

**Duração 2h00**

**Sem consulta**

**Leia atentamente as questões antes de responder. Justifique as respostas**

**I) (2.5+2.5+2.5+2.5 valores)**

Considere o inversor representado na figura 1 em que  $V_{DD} = 3\text{ V}$ ,  $R = 100\text{ k}\Omega$  e em que o transistor tem  $k_1 = 200\ \mu\text{A}/\text{V}^2$  ( $k = 1/2 \times \mu C_{ox} W/L$ ),  $V_{t1} = 1\text{ V}$  e  $\lambda = 0$ .

1. Esboce a característica de transferência  $v_O(v_I)$  do circuito identificando as coordenadas que definem as diferentes zonas de funcionamento do transistor. Determine  $V_{OH}$  e  $V_{OL}$ .
2. Calcule o consumo estático e dinâmico a 100kHz com uma capacidade de carga de 1pF.
3. Apresente o esquema de uma porta lógica CMOS convencional que realize a função lógica  $\bar{Y} = X_1 \cdot X_2 \cdot (X_3 + X_4)$ . Indique os valores de  $k$  para que os tempos de atraso sejam iguais aos do inversor de dimensões mínimas (considere  $\mu_n = 3\ \mu_p$ ).
4. Considere o circuito da figura 2. Diga qual a função lógica implementada e desenhe o esquema ao nível de transistor com interruptores CMOS.

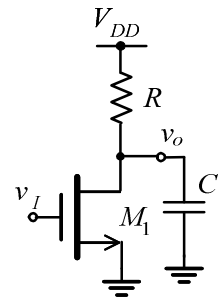


Fig.1

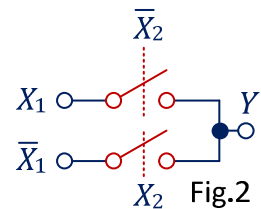
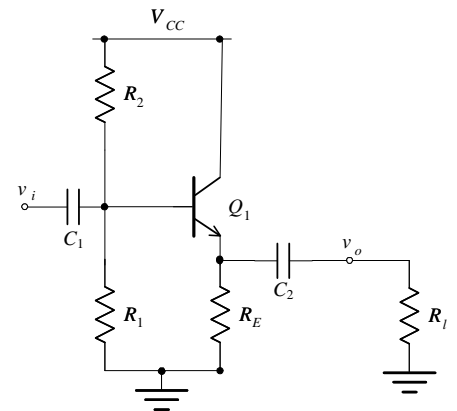


Fig.2

**II) (2+2+3+3 valores)**

Considere o circuito representado na figura, em que  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $C_1 = C_2 = 1\ \mu\text{F}$ ,  $R_E = 1\text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 30\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10\text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 100\ \Omega$ . O transistor tem  $\beta = 100$  e  $V_A = 100\text{ V}$ .

5. Calcule os valores em repouso de  $I_B$ ,  $I_C$  e  $V_{CE}$ .
6. Calcule os parâmetros incrementais do transistor e represente o esquema incremental do circuito (se não fez a alínea (6) considere  $I_C = 2.5\text{ mA}$ ).
7. Calcule a resistência de entrada, resistência de saída e o ganho de tensão considerando a resistência de carga  $R_L$ .
8. Calcule o pólo dominante de baixa frequência (devido a  $C_2$ ) usando o Método das Constantes de tempo de curto-circuito.



**Formulário**

$$i_D = k(v_{GS} - V_t)^2; \quad i_D = k[2(v_{GS} - V_t)v_{DS} - v_{DS}^2]; \quad k_{n,p} = \frac{1}{2}\mu_{n,p}C_{OX} \frac{W}{L}; \quad i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}; \quad V_T = 25\text{ mV}$$

$$\omega_L \approx \omega_{p1} \approx \sum_k \omega_{pk} \approx \sum_k \frac{1}{C_k R_{k\infty}}$$



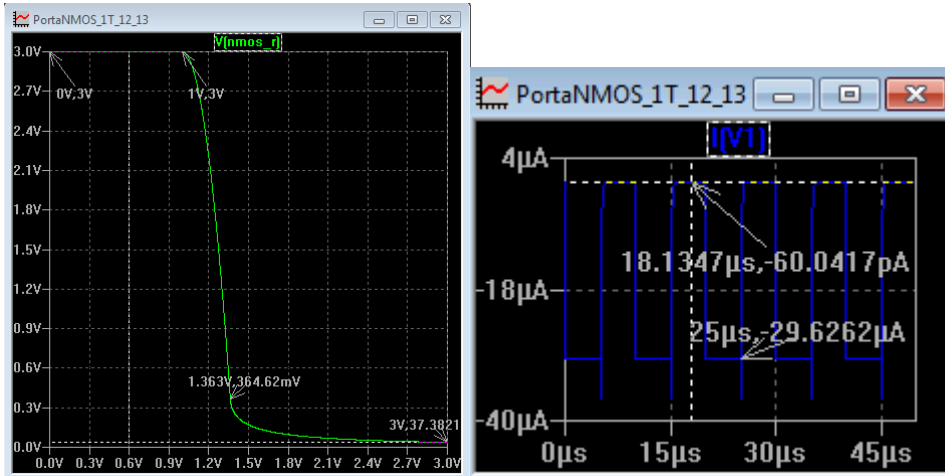
# RESOLUÇÃO

1º Teste Electrónica I

6/11/2012

I) (2+2+2+2+1.5+2.5 valores)

$Y=X1+X2$



$V_{DD} = 3\text{ V}$ ,  $V_B = 1\text{ V}$   $k_1 = 200\ \mu\text{A/V}^2$ ,  $k_2 = 50\ \mu\text{A/V}^2$  ( $k = 1/2 \times \mu C_{ox} W/L$ ) e  $V_{t1} = V_{t2} = 1\text{ V}$ ,  $\lambda = 0$ .

1.

$M_1$  Corte:  $V_{GS1} < V_t = 1\text{ V}$ ;  $I_{D1} = 0$

$$M_1 \text{ Saturado/tríodo: } \begin{cases} V_{DS1} = V_{GS1} - V_t \\ V_{DS1} = V_{DD} - RI \Rightarrow V_t - V_t = V_{DD} - Rk_1(V_t - V_t)^2 \Leftrightarrow V_t - 1 = 3 - 20(V_t - 1)^2 \\ I = k_1(V_t - V_t)^2 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow V_t = 1.363\text{ V}$$

$$v_i = 0 \Rightarrow V_{OH} = V_{DD} = 3\text{ V};$$

$$v_i = V_{DD} = 3\text{ V} \rightarrow M_1 \text{ tríodo} \rightarrow \frac{V_{DD} - v_{DS1}}{R} = k_1 [2(V_{DD} - V_t)v_{DS1} - v_{DS1}^2]$$

$$\Rightarrow \frac{3 - V_{OL}}{100e3} = 200e-6 [4V_{OL} - V_{OL}^2] \Leftrightarrow 3 - V_{OL} = 80V_{OL} - 20V_{OL}^2 \Leftrightarrow 20V_{OL}^2 - 81V_{OL} + 3 = 0$$

$$V_{OL} = 37.4\text{ mV}$$

2.

Potência estática

$$P_{DH} = 0; \quad P_{DL} = V_{DD} I_D = 3 \times 29.6\ \mu\text{A} = 88.9\ \mu\text{W} \rightarrow P_D = \frac{1}{2}(P_{DH} + P_{DL}) = 44.45\ \mu\text{W}$$

Potência dinâmica

$$W_B = \underbrace{QV_{DD}}_{\text{fornecida pela bateria}} = C_1 (V_{DD} - V_{OL}) V_{DD} \rightarrow P = f C_1 (V_{DD} - V_{OL}) V_{DD} = 100e3 \times 1e-12 \times 3 \times (3 - 0.0374) = 0.888\ \mu\text{W}$$

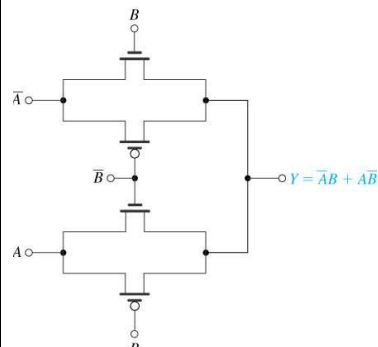
3. Parte NMOS serie

(1+1 + (2 em paralelo));  $k = 3k_{n\_min}$

Parte PMOS paralelo

(1 + 1 + (2 em serie));  $k_p = 3K_{n\_min}$  para os dois sozinhos e  $k_p = 6k_n$  para os dois em serie.

4. EXOR



**II) (2+2+2+2 valores)**

$V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $C_1=C_2=1\mu\text{F}$ ,  $R_E = 1\text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 30\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10\text{ k}\Omega$ ,  $R_I = 100\Omega$ .  $\beta = 100$  e  $V_A = 100\text{ V}$ .

5.

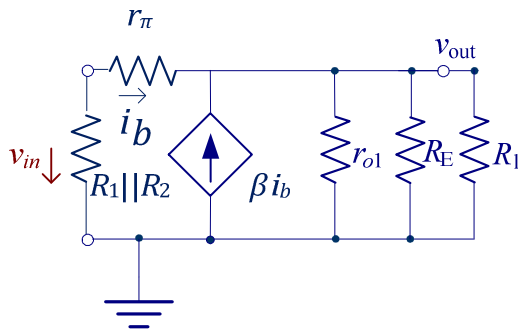
<pre> V(vcc):      5          voltage V(n001):    3.54072    voltage V(n002):    2.85906    voltage V(out):     2.85906e-016 voltage Ic(Q2):     0.00283116 device_current Ib(Q2):     2.79044e-005 device_current Ie(Q2):     -0.00285906 device_current I(c3):      -2.85906e-018 device_current I(c2):      2.87072e-018 device_current I(R5):      2.85906e-018 device_current I(R4):      0.00285906 device_current I(R3):      0.000118024 device_current I(R2):      0.000145928 device_current I(V1):      -0.00297708 device_current I(V2):      3.03577e-018 device_current                 </pre>		$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 3.75\text{V}$ $R_B = R_1 \parallel R_2 = 7.5\text{k}\Omega$ $V_B = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E$ ; Considerando que o transistor está na Z.A.D., em que $\begin{cases} I_E = I_B + I_C \text{ (sempre)} \\ I_C = \beta I_B \text{ (ZAD)} \end{cases}$ $V_B \approx R_B \frac{I_C}{\beta} + V_{BE} + R_E I_C \Rightarrow I_C = 2.837\text{mA}, I_B = 28.4\mu\text{A}$ $V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E = 2.163\text{V}$
--	--	--

6.

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2.837 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3}} = 113\text{mS}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 881\Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = 35.25\text{ k}\Omega$$



7.

$$R'_E = R_E \parallel R_I \parallel r_o \approx 90\Omega$$

$$v_b = r_\pi i_b + R'_E (i_b + \beta i_b)$$

$$\rightarrow R_b = \frac{v_b}{i_b} = r_\pi + (1 + \beta) R'_E = 10032\Omega \rightarrow R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel R_b = 4286\Omega$$

$$v_o = (1 + \beta) i_b R'_E; \quad i_b = \frac{v_b}{R_b}$$

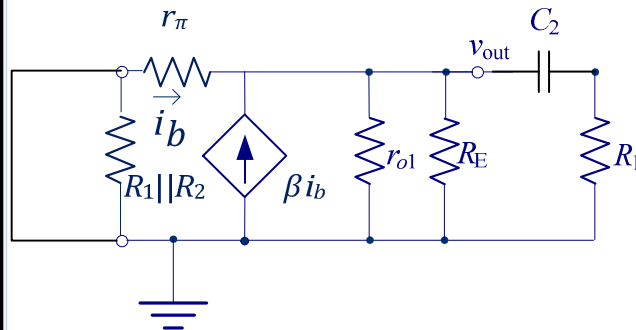
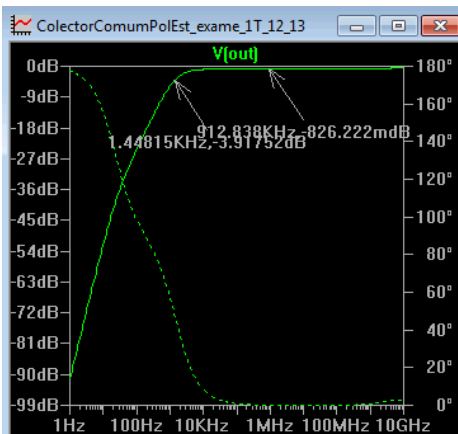
$$\rightarrow A_v = \frac{(1 + \beta) R'_E}{r_\pi + (1 + \beta) R'_E} = 0.9$$

$$i_b = \frac{-v_x}{r_\pi + R_1 \parallel R_2}; \quad i_x = \frac{-v_x}{R_E \parallel r_o} - (1 + \beta) i_b$$

$$R_o^{-1} = \frac{i_x}{v_x} = \frac{1}{R_E \parallel r_o} + \frac{(1 + \beta)}{r_\pi + R_1 \parallel R_2}$$

$$\rightarrow R_o = R_E \parallel r_o \parallel \left( \frac{r_\pi + R_1 \parallel R_2}{(1 + \beta)} \right) \approx 76\Omega$$

8.



$$\omega_L \approx \frac{1}{2\pi \left[ R_I + \left( R_E \parallel r_o \parallel \frac{r_\pi}{\beta + 1} \right) \right] C_2} = 1464\text{Hz}$$