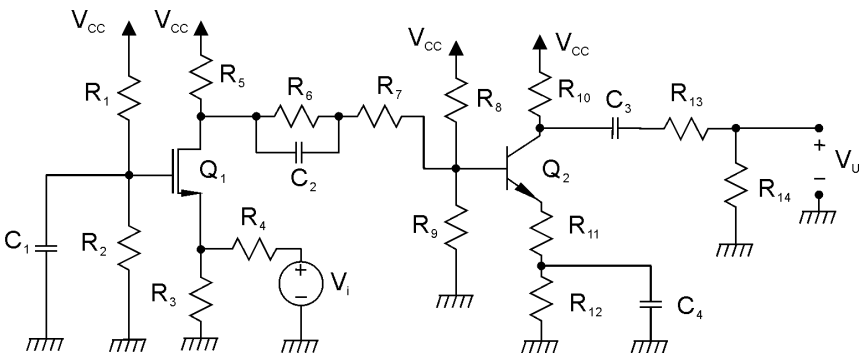
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 17 settembre 2019

Esercizio A

R_1 = 30 kΩ	R_9 = 25 kΩ
R_2 = 10 kΩ	R_{10} = 4350 Ω
R_4 = 4 kΩ	R_{11} = 150 Ω
R_5 = 10 kΩ	R_{12} = 2 kΩ
R_6 = 9 kΩ	R_{13} = 200 Ω
R_7 = 300 Ω	R_{14} = 7800 Ω
R_8 = 130 kΩ	V_{CC} = 18 V



Q_1 è un transistore MOS a canale n 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; Q_2 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 9.3 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1.
2) Determinare l'espressione e il valore di V_U/Vi alle frequenze per le quali C_1, C_2, C_3 e C_4 possono essere considerati dei corto circuiti.

Esercizio B

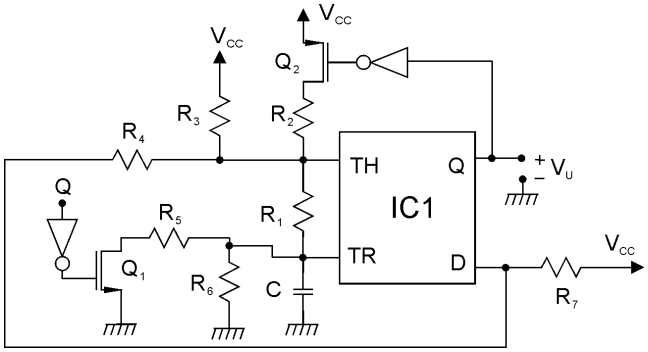
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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 = 100 Ω	R_6 = 2.9 kΩ
R_2 = 3 kΩ	R_7 = 1.5 kΩ
R_3 = 3 kΩ	C = 56 nF
R_4 = 1.5 kΩ	V_{CC} = 6 V
R_5 = 1305 Ω	

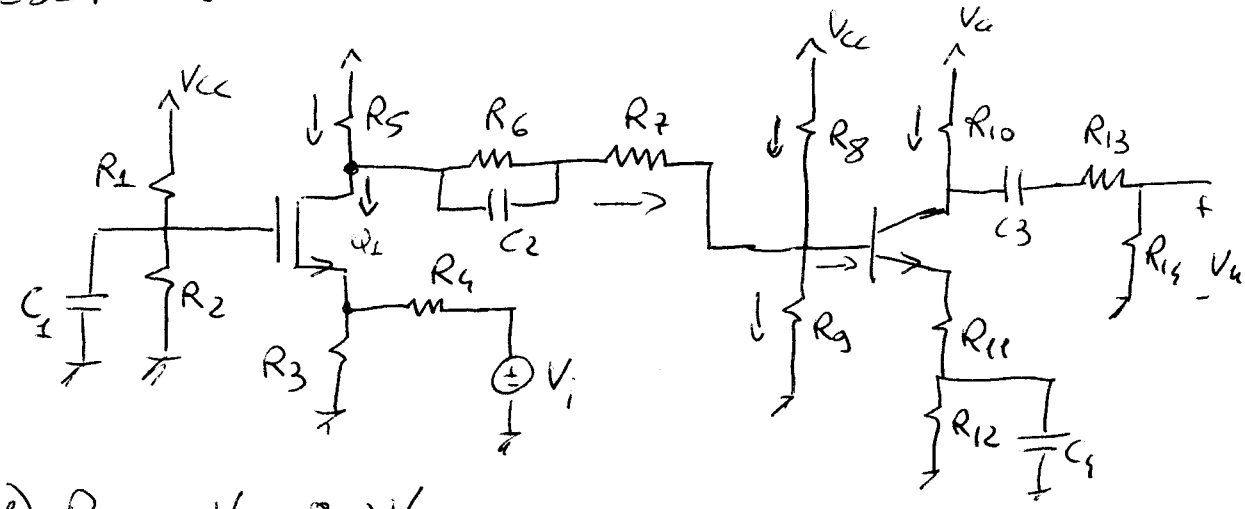


Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a V_{CC} = 6 V; Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T = 1V; Q_2 ha una R_{on} = 0 e V_T = -1V; gli inverter sono ideali. Verificare che il circuito si comporta come un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.

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 17/09/2019

ESERCIZIO A



$R_1 = 30K\Omega$
$R_2 = 10K\Omega$
$R_4 = 4K\Omega$
$R_5 = 10K\Omega$
$R_6 = 9K\Omega$
$R_7 = 300\Omega$
$R_8 = 130K\Omega$
$R_9 = 25K\Omega$
$R_{10} = 4350\Omega$
$R_{11} = 150\Omega$
$R_{12} = 2K\Omega$
$R_{13} = 200\Omega$
$R_{14} = 7800\Omega$
$V_{CC} = 18V$

1) R_3 per $V_C = 9.3V$

$$I_{10} = I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_{10}} = 2mA$$

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

$$V_E = (R_{11} + R_{12}) I_C = 4.3V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 9.3 - 4.3 = 5V$$

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

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

$$V_B = V_E + V_\gamma = 5V$$

$$I_8 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_8} = 0.1\ mA$$

$$I_9 = \frac{V_B}{R_9} = 0.2\ mA$$

$$I_7 = I_9 + I_B - I_8 = 1.068965 \times 10^{-4} A$$

$$V_D = V_B + (R_6 + R_7) I_7 = 5.994V$$

$$I_5 = \frac{V_{CC} - V_D}{R_5} = 1.2006\ mA$$

$$I_D = I_5 - I_7 = 1.09369\ mA$$

2) hp Q_1 attivo $\Rightarrow V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2.479V$

(nMOS-N)

$= V_{CC} \frac{R_2}{R_1+R_2} = 4.5V$

$V_S = V_G - V_{GS} = 2.021\ V$

$V_{DS} = V_D - V_S = 3.973V > [(V_{GS} - V_T) = 1.479]$ hp ok

$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 1.479 \times 10^{-3} \frac{A}{V}$

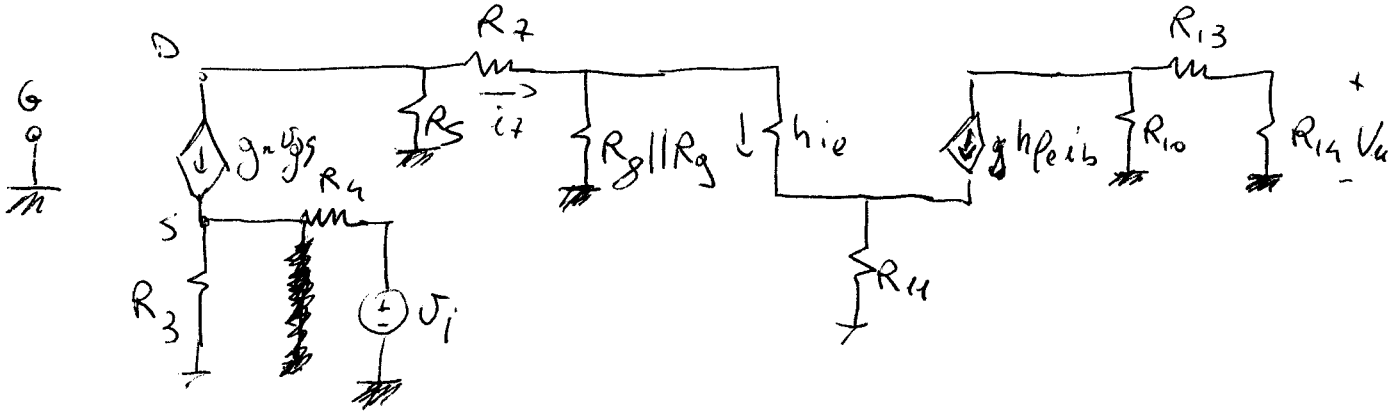
$V_S = I_D (R_3 \| R_4) = I_D \left(\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \right)$

Q_2: $I_D = 1.094\ mA$, $V_{DS} = 3.973\ V$, $V_{GS} = 2.479\ V$, $g_m = 1.479 \times 10^{-3} \frac{A}{V}$

$\Rightarrow \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{V_S}{I_D} \Rightarrow R_3 R_4 = R_3 \frac{V_S}{I_D} + R_4 \frac{V_S}{I_D}$

$R_3 \left[R_4 - \frac{V_S}{I_D} \right] = R_4 \ V_S/I_D$

$\underline{R_3} = \frac{R_4 \ V_S/I_D}{R_4 - \frac{V_S}{I_D}} = \underline{3434.5\ \Omega}$



$V_u = (-h_{fe}\, i_b) \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{13} + R_{14}} R_{14}$

$i_b = i_7 \frac{R_8 \| R_9}{(R_8 \| R_9) + h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1)}$

$i_7 = (-g_m V_{gs}) \frac{R_5}{R_5 + R_7 + R_8 \| R_9 \| [h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1)]}$

$$\beta = \frac{v_i}{} \frac{\left(R_3 \| \frac{1}{g_m}\right)}{\left(R_3 \| \frac{1}{g_m}\right) + R_4} \quad (*)$$

$$v_g = \phi$$

$$\frac{v_u}{v_i} = \underset{300}{(-h_{fe})} \frac{R_{10} R_{14}}{R_{10} + R_{13} + R_{14}} \underset{2747.368}{\frac{R_8 \| R_9}{(R_8 \| R_9) + h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1)}} \underset{0.23566}{(-g_m)} \underset{1.479 \times 10^{-3}}{\frac{R_5}{R_5 + R_7 + R_8 \| R_9 \| [h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1)]}} \underset{0.3989}{}$$

$$(-) \frac{\left(R_3 \| 1/g_m\right)}{\left(R_3 \| \frac{1}{g_m}\right) + R_4} = -17.79 \quad (25\,dB)$$

$$0.1237$$

$(*)$ $$R_3 \| \frac{1}{g_m} = \frac{R_3 \cdot \frac{1}{g_m}}{R_3 + \frac{1}{g_m}} = \frac{R_3}{1 + g_m R_3}$$

$$\frac{v_g}{v_i} = \frac{\frac{R_3}{1+g_m R_3}}{R_4 + \frac{R_3}{1+g_m R_3}} = \frac{R_3}{R_3 + R_4 + g_m R_3 R_4} = \frac{1}{1 + g_m R_4 + \frac{R_4}{R_3}}$$

ESERCIZIO B

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

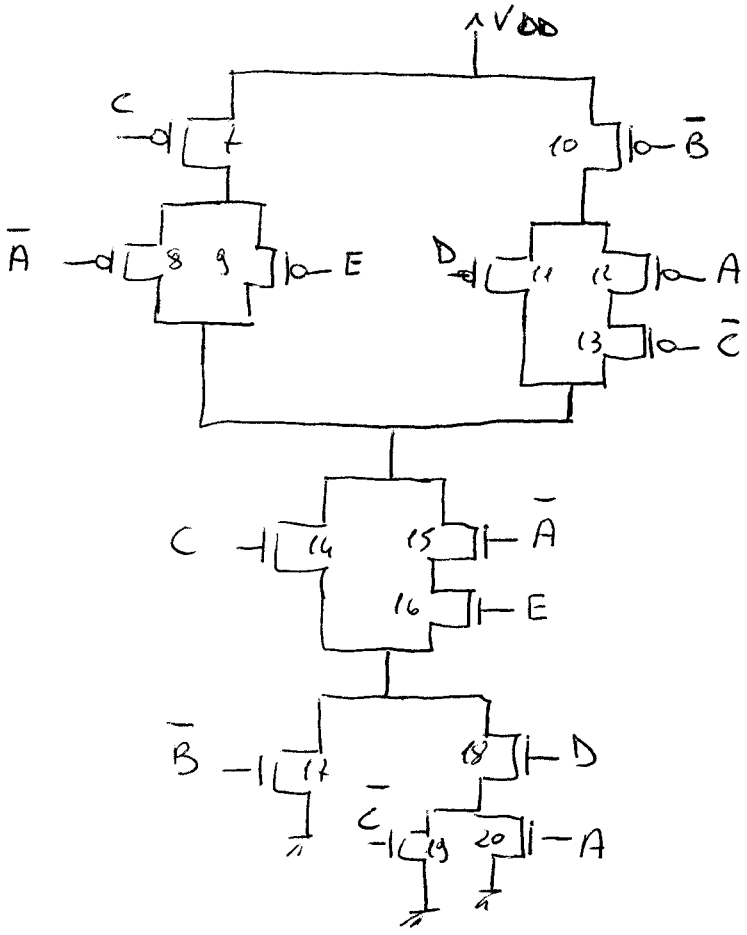
$$= (\bar{B} + \bar{C} + \bar{D})(AB + \bar{C}\bar{E}) + \bar{A}BC + \bar{A}B\bar{D} + A\bar{B}\bar{C} =$$

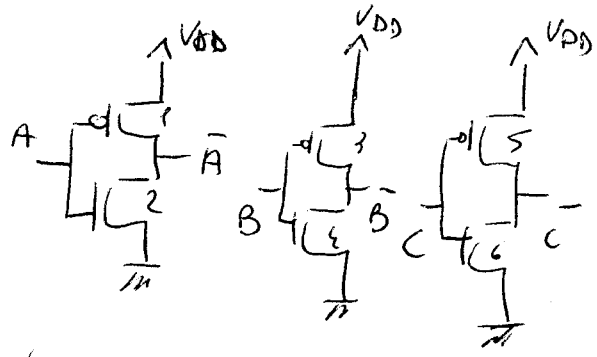
$$= AB\bar{B} + \bar{B}\bar{C}\bar{E} + ABC + \bar{C}\bar{E} + AB\bar{D} + \bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}BC + \bar{A}B\bar{D} + A\bar{B}\bar{C} =$$

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

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

MOS : $2 \times 2 + 3 \times 2 = 20$





$$\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5} = p = 5$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{2,4,6} = n = 2$$

} INVERTER DI BASE

PDN

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{10,12,13} = x = 15$$

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

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{11} = y = 7.5$$

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

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9} = z = 10$$

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

PDN

·) $Q_{15} - Q_{16} - Q_{18} - Q_{20}$ IMPOSSIBILE per $A e \bar{A}$

$Q_{15} - Q_{16} - Q_{18} - Q_{19}$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{15,16,18,19} = K = 8$$

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

·) $Q_{15}, Q_{16} - Q_{17}$: $\left(\frac{W}{L}\right)_{17} = t = 4$

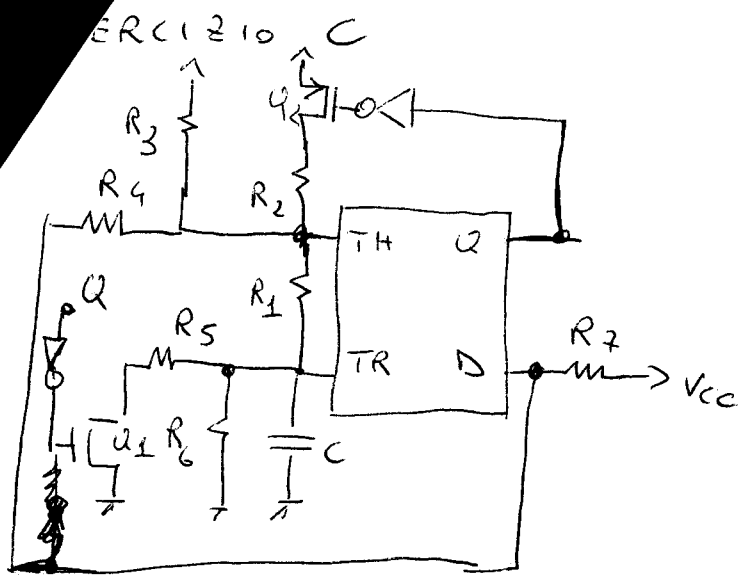
$$\frac{1}{t} + \frac{2}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow t = 2n = 4$$

·) $Q_{14} - Q_{18} - Q_{19}$ IMPOSSIBILE

·) $Q_{14} - Q_{18} - Q_{20}$ $\left(\frac{W}{L}\right)_{14,20} = 5 = \frac{16}{3}$

$$\frac{2}{5} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow 5 = \frac{8}{3}n = \frac{16}{3}$$

ESERCIZIO C

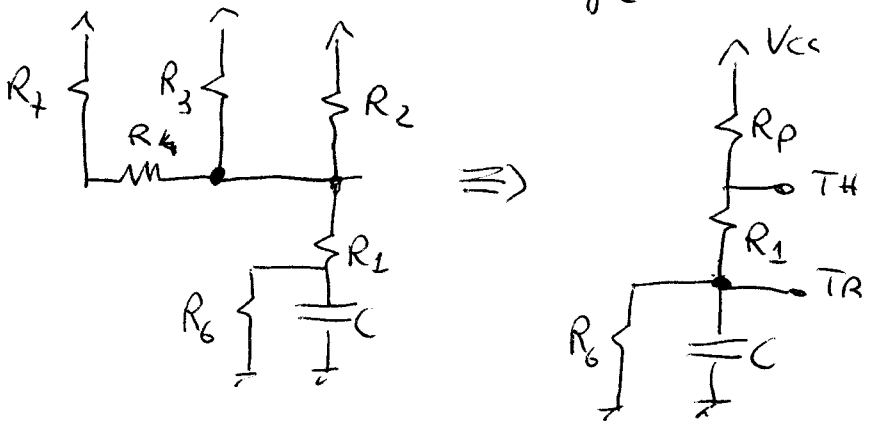


$R_1 = 100\,\Omega$
$R_2 = 3\,K\Omega$
$R_3 = 3\,K\Omega$
$R_4 = 1.5\,K\Omega$
$R_5 = 1305\,\Omega$
$R_6 = 2.9\,K\Omega$
$R_7 = 1.5\,K\Omega$
$C = 56\,nF$
$V_{CC} = 6V$

1) $Q = 1 \quad D = HI$

$V_{G1} = 0V \quad V_{S1} = 0V \Rightarrow V_{GS1} = 0 < V_T = Q_1$ OFF

$V_{G2} = 0V \quad V_{S2} = 6V \Rightarrow V_{GS2} = -6V < V_T \Rightarrow Q_2$ ON



$R_p = R_2 \| R_3 \| (R_4 + R_7) =$
$= 1\,K\Omega$

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

$V_f = V_{CC} \dfrac{R_6}{R_p + R_1 + R_6} = 4.35V$

$V_i < V_{CON} < V_f$

$2V < 3.8V < 4.35V$

Si ha commutazione

Per $V_{TH} = 4V$

$I_p = I_1 = \dfrac{V_{CC} - V_{TH}}{R_p} = 2\,mA$

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

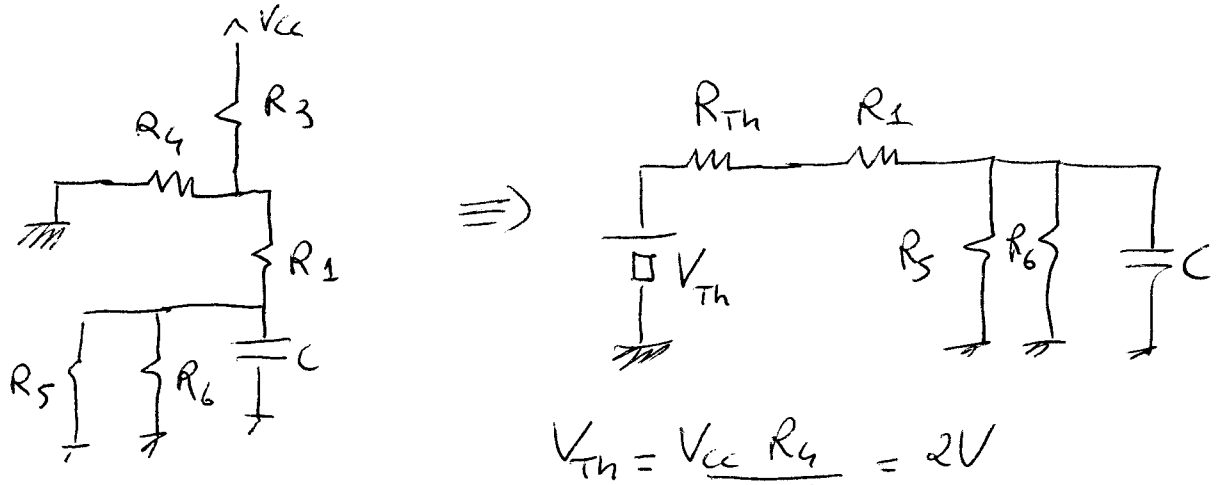
$R_{V_1} = R_6 \| (R_1 + R_p) = 797.5\,\Omega$

$\tau_1 = R_{V_1} \cdot C = 44.66\,\mu s$

$$T_1 = \tau_1 \ln\left(\frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{con1} - V_{f1}}\right) = 64.857\ \mu s$$

2) $Q = 0$ $\quad v_{g1} = 6V$ $\quad v_{s1} = 0V \Rightarrow v_{gs1} = 6V > V_{T1} \Rightarrow Q_1$ ON

$D = 0$ $\quad v_{g2} = 6V$ $\quad v_{s2} = 6V \Rightarrow v_{gs2} = 0V > V_{T2} \Rightarrow Q_2$ OFF



$$V_{Th} = \frac{V_{cc} R_4}{R_3 + R_4} = 2V$$

$$R_{Th} = R_3 \| R_4 = 1\,k\Omega$$

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

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

$$V_{f2} = V_{Th} \frac{R_5 \| R_6}{R_{Th} + R_1 + R_5 \| R_6} = 0.9V$$

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

$3.8V > 2V > 0.9V$

$R_{v2} = R_5 \| R_6 \| (R_1 + R_{Th}) = 495\,\Omega$

$\tau_2 = C R_{v2} = 27.72\ \mu s$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_{i2} - V_{con2}}{V_{con2} - V_{f2}}\right) = 26.8718\ \mu s$$

$T = T_1 + T_2 = 91.729\ \mu s$

$f = \frac{1}{T} = 10901.7\ Hz$