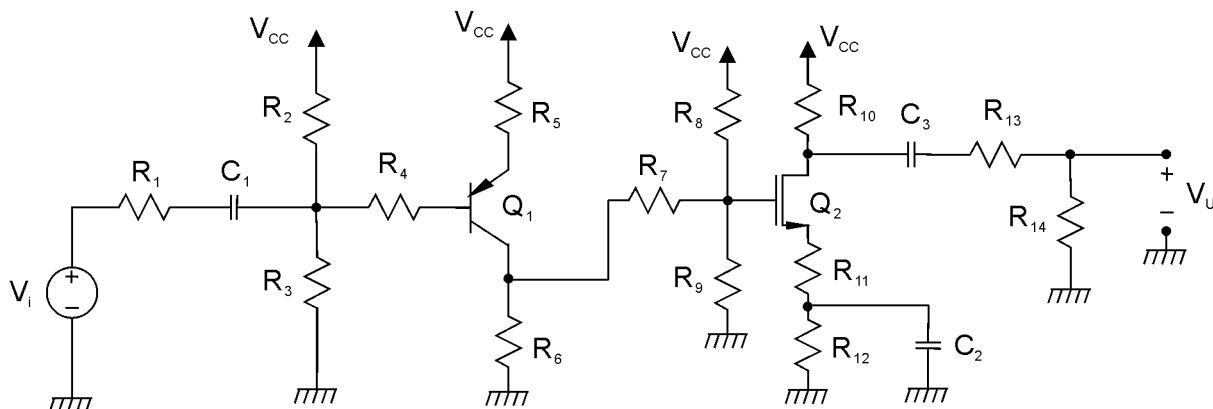


ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 16 febbraio 2021

Esercizio 1



Q_1 è un transistor BJT BC179A resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$; Q_2 è un transistor MOS a canale n resistivo con la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) determinare l'espressione di V_U/V_i alle frequenze per le quali i condensatori possono essere considerati dei corto circuiti.

ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 16 febbraio 2021

Esercizio 2

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

$$Y = (\bar{A} + \bar{B}C) \cdot (\bar{D} + \bar{C} + E)$$

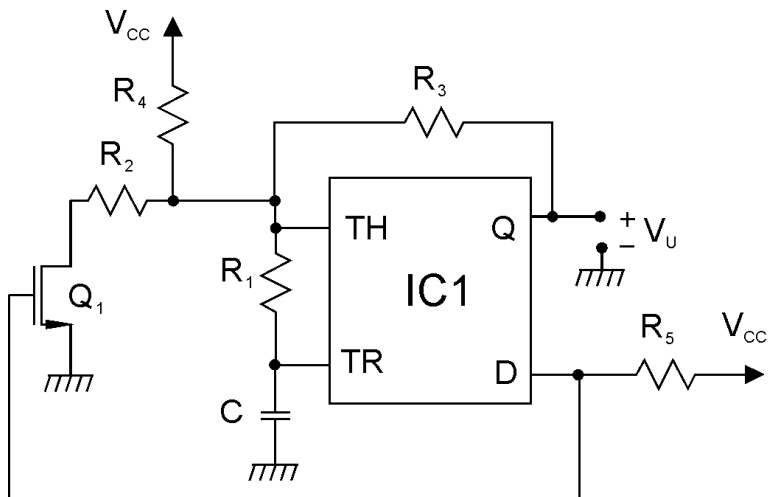
Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale n e pari a 5 per quello a canale p . Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento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

ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 16 febbraio 2021

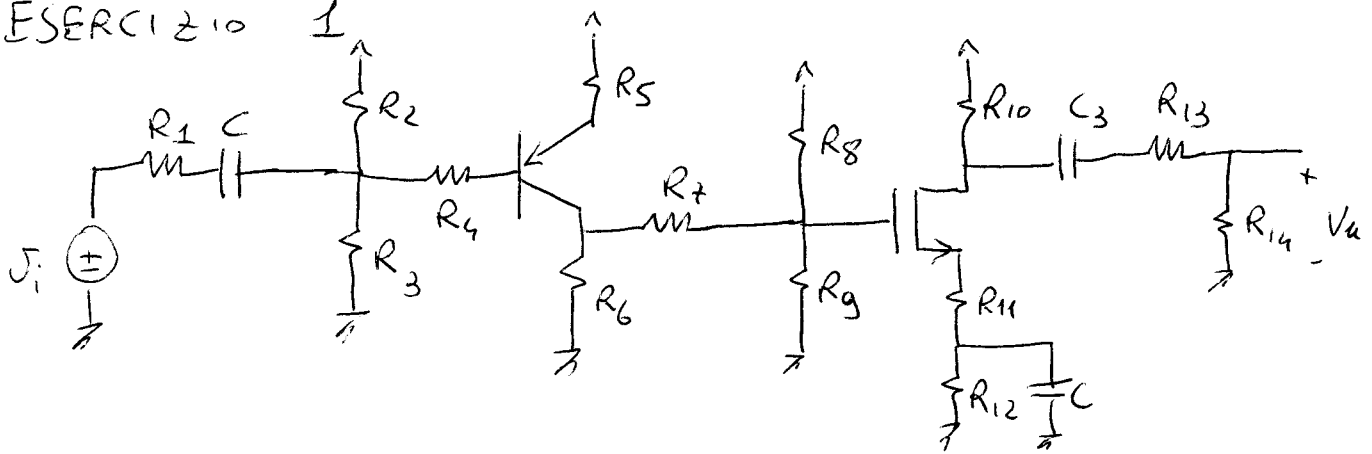
Esercizio 3

$R_1 = 360 \, \Omega$	$R_5 = 1 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 3.6 \, \text{k}\Omega$	$C = 1.5 \, \mu\text{F}$
$R_3 = 500 \, \Omega$	$V_{CC} = 6 \, \text{V}$
$R_4 = 2 \, \text{k}\Omega$	

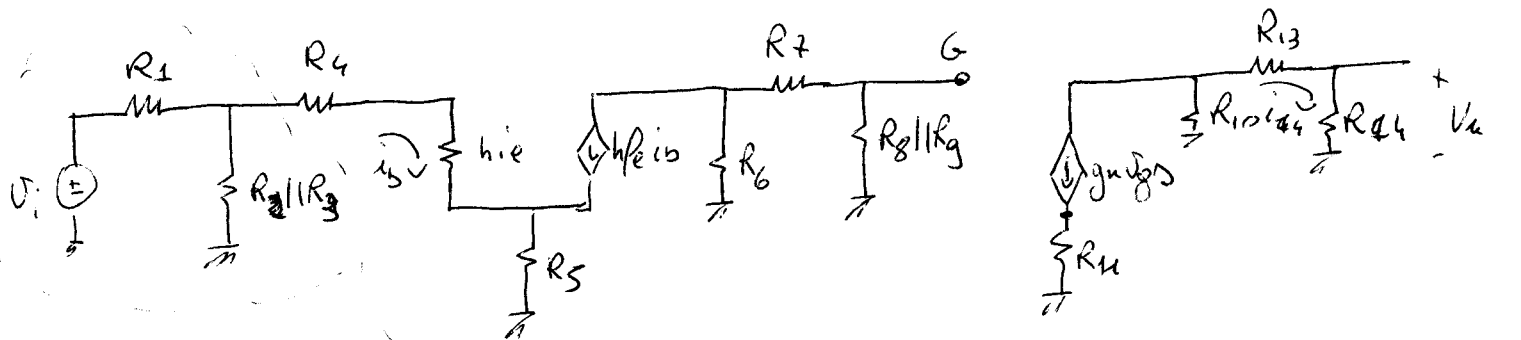


Il circuito IC1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \, \text{V}$; Q1 ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = 1 \, \text{V}$. Verificare che il circuito si comporta come un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.

ESERCIZIO 1



Det. V_u/V_i alle frequenze per le quali i condensatori C_1, C_2, C_3 sono cortocircuiti.



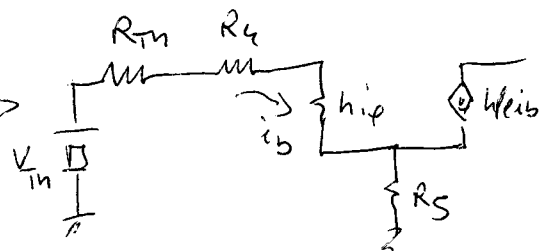
$$V_u = R_{14} i_{14}$$

$$i_{14} = (-g_m V_{gs}) \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{13} + R_{14}}$$

$$V_s = (g_m V_{gs}) R_{11}$$

$$V_{gs} = V_g - (g_m V_{gs}) R_{11} \Rightarrow V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m R_{11}}$$

$$V_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8 || R_9} \cdot (R_8 || R_9)$$



$$V_{Th} = V_i \frac{R_2 || R_3}{R_2 + R_2 || R_3}$$

$$R_{Th} = R_2 || R_2 || R_3$$

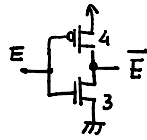
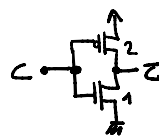
$$i_b = \frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_4 + h_{ie} + R_5(h_{fe} + 1)} = V_i \frac{R_2 || R_3}{R_2 + R_2 || R_3} \frac{1}{(R_2 || R_2 || R_3) + R_4 + h_{ie} + R_5(h_{fe} + 1)}$$

$$\frac{V_u}{V_i} = (-g_m) \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{13} + R_{14}} \cdot R_{14} \frac{1}{1 + g_m R_{11}} (-h_{fe}) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + (R_8 || R_9)} (R_8 || R_9) \cdot \frac{R_2 || R_3}{R_2 + R_2 || R_3} \cdot \frac{1}{(R_2 || R_2 || R_3) + R_4 + h_{ie} + R_5(h_{fe} + 1)}$$

DIM. INV.

$$Y = (\bar{A} + \bar{B}C) \cdot (\bar{D} + \bar{C} + E)$$

$$N = 2 \times (6+1) = 16$$



$$\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3} = n = 2$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{2,4} = p = 5$$

DIM. PUN

•) PERCORSI DA 3: $\begin{cases} 6-7-8 & \text{POSS.} \\ 6-7-9 & \rightarrow \text{IMPOSSIBILE (C \bar{E} \bar{E})} \\ 6-7-10 & \text{POSS.} \end{cases}$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{6,7,8,10} = x \rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{3}{x} = \frac{1}{p} \rightarrow x = \left(\frac{W}{L}\right)_{6,7,8,10} = 3p = 15$$

••) PERCORSI DA 2: $\begin{cases} 5-8 \\ 5-9 \\ 5-10 \end{cases}$ CON 8 E 10 GIÀ DIM (3p) [5,9 DA DIMENSIONARE]

OPZIONE ①: DIMENSIONO 5 E 9 UGUALI USANDO IL PERCORSO 5-9 E PER VERIFICARE LA CONDIZIONE SULLA RON DEI PERCORSI 5-8 E 5-10

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{5,9} = t \rightarrow \frac{1}{t} + \frac{1}{t} = \frac{2}{t} = \frac{1}{p} \rightarrow t = \left(\frac{W}{L}\right)_{5,9} = 2p = 10$$

Verifico 5-8 e 5-10:

$$\frac{1}{2p} + \frac{1}{3p} = \frac{3+2}{6p} = \frac{5}{6p} < \frac{1}{p} \quad [\text{DIM. VALIDO}]$$

OPZIONE ②: DIMENSIONO PRIMA 5 USANDO 5-8 E 5-10 E POI 9 USANDO 5-9

$$\left(\frac{W}{L}\right)_5 = f \quad \frac{1}{f} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{3-1}{3p} = \frac{2}{3p} \rightarrow f = \left(\frac{W}{L}\right)_5 = \frac{3p}{2} = 7.5$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_9 = h \quad \frac{1}{h} + \frac{1}{\frac{3p}{2}} = \frac{1}{p} \rightarrow \frac{1}{h} = \frac{3-2}{3p} = \frac{1}{3p} \rightarrow h = \left(\frac{W}{L}\right)_9 = 3p = 15$$

CONFRONTO LARGHEZZA DELLE DUE OPZIONI (USANDO $\pm \frac{W}{L}$, ASSUMENDO $L = L_{\text{min}}$)

	Q_5	Q_9	SOMMA
OPZ. 1	2p	2p	4p
OPZ. 2	$\frac{3}{2}p$	3p	4.5p

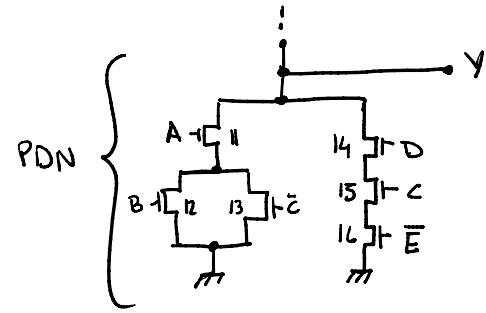
→ SCELGO LA PRIMA OPZ. E ADDIZIONE AD ALTRA MINORE

Dim. P.D.N.

•) PERCORSO DA 3: 14 - 15 - 16 (Possibili)

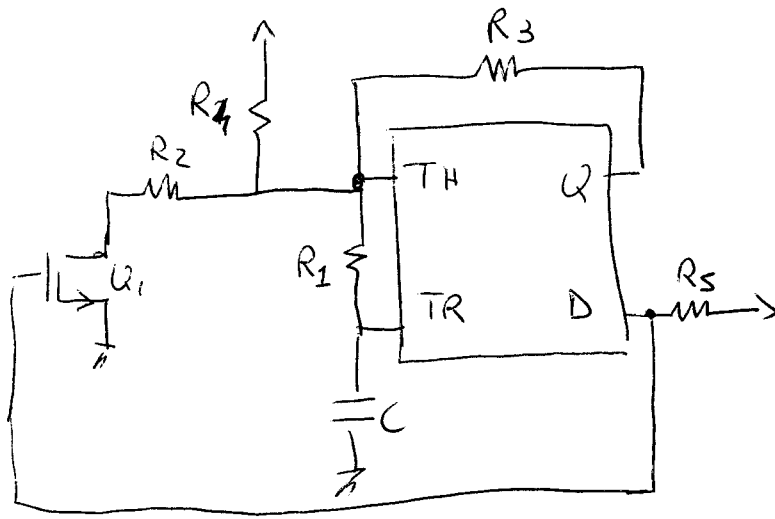
$$\left(\frac{W}{L}\right)_{14,15,16} = J \quad \frac{1}{J} + \frac{1}{J} + \frac{1}{J} = \frac{3}{J} = \frac{1}{m}$$

$$\rightarrow J = \left(\frac{W}{L}\right)_{14,15,16} = 3m = 6$$



••) PERCORSO DA 2: $\begin{cases} 11-12 \\ 11-13 \end{cases}$ > POSSIBILI

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{11,12,13} = K \rightarrow \frac{1}{K} + \frac{1}{K} = \frac{2}{K} = \frac{1}{m} \rightarrow K = \left(\frac{W}{L}\right)_{11,12,13} = 2m = 4$$



$$R_1 = 360 \Omega$$

$$R_2 = 3.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 500 \Omega$$

$$R_4 = 2 \text{ k}\Omega$$

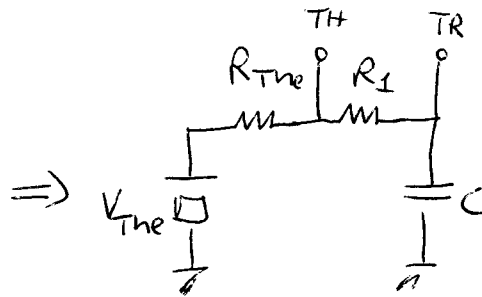
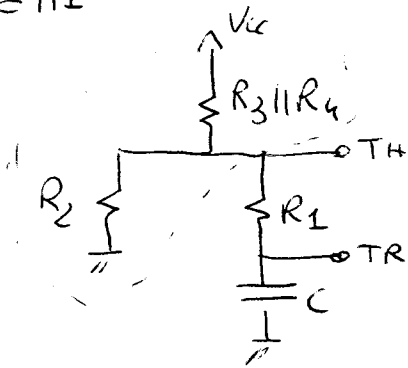
$$R_5 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 1.5 \mu\text{F}$$

$$V_{CC} = 6 \text{ V}$$

1) $U = 1$ $V_{GS1} = 6 \text{ V}$ $V_{GS2} = \phi$ $V_{DS1} = 6 \text{ V} > V_T = 1 \text{ V} \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$

$D = HI$



$$V_{The} = \frac{V_{CC} R_2}{R_2 + R_3 \parallel R_4} = 5.4 \text{ V}$$

$$R_{The} = R_2 \parallel R_3 \parallel R_4 = 360 \Omega$$

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

$$V_{f1} = V_{The} = 5.4 \text{ V}$$

Se $V_{TH} = 1 \text{ V} \Rightarrow I_{R1} = \frac{V_{The} - V_{TH}}{R_{The}} = 38 \text{ mA}$

$$V_{cor1} = V_{TH} - R_1 I_{R1} = 2.6 \text{ V}$$

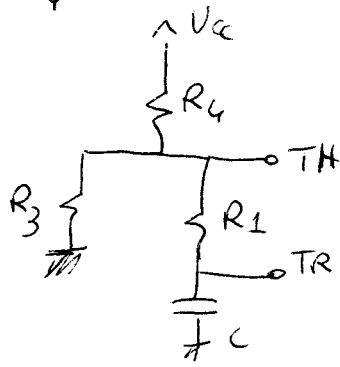
$$R_{v1} = R_1 + R_{The} = 720 \Omega$$

$$\tau_1 = R_{v1} \cdot C = 1.08 \text{ ms}$$

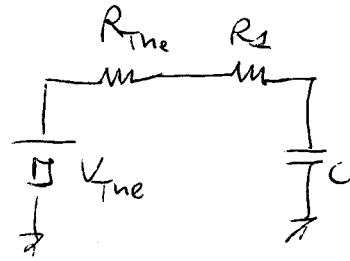
$$T_1 = \tau_1 \ln \left(\frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{cor1} - V_{f1}} \right) = 2.03688 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{i1} < V_{cor1} < V_{f1} \\ 2 \text{ V} < 2.6 \text{ V} < 5.4 \text{ V} \quad \text{OK} \end{array} \right\}$$

2) $U = \phi$ $U_{G1} = \phi V$ $U_{D1} = \phi V \Rightarrow U_{G D1} = \phi V < U_T \Rightarrow Q1 \text{ OFF}$ (4)
 $D = \phi$



\Rightarrow



$$V_{Th} = \frac{V_{cc} R_3}{R_3 + R_4} = 1.2V$$

$$R_{Th} = R_3 || R_4 = 400 \Omega$$

$$V_{i2} = 2.6V$$

$$V_{con2} = 2V$$

$$V_{p2} = V_{Th} = \frac{V_{cc} R_3}{R_3 + R_4} = 1.2V$$

$$V_{i2} > V_{con2} > V_{p2}$$

$$2.6V > 2V > 1.2V \quad \underline{\underline{OK}}$$

$$R_{V2} = R_1 + R_{Th} = 760 \Omega$$

$$\tau_2 = R_{V2} \cdot C = 1.14 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left(\frac{V_{i2} - V_{p2}}{V_{con2} - V_{p2}} \right) = 6.379 \times 10^{-4} s$$

$$T = T_1 + T_2 = 8.4765 \times 10^{-4} s$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{\underline{1179.7 \text{ Hz}}}$$