

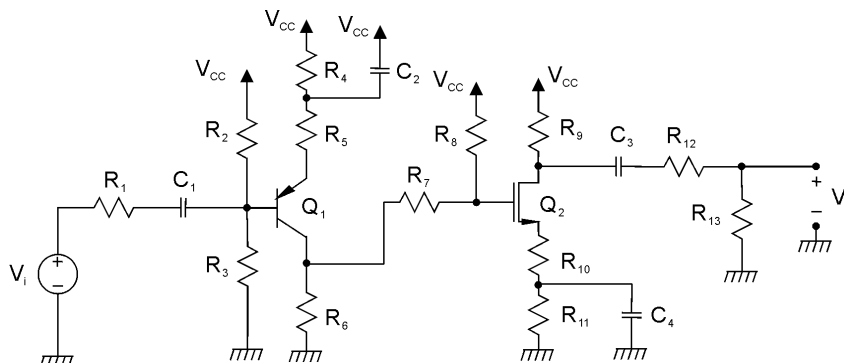
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 30 gennaio 2020

Esercizio A

$R_1 = 100 \, \Omega$	$R_9 = 4.5 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 9 \, \text{k}\Omega$	$R_{10} = 500 \, \Omega$
$R_3 = 9 \, \text{k}\Omega$	$R_{11} = 2 \, \text{k}\Omega$
$R_4 = 4 \, \text{k}\Omega$	$R_{12} = 1 \, \text{k}\Omega$
$R_5 = 150 \, \Omega$	$R_{13} = 10 \, \text{k}\Omega$
$R_7 = 6.6 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \, \text{V}$
$R_8 = 2 \, \text{k}\Omega$	



Q_1 è un transistor BJT BC179A resistivo con $h_{te} = h_{oe} = 0$; per gli altri parametri forniti dal costruttore si utilizzino i valori tipici o, in loro assenza, i valori massimi. Q_2 è un transistor MOS a canale n resistivo con $V_T = 1 \, \text{V}$ e la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 0.5 \, \text{mA/V}^2$.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R_6 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul drain di Q_2 sia 9 V; si ipotizzi di poter trascurare la corrente di base di Q_1 rispetto alla corrente che scorre in R_2 . Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2 .
- 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

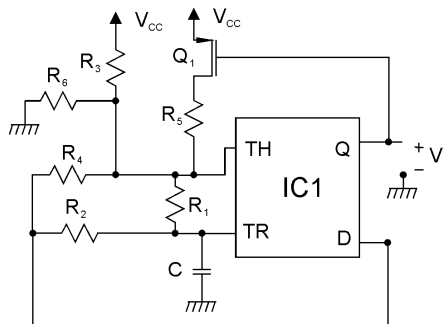
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

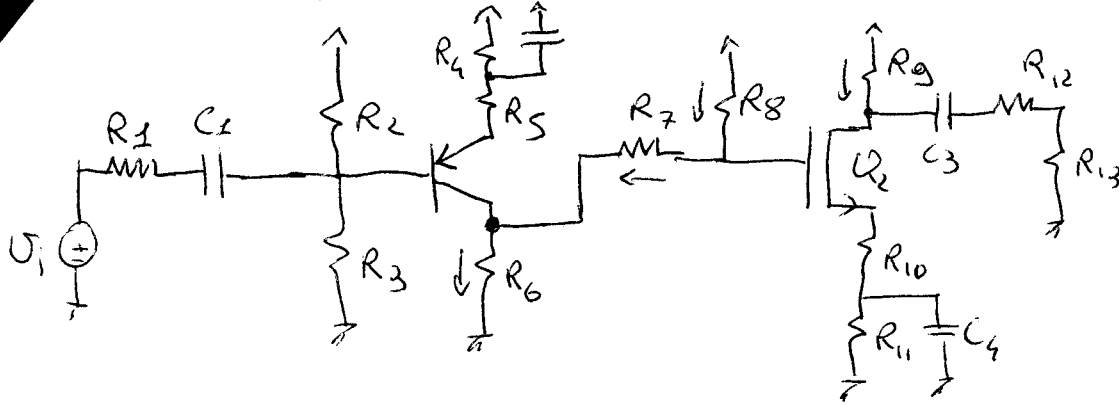
Esercizio C

$R_1 = 500 \, \Omega$	$R_5 = 1 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 200 \, \Omega$	$R_6 = 5 \, \text{k}\Omega$
$R_3 = 1 \, \text{k}\Omega$	$C = 0.82 \, \mu\text{F}$
$R_4 = 5 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 6 \, \text{V}$



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \, \text{V}$; Q_1 ha 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.



- $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$
- $R_2 = 9 \text{ k}\Omega$
- $R_3 = 9 \text{ k}\Omega$
- $R_4 = 4 \text{ k}\Omega$
- $R_5 = 150 \text{ }\Omega$
- $R_6 = 6.6 \text{ k}\Omega$
- $R_7 = 20 \text{ k}\Omega$
- $R_8 = 4.5 \text{ k}\Omega$
- $R_9 = 500 \text{ }\Omega$
- $R_{10} = 2 \text{ k}\Omega$
- $R_{11} = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_{12} = 10 \text{ k}\Omega$

1) R_b per $V_D = 9 \text{ V}$; $I_B \ll I_2$

$$I_g = \frac{V_{CC} - V_D}{R_g} = 2 \text{ mA}$$

$$I_G = \phi \Rightarrow I_{10} = I_g = 2 \text{ mA}$$

$$V_S = I_{10} (R_{10} + R_{11}) = 5 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 9 - 5 = 4 \text{ V}$$

hp: Q_2 SATURO $\Rightarrow I_D = K (V_{GS} - V_T)^2$

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 3 \text{ V}$$

$$V_{DS} > (V_{GS} - V_T)$$

$$4 > 3 - 1 = 2 \Rightarrow \text{hp OK}$$

$$g_m = 2K (V_{GS} - V_T) = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$V_G = V_{GS} + V_S = 3 + 5 = 8 \text{ V}$$

$$I_g = \frac{V_{CC} - V_G}{R_8} = 0.5 \text{ mA}$$

$$V_i = V_G - R_7 I_g = 4.7 \text{ V}$$

$$V_B \approx V_{CC} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 9 \text{ V}$$

$$V_{EB} = V_B - V_E = 0.7 \text{ V}$$

$$V_E = V_{EB} + V_B = 0.7 + 9 = 9.7 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 4.7 - 9.7 = -5 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_E}{R_4 + R_5} = 2 \text{ mA}$$

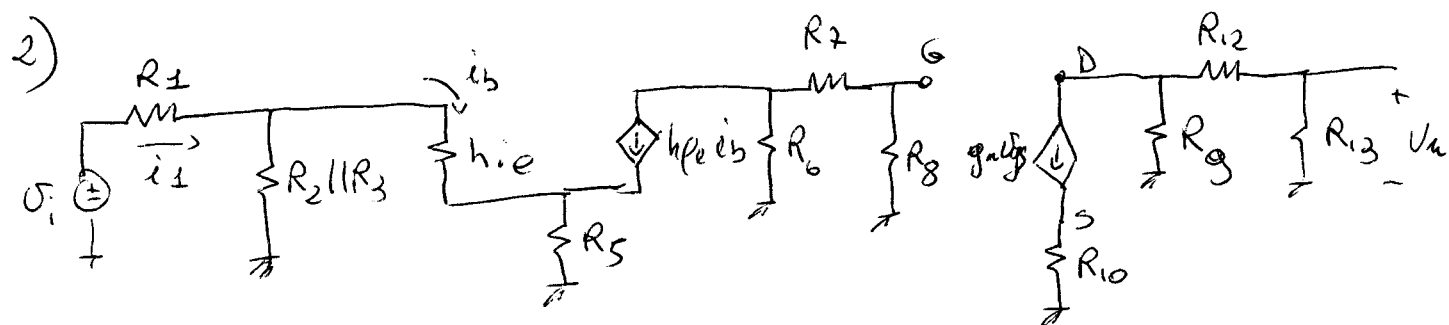
$$Q_2: \begin{cases} I_D = 2 \text{ mA} \\ V_{DS} = 4 \text{ V} \\ V_{GS} = 3 \text{ V} \\ g_m = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \end{cases}$$

$$Q_1: \begin{cases} V_{CE} = -5 \text{ V} \\ I_C = 2 \text{ mA} \\ I_B \approx 10 \text{ }\mu\text{A} \\ h_{fe} = 260 \\ h_{ie} = 2.7 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

$$I_E = 2 \text{ mA}$$

$$I_6 = I_C + I_7 = 2.5 \text{ mA}$$

$$R_6 = \frac{V_6}{I_6} = \frac{4.7}{2.5 \times 10^{-3}} = \underline{\underline{1880 \Omega}}$$



$$V_u = (-g_m V_{gs}) \frac{R_9}{R_9 + R_{12} + R_{13}} \cdot R_{13}$$

$$V_D = (g_m V_{gs}) R_{10}$$

$$V_{gs} = V_g - g_m V_{gs} R_{10} \Rightarrow V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m R_{10}}$$

$$V_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8} R_8$$

$$i_b = i_1 \frac{R_2 || R_3}{(R_2 || R_3) + h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)}$$

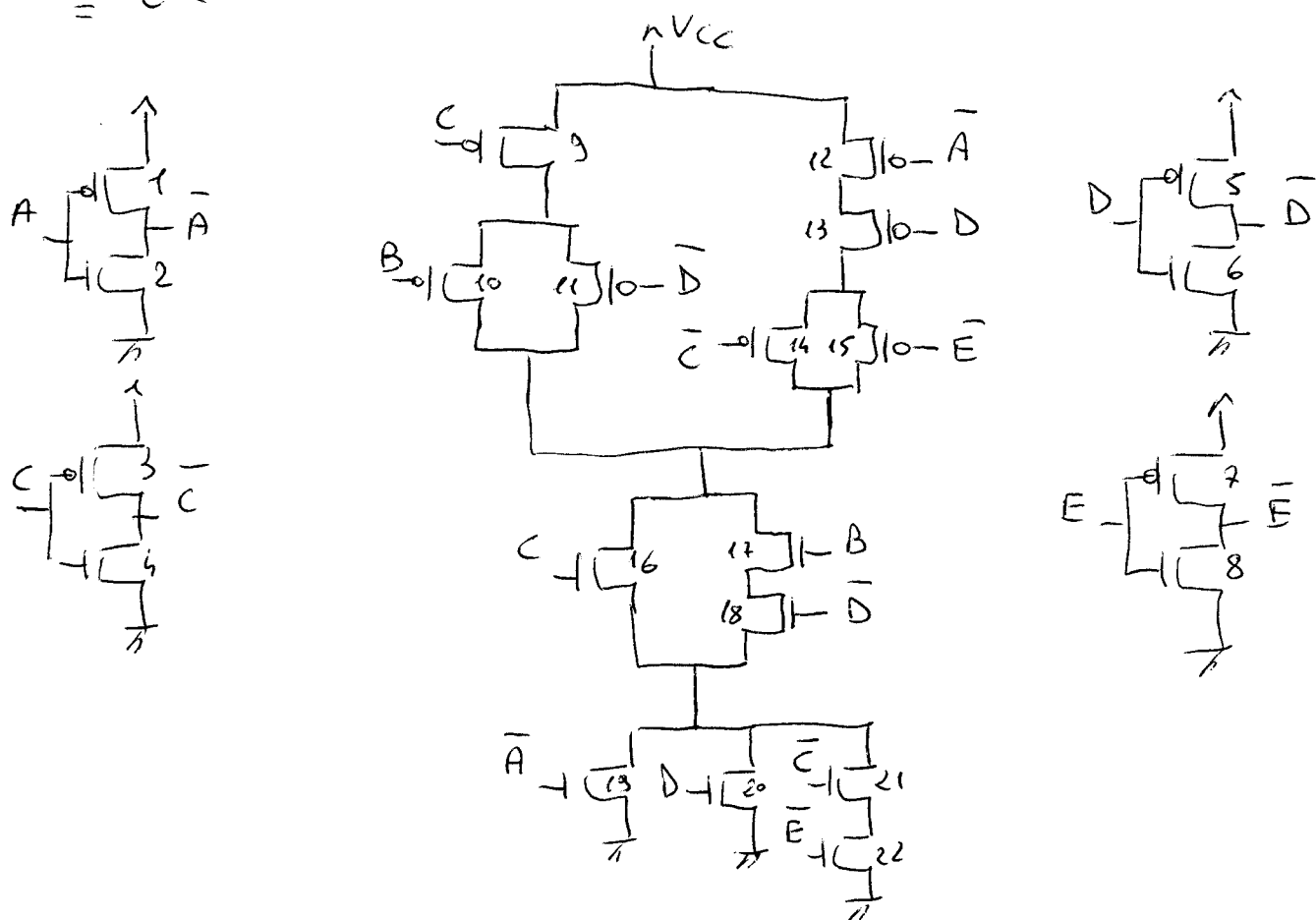
$$i_1 = \frac{V_i}{R_1 + R_2 || R_3 || [h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)]}$$

$$\frac{V_u}{V_i} = (-g_m) \frac{R_9 R_{13}}{R_9 + R_{12} + R_{13}} \frac{1}{1 + g_m R_{10}} (-h_{fe}) \frac{R_6 R_8}{R_6 + R_7 + R_8} \frac{R_2 || R_3}{(R_2 || R_3) + h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)}$$

$$\frac{1}{R_1 + R_2 || R_3 || [h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)]} = 23.24 \quad (27.32 \text{ dB})$$

$$\begin{aligned}
 Y &= (\bar{A} + B)(\bar{C} + \bar{D}E) + \bar{C}(\bar{A}\bar{B} + D) + A\bar{D}(EB + C) = \\
 &= A\bar{B}(\bar{C} + \bar{D}E) + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{C}D + A\bar{D}EB + A\bar{D}C = \\
 &= A\bar{B}\bar{C} + A\bar{B}\bar{D}E + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{C}D + A\bar{D}EB + A\bar{D}C = \\
 &= \bar{B}\bar{C}(A + \bar{A}) + A\bar{D}E(\bar{B} + B) + \bar{C}D + A\bar{D}C = \\
 &= \bar{B}\bar{C} + A\bar{D}E + \bar{C}D + A\bar{D}C = \\
 &= \bar{C}(\bar{B} + D) + A\bar{D}(C + E)
 \end{aligned}$$

MOS: $(7 \times 2) + (4 \times 1) = 22$



$$\left(\frac{W}{L} \right)_{1,3,5,7} = p = 5 \quad \left(\frac{W}{L} \right)_{2,4,6,8} = n = 2$$

$Q_{12} - Q_{13} - Q_{14}$
 $Q_{12} - Q_{13} - Q_{15}$
 $\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p = 15 = \left(\frac{W}{L} \right)_{12,13,14,15}$

$Q_9 - Q_{10}$
 $Q_9 - Q_{11}$
 $\frac{1}{y} + \frac{1}{y} = \frac{1}{p} \Rightarrow y = 2p = 10 = \left(\frac{W}{L} \right)_{9,10,11}$

$$Q_{17} - Q_{18} - Q_{21} - Q_{22}$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 4n = 8 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{17,18,21,22} = 8$$

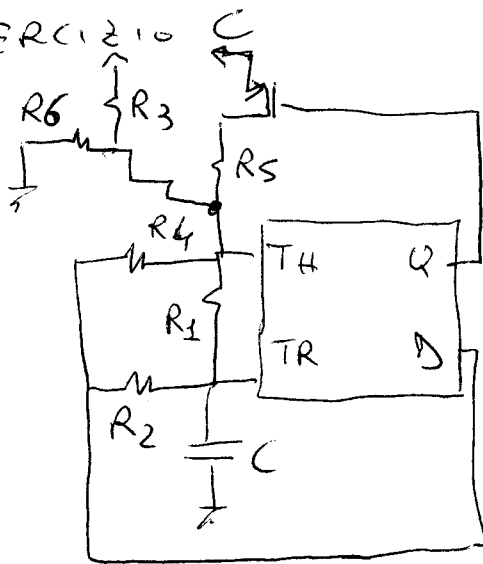
$$Q_{12} - Q_{18} - Q_{20} \quad \text{IMPOSSIBILE per } D \text{ e } \bar{D}$$

$$Q_{16} - Q_{21} - Q_{22} \quad \frac{1}{y} + \frac{1}{4n} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow y = 2n = 4 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{19} = 4$$

$$Q_{16} - Q_{20} \quad \frac{1}{z} + \frac{1}{z} = \frac{1}{n} \Rightarrow z = 2n = 4 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{16,20} = 4$$

(idem se faccia prima $Q_{16} - Q_{19}$ e poi $Q_{19} - Q_{20}$)

ESERCIZIO



$$R_1 = 500 \Omega$$

$$R_2 = 200 \Omega$$

$$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 5 \text{ k}\Omega$$

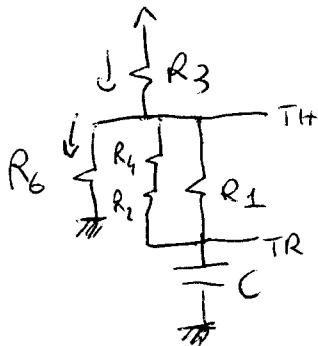
$$R_5 = 1 \text{ k}\Omega$$

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

$$C = 0.82 \mu\text{F}$$

$$Q = 1 \quad V_{gs1} = V_{cc} \quad V_{ds1} = V_{cc} \Rightarrow V_{gs1} = \phi > V_T = -1 \text{ V} \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$$

$$D = HI$$



$$V_i = 2 \text{ V}$$

$$V_f = \frac{V_{cc} R_6}{R_3 + R_6} = 5 \text{ V}$$

$$V_{TH} = 4 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_3} = 2 \text{ mA}$$

$$I_6 = \frac{V_{TH}}{R_6} = 0.8 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_3 - I_6 = 1.2 \text{ mA}$$

$$V_{cor} = V_{TH} - (R_1 \parallel (R_4 + R_2)) I_1 = 3.45 \text{ V}$$

$$V_i < V_{cor} < V_f$$

$$2 < 3.45 < 5$$

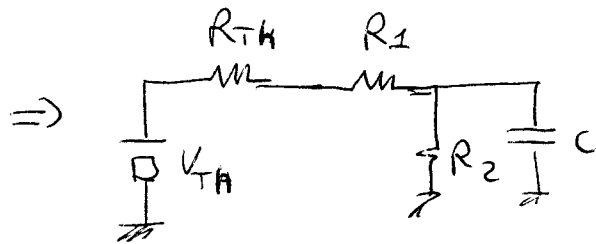
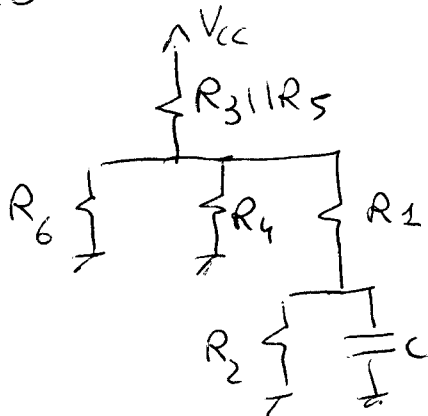
OK

$$R_{V1} = \cancel{R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel R_4} [R_1 \parallel (R_2 + R_4)] + R_3 \parallel R_6 = 1289.47 \Omega \quad (5)$$

$$\tau_1 = \cancel{R_{V1} C} 1.057 \text{ ms}$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left[\frac{V_i - V_f}{V_{con1} - V_f} \right] = \cancel{6.382 \times 10^{-4}} 6.382 \times 10^{-4}$$

2) $U=0$ $U_g = 0V$ $U_d = 6V$ $U_{gs} = -6V \leq U_T = -1V \Rightarrow U_1 \text{ ON}$
 $D=0$



$$V_{TH} = V_{CC} \frac{R_4 \parallel R_6}{(R_4 \parallel R_6) + (R_3 \parallel R_5)} = 5V$$

$$R_{TH} = R_3 \parallel R_5 \parallel R_4 \parallel R_6 = 416.6 \Omega$$

$$V_{f2} = V_{TH} \frac{R_2}{R_{TH} + R_1 + R_2} = 0.8355V$$

$$V_{i2} > V_{con2} > V_{f2}$$

$$\begin{matrix} 3.45V \\ 3.45V \end{matrix} > 2V > 0.8355V \Rightarrow OK$$

$$R_{V2} = R_2 \parallel [R_1 + R_{TH}] = 164.179 \Omega$$

$$\tau_2 = C R_{V2} = 1.3462 \times 10^{-4} s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left(\frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{con2} - V_{f2}} \right) = \cancel{1.1287 \times 10^{-4}} 1.1287 \times 10^{-4} s$$

$$T = T_1 + T_2 = \begin{matrix} 8.111 \\ 9.179 \end{matrix} \times 10^{-4} s$$

$$f = \frac{1}{T} = \cancel{1023.2 \text{ Hz}} 1232.87 \text{ Hz}$$