

PSI3322 – Eletrônica II

1ª PROVA – 30/09/2022

NOTAS : 1ª _____
 2ª _____
 3ª _____

INSTRUÇÕES IMPORTANTES :
 . Duração da prova : 120 minutos.
 . SEM CONSULTA.
 . SEM CALCULADORA.

TOTAL : _____

N.USP: _____ NOME: _____

ASSINATURA: _____ PROF.: _____

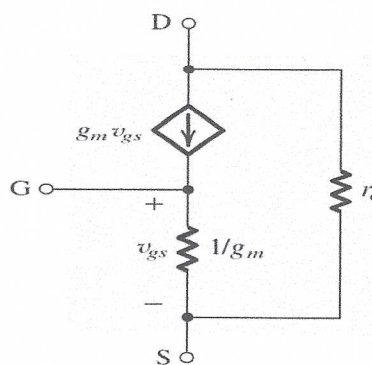
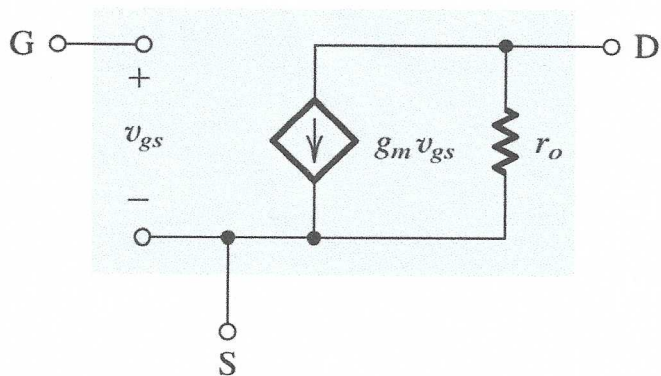
Formulário:

$$i_D = k' \frac{W}{L} \left[(v_{GS} - V_t) \cdot v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right] \quad \text{região de triodo: } v_{DS} \leq (v_{GS} - V_t) \text{ (NMOS); } v_{DS} \geq (v_{GS} - V_t) \text{ (PMOS)}$$

$$i_D = k' \frac{W}{L} \frac{(v_{GS} - V_t)^2}{2} (1 + \lambda \cdot v_{DS}) \quad \text{região de saturação: } v_{DS} \geq (v_{GS} - V_t) \text{ (NMOS); } v_{DS} \leq (v_{GS} - V_t) \text{ (PMOS)}$$

Onde $k'_n = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{t_{ox}} = \mu_n \cdot C_{ox}$; $k'_p = \frac{\mu_p \epsilon_{ox}}{t_{ox}} = \mu_p \cdot C_{ox}$; $\lambda = \frac{1}{V_A}$; $V_A = \text{tensão Early}$

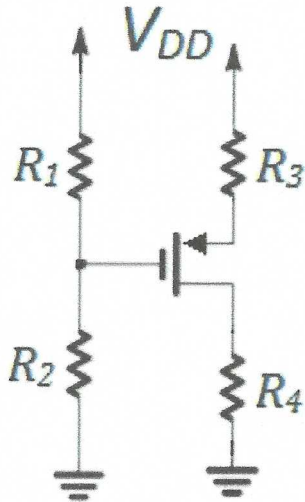
$$g_m(\text{sat}) = \left. \frac{di_D}{dv_{GS}} \right|_{v_{GS} = V_{GS}} = k' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) = \frac{2 \cdot I_D}{V_{OV}} = \frac{2 \cdot I_D}{V_{GS} - V_t} \quad ; \quad r_o = \frac{|V_A|}{I_D}$$



1° Questão (3,0 Pontos): Dado o circuito abaixo, pede-se:

Dados: $V_{DD} = 14\text{ V}$, $V_{tp} = -1,0\text{ V}$, $k_p' \cdot W/L = 1\text{ mA/V}$, $I_D = 0,5\text{ mA}$, $R_1 + R_2 = 14\text{ M}\Omega$, $\lambda = 0$.

- a) (2,0) Projete o circuito determinando R_1 , R_2 , R_3 e R_4 considerando $V_D = 5\text{ V}$ e $V_S = 10\text{ V}$.
 b) (1,0) Determine o novo valor da corrente de dreno se o transistor for substituído por um outro transistor com as mesmas características indicadas acima, mas com tensão Early de -10 V, considerando que os valores de R_3 e R_4 foram substituídos para manter as mesmas condições de polarização de dreno e fonte indicadas no item a. Considere neste item b que $R_1 = R_2 = 10\text{ M}\Omega$.



a) $R_1 = ?$ $R_2 = ?$, $R_3 = ?$ e $R_4 = ?$

$$R_4 = V_D / I_D = 5 / 0,5\text{m} = 10\text{ k}\Omega$$

$$R_3 = (V_{DD} - V_S) / I_D = (14 - 10) / 0,5\text{m} = 8\text{ k}\Omega$$

$$I_D = k_p' \cdot W/L \cdot [V_{GS} - V_t]^2 / 2$$

$$0,5\text{m} = 1\text{m} \cdot [V_{GS} - (-1)]^2 / 2$$

$$\text{(PMOS)} V_{GS} = -2,0\text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_G = V_{GS} + V_S = -2,0 + 10 = 8,0\text{ V}$$

$$V_G = V_{DD} \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

Como foi dado que $R_1 + R_2 = 14\text{ M}$

$$8 = 14 \cdot R_2 / (14\text{M}) \rightarrow R_2 = 8\text{ M}\Omega$$

$$R_1 = 14\text{ M} - 8\text{ M} = 6\text{ M}\Omega$$

b) $I_D = ?$

$$I_D = k_p' \cdot W/L \cdot [V_{GS} - V_t]^2 \cdot (1 + \lambda \cdot V_{DS}) / 2$$

$$\lambda = 1/V_A = 1/(-10) = -0,1$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 5 - 10 = -5\text{ V}$$

$$V_G = V_{DD} \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$V_G = 14 \cdot 10 / (10 + 10) = 7\text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = 7 - 10 = -3\text{ V}$$

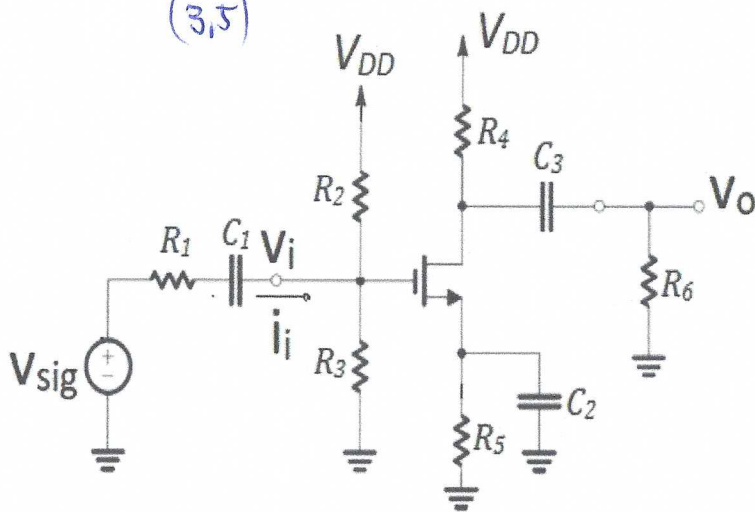
$$I_D = k_p' \cdot W/L \cdot [V_{GS} - V_t]^2 \cdot (1 + \lambda \cdot V_{DS}) / 2$$

$$I_D = 1\text{m} \cdot [-3 - (-1)]^2 \cdot [1 + (-0,1) \cdot (-5)] / 2$$

$$I_D = 3\text{ mA}$$

2ª Questão (4,5 pontos): Dado o circuito amplificador abaixo:

(3,5)



Dados:

$$V_{DD} = 10 \text{ V}$$

$$g_m = 40 \text{ mA/V}$$

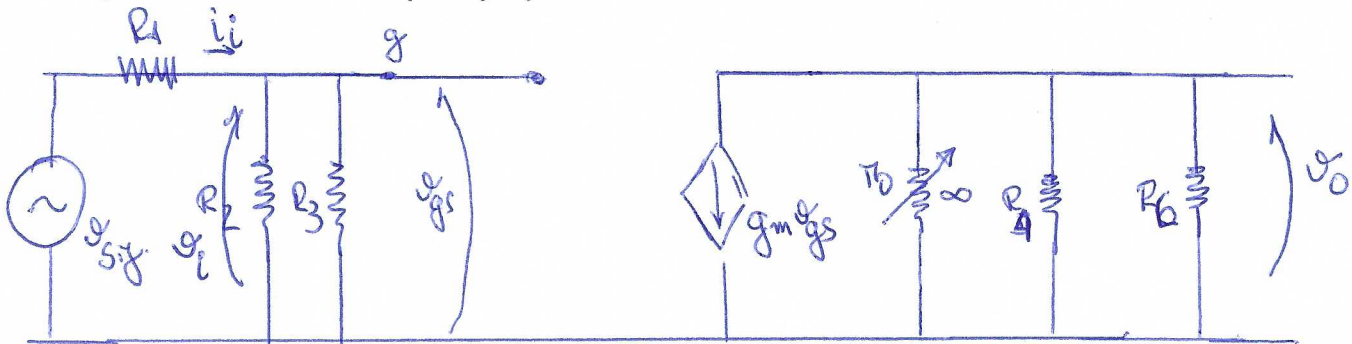
$$R_1 = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = R_3 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = R_5 = R_6 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$r_o = \infty$$

a) Desenhe o circuito para pequenos sinais.



b) Deduza as expressões dos ganhos de tensão $A_v = v_o / v_i$ e $G_v = v_o / v_{sig}$ em [V/V] e calcule os valores numéricos correspondentes em frequências médias.

$$\left. \begin{aligned} v_o &= -g_m v_{gs} (R_4 \parallel R_6) \\ v_i &= v_{gs} \end{aligned} \right\} A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m (R_4 \parallel R_6)$$

$$A_v = -40 \text{ mA/V} \cdot (1 \text{ k}\Omega \parallel 1 \text{ k}\Omega) = -20 \text{ V/V}$$

$$\boxed{A_v = -20 \text{ V/V}}$$

$$G_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_{sig}}$$

$$v_i = \frac{v_{sig} \cdot (R_2 \parallel R_3)}{R_{sig} + (R_2 \parallel R_3)}$$

$$\frac{v_i}{v_{sig}} = \frac{R_2 \parallel R_3}{R_{sig} + (R_2 \parallel R_3)}$$

$$\left. \begin{aligned} G_v &= -g_m (R_4 \parallel R_6) \cdot \frac{(R_2 \parallel R_3)}{R_{sig} + (R_2 \parallel R_3)} = \frac{v_o}{v_{sig}} \\ R_2 \parallel R_3 &= 50 \text{ k}\Omega \\ G_v &= -20 \text{ V/V} \cdot \frac{50 \text{ k}\Omega}{50 \text{ k}\Omega + 50 \text{ k}\Omega} = -10 \text{ V/V} \end{aligned} \right\}$$

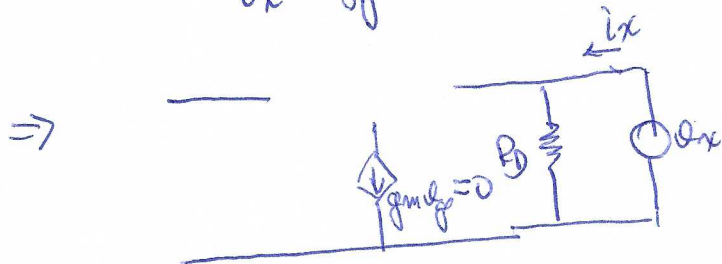
$$\boxed{G_v = -10 \text{ V/V}}$$

c) Calcule a impedância de entrada (R_{in}) e de saída (R_{out}) do amplificador dado.

$$R_{in} = \frac{v_i}{i_i} \quad \text{por inspeção} \quad R_{in} = R_2 \parallel R_3$$

$$\boxed{R_{in} = 50 \text{ k}\Omega}$$

$$R_{out} = \frac{v_x}{i_x} \Big|_{v_{sig} = 0} \quad \text{por inspeção}$$



$$R_{out} = R_4$$

$$\boxed{R_{out} = 1 \text{ k}\Omega}$$

d) Calcule um novo valor para R_4 e R_6 para obtermos um ganho de tensão $A_v = v_o / v_i$ igual a -10 V/V e impedância de saída igual a $0,5 \text{ k}\Omega$.

$$R_{out} = R_4 = 0,5 \text{ k}\Omega \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_4 = 0,5 \text{ k}\Omega}$$

$$A_v = -g_m (R_4 \parallel R_6) = -10 \text{ V/V}$$

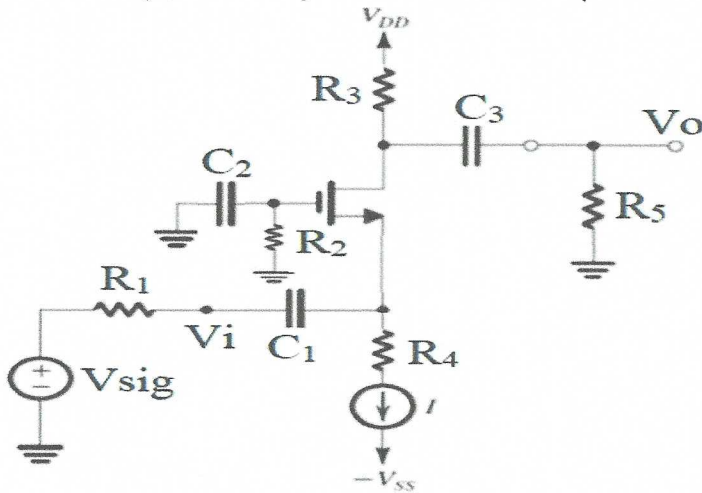
$$\Rightarrow -40 \text{ mA/V} = (0,5 \text{ k}\Omega \parallel R_6) = -10 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow 0,5 \text{ k}\Omega \parallel R_6 = 0,25 \frac{\text{V}}{\text{mA}} \text{ k}\Omega$$

$$R_6 = R_4 = 0,5 \text{ k}\Omega$$

$$\boxed{R_6 = 0,5 \text{ k}\Omega}$$

3ª Questão (3,5 Pontos): Dado o circuito amplificador abaixo, pede-se:



Dados:

$$V_{DD} = V_{SS} = 10 \text{ V}$$

$$R_4 = R_5 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\mu_n \cdot C_{OX} = 100 \mu\text{A/V}^2$$

$$V_t = 1 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 2 \text{ V}$$

$$I = 2,5 \text{ mA}$$

$$r_o = \infty$$

a) Determine a relação W/L do transistor NMOS para obter gm igual a 5 mA/V.

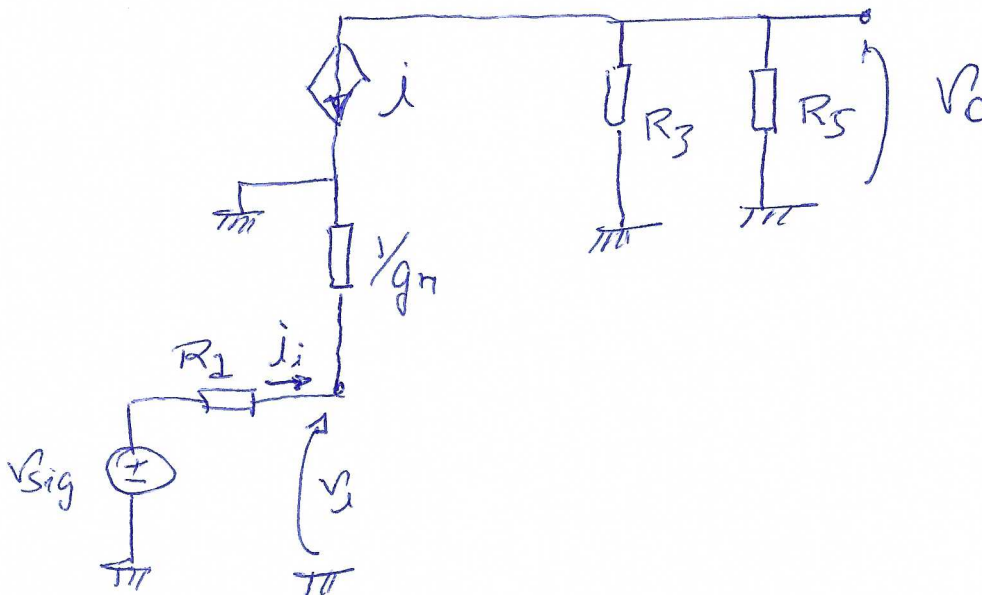
$$g_m = \mu_n C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) = 5 \text{ mA/V}$$

$$100 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}} \cdot \frac{W}{L} (2 - 1) = 5 \text{ mA/V}$$

$$\frac{W}{L} = \frac{5 \text{ m}}{0,1 \text{ m} \times 1} = 50$$

$$\boxed{\frac{W}{L} = 50}$$

b) Desenhe o circuito equivalente para pequenos sinais.



- c) Calcule o valor de R_3 para que se tenha $A_v = v_o / v_i = 5 \text{ V/V}$ e o valor de R_1 para se obter o $G_v = v_o / v_{sig} = 4 \text{ V/V}$. Deduza as expressões de A_v e G_v a serem utilizadas neste item.

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} \quad \left. \begin{array}{l} v_o = -(R_3/R_5) i \\ v_i = -\frac{1}{g_m} i \end{array} \right\} \Rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_3/R_5}{1/g_m}$$

$$A_v = \frac{R_3 // 2 \text{ k}\Omega}{0,2 \text{ k}\Omega} = 5 \frac{\text{V}}{\text{V}} \Rightarrow R_3 // 2 \text{ k}\Omega = 1 \text{ k}\Omega \Rightarrow \boxed{R_3 = 2 \text{ k}\Omega}$$

$$G_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_{sig}} \quad \frac{v_i}{v_{sig}} = \frac{1/g_m}{R_1 + 1/g_m} \quad \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{1/g_m}{R_1 + 1/g_m}$$

$$G_v = \frac{R_3 // R_5}{1/g_m} \cdot \frac{1/g_m}{R_1 + 1/g_m} \Rightarrow G_v = \frac{R_3 // R_5}{R_1 + 1/g_m} = \frac{v_o}{v_{sig}}$$

$$G_v = \frac{2 \text{ k}\Omega // 2 \text{ k}\Omega}{R_1 + 0,2 \text{ k}\Omega} = 4 \frac{\text{V}}{\text{V}} \Rightarrow R_1 + 0,2 \text{ k}\Omega = \frac{1 \text{ k}\Omega}{4} = 0,25 \text{ k}\Omega \quad R_1 = 0,25 \text{ k}\Omega - 0,2 \text{ k}\Omega$$

$$\boxed{R_1 = 0,05 \text{ k}\Omega = 50 \Omega}$$

- d) Calcule a impedância de entrada (R_{in}) e saída (R_{out}) do amplificador dado.

$$R_{in} = \frac{v_i}{i_i} \quad \text{por inspeção} \quad R_{in} = \frac{1}{g_m} \quad \boxed{R_{in} = 0,2 \text{ k}\Omega}$$

$$R_{out} = \frac{v_x}{i_x} \quad \text{por inspeção} \quad R_{out} = R_3 \quad \boxed{R_{out} = 2 \text{ k}\Omega}$$