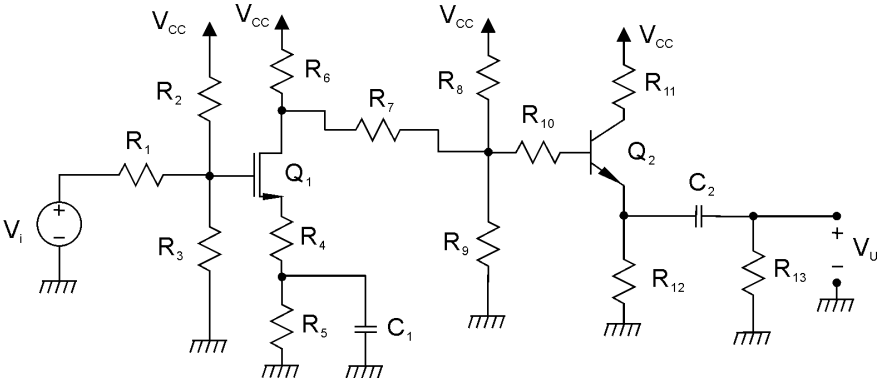
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 07 giugno 2018

Esercizio A

R_1 = 6 kΩ	R_9 = 17550 Ω
R_2 = 5 kΩ	R_{10} =2900 Ω
R_4 = 50 Ω	R_{11} = 3350 Ω
R_5 = 1950 Ω	R_{12} = 3150 Ω
R_6 = 5 kΩ	R_{13} = 20 kΩ
R_7 = 2 kΩ	V_{CC} = 18 V
R_8 = 54900 Ω	



Q_1 è un transistore MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_D=k(V_{GS}-V_T)^2$ con k = 0.5 mA/V^2 e V_T = 1 V. Q_2 è un transistore BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe}$= 0.
Con riferimento al circuito in figura:

1) Calcolare il valore della resistenza R_3 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul collettore di Q_2 sia 11.3 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1. (R: R_3 = 6043.7 Ω)
2) Determinare l'espressione e il valore di V_U/Vi alle frequenze per le quali C_1 e C_2 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: V_U/Vi = -1.8)

Esercizio B

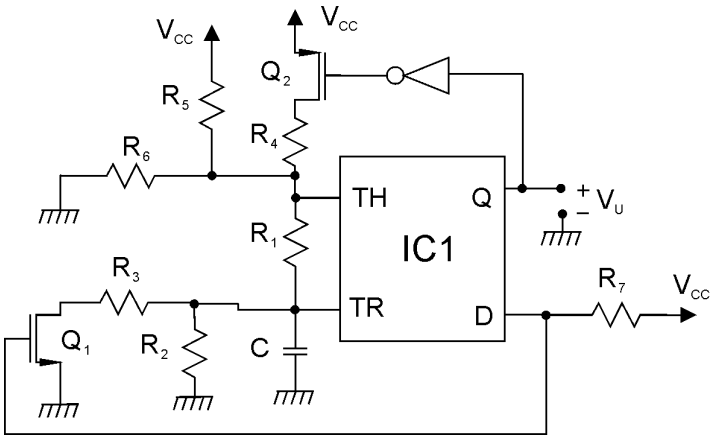
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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 dei transistori. (R: N = 18)

Esercizio C

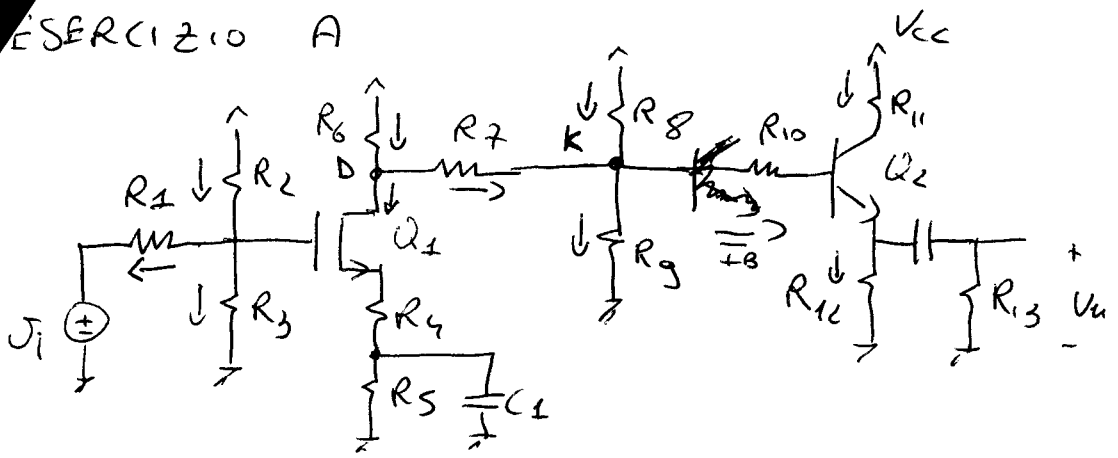
R_1 = 60 Ω	R_6 = 1.8 kΩ
R_2 = 3 kΩ	R_7 = 1 kΩ
R_3 = 3 kΩ	C = 0.1 μF
R_4 = 400 Ω	**V_{CC} = 6 V**
R_5 = 3.6 kΩ	



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a **V_{CC} = 6V**, Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T = 1V, Q_2 ha una R_{on} = 0 e V_T = -1V, l'inverter è ideale. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f= 5350 Hz)

APPELLO 07/06/2018

ESERCIZIO A



$R_1 = 6\,k\Omega$
$R_2 = 5\,k\Omega$
$R_4 = 50\,\Omega$
$R_5 = 1950\,\Omega$
$R_6 = 5\,k\Omega$
$R_7 = 2\,k\Omega$
$R_8 = 54900\,\Omega$
$R_9 = 17550\,\Omega$
$R_{10} = 2900\,\Omega$
$R_{11} = 3350\,\Omega$
$R_{12} = 3150\,\Omega$
$R_{13} = 20\,k\Omega$
$V_{CC} = 18\,V$
$K = 0.5\ mA/V^2$

1) Det. R_3 per $V_C = 11.3\,V$

$$I_{11} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_{11}} = 2\,mA = I_C$$

hp: $I_B \ll I_C \Rightarrow I_E \simeq I_C$

$$V_E = R_{12} I_E = 6.3\,V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 11.3 - 6.3 = 5\,V$$

Per $V_{CE} = 5V$ e $I_C = 2\,mA$ si ha dal costruttore: $h_{FE} = 290$ $h_{ie} = 4800\,\Omega$ $h_{fe} = 300$

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

$$V_B = V_E + V_\gamma = 6.3 + 0.7 = 7\,V$$

$$V_K = V_B + R_{10} I_B = 7.02\,V$$

$$I_8 = \frac{V_{CC} - V_K}{R_8} = 0.2\,mA$$

$$I_9 = \frac{V_K}{R_9} = 0.4\,mA$$

$$I_7 = I_9 + I_B - I_8 = 2.06895 \times 10^{-4}\,A$$

$$V_{D1} = V_K + R_7 I_7 = 7.43379\,V$$

$$I_6 = \frac{V_{CC} - V_D}{R_6} = 2.11342\,mA$$

$$I_D = I_6 - I_7 = 1.906347\,mA$$

$I_G = 0 \Rightarrow I_S = I_D$

: Q_1 SATURO $\Rightarrow$ $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$

$$V_{GS} = V_T \pm \sqrt{\frac{I_D}{K}} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2.9526\ V$$

(NROS)

$V_S = I_S (R_4 + R_5) = 3.812694\ V$

$V_{DS} = V_D - V_S = 3.621096\ V$

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

$3.62 > 1.95\ V$ ok hp di saturazione

$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 1.9526 \times 10^{-3}\ A/V$

$V_G = V_{GS} + V_S = 6.765294\ V$

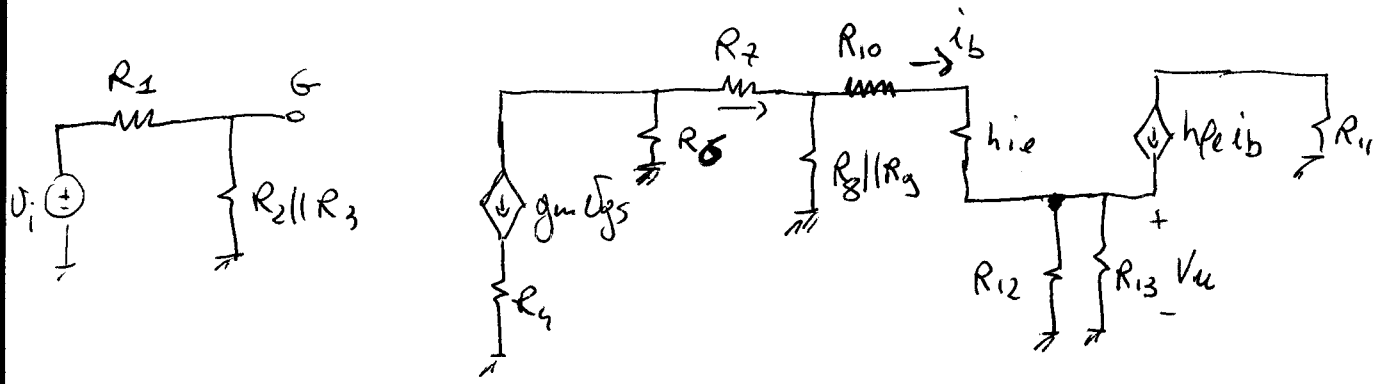
$I_2 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_2} = 2.2463\ mA$

$I_1 = \frac{V_G}{R_1} = 1.1275\ mA$

$I_3 = I_2 - I_1 = 1.1194\ mA$

$R_3 = \frac{V_G}{I_3} = \underline{6043.72\ \Omega}$

Q_1: $\begin{cases} I_D = 1.9063\ mA \\ V_{DS} = 3.6211\ V \\ V_{GS} = 2.9526\ V \\ g_m = 1.9526 \times 10^{-3}\ A/V \end{cases}$



$V_u = (h_{fe} + 1)\, i_b\, (R_{12} \| R_{13})$

$$i_b = i_7 \frac{R_8 \| R_9}{R_8 \| R_9 + h_{ie} + (R_{12} \| R_{13})(h_{fe} + 1) + R_{10}}$$

$$= (-g_m v_{gs}) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8 \| R_9 \| \left[h_{ie} + (R_{12} \| R_{13})(h_{fe}+1) + R_{10} \right]}$$

$$v_s = (g_m v_{gs}) R_4$$

$$v_{gs} = v_g - (g_m v_{gs}) R_4 = \frac{v_g}{1 + g_m R_4}$$

$$v_g = v_i \frac{R_2 \| R_3}{R_1 + R_2 \| R_3}$$

$$\frac{V_u}{V_i} = \underset{301}{(h_{fe}+1)} \underset{2721.38}{(R_{12} \| R_{13})} \frac{R_8 \| R_9}{(R_8 \| R_9) + h_{ie} + (R_{12} \| R_{13})(h_{fe}+1) + R_{10}} \underset{1.5883 \times 10^{-2}}{(-g_m)} \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8 \| R_9 \| \left[h_{ie} + (R_{12} \| R_{13})(h_{fe}+1) + R_{10} \right]}$$

$$\cdot \underset{0.311}{\frac{1}{1 + g_m R_4}} \cdot \underset{0.3132}{\frac{R_2 \| R_3}{R_1 + R_2 \| R_3}} = \underset{1.798}{-} \qquad \left| \frac{V_u}{V_i} \right|_{dB} = 5.025$$

ESERCIZIO B

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

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

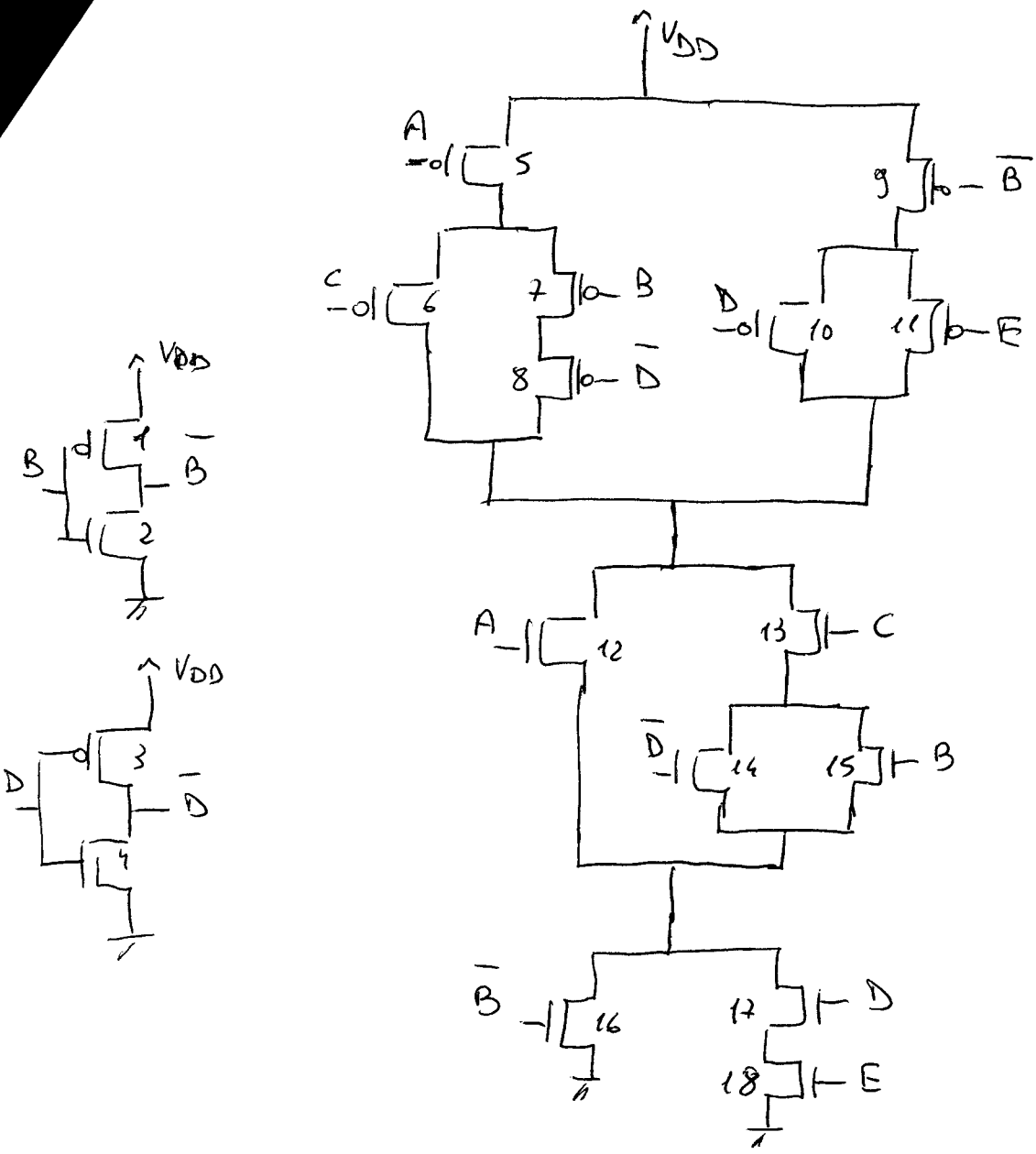
$$= \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}B\bar{D} + \bar{A}B\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}D + AB\bar{D} + AB\bar{E} =$$

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

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

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

NUMERO ROS = $7 \times 2 + 2 \times 2 = 18$



•) INVERTER $\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3} = p = 5 \qquad \left(\frac{W}{L}\right)_{2,4} = n = 2$

•) PUN

$Q_5 - Q_7 - Q_8$: $\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p = 15 \qquad \left(\frac{W}{L}\right)_{5,7,8} = 15$

$Q_5 - Q_6$: $\frac{1}{y} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \Rightarrow y = \frac{3}{2}p = 7.5 \qquad \left(\frac{W}{L}\right)_{6} = 7.5$

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

•) PDN

$Q_{13} - Q_{14} - Q_{17} - Q_{18}$ NON È POSSIBILE PER D e $\bar{D}$

$Q_{13} - Q_{15} - Q_{17} - Q_{18}$: $\frac{4}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 4n = 8 \qquad \left(\frac{W}{L}\right)_{13,15,17,18} = 8$

$Q_{15} - Q_{17}$ NON È POSSIBILE per B e $\bar{B}$

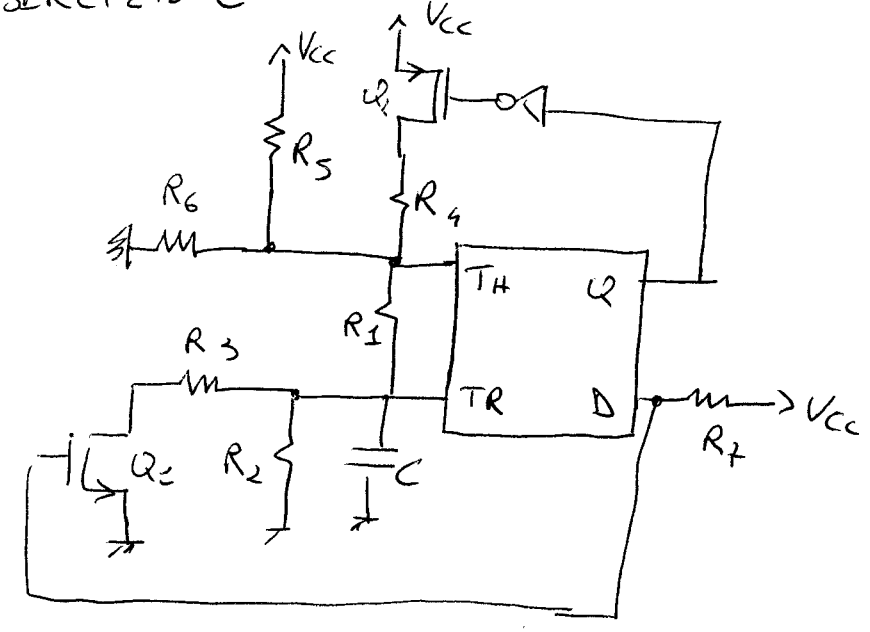
$Q_{13} - Q_{14} - Q_{16}$: $\frac{1}{g} + \frac{1}{4n} + \frac{1}{g} = \frac{1}{n}$

$\frac{2}{g} = \frac{3}{4n} \Rightarrow g = \frac{8}{3}n = \frac{16}{3} \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{14,16} = \frac{16}{3}$

$Q_{12} - Q_{17} - Q_{18}$: $\frac{1}{2} + \frac{1}{4n} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n}$

$\frac{1}{2} = \frac{1}{2n} \Rightarrow 2 = 2n = 4 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{12} = 4$

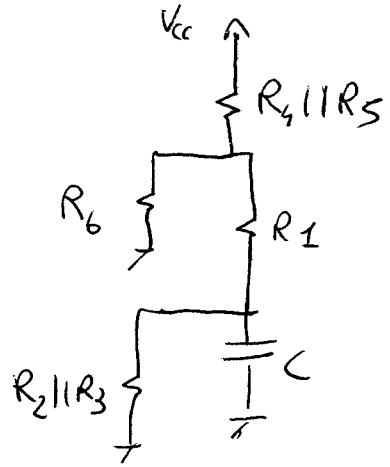
ESERCIZIO C



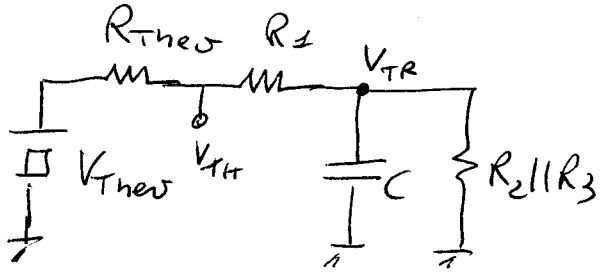
$R_1 = 60\,\Omega$
$R_2 = 3\,k\Omega$
$R_3 = 3\,k\Omega$
$R_4 = 400\,\Omega$
$R_5 = 3.6\,k\Omega$
$R_6 = 1.8\,k\Omega$
$R_7 = 1\,k\Omega$
$C = 0.1\,\mu F$
$V_{CE} = 6V$

a) $Q = 1$, $D = HI$ } $V_{G1} = V_{cc}$ $V_{S1} = \phi$ $V_{GS1} = 6V \Rightarrow Q_1$ ON

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



≡



$V_{Thev} = V_{cc} \frac{R_6}{R_6 + R_4 \| R_5} = 5V$

$R_{Thev} = R_4 \| R_5 \| R_6 = 300\,\Omega$

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

$V_{f1} = V_{Ther} \dfrac{R_2 \| R_3}{R_{Ther} + R_1 + R_2 \| R_3} = 4.032\ V$

Se $V_{TH} = \frac{2}{3} V_{CC} = 4V$

$I_1 = \dfrac{V_{Ther} - V_{TH}}{R_{Ther}} = 3.\overline{3}\ mA$

$V_{i1} < V_{con1} < V_{f1}$

$2V < 3.8V < 4.032V$ OK

$V_{con1} = V_{TH} - R_1 I_1 = 3.8V$

$R_{V1} = R_2 \| R_3 \| [R_1 + R_{Ther}] = 290.32\ \Omega$

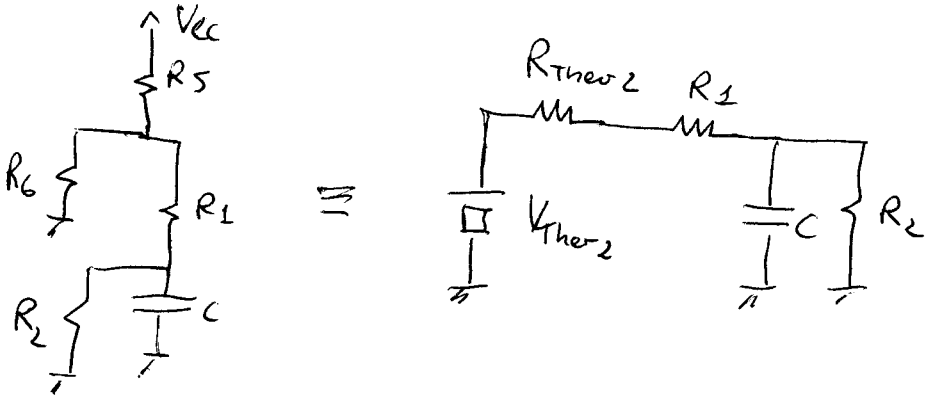
$\tau_1 = R_{V1} \cdot C = 29.032\ \mu s$

$T_1 = \tau_1 \ln\left(\dfrac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{con1} - V_{f1}}\right) = 63.001\ \mu s$

---

*) $Q = \phi$ $V_{G1} = \phi$ $V_{S1} = \phi$ $\Rightarrow V_{GS1} = \phi < V_T \Rightarrow Q_1$ OFF

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



$V_{Ther_2} = V_{CC} \dfrac{R_6}{R_5 + R_6} = 2V$

$R_{Ther_2} = R_5 \| R_6 = 1200\ \Omega$

$V_{i2} = V_{con1} = 3.8\ V$

$V_{con2} = V_{i1} = 2V$

$V_{f2} = V_{Ther_2} \dfrac{R_2}{R_{Ther_2} + R_1 + R_2} = 1.408V$

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

$3.8V > 2V > 1.408V$

$R_{V2} = R_2 \| [R_1 + R_{Ther_2}] = 887.32\ \Omega$

$\tau_2 = C R_{V2} = 88.732\ \mu s$

$T_2 = \tau_2 \ln\left(\dfrac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{con2} - V_{f2}}\right) = 123.90\ \mu s$

$T = T_1 + T_2 = 186.905\ \mu s$

$f = \dfrac{1}{T} = 5350.31\ Hz$