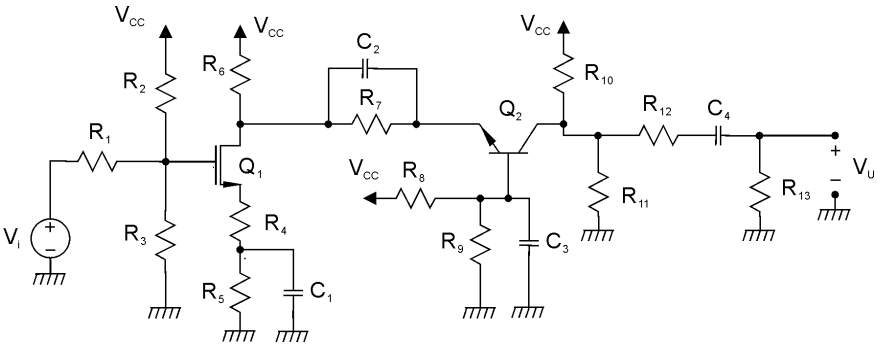
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 01 febbraio 2018

Esercizio A

R_1 = 15 kΩ	R_{11} =30 kΩ
R_2 = 30 kΩ	R_{12} = 500 Ω
R_3 = 30 kΩ	R_{13} = 20 kΩ
R_4 = 50 Ω	C_1 = 820 nF
R_6 = 22.2 kΩ	C_2 = 1 μF
R_7 = 50 Ω	C_3= 1 μF
R_9 = 20 kΩ	C_4= 680 pF
R_{10} = 2.5 kΩ	V_{CC} = 18 V



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 delle resistenze R_5 e R_8 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul drain di Q_1 sia 6.9 V e la tensione sul collettore di Q_2 sia 12 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1. (R: R_5 = 455.57 Ω e R_8 = 26282.4 Ω)
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. (V_U/Vi = -2.03)
3) (**Solo per 12 CFU**) Determinare la funzione di trasferimento V_U/V_i considerando C_3 un cortocircuito e tracciarne il diagramma di Bode quotato asintotico del modulo. (R: f_{Z1}=426 Hz, f_{p1}=816.4 Hz, f_{Z2}=3183 Hz, f_{p2}=3190 Hz, f_{Z4}=0 Hz, f_{p4}=10262 Hz)

Esercizio B

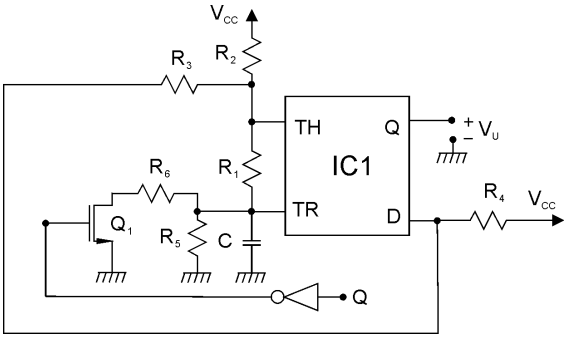
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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 = 20)

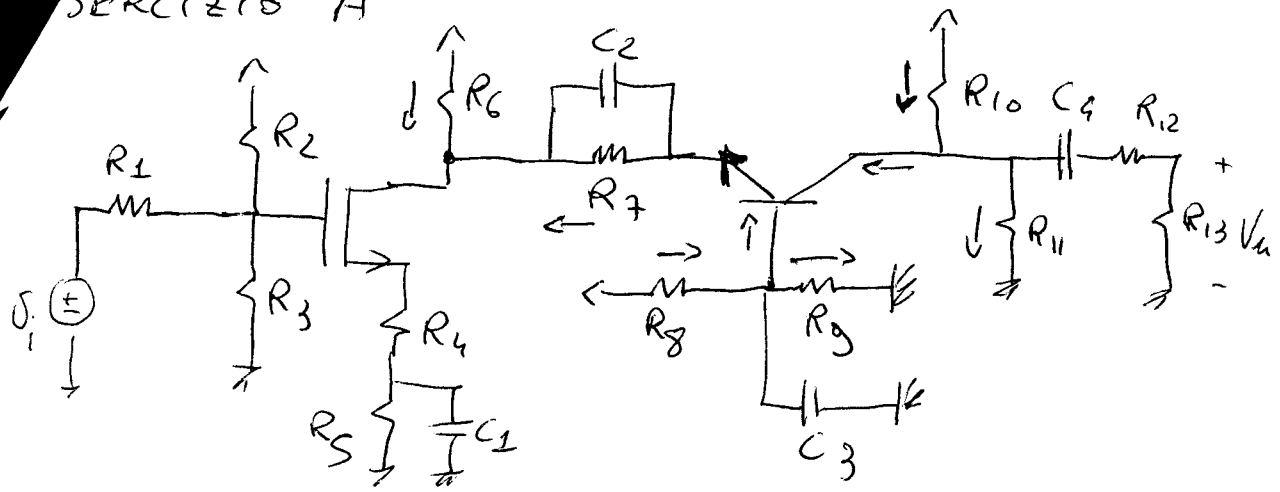
Esercizio C

R_1 = 200 Ω	R_5 = 2.4 kΩ
R_2 = 1.2 kΩ	R_6 = 100 Ω
R_3 = 200 Ω	C = 820 nF
R_4 = 1 kΩ	**V_{CC} = 6 V**



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a **V_{CC} = 6V**, Q_1 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 = 2443 Hz)

ESERCIZIO A



$R_1 = 15K\Omega$
$R_2 = 30K\Omega$
$R_3 = 30K\Omega$
$R_4 = 50\Omega$
$R_6 = 22.2K\Omega$
$R_7 = 50\Omega$
$R_9 = 20K\Omega$
$R_{10} = 2.5K\Omega$
$R_{11} = 30K\Omega$
$R_{12} = 500\Omega$
$R_{13} = 20K\Omega$
$C_1 = 820nF$
$C_2 = 1\mu F$
$C_3 = 1\mu F$
$C_4 = 680pF$

·) R_5 e R_8 per $V_{D1} = 6.9V$ e $V_{C2} = 12V$

$$I_{10} = \frac{V_{CC} - V_{C2}}{R_{10}} = 2.4\,mA$$

$$I_{11} = \frac{V_{C2}}{R_{11}} = 0.4\,mA$$

$$I_{C2} = I_{10} - I_{11} = 2mA$$

hp: $I_{B2} \ll I_{C2} \Rightarrow I_{E2} \simeq I_{C2} = I_7$

$$V_{E2} = V_{D1} + R_7 I_{E2} = 7V$$

$$V_{CE2} = 12 - 7 = 5\,V$$

$$V_B = V_{BE} + V_E = 0.7 + 7 = 7.7V$$

$$I_9 = \frac{V_B}{R_9} = 385\,\mu A$$

$$I_8 = I_9 + I_B = 391.896\,\mu A$$

$$R_8 = \frac{V_{CC} - V_B}{I_8} = 26282.446\,\Omega$$

$$I_6 = \frac{V_{CC} - V_{D1}}{R_6} = 0.5\,mA$$

$$I_{D1} = I_6 + I_7 = 2.5\,mA$$

hp: Q_1 SATURO $\Rightarrow I_{D1} = K(V_{GS} - V_T)^2$

Q_2:
- $I_C = 2mA$
- $V_{CE} = 5V$
- $I_B = \frac{I_C}{290} = 6.896\,\mu A \Rightarrow$ hp OK
- $h_{ie} = 4800\,\Omega$ $h_{fe} = 300$

$V_S = V_T + \sqrt{\frac{I_{D1}}{K}} = 3.236\ V$

(+ NMOS)

$V_G = V_{CC}\ \frac{R_2 \| R_3}{(R_1 \| R_3) + R_2} = 4.5\ V$

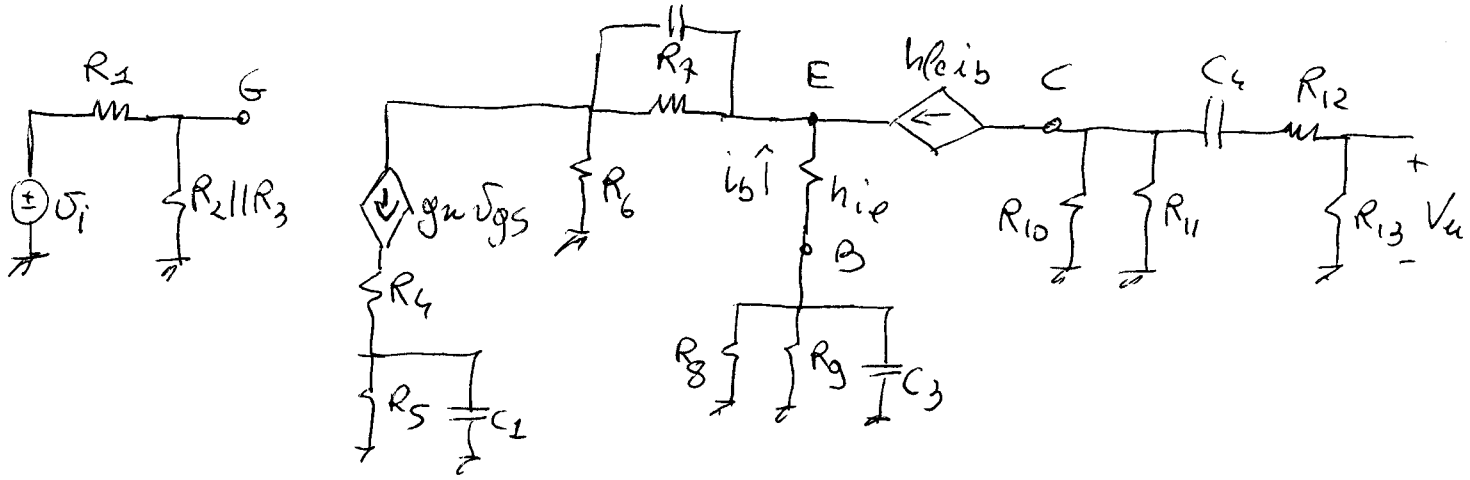
$V_S = V_G - V_{GS} = 1.264\ V$

$R_S = \frac{V_S}{I_S} - R_4 = 455.57\ \Omega$

$Q_1:\ \begin{cases} I_D = 2.5\ mA \\ V_{DS} = 5.636\ V \\ V_{GS} = 3.236\ V \\ g_m = 2.236 \times 10^{-3}\ \frac{A}{V} \end{cases}$

$V_{DS} = V_D - V_S = 6.9 - 1.264 = 5.636\ V > V_{GS} - V_T = 1.236\ V$ hp ok

$g_m = 2k(V_{GS} - V_T) = 2.236 \times 10^{-3}\ \frac{A}{V}$



$V_u = (-h_{fe}\, i_b)\ \frac{R_{10} \| R_{11}}{(R_{10} \| R_{11}) + R_{12} + R_{13}} \cdot R_{13}$

$(h_{fe}+1)\, i_b = (+ g_m v_{gs})\ \frac{R_6}{R_6 + \frac{h_{ie}}{(h_{fe}+1)}} \Rightarrow i_b = (g_m v_{gs})\ \frac{R_6}{R_6(h_{fe}+1) + h_{ie}}$

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

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

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

$$\frac{V_4}{V_i} = (-h_{fe}) \frac{(R_{10} \| R_{11}) \cdot R_{13}}{(R_{10} \| R_{11}) + R_{12} + R_{13}} \; g_m \; \frac{R_6}{R_6(h_{fe}+1) + h_{ie}} \; \frac{1}{1 + g_m R_4} \; \frac{R_2 \| R_3}{R_1 + R_2 \| R_3}$$

$2023.6087 \qquad 3.31987 \times 10^{-3} \qquad 0.899 \qquad 0.5$

$$= -2.0267 \qquad \left|\frac{V_4}{V_i}\right|_{dB} = 6.136$$

C_1: $f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_5} = 426.04 \text{ Hz}$

$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{V1}} = 816.39 \text{ Hz}$

$R_{V1} = \left(\frac{1}{g_m} + R_4\right) \| R_5 = 232.74 \ \Omega$

C_2: $f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_7} = 3183.1 \text{ Hz}$

$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{V2}} = 3190.26 \text{ Hz}$

$R_{V2} = R_7 \| \left[R_6 + \frac{h_{ie}}{(h_{fe}+1)}\right] = 49.88 \ \Omega$

C_3:

C_4: $f_{z4} = \phi \text{ Hz}$

$f_{p4} = \frac{1}{2\pi C_4 R_{V4}} = 10261.95 \text{ Hz}$

$R_{V4} = (R_{10} \| R_{11}) + R_{12} + R_{13} = 22807.69 \text{ Hz}$

ESERCIZIO B

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

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

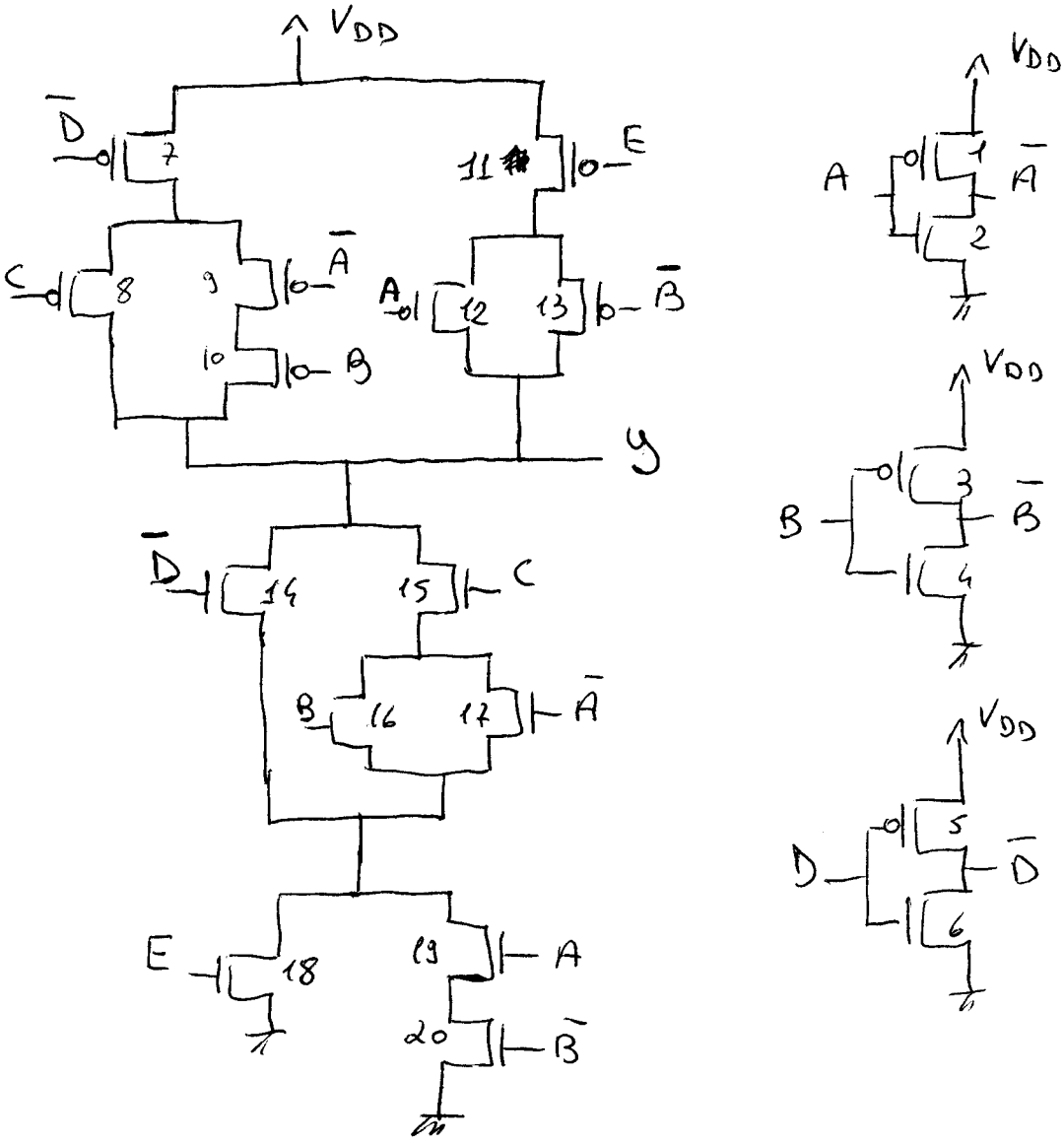
$$= \bar{A}\bar{C}D + \bar{A}\bar{E} + B\bar{C}D + B\bar{E} + A\bar{B}D + \bar{B}\bar{C}D =$$

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

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

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

N MOS: 14 + 6 = 20



a) INVERTER : $\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5} = p = 5$ $\left(\frac{W}{L}\right)_{2,4,6} = n = 2$

PULL - UP

$Q_7 - Q_9 - Q_{10}$: $\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{\rho} \Rightarrow x = 3\rho = 15$

$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,9,10} = 15$

$Q_7 - Q_8$: $\frac{1}{y} + \frac{1}{3\rho} = \frac{1}{\rho} \Rightarrow y = \frac{3}{2}\rho = 7.5$

$\left(\frac{W}{L}\right)_8 = 7.5$

$\left.\begin{matrix} Q_{11} - Q_{12} \\ Q_{11} - Q_{13} \end{matrix}\right\} \frac{1}{z} + \frac{1}{z} = \frac{1}{\rho} \Rightarrow z = 2\rho = 10$

$\left(\frac{W}{L}\right)_{11,12,13} = 10$

) PULL - DOWN

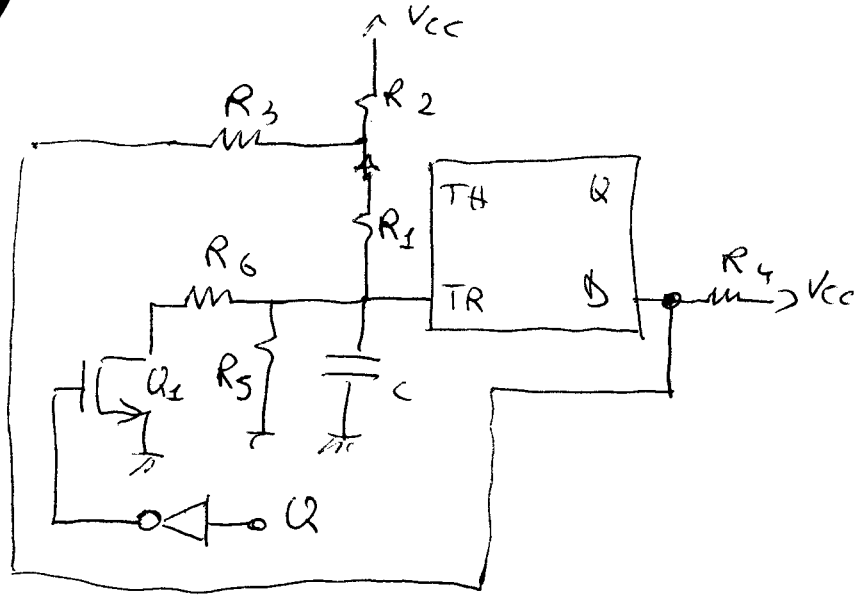
$Q_{15} - Q_{16} - Q_{19} - Q_{20}$ NON È POSSIBILE (B e $\overline{B}$)

$Q_{15} - Q_{17} - Q_{19} - Q_{20}$ = = (A e $\overline{A}$)

$\left.\begin{matrix} Q_{14} - Q_{19} - Q_{20} \\ Q_{15} - Q_{16} - Q_{18} \\ Q_{15} - Q_{17} - Q_{18} \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 3n = 6$

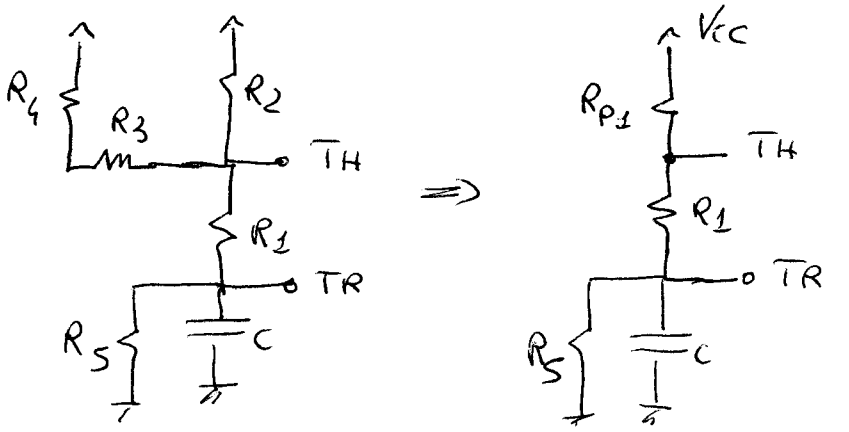
$\left(\frac{W}{L}\right)_{14,15,16,17,18,19,20} = 6$

ESERCIZIO C



$R_1 = 200\ \Omega$
$R_2 = 1.2\ k\Omega$
$R_3 = 200\ \Omega$
$R_4 = 1\ k\Omega$
$R_5 = 2.4\ k\Omega$
$R_6 = 100\ \Omega$
$C = 820\ nF$
$V_{CC} = 6\ V$

1) $Q = 1 \Rightarrow V_G = 0\ V \quad V_S = 0\ V \Rightarrow V_{GS} = 0\ V < V_T \Rightarrow Q_1$ OFF
$D = HI$



$R_{P1} = R_2 \| (R_3 + R_4) =$
$= 600\ \Omega$

$V_i = 2\ V$

$V_f = V_{CC} \dfrac{R_5}{R_5 + R_1 + R_{P1}} = 4.5\ V$

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

$I_1 = \dfrac{V_{CC} - V_{TH}}{R_{P1}} = 3.\bar{3}\ mA$

$V_{CON} = V_{TH} - R_1 I_1 = 3.\bar{3}\ V \left(\dfrac{10}{3}\ V\right)$

$V_i < V_{CON} < V_f$
$2\ V < \dfrac{10}{3} V < 4.5\ V$

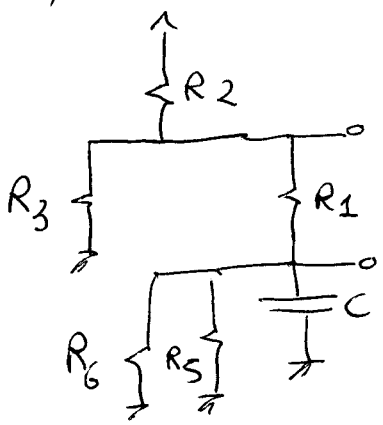
$R_{VC} = R_5 \| (R_1 + R_{P1}) = 600\ \Omega$

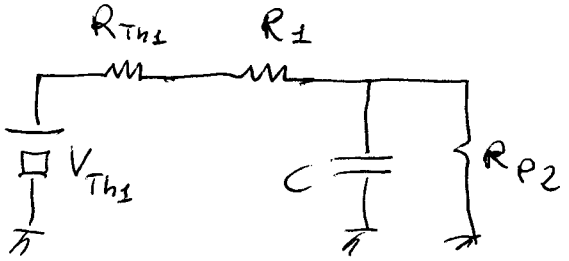
$\tau_1 = C R_{VC} = 492\ \mu s$

$T_1 = \tau_1 \ln\left(\dfrac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{CON} - V_f}\right) = 374.973\ \mu s$

$d=\phi \quad V_{G1}=6V \quad V_{S1}=\phi V \quad V_{GS1}=6V > V_T = Q_1 ON$

$D=\phi$





$$V_{TH1} = \frac{V_{CC} R_3}{R_2+R_3} = 0.8571\,V$$

$$R_{TH1} = R_2 \| R_3 = 171.42857\,\Omega$$

$$R_{P2} = 96\,\Omega$$

$$V_{f2} = V_{Th1} \frac{R_{P2}}{R_{P2}+R_1+R_{Th1}} = 0.17604\,V$$

$V_{i2} = V_{COR1} = 3.\bar{3}\,V$

$V_{COR2} = V_{i1} = 2V$

$V_{i2} > V_{COR2} > V_{f2}$

$3.\bar{3} > 2 > 0.17604$

$$R_{V2} = R_{P2} \| (R_1 + R_{Th1}) = 76.2836\,\Omega$$

$$\tau_2 = R_{V2} C = 62.55\,\mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_{i2}-V_{f2}}{V_{COR2}-V_{f2}}\right) = 34.323\,\mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 409.296\,\mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = 2443.22\,Hz$$