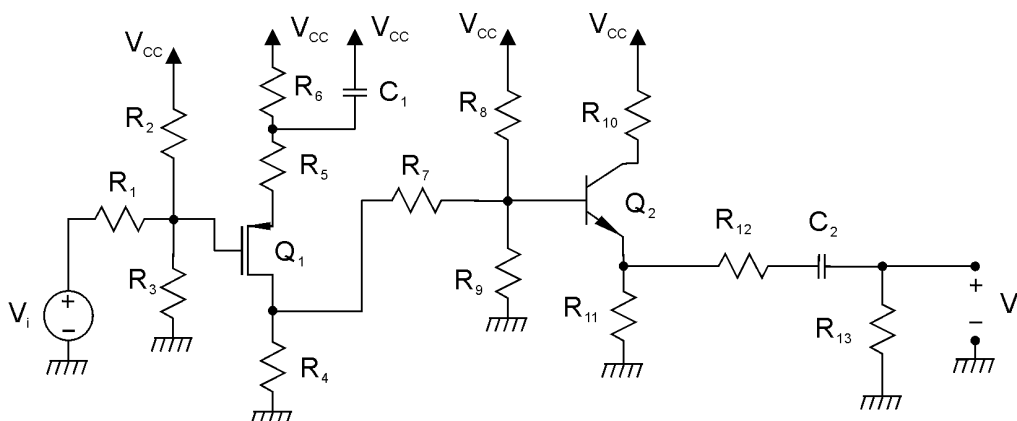


ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 04 luglio 2022

Esercizio A



$R_1 = 5 \text{ k}\Omega$	$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$	$R_3 = 20 \text{ k}\Omega$	$R_4 = 10 \text{ k}\Omega$	$R_5 = 50 \text{ }\Omega$	$R_7 = 500 \text{ }\Omega$	$R_8 = 83 \text{ k}\Omega$
$R_9 = 250 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 2 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 4.5 \text{ k}\Omega$	$R_{12} = 100 \text{ }\Omega$	$R_{13} = 20 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$	

Q_1 è un transistor MOS a canale p resistivo con $V_T = -1 \text{ V}$ e con 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 14 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 e C_2 possono essere considerati dei corto circuiti.

Esercizio B

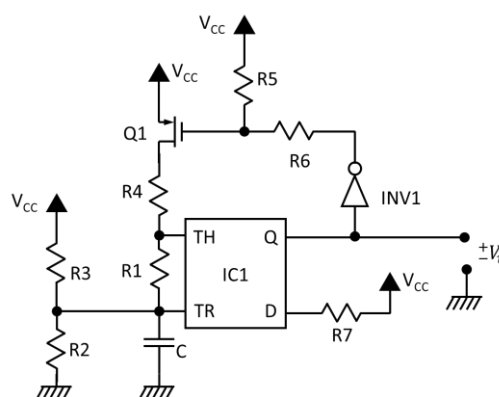
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = A \cdot (\bar{B} + C\bar{D}) + \bar{A} \cdot B \cdot D$$

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.

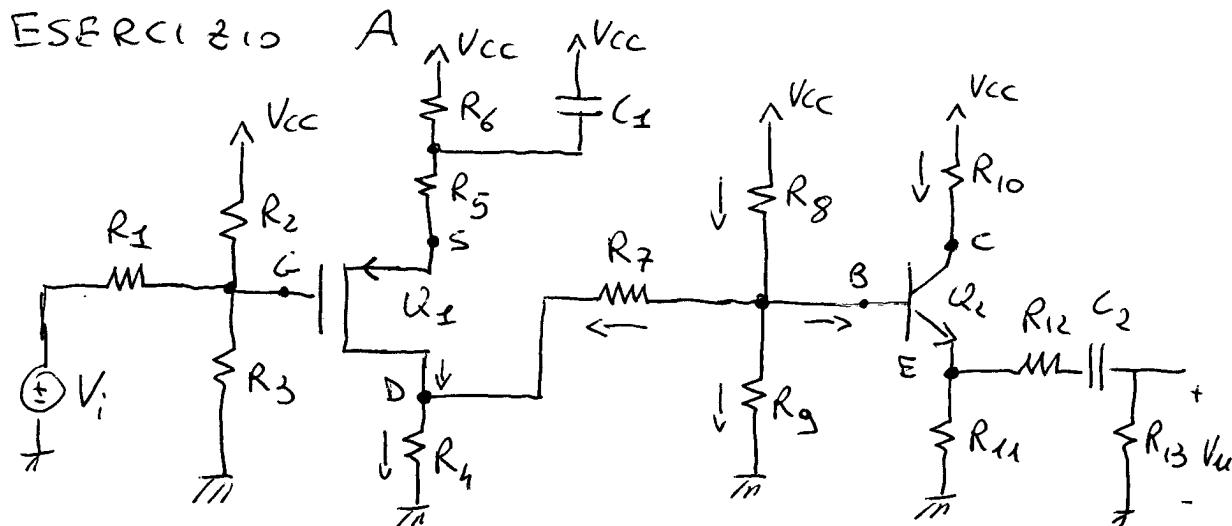
Esercizio C

$R_1 = 1200 \text{ }\Omega$	$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 3 \text{ k}\Omega$	$R_7 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 12 \text{ k}\Omega$	$C = 20 \text{ nF}$
$R_4 = 2 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 6 \text{ V}$
$R_5 = 1 \text{ k}\Omega$	



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \text{ V}$; Q_1 ha una $R_{on} = 0$ e $V_{Tp} = -1$, l'inverter è ideale. Verificare che il circuito si comporta come un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.

ESERCIZIO



$$\begin{aligned} R_1 &= 5k\Omega \\ R_2 &= 2k\Omega \\ R_3 &= 20k\Omega \\ R_4 &= 30k\Omega \\ R_5 &= 50\Omega \\ R_7 &= 500\Omega \\ R_8 &= 83k\Omega \\ R_9 &= 250k\Omega \\ R_{10} &= 2k\Omega \\ R_{11} &= 4.5k\Omega \\ R_{12} &= 100\Omega \\ R_{13} &= 20k\Omega \\ V_{CC} &= 18V \end{aligned}$$

1) DETERMINARE VALORE R_6 PER $V_C = 14V$

$$I_{S0} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_{S0}} = 2mA = I_C$$

$$\text{hp } Q_2: I_B \ll I_C \Rightarrow I_E \approx I_C$$

$$V_E = R_{S1} I_E \approx 9V$$

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

SIAMO NEL PUNTO DI LAVORO $V_{CE} = 5V$ e $I_C = 2mA$ PER IL QUALE IL COSTRUTTORE CI FORNISCE I SEGUENTI PARAMETRI:

$$h_{FE} = 230; h_{fe} = 300; h_{ie} = 4800\Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.89655\mu A$$

$$\text{VERIFICA IPOTESI } Q_2: I_B \stackrel{?}{\ll} I_C \quad 6.89655\mu A \ll 2mA \quad \underline{OK}$$

$$V_B = V_E + V_f = 9.7V$$

$$I_8 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_8} = 0.1mA$$

$$I_9 = \frac{V_B}{R_9} = 38.8\mu A$$

$$I_7 = I_8 - I_9 - I_B = 54.3\mu A$$

$$V_D = V_B - R_7 I_7 = 9.673V$$

$$I_4 = \frac{V_D}{R_4} = 0.9673 \text{ mA}$$

$$I_D = I_4 - I_7 = 0.913 \text{ mA}$$

hp Q_1 IN SATURAZIONE $\Rightarrow I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$

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

SCELGO LA SOLUZIONE CON $+$ IN QUANTO Q_1 E' UN PMOS E QUINDI COME
SOLO SE $V_{GS} \leq V_T$

$$V_{GS} = V_T - \sqrt{\frac{I_D}{K}} = -1 - 1.351 = -2.351 \text{ V}$$

$$I_G = 0 \Rightarrow V_G = V_{CC} \frac{R_1 \parallel R_3}{(R_1 \parallel R_3) + R_2} = 12 \text{ V}$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 12 - (-2.351) = 14.351 \text{ V}$$

~~VERIFICA~~ $V_{DS} = V_D - V_S = 9.673 - 14.351 = -4.678 \text{ V}$

VERIFICA IPOTESI DI SATURAZIONE: $V_{DS} \stackrel{?}{\leq} V_{GS} - V_T$
 $-4.678 \text{ V} < [-2.351 - (-1)] = -1.351$
OK

$$g_m = 2K |V_{GS} - V_T| = 1.351 \times 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}}$$

$$V_S = V_{CC} - (R_5 + R_6) I_S$$

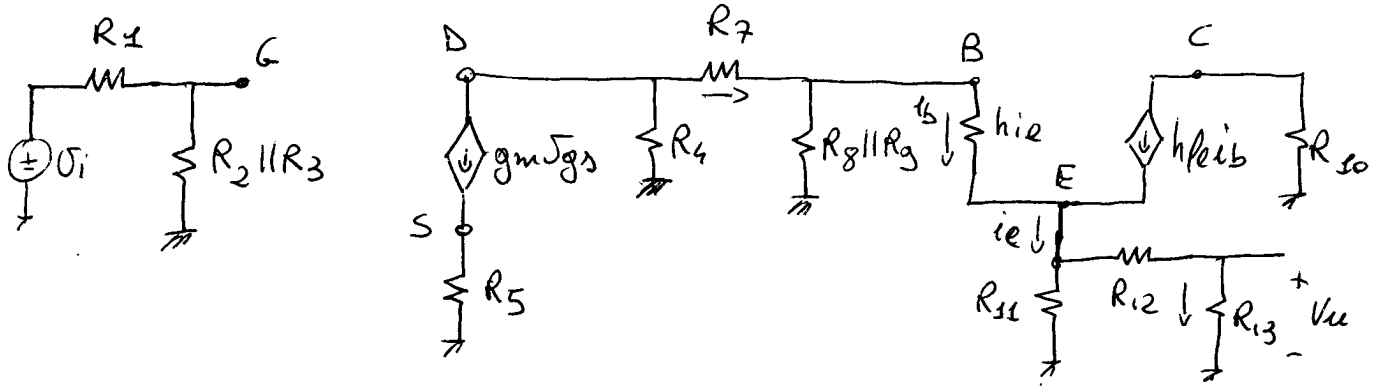
$$I_G = 0 \Rightarrow I_S = I_D$$

$$R_6 = \frac{V_{CC} - V_S}{I_D} - R_5 = \underline{\underline{3946.7 \Omega}}$$

$$Q_1: \begin{cases} I_D = 0.913 \text{ mA} \\ V_{DS} = -4.678 \text{ V} \\ V_{GS} = -2.351 \text{ V} \\ g_m = 1.351 \times 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}} \end{cases}$$

$$Q_2: \begin{cases} I_C = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = 5 \text{ V} \\ I_B = 6.88655 \mu\text{A} \\ h_{FE} = 290 \\ h_{fe} = 300 \\ h_{ie} = 4800 \Omega \end{cases}$$

2) DETERMINARE ESPRESSIONE E VALORE V_u/V_i A CENTRO BANDA (



$$\left. \begin{aligned} V_u &= R_{13} i_{13} \\ i_{13} &= i_e \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{12} + R_{13}} \\ i_e &= (h_{fe} + 1) i_b \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_u = (h_{fe} + 1) i_b \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{12} + R_{13}} R_{13}$$

$$i_b = i_7 \frac{R_8 \parallel R_9}{(R_8 \parallel R_9) + h_{ie} + [R_{11} \parallel (R_{12} + R_{13})](h_{fe} + 1)}$$

$$i_7 = (-g_m V_{gs}) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + R_8 \parallel R_9 \parallel \{h_{ie} + [R_{11} \parallel (R_{12} + R_{13})](h_{fe} + 1)\}}$$

$$V_s = g_m V_{gs} R_5$$

$$V_{gs} = V_g - V_s = V_g - g_m V_{gs} R_5 \Rightarrow V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m R_5}$$

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

$$\frac{V_u}{V_i} = (h_{fe} + 1) \frac{R_{11} R_{13}}{R_{11} + R_{12} + R_{13}} \cdot \frac{R_8 \parallel R_9}{R_8 \parallel R_9 + h_{ie} + [R_{11} \parallel (R_{12} + R_{13})](h_{fe} + 1)} (-g_m) \cdot$$

$$\cdot \frac{R_4}{R_4 + R_7 + R_8 \parallel R_9 \parallel \{h_{ie} + [R_{11} \parallel (R_{12} + R_{13})](h_{fe} + 1)\}} \cdot \frac{1}{1 + g_m R_5} \cdot \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} =$$

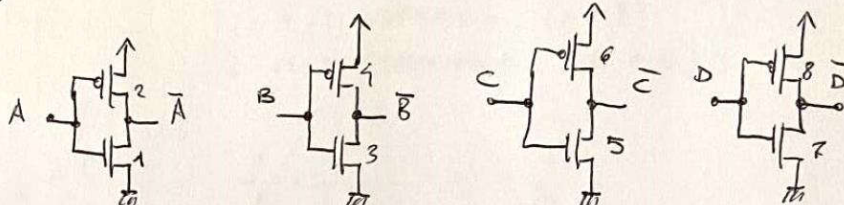
$$= -2.838$$

~~RECAPITOLANDO~~

$$Y = A \cdot (\bar{B} + C\bar{D}) + \bar{A}BD$$

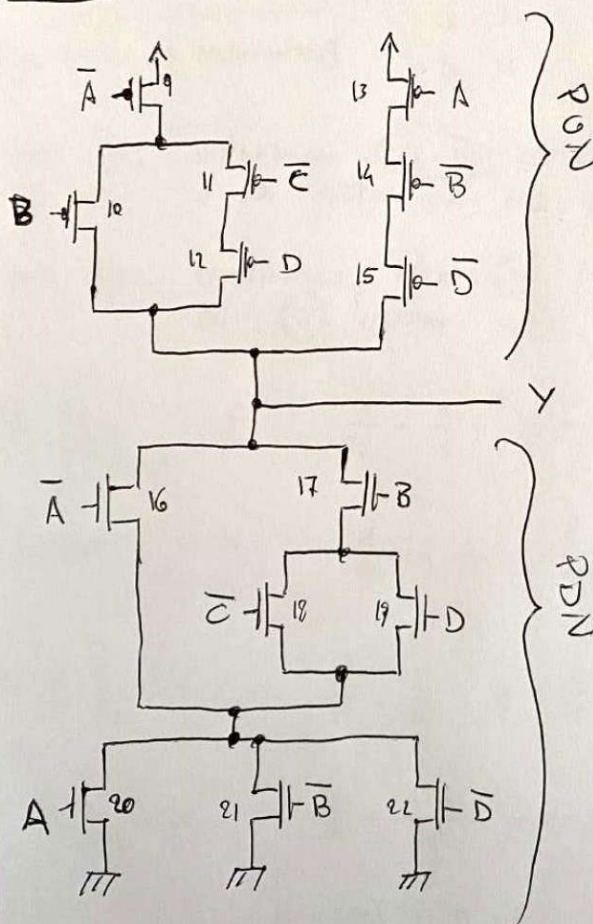
$$N = 2 \times (7 + 4) = 22$$

INVERTOR :



$$\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5,7} = M = 2, \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{2,4,6,8} = P = 5$$

SCHEMATA



Dim. RUN:

FORCORR DA 3 PHOS:

$$\frac{9-11-12}{13-14-15} \left. \vphantom{\frac{9-11-12}{13-14-15}} \right\} \text{POSSIBILI}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{9,11,12,13,14,15} = x$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{3}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow$$

$$\hookrightarrow x = \left(\frac{W}{L}\right)_{9,11,12,13,14,15} = 3p = 15$$

FORCORR DA 2 PHOS:

$$\frac{9-10}{18-19} \text{ POSSIBILI}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{10} = j \Rightarrow \frac{1}{j} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} = \frac{3}{3p}$$

$$\frac{1}{j} = \frac{2}{3p} \Rightarrow j = \left(\frac{W}{L}\right)_{10} = \frac{3p}{2} = 7.5$$

Dim. PDN :

PERCORSO DA 3 ANNI:

17-18-20 POSSIBILI
 17-18-21 IMPOSSIBILI (B e B)
 17-18-22 POSSIBILI
 17-19-20 ~~POSSIBILI~~ ~~IMPOSSIBILI~~
 17-19-21 IMPOSSIBILI (B e B)
 17-19-22 IMPOSSIBILI (D e D)

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{17,18,20,21,19} = t$$

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{t} + \frac{1}{t} = \frac{3}{t} = \frac{1}{m}$$

$$L \rightarrow t = \left(\frac{W}{L}\right)_{17,18,19,20,22} = 3m = 6$$

PERCORSO DA 2 ANNI:

[16 e 21 DA BRIGANDOMARE]

16-20 impossibile (A e not(A))
 16-21 possibile
 16-22 possibile

OPZ. (A) : DIMENSIONI 16-21 UGUALI USANDO IL PERCORSO 16-21
 e POI VERIFICO LA RON DI ~~16-20~~ 16-22

OPZ. (B) : DIMENSIONI PRIMA 16 USANDO ~~16-20~~ (16-22) e
 POI 21 USANDO 16-21

$$A: \left(\frac{W}{L}\right)_{16,21} = f \quad \frac{1}{f} + \frac{1}{f} = \frac{2}{f} = \frac{1}{m} \rightarrow f = \left(\frac{W}{L}\right)_{16,21} = 2m = 4$$

Verifico ~~16-20~~ (16-22) $\frac{1}{2m} + \frac{1}{3m} = \frac{5}{6m} < \frac{1}{m}$ CONDIZIONE SU RON ASPETTATA.

$$B: \left(\frac{W}{L}\right)_{16} = h \quad \frac{1}{h} + \frac{1}{3m} = \frac{1}{m} = \frac{3}{3m} \rightarrow \frac{1}{h} = \frac{2}{3m} \rightarrow h = \left(\frac{W}{L}\right)_{16} = \frac{3m}{2} = 3$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{21} = k \quad \frac{1}{k} + \frac{1}{\frac{3m}{2}} = \frac{1}{k} + \frac{2}{3m} = \frac{1}{m} = \frac{3}{3m} \rightarrow \frac{1}{k} = \frac{1}{3m}$$

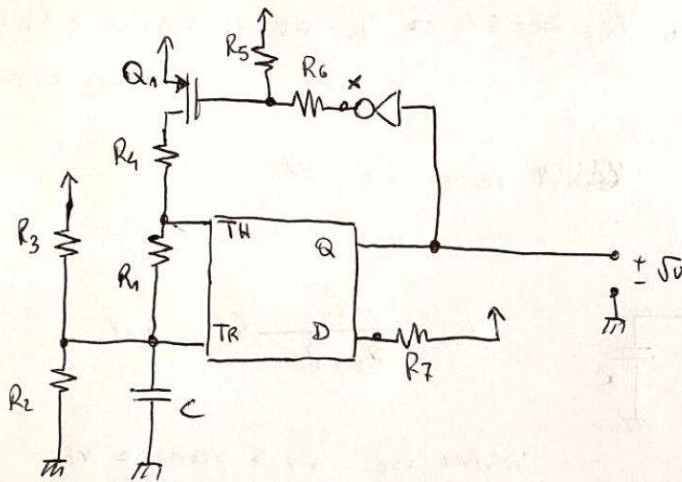
$$k = \left(\frac{W}{L}\right)_{21} = 3m = 6$$

CONFRONTO EM ÁREA USANDO I W/L

	16	21	SOMA
OPÇÃO A	$9m = 4$	$2m = 4$	$4m = 8$
OPÇÃO B	$\frac{3m}{2} = 3$	$3m = 6$	$\frac{9m}{2} = 9$

→ ESCOLHO OPÇÃO A POR
 TER A MENOR ÁREA

350:



$$R_1 = 1.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 12 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$$

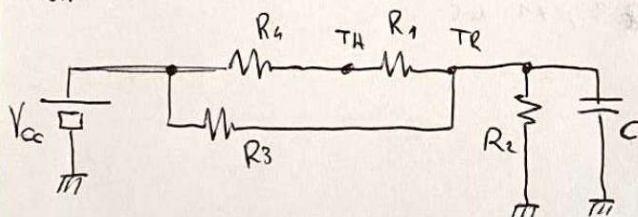
$$R_7 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 20 \text{ nF}$$

$$V_{CC} = 6 \text{ V}$$

SBT: $\begin{cases} V_G = V_{CC} = 6 \text{ V} \rightarrow V_{GS} = 6 \text{ V} \rightarrow V_G = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \cdot V_{CC} = 3 \text{ V} \rightarrow V_{GS} = -3 \text{ V} < -1 \text{ V} \\ D: \text{H.B.} \rightarrow I_F = 0 \rightarrow V_D = V_{CC} = 6 \text{ V} \end{cases}$ Q1 ON

$$V_{in} = 2 \text{ V}$$



$$R_p = R_3 // (R_1 + R_4) =$$

$$V_{F1} = \frac{R_2}{R_2 + R_p} \cdot V_{CC} = 3.2571 \text{ V}$$

com1: $\odot V_{TH} = 4 \text{ V} \rightarrow I_1 = I_1 = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_4} = 1 \text{ mA}$

$$V_{com1} = V_{TH} - R_1 \cdot I_1 = 2.8 \text{ V}$$

VERIFICO CH3: $V_{in} < V_{com1} < V_{F1}$
 $2 \text{ V} < 2.8 \text{ V} < 3.257 \text{ V}$

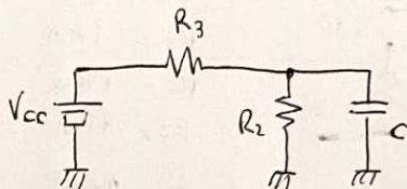
$$R_{v1} = R_p // R_2 = 1371.4 \Omega$$

$$T_1 = T_1 \cdot \ln \left\{ \frac{V_{F1} - V_{in}}{V_{F1} - V_{com1}} \right\} = 27.747 \mu\text{s}$$

$$\tau_1 = R_{v1} \cdot C = 27.43 \mu\text{s}$$

Reset : $\begin{cases} V_B = 0 \\ V_D = 0 \end{cases} \rightarrow V_X = V_{CC} = 6V \rightarrow V_A = 6V \rightarrow V_{AS} = 0 > V_{TP} = -1V$
 Q_1 OFF

$V_{i2} = V_{com1} = 2.8V$, ~~2.8V~~ $V_{com2} = V_{i1} = 2V$



$$V_{F2} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} V_{CC} = 1.2V$$

Verifico ctd $V_{i2} > V_{com2} > V_{F2}$
 $2.8V > 2V > 1.2V$

$$R_{V2} = R_2 // R_3 = 2400$$

$$\tau_2 = R_{V2} \cdot C = 48 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \cdot \ln \left\{ \frac{V_{F2} - V_{i2}}{V_{F2} - V_{com2}} \right\} = 33,271 \mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 61,018 \mu s$$

$$f_{osc} = \frac{1}{T} = 16,389 \text{ kHz}$$