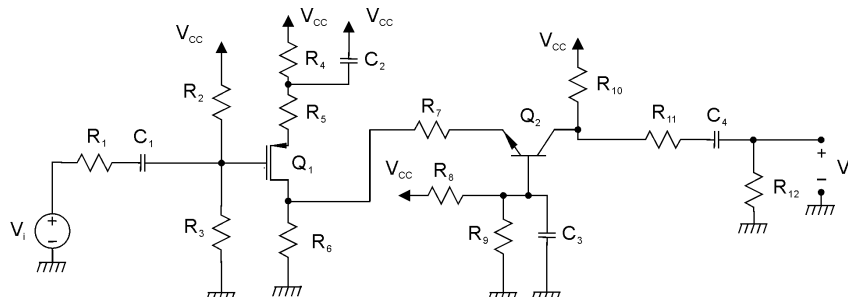


## Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 18 luglio 2019

## Esercizio A

$R_1 = 100\ \Omega$	$R_8 = 205\ \text{k}\Omega$
$R_2 = 40\ \text{k}\Omega$	$R_{10} = 4\ \text{k}\Omega$
$R_3 = 40\ \text{k}\Omega$	$R_{11} = 100\ \Omega$
$R_5 = 100\ \Omega$	$R_{12} = 10\ \text{k}\Omega$
$R_6 = 1\ \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 18\ \text{V}$
$R_7 = 500\ \Omega$	



$Q_1$  è un transistor MOS a canale p resistivo con  $V_T = -1$  V e la corrente di drain in saturazione data da  $I_{Dp} = k(V_{GS} - V_T)^2$  con  $k = 0.5$  mA/V<sup>2</sup>;  $Q_2$  un transistor BJT BC109B resistivo con  $h_{re} = h_{oe} = 0$ .

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore delle resistenze  $R_4$  e  $R_9$  in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul drain di  $Q_1$  sia 4 V e la tensione sul collettore di  $Q_2$  sia 10 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di  $Q_1$ .
- 2) Determinare l'espressione e il valore di  $V_U/V_i$  alle frequenze per le quali  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  possono essere considerati dei corto circuiti.

## Esercizio B

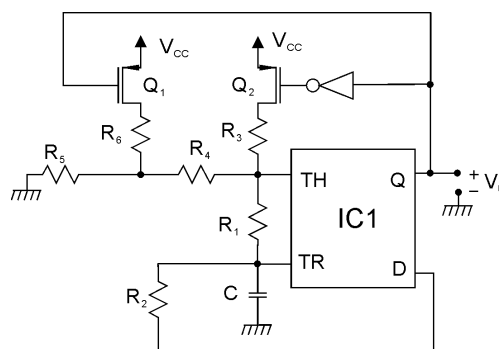
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = (\overline{A + D})(\overline{B} + \overline{C}E) + \overline{C}\overline{D}(AE + B) + \overline{A}(\overline{B}D + C)$$

Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto ( $W/L$ ) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base,  $W/L$  pari a 2 per il MOS a canale  $n$  e pari a 5 per quello a canale  $p$ . Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento di tutti i transistori.

### Esercizio C

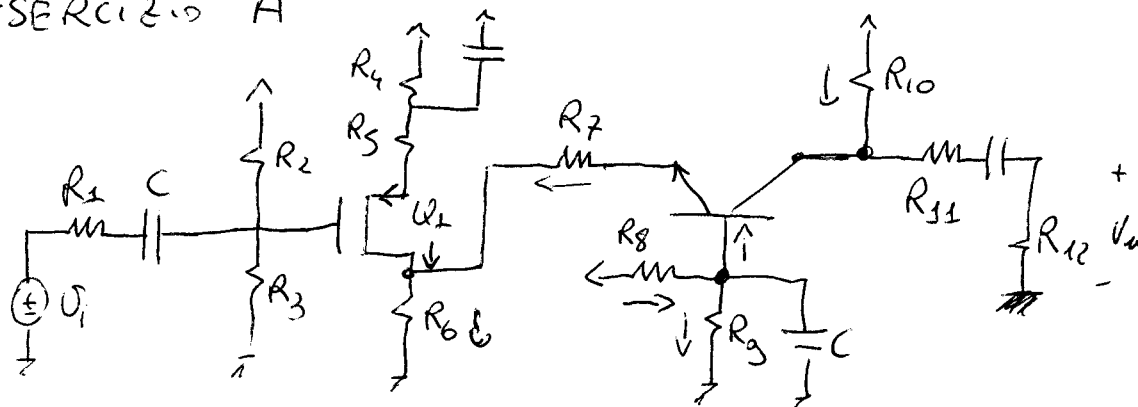
$R_1 = 200\ \Omega$	$R_5 = 400\ \Omega$
$R_2 = 80\ \Omega$	$R_6 = 1.6\ \text{k}\Omega$
$R_3 = 200\ \Omega$	$C = 220\ \text{nF}$
$R_4 = 400\ \Omega$	$V_{CC} = 6\ \text{V}$



Il circuito IC<sub>1</sub> è un NE555 alimentato a  $V_{CC} = 6\text{ V}$ ; Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub> hanno una  $R_{on} = 0$  e  $V_T = -1\text{ V}$ . Verificare che il circuito si comporta come un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.

**È consentita la consultazione del solo manuale delle caratteristiche. Nel caso di presenza appunti, testi in vista, si procederà all'immediato annullamento della prova scritta.**

## ESERCIZIO A



$$R_1 = 100 \Omega$$

$$R_2 = 40 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 40 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 100 \Omega$$

$$R_6 = 5 \text{ k}\Omega$$

$$R_7 = 500 \Omega$$

$$R_8 = 205 \text{ k}\Omega$$

$$R_{10} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$R_{11} = 100 \Omega$$

$$R_{12} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$V_{CC} = 18 \text{ V}$$

1) Det.  $R_4$  e  $R_9$   $V_D = 4 \text{ V}$   $V_C = 10 \text{ V}$

$$I_{D0} = I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_{10}} = 2 \text{ mA}$$

$$\text{hp: } I_B \ll I_C \Rightarrow I_E \approx I_C$$

$$V_E = V_D + R_7 I_E = 5 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 10 - 5 = 5 \text{ V}$$

$$\Rightarrow h_{FE} = 230, h_{ie} = 4800 \Omega, h_{re} = 300$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.83655 \mu\text{A} \quad (\ll I_C \Rightarrow \text{hp amplificatore})$$

$$I_C = \frac{V_D}{R_6} = 4 \text{ mA}$$

$$I_D = I_C - I_B = 2 \text{ mA}$$

$$I_G = 0 \Rightarrow V_G = \frac{V_{CC} R_3}{R_2 + R_3} = 9 \text{ V}$$

$$\text{hp: } U_1 \text{ SATURO} \Rightarrow I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = V_T \pm \sqrt{\frac{I_D}{K}} = -1 - 2 = -3 \text{ V}$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 9 - (-3) = 12 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 4 - 12 = -8 \text{ V} \quad \angle (V_{GS} - V_T) = -3 - (-1) = -2 \text{ V} \Rightarrow \text{hp OK}$$

$$R_4 = \frac{V_{CC} - V_S}{I_D} - R_5 = 2900 \Omega$$

$$g_m = 2K |V_{GS} - V_T| = 2 \times 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}}$$

$$Q_2: \begin{cases} I_C = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = 5 \text{ V} \\ I_B = 6.83655 \mu\text{A} \\ h_{FE} = 230 \\ h_{ie} = 4800 \Omega \\ h_{re} = 300 \end{cases}$$

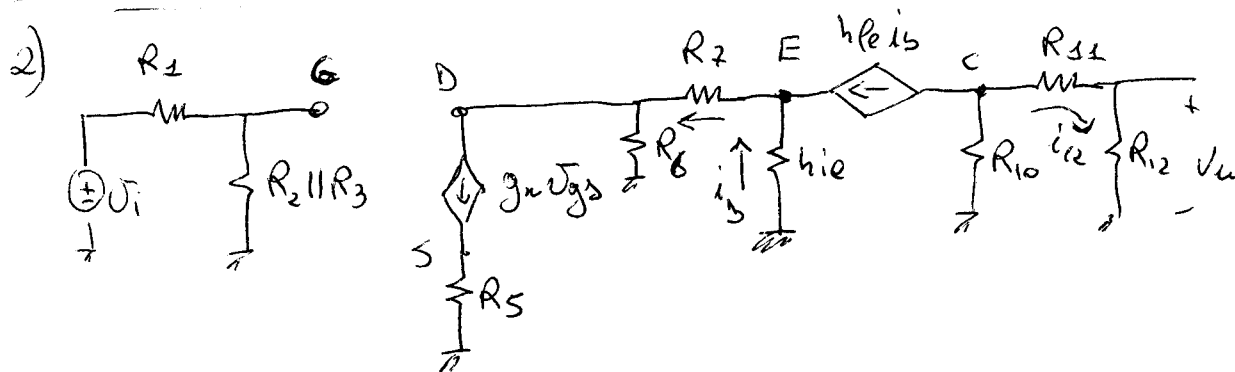
$$Q_1: \begin{cases} I_D = 2 \text{ mA} \\ V_{GS} = -3 \text{ V} \\ V_{DS} = -8 \text{ V} \\ g_m = 2 \times 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}} \end{cases}$$

$$= V_E + V_F = 5.7V$$

$$I_8 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_8} = 60 \mu A$$

$$I_9 = I_8 - I_B = 5.31 \times 10^{-5} A$$

$$R_9 = \frac{V_B}{I_9} = \underline{107344.6 \Omega} \quad (107337.6 \Omega \text{ con } I_9 \text{ più decimale})$$



$$V_u = R_{12} i_{12}$$

$$i_{12} = (-h_{fe} i_b) \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}}$$

$$i_7 = (h_{fe} + 1) i_b$$

$$i_7 = (g_m \bar{v}_{gs}) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + \frac{h_{ie}}{(h_{fe} + 1)}} = (g_m \bar{v}_{gs}) \frac{R_6 (h_{fe} + 1)}{(R_6 + R_7)(h_{fe} + 1) + h_{ie}}$$

$$\bar{v}_s = g_m \bar{v}_{gs} R_5$$

$$\bar{v}_{gs} = \bar{v}_i - \bar{v}_s = \bar{v}_i - g_m \bar{v}_{gs} R_5 = \frac{\bar{v}_i}{1 + g_m R_5}$$

$$\bar{v}_i = \bar{v}_i \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3}$$

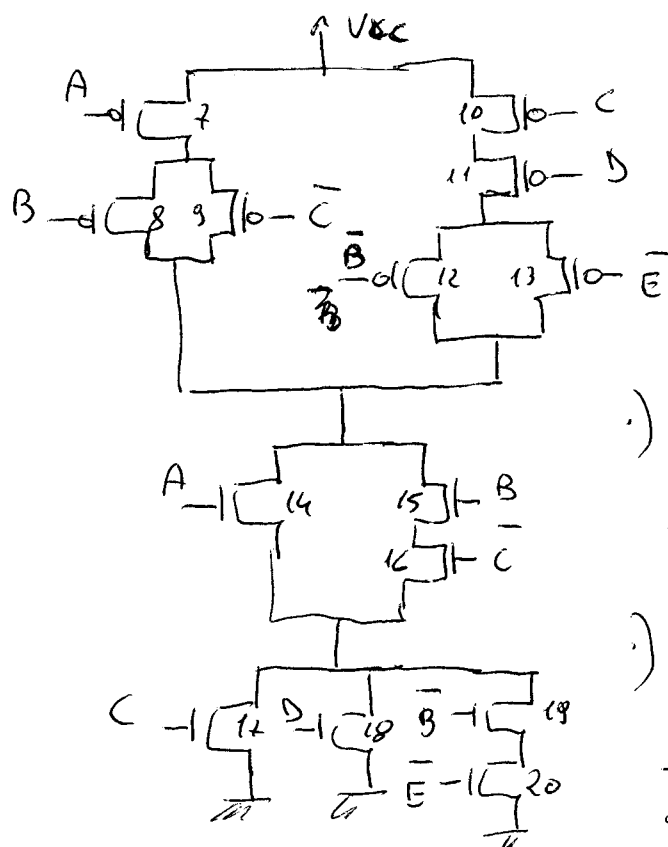
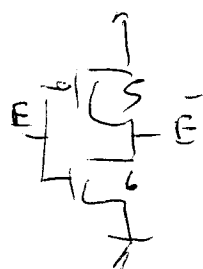
$$\frac{V_u}{V_i} = \frac{1}{1} \cdot (-h_{fe}) \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}} \cdot R_{12} \cdot \frac{1}{(h_{fe} + 1)} \cdot g_m \frac{R_6 (h_{fe} + 1)}{(R_6 + R_7)(h_{fe} + 1) + h_{ie}} \cdot \frac{1}{1 + g_m R_5} \cdot \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3} =$$

$\frac{30}{0.28368} \cdot 10^3 \cdot 2 \times 10^{-3} \cdot \frac{2.19154 \times 10^{-3}}{0.83} \cdot 0.935$

$$= -3.093$$

$$\left| \frac{V_u}{V_i} \right|_{dB} = 9.8 \text{ dB}$$

$$\# \text{ Nos} = 7 \times 2 + 3 \times 2 = 20$$



PWA

$$\cdot) \quad \begin{matrix} Q_{10} - Q_{11} - Q_{12} \\ Q_{10} - Q_{11} - Q_{13} \end{matrix} \left( \frac{W}{L} \right)_{10,11,12,13} = 15$$

$$\frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{p} = y = z = p = 10$$

POW:  $Q_5 - Q_{10} - Q_{14} - Q_{20}$  IMPOSSIBLE  $\Rightarrow$  B R B  
 $Q_5 - Q_{16} - Q_{12}$   $\Rightarrow$  C R C

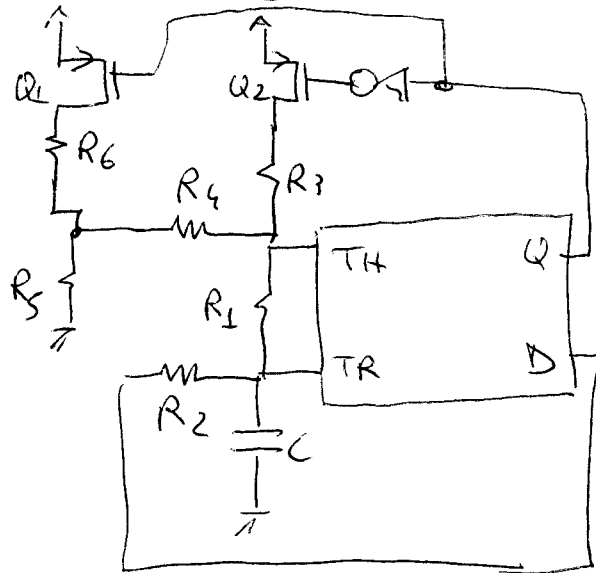
$$\begin{array}{l} Q_{15} - Q_{16} - Q_{18} \\ Q_{14} - Q_{19} - Q_{20} \end{array} \Rightarrow \left( \frac{W}{L} \right)_{14, 15, 16, 18, 19, 20} = \frac{1}{3}^2 = \underline{\underline{6}}$$

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

$Q_{14} - Q_{17} \approx Q_{14}$  gilt also  $\left(\frac{W}{L}\right)_{17} = K = \underline{\underline{3}}$

$$\frac{1}{K} + \frac{1}{3n} = \frac{1}{n} \Rightarrow K = \frac{3}{2}n = 3$$

SERC 1210 C



$$R_1 = 200 \Omega$$

$$R_2 = 80 \Omega$$

$$R_3 = 200 \Omega$$

$$R_4 = 400 \Omega$$

$$R_5 = 400 \Omega$$

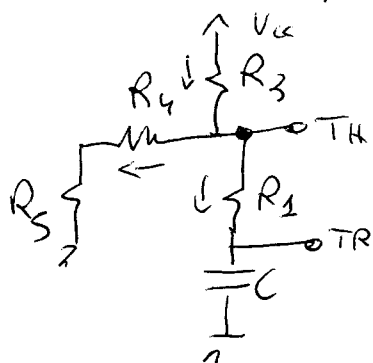
$$R_6 = 3.6 \text{ k}\Omega$$

$$C = 220 \text{ nF}$$

$$V_{CC} = 6V$$

1)  $Q = 1$   $V_{G1} = V_{CC}$   $V_{S1} = V_{CC}$   $V_{GS1} = 0V > V_T = -1V \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$

$D = HI$   $V_{G2} = 0V$   $V_{S2} = V_{CC}$   $V_{GS2} = -V_{CC} < V_T \Rightarrow Q_2 \text{ ON}$



$$V_{i1} = \frac{1}{3} V_{CC} = 2V$$

$$V_{f1} = V_{CC} \frac{(R_4 + R_5)}{R_3 + R_4 + R_5} = 4.8V$$

Per  $V_{TH} = 4V$

$$I_3 = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_3} = \frac{2}{200} = 10 \text{ mA}$$

$$I_4 = \frac{V_{TH}}{R_4 + R_5} = \frac{4}{800} = 5 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_3 - I_4 = 5 \text{ mA}$$

$$V_{cor1} = V_{TH} - R_1 I_1 = 3V$$

$$V_{i1} < V_{cor1} < V_{f1}$$

$$2V < 3V < 4.8V \Rightarrow \text{OK}$$

$$R_{v1} = R_1 + [R_3 \parallel (R_4 + R_5)] = 360 \Omega$$

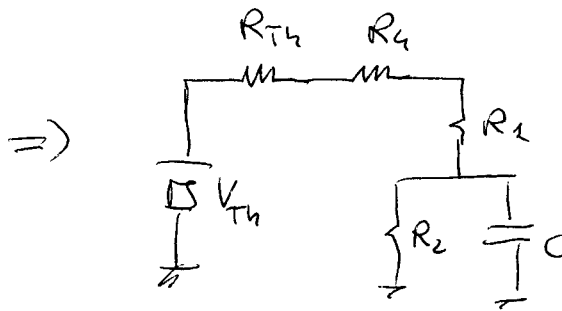
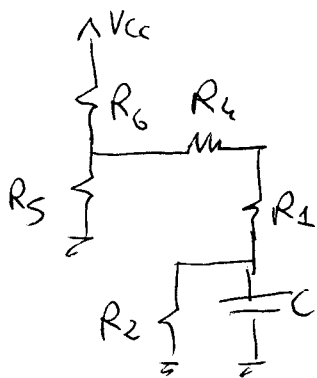
$$\tau_1 = C R_{v1} = 79.2 \mu s$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left[ \frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{cor1} - V_{f1}} \right] = 3.4993 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$Q=0 \quad D=0$$

$$V_{G1} = \phi V \quad V_{S1} = V_{CC} \Rightarrow V_{GS1} = -V_{CC} < V_T \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$$

$$V_{G2} = V_{CC} \quad V_{S2} = V_{CC} \Rightarrow V_{GS2} = \phi > V_T \Rightarrow Q_2 \text{ OFF}$$



$$V_{Th} = \frac{V_{CC} R_5}{R_5 + R_6} = 1.2 \text{ V}$$

$$R_{Th} = R_5 \parallel R_6 = 320 \Omega$$

$$V_{i2} = 3 \text{ V}$$

$$V_{cor2} = 2 \text{ V}$$

$$V_{f2} = V_{Th} \frac{R_2}{R_{Th} + R_4 + R_1 + R_2} = 0.096 \text{ V}$$

$$V_{i2} > V_{cor2} > V_{f2}$$

$$3 \text{ V} > 2 \text{ V} > 0.096 \text{ V}$$

OK

$$R_{v2} = R_2 \parallel (R_1 + R_4 + R_{Th}) = 73.6 \Omega$$

$$\tau_2 = R_{v2} \cdot C = 16.192 \mu\text{s}$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left( \frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{cor2} - V_{f2}} \right) = 6.8352 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$T = T_1 + T_2 = 4.1828 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{\underline{23907.2 \text{ Hz}}}$$