

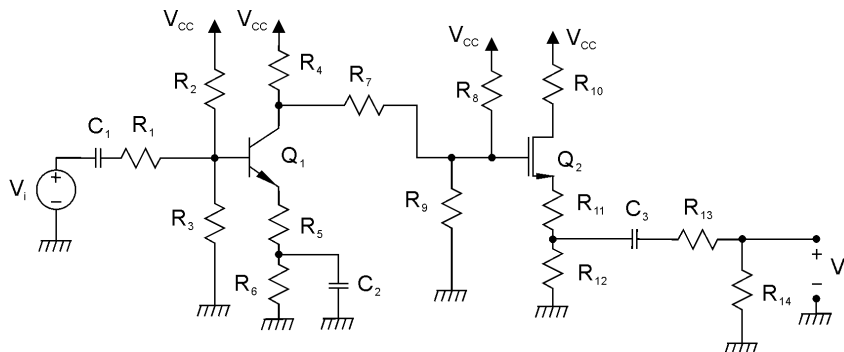
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 27 giugno 2019

Esercizio A

$R_1 = 100 \, \Omega$	$R_9 = 13 \, \text{k}\Omega$
$R_3 = 77 \, \text{k}\Omega$	$R_{10} = 1 \, \text{k}\Omega$
$R_4 = 6 \, \text{k}\Omega$	$R_{11} = 1 \, \text{k}\Omega$
$R_5 = 100 \, \Omega$	$R_{12} = 1 \, \text{k}\Omega$
$R_6 = 3.4 \, \text{k}\Omega$	$R_{13} = 100 \, \Omega$
$R_7 = 1 \, \text{k}\Omega$	$R_{14} = 4.9 \, \text{k}\Omega$
$R_8 = 2.5 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \, \text{V}$



Q_1 è un transistor BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$; 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_2 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul gate di Q_2 sia $13 \, \text{V}$. 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 e C_3 possono essere considerati dei corto circuiti.

Esercizio B

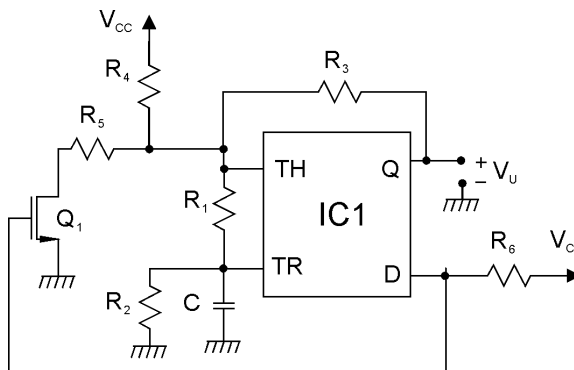
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

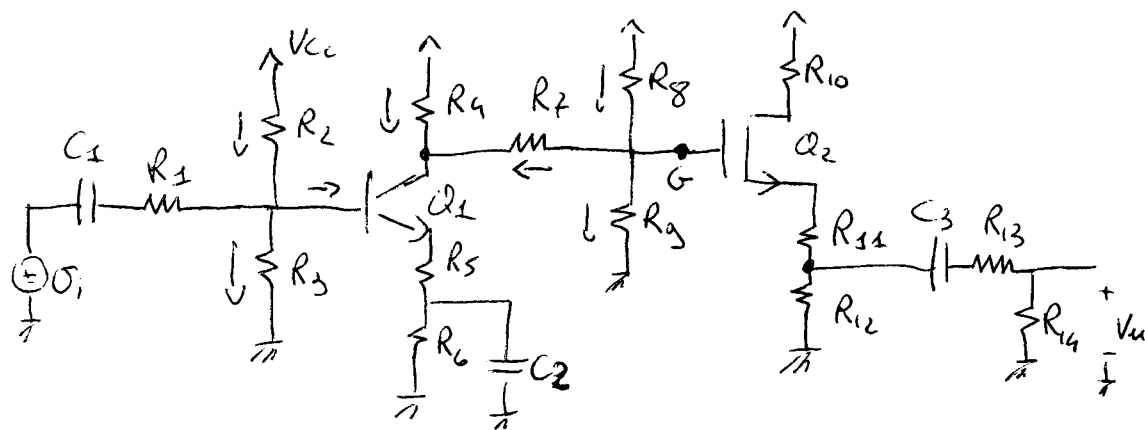
Esercizio C

$R_1 = 180 \, \Omega$	$R_5 = 3.6 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 1960 \, \Omega$	$R_6 = 2 \, \text{k}\Omega$
$R_3 = 500 \, \Omega$	$C = 1.5 \, \mu\text{F}$
$R_4 = 2 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 6 \, \text{V}$



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.



- $R_1 = 100 \Omega$
- $R_2 = 77 \text{ k}\Omega$
- $R_3 = 6 \text{ k}\Omega$
- $R_4 = 100 \Omega$
- $R_5 = 3.4 \text{ k}\Omega$
- $R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_7 = 2.5 \text{ k}\Omega$
- $R_8 = 13 \text{ k}\Omega$
- $R_9 = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_{11} = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_{12} = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_{13} = 100 \Omega$
- $R_{14} = 4.3 \text{ k}\Omega$
- $V_{CC} = 13 \text{ V}$

1) Det. R_2 per $V_G = 13 \text{ V}$

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

$$V_S = (R_{11} + R_{12}) I_S \quad \left\{ \Rightarrow V_S = (R_{11} + R_{12}) I_D \right.$$

$$I_G = 0 \Rightarrow I_D = I_S$$

$$I_D = K (V_G - V_S - V_T)^2 = K [V_G - V_T - (R_{11} + R_{12}) I_D]^2 =$$

$$= K [13 - 2 \times 10^3 I_D]^2 = K [144 + 4 \times 10^6 I_D^2 - 48 \times 10^3 I_D] =$$

$$= 0.072 + 2000 I_D^2 - 24 I_D$$

$$\Rightarrow 2000 I_D^2 - 24 I_D + 0.072 = 0$$

$$I_D = \frac{24 \pm \sqrt{625 - 576}}{4000} = \frac{24 \pm 7}{4000} = \begin{cases} I_{D1} = 8 \text{ mA} \\ I_{D2} = 4.5 \text{ mA} \end{cases}$$

Per $I_{D1} = 8 \text{ mA}$ si ha $V_{S1} = 16 \text{ V} \rightarrow V_{GS1} = -3 \text{ V}$ NON ACCETTABILE

Per $I_{D2} = 4.5 \text{ mA}$

$$V_S = (R_{11} + R_{12}) I_D = 9 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 13 - 9 = 4 \text{ V} (> V_T = 1 \text{ V} \Rightarrow \text{SOL. ACCETTABILE})$$

$$V_D = V_{CC} - R_{10} I_D = 13.5 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 4.5 \text{ V} (> (V_{GS} - V_T) = 3 \text{ V} \Rightarrow \text{hp SATURO SODDISFATTA})$$

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

$$I_{R8} = \frac{V_{CC} - V_G}{R_8} = 2 \text{ mA}$$

$$Q_2: \begin{cases} I_D = 4.5 \text{ mA} \\ V_{DS} = 4.5 \text{ V} \\ V_{GS} = 4 \text{ V} \\ g_m = 3 \times 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}} \end{cases}$$

$$I_g = \frac{V_g}{R_g} = 1 \text{ mA}$$

$$I_7 = I_g - I_3 = 1 \text{ mA}$$

$$V_c = V_g - R_7 I_7 = 12 \text{ V}$$

$$I_4 = \frac{V_{cc} - V_c}{R_4} = 1 \text{ mA}$$

$$I_c = I_4 + I_7 = 2 \text{ mA}$$

$$Q_1: \begin{cases} I_c = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = 5 \text{ V} \\ I_B = 6.8965 \mu\text{A} \\ h_{FE} = 290 \\ h_{fe} = 300 \\ h_{ie} = 4800 \Omega \end{cases}$$

$$\text{hp } Q_1: I_B \ll I_c \Rightarrow I_E \approx I_c$$

$$V_E = (R_5 + R_6) I_E = 7 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 12 - 7 = 5 \text{ V}$$

Siamo nel pt. di lavoro $I_c = 2 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5 \text{ V}$ per il quale il costruttore

fornisce: $h_{FE} = 290$, $h_{fe} = 300$, $h_{ie} = 4800 \Omega$ -

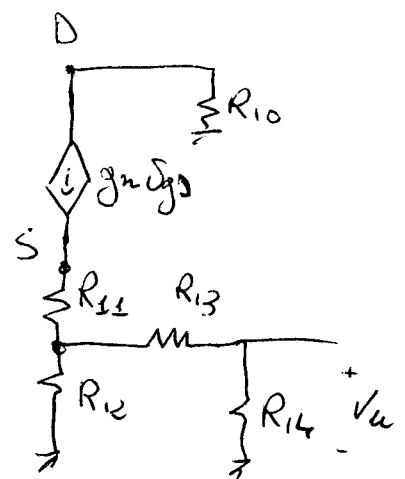
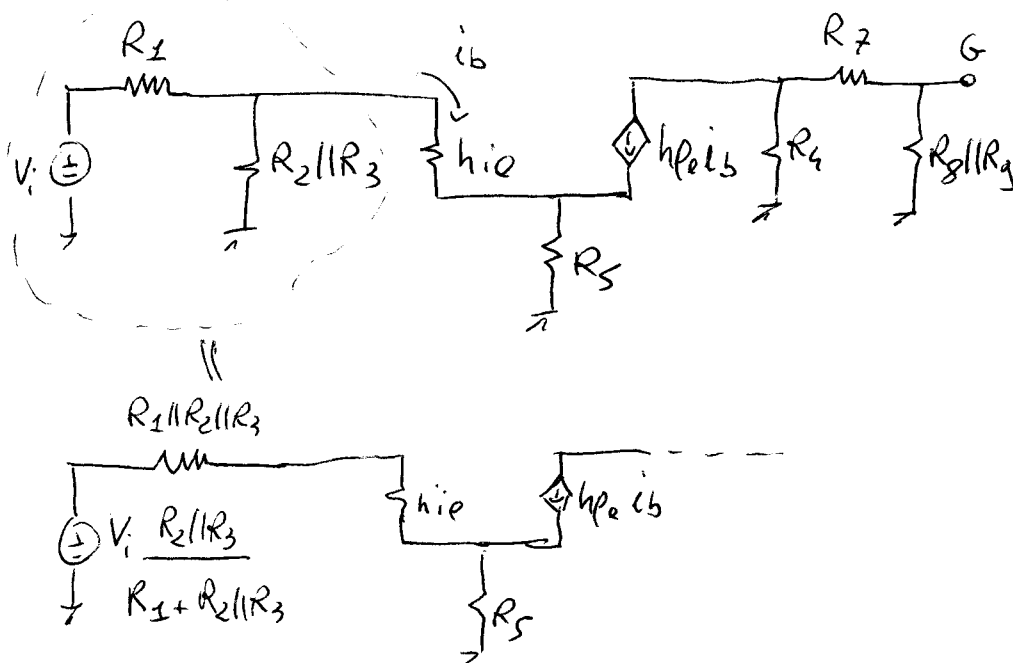
$$I_B = \frac{I_c}{h_{FE}} = 6.8965 \mu\text{A} \ll I_c \Rightarrow \text{hp OK}$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 7.7 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = 0.1 \text{ mA}$$

$$I_2 = I_3 + I_B = 1.068965 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_B}{I_2} = \underline{\underline{96354.84 \Omega}}$$



$$V_u = (g_m V_{gs}) \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{13} + R_{14}} \cdot R_{14}$$

$$V_s = (g_m V_{gs}) \left\{ R_{11} + [R_{12} \parallel (R_{13} + R_{14})] \right\}$$

$$V_{gs} = V_g - V_s = V_g - (g_m V_{gs}) \left\{ R_{11} + [R_{12} \parallel (R_{13} + R_{14})] \right\}$$

$$V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m \left\{ R_{11} + [R_{12} \parallel (R_{13} + R_{14})] \right\}}$$

$$V_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + (R_8 \parallel R_9)} (R_8 \parallel R_9)$$

$$\frac{V_i R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} = (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) i_b + h_{ie} i_b + R_5 (h_{fe} + 1) i_b$$

$$i_b = \frac{V_i R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \frac{1}{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)}$$

$$\frac{V_u}{V_i} = g_m \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{13} + R_{14}} \cdot R_{14} \cdot \frac{1}{1 + g_m \left\{ R_{11} + [R_{12} \parallel (R_{13} + R_{14})] \right\}}$$

$$\cdot (-h_{fe}) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + (R_8 \parallel R_9)} (R_8 \parallel R_9) \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \frac{1}{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)}$$

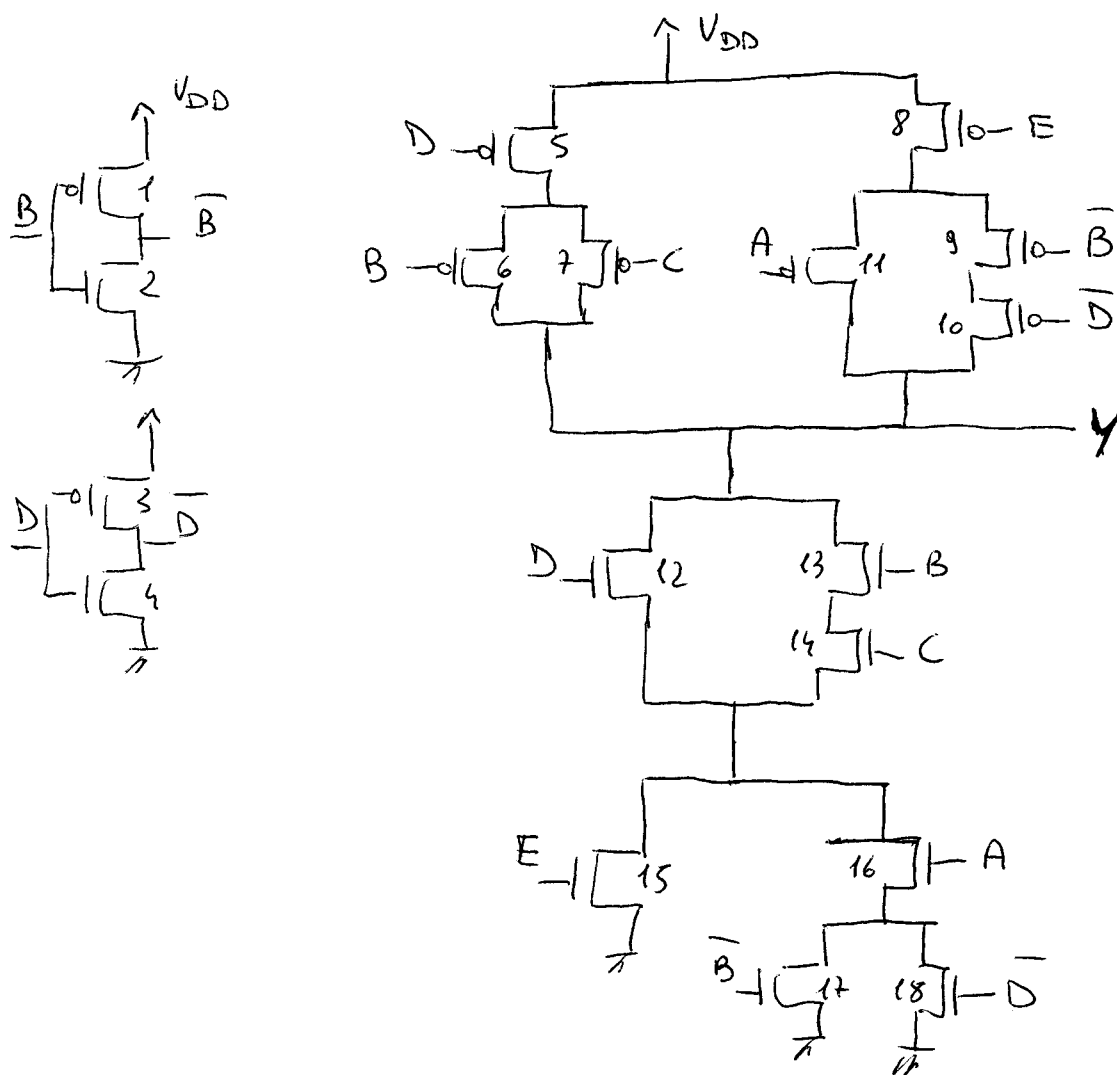
$$= -4.4577 \quad \left| \frac{V_u}{V_i} \right| = 12.38 \text{ dB}$$

ES. B

(4)

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

$$* \text{Pos: } (7 \times 2) + (2 \times 2) = 18$$



$$\left. \begin{aligned}
 \left(\frac{W}{L}\right)_{1,3} &= p = 5 \\
 \left(\frac{W}{L}\right)_{2,4} &= n = 2
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{INVERTER} \\ \text{DI} \\ \text{BASE} \end{array}$$

PON

$$.) Q_8 - Q_9 - Q_{10} : \left(\frac{W}{L} \right)_{8,9,10} = x = \underline{15}$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p = 15$$

$$.) Q_8 - Q_{11} \text{ con } Q_8 \text{ già dimensionato} : \left(\frac{W}{L} \right)_{11} = y = \underline{7.5}$$

$$\frac{1}{y} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \Rightarrow \frac{1}{y} = \frac{2}{3p} \Rightarrow y = \frac{3}{2}p = \frac{15}{2} = 7.5$$

$$.) Q_5 - Q_6 / Q_5 - Q_7 : \left(\frac{W}{L} \right)_{5,6,7} = z = \underline{10}$$

$$\frac{1}{z} + \frac{1}{z} = \frac{1}{p} \Rightarrow z = 2p = 10$$

PON

$$.) Q_{13} - Q_{14} - Q_{16} - Q_{17} \text{ NON È POSSIBILE PER } B \text{ e } \bar{B}$$

$$Q_{13} - Q_{14} - Q_{16} - Q_{18} : \left(\frac{W}{L} \right)_{13,14,16,18} = k = \underline{8}$$

$$\frac{1}{k} + \frac{1}{k} + \frac{1}{k} + \frac{1}{k} = \frac{1}{n} \Rightarrow k = 4n = 8$$

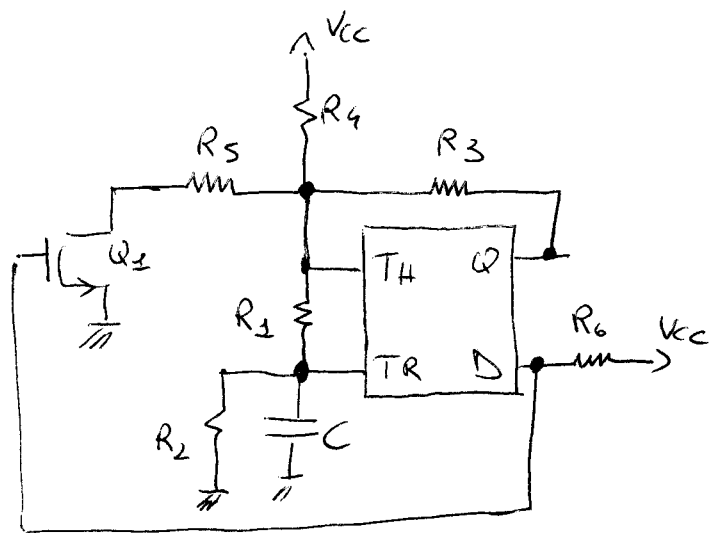
$$.) Q_{12} - Q_{16} - Q_{18} \text{ NON È POSSIBILE PER } D \text{ e } \bar{D}$$

$$Q_{12} - Q_{16} - Q_{17} \text{ con } Q_{16} \text{ già dimensionato} : \left(\frac{W}{L} \right)_{12,17} = t = \underline{\frac{16}{3} = 5.3}$$

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{t} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{2}{t} = \frac{3}{4n} \Rightarrow t = \frac{8}{3}n = \frac{16}{3}$$

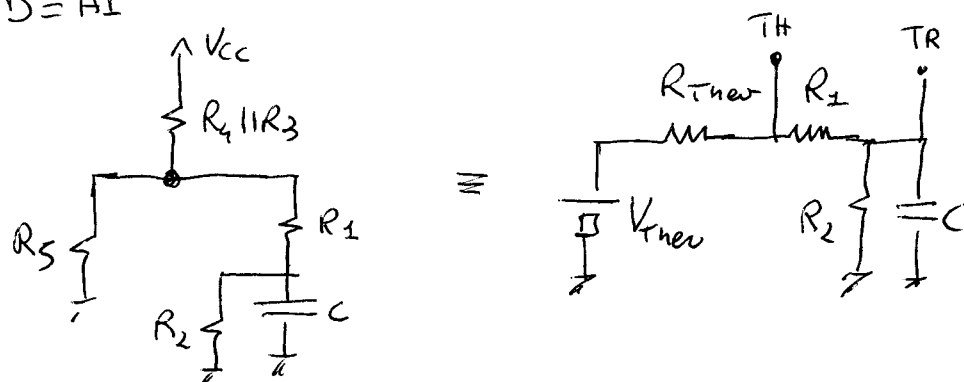
$$Q_{13} - Q_{14} - Q_{15} \text{ con } Q_{13} \text{ e } Q_{14} \text{ già dimensionati} : \left(\frac{W}{L} \right)_{15} = \alpha = \underline{4}$$

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{4n} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{1}{\alpha} = \frac{2}{4n} \Rightarrow \alpha = 2n = 4$$



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 180 \Omega \\
 R_2 &= 1960 \Omega \\
 R_3 &= 500 \Omega \\
 R_4 &= 2 \text{ k}\Omega \\
 R_5 &= 3.6 \text{ k}\Omega \\
 R_6 &= 2 \text{ k}\Omega \\
 C &= 1.5 \mu\text{F} \\
 V_{cc} &= 6 \text{ V}
 \end{aligned}$$

1) $Q = 1$ $V_G = V_{cc}$ $V_S = \phi \Rightarrow V_{GS} = V_{cc} = 6 \text{ V} > V_T = 1 \text{ V} \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$
 $D = HI$



$$V_{th} = \frac{V_{cc} R_5}{R_5 + R_4 \parallel R_3} = 5.4 \text{ V}$$

$$R_{th} = R_5 \parallel R_4 \parallel R_3 = 360 \Omega$$

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

$$V_{f1} = V_{th} \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{th}} = 4.2336 \text{ V}$$

Per $V_{TH} = \frac{2}{3} V_{cc} = 4 \text{ V}$

$$I_1 = \frac{V_{th} - V_{TH}}{R_{th}} = 3.8 \text{ mA}$$

$$V_{cor} = V_{TH} - R_1 I_1 = 4 - 0.7 = 3.3 \text{ V}$$

$$R_{vc} = R_2 \parallel (R_1 + R_{th}) = 423.36 \Omega$$

$$\tau_1 = R_{vc} \cdot C = 635.04 \mu\text{s}$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left(\frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{cor} - V_{f1}} \right) = 5.53959 \times 10^{-4} \text{ s}$$

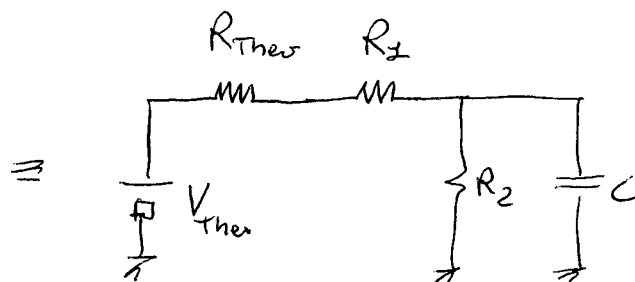
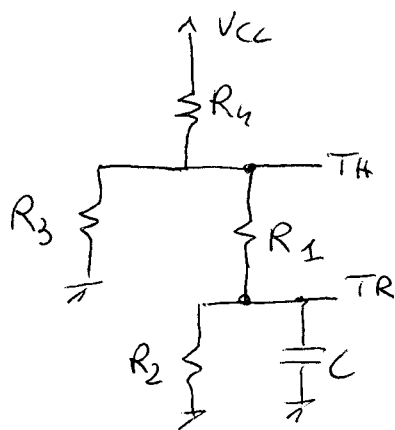
$$V_i < V_{cor} < V_f$$

$$2 \text{ V} < 3.3 \text{ V} < 4.2336 \text{ V} \quad \text{OK}$$

CORRUTTA

Q = ϕ

D = ϕ $V_{gs} = \phi$; $V_{gs} = \phi$; $V_{gs} = 0 < V_T = 1V \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$



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

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

$$V_{i2} = V_{con2} = 3.3V$$

$$V_{f2} = V_{i1} = 2V$$

$$V_{f2} = V_{Thev} \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{Thev}} = 0.92598V$$

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

$$3.3V > 2V > 0.92598V \quad \underline{\text{OK}} \quad \underline{\text{CONFERMA}}$$

$$R_{vc2} = R_2 || (R_1 + R_{Thev}) = 447.559 \Omega$$

$$\tau_2 = C \cdot R_{vc2} = 6.71338 \times 10^{-4} s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left(\frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{con2} - V_{f2}} \right) = 5.324897 \times 10^{-4} s$$

$$T = T_1 + T_2 = 1.08645 \times 10^{-3} s$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{\underline{920.43 \text{ Hz}}}$$