

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

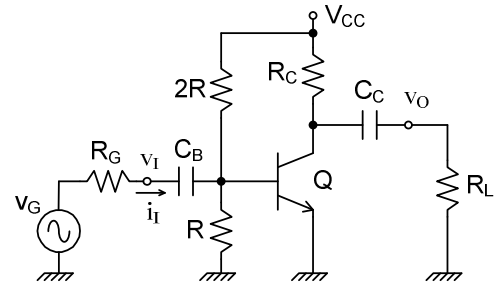
A figura representa um andar de amplificação. Os dados são $V_{CC}=+10V$, $\beta=80$, $V_{BEon}=0.7V$, $R_G=2k\Omega$, $R_L=3k\Omega$.

a) Dimensione R_C e R de modo que, no PFR, $I_C=1mA$ e $V_{CE}=5V$. Explique a função de cada componente do circuito.

b) Desenhe o esquema incremental do circuito na banda de passagem. Calcule os ganhos de tensão $G_{v1}=v_o/v_i$ e $G_{v2}=v_o/v_g$, e a resistência de entrada $R_{in}=v_i/i_i$ do circuito. (Se não fez a alínea a) admita $R_C=4k\Omega$ e $R=200k\Omega$).

c) Admitindo que C_B impõe um pólo dominante em baixa frequência, dimensione o seu valor para que $f_L=100Hz$. (Idem).

d) Admitindo que o transistor tem $C_{\mu}=1pF$, calcule a frequência de corte superior, f_H , do circuito. (Idem).



2. Inversor CMOS (1.5+1.5+2+2)

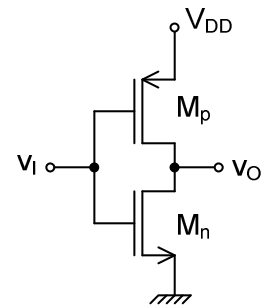
Considere o circuito da figura, onde $V_{DD}=5V$, $K_n'=0.3mA/V^2$, $K_p'=0.1mA/V^2$, $K_n=K_n'(W/L)_n$, $K_p=K_p'(W/L)_p$, $3(W/L)_n=(W/L)_p=2$ e $V_{tp}=V_{tn}=1V$.

a) Explique quais as vantagens e desvantagens do inversor da figura em relação a um inversor NMOS com carga de reforço. Justifique a sua resposta.

b) Calcule V_{OH} , V_{OL} , V_{IH} e V_{IL} do inversor dado e explique os seus significados.

c) Usando a média das correntes, calcule o atraso de propagação t_p do inversor dado, supondo $C_L=0.1pF$.

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



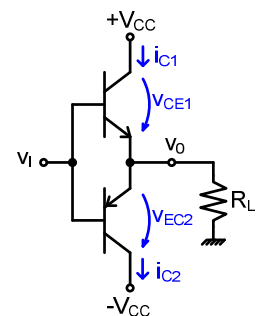
3. Andar de potência (2+1.5+1.5)

A figura apresenta um andar de amplificação de potência *push-pull*, onde os transístores TJB têm $V_{BEon}=V_{EBon}=0.7V$ e $V_{CEsat}=V_{ECsat}=0.2V$, e os restantes elementos $V_{CC}=5V$, e $R_L=48\Omega$.

a) Calcule os valores máximo e mínimo que v_o pode atingir. Desenhe a característica $v_o(v_i)$ do circuito indicando os valores dos pontos notáveis.

b) Desenhe as formas de onda de v_i , v_o , v_{CE1} e i_{C1} , na situação de excursão máxima na saída, admitindo uma excitação sinusoidal em v_i . Indique os valores máximos e mínimos das formas de onda.

c) Calcule o valor aproximado da potência na carga, P_L , nas condições da alínea b). Comente a aproximação cometida.



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**

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

- CMOS**

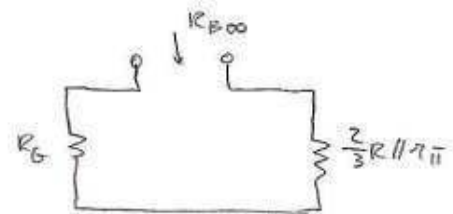
$$V_{IL} = \frac{1}{8}(3V_{DD} + 2V_t) \quad V_{IH} = \frac{1}{8}(5V_{DD} - 2V_t)$$

- Métodos das constantes de tempo**

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

c) COMO C_B IMPÕE PÓLO DOMINANTE E C_C NÃO É DADO \Rightarrow

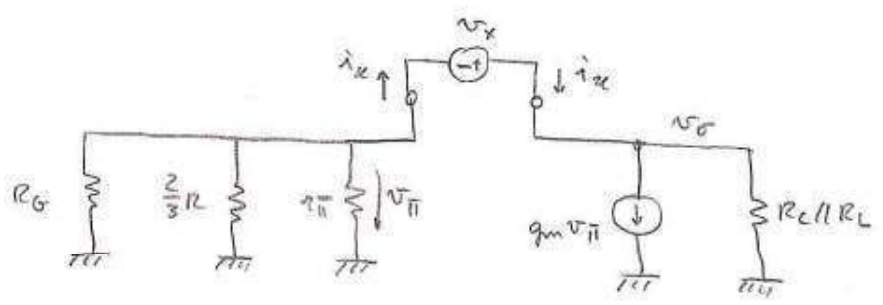
$$\omega_L = \frac{1}{C_B R_{B\infty}}$$



$$R_{B\infty} = R_G + \left(\frac{2}{3}R \parallel r_{\pi}\right) \approx R_G + r_{\pi} = \boxed{4 \text{ k}\Omega}$$

$$C_B = \frac{1}{\omega_L R_{B\infty}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 4 \text{ k}} \Rightarrow C_B = \boxed{0.398 \mu\text{F}}$$

d) COMO C_{μ} É O ÚNICO CONDENSADOR $\Rightarrow \omega_H = \frac{1}{C_{\mu} R_{\mu 0}}$



$$\left. \begin{aligned} v_{\sigma} &= (i_x - g_m v_{\pi})(R_C \parallel R_L) \\ v_x &= v_{\sigma} - v_{\pi} \\ v_{\pi} &= -i_x (R_G \parallel \frac{2}{3}R \parallel r_{\pi}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_{\mu 0} = \frac{v_x}{i_x} \Rightarrow R_{\mu 0} = (R_C \parallel R_L) + (R_G \parallel \frac{2}{3}R \parallel r_{\pi}) [1 + g_m (R_C \parallel R_L)]$$

$$R_{\mu 0} \approx (3 \text{ k} \parallel 5 \text{ k}) + (2 \text{ k} \parallel 2 \text{ k}) [1 + 40 \text{ m} \cdot (3 \text{ k} \parallel 5 \text{ k})] = \boxed{77.875 \text{ k}\Omega}$$

$$\omega_H = \frac{1}{1 \text{ p} \cdot 77.875 \text{ k}} = \boxed{12.84 \text{ Mrad/s}} \Rightarrow f_H = \boxed{2.04 \text{ MHz}}$$

2 a)

VANTAGENS: P ESTÁTICA NULA; $V_{OH} = V_{DD}$; $V_{OL} = 0$; CARACTERÍSTICA MAIS PRÓXIMA DA IDEAL; NÃO TEM EFEITO DE CORPO NO TRANSISTOR DE PULL-UP.

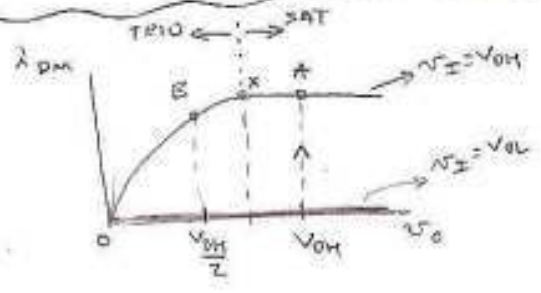
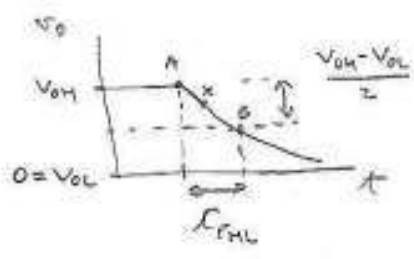
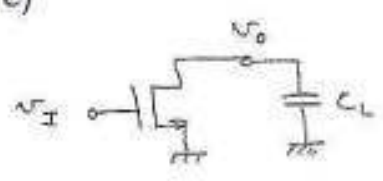
DESVANTAGENS: MENOR ÁREA.

b)

$V_{OH} = V_{DD} = 5V$ $V_{OL} = 0$ $V_{IL} = \frac{1}{8} (3V_{DD} + 2V_t) = 2.125V$
 $V_{IH} = \frac{1}{8} (5V_{DD} - 2V_t) = 2.875V$

- V_{OH} → TENSÃO MÁXIMA DE SAÍDA NO ESTADO "HIGH".
- V_{OL} → " MÍNIMA " " " " " "LOW".
- V_{IL} → TENSÃO MÁXIMA NA ENTRADA INTERPRETADA COMO "LOW".
- V_{IH} → " MÍNIMA " " " " " "HIGH".

c)



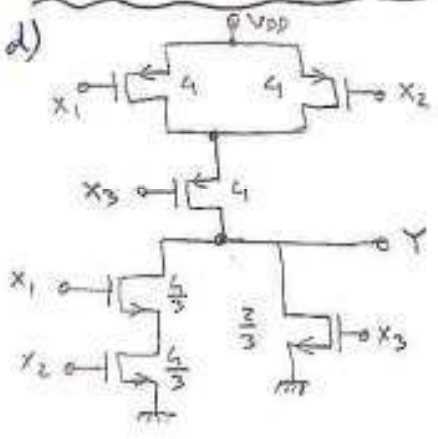
$\frac{V_{OH} - V_{OL}}{2} = 2.5V \rightarrow 2.5 < V_{GS} - V_t \Rightarrow 2.5 < 4 \rightarrow$ PONTO MÉDIO ESTÁ NO TRIODO.

$i_D(A) = K_M (V_{GS} - V_t)^2 = 0.3 \times \frac{2}{3} (5 - 1)^2 = 3.2 \text{ mA}$

$i_D(B) = K_M [2(V_{GS} - V_t)V_{DS} - V_{DS}^2] = 0.3 \times \frac{2}{3} [2(5 - 1)2.5 - 2.5^2] = 2.75 \text{ mA}$

$i_{AV} = \frac{i_D(A) + i_D(B)}{2} = 2.975 \text{ mA}$ $t_c = C \frac{\Delta V_O}{i_{AV}} \Rightarrow t_{PHL} = \frac{C V_{OH}/2}{i_{AV}} = 84 \text{ ns}$ $t_p = t_{PHL} = 84 \text{ ns}$
 PQ. É ADAPTADO

d)



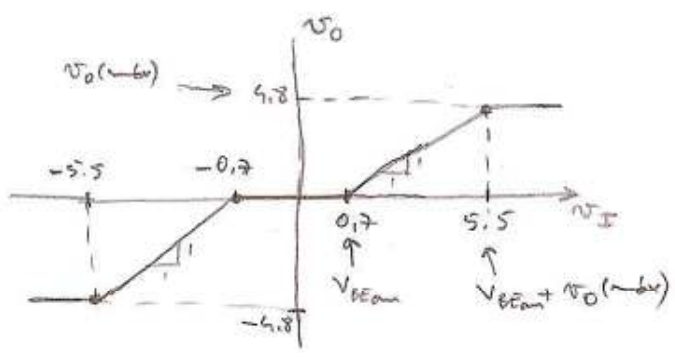
PULL-UP → $Y = \overline{X_1 X_2} \cdot \overline{X_3} = (\overline{X_1} + \overline{X_2}) \cdot \overline{X_3}$

INVERSOR → $(\frac{W}{L})_p = 2$, $(\frac{W}{L})_n = \frac{2}{3}$

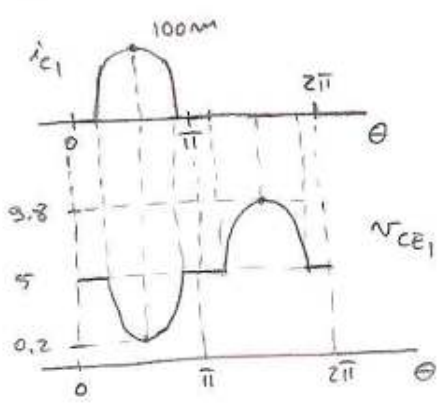
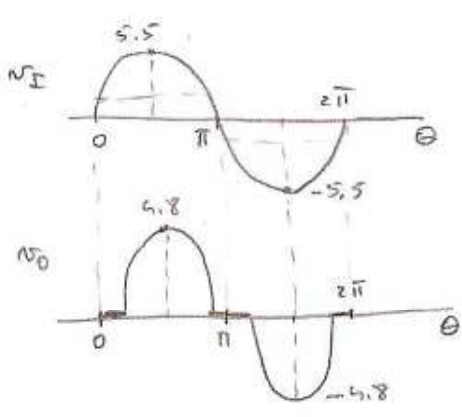
3a)

$$V_o(\text{max}) = V_{CC} - V_{CE\text{SAT}} = 4.8\text{V}$$

$$V_o(\text{min}) = -V_{CC} + V_{CE\text{SAT}} = -4.8\text{V}$$



b)



$$i_{c1}(\text{max}) = \frac{V_o(\text{max})}{R_L} = 100\text{mA}$$

c)

O VALOR DA POTÊNCIA É APROXIMADO PORQUE V_o NÃO É EXACTAMENTE SINUSOIDAL. MAS COMO $0.7 \ll 4.8\text{V}$ A APROXIMAÇÃO É ACEITÁVEL.

$$P_L = \frac{1}{2} \frac{V_o^2}{R_L} = \frac{1}{2} \frac{4.8^2}{48} = 240\text{mW}$$