  $V_{GS} = V_{DS}$

•  $|V_{DS}| = 1,8 - 1000 |I_D|$

•  $|I_D| = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} \cdot (|V_{GS}| - |V_{TH}|)^2$

↳ idêntica ao 6.43b

$\therefore \begin{cases} |V_{GS}| = 0,9524 \text{ V} \\ |I_D| = 0,8476 \cdot 10^{-3} \text{ A} \end{cases}$

MM