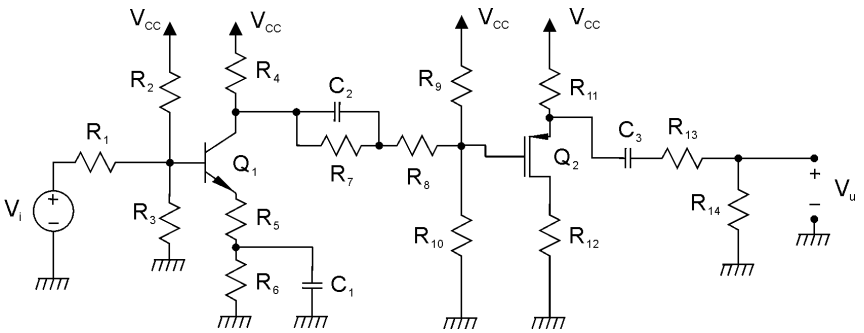
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 09 gennaio 2020

Esercizio A

R_1 = 1 kΩ	R_9 = 22 kΩ
R_3 = 37 kΩ	R_{10} = 7 kΩ
R_4 = 4 kΩ	R_{11} = 4 kΩ
R_5 = 100 Ω	R_{12} = 3 kΩ
R_6 = 1.4 kΩ	R_{13} = 500 Ω
R_7 = 1.9 kΩ	R_{14} = 19.5 kΩ
R_8 = 100 Ω	V_{CC} = 18 V



Q_1 è un transistore BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$; Q2 è un transistore MOS a canale p resistivo con $V_T = -1$ V e la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS}-V_T)^2$ con $k = 0.5$ 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 drain di Q_2 sia 6 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/Vi alle frequenze per le quali C_1, C_2 e C_3 possono essere considerati dei corto circuiti.

Esercizio B

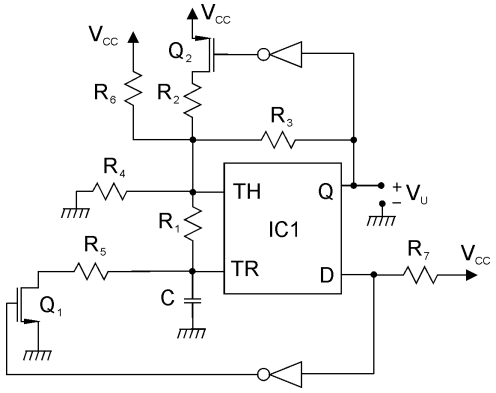
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = \left(\overline{\bar{A}+C}\right)\left(\bar{B}+\bar{D}+E\right)+\bar{A}\bar{C}\left(\bar{D}+E\right)+AC\left(\bar{B}+\bar{E}\right)$$

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

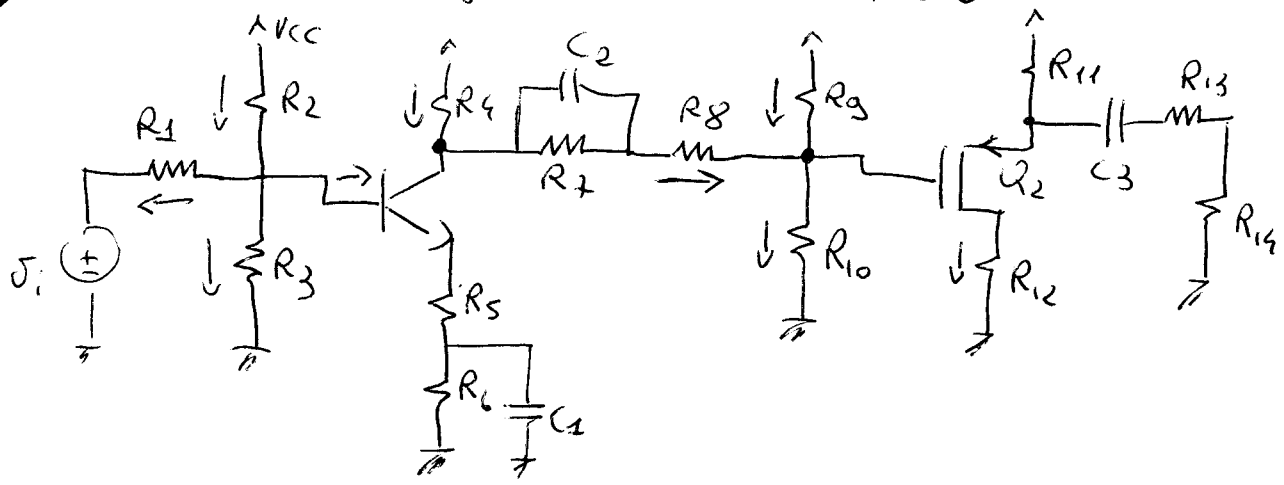
R_1 = 1.6 kΩ	R_6 = 8 kΩ
R_2 = 4 kΩ	R_7 = 1 kΩ
R_3 = 4 kΩ	C = 68 nF
R_4 = 6.4 kΩ	V_{CC} = 6 V
R_5 = 1 kΩ	



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a V_{CC} = 6 V; Q_1 ha una $R_{on} = 0$ e V_T = 1V; Q_2 ha una $R_{on} = 0$ e V_T = -1V; gli inverter sono ideali. 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.

APPELLO 09/01/2020



$R_1 = 1K\Omega$
$R_3 = 37K\Omega$
$R_4 = 4K\Omega$
$R_5 = 100\Omega$
$R_6 = 1.4K\Omega$
$R_7 = 1.3K\Omega$
$R_8 = 100\Omega$
$R_9 = 22K\Omega$
$R_{10} = 7K\Omega$
$R_{11} = 4K\Omega$
$R_{12} = 3K\Omega$
$R_{13} = 50\Omega$
$R_{14} = 19.5K\Omega$

$V_D = 6V$

$I_D = I_{12} = \frac{V_D}{R_{12}} = 2mA$

$I_G = 0 \Rightarrow I_D = I_S = 2mA$

$V_S = V_{CC} - R_{11} I_S = 10V$

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

$\Rightarrow V_{GS} = V_T \ominus \sqrt{\frac{I_D}{K}} = -3V$ (PROS)

Q_2: $I_D = 2mA$, $V_{DS} = -4V$, $V_{GS} = -3V$, $g_m = 2\times10^{-3}\ \frac{A}{V}$

$V_{DS} = V_D - V_S = 6 - 10 = -4V < (V_{GS} - V_T) = -2$ ➡ hp ok

$g_m = 2K|V_{GS} - V_T| = 2\times10^{-3}\ A/V$

$V_G = V_{GS} + V_S = -3 + 10 = +7V$

$I_9 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_9} = 0.5\ mA$

$I_{10} = \frac{V_G}{R_{10}} = 1\ mA$

$I_8 = I_{10} - I_9 = 0.5mA$

$V_C = V_G + (R_7 + R_8) I_8 = 7 + 1 = 8V$

$I_4 = \frac{V_{CC} - V_C}{R_4} = 2.5\ mA$

$I_C = I_4 - I_7 = 2mA$

hp: $I_B << I_C \Rightarrow I_E \simeq I_C = 2mA$

$V_E = (R_5 + R_6) I_C = 3V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 8 - 3 = 5V$

$I_C = 2mA$; $V_{CE} = 5V \Rightarrow h_{FE} = 290$, $h_{ie} = 4800\,\Omega$; $h_{fe} = 300$

$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.8965\,\mu A \Rightarrow$ hp verifiée

$V_B = V_E + V_\gamma = 3.7V$

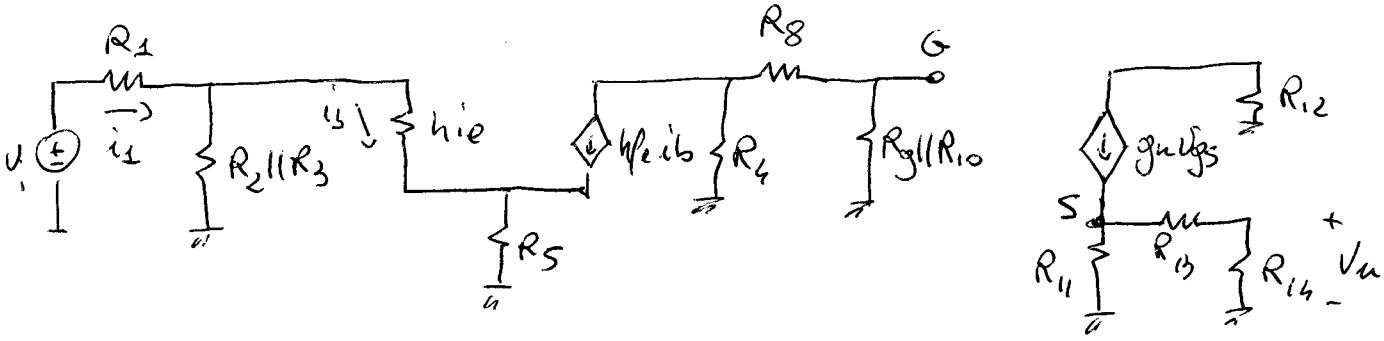
$I_1 = \frac{V_B}{R_1} = 3.7\,mA$

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

$I_2 = I_1 + I_3 + I_B = 3.806896\,mA$

$R_2 = \frac{V_{cc} - V_B}{I_2} = 3756.34\,\Omega$

Q_1 : $V_{CE} = 5V$, $I_C = 2mA$, $h_{ie} = 4800\,\Omega$, $h_{fe} = 300$



$V_u = (g_m V_{gs}) \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{13} + R_{14}} R_{14}$

$V_g = (g_m V_{gs}) [R_{11} // (R_{13} + R_{14})]$

$V_{gs} = V_g - (g_m V_{gs})[R_{11} // (R_{13} + R_{14})] \Rightarrow V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m [R_{11} // (R_{13} + R_{14})]}$

$V_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_4}{R_4 + R_8 + R_g // R_{10}} (R_g // R_{10})$

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

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

$\times 10^{-3}$ 3250 0.13043 -300 2252.237

$$\frac{v_o}{v_i} = g_m \frac{R_{11} R_{14}}{R_{11}+R_{13}+R_{14}} \frac{1}{1+g_m[R_{11}\|(R_{13}+R_{14})]} (-h_{fe}) \frac{R_4 (R_9\|R_{10})}{R_4+R_8+(R_9\|R_{10})}$$

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

$\angle 34900$

8.301389×10^{-2} 2.435×10^{-4}

$= -12.44 \quad (21.9\ dB)$

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

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

$$= A\bar{B}\bar{C} + A\bar{C}\bar{D} + A\bar{C}E + \bar{A}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{C}E + A\bar{B}C + AC\bar{E} =$$

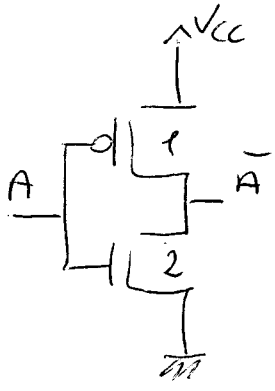
(× ○ ⊕ ○ ⊕ ×)

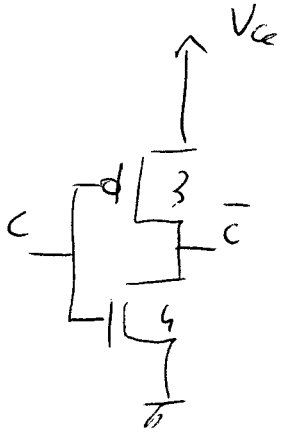
$$= A\bar{B}(\bar{C}+C) + \bar{C}\bar{D}(A+\bar{A}) + \bar{C}E(A+\bar{A}) + AC\bar{E} =$$

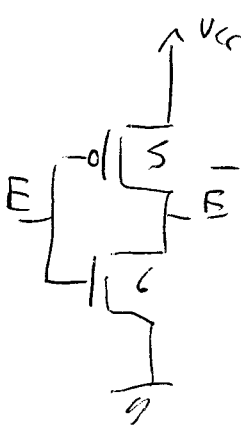
$$= A\bar{B} + \bar{C}\bar{D} + \bar{C}E + AC\bar{E} =$$

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

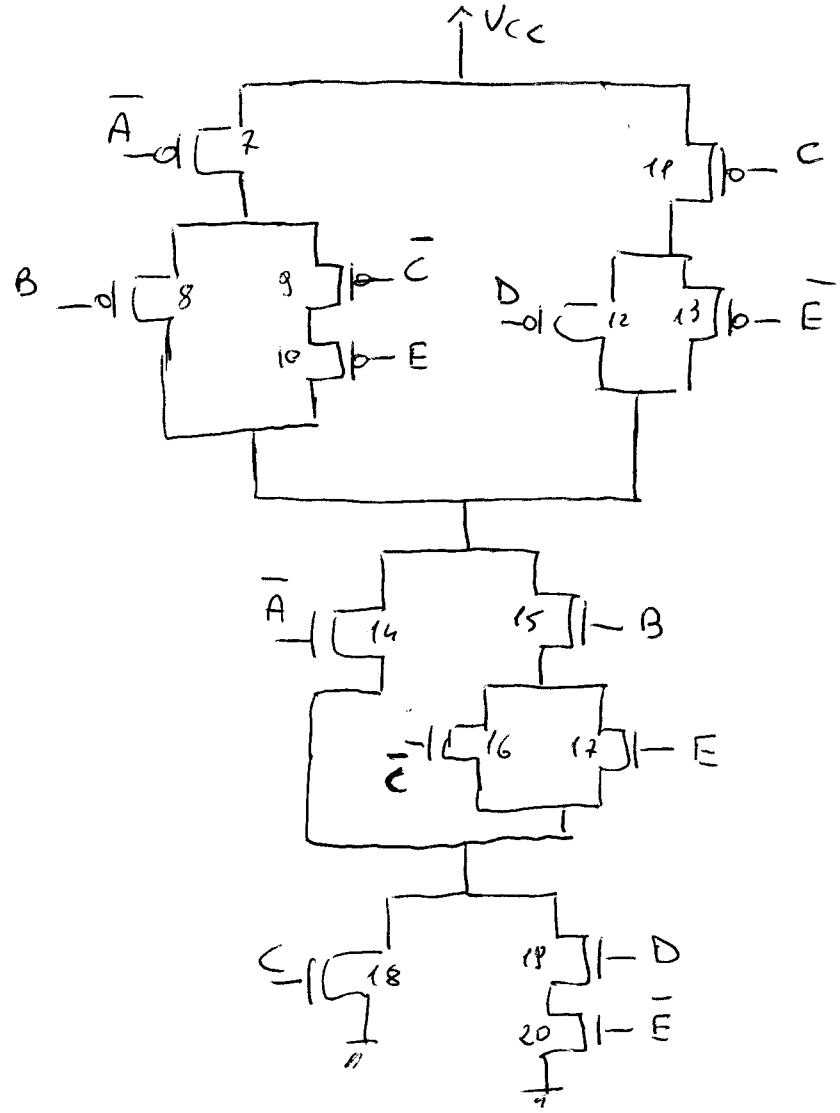
ROS : $(7 \times 2)+(3 \times 2) = 20$







$$\begin{cases} \left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5} = p = 5 \\ \left(\frac{W}{L}\right)_{2,4,6} = n = 2 \end{cases}$$



PUN:

·) $Q_7 - Q_9 - Q_{10} \Rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p = 15 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{7,9,10} = 15$

·) $Q_7 - Q_8 \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = \frac{3}{2}p = \frac{15}{2} \quad \left(\frac{W}{L}\right)_8 = \frac{15}{2} = 2.5$

·) $Q_{11} - Q_{12}$; $Q_{12} - Q_{13} \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 2p = 10 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{11,12,13} = 10$

PDN

·) $Q_{15} - Q_{17} - Q_{19} - Q_{20}$ IMPOSSIBILE $(E, \bar{E})$

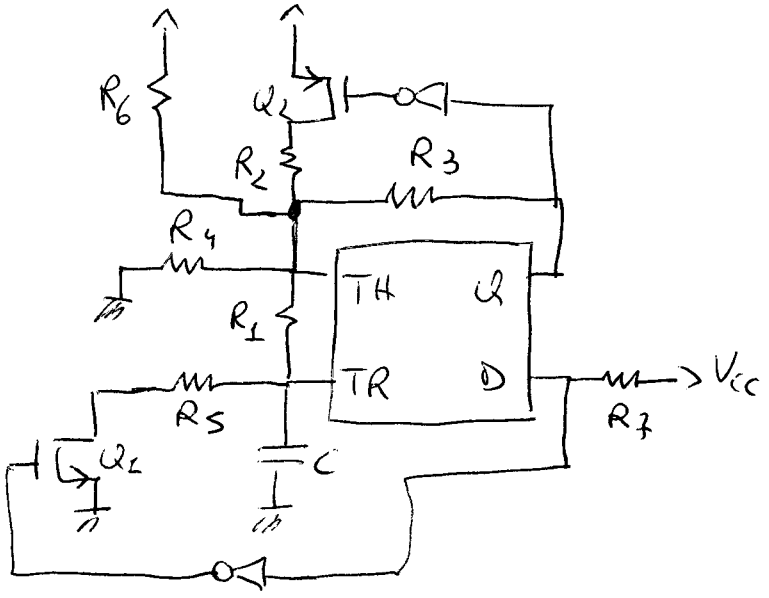
$Q_{15} - Q_{16} - Q_{19} - Q_{20} \quad \frac{1}{y} + \frac{1}{y} + \frac{1}{y} + \frac{1}{y} = \frac{1}{n} \Rightarrow y = 4n = 8 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{15,16,19,20} = 8$

·) $Q_{15} - Q_{16} - Q_{18}$ IMPOSSIBILE $(C \text{ e } \bar{C})$

$Q_{15} - Q_{17} - Q_{18} \quad \frac{1}{y} + \frac{1}{y} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{2}{y} = \frac{3}{4n} \Rightarrow y = \frac{8}{3}n = \frac{16}{3} \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{17,18} = \frac{16}{3}$

$Q_{14} - Q_{19} - Q_{20} \quad \frac{1}{y} + \frac{2}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{1}{y} = \frac{1}{2n} \Rightarrow y = 2n = 4 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{14} = 4$

ESERCIZIO C

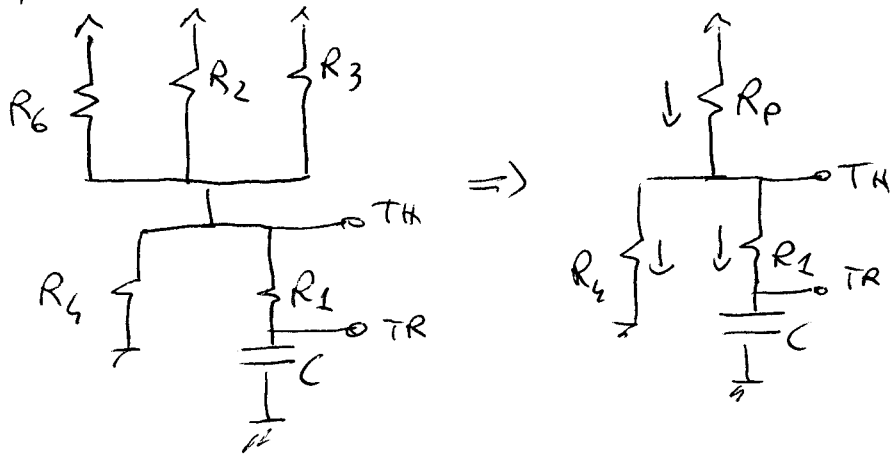


$R_1 = 1.6\,K\Omega$
$R_2 = 4\,K\Omega$
$R_3 = 4\,K\Omega$
$R_4 = 6.4\,K\Omega$
$R_5 = 1\,K\Omega$
$R_6 = 8\,K\Omega$
$R_7 = 1\,K\Omega$
$C = 68\,nF$
$V_{CC} = 6V$

·) $Q = 1 \quad D = HI$

$V_{G1} = \phi V \quad V_{S1} = \phi V \Rightarrow V_{GS1} = \phi V < V_{T_1} \Rightarrow Q_1$ OFF

$V_{G2} = \phi V \quad V_{S2} = 6V \Rightarrow V_{GS2} = -6V < V_{T2} \Rightarrow Q_2$ ON



$R_P = R_6 \| R_2 \| R_3 = 1600\,\Omega$

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

$V_{R1} = V_{CC} \dfrac{R_4}{R_4 + R_P} = 4.8V$

$V_{TH} = 4V \Rightarrow I_P = \dfrac{V_{CC} - V_{TH}}{R_P} = 1.25\,mA$

$I_4 = \dfrac{V_{TH}}{R_4} = 625\,\mu A$

$I_1 = I_P - I_4 = 625\,\mu A$

$V_{COR1} = V_{TH} - R_1 I_1 = 3V$

$V_{i1} < V_{COR1} < V_{R1}$

$2V < 3V < 4.8V$ OK

$R_{V1} = R_1 + R_4 \| R_p = 2880\ \Omega$

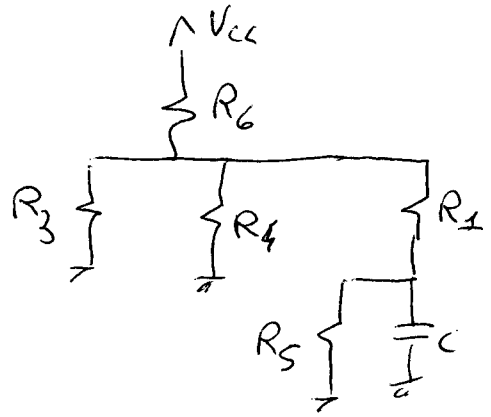
$\tau_1 = R_{V1} C = 195.84\ \mu s$

$T_1 = \tau_1 \ln\left(\frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{corr1} - V_{f1}}\right) = 8.65285 \times 10^{-5}\ s$

·) $Q = 0 \quad D = \phi$

$V_{g1} = 6V \quad V_{S1} = \phi V \Rightarrow V_{gs1} = 6V > V_{T1} \Rightarrow Q_1$ ON

$V_{g2} = 6V \quad V_{S2} = 6V \Rightarrow V_{gs2} = \phi V > V_{T2} \Rightarrow Q_2$ OFF



$V_{i2} = 3V$

$V_{corr2} = 2V$

$V_{f2} = V_{CC} \frac{R_3 \| R_4 \| (R_1 + R_5)}{R_6 + [R_3 \| R_4 \| (R_1 + R_5)]} \frac{R_5}{R_5 + R_1} = 0.31496\ V$

$R_3 \| R_4 \| (R_1 + R_5) = 0.3648$

$V_{i2} > V_{corr2} > V_{f2}$

$3V > 2V > 0.31496\ V$ OK

$R_{V2} = R_5 \| [R_1 + R_3 \| R_4 \| R_6] = 776.9\ \Omega$

$\tau_2 = R_{V2} \cdot C = 5.2829 \times 10^{-5}\ s$

$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{corr2} - V_{f2}}\right) = 2.46135 \times 10^{-5}\ s$

$T = T_1 + T_2 = 1.11 \times 10^{-4}\ s$

$f = \frac{1}{T} = 8997.5\ Hz$