

1. Amplificador TJB (1.5+2+1+2+2)

A figura representa um andar de amplificação. Os dados são $\beta=100$, $V_{BEon}=0.7V$, $V_{CC}=5V$, $V_{BB}=2V$, $R_E=200\Omega$ e $R_L=5k\Omega$.

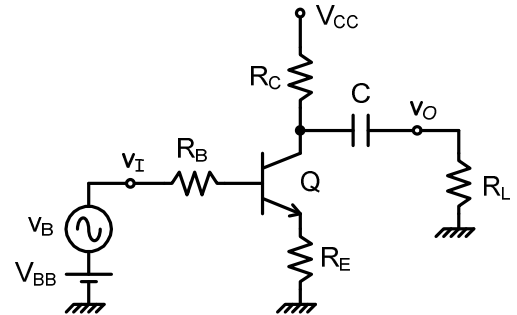
a) Dimensione R_B e R_C de modo que, no PFR, $I_C=2mA$ e $V_{CE}=2V$.

b) Desenhe o esquema incremental do circuito na banda de passagem. Calcule o ganho de tensão $G_v=v_o/v_i$, as resistências de entrada R_i e de saída R_o .

c) O circuito tem polarização estabilizada? Justifique.

d) Calcule o valor de C para que $f_L=10Hz$.

e) Se o transistor Q tiver $C_\pi=10pF$ qual o valor de f_H do amplificador?



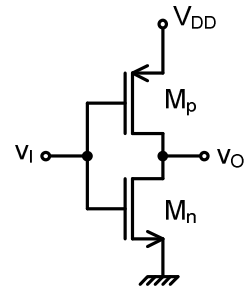
2. Circuitos digitais MOS (2+2+2)

Considere o circuito da figura, onde $V_{DD}=5V$, $1/2 \cdot \mu_n C_{OX} = 0.4mA/V^2$, $1/2 \cdot \mu_p C_{OX} = 0.1mA/V^2$, $(W/L)_n=(W/L)_p=2$ e $V_{tp}=V_{tn}=1V$.

a) Faça um esboço da característica $v_o(v_i)$, indicando as diferentes zonas de funcionamento dos transistores. Calcule as coordenadas dos pontos limites entre essas zonas.

b) Usando a média das correntes, calcule o atraso de propagação t_{pHL} do inversor dado, supondo $C_L=0.1pF$.

c) Desenhe o circuito lógico da mesma família do inversor dado que implementa a função lógica $Y = (X_1 X_2 + X_3) \cdot X_4$. Dimensione os (W/L) dos vários transistores para que o circuito nunca seja mais lento a comutar que o inversor dado.



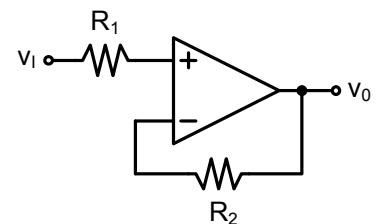
3. Amplificador operacional (1.5+2+2)

Considere o circuito da figura onde o AMPOP é ideal com $V_{SAT}^+ = -V_{SAT}^- = 5V$ e $R_1=R_2=10k\Omega$.

a) Desenhe a característica de transferência $v_o(v_i)$ quando $|v_i| \leq 7V$. Calcule as coordenadas dos pontos notáveis. Calcule a resistência de entrada do circuito.

b) Admitindo que o AMPOP tem $V_{OS}=1mV$, $I_B=100nA$, $I_{OS}=10nA$, obtenha o erro na tensão de saída v_o .

c) De modo a anular o erro da alínea anterior diga qual a resistência cujo valor deverá ser alterado. Calcule esse valor. Justifique a sua resposta.



Formulário

- **MOSFET**

$$i_D = k(v_{GS} - V_t)^2 \quad i_D = k[2(v_{GS} - V_t)v_{DS} - v_{DS}^2] \quad g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_t} \quad r_0 = \frac{1}{\lambda I_D}$$
$$k_n = \frac{1}{2}\mu_n C_{OX} \frac{W}{L} \quad k_p = \frac{1}{2}\mu_p C_{OX} \frac{W}{L}$$

- **TJB**

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad r_0 = \frac{V_A}{I_C} \quad V_T = 25mV$$

- **Métodos das constantes de tempo**

$$\omega_L \approx \sum_k \frac{1}{C_k R_{k\infty}} \quad \frac{1}{\omega_H} \approx \sum_k C_k R_{k0}$$

- **AMPOP**

$$I_{OS} = I_{B1} - I_{B2} \quad I_B = \frac{1}{2}(I_{B1} + I_{B2})$$

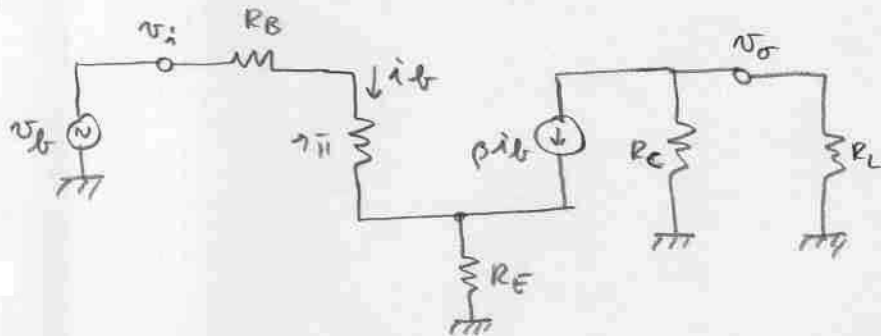
1a) $V_{BB} = R_B \frac{I_C}{\beta} + V_{BEon} + (1 + \frac{1}{\beta}) I_C R_E \Rightarrow R_B = \frac{V_{BB} - V_{BEon} - (\frac{1}{\beta} + 1) I_C R_E}{I_C / \beta}$

$R_B = 44.8 \text{ k}\Omega$

$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - R_E I_C (1 + \frac{1}{\beta})}{I_C} \Rightarrow R_C = 1.3 \text{ k}\Omega$

COMO $V_{CE} > V_{BE} \Rightarrow \text{Z.A.D}$

1b)



$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 80 \text{ mS}$

$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 1.25 \text{ k}\Omega$

$R_i = R_B + r_{\pi} + (\beta + 1) R_E$

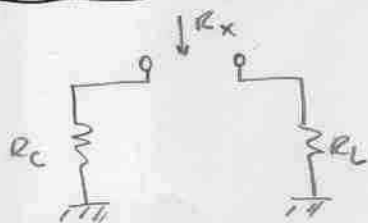
$R_i = 66.25 \text{ k}\Omega$

$R_o = R_C \Rightarrow R_o = 1.3 \text{ k}\Omega$

$v_o = -\beta i_b (R_C || R_L)$
 $i_b = \frac{v_i}{R_i}$
 $\Rightarrow G_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-\beta (R_C || R_L)}{R_B + r_{\pi} + (\beta + 1) R_E} \Rightarrow G_v = -1.56$

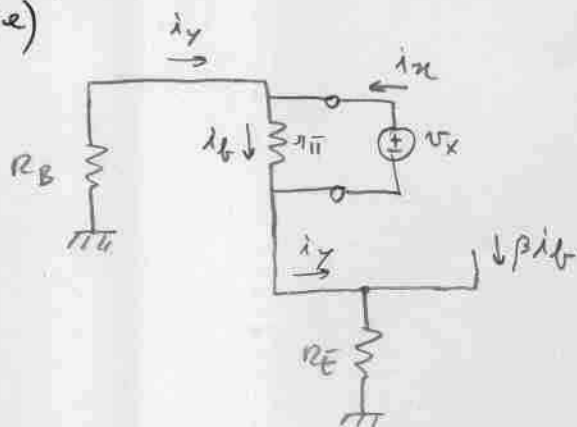
1c) SIM. SE $I_C \uparrow \Rightarrow I_E \uparrow \Rightarrow V_{RE} \uparrow \Rightarrow V_{BE} \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow \Rightarrow$ HÁ REALIMENTAÇÃO NEGATIVA \rightarrow O AUMENTO INICIAL DE I_C É CONTRARIADO.

1d)



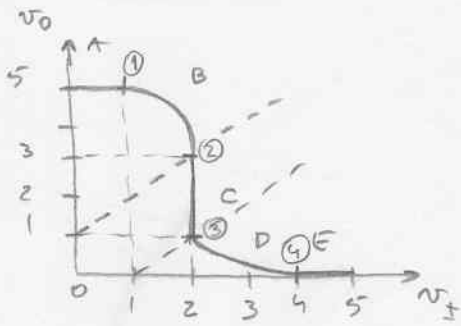
$R_x = R_C + R_L$
 COMO É O ÚNICO CONDENSADOR $\Rightarrow \omega_L = \frac{1}{R_x C} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi f_L R_x}$
 $C = 2.53 \text{ }\mu\text{F}$

1e)



$v_x = -R_B i_y - (\beta i_b + i_y) R_E$
 $i_y = i_b - i_x$
 $i_b = \frac{v_x}{r_{\pi}}$
 $\Rightarrow i_y = \frac{v_x}{r_{\pi}} - i_x$
 $\Rightarrow R_x = \frac{v_x}{i_x} = \frac{R_B + R_E}{1 + \frac{R_B + R_E}{r_{\pi}} + \beta \frac{R_E}{r_{\pi}}} = (R_B + R_E) || r_{\pi} || \frac{r_{\pi}}{\beta (1 + \frac{R_B}{R_E})}$
 $R_x = 849.1 \Omega$
 $f_H = \frac{1}{2\pi R_x C_{\pi}} \Rightarrow f_H = 117.8 \text{ MHz}$

2a)



	M _M	M _P
A	C	T
B	S	T
C	S	S
D	T	S
E	T	C

PONTO ①

$$v_I = v_{Tn}; v_O = v_{DD} = 5V$$

PONTO ②

$$v_I = 2V; v_O = 3V$$

$$v_{DD} - v_O = v_{DD} - v_I - v_{Tp} \Rightarrow v_O = v_I + v_{Tp}$$

TRIZOÇO C

$$i_{Dn} = i_{Dp} \Rightarrow \mu_n (v_I - v_{Tn})^2 = \mu_p (v_{DD} - v_I - v_{Tp})^2 \Rightarrow v_I = 2V$$

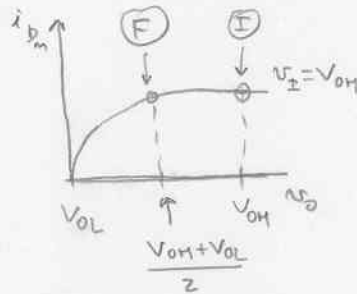
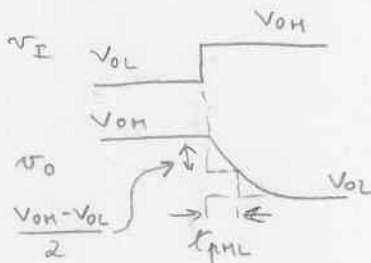
PONTO ③

$$v_O = v_I - v_{Tn} \Rightarrow v_I = 2V; v_O = 1V$$

PONTO ④

$$v_{DD} - v_I = v_{Tp} \Rightarrow v_I = 4V; v_O = \phi$$

2b)



$$i_{Dm}(I) = \mu_n (v_{OH} - v_{Tn})^2 = 12.8 \text{ mA}$$

$$\mu_n = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_n = 0.8 \text{ mA/V}^2$$

$$\text{EM (F)} \rightarrow \frac{v_{OH} + v_{OL}}{2} < v_{OH} - v_{Tn} \Rightarrow \Rightarrow \text{TRIZODO}$$

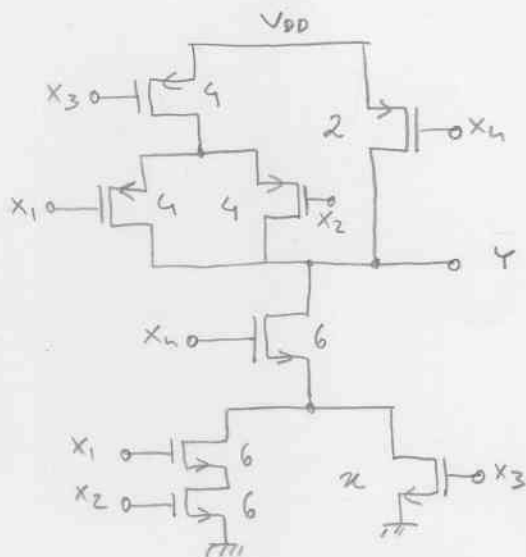
$$i_{Dm}(F) = \mu_n \left[2 (v_{OH} - v_{Tn}) \left(\frac{v_{OH} + v_{OL}}{2}\right) + \left(\frac{v_{OH} + v_{OL}}{2}\right)^2 \right] = 11 \text{ mA}$$

$$i_{Dm,av} = \frac{i_{Dm}(F) + i_{Dm}(I)}{2} = 11.9 \text{ mA} \quad t_{pHL} = C_L \frac{\Delta v_O}{C_L} = C_L \frac{\frac{v_{OH} - v_{OL}}{2}}{C_L} \Rightarrow t_{pHL} = 21 \text{ ns}$$

2e)

$$Y = (x_1 x_2 + x_3) \cdot x_4 = (x_1 x_2 + x_3) + x_4 = (x_1 x_2 \cdot x_3) + x_4 = [(x_1 + x_2) \cdot x_3] + x_4$$

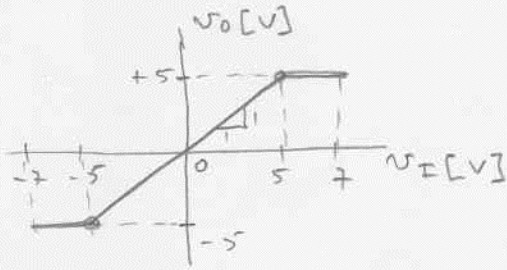
$$\frac{1}{6} + \frac{1}{x} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{x} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3} \Rightarrow x = 3$$



3a) A.O. IDEAL $\Rightarrow I_+ = I_- = \phi \Rightarrow R_1$ E R_2 SI INFLUÊNCIA NO CIRCUITO.

BUFFER $\rightarrow G_V = 1$

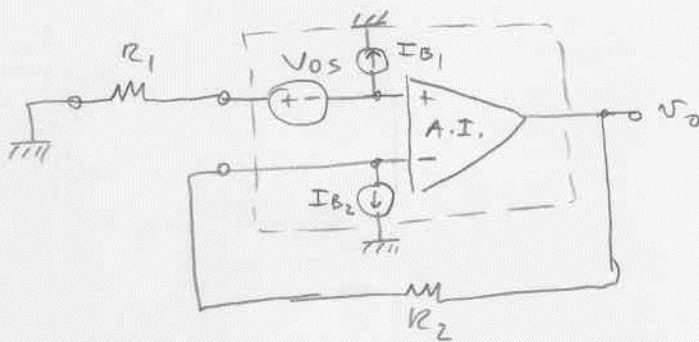
$$R_{in} = \frac{V_i}{I_i} \Rightarrow R_{in} = \infty$$



3b)

c/ $v_{\pm} = \phi \Rightarrow v_o = \text{ERRO}$

LINEAR \rightarrow T. SOBREPOSIÇÃO



$$\left. \begin{aligned} V_{0s} &\rightarrow v_{o1} = -V_{0s} \\ I_{B1} &\rightarrow v_{o2} = -R_1 I_{B1} \\ I_{B2} &\rightarrow v_{o3} = +R_2 I_{B2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_o = v_{o1} + v_{o2} + v_{o3} \Rightarrow v_o = R_2 I_{B2} - (V_{0s} + R_1 I_{B1}) \quad v_o = -1.1\text{mV}$$

$$\begin{aligned} I_{B1} &= 105\text{ nA} \\ I_{B2} &= 55\text{ nA} \end{aligned}$$

3c)

$$v_o = \underbrace{R_2 I_{B2}}_{0.95\text{m}} - \underbrace{R_1 I_{B1}}_{1.05\text{m}} - \underbrace{V_{0s}}_{1\text{m}}$$

\Rightarrow MANTENDO R_2 NEM COM $R_1 = \phi$ SE ANULA v_o

$\Rightarrow R_2$ TEM DE AUMENTAR \Rightarrow

$$R_2 = \frac{R_1 I_{B1} + V_{0s}}{I_{B2}}$$

$$R_2 = 21.58\text{ kohm}$$