

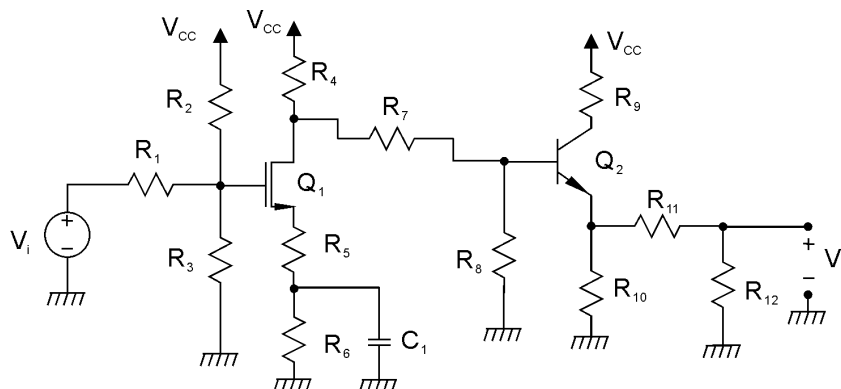
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 20 febbraio 2020

Esercizio A

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$	$R_8 = 15.4 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 1.8 \text{ k}\Omega$	$R_9 = 3 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 9 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 7 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 6 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 200 \text{ }\Omega$
$R_5 = 100 \text{ }\Omega$	$R_{12} = 6.8 \text{ k}\Omega$
$R_7 = 2.5 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$



Q_1 è un transistor MOS a canale n resistivo con $V_T = 1 \text{ V}$ e la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 0.5 \text{ mA/V}^2$; Q_2 è un transistor BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R_6 in modo che, in condizioni di riposo, 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 .
- 2) Determinare l'espressione e il valore di V_U/V_i alle frequenze per le quali C_1 può essere considerato un corto circuito.

Esercizio B

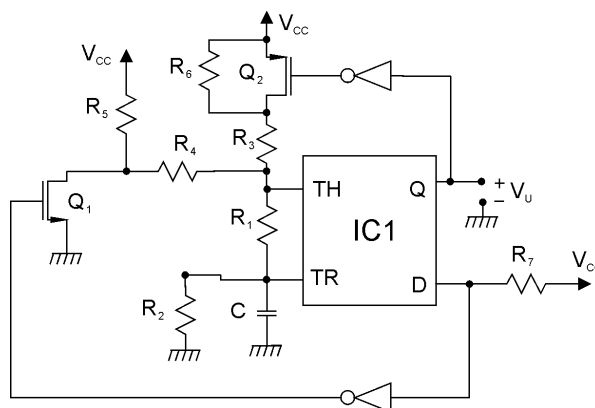
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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

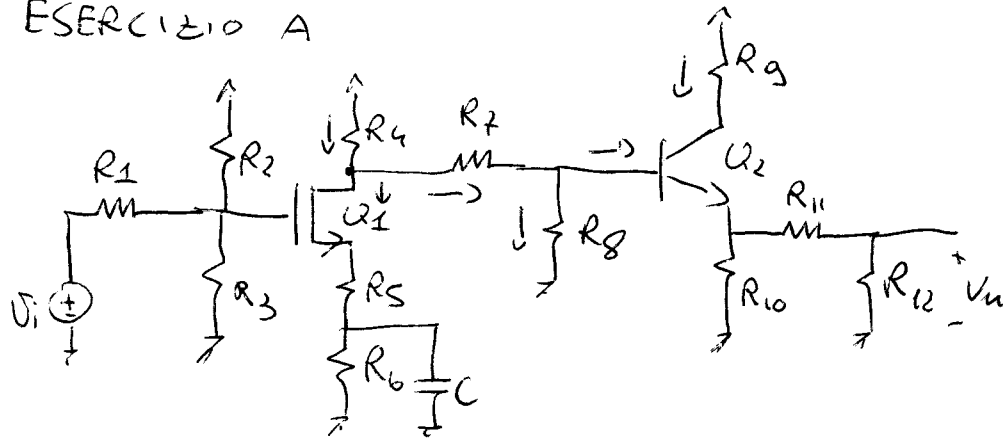
$R_1 = 100 \text{ }\Omega$	$R_6 = 400 \text{ }\Omega$
$R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega$	$R_7 = 2 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 800 \text{ }\Omega$	$C = 150 \text{ nF}$
$R_4 = 400 \text{ }\Omega$	$V_{CC} = 6 \text{ V}$
$R_5 = 400 \text{ }\Omega$	



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

ESERCIZIO A



$$R_1 = 1K\Omega$$

$$R_2 = 1.8K\Omega$$

$$R_3 = 9K\Omega$$

$$R_4 = 6K\Omega$$

$$R_5 = 100\Omega$$

$$R_7 = 2.5K\Omega$$

$$R_8 = 15.4K\Omega$$

$$R_9 = 3K\Omega$$

$$R_{10} = 7K\Omega$$

$$R_{11} = 200\Omega$$

$$R_{12} = 6.8K\Omega$$

$$V_{CC} = 18V$$

1) Det R_6 per $V_C = 12V$

$$I_g = \frac{V_{CC} - V_C}{R_g} = \frac{18 - 12}{3000} = 2mA = I_c$$

(hp): $I_B \ll I_C \Rightarrow I_C \approx I_E$

$$V_E = I_C [R_{10} \parallel (R_{11} + R_{12})] = 7V$$

$$V_{CE} = 12 - 7 = 5V$$

=> Possiamo usare valori costruttivi: $h_{FE} = 290$; $h_{pe} = 300$; $h_{ie} = 4800\Omega$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.8966\mu A \quad (\ll I_C \Rightarrow \text{hp verificata})$$

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

$$I_8 = \frac{V_B}{R_8} = \frac{7.7}{15400} = 0.5mA$$

$$I_7 = I_8 + I_B = 506.8966\mu A$$

$$V_D = V_B + R_7 I_7 = 8.967V$$

$$I_4 = \frac{V_{CC} - V_D}{R_4} = 1.5055mA$$

$$I_D = I_4 - I_7 = 938.60\mu A$$

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2.413V$$

$$V_G = V_{CC} \frac{R_1 \parallel R_3}{(R_1 \parallel R_3) + R_2} = 6V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 3.587V$$

$$Q_2: \begin{cases} V_{CE} = 5V \\ I_C = 2mA \\ I_B = 6.8966\mu A \\ h_{FE} = 290 \\ h_{pe} = 300 \\ h_{ie} = 4800\Omega \end{cases}$$

(hp): Q_1 SATURATO

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

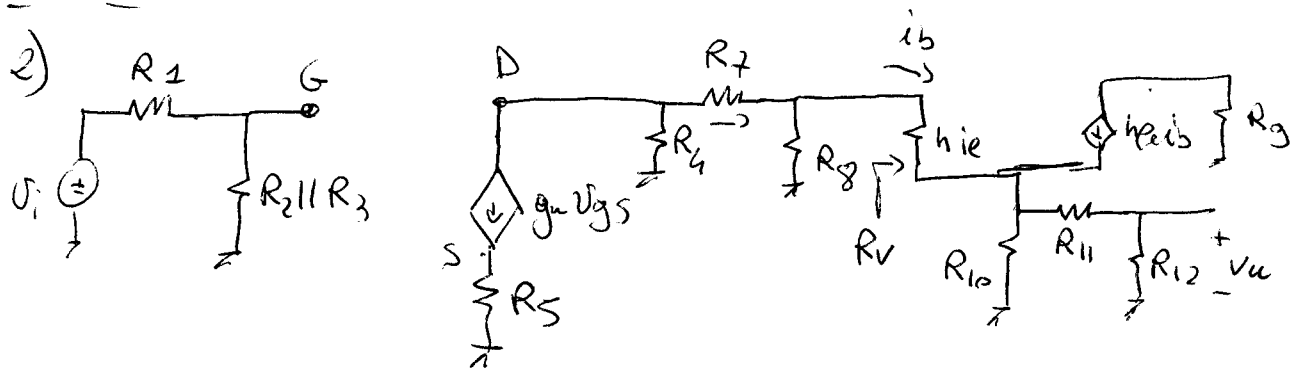
$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}}$$

$$Q_1: \begin{cases} V_{DS} = 5.38V \\ V_{GS} = 2.413V \\ I_D = 938.6\mu A \\ g_m = 1.413 \times 10^{-3} \frac{A}{V} \end{cases}$$

$$V_G = \frac{V_S}{I_S} - R_S = \underline{\underline{3492.03 \, \Omega}} \quad V_S = (R_S + R_G) I_S$$

$$V_{DS} = 5.38 > (V_{GS} - V_T) = 1.413 \Rightarrow \text{verific ok}$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 1.413 \times 10^{-3} \frac{A}{V}$$



$$V_u = (h_{fe} + 1) i_b \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}} R_{12}$$

$$R_V = h_{ie} + [R_{10} || (R_{11} + R_{12})] (h_{fe} + 1) = 1058300 \, \Omega$$

$$i_b = i_7 \frac{R_8}{R_8 + R_V}$$

$$i_7 = (-g_m V_{GS}) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + (R_8 || R_V)}$$

$$V_S = (g_m V_{GS}) R_5$$

$$V_{GS} = V_G - g_m V_{GS} R_5 \Rightarrow V_{GS} = \frac{V_G}{1 + g_m R_5}$$

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

$$\frac{V_u}{V_i} = (h_{fe} + 1) \frac{R_{10} R_{12}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}} \frac{R_8}{R_8 + R_V} (-g_m) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + (R_8 || R_V)} \frac{1}{1 + g_m R_5} \frac{R_2 || R_3}{(R_2 || R_3) + R_1} = -2.763$$

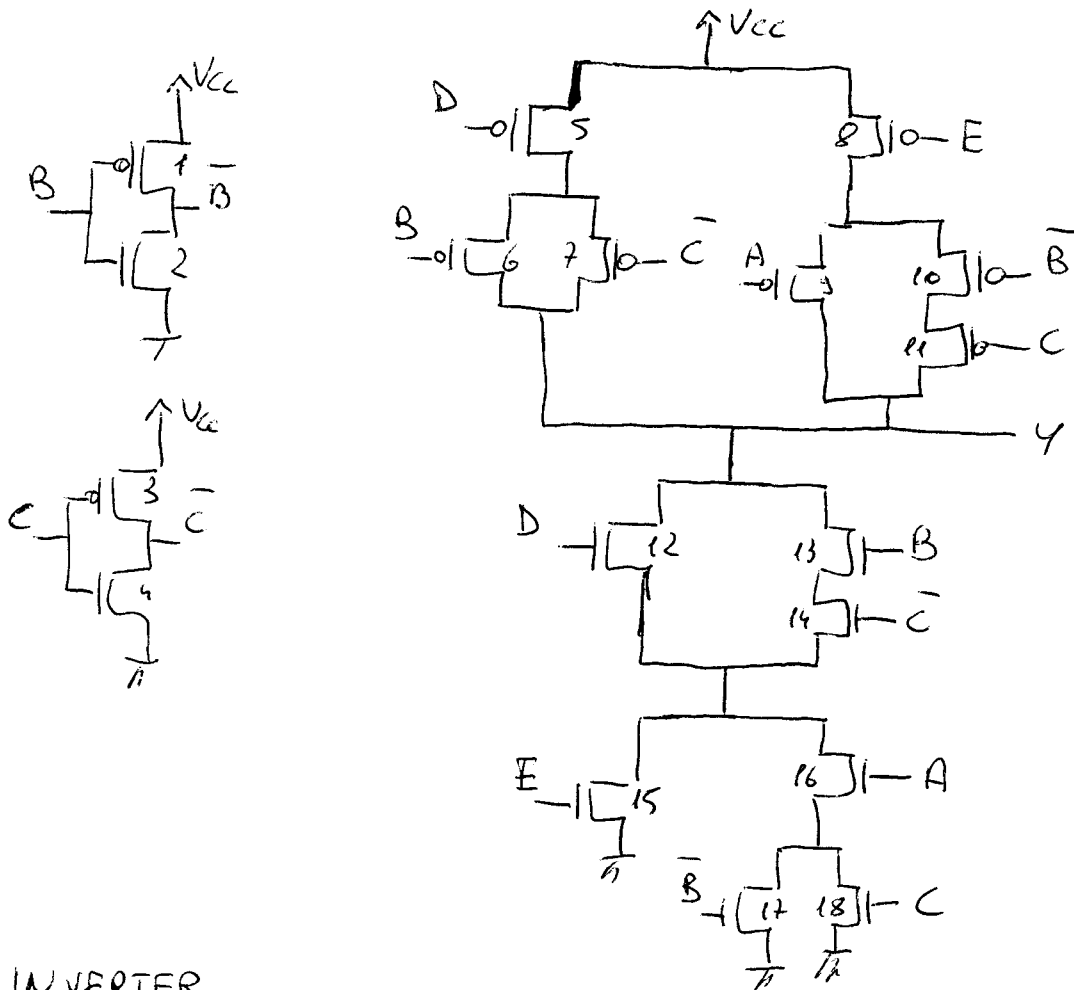
$$\left| \frac{V_u}{V_i} \right|_{dB} = 8.8 \, dB$$

ER 1210 B

(3)

$$\begin{aligned}
 Y &= (\overline{A+D})(\overline{B+C+E}) + A\overline{D}(\overline{B+C}) + \overline{E}(\overline{A}D + \overline{C}B) = \\
 &= \overline{A}\overline{D}(\overline{B+C+E}) + A\overline{B}\overline{D} + A\overline{C}\overline{D} + \overline{A}D\overline{E} + B\overline{C}\overline{E} = \\
 &= \overline{A}\overline{B}\overline{D} + \overline{A}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{D}\overline{E} + A\overline{B}\overline{D} + A\overline{C}\overline{D} + \overline{A}D\overline{E} + B\overline{C}\overline{E} = \\
 &= \overline{B}\overline{D}(\overline{A+A}) + \overline{C}\overline{D}(\overline{A+A}) + \overline{A}\overline{E}(\overline{D+D}) + B\overline{C}\overline{E} = \\
 &= \overline{B}\overline{D} + \overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{E} + B\overline{C}\overline{E} = \\
 &= \overline{D}(\overline{B+C}) + \overline{E}(\overline{A+B\overline{C}})
 \end{aligned}$$

$$\# \text{ MOS} = 7 \times 2 + 2 \times 2 = 18$$



INVERTER

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

PULL-UP NETWORK

*) ~~WAS~~ $Q_8 - Q_{10} - Q_{11}$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{8,10,11} = x \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p = 15 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{8,10,11} = 15$$

, $Q_8 - Q_9$ con Q_8 già dimensionato

$\left(\frac{W}{L}\right)_9 = 9 \quad \frac{1}{9} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \Rightarrow 9 = \frac{3}{2}p = 7.5 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_9 = 7.5$

1) $Q_5 - Q_6$ oppure $Q_5 - Q_7$

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

PULL-DOWN NETWORK

1) $Q_{13} - Q_{14} - Q_{16} - Q_{17}$ NON E' POSSIBILE PER B e \bar{B}

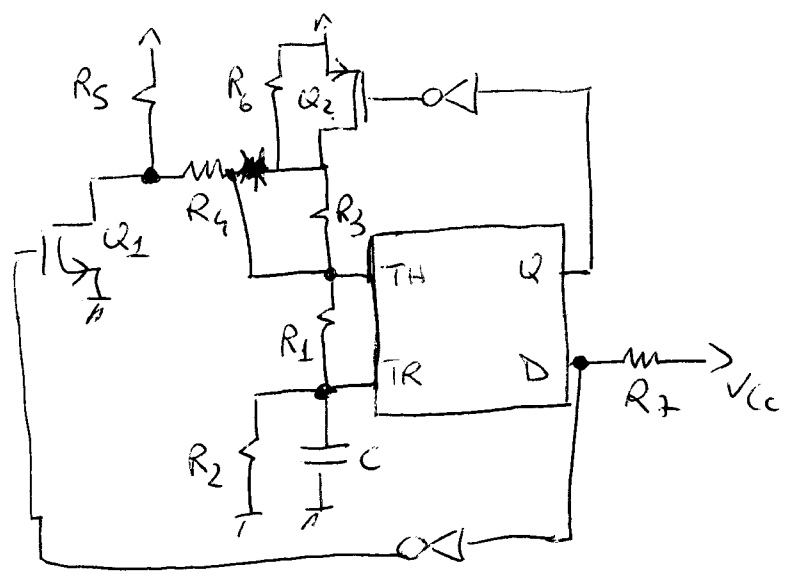
2) $Q_{13} - Q_{14} - Q_{16} - Q_{18}$ NON E' POSSIBILE PER C e \bar{C}

3) $Q_{13} - Q_{14} - Q_{15}$

$Q_{12} - Q_{16} - Q_{17} \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{12,13,14,15,16,17,18} = K = 6$

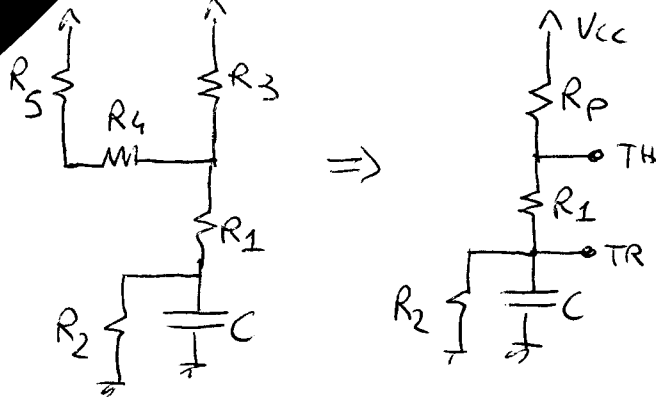
$Q_{12} - Q_{16} - Q_{18} \quad \frac{1}{K} + \frac{1}{K} + \frac{1}{K} = \frac{1}{n} \Rightarrow K = 3n = 6$

ESERCIZIO C



- $R_1 = 100 \Omega$
- $R_2 = 1.5 K \Omega$
- $R_3 = 800 \Omega$
- $R_4 = 400 \Omega$
- $R_5 = 400 \Omega$
- $R_6 = 400 \Omega$
- $R_7 = 2 K \Omega$
- $C = 150 nF$
- $V_{cc} = 6V$

1) $Q = 1 \quad V_{G2} = \phi \quad V_{D2} = V_{cc} = 6V \quad V_{GS2} = -6V < V_{T2} = -1V \Rightarrow Q_2 \text{ ON}$
 $Q = HI \quad V_{G1} = \phi \quad V_{D1} = \phi \quad V_{GS1} = \phi V < V_{T1} = 1V \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$



$$R_p = R_3 \parallel (R_4 + R_5) = 400 \Omega$$

$$\underline{V_{i1}} = \underline{2V}$$

$$\underline{V_{f1}} = V_{cc} \frac{R_2}{R_p + R_1 + R_2} = \underline{4.5V}$$

$$\& V_{TH} = 4V$$

$$I_p = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_p} = 5mA$$

$$V_{i1} < V_{cor1} < V_{f1}$$

$$2V < 3.5V < 4.5V \quad \text{OK}$$

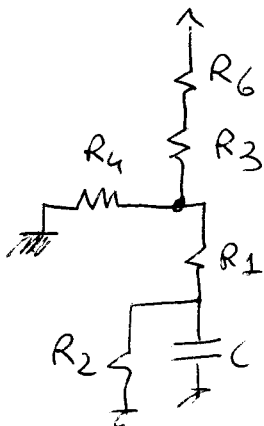
$$\underline{V_{cor1}} = V_{TH} - R_1 I_p = \underline{3.5V}$$

$$R_{v1} = R_2 \parallel (R_1 + R_p) = 375 \Omega$$

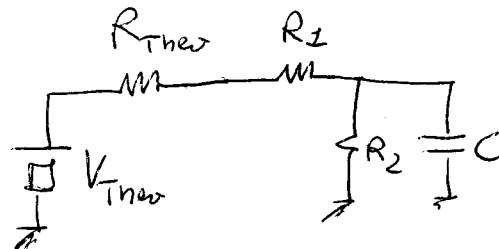
$$\tau_1 = C R_{v1} = 56.25 \mu s$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left(\frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{cor1} - V_{f1}} \right) = 51.541 \mu s$$

2) $Q = \phi$ $V_{g2} = V_{cc}$ $V_{d2} = V_{cc}$ $V_{gs2} = \phi \Rightarrow Q_2 \text{ OFF}$
 $D = \phi$ $V_{g1} = V_{cc}$ $V_{d1} = \phi$ $V_{gs1} = V_{cc} \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$



\Rightarrow



$$V_{th} = V_{cc} \frac{R_4}{R_4 + R_3 + R_6} = 1.5V$$

$$R_{th} = R_4 \parallel (R_3 + R_6) = 300 \Omega$$

$$V_2 = 3.5V$$

6

$$V_{f2} = V_{Ther} \frac{R_2}{R_{Ther} + R_1 + R_2} = 1.184V$$

$$V_{con2} = 2V$$

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

$$3.5V > 2V > 1.184V \quad \underline{OK}$$

$$R_{V2} = R_2 \parallel (R_1 + R_{Ther}) = 315.789 \Omega$$

$$\tau_2 = R_{V2} C = 47.368 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{con2} - V_{f2}}\right) = 49.414 \mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 100.955 \mu s$$

$$\underline{f} = \frac{1}{T} = \underline{9905.38 \text{ Hz}}$$