

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

A figura representa um andar de amplificação. Os dados são  $\beta=100$ ,  $V_{BEon}=0.7V$ ,  $V_{CEsat}=0.2V$ ,  $V_A=\infty$ ,  $V_{CC}=6V$ ,  $R_1=75k\Omega$ ,  $R_2=50k\Omega$ , e  $R_L=5k\Omega$ .

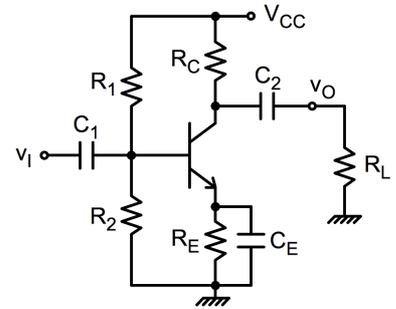
a) Dimensione  $R_E$  e  $R_C$  de modo que, no PFR,  $I_C=1mA$  e  $V_{CE}=2V$ . Explique a função de todos os elementos do circuito.

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) Admitindo que  $C_1=C_2=\infty$  calcule o valor de  $C_E$  para que  $f_L=10Hz$ .

d) Se o transistor TJB tiver  $C_{\mu}=10pF$  qual o valor de  $f_H$  do amplificador? (Nota: não use o Teorema de Miller)

e) Admitindo um sinal de entrada sinusoidal, calcule a amplitude máxima que  $v_o$  pode alcançar mantendo o TJB na zona ativa.



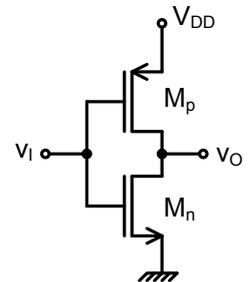
**2. Circuitos digitais MOS (2+2+2)**

Considere o circuito da figura, onde  $V_{DD}=5V$ ,  $1/2 \cdot \mu_n C_{OX}=0.4mA/V^2$ ,  $1/2 \cdot \mu_p C_{OX}=0.1mA/V^2$ ,  $(W/L)_n=(W/L)_p=2$ ,  $V_{tp}=V_{tn}=1V$ , e  $\lambda_p=\lambda_n=0 V^{-1}$ .

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

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

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



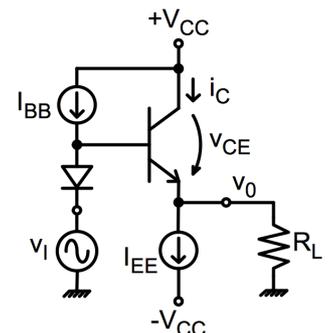
**3. Andar de potência (1+1.5+1.5)**

A figura apresenta um andar de amplificação de potência em classe A, onde o transistor tem  $\beta=60$ ,  $V_{BEon}=0.7V$ ,  $V_{CEsat}=0V$ , o diodo  $V_{\gamma}=0.7V$ ,  $V_{CC}=10V$ ,  $I_{EE}=1.25A$  e  $R_L=8\Omega$ . Admita que o transistor é linear na zona ativa e as fontes de corrente são ideais.

a) Calcule os valores máximo e mínimo que  $v_o$  pode atingir. Calcule o valor máximo da potência na carga  $P_L$ .

b) Desenhe a forma de onda sinusoidal de  $v_i$  que faz a excursão máxima na saída. Nessas condições desenhe as formas de onda de  $v_o$ ,  $i_C$ ,  $v_{CE}$ . Indique os valores máximos e mínimos de todas as ondas desenhadas.

c) Calcule o valor mínimo de  $I_{BB}$  para que o diodo nunca corte e explique as vantagens da sua utilização.



## Formulário

- **MOSFET**

$$i_D = k(v_{GS} - V_t)^2(1 + \lambda v_{DS}) \quad i_D = k[2(v_{GS} - V_t)v_{DS} - v_{DS}^2] \quad g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_t}$$

$$r_0 = \frac{1}{\lambda I_D} \quad k_n = \frac{1}{2}\mu_n C_{OX} \frac{W}{L} \quad k_p = \frac{1}{2}\mu_p C_{OX} \frac{W}{L}$$

- **TJB**

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} (1 + v_{CE}/V_A) \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad r_0 = \frac{V_A}{I_C}$$
$$V_T = 25mV$$

- **Métodos das constantes de tempo**

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

1a) EQ. THEVENIN

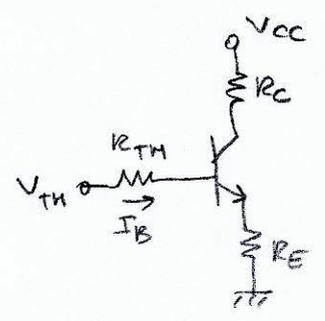
$$V_{TH} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 2.4V$$

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_2 = 30k\Omega$$

$$V_{TH} = R_{TH} \left( \frac{I_C}{\beta} \right) + V_{BEON} + I_C (1 + \frac{1}{\beta}) R_E \Rightarrow$$

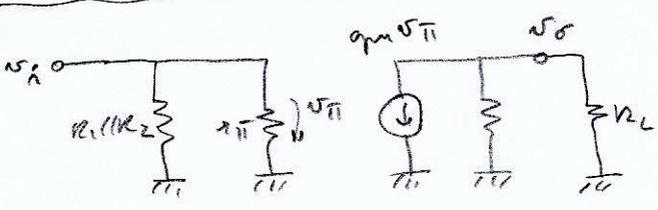
$$\Rightarrow R_E = \frac{V_{TH} - R_{TH} \left( \frac{I_C}{\beta} \right) - V_{BEON}}{I_C (1 + \frac{1}{\beta})} = 1.386k\Omega$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - R_E (1 + \frac{1}{\beta}) I_C}{I_C} = 2.6k\Omega$$



FUNÇÃO: C<sub>1,2</sub>: DESACOPLAMENTO DC R<sub>1,2</sub>: POLARIZAÇÃO BASE RE: POLARIZAÇÃO DO EMISSOR E ESTABILIZAÇÃO PFR.  
 C<sub>E</sub>: CONTORNO DE RE R<sub>C</sub>: " COLECTOR R<sub>L</sub>: CARGA  
 TJB: ANDAR DE AMPLIFICAÇÃO EMISSOR-COMUM (EM A.C.)

1b)

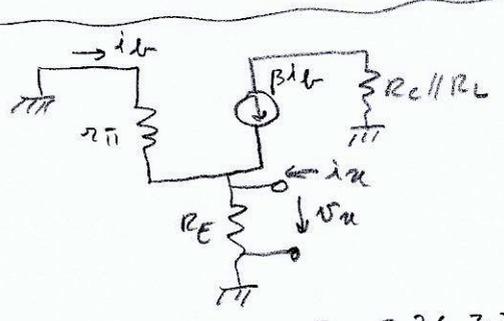


$$r_{\pi} = \beta / g_m = 2.5k\Omega \quad G_{v_s} = -g_m (R_C \parallel R_L) = -68.42$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 40mS \quad R_{\lambda} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi} = 2.31k\Omega$$

$$R_{\sigma} = R_C = 2.6k\Omega$$

1c)



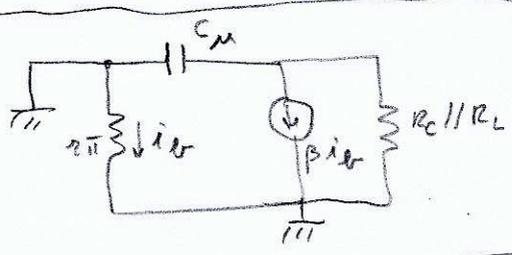
$$i_x + i_b \beta + i_b = \frac{v_x}{R_E} \Rightarrow i_x - (\beta + 1) \frac{v_x}{r_{\pi}} = \frac{v_x}{R_E} \Rightarrow$$

$$i_b = - \frac{v_x}{r_{\pi}}$$

$$\Rightarrow v_x \left( \frac{1}{R_E} + \frac{\beta + 1}{r_{\pi}} \right) = i_x \Rightarrow R_{E00} = R_E \parallel \frac{r_{\pi}}{\beta + 1}$$

$$R_{E00} = 24.32\Omega \rightarrow C_E = \frac{1}{\omega_L R_{E00}} \rightarrow C_E = 654.47\mu F$$

1d)



$$i_b = \phi \Rightarrow \beta i_b = \phi \quad R_{\pi 0} = R_C \parallel R_L$$

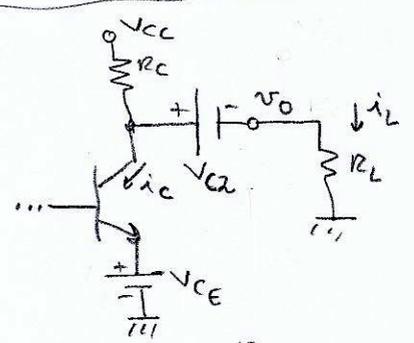
$$R_{\pi 0} = 1.71k\Omega \rightarrow f_H = \frac{1}{2\pi C_M R_{\pi 0}} = 9.304MHz$$

1e) TENSÃO DC NOS CONDENSADORES

$$V_{CE} = R_E I_E = R_E I_C (1 + \frac{1}{\beta}) = 1.4V$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_C I_C = 3.4V$$

QD.  $v_{CE} = v_{CESAT} \rightarrow i_c$  é máx  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow v_o$  é mín  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow v_o(\text{mín}) = V_{CE} + V_{CESAT} - V_{C2} = -1.8V$   
 QD.  $i_c = \phi$  (CORTE)  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow i_L = \frac{V_{CC} - V_{C2}}{R_C + R_L} = \frac{v_o}{R_L} \rightarrow v_o(\text{máx}) = (V_{CC} - V_{C2}) \frac{R_L}{R_C + R_L} \Rightarrow$



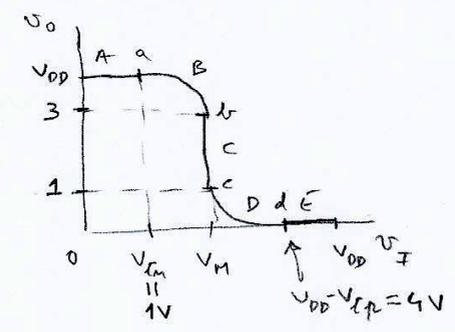
$$\Rightarrow v_o(\text{máx}) = 1.71V$$

AMPLITUDE DE  $v_o$  MÁXIMA NA ZONA ACTIVA  $\Rightarrow v_o = 1.71V$

2

2a)  $k_n = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_n = 0.4 \times 2 = 0.8 \text{ mA/V}^2$      $k_p = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_p = 0.2 \text{ mA/V}^2$

NÃO ADAPADOS



	NMOS	PMOS
A	CORT	TRI
B	SAT	TRI
C	SAT	SAT
D	TRI	SAT
E	TRI	CORT

PONTO (A) → (1, 3) V  
 PONTO (D) → (4, 0) V

$$v_M \rightarrow k_n (v_M - v_{t_n})^2 = k_p (v_{cc} - v_M - v_{t_p})^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{k_n} (v_M - v_{t_n}) = \sqrt{k_p} (v_{cc} - v_M - v_{t_p})$$

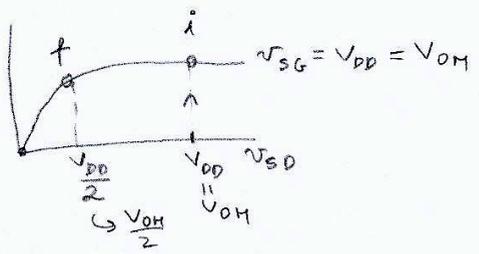
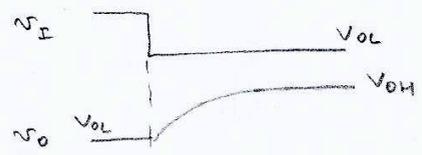
$$\Rightarrow (\sqrt{k_n} + \sqrt{k_p}) v_M = \sqrt{k_p} (v_{cc} - v_{t_p}) + \sqrt{k_n} v_{t_n}$$

$$v_M = \frac{\sqrt{k_p} (v_{cc} - v_{t_p}) + \sqrt{k_n} v_{t_n}}{\sqrt{k_n} + \sqrt{k_p}} \approx \frac{(v_{cc} - v_{t_p}) + v_{t_n} \sqrt{k_n/k_p}}{1 + \sqrt{k_n/k_p}} = 2 \text{ V}$$

(A) →  $v_{DD} - v_o = v_{DD} - v_M - v_{t_p} \rightarrow v_o = v_M + v_{t_p} = 2 + 1 = 3 \text{ V}$

(D) →  $v_o = v_M - v_{t_n} \rightarrow v_o = 1 \text{ V}$

2b)

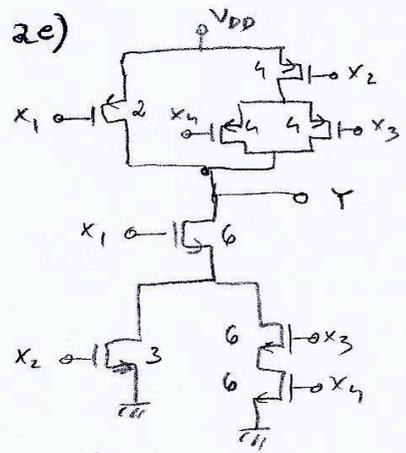


$i_D(f) = k_p (v_{OH} - v_{t_p})^2 = 3.2 \text{ mA}$

$v_{OH} - \frac{v_{OH}}{2} < v_{OH} - v_{t_p} \Rightarrow 2.5 < 4 \rightarrow \text{Triangular} \rightarrow i_D(f) = k_p \left[ 2(v_{OH} - v_{t_p}) \frac{v_{OH}}{2} - \left(\frac{v_{OH}}{2}\right)^2 \right] = 2.75 \text{ mA}$

$i_D(\text{avr}) = \frac{i_D(f) + i_D(f)}{2} = 2.975 \text{ mA}$      $t_c = C_L \frac{\Delta v_o}{i_{pLH}} \Rightarrow t_{pLH} = -C_L \frac{-v_{OH}/2}{i_D(\text{avr})} = 84 \text{ ns}$

2c)



$$Y = \overline{x_1} + (\overline{x_2 + x_3 x_4})$$

$$= \overline{x_1} + \overline{x_2} \cdot (\overline{x_3 + x_4})$$

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

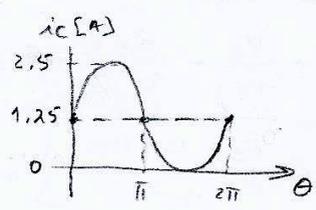
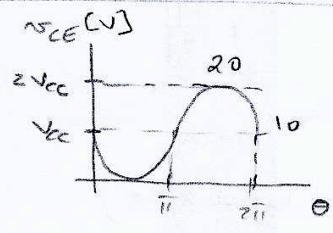
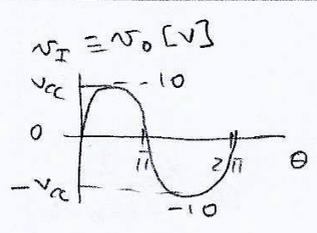
3a)

$v_o \text{ max} = V_{CC} - V_{CE\text{SAT}} = V_{CC} = +10V$

$v_o \text{ min} = -I_{EE} R_L = -10V$  (A FONTE  $I_{EE}$  É IDEAL)

$P_L = \frac{1}{2} \frac{V_o^2}{R_L} = 6.25W$

3b)



3c)

$i_B \text{ (max)} = \frac{i_C \text{ (max)}}{\beta} = \frac{2.5}{60} = 41.7 \text{ mA}$   $I_{BB} > i_B \text{ (max)} = 41.7 \text{ mA}$

→ PARA O DÍODO NUNCA CORTAR A SUA CORRENTE TEM QUE SER SEMPRE  $> \phi$ . O PIOR CASO É QUANDO  $i_B$  É MÁXIMO.

VANTAGENS:

- ESTABILIZAÇÃO DE TEMPO SE O DÍODO E O TJB ESTIVEREM TERMICAMENTE LIGADOS. COM O AUMENTO DE TEMPO  $\Rightarrow V_{BE}$  DESCE  $\Rightarrow I_C$  DESCE  $\Rightarrow$  TEMPO DESCE.
- A CARACTERÍSTICA  $v_o(v_I)$  FICA CENTRADA PARA  $v_I = \phi$ .

