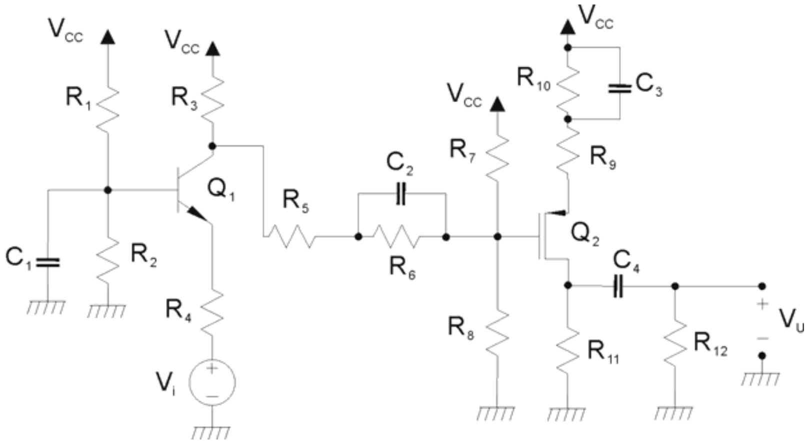
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 15 settembre 2014

Esercizio A

R_1 =715 kΩ	R_{10} = 900 Ω
R_3 = 20 k Ω	R_{11} = 1600 Ω
R_4 = 1.5 kΩ	R_{12} = 10 kΩ
R_5 = 100 Ω	C_1=330 nF
R_6 = 900 Ω	C_2=680 nF
R_7 = 4250 Ω	C_3= 47 nF
R_8 = 19 k Ω	C_4= 2.2 nF
R_9 = 100 Ω	V_{CC} = 18 V



Q_1 è un transistore BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe}= 0$. Q_2 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.

Con riferimento al circuito in figura:

1) Calcolare il valore della resistenza R_2 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul drain di Q_2 sia 7.2 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2. (R: R_2 = 282368 Ω)
2) Determinare 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 = -6.1665)
3) (**<u>Solo per 12 CFU</u>**) Determinare la funzione di trasferimento V_U/V_i e tracciarne il diagramma di Bode quotato asintotico del modulo. (R: f_{z1} = 2.38 Hz; f_{p1} = 3.44 Hz; f_{z2} = 260.06 Hz; f_{p2} = 269.99 Hz; f_{z3} = 3762.53 Hz; f_{p3} = 11577 Hz; f_{z4} = 0 Hz; f_{p4} = 6236.48 Hz)

Esercizio B

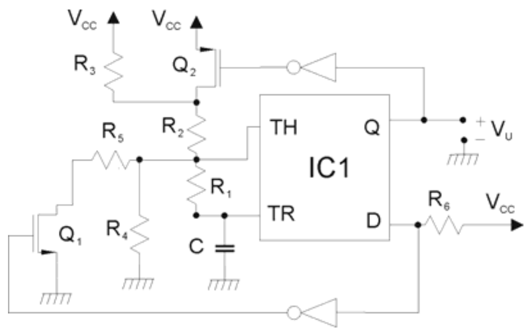
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

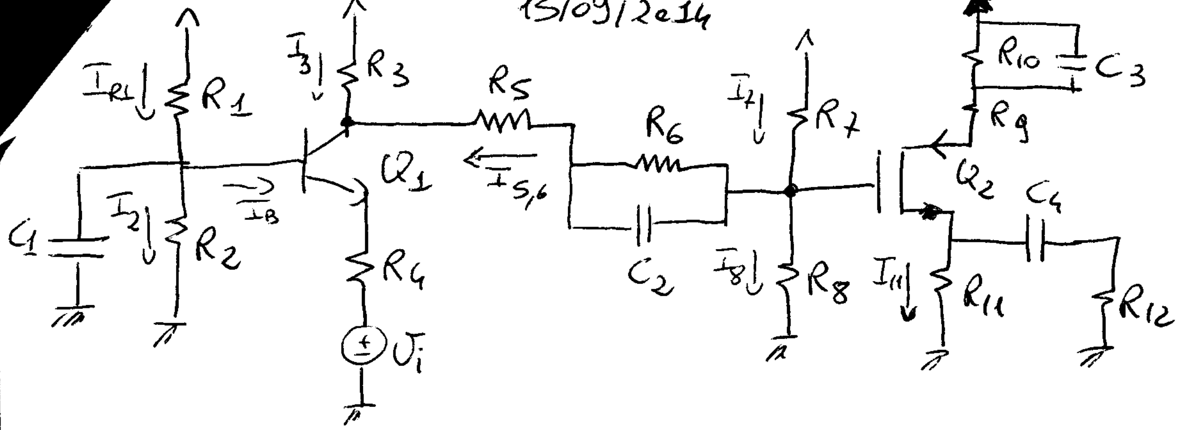
Esercizio C

R_1 =1 kΩ	R_5 = 5 kΩ
R_2 = 1 kΩ	R_6 = 1 kΩ
R_3 = 21.5 kΩ	C = 100 nF
R_4 = 5 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, Q_2 ha una R_{on} = 0 e V_T=-1V e gli inverter sono ideali. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 4907.85 Hz)

15/09/2014



$R_1 = 715\ k\Omega$
$R_3 = 20\ k\Omega$
$R_4 = 1500\ \Omega$
$R_5 = 100\ \Omega$
$R_6 = 900\ \Omega$
$R_7 = 4250\ \Omega$
$R_8 = 19\ k\Omega$
~~[illegible]~~
~~[illegible]~~
$R_9 = 100\ \Omega$
$R_{10} = 900\ \Omega$
$R_{11} = 1600\ \Omega$
$R_{12} = 10\ k\Omega$
$K = 0.5\ \frac{mA}{V^2}$
$V_T = -1V$

1) Det. R_2 tale che $V_D = 7.2V$

$$I_{11} = I_D = \frac{V_D}{R_{11}} = \frac{7.2}{1600} = 4.5\ mA$$

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

$$(V_{GS} - V_T) = -\sqrt{\frac{I_D}{K}} = -\sqrt{\frac{4.5\times10^{-3}}{0.5\times10^{-3}}} = -3V$$

$$V_{GS} = -3 + V_T = -4V$$

$$V_S = V_{CC} - (R_9 + R_{10})I_D = 13.5V$$

$$V_G = V_{GS} + V_S = -4 + 13.5 = 9.5V$$

$$V_{DS} = 7.2 - 13.5 = -6.3V < (V_{GS} - V_T) = -3 \Rightarrow \text{SAT. OK}$$

$$Q_2 \begin{cases} I_D = 4.5\ mA \\ V_{DS} = -6.3V \\ V_{GS} = -4V \\ g_m = 2K|V_{GS} - V_T| = \\ = 3\times10^{-3}\ \frac{A}{V} \end{cases}$$

$$I_7 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_7} = \frac{18 - 9.5}{4250} = 2\ mA$$

$$I_8 = \frac{V_G}{R_8} = \frac{9.5}{19\times10^3} = 0.5\ mA$$

$$I_{5,6} = I_7 - I_8 = 1.5\ mA$$

$$V_C = V_G - (R_5 + R_6)I_{5,6} = 8V$$

$$I_3 = \frac{V_{CC} - V_C}{R_3} = \frac{18 - 8}{20\times10^3} = 0.5\ mA$$

$$I_C = I_3 + I_{5,6} = 2\ mA$$

$$Q_1: \begin{cases} I_C = 2\ mA \\ V_{CE} = 5V \\ I_B = 6.896\ \mu A \\ h_{fe} = 300 \quad h_{ie} = 480 \end{cases}$$

$$I_C \simeq I_E$$

$$V_E = I_E R_4 = (2\times10^{-3})(1500) = 3V$$

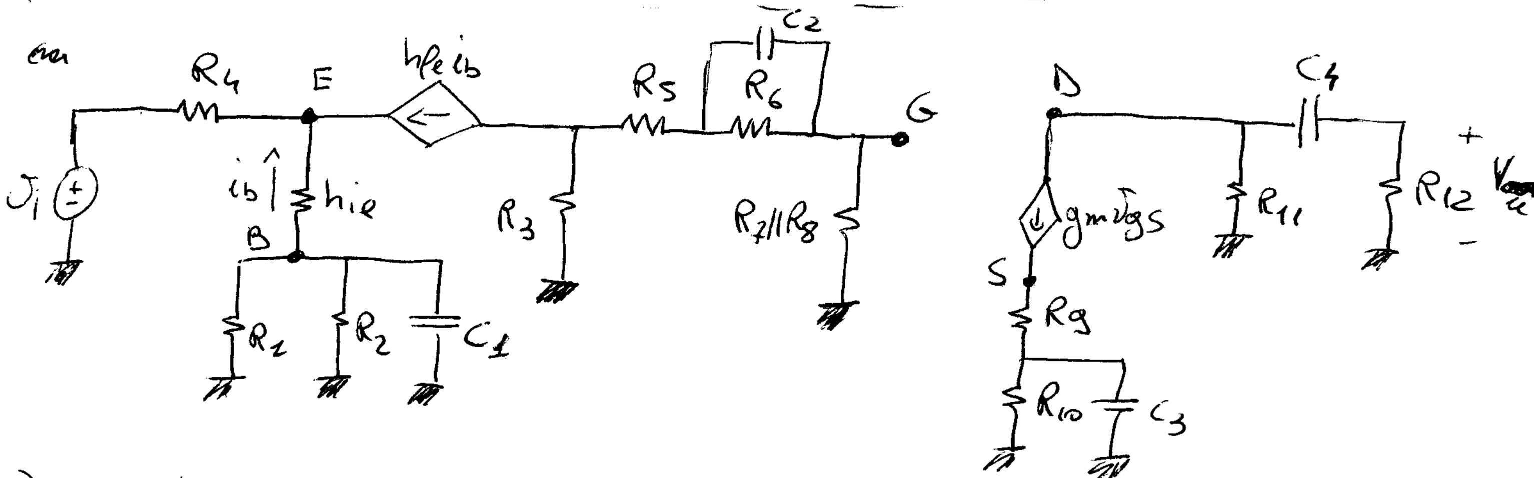
$$V_{CE} = 8 - 3 = 5V \Rightarrow h_{FE} = 290 \Rightarrow I_B = \frac{2\times10^{-3}}{290} = 6.896\ \mu A$$

$$V_B = V_E + V_\gamma = 3 + 0.7 = 3.7V$$

$I_{R1} = \frac{V_{CC} - V_B}{R_1} = 20\,\mu A$

$I_{R2} = I_{R1} - I_B = 13.10\,\mu A$

$$R_2 = \frac{V_B}{I_{R2}} = \frac{3.7\,V}{13.10\times10^{-6}} = \underline{\underline{282368.42\ \Omega}}$$



•) A_{CB} (C_1, C_2, C_3, C_4 CORTOCIRCUITATI)

$$V_u = -g_m v_{gs} (R_{11} // R_{12})$$

$$v_S = (g_m v_{gs}) R_9$$

$$v_{gs} = v_g - g_m v_{gs} R_9 = \frac{v_g}{1 + g_m R_9}$$

$$v_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_3}{R_3 + R_5 + R_7 // R_8} \cdot (R_7 // R_8)$$

$$v_i = -R_4 (h_{fe}+1) i_b - h_{ie} i_b = -[h_{ie} + R_4(h_{fe}+1)] i_b$$

$$\Rightarrow i_b = -\frac{v_i}{h_{ie} + R_4(h_{fe}+1)}$$

$$\frac{V_u}{V_i} = \underbrace{\left(-\frac{g_m (R_{11} // R_{12})}{1 + g_m R_9}\right)}_{3.183} \underbrace{(-h_{fe}) \frac{R_3 (R_7 // R_8)}{R_3 + R_5 + (R_7 // R_8)}}_{884003.1} \underbrace{\left(-\frac{1}{h_{ie} + R_4(h_{fe}+1)}\right)}_{2.19154\times10^{-6}} = -6.1665$$

$$|A_{CB}|_{dB} = 15.8\ dB$$

CONDENSATORE $C_1 = 330\,nF$

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_1 \| R_2)} = 2.38\ Hz$$

$$R_1 \| R_2 = 202426.12\ \Omega$$

$$f_{P1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{V1}} = 3.44\ Hz$$

$$R_{V1} = R_1 \| R_2 \| \left[h_{ie} + R_4 (h_{fe}+1) \right] = 140220.70\ \Omega$$

•) CONDENSATORE $C_2 = 680\ nF$

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_6} = 260.057\ Hz$$

$$f_{P2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{V2}} = 269.987\ Hz$$

$$R_{V2} = R_6 \| \left[R_5 + R_3 + R_7 \| R_8 \right] = 866.9\ \Omega$$

•) CONDENSATORE $C3 = 47nF$

$$f_{z3} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{10}} = 3762.53\ Hz$$

$$f_{P3} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{V3}} = 11577\ Hz$$

$$R_{V3} = R_{10} \| \left[R_9 + \frac{1}{g_m} \right] = 292.5\ \Omega$$

•) CONDENSATORE $C_4 = 2.2\,nF$

$$f_{z4} = \phi\ Hz$$

$$f_{P4} = \frac{1}{2\pi R_{V4} C_4} = 6236.48\ Hz$$

$$R_{V4} = R_{11} + R_{12} = 11600\ \Omega$$

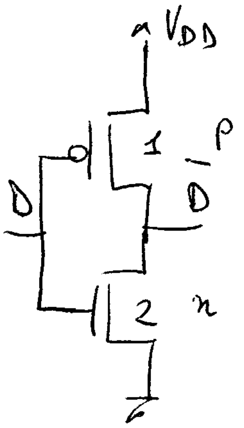
$$= \overline{BC}\left(\bar A + D + \bar E\right) + \bar B\left(\bar D + AC\right) + CD =$$

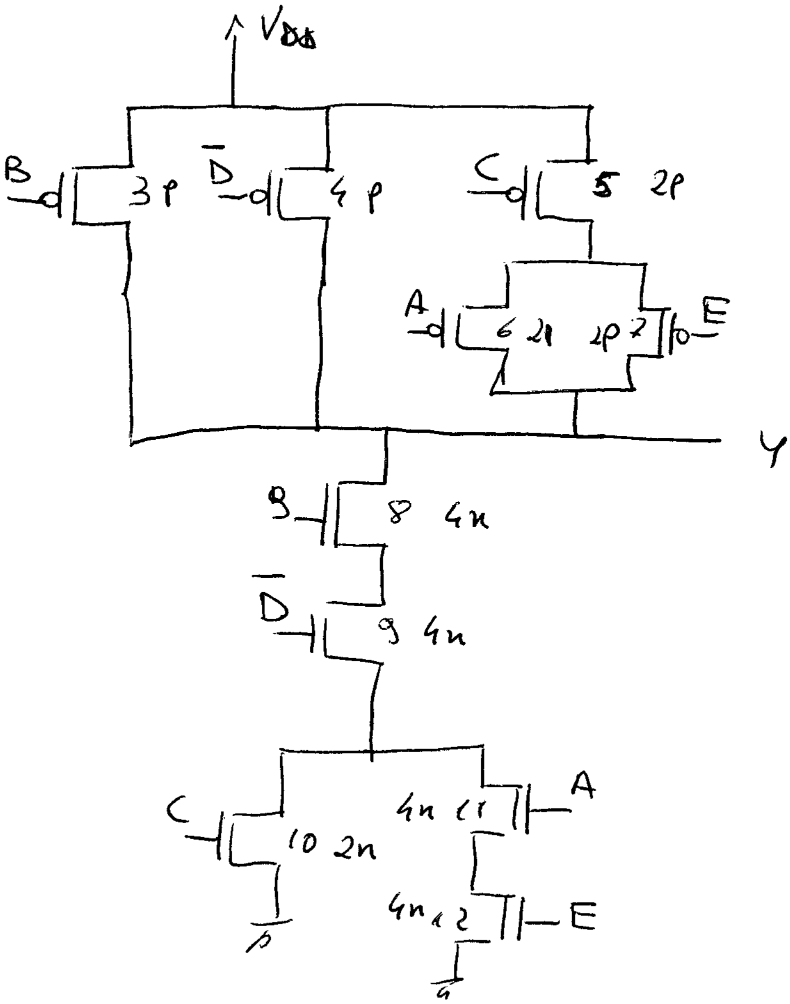
$$= \left(\bar B + \bar C\right)\left(\bar A + D + \bar E\right) + \bar B\,\bar D + \bar B A C + C D =$$

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

$$= \bar B + D + \bar C\left(\bar A + \bar E\right)$$

<u>12</u> <u>MOSFET</u>





DIMENSIONAMENTO

$Q_1 : p$

$Q_2 : n$

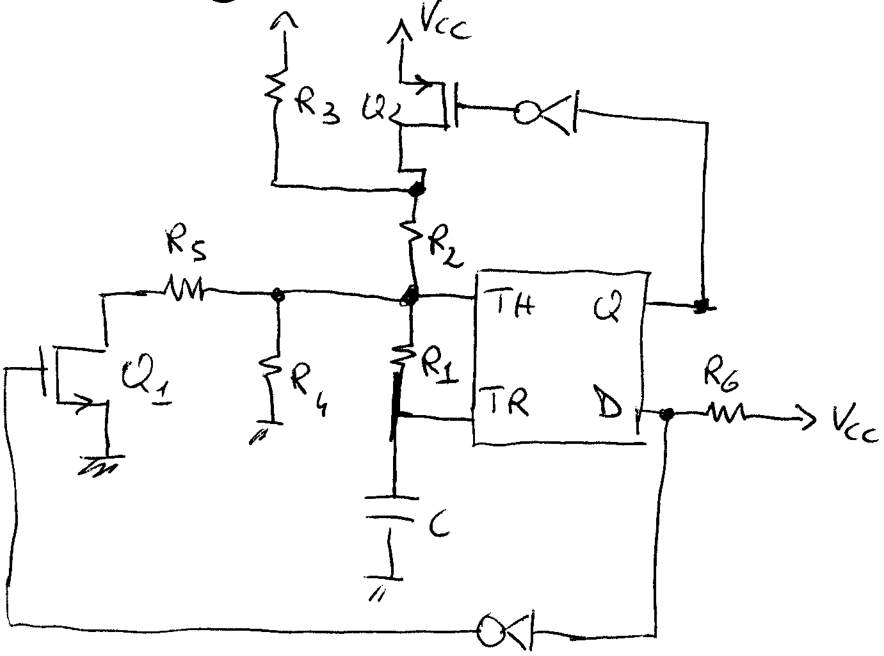
$Q_3, Q_4 : p$

$Q_5, Q_6, Q_7 : 2p$

$Q_8, Q_9, Q_{11}, Q_{12} : 4n$

$Q_{10} : \dfrac{1}{x} + \dfrac{2}{4n} = \dfrac{1}{n} \Rightarrow \dfrac{1}{x} = \dfrac{1}{2n} \Rightarrow x = 2n$

ERCIZIO C



$V_{cc} = 6V$

$R_1 = 1k\Omega$

$R_2 = 1k\Omega$

$R_3 = 21500\ \Omega$

$R_4 = 5k\Omega$

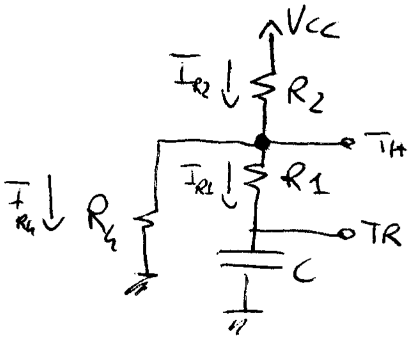
$R_5 = 5k\Omega$

$R_6 = 1k\Omega$

$C = 100\ nF$

1) $Q = 1 \quad D = HI \Rightarrow V_{G2} = \phi\ V \quad V_{S2} = V_{cc} \Rightarrow V_{GS2} = -6V \Rightarrow Q_2$ ON

$\Rightarrow V_{G1} = \phi V \quad V_{S1} = \phi V \Rightarrow V_{GS1} = \phi\ V \Rightarrow Q_1$ OFF



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

$\underline{V_f} = V_{cc}\frac{R_4}{R_2 + R_4} = \underline{5V}$

$I_{R2} = \frac{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}}{R_2} = \frac{1/3\,V_{cc}}{R_2} = 2mA$

$I_{R4} = \frac{2/3\,V_{cc}}{R_4} = \frac{4}{5000} = 0.8mA$

$I_{R1} = I_{R2} - I_{R4} = 1.2mA$

$\underline{V_{COR}} = \frac{2}{3}V_{cc} - R_1 I_{R1} = 4 - 1.2 = \underline{2.8V}$

$V_i < V_{cor} < V_f$ OK

$2V < 2.8V < 5V$ OK

$R_{VC} = R_1 + R_2 \| R_4 = 1833.\bar{3}\ \Omega$

$\tau_1 = R_{VC} \cdot C = 1.8\bar{3} \times 10^{-4}\ s$

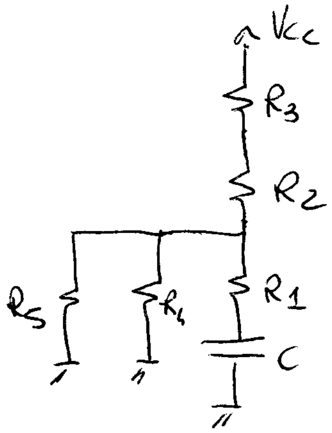
$T_1 = \tau_1 \ln\left[\frac{V_i - V_f}{V_{cor} - V_f}\right] = 5.686 \times 10^{-5}\ s$

$v_c(t) = V_f + (V_i - V_f)e^{-t/\tau_1} \Rightarrow V_{cor} = V_f + (V_i - V_f)e^{-T_1/\tau_1}$

$\Rightarrow e^{-\frac{T_1}{\tau_1}} = \frac{V_{cor} - V_f}{V - V_f} \Rightarrow e^{T_1/\tau_1} = \frac{V_i - V_f}{V_{cor} - V_f} \Rightarrow T_1 = \tau_1 \ln\left[\frac{V_i - V_f}{V_{cor} - V_f}\right]$

6

$Q=\phi \quad D=\phi \Rightarrow \begin{cases} V_{G2}=6V & V_{S2}=6V \Rightarrow V_{GS2}=\phi V > V_T \Rightarrow Q_2 \text{ OFF} \\ V_{G1}=6V & V_{S1}=\phi V \Rightarrow V_{GS1}=6V > V_T \Rightarrow Q_1 \text{ ON} \end{cases}$



$$\left.\begin{aligned} V_i &= V_{con1} = 2.8\,V \\ V_{for} &= V_{i2} = 2V \\ V_f &= V_{cc}\frac{R_4 \| R_5}{(R_4\|R_5)+R_2+R_3} = 0.6\,V \end{aligned}\right\} \begin{aligned} &V_i > V_{con} > V_f \\ &2.8V > 2V > 0.6V \\ &\text{OK} \end{aligned}$$

$$R_{VC} = R_1 + R_4 \| R_5 \| (R_2+R_3) = 3250\ \Omega$$

$$\tau_2 = C R_{VC2} = 3.25 \times 10^{-4}\ s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left[\frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f}\right] = 1.469 \times 10^{-4}\ s$$

$$T = T_1 + T_2 = 2.0376 \times 10^{-4}\ s$$

$$f = \frac{1}{T} = 4907.85\ Hz$$