

Identifique com Nome e Número TODAS as folhas do Exame

|| **O Exame é sem consulta** || **Duração 3 horas** || **Justifique as respostas** ||

Formulário TJB

$$I_C = I_S e^{V_{BE} / V_T} \quad V_T = 25 \text{ mV}$$

$$g_m = I_C / V_T \quad r_{\pi} = \beta / g_m$$

$$r_o = V_A / I_C$$

Formulário NMOS

Saturação: $I_D = K_n (V_{GS} - V_{Th})^2$

Tríodo: $I_D = K_n [2 (V_{GS} - V_{Th}) V_{DS} - V_{DS}^2]$

$$g_m = 2 I_D / (V_{GS} - V_{Th}) = 2 \sqrt{K_n I_D} \quad r_o = V_A / I_D$$

$$K_n = K_n' (W / L)$$

PROBLEMA 1 (1 + 2 + 2 + 1.5 + 1.5)

A Figura 1 apresenta um circuito composto por um par diferencial com transistores NMOS e uma fonte de corrente com transistores TJB e onde $V_{DD} = +3 \text{ V}$, $V_{SS} = -3 \text{ V}$, $R_D = 2 \text{ k}\Omega$. Os transistores TJB são caracterizados por $\beta = 100$, $V_{BEon} = 0.7 \text{ V}$, $V_{CEsat} = 0.3 \text{ V}$, $V_A = 50 \text{ V}$. Os transistores NMOS são caracterizados por $K_n = 1 \text{ mA}\cdot\text{V}^{-2}$, $V_{Th} = 1 \text{ V}$ e $V_A = \infty$.

Quando $V_1=V_2=1\text{V}$, pretende-se que o PFR tenha $I_{D1} = I_{D2} = 1\text{mA}$.

- Determine a resistência R_{REF} .
- Calcule todas as tensões e correntes no PFR
 Q1: I_{C1} , V_{BE1} , V_{CE1} (despreze a corrente de base)
 Q2: I_{C2} , V_{BE2} , V_{CE2} (despreze a corrente de base)
 M1: I_{D1} , V_{DS1} , V_{GS1} , M2: I_{D2} , V_{DS2} , V_{GS2}
- Considerando que a tensão de modo comum na entrada é $V_c=V_1=V_2$, determine os limites V_{cmax} e V_{cmin} para que o circuito funcione como um amplificador.

Lembrete: os transistores NMOS devem permanecer na zona de saturação e os transistores TJB devem permanecer na zona activa directa.

- Calcule os ganhos de tensão V_{o1}/V_c , V_{o2}/V_c e $(V_{o1} - V_{o2})/V_c$.
- Considerando que a tensão diferencial de entrada é $V_d=V_1-V_2$, calcule os ganhos de tensão V_{o1}/V_d , V_{o2}/V_d e $(V_{o1}-V_{o2})/V_d$.

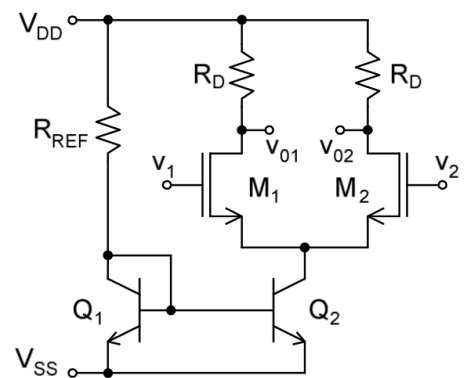


Figura 1: Par diferencial MOS com fonte de corrente TJB.

PROBLEMA 2 (1.5 + 2 + 1)

No circuito da Figura 2 representa-se um andar seguidor de emissor em que o transistor TJB tem $\beta = 100$ e $V_A = 100 \text{ V}$. Tem-se também $V_{CC}=+5 \text{ V}$, $R_1 = 30 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$ e $R_i = 100 \Omega$.

- No PFR, calcule I_B , I_C , V_{CE} .
- Considerando $C_1=C_2=\infty$, represente o esquema incremental de sinais fracos e determine o ganho de tensão V_o / V_i .
- Calcule a resistência de entrada $R_i = V_i / I_i$ e a resistência de saída $R_o = V_o / I_o | V_i=0$.

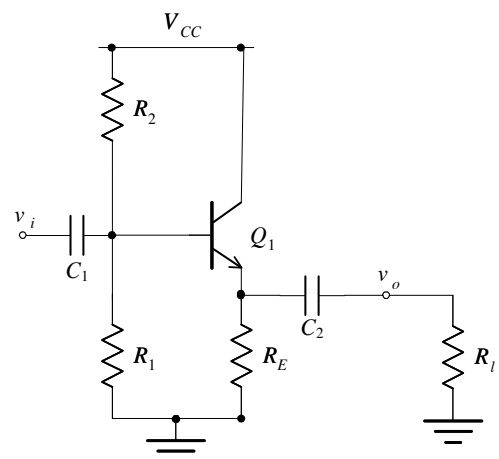


Figura 2: Seguidor de emissor TJB.

Identifique com Nome e Número TODAS as folhas do Exame

|| **O Exame é sem consulta** || **Duração 3 horas** || **Justifique as respostas** ||

PROBLEMA 3 (2 + 1.5 + 1)

No circuito da Figura 3 apresenta-se um inversor NMOS com transistor de reforço (*enhancement NMOS*). Considere que $V_{DD} = +5\text{ V}$ e que os transistores têm $V_{Th1} = V_{Th2} = 1\text{ V}$ e $K_n = K'(W/L)_n$, com $K' = 1\text{ mA}\cdot\text{V}^{-2}$, $(W/L)_1 = 8$ e $(W/L)_2 = 2$.

- Represente graficamente a característica de transferência $V_O(V_I)$ indicando as diferentes zonas de funcionamento dos transistores M_1 e M_2 . Determine os valores de V_O e V_I que definem os pontos de transição dessas zonas de funcionamento.
- Supondo que liga um condensador $C_L = 1\text{ pF}$ ao terminal V_O do circuito, calcule o tempo de propagação t_{pHL} do inversor.
- Considerando que no transistor M_1 se tem agora $(W/L)_1 = 2$, indique qualitativamente de que forma deverá variar o tempo de propagação t_{pHL} do inversor relativamente ao valor determinado em b) (maior, menor ou igual).

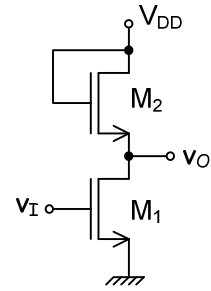


Figura 3: Inversor NMOS

PROBLEMA 4 (1.5 + 1.5)

Considerando a mesma família lógica do circuito inversor da Figura 3:

- Desenhe o circuito lógico que realiza a função $Y = (X_1 + X_2) \cdot X_3$, em que X_1 , X_2 e X_3 têm os valores lógicos “1” ou “0” quando $V_I = V_{DD}$ ou $V_I = 0$, respectivamente.
- Desenhe o circuito lógico que realiza a função $Y = (X_1 \cdot X_2) + X_3$, em que X_1 , X_2 e X_3 têm os valores lógicos “1” ou “0” quando $V_I = V_{DD}$ ou $V_I = 0$, respectivamente.