

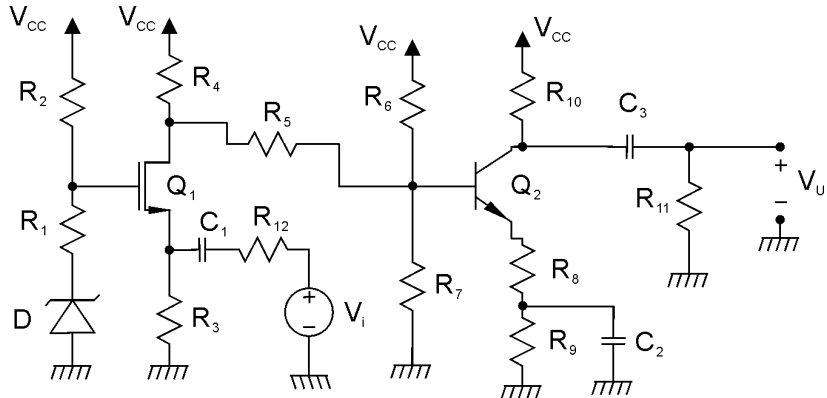
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 16 febbraio 2015

Esercizio A

$R_1 = 1200 \, \Omega$	$R_{10} = 4 \, k\Omega$
$R_2 = 6 \, k\Omega$	$R_{11} = 16 \, k\Omega$
$R_4 = 3250 \, \Omega$	$R_{12} = 50 \, \Omega$
$R_5 = 7500 \, \Omega$	$C_1 = 33 \, nF$
$R_6 = 615 \, k\Omega$	$C_2 = 220 \, nF$
$R_7 = 30 \, k\Omega$	$C_3 = 10 \, nF$
$R_8 = 100 \, \Omega$	$V_z = 3.6 \, V$
$R_9 = 2400 \, \Omega$	$V_{CC} = 18 \, V$



Q_1 è un transistor 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 transistor BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$; D è un diodo zener ideale con $V_z = 3.6 \, V$. 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 10 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1 . (R: $R_3 = 772.12 \, \Omega$)
- 2) Determinare V_U/V_i alle frequenze per le quali C_1, C_2, C_3 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: $V_U/V_i = -112.76$)
- 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: $f_{z1} = 0 \, Hz$; $f_{p1} = 15486.23 \, Hz$; $f_{z2} = 301.43 \, Hz$; $f_{p2} = 5399.55 \, Hz$; $f_{z3} = 0 \, Hz$; $f_{p3} = 795.77 \, Hz$)

Esercizio B

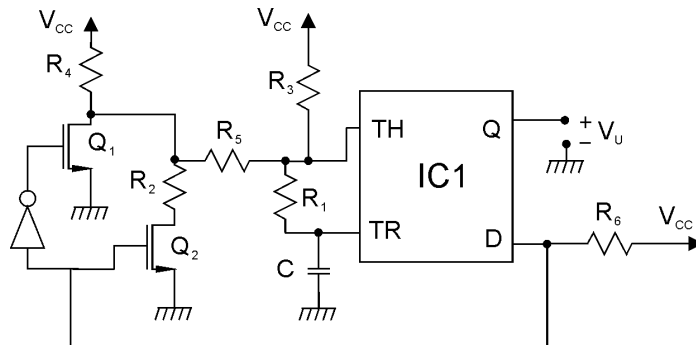
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

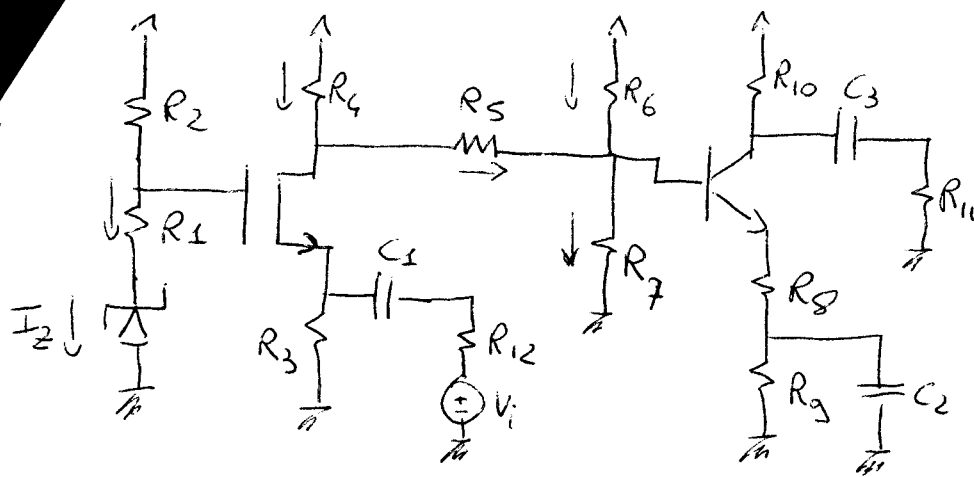
Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale n e pari a 5 per quello a canale p. Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

Esercizio C

$R_1 = 500 \, \Omega$	$R_5 = 300 \, \Omega$
$R_2 = 2 \, k\Omega$	$R_6 = 1 \, k\Omega$
$R_3 = 700 \, \Omega$	$C = 68 \, nF$
$R_4 = 2 \, k\Omega$	$V_{CC} = 6 \, V$



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \, V$, Q_1 e Q_2 hanno una $R_{on} = 0$ e $V_T = 1 \, V$. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: $f = 9079.59 \, Hz$)



$V_{CC} = 18 \text{ V}$
 $R_1 = 1200 \Omega$
 $R_2 = 6000 \Omega$
 $R_4 = 3250 \Omega$
 $R_5 = 7500 \Omega$
 $R_6 = 685 \text{ k}\Omega$
 $R_7 = 30 \text{ k}\Omega$
 $R_8 = 100 \Omega$
 $R_9 = 2400 \Omega$
 $R_{10} = 4 \text{ k}\Omega$
 $R_{11} = 16 \text{ k}\Omega$
 $R_{12} = 50 \Omega$

1) Det. R_3 per $V_C = 10 \text{ V}$

$$I_{10} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_{10}} = \frac{8}{4 \times 10^3} = 2 \text{ mA}$$

$$I_{10} = I_C \approx I_E$$

$$V_E = I_E (R_8 + R_9) = 5 \text{ V}$$

$$\begin{cases} V_{CE} = 10 - 5 = 5 \text{ V} \\ I_C = 2 \text{ mA} \\ I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = 6.836 \mu\text{A} \end{cases}$$

$$\begin{cases} h_{FE} = 290 \\ h_{fe} = 300 \\ h_{ie} = 4800 \Omega \end{cases}$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 5.7 \text{ V}$$

$$I_7 = \frac{V_B}{R_7} = 190 \mu\text{A}$$

$$I_6 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_6} = 20 \mu\text{A}$$

$$I_5 = I_7 + I_B - I_6 = 176.836 \mu\text{A}$$

$$V_D = V_B + R_5 I_5 = 7.0267 \text{ V}$$

$$I_4 = \frac{V_{CC} - V_D}{R_4} = 3.376 \text{ mA}$$

$$I_3 = I_4 - I_5 = 3.1995 \text{ mA}$$

$$(V_{GS} - V_T) = + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2.5296 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 3.5296 \text{ V}$$

$$I_{10} = \frac{V_{CC} - V_2}{R_1 + R_2} = 2 \text{ mA} = I_2$$

$K = 0.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$
 $C_1 = 33 \text{ nF}$
 $C_2 = 220 \text{ nF}$
 $C_3 = 10 \text{ nF}$

$$\begin{cases} V_{GS} = 3.5296 \text{ V} \\ V_{DS} = 4.5563 > 2.5296 = (V_{GS} - V_T) \\ g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2.53 \times 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}} \end{cases}$$

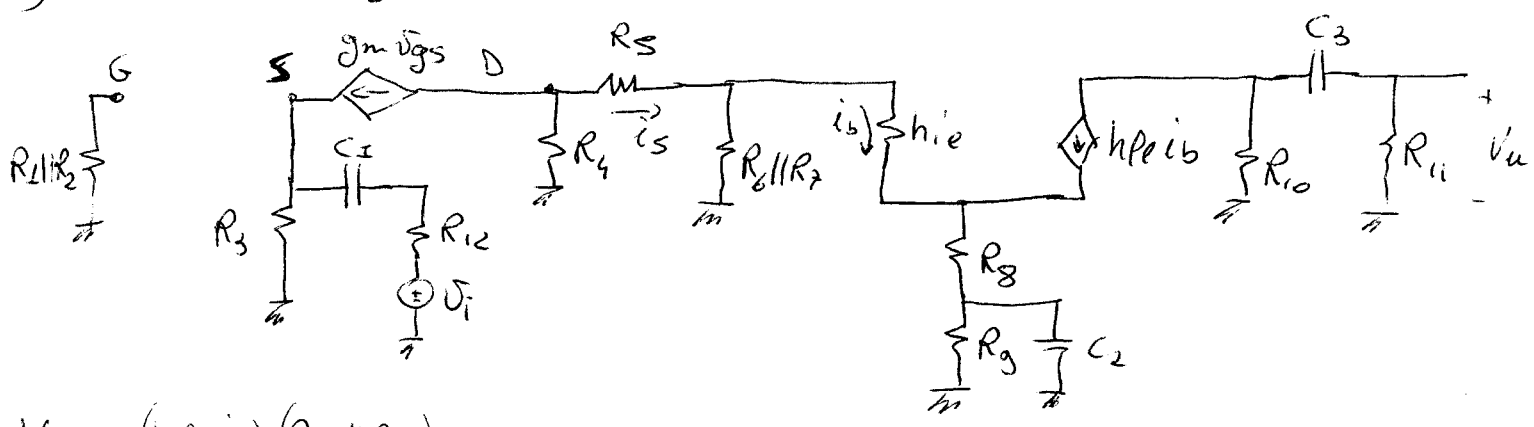
$$V_{CC} - R_2 I_1 = 6V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 2.4704V$$

$$R_3 = \frac{V_S}{I_D} = 772.12 \Omega$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 4.5563V$$

2) CALCOLARE A_{CB}



$$V_u = -(h_{fe} i_b) (R_{10} \parallel R_{11})$$

$$i_b = i_5 \frac{R_6 \parallel R_7}{R_6 \parallel R_7 + h_{ie} + R_8 (h_{fe} + 1)}$$

$$i_5 = - (g_m \bar{v}_{gs}) \frac{R_4}{R_4 + [R_5 + R_6 \parallel R_7 \parallel (h_{ie} + R_8 (h_{fe} + 1))]}$$

$$\bar{v}_g = \phi$$

$$\bar{v}_s = \frac{\bar{v}_i}{R_{12} + (R_3 \parallel \frac{1}{g_m})} \left(R_3 \parallel \frac{1}{g_m} \right) = \bar{v}_i \frac{\frac{R_3}{1 + g_m R_3}}{R_{12} + \frac{R_3}{1 + g_m R_3}} = \bar{v}_i \frac{R_3}{R_3 + R_{12} (1 + g_m R_3)}$$

$$A_{CB} = \frac{V_u}{\bar{v}_i} = - h_{fe} (R_{10} \parallel R_{11}) \frac{R_6 \parallel R_7}{(R_6 \parallel R_7) + h_{ie} + R_8 (h_{fe} + 1)} g_m \frac{R_4}{R_4 + R_5 + R_6 \parallel R_7 \parallel [h_{ie} + R_8 (h_{fe} + 1)]}$$

$$= \frac{R_3}{R_3 + R_{12} (1 + g_m R_3)} = - 112.757$$

$$|A_{CB}|_{dB} = 41.04 dB$$

Calcolare f.d.T.

CONDENSATORE

1) ~~CONDENSATORE~~ $C_1 = 33 \text{ nF}$

$$f_{z1} = \phi \text{ Hz}$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{V1}} = 15486.23 \text{ Hz}$$

$$R_{V1} = R_{12} + \left(R_3 \parallel \frac{1}{g_m} \right) = 311.43 \text{ } \Omega$$

2) CONDENSATORE $C_2 : 220 \text{ nF}$

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_g} = 305.43 \text{ Hz}$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{V2}} = 5399.55 \text{ Hz}$$

$$R_{V2} = R_g \parallel \left\{ R_g + \frac{h_{ie} + R_6 \parallel R_7 \parallel (R_5 + R_4)}{(h_{fe} + 1)} \right\} = 133.98 \text{ } \Omega$$

3) CONDENSATORE $C_3 : 10 \text{ nF}$

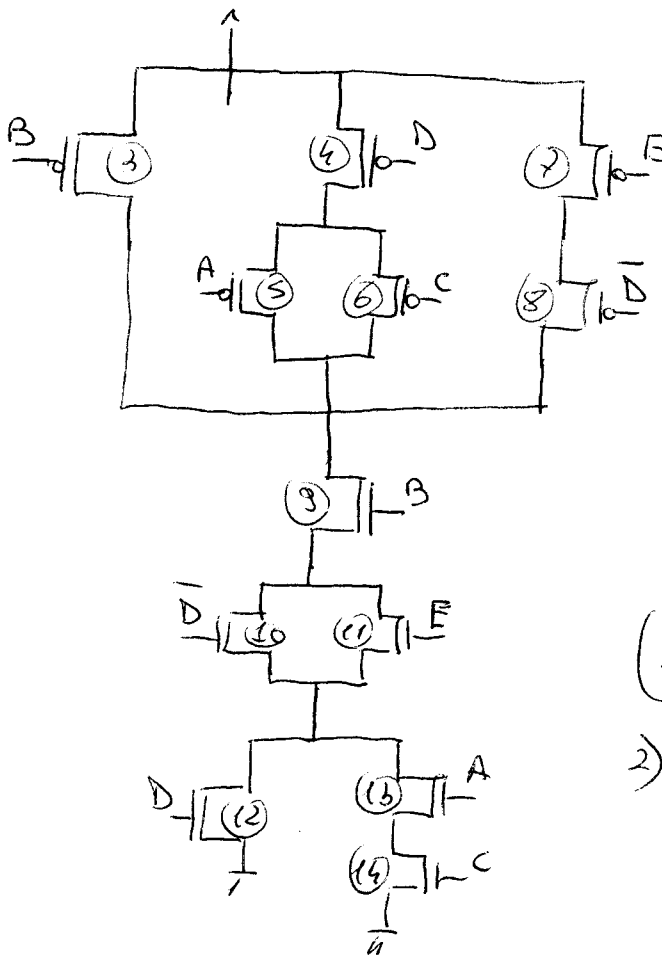
$$f_{z3} = \phi \text{ Hz}$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{V3}} = 795.77 \text{ Hz}$$

$$R_{V3} = R_{10} + R_{11} = 20 \text{ k} \Omega$$

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

N. MOSFET = 14



$$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = p = 5$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = n = 2$$

PUN

1) Q_4 serie Q_6

Q_4 serie Q_6

Q_7 serie Q_8

$$\frac{2}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 2p$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_4 = \left(\frac{W}{L}\right)_5 = \left(\frac{W}{L}\right)_6 = \left(\frac{W}{L}\right)_7 = \left(\frac{W}{L}\right)_8 = 2p = 10$$

$$2) \left(\frac{W}{L}\right)_3 = p = 5$$

PUN

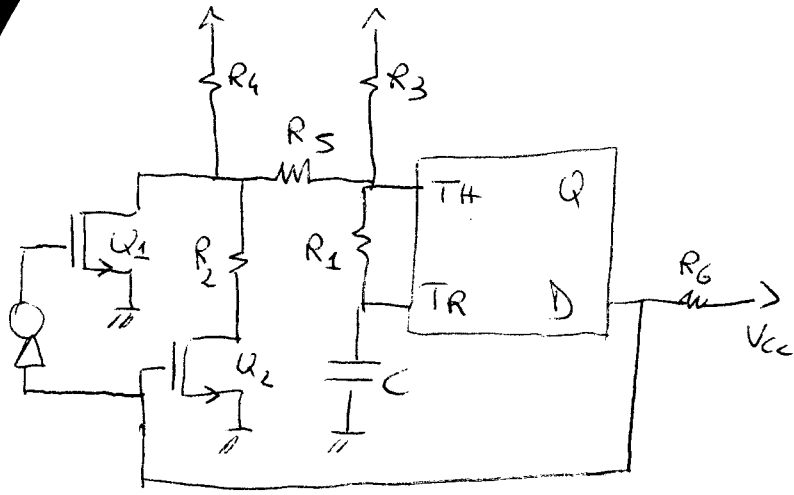
1) Q_9 serie Q_{10} ($\circ Q_{11}$) serie (Q_{13}, Q_{14})

$$\frac{4}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 4n \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_9 = \left(\frac{W}{L}\right)_{10} = \left(\frac{W}{L}\right)_{11} = \left(\frac{W}{L}\right)_{13} = \left(\frac{W}{L}\right)_{14} = 4n = 8$$

2) Q_3 serie Q_{11} serie Q_{12}

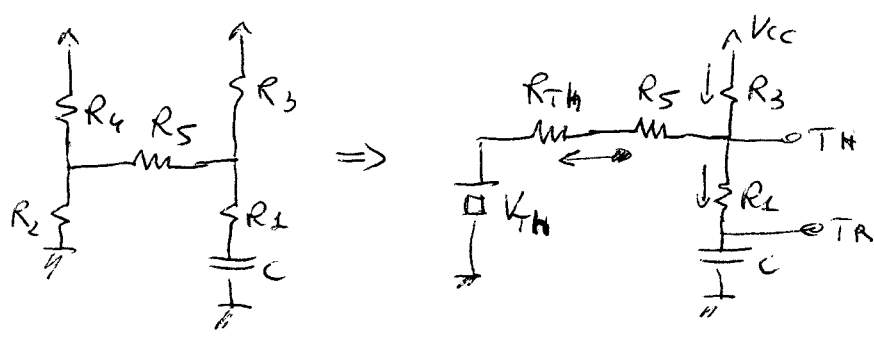
$$\frac{1}{x_{12}} + \frac{2}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{1}{x_{12}} = \frac{2}{4n} \Rightarrow x_{12} = 2n$$

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



- $V_{CC} = 6V$
- $R_1 = 500\Omega$
- $R_2 = 2000\Omega$
- $R_3 = 700\Omega$
- $R_4 = 2000\Omega$
- $R_5 = 300\Omega$
- $R_6 = 1000\Omega$
- $C = 68nF$

1) $Q = 1$ $V_{GS1} = 0V$ $V_{S1} = 0V \Rightarrow V_{GS1} = 0 < V_T \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$
 $D = HI$ $V_{GS2} = 6V$ $V_{S2} = 0V \Rightarrow V_{GS2} = 6V > V_T \Rightarrow Q_2 \text{ ON}$



$$V_{TH} = \frac{V_{CC} R_2}{R_2 + R_4} = 3V$$

$$R_{TH} = R_2 || R_4 = 1k\Omega$$

$$V_{I1} = \frac{1}{3} V_{CC} = 2V$$

$$V_{F1} = V_{CC} \frac{R_5 + R_{TH}}{R_3 + R_5 + R_{TH}} + V_{TH} \frac{R_3}{R_3 + R_5 + R_{TH}} = 3.9 + 1.05 = 4.95V$$

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

$$I_{R3} = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_3} = 2.857mA$$

$$I_{RS} = \frac{V_{TH} - V_{b1}}{R_5 + R_{TH}} = \frac{1}{1300} = 763.23\mu A$$

$$I_{R1} = I_{R3} - I_{RS} = 2.0879mA$$

$$V_{COR1} = V_{TH} - R_1 I_{R1} = 2.956V$$

$V_{I1} < V_{COR1} < V_{F1} \Rightarrow \text{COMPUTA}$
 $2V < 2.956V < 4.95V$ OK

$$R_{Vc1} = R_1 + R_3 || (R_5 + R_{TH}) = 955\Omega$$

$$\tau_1 = (R_{Vc1} C = 64.34\mu s$$

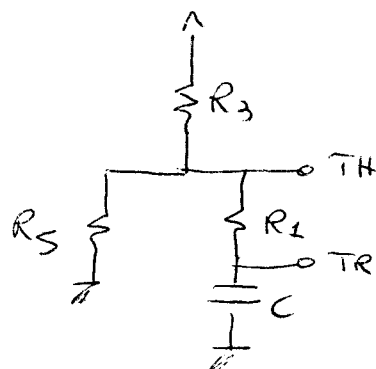
$$T_1 = \tau_1 \ln \left[\frac{V_1 - V_F}{V_{COR1} - V_F} \right] = 25.434\mu s$$

$$U = \phi$$

$$V_{G1} = 6V \quad V_{S1} = \phi V \Rightarrow V_{GS1} = 6V > V_T \Rightarrow U_1 \text{ ON}$$

$$D = \phi$$

$$V_{G2} = \phi V \quad V_{S2} = \phi V \Rightarrow V_{GS2} = \phi V < V_T \Rightarrow U_2 \text{ OFF}$$



$$V_{i2} = V_{con1} = 2.956$$

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

$$V_{i2} > V_{con2} > V_{R2}$$

$$2.956V > 2V > 1.8V$$

OK

$$V_{R2} = V_{CC} \frac{R_S}{R_3 + R_S} = 1.8V$$

$$R_{v2} = R_1 + R_3 || R_S = 710 \Omega$$

$$\tau_2 = CR_{v2} = 48.28 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left[\frac{V_{i2} - V_{R2}}{V_{con2} - V_{R2}} \right] = 84.70 \mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 110.137 \mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = 9079.59 \text{ Hz}$$