

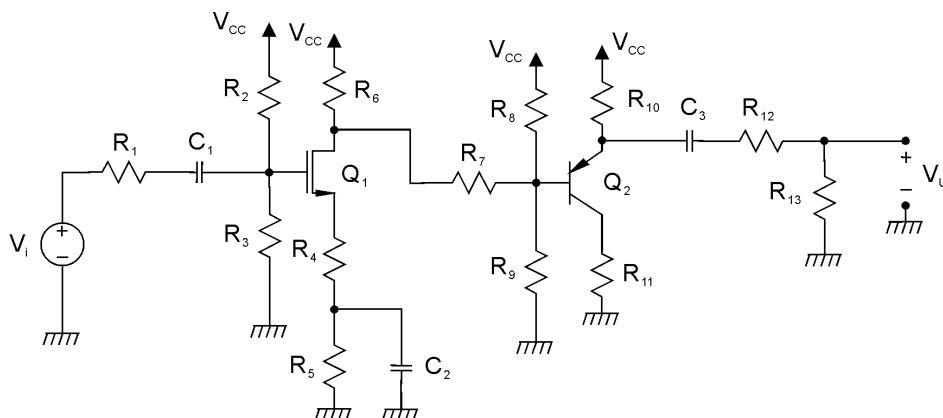
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 11 gennaio 2018

Esercizio A

$R_1 = 100 \, \Omega$	$R_{10} = 3 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 100 \, \text{k}\Omega$	$R_{11} = 3.5 \, \text{k}\Omega$
$R_4 = 100 \, \Omega$	$R_{12} = 500 \, \Omega$
$R_5 = 2.4 \, \text{k}\Omega$	$R_{13} = 20 \, \text{k}\Omega$
$R_6 = 2.48 \, \text{k}\Omega$	$C_1 = 470 \, \text{nF}$
$R_7 = 1 \, \text{k}\Omega$	$C_2 = 33 \, \text{nF}$
$R_8 = 13.4 \, \text{k}\Omega$	$C_3 = 68 \, \text{nF}$
$R_9 = 11.3 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \, \text{V}$



Q_1 è un transistor MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_{DS} = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 0.5 \, \text{mA/V}^2$ e $V_T = 1 \, \text{V}$. Q_2 è un transistor BJT BC179A resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$; per gli altri parametri forniti dal costruttore si utilizzino i valori tipici o, in loro assenza, i valori massimi;

Con riferimento all'amplificatore in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R_3 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sull'emettitore di Q_2 sia 12 V; si ipotizzi di trascurare la corrente di base di Q_2 rispetto alla corrente che scorre nella resistenza R_8 . Determinare, inoltre, il punto di riposo dei transistori e verificare la saturazione di Q_1 . (R: $R_3 = 80 \, \text{k}\Omega$)
- 2) Determinare l'espressione e il valore di V_U/V_i alle frequenze per le quali C_1 , C_2 , e C_3 possono essere considerati dei corti circuiti. (R: $V_U/V_i = -2.55$)
- 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: $f_{z1}=0 \, \text{Hz}$, $f_{p1}=7.6 \, \text{Hz}$, $f_{z2}=2009.53 \, \text{Hz}$, $f_{p2}=10047.66 \, \text{Hz}$, $f_{z3}=0 \, \text{Hz}$, $f_{p3}=114.067 \, \text{Hz}$)

Esercizio B

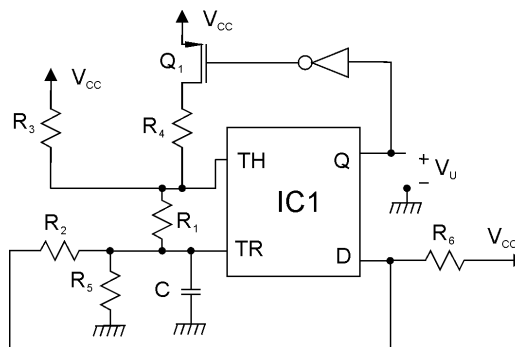
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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. (R: $N = 20$)

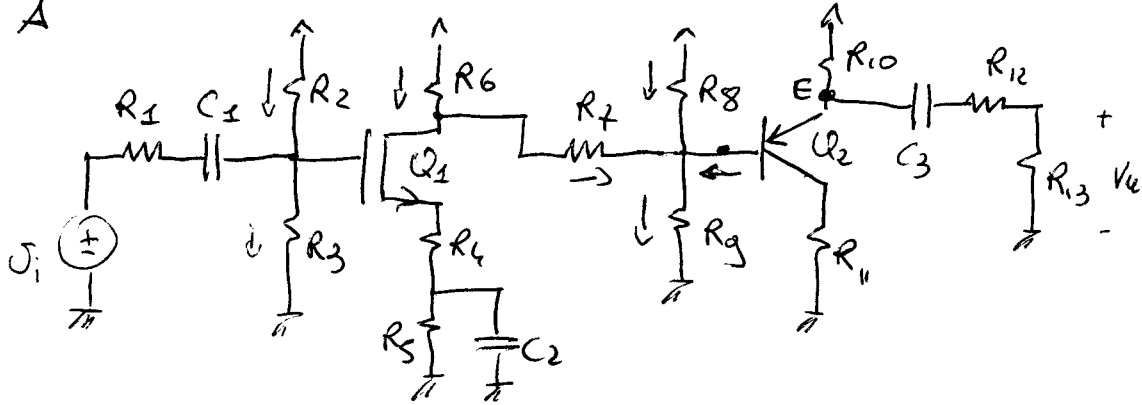
Esercizio C

$R_1 = 300 \, \Omega$	$R_5 = 3 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 200 \, \Omega$	$R_6 = 700 \, \Omega$
$R_3 = 6 \, \text{k}\Omega$	$C = 680 \, \text{nF}$
$R_4 = 2 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 6 \, \text{V}$



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \, \text{V}$; Q_1 ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = -1 \, \text{V}$; l'inverter è ideale. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: $f = 2967.17 \, \text{Hz}$)

S. A



$$R_1 = 100 \Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_4 = 100 \Omega$$

$$R_5 = 2.4 \text{ K}\Omega$$

$$R_6 = 2.48 \text{ K}\Omega$$

$$R_7 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_8 = 13.4 \text{ K}\Omega$$

$$R_9 = 11.3 \text{ K}\Omega$$

$$R_{10} = 3 \text{ K}\Omega$$

$$R_{11} = 3.5 \text{ K}\Omega$$

$$R_{12} = 500 \Omega$$

$$R_{13} = 20 \text{ K}\Omega$$

$$C_1 = 470 \text{ nF}$$

$$C_2 = 33 \text{ nF}$$

$$C_3 = 68 \text{ nF}$$

$$V_{cc} = 18 \text{ V}$$

$$K = 0.5 \text{ mA/V}^2$$

1) Det. R_3 per $V_E = 12 \text{ V}$

$$I_{10} = I_E = \frac{V_{cc} - V_E}{R_{10}} = 2 \text{ mA}$$

$$\text{hp: } I_B \ll I_C \Rightarrow I_C \approx I_E$$

$$V_C = R_{11} I_E = 7 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 7 - 12 = -5 \text{ V}$$

Dalle caratteristiche si vede che $I_B \approx +10 \mu\text{A} \Rightarrow \text{hp verificato}$

$$V_B = V_E - V_{gs} = 11.3 \text{ V}$$

$$I_9 = \frac{V_B}{R_9} = 1 \text{ mA}$$

$$I_8 = \frac{V_{cc} - V_B}{R_8} = 0.5 \text{ mA}$$

$$I_7 = I_9 - I_8 - I_B \approx I_9 - I_8 = 0.5 \text{ mA}$$

$$V_D = V_B + R_7 I_7 = 11.8 \text{ V}$$

$$I_6 = \frac{V_{cc} - V_D}{R_6} = 2.5 \text{ mA}$$

$$I_D = I_6 - I_7 = 2 \text{ mA}$$

$$I_6 = \phi \Rightarrow I_S = I_D = 2 \text{ mA}$$

$$V_S = I_S (R_4 + R_5) = 5 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 11.8 - 5 = 6.8 \text{ V}$$

$$\text{hp: } Q_1 \text{ SATURO} \Rightarrow I_D = K (V_{GS} - V_T)^2$$

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

mos

$$Q_2: \begin{cases} I_C = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = -5 \text{ V} \\ h_{fe} = 260 \\ h_{ie} = 2.7 \text{ K}\Omega \end{cases}$$

$$Q_1: \begin{cases} I_D = 2 \text{ mA} \\ V_{DS} = 6.8 \text{ V} \\ V_{GS} = 3 \text{ V} \\ g_m = 2 \text{ mA/V} \end{cases}$$

$$DS = 6.8 > (V_{GS} - V_T) = 2V \Rightarrow \text{hp verificata}$$

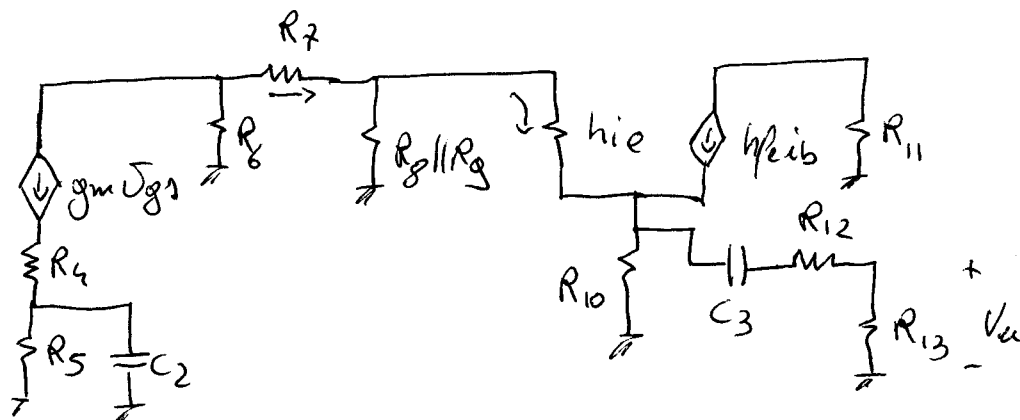
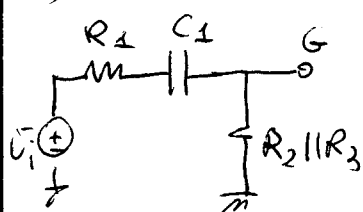
$$g_m = 2k(V_{GS} - V_T) = 2 \text{ mA/V}$$

$$V_G = V_{GS} + V_S = 3 + 5 = 8V$$

$$I_2 = I_3 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_2} = 0.1 \text{ mA}$$

$$R_3 = \frac{V_G}{I_3} = \underline{\underline{80 \text{ k}\Omega}}$$

2) A_{CB}



$$V_u = (h_{fe} + 1) i_b \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{12} + R_{13}} \cdot R_{13}$$

$$R_v = [R_{10} \parallel (R_{12} + R_{13})] (h_{fe} + 1) = 683042.55 \Omega$$

$$i_b = i_7 \frac{R_8 \parallel R_9}{(R_8 \parallel R_9) + h_{ie} + [R_{10} \parallel (R_{12} + R_{13})] (h_{fe} + 1)} = i_7 \frac{R_8 \parallel R_9}{(R_8 \parallel R_9) + h_{ie} + R_v}$$

$$i_7 = (-g_m V_{gs}) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + [R_8 \parallel R_9] (h_{ie} + R_v)}$$

$$V_s = g_m V_{gs} R_4$$

$$V_{gs} = V_g - V_s = V_g - g_m V_{gs} R_4 = \frac{V_g}{1 + g_m R_4}$$

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

$$\frac{V_u}{V_i} = (h_{fe} + 1) \frac{R_{10} R_{13}}{R_{10} + R_{12} + R_{13}} \frac{R_8 \parallel R_9}{R_8 \parallel R_9 + h_{ie} + R_v} (-g_m) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8 \parallel R_9 (h_{ie} + R_v)} \frac{1}{1 + g_m R_4} \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3}$$

$$= -2.548 \quad (8.12 \text{ dB})$$

$$C_1: \underline{f_{z1}} = \phi \text{ Hz}$$

$$\underline{f_{p1}} = \frac{1}{2\pi R_{v1} C_1} = \underline{7.602 \text{ Hz}}$$

$$R_{v1} = R_1 + R_2 \parallel R_3 = 44544.4 \text{ } \Omega$$

$$C_2: \underline{f_{z2}} = \frac{1}{2\pi R_5 C_2} = \underline{2009.53 \text{ Hz}}$$

$$\underline{f_{p2}} = \frac{1}{2\pi R_{v2} C_2} = \underline{10047.66 \text{ Hz}}$$

$$R_{v2} = \left(R_4 + \frac{1}{g_m} \right) \parallel R_5 = 480 \text{ } \Omega$$

$$C_3: \underline{f_{z3}} = \phi \text{ Hz}$$

$$\underline{f_{p3}} = \frac{1}{2\pi R_{v3} C_3} = \underline{114.067 \text{ Hz}}$$

$$R_{v3} = R_{12} + R_{13} + R_{10} \parallel \left\{ \frac{\left[(R_6 + R_7) \parallel R_8 \parallel R_9 \right] + h_{ie}}{(h_{fe} + 1)} \right\} = 20518.73 \text{ } \Omega$$

Per calcolare il plateau precedente al centro banda si può usare la formula approssimata per i sistemi a angoli zero e singoli poli

$$A_0 = A_{co} \frac{f_{z2}}{f_{p1}} = 0.5096 \quad |A_0| = -5.85 \text{ dB}$$

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

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

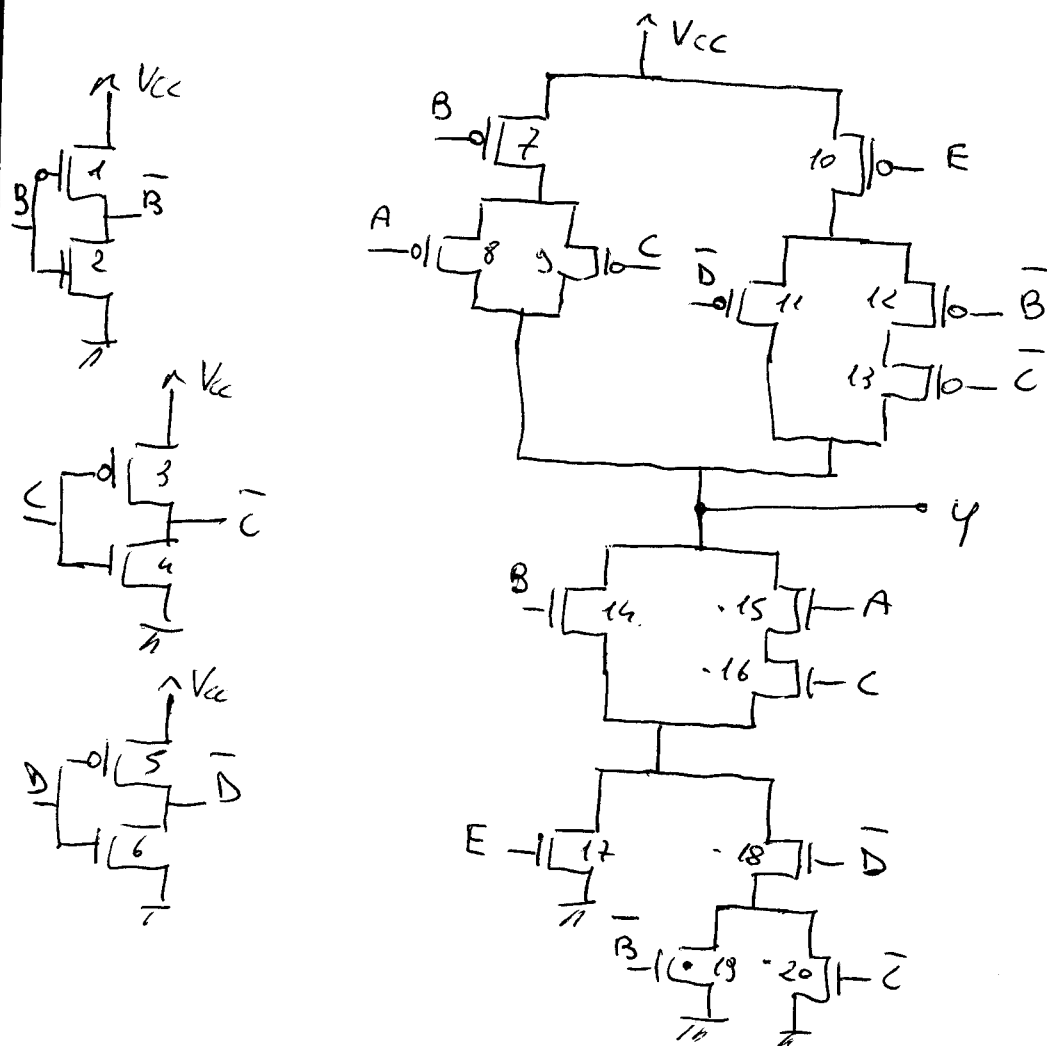
$$= \overline{A} \overline{B} + \overline{A} D \overline{E} + \overline{B} \overline{C} + \overline{C} D \overline{E} + AD \overline{E} + BC \overline{E} =$$

$$= \overline{A} \overline{B} + D \overline{E} + \overline{B} \overline{C} + \overline{C} D \overline{E} + BC \overline{E} =$$

$$= \overline{A} \overline{B} + D \overline{E} + \overline{B} \overline{C} + BC \overline{E} =$$

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

$$N_{MOS} = 14 + 6 = 20$$



1) INVERTER: $\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5} = p = 5 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{2,4,6} = n = 2$

2) PUN

-) $U_{10} - U_{12} - U_{13} \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p = 15 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{10,12,13} = 15$

-) $U_{10} - U_{11} \quad \frac{1}{y} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \Rightarrow \frac{1}{y} = \frac{2}{3p} \Rightarrow y = 1.5p = 7.5 \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{11} = 7.5$

$Q_7 - Q_8$ oppure $Q_7 - Q_9$

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

•) PDM

-) $Q_{15} - Q_{16} - Q_{18} - Q_{20}$ non è possibile

$$-) Q_{15} - Q_{16} - Q_{18} - Q_{19} \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 4n = 8$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{15,16,18,19} = 8$$

-) $Q_{14} - Q_{18} - Q_{20}$

$$\frac{1}{y} + \frac{1}{y} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{2}{y} = \frac{3}{4n} \Rightarrow y = \frac{8n}{3} = \frac{16}{3}$$

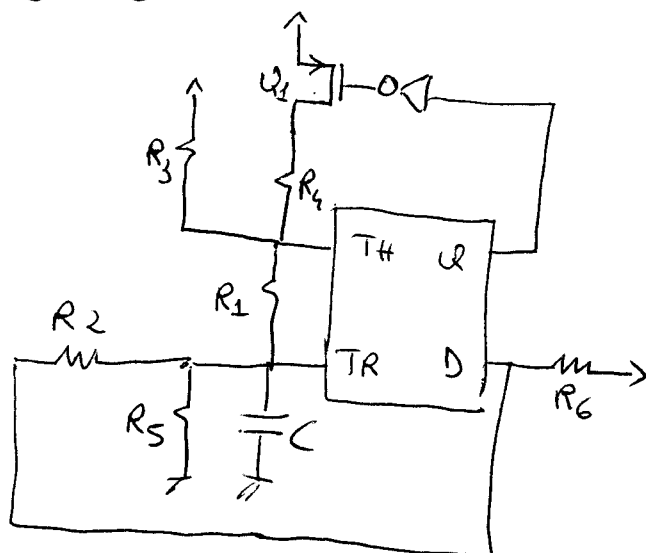
$$\left(\frac{W}{L}\right)_{14,20} = \frac{16}{3}$$

-) $Q_{15} - Q_{16} - Q_{17}$

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

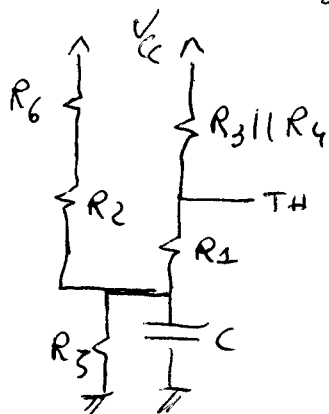
$$\left(\frac{W}{L}\right)_{17} = 4$$

-) $Q_{14} - Q_{18} - Q_{19}$ non è possibile



$$\begin{aligned} R_1 &= 300 \Omega \\ R_2 &= 200 \Omega \\ R_3 &= 6 \text{ k}\Omega \\ R_4 &= 2 \text{ k}\Omega \\ R_5 &= \cancel{1000} 3 \text{ k}\Omega \\ R_6 &= 700 \Omega \\ C &= 680 \text{ nF} \\ V_{CC} &= 6 \text{ V} \end{aligned}$$

1) $U_1 = 1$
 $D = HI$ } $\Rightarrow U_{GS1} = 0 \text{ V} \Rightarrow V_{GS1} = -6 \text{ V} < V_T \Rightarrow U_1 \text{ ON}$
 $V_{S1} = 6 \text{ V}$



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

$$V_f = V_{CC} \frac{R_5}{R_5 + [(R_2 + R_6) \parallel (R_1 + R_3 \parallel R_4)]} = 5 \text{ V}$$

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

$$I_{TH} = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_3 \parallel R_4} = 1.3 \text{ mA}$$

$$V_{COR} = V_{TH} - R_1 I_{TH} = 3.6 \text{ V}$$

$$V_i < V_{COR} < V_f$$

$$2 < 3.6 < 5$$

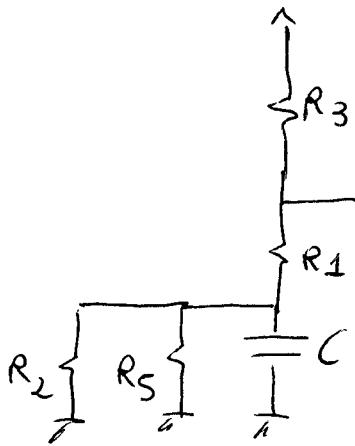
$$R_{VC} = R_5 \parallel [(R_2 + R_6) \parallel (R_1 + R_3 \parallel R_4)] = 500 \Omega$$

$$\tau_1 = R_{VC} C = 340 \mu\text{s}$$

$$T_1 = \tau_1 \ln\left(\frac{V_i - V_f}{V_{COR} - V_f}\right) = 259.1276 \mu\text{s}$$

$$Q = \phi \quad U_{G1} = 6V \quad \rightarrow V_{GS1} = \phi V > V_T \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$$

$$D = \phi \quad V_{S1} = 6V$$



$$V_{i2} = 3.6V$$

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

$$V_{con2} = 2V$$

$$V_{f2} = V_{cc} \frac{R_2 \parallel R_5}{(R_2 \parallel R_5) + R_1 + R_3} = 0.1734V$$

$$R_{v2} = R_2 \parallel R_5 \parallel (R_1 + R_3) = 182.081 \Omega$$

$$\tau_2 = CR_{v2} = 123.815 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left(\frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{con2} - V_{f2}} \right) = 77.894 \mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 337.0215 \mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{\underline{2967.17 \text{ Hz}}}$$