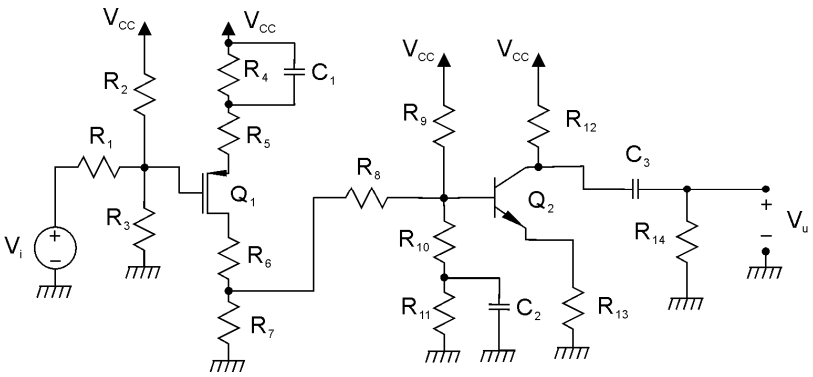
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 30 giugno 2015

Esercizio A

R_1 =5 kΩ	R_{11} = 750 Ω
R_3 = 10 kΩ	R_{12} = 5.5 kΩ
R_4 = 3900 Ω	R_{13} = 1 kΩ
R_5 = 100 Ω	R_{14} = 20 kΩ
R_6 = 1 kΩ	C_1 = 15 nF
R_7 = 3 kΩ	C_2 = 47 nF
R_8 = 10 kΩ	C_3= 680 pF
R_9 =76.5 kΩ	V_{CC} = 18 V
R_{10} = 6 kΩ	



Q_1 è un transistore MOS a canale p 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_2 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul collettore di Q_2 sia 7 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1. (R: R_2 = 4244.34 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. (R: V_U/Vi = 2.24)
3) (**Solo per 12 CFU**) Determinare la funzione di trasferimento V_U/V_i e tracciarne il diagramma di Bode quotato asintotico del modulo. (R: f_{z1} = 2720.6 Hz; f_{p1} = 19627.7 Hz; f_{z2} = 5079.4 Hz; f_{p2} = 4717.5 Hz; f_{z3} = 0 Hz; f_{p3} = 9178.48 Hz)

Esercizio B

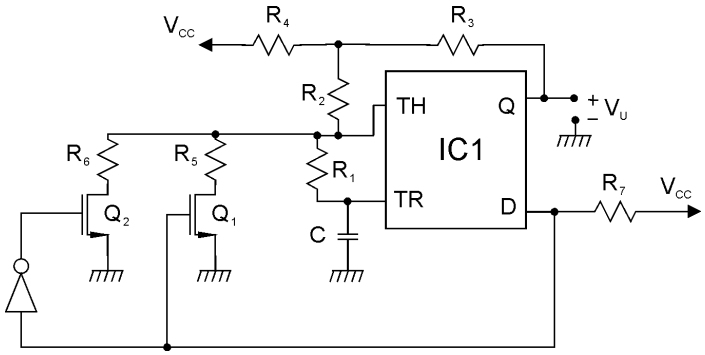
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

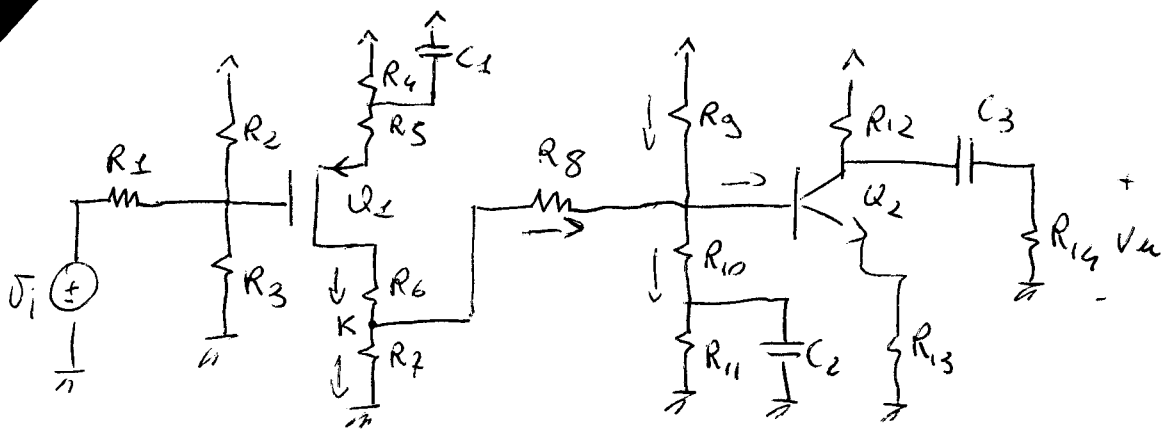
Esercizio C

R_1 =500 Ω	R_6 = 500 Ω
R_2 = 1 kΩ	R_7 = 1 kΩ
R_3 = 2 kΩ	C = 100 nF
R_4 = 2 kΩ	**V_{CC} = 6 V**
R_5 = 10 kΩ	



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a **V_{CC} = 6V**, Q_1 e Q_2 hanno 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 = 3956.78 Hz)

APPELLO 30/06/2015



$R_1 = 5K\Omega$
$R_3 = 10K\Omega$
$R_4 = 390\Omega$
$R_5 = 100\Omega$
$R_6 = 1K\Omega$
$R_7 = 3K\Omega$
$R_8 = 10K\Omega$
$R_9 = 75.5K\Omega$
$R_{10} = 6K\Omega$
$R_{11} = 750\Omega$
$R_{12} = 5.5K\Omega$
$R_{13} = 1K\Omega$
$R_{14} = 20K\Omega$
$C_1 = 15nF$
$C_2 = 47nF$
$C_3 = 680pF$
$V_{cc} = 18V$
$K = 0.5\ mA/V^2$
$V_T = -1V$

1) Def. R_2 per $V_C = 7V$

$$I_C = \frac{V_{cc} - V_C}{R_{12}} = \frac{18-7}{5500} = 2mA$$

$I_C \simeq I_E$

$V_E = I_E R_{13} = 2V$

$V_{CE} = 7 - 2 = 5V \Rightarrow \begin{cases} h_{FE} = 290 \\ h_{ie} = 4800\Omega \\ h_{re} = 3oe \end{cases}$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.8965\mu A$$

$Q_2 \begin{cases} I_C = 2mA \\ V_{CE} = 5V \\ I_B = 6.8965\mu A \end{cases}$

$V_B = V_E + V_\gamma = 2.7V$

$$I_9 = \frac{V_{cc} - V_B}{R_9} = \frac{18 - 2.7}{76.5\times10^3} = 200\mu A$$

$$I_{10} = \frac{V_B}{(R_{10}+R_{11})} = \frac{2.7}{6750} = 400\mu A$$

$I_8 = I_{10} + I_B - I_9 = 206.8965\mu A$

$V_K = V_B + R_8 I_8 = 4.768965V$

$$I_7 = \frac{V_K}{R_7} = \frac{4.768965}{3000} = 1.58965\ mA$$

$I_6 = I_7 + I_8 = 1.79655\ mA$

$V_D = V_K + R_6 I_6 = 6.5655V$

$V_S = V_{cc} - (R_4 + R_5) I_6 = 10.8138V$

$$V_{GS} = V_T - \sqrt{\frac{I_D}{K}} = -1 - \sqrt{\frac{I_6}{K}} = -2.8955V$$

$V_{DS} = -4.2483 < V_{GS} - V_T = -1.8955 \Rightarrow$ SATURAZIONE

$Q_1 : \begin{cases} I_D = 1.79655\ mA \\ V_{DS} = -4.2483V \\ V_{GS} = -2.8955V \\ g_m = 2K|V_{GS} - V_T| = \\ \quad = 1.8955\times10^{-3}\frac{A}{V} \end{cases}$

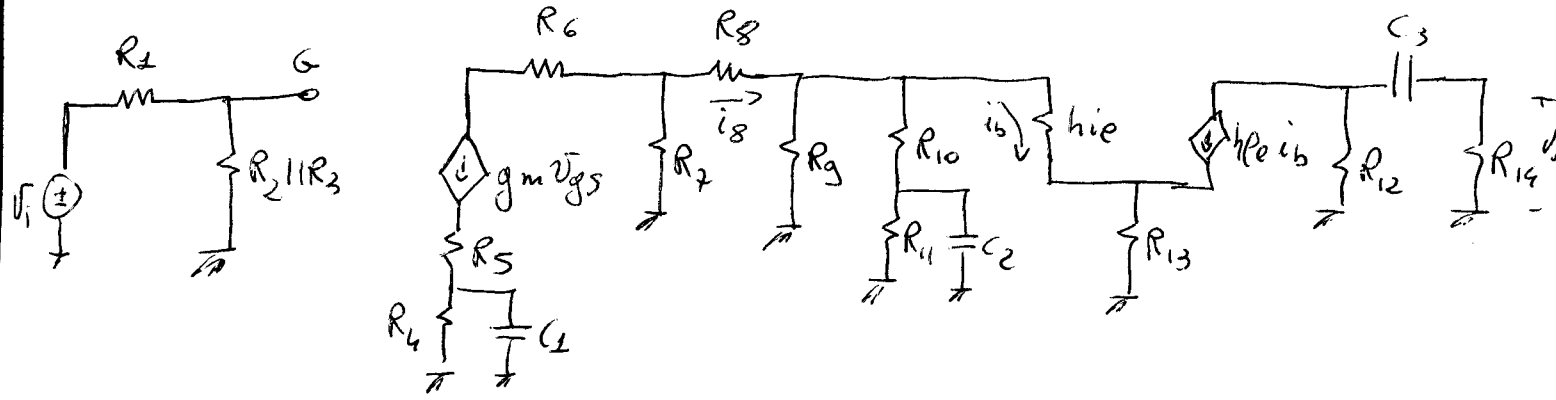
$= V_{GS} + V_S = -2.8955 + 10.8138 = 7.918\ V$

$$I_1 = \frac{V_G}{R_1} = 1.5836\ mA$$

$$I_3 = \frac{V_G}{R_3} = 0.7918\ mA$$

$$I_2 = I_1 + I_3 = 2.3754\ mA$$

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_G}{I_2} = \frac{18 - 7.918}{2.3754 \times 10^{-3}} = \frac{10.082}{2.3754 \times 10^{-3}} = 4244.38\ \Omega$$



1) ~~Av~~ A_{CB}

$$V_o = (-h_{fe}\, i_b)(R_{12} \| R_{14})$$

$$i_b = i_8 \frac{(R_9 \| R_{10})}{(R_9 \| R_{10}) + h_{ie} + R_{13}(h_{fe}+1)}$$

$$i_8 = -g_m V_{gs} \frac{R_7}{R_7 + \left\{ R_8 + R_9 \| R_{10} \| [h_{ie} + R_{13}(h_{fe}+1)] \right\}}$$

$$V_{gs} = V_g - R_5 g_m V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m R_5}$$

$$V_g = V_i \frac{R_2 \| R_3}{R_1 + R_2 \| R_3}$$

$$A_{CB} = \frac{V_o}{V_i} = \underbrace{h_{fe}(R_{12} \| R_{14})}_{1.234117 \times 10^{6}} \underbrace{\frac{R_9 \| R_{10}}{(R_9 \| R_{10}) + h_{ie} + R_{13}(h_{fe}+1)}}_{1.78686 \times 10^{-2}} \underbrace{\frac{g_m R_7}{R_7 + R_8 + \left\{ R_9 \| R_{10} \| [h_{ie} + R_{13}(h_{fe}+1)] \right\}}}_{3.0797 \times 10^{-4}} \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + g_m R_5}}_{0.84} \cdot \underbrace{\frac{R_2 \| R_3}{R_1 + R_2 \| R_3}}_{0.3734} = 2.2355$$

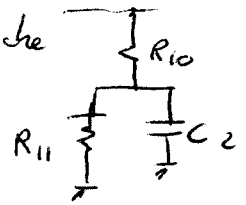
$$|A_{CB}|_{dB} = 6.987\ dB$$

POLI E ZERI

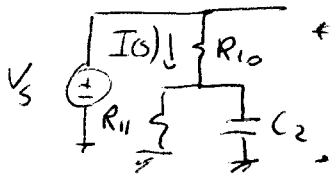
C_1: $f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_4} = 2720.6\ Hz$

$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{v1}} = 19627.73\ Hz$

$R_{v1} = \left(\frac{1}{g_m} + R_5\right) \| R_4 = 540.58\ \Omega$

C_2: f_{z2}: per 5 tale che 

ha $z(s) = \phi \Rightarrow$ polo di $Y(s)$



$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 (R_{10} \| R_{11})} = 5079.4\ Hz$

$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{v2}} = 4717.5\ Hz$

$R_{v2} = R_{11} \| \{R_{10} + R_9 \| (R_8 + R_7) \| [h_{ie} + R_B (h_{fe} + 1)]\} = 717.8\ \Omega$

C_3: $f_{z3} = \phi$

$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 (R_{12} + R_{14})} = 9178.48\ Hz$

ESERCIZIO B

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

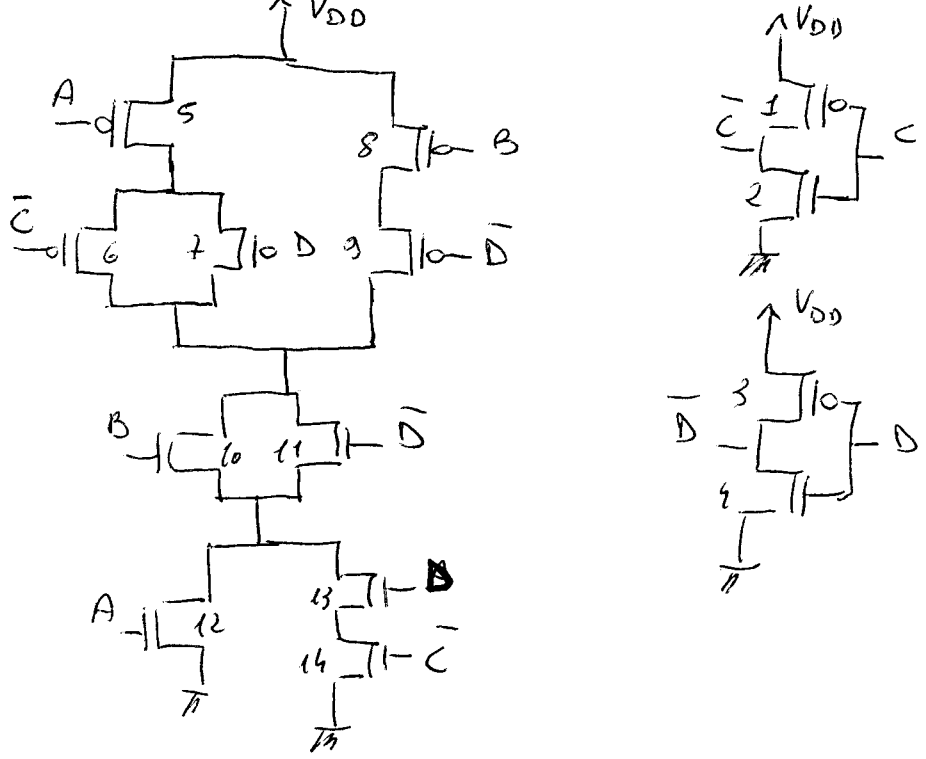
$= (\overline{A} + \overline{C} + \overline{D})(\overline{B}D + \overline{A}C) + \overline{B}D + \overline{A}\,\overline{D} =$

$= \overline{A}\,\overline{B}D + \overline{A}C + \overline{B}\,\overline{C}D + \overline{A}C\overline{D} + \overline{B}D + \overline{A}\,\overline{D} =$

$= \overline{B}D + \overline{A}C + \overline{A}\,\overline{D} =$

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

N. MOSFET = 14 (5×2 + 2×2)



$$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = \left(\frac{W}{L}\right)_3 = p = 5$$
$$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = \left(\frac{W}{L}\right)_4 = n = 2$$
} INVERTER DI BASE

) PUN.

Q_5 serie Q_6 o Q_7 ; Q_8 serie Q_9

$$\frac{2}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 2p \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{5,6,7,8,9} = 2p = 10$$

) PDN

Serie Q_{10}, Q_{13}, Q_{14} (la serie Q_{11}, Q_{13}, Q_{14} non è possibile essendoci D e $\bar{D}$)

$$\frac{3}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 3n \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{10,13,14} = 3n = 6$$

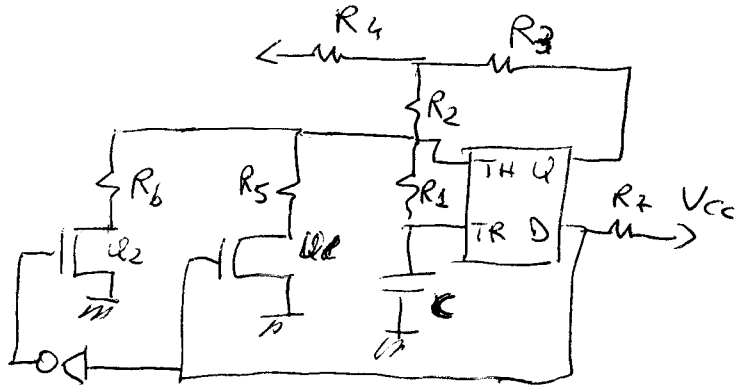
Serie Q_{11}, Q_{12}

$$\frac{2}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 2n \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{11,12} = 2n = 4$$

Il dimensionamento di Q_{12} con Q_{10} e poi Q_{11} non può essere così è ad esempio

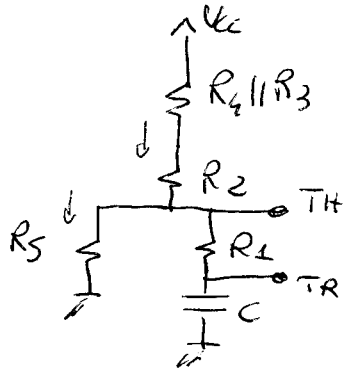
Infatti

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{3n} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 1.5n = \left(\frac{W}{L}\right)_{12} = 3$$
$$\frac{1}{x} + \frac{1}{1.5n} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 3n \rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{11} = 6$$
} $\left(\frac{W}{L}\right)_{12} + \left(\frac{W}{L}\right)_{11} = 9 > 4 \cdot 2 = 8$



$R_1 = 500\ \Omega$
$R_2 = 1K\Omega$
$R_3 = 2K\Omega$
$R_4 = 2K\Omega$
$R_5 = 10\ K\Omega$
$R_6 = 560\ \Omega$
$R_7 = 1K\Omega$
$C = 100\ nF$

1) $Q = 1$ $V_{G1} = V_{CC}$ $V_{S1} = \phi \Rightarrow V_{GS_1} = 6V > V_T \Rightarrow Q_1$ ON
$D = HI$ $V_{G2} = \phi$ $V_{S2} = \phi \Rightarrow V_{GS_2} = 0V < V_T \Rightarrow Q_2$ OFF



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

$$V_f = V_{CC} \frac{R_5}{R_5 + R_2 + R_3 || R_4} = 5V$$

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

$$I_{R_2} = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_2 + R_4 || R_3} = \frac{6-4}{2000} = 1\ mA$$

$$I_{R5} = \frac{V_{TH}}{R_5} = \frac{4}{10^4} = 0.4\ mA$$

$$I_{R1} = I_{R_2} - I_{R5} = 0.6\ mA$$

$$V_{CON} = V_{TH} - R_1 I_{R1} = 3.7V$$

$V_i < V_{CON} < V_f$

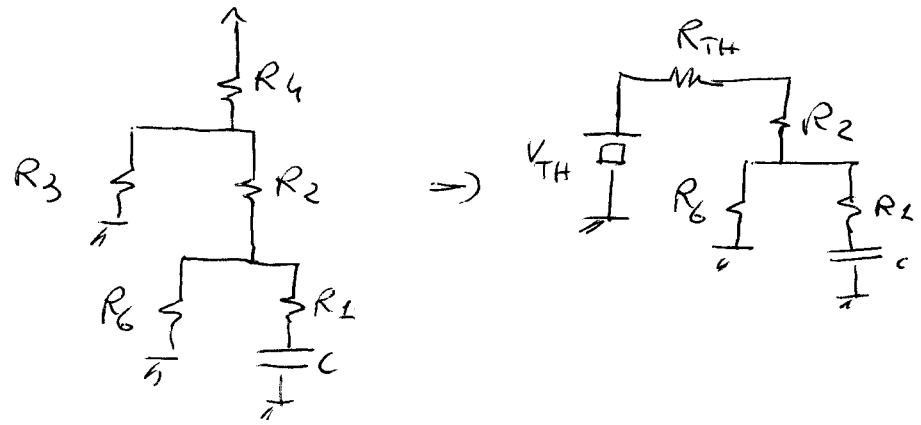
$$R_{VC1} = R_1 + R_5 || \left[R_2 + (R_4 || R_3) \right] = 2166.\overline{6}\ \Omega$$

$$\tau_1 = C_1 R_{VC1} = 2.1\overline{6} \times 10^{-4}\ s$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left[\frac{V_i - V_f}{V_{CON} - V_f} \right] = 1.81187 \times 10^{-4}\ s$$

$Q=0 \quad V_{G1}=\phi \quad V_{S1}=\phi V \Rightarrow Q_1$ OFF

$D=0 \quad V_{G2}=V_{CC} \quad V_{S2}=\phi V \Rightarrow Q_2$ ON



$$V_{TH} = V_{CC}\frac{R_3}{R_3+R_4} = 3V$$

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

$V_{i2} = 3.2V$

$V_{com_2} = 2V$

$$V_{f_2} = V_{TH}\frac{R_6}{R_{TH}+R_2+R_6} = 0.6V$$

$V_{i_2} > V_{com_2} > V_{f_2}$

$3.2V > 2V > 0.6V$ ok

$$R_{V_2} = R_1 + R_6 \| (R_2 + R_{TH}) = 900\,\Omega$$

$$\tau_2 = R_{V_2} \cdot C = 90\,\mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_{i_2}-V_{f_2}}{V_{com_2}-V_{f_2}}\right) = 7.154\times10^{-5}\,s$$

$$T = T_1 + T_2 = 2.5273\times10^{-4}\,s$$

$$f = \frac{1}{T} = 3956.28\ Hz$$