

Duração 2h00

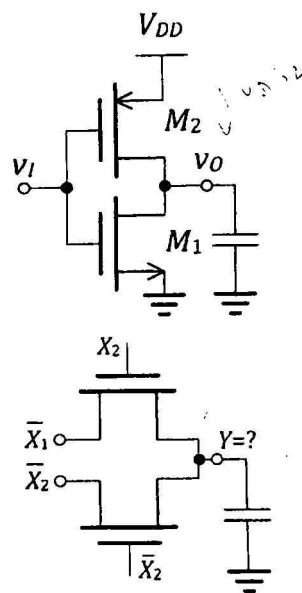
Sem consulta

Leia atentamente as questões antes de responder. Justifique as respostas

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

Considere para os circuitos na figura que  $V_{DD} = 2\text{ V}$ , a tecnologia tem  $1/2 \times \mu_n C_{ox} = 50 \mu\text{A}/\text{V}^2$ ;  $\mu_n = 2\mu_p$ ;  $V_{tn} = V_{tp} = 0.5\text{ V}$  e  $\lambda = 0$ . O transistor  $M_2$  tem  $(W/L)_2 = 2\mu\text{m}/0.5\mu\text{m}$ .

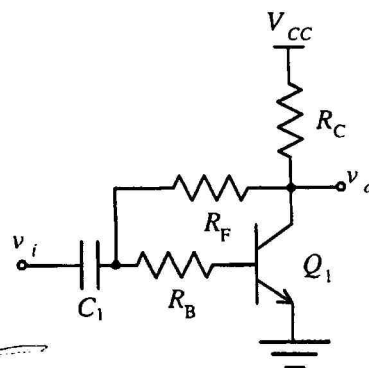
1. Dimensione  $M_1$  para que a característica de transferência do inversor seja simétrica. Desenhe a característica de transferência com as coordenadas dos pontos de transição entre zonas de funcionamento.
2. Calcule o atraso de propagação ( $T_p$ ) para uma capacidade de carga em  $v_o$  de 100fF.
3. Identifique a função lógica implementada pelo circuito realizado com portas de passagem NMOS, com transistores iguais a  $M_1$ . Indique os valores de  $V_{OH}$  e  $V_{OL}$  para este circuito (nota: considere "X=1"= $V_{DD}$ , "X=0"= $0\text{ V}$ ).
4. Diga se existe efeito de corpo nos circuitos dados, o que significa e o que alteraria nos parâmetros calculados anteriormente.



**II) (3+2+3.5+1.5 valores)**

Considere o circuito representado na figura, em que  $V_{CC} = 3\text{ V}$ ,  $C_1 = 1\mu\text{F}$ ,  $R_F = 100\text{ k}\Omega$ ,  $R_B = 10\text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1\text{ k}\Omega$ . O transistor tem  $\beta = 250$  e  $V_A = 50\text{ V}$ .

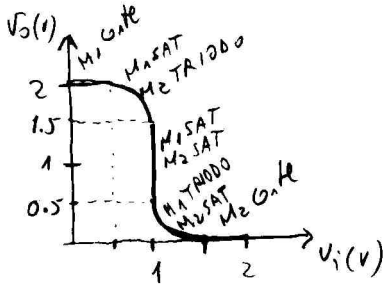
5. Calcule os valores em repouso de  $I_B$ ,  $I_C$  e  $V_{CE}$ .
6. Represente o esquema incremental do circuito
7. Calcule a resistência de entrada, resistência de saída e o ganho de tensão na banda de passagem.
8. Calcule a resposta em baixa frequência do circuito, assumindo que há um pólo dominante.



1.  $k_1 = k_2$      $k_1 = \frac{1}{2} \mu_m C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_1$      $k_2 = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_2$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = \left(\frac{W}{L}\right)_2 \left(\frac{\mu_p}{\mu_m}\right) = \left(\frac{2 \mu_m}{0.5 \mu_m}\right) \frac{1}{2} \quad \left(\frac{W}{L}\right)_1 = \left(\frac{1 \mu_m}{0.5 \mu_m}\right)$$

$k_1 = k_2 = 100 \mu A V^{-2}$



$V_i < V_T \Rightarrow M_1 \text{ Gate}$

$V_{DD} - V_i < V_T \Rightarrow V_i > V_{DD} - V_T \Rightarrow M_2 \text{ Gate}$

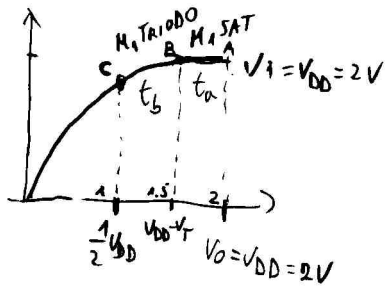
$M_1, M_2 \text{ SATURADOS} \Rightarrow k_1 (V_i - V_T)^2 = k_2 (V_{DD} - V_i - V_T)^2$   
 $\Rightarrow V_i = V_{DD}/2 = 1V$

$M_1 \text{ SAT: } V_{DS1} = V_o > V_i - V_T \Rightarrow V_o > 0.5$

$M_2 \text{ SAT: } V_{SD2} = V_{DD} - V_o > V_{DD} - V_i - V_T \Rightarrow V_o < V_i + V_T \Rightarrow V_o < 1.5$

2. Devido à simetria  $t_{PHL} = t_{PLH}$

Calculo de  $t_{PHL}$ :



$t_a: M_1 \text{ SAT} \Rightarrow i_{D1} = k_1 (V_i - V_T)^2 = 225 \mu A$   
 $\hookrightarrow \text{constante}$

$t_a = \frac{C \Delta V}{i_{D1}}$     com  $\Delta V = 0.5V$

$t_a = 0.222 \text{ ms}$

$t_b:$  Ponto B:  $i_{DB} = 225 \mu A$

Ponto C:  $i_{DC} = k_1 \left[ 2(V_i - V_T)V_o - V_o^2 \right] = 200 \mu A$   
 $\uparrow$   $V_{DD}$      $\uparrow$   $\frac{1}{2} V_{DD}$      $\uparrow$   $\frac{1}{2} V_{DD}$

$i_{D_{AV}} = \frac{i_{DB} + i_{DC}}{2} = 212.5 \mu A$

$t_b = \frac{C \Delta V}{i_{D_{AV}}} = 0.235 \text{ ms}$

$t_{PHL} = t_a + t_b = 0.457 \text{ ms}$

$t_p = t_{PHL} = t_{PLH} = 0.457 \text{ ms}$

3.

$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

interrupção de baixo ( $y = \bar{x}_2$ )

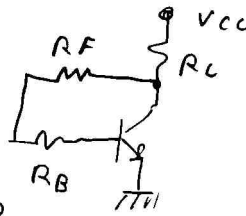
interrupção de cima ( $y = \bar{x}_1$ )

$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$  NAND

4. Não existe opção de carga pois para  $M_1$  e  $M_2$   $V_{SB} = 0$



II) 5. Esquema DC:



$$(R_B + R_E) I_B + V_{BE04} = V_{CC} - R_C (\beta + 1) I_B$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE04}}{R_B + R_E + (\beta + 1) R_C}$$

$$I_B = 6.37 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 1.59 mA$$

Desprezando a corrente de base:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 1.41 V$$

6. Parâmetros do modelo AC:

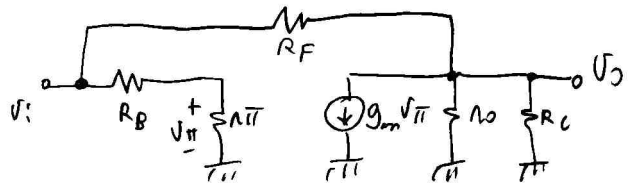
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 63.6 mS \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 3.93 k\Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = 31.45 k\Omega$$

Esquema AC, sinais fracos:

Médias frequências:

$C_1$  curto circuito



7.

$$V_{\pi} = V_i \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_B}$$

$$g_m V_{\pi} + \frac{V_o}{r_o} + \frac{V_o}{R_C} + \frac{V_o - V_i}{R_F} = 0$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = - \left( \frac{g_m r_{\pi}}{r_{\pi} + R_B} - \frac{1}{R_F} \right) (r_o \parallel R_C \parallel R_F) = -17.22$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = \frac{V_i}{\frac{V_i}{R_B + r_{\pi}} + \frac{V_i - V_o}{R_F}} = \frac{1}{\frac{1}{R_B + r_{\pi}} + \frac{1 - A_V}{R_F}} = 3.94 k\Omega$$

$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_i=0} = r_o \parallel R_C \parallel R_F = 960 \Omega$$

8. Polo dominante de baixa frequência resultante de  $C_1$ :

$$\omega_L = \frac{1}{R_i C_1} = 253.8 \text{ rad/s}^{-1} \quad f_L = \frac{\omega_L}{2\pi} = 40.4 \text{ Hz}$$

