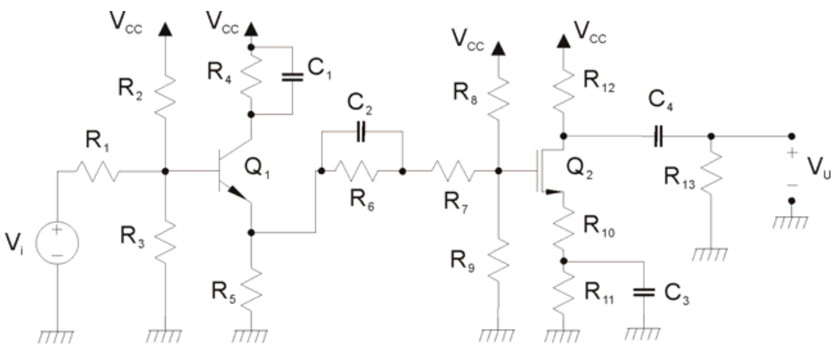
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 30 giugno 2014

Esercizio A

R_1 =10 kΩ	R_{10} = 50 Ω
R_3 = 500 k Ω	R_{11} = 2950 Ω
R_4 = 1.5 kΩ	R_{12} = 4 kΩ
R_5 = 10 kΩ	R_{13} = 10 kΩ
R_6 = 950 Ω	C_1= C_2=1 μF
R_7 = 50 Ω	C_3= 100 nF
R_8 = 18 k Ω	C_4= 1 nF
R_9 = 6 kΩ	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 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.

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 10 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2. (R: R_2 = 6646.66 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 = -2.016)
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} = f_{p1}; f_{z2} = 167.53 Hz; f_{p2} = 202.19 Hz; f_{z3} = 539.51 Hz; f_{p3} = 3433.23 Hz; f_{z4} = 0 Hz; f_{p4} = 11368.21 Hz)

Esercizio B

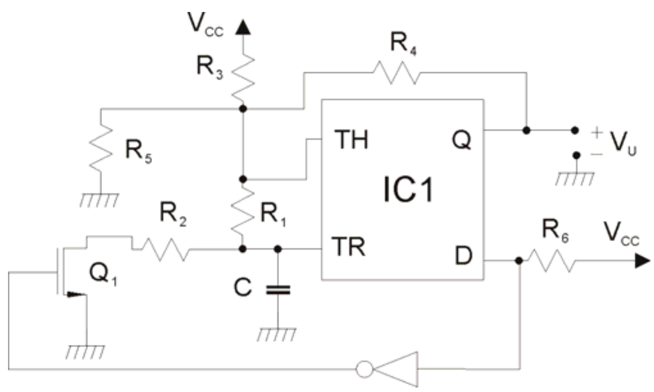
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

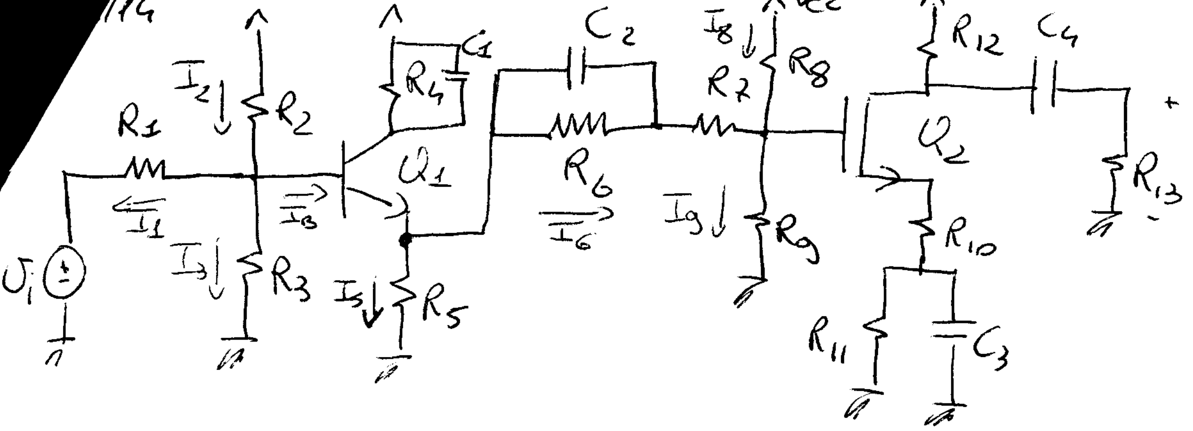
Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale *n* e pari a 5 per quello a canale *p*. Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento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

Esercizio C

R_1 =500 Ω	R_5 = 4 kΩ
R_2 = 500 Ω	R_6 = 4 kΩ
R_3 = 2 kΩ	C = 1 μF
R_4 = 2 kΩ	V_{CC} = 5 V



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a V_{CC} = 5V, Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T=1Ve l'inverter è ideale. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 787.63 Hz)



$R_1 = 10K\Omega$
$R_3 = 500K\Omega$
$R_4 = 1.5K\Omega$
$R_5 = 10K\Omega$
$R_6 = 950\Omega$
$R_7 = 50\Omega$
$R_8 = 18K\Omega$
$R_9 = 6K\Omega$
$R_{10} = 50\Omega$
$R_{11} = 2950\,\Omega$
$R_{12} = 4K\Omega$
$R_{13} = 10K\Omega$
$V_{CC} = 18V$
$C_1 = 1\mu F$
$C_2 = 1\mu F$
$C_3 = 100\,nF$
$C_4 = 1\,nF$
$K = 0.5\times10^{-3}\frac{A}{V^2}$

•) Det. R_2 in modo che $V_{D2} = 10V$

$I_{12} = \frac{V_{CC} - V_D}{R_{12}} = \frac{18-10}{4000} = 2\,mA = I_{10}$

$V_S = I_{10}(R_{10}+R_{11}) = 6V$

$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 1+2 = 3V$

$V_G = V_{GS} + V_S = 3+6 = 9V$

$I_8 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_8} = \frac{18-9}{18\times10^3} = 0.5\,mA$

$I_9 = \frac{V_G}{R_9} = \frac{9}{6000} = 1.5\,mA$

$I_6 = I_9 - I_8 = 1\,mA$

$V_{E1} = (R_6+R_7)I_6 + V_G = 10V$

$I_5 = \frac{V_{E1}}{R_5} = \frac{10}{10^4} = 1\,mA$

$I_E = I_5 + I_6 = 2\,mA \simeq I_C$

$V_C = V_{CC} - R_4 I_C = 18 - 3 = 15V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 15 - 10 = 5V$

$\left.\begin{array}{l} I_C = 2mA \\ V_{CE} = 5V \\ \underline{\underline{Q_1}} \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} \beta_F = 290 \Rightarrow I_B = 6.896\,\mu A \\ h_{ie} = 4800\,\Omega \\ h_{fe} = 300 \end{array}\right.$

$V_B = V_E + V_\gamma = 10.7V$

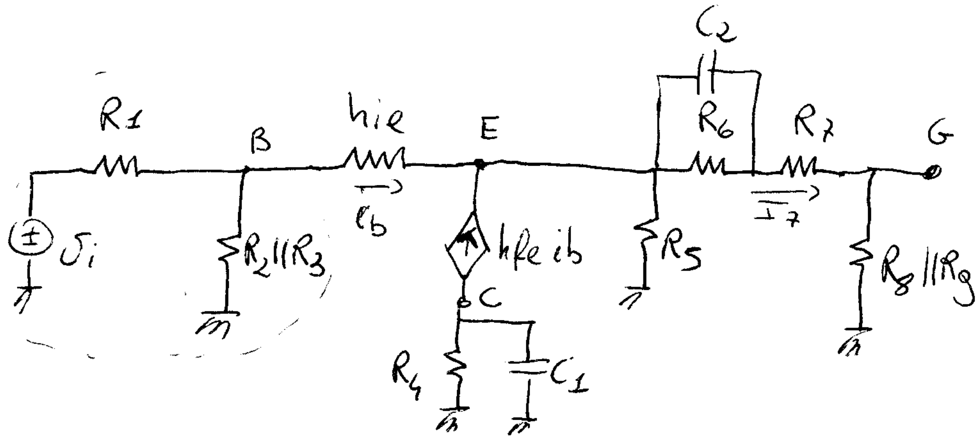
$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{10.7}{500\times10^3} = 21.4\,\mu A$

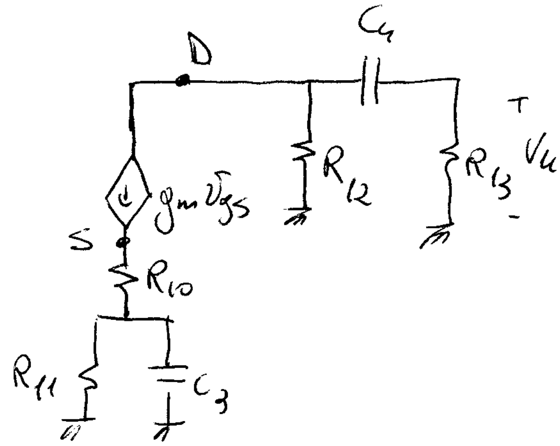
$I_1 = \frac{V_B}{R_1} = \frac{10.7}{10^4} = 1.07\,mA$

$I_2 = I_1 + I_3 + I_B = 1.0983\,mA \Rightarrow \underline{\underline{R_2}} = \frac{V_{CC} - V_B}{I_2} = \underline{\underline{6646.66\,\Omega}}$

(2)

$$Q_1 = \begin{cases} I_C = 2mA \\ V_{CE} = 5V \\ I_B = 6.896\,\mu A \\ h_{ie} = 4800\,\Omega \\ h_{fe} = 300 \end{cases} \qquad Q_2 \begin{cases} I_D = 2mA \\ V_{DS} = 4V > (V_{GS}-V_T) = 2V \\ V_{GS} = 3V \\ g_m = 2K(V_{GS}-V_T) = 2\times 10^{-3}\,\frac{A}{V} \end{cases}$$





•) CALCOLO DI A_{CB}

$$V_u = -g_m v_{gs} (R_{12} \| R_{13})$$

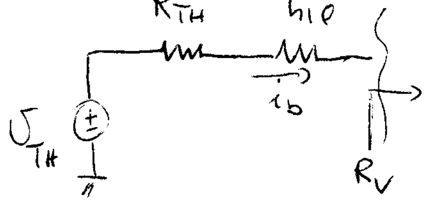
$$V_S = R_{10}\, g_m v_{gs}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = \frac{V_G}{1+(g_m R_{10})}$$

$$I_7 = (h_{fe}+1)\, i_b \frac{R_5}{R_5 + R_7 + (R_8 \| R_9)}$$

$$V_G = (R_8 \| R_9) I_7 = (R_8 \| R_9)(h_{fe}+1) \frac{R_5}{R_5 + R_7 + (R_8 \| R_9)}\, i_b$$

Per il calcolo di i_b si può usare eq. di Thevenin.



$$v_{TH} = v_i \frac{R_2 \| R_3}{R_1 + (R_2 \| R_3)}$$

$$R_{TH} = R_1 \| R_2 \| R_3$$

$$R_V = \{R_5 \| [R_7 + (R_8 \| R_9)]\}(h_{fe}+1)$$

$$i_b = \frac{v_{TH}}{R_{TH} + h_{ie} + R_V} = v_i \frac{R_2 \| R_3}{R_1 + (R_2 \| R_3)} \frac{1}{[R_1 \| R_2 \| R_3] + h_{ie} + \{R_5 \| [R_7 + R_8 \| R_9]\}(h_{fe}+1)}$$

$$A_{CB} = -\underbrace{\frac{g_m(R_{12}\|R_{13})}{1+g_m R_{10}}}_{5.1948}\;\underbrace{\frac{(R_8\|R_9)(h_{fe}+1)R_5}{R_5+R_7+R_8\|R_9}}_{330327.835}\cdot\underbrace{\frac{R_2\|R_3}{R_1+R_2\|R_3}}_{0.3961}\;\underbrace{\frac{1}{(R_1\|R_2\|R_3)+h_{ie}+(h_{fe}+1)\left[R_5\|(R_7+R_8\|R_9)\right]}}_{1.052595\times10^{-6}}$$

$$= -2.016$$

$$|A_{CB}|_{dB} = 6.09\ dB$$

) CALCOLO POLI E ZERI

1) $f_{z1} = f_{p1}$

2) $f_{z2} = \dfrac{1}{2\pi C_2 R_6} = 167.53\ Hz$

$f_{p2} = \dfrac{1}{2\pi C_2 R_{V2}} = 202.29\ Hz$

$$R_{V2} = \left\{\left[\left(\frac{h_{ie}+R_1\|R_2\|R_3}{(h_{fe}+1)}\right)\|R_5\right]+R_7+(R_8\|R_9)\right\}\|R_6 = 786.77\ \Omega$$

3) $f_{z3} = \dfrac{1}{2\pi C_3 R_{11}} = 539.51\ Hz$

$f_{p3} = \dfrac{1}{2\pi C_3 R_{V3}} = 3433.23\ Hz$

$$R_{V3} = \left(\frac{1}{g_m}+R_{10}\right)\|R_{11} = 463.57\ \Omega$$

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

$f_{p4} = \dfrac{1}{2\pi C_4 R_{V4}} = 11368.21\ Hz$

$$R_{V4} = R_{12}+R_{13} = 14\,K\Omega$$

ERCIZIO B

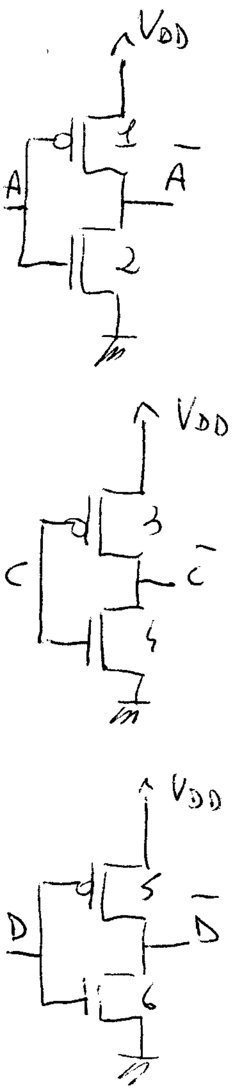
$$\overline{B+\bar C}\,(\bar A\bar B + D + \bar B\bar E) + \overline{\bar C E}\,(\bar A + BD + \bar E) + A\bar B =$$

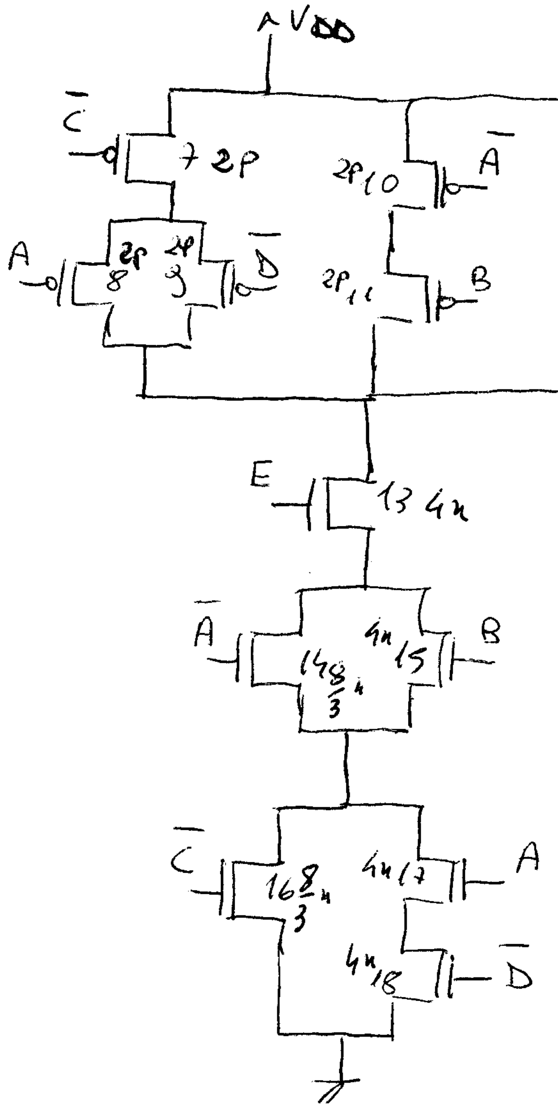
$$= \bar B C(\bar A\bar B + D + \bar B\bar E) + (C+\bar E)(\bar A + BD + \bar E) + A\bar B =$$

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

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

$$= C(\bar A + D) + A\bar B + \bar E$$ $\Rightarrow 12 + (3\times 2) = 18$ MOSFET





·) Q_1, Q_3, Q_5 : $p = 5$

·) Q_2, Q_4, Q_6 : $n = 2$

·) $Q_7 - Q_8$
$Q_7 - Q_9$
$Q_{10} - Q_{11}$ $\Big\}$ $\Rightarrow Q_7, Q_8, Q_9, Q_{10}, Q_{11}$: $2p = 10$

·) Q_{12} : $p = 5$

serie $Q_{13} - Q_{15} - Q_{17} - Q_{18}$: $4n$

) $Q_{13} - Q_{14} - Q_{16}$

$$\frac{\cancel{1}\,2}{X} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{2}{X} = \frac{3}{4n}$$

$$\frac{X}{2} = \frac{4}{3}n \Rightarrow X = \frac{8}{3}n = \frac{16}{3} \Rightarrow Q_{14}, Q_{16} : \frac{8}{3}n = \frac{16}{3}$$

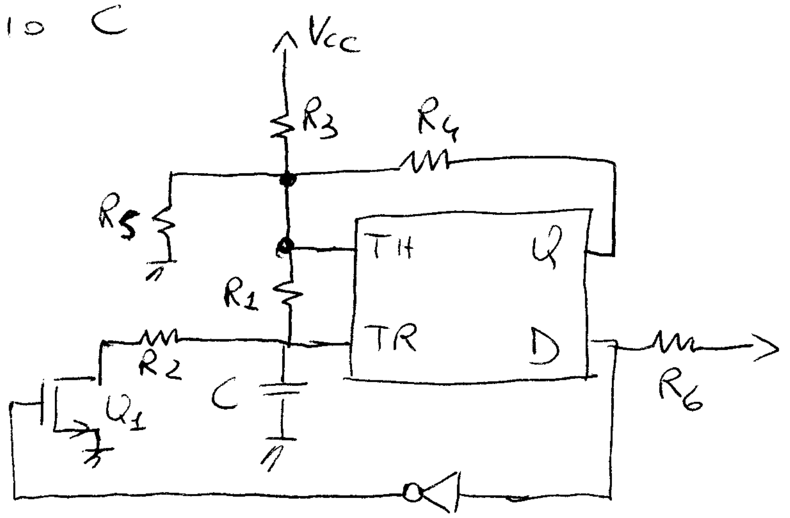
Questa è la scelta che porta ad area minima

L'altra soluzione è:

$Q_{13} - Q_{15} - Q_{16} \Rightarrow Q_{13} : 2n = 4$ $\qquad Q_{13} + Q_{14} = 12 > \frac{32}{3}$

$Q_{13} - Q_{14} - Q_{16} \Rightarrow Q_{14} : 4n = 8$

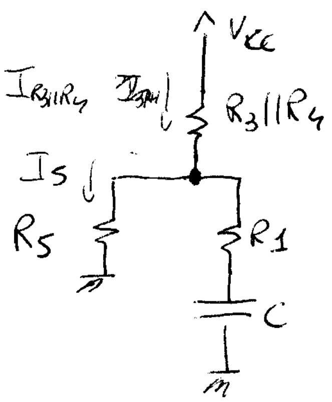
ESERCIZIO C



$R_1 = 500\,\Omega$
$R_2 = 500\,\Omega$
$R_3 = 2K\Omega$
$R_4 = 2K\Omega$
$R_5 = 4K\Omega$
$R_6 = 4K\Omega$
$C = 1\mu F$

1ª FASE) $Q = 1$

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



$$V_i = \frac{1}{3}V_{cc} = 1.\bar{6}\ V$$

$$V_f = \frac{V_{cc}\ R_5}{R_5 + R_3\|R_4} = 4V$$

$$I_{R5} = \frac{V_{TH}}{R_5} = \frac{2/3\,V_{cc}}{R_5} = 8.\bar{3} \times 10^{-4} A$$

$$I_{R_3\|R_4} = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_3\|R_4} = \frac{1/3\,V_{cc}}{R_3\|R_4} = 1.\bar{6}\ mA$$

$$I_{R1} = I_{R_3\|R_4} - I_{R5} = 8.\bar{3} \times 10^{-4} A$$

$V_{con} = \frac{2}{3}V_{cc} - R_1 I_{R1} = 2.91\bar{6}\ V$

$V_i < V_{con} < V_f$

$1.\bar{6}V < 2.91\bar{6}V < 4V$ OK

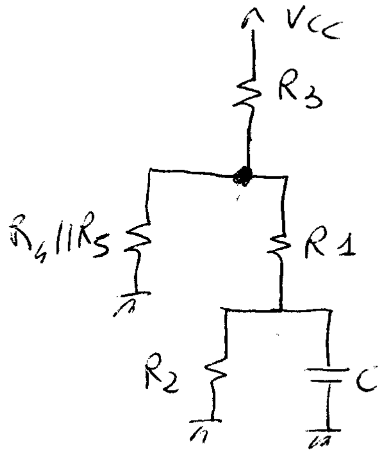
$\tau_1 = C R_{V1} = 1.3\ ms$

$R_{V1} = R_1 + R_3 \| R_4 \| R_5 = 1300\ \Omega$

$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f} = 9.974 \times 10^{-4}\ s$$

2ª FASE) $Q = \phi$

$D = \phi \Rightarrow V_G = V_{cc} \quad V_S = \phi V \Rightarrow V_{GS} = V_{cc} > V_T \Rightarrow Q_1$ ON



$V_i = 2.91\bar{6}\ V$

$V_{con} = 1.\bar{6}\ V$

$$V_{TH} = \frac{V_{cc}\ R_4 \| R_5}{R_3 + R_4 \| R_5} = 2V$$

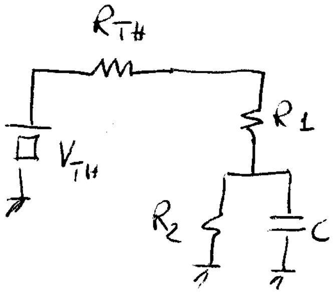
$R_{TH} = R_3 \| R_4 \| R_5 = 800\ \Omega$

$V_i > V_{con} > V_f$

$2.91\bar{6}V > 2V > 0.\bar{5}V$

$$V_f = V_{TH} \frac{R_2}{R_{TH} + R_1 + R_2} = 0.\bar{5}\ V$$

$\Downarrow$



$\tau_2 = C R_{V2} = 3.6\bar{1} \times 10^{-4}\ s$

$R_{V2} = R_2 \| [R_1 + \cancel{R_{34}} R_3 \| R_4 \| R_5] =$

$= R_2 \| [R_1 + R_{TH}] = 361.\bar{1}\ \Omega$

$$T_2 = \tau_2 \ln \frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f} = 2.7219 \times 10^{-4}\ s$$

$T = T_1 + T_2 = 1.2696 \times 10^{-3}\ s$

$$f = \frac{1}{T} = 787.63\ Hz$$