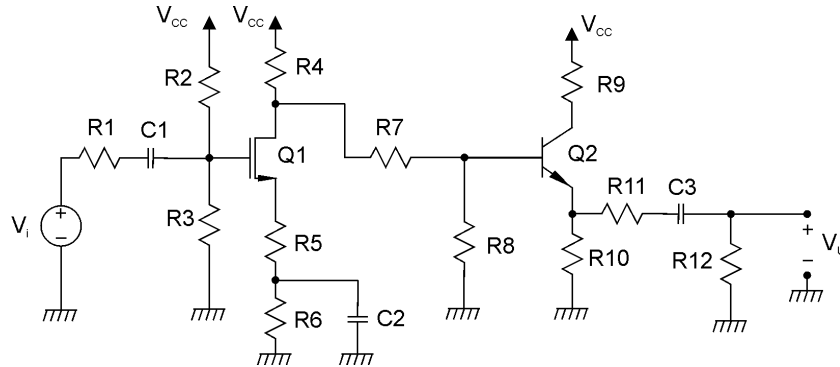


ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 06 febbraio 2023

Esercizio A



$R1 = 100 \, \Omega$	$R2 = 10 \, \text{k}\Omega$	$R4 = 4.5 \, \text{k}\Omega$	$R5 = 100 \, \Omega$	$R6 = 2 \, \text{k}\Omega$	$R7 = 2.9 \, \text{k}\Omega$	$R8 = 435 \, \text{k}\Omega$
$R9 = 2.5 \, \text{k}\Omega$	$R10 = 4 \, \text{k}\Omega$	$R11 = 500 \, \Omega$	$R12 = 9.5 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \, \text{V}$		

Q1 è un transistor MOS a canale n resistivo con $V_T = 1 \, \text{V}$ e la corrente di drain in saturazione è data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 0.5 \, \text{mA/V}^2$; Q2 è un transistor BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R3 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sull'emettitore di Q2 sia 8 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q1.
- 2) Determinare l'espressione e il valore di V_U/V_i alle frequenze per le quali C1, C2 e C3 possono essere considerati dei corto circuiti.

Esercizio B

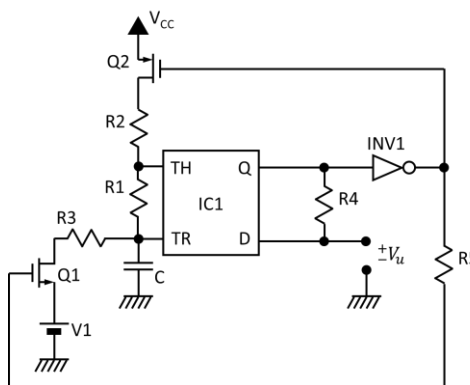
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

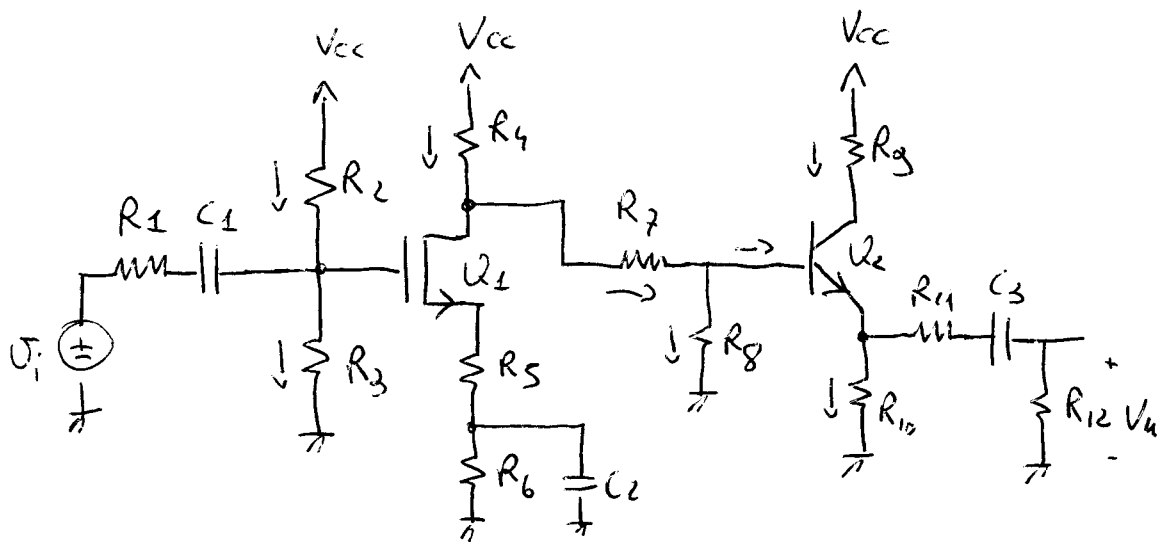
Esercizio C

$R_1 = 1 \, \text{k}\Omega$	$R_5 = 3 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 15 \, \text{k}\Omega$	$C = 1.8 \, \text{nF}$
$R_3 = 8 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 6 \, \text{V}$
$R_4 = 2 \, \text{k}\Omega$	$V_1 = 1 \, \text{V}$



Il circuito IC1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \, \text{V}$; Q1 ha $R_{on} = 0$ e $V_{Th} = 1 \, \text{V}$; Q2 ha $R_{on} = 0$ e $V_{Tp} = -1 \, \text{V}$; l'inverter è ideale. Verificare che il circuito si comporta come un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.

ESERCIZIO A



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 100\Omega \\
 R_2 &= 10K\Omega \\
 R_3 &= 4.5K\Omega \\
 R_4 &= 100\Omega \\
 R_5 &= 2K\Omega \\
 R_6 &= 230\Omega \\
 R_7 &= 435K\Omega \\
 R_8 &= 2.5K\Omega \\
 R_9 &= 4K\Omega \\
 R_{10} &= 500\Omega \\
 R_{11} &= 9.5K\Omega \\
 V_{cc} &= 18V
 \end{aligned}$$

1) Det. R_3 PER $V_E = 8V$

$$I_{E0} = \frac{V_E}{R_{10}} = 2mA$$

$$h_p: I_B \ll I_E \Rightarrow I_C \approx I_E$$

$$V_C = V_{cc} - R_8 I_C = 13V$$

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

SIAMO NEL PUNTO DI LAVORO $I_C = 2mA$ e $V_{CE} = 5V$ PER IL QUALE

IL COSTRUTTORE FORNISCE: $h_{FE} = 230$, $h_{\beta} = 300$, $h_{ie} = 4800\Omega$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.83655\mu A \ll I_C \Rightarrow \text{hp verificata}$$

$$V_B = V_E + V_{\gamma} = 8.7V$$

$$I_8 = \frac{V_B}{R_8} = 20\mu A$$

$$I_7 = I_8 + I_B = 26.83655\mu A$$

$$V_D = V_B + R_7 I_7 = 8.778V$$

$$I_4 = \frac{V_{cc} - V_D}{R_4} = 2.0493mA$$

$$I_D = I_4 - I_7 = 2.0224mA$$

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

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

SCELGO SOLUZIONE COL SEGNO "+" PERCHE' Q_1 E' UN MOS A CANALE N
E QUINDI PER CONDURRE DEVE ESSERE $V_{GS} \geq V_T$

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 3.01 \text{ V}$$

$$V_S = (R_S + R_6) I_D \quad (\text{PERCHE' } I_G = 0 \text{ IN UN MOS } \Rightarrow I_D = I_S)$$

$$= 4.247 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 4.531 \text{ V}$$

VERIFICA SATURAZIONE: $V_{DS} \stackrel{?}{\geq} V_{GS} - V_T$

$$4.531 > (3.01 - 1) = 2.01 \text{ V} \quad \text{VERIFICA OK}$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2.01 \times 10^{-3} \text{ A/V}$$

$$V_G = V_{GS} + V_S = 7.257 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_2} = 1.0743 \text{ mA} = I_3$$

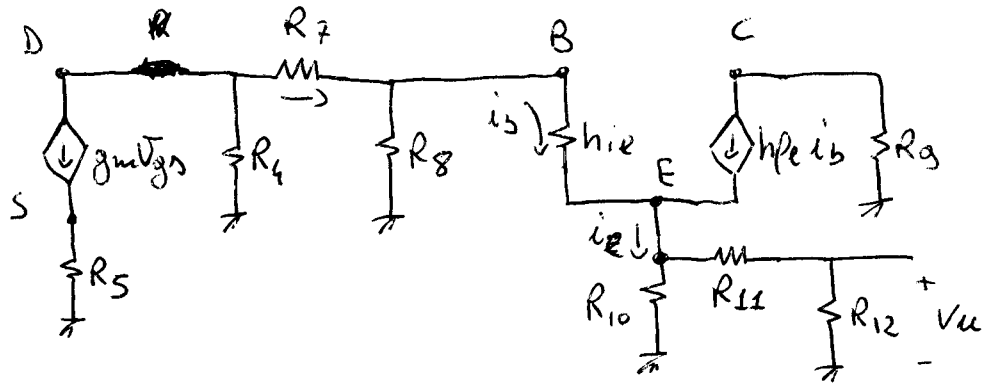
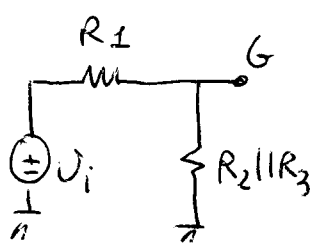
$$R_3 = \frac{V_G}{I_2} = \underline{\underline{6755.1 \Omega}}$$

$$Q_1: \begin{cases} I_D = 2.022 \text{ mA} \\ V_{DS} = 4.53 \text{ V} \\ V_{GS} = 3.01 \text{ V} \\ g_m = 2.01 \times 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}} \end{cases}$$

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

2) Det. expr. e solve V_u/V_i a ~~condizione~~ in C_1, C_2 e C_3 cortocircuitati.

(3)



$$V_u = R_{12} i_{e2}$$

$$i_{e2} = i_e \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}}$$

$$i_e = (h_{fe} + 1) i_b$$

$$i_b = i_7 \frac{R_8}{R_8 + h_{ie} + [R_{10} \parallel (R_{11} + R_{12})](h_{fe} + 1)} = i_7 \frac{R_8}{R_8 + R_v}$$

$$R_v = h_{ie} + [R_{10} \parallel (R_{11} + R_{12})](h_{fe} + 1) = 864800 \Omega$$

$$i_7 = (-g_m V_{gs}) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + R_8 \parallel R_v}$$

$$V_d = (g_m V_{gs}) R_5$$

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

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

$$\frac{V_u}{V_i} = (h_{fe} + 1) \frac{R_{10} R_{12}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}} \frac{R_8}{R_8 + h_{ie} + [R_{10} \parallel (R_{11} + R_{12})](h_{fe} + 1)} (-g_m) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + R_8 \parallel \{h_{ie} + [R_{10} \parallel (R_{11} + R_{12})](h_{fe} + 1)\}} \frac{1}{1 + g_m R_5} \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} =$$

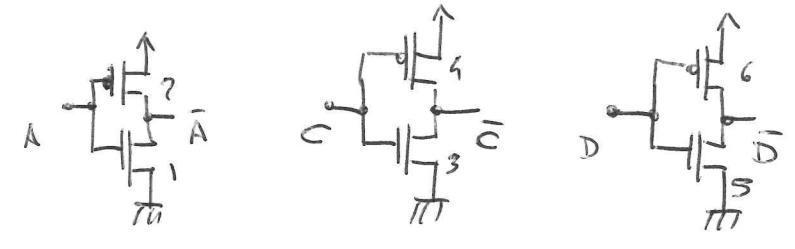
$$= -6.77$$

ES (B)

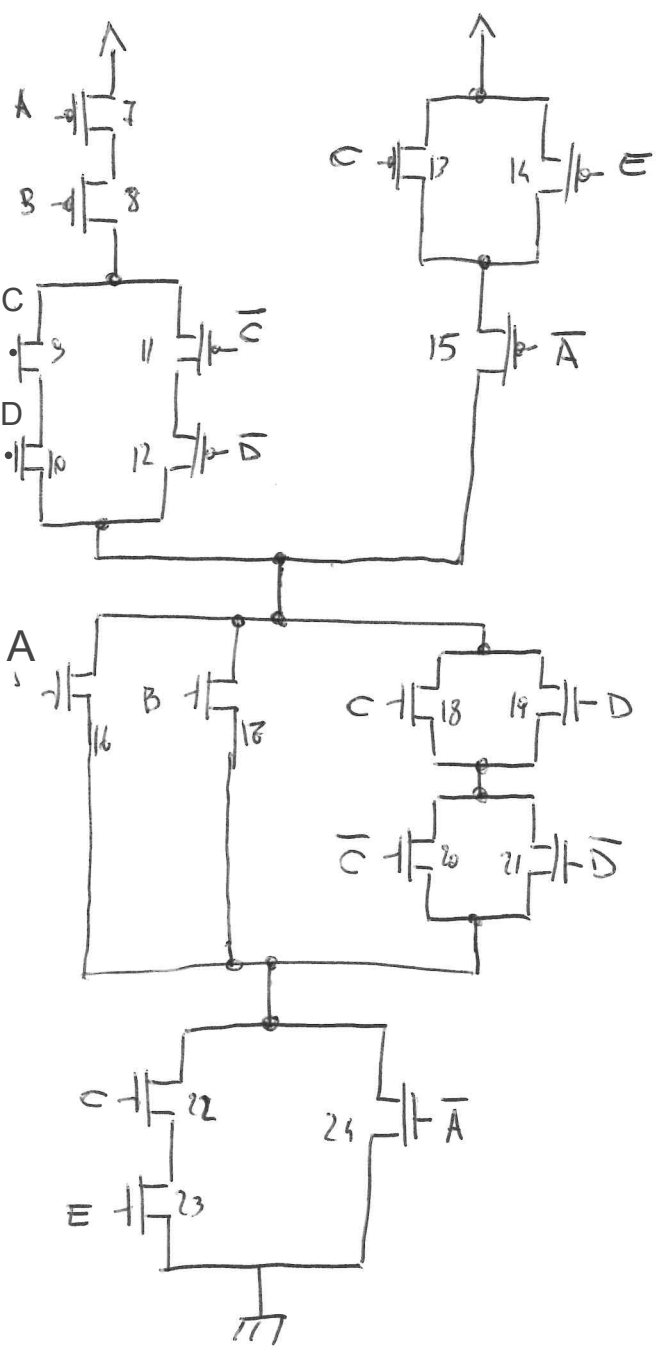
$$Y = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot (\bar{C} \cdot \bar{D} + C \cdot D) + (\bar{C} + \bar{E}) \cdot A$$

$$N = 2 \times (3 + 3) = 24$$

INVERTER :



$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5} = m = 2 \\ \left(\frac{W}{L}\right)_{2,4,6} = p = 5 \end{array} \right.$$



Dim. PUN

PERCORSI DA 4 PMOS: $\left\{ \begin{array}{l} 7-8-9-10 \\ 7-8-11-12 \end{array} \right.$ POSSIBILI

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9,10,11,12} = x$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{4}{x} = \frac{1}{p} \rightarrow x = \left(\frac{W}{L}\right)_{7 \dots 12} = 4p = 20$$

PERCORSI DA 2 PMOS: $\left\{ \begin{array}{l} 13-15 \\ 14-15 \end{array} \right.$ POSSIBILI

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{13,14,15} = z$$

$$\frac{1}{z} + \frac{1}{z} = \frac{2}{z} = \frac{1}{p} \rightarrow z = \left(\frac{W}{L}\right)_{13,14,15} = 2p = 10$$

Dim. PDN :

PERCORSI DA 4 NMOS :

18-20-22-23 \rightarrow IMP. (C & \bar{E})

18-21-22-23 POSSIBILE

19-20-22-23 \rightarrow IMP. (\bar{E} & C)

19-21-22-23 \rightarrow IMP. (D & \bar{D})

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{18,21,22,23} = t$$

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{t} + \frac{1}{t} + \frac{1}{t} = \frac{4}{t} = \frac{1}{m} \rightarrow t = \left(\frac{W}{L}\right)_{18,21,22,23} = 4m = 8$$

PERCORSO DA 3 NUMOS:

- 18-20-24 IMP. (C e D)
 18-21-24 POSSIBILE (18, 21 GIN DIT.)
 19-20-24 POSSIBILE
 19-21-24 IMP. (D e D)
 16-21-23 POSSIBILE (21, 23 GIN DIT.)
 17-21-23 POSSIBILE (22, 23 GIN DIT.)

16 e 17 Li Devo DIMENSIONARE USANDO 16-21-23, 17-22-23

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{16,17} = h \quad \frac{1}{h} + \frac{1}{4m} + \frac{1}{4m} = \frac{1}{h} + \frac{1}{2m} = \frac{1}{m} \Rightarrow \frac{1}{h} = \frac{1}{2m} \Rightarrow h = \left(\frac{W}{L}\right)_{16,17} = 2m = 4$$

PER DIT. 19 e 20, 24 NO HO DUE OPZIONI:

18-21-24

1) USO PERCORSO 19-20-24 e poi VERIFICO

2) USO 18-21-24 PER DIT. (24) e poi USO 18-20-24 PER DIT. (19-20)

OPZ. A:

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{19,20,24} = J \quad \frac{1}{J} + \frac{1}{J} + \frac{1}{J} = \frac{3}{J} = \frac{1}{m} \Rightarrow J = \left(\frac{W}{L}\right)_{19,20,24} = 3m = 6$$

VERIFICO 18-21-24 : $\frac{1}{4m} + \frac{1}{4m} + \frac{1}{3m} = \frac{3+3+4}{12m} = \frac{5}{6m} \leq \frac{1}{m}$ OK, DIMENSIONAMENTO VALIDO

OPZ. B:

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{24} = K \quad \frac{1}{K} + \frac{1}{4m} + \frac{1}{4m} = \frac{1}{K} + \frac{1}{2m} = \frac{2}{2m} \Rightarrow K = \left(\frac{W}{L}\right)_{24} = 2m = 4$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{18,20} = F \quad \frac{1}{F} + \frac{1}{F} + \frac{1}{2m} = \frac{2}{F} + \frac{1}{2m} = \frac{1}{m} = \frac{2}{2m} \Rightarrow \frac{2}{F} = \frac{1}{2m} \Rightarrow F = \left(\frac{W}{L}\right)_{18,20} = 4m = 8$$

CONFRONTO OPZ. "A" e "B"

	A	B
19	3m=6	4m=8
20	3m=6	4m=8
24	3m=6	2m=4
	9m=18	10m=20

OPZIONE (A) AD AREA MINORE

ES (C)

$$V_{CC} = 6V$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

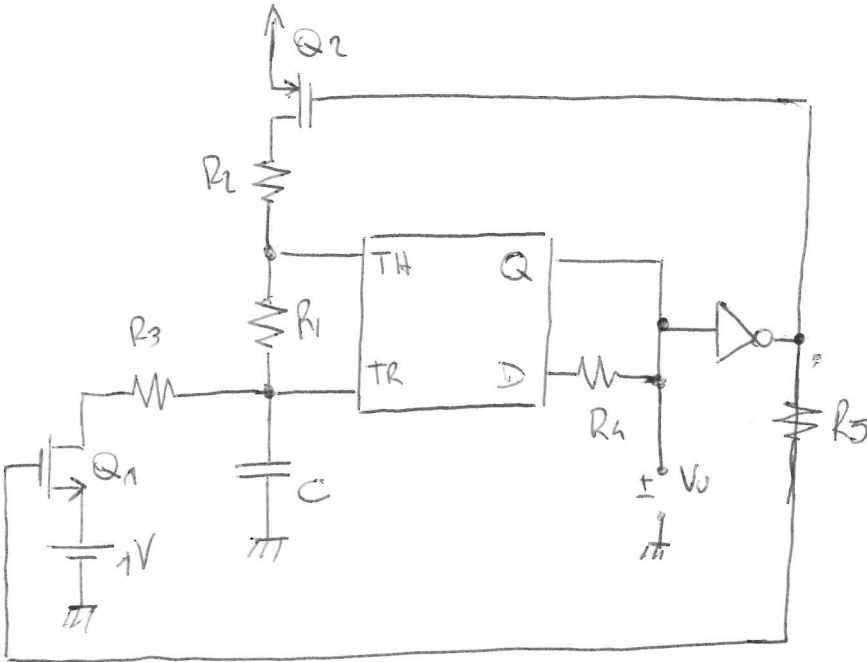
$$R_2 = 15k\Omega$$

$$R_3 = 8k\Omega$$

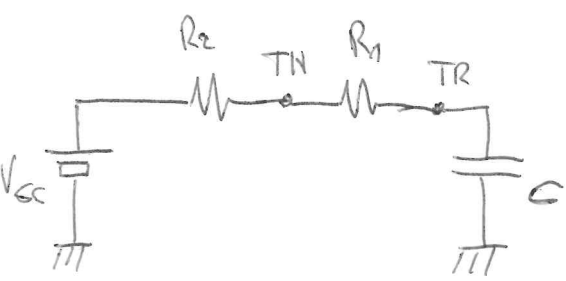
$$R_4 = 2k\Omega$$

$$R_5 = 3k\Omega$$

$$C = 1.8nF$$



SET: $Q = '1', D = 'H.Z.'$ ($V_D = V_{CC}, V_{R4} = 0$)

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{G1} = 0, V_{GS1} = -1V < V_{TM}, Q_1 \text{ OFF} \\ V_{G2} = 0, V_{GS2} = -V_{CC} < -|V_{TP}| \\ Q_2 \text{ ON} \end{array} \right.$$


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

$$V_{TN} = V_{CC} = 6V$$

$$V_{COM1} = \frac{2}{3} V_{CC} - R_1 \cdot I_1^* = 3.8667V$$

$$I_1^* = (V_{CC} - \frac{2}{3} V_{CC}) / R_1 = 1.33 \cdot 10^{-9} A$$

$$R_{V1} = R_1 + R_2 = 16k\Omega$$

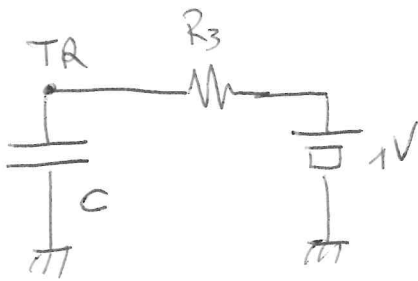
$$\tau_1 = R_{V1} \cdot C = 28.8 \mu s$$

$$T_1 = \tau_1 \cdot \ln \left\{ \frac{V_{TN} - V_{TN}}{V_{TN} - V_{COM1}} \right\} = 18.1 \mu s$$

VERIFICO che $V_{TN} < V_{COM1} < V_{TN}$
 $2 < 3.87 < 6$

RESET: $Q = 0, D = 0$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{G1} = V_{CC}, V_{GS1} = V_{CC} - 1V = 5V > V_{TM} \quad Q_1 \text{ ON} \\ V_{G2} = V_{GS}, V_{GS2} = 0V > -|V_{TP}| \quad Q_2 \text{ OFF} \end{array} \right.$$



Verifying the

$$V_{i2} > V_{com2} > V_{f2}$$

$$V_{i2} = V_{com1} = 3,8667 \text{ V}$$

$$V_{com2} = V_{in} = 2 \text{ V}$$

$$V_{f2} = 1 \text{ V}$$

$$R_{i2} = R_3 = 8 \text{ k}\Omega$$

$$\tau_2 = R_{i2} \cdot C = 14,4 \text{ }\mu\text{s}$$

$$T_2 = \tau_2 \cdot \ln \left\{ \frac{V_{f2} - V_{i2}}{V_{f2} - V_{com2}} \right\} = 15,16 \text{ }\mu\text{s}$$

$$T = T_1 + T_2 = 33,27 \text{ }\mu\text{s}$$

$$f_{osc} = \frac{1}{T} = 30 \text{ kHz}$$