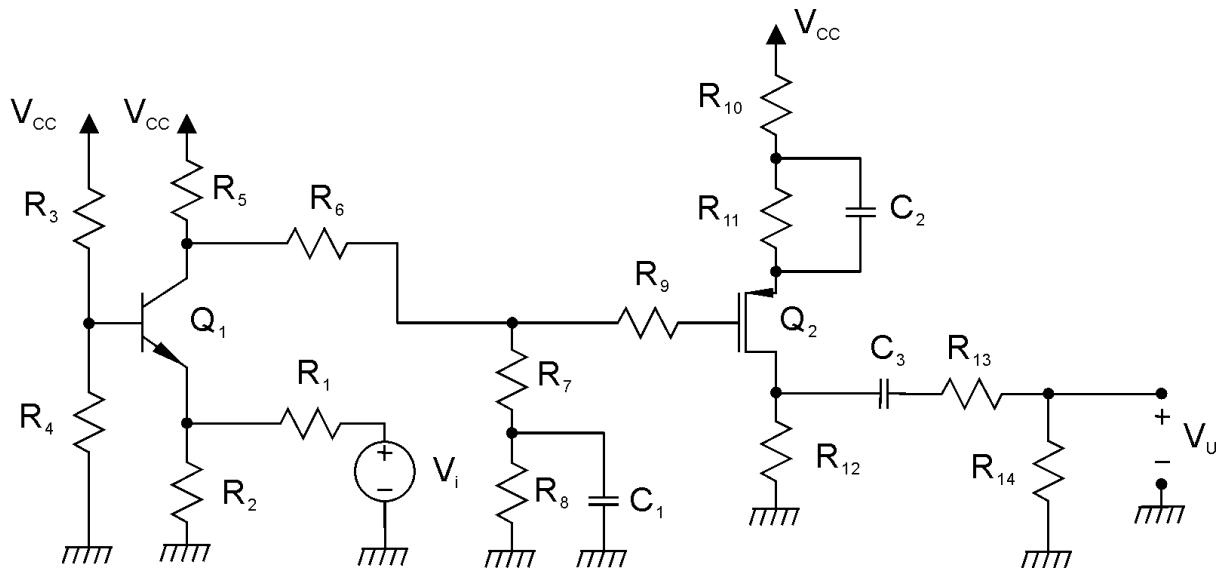


ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 20 settembre 2021

Esercizio 1



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 $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$.

Gli altri parametri di piccolo segnale dei due transistori sono forniti dal costruttore e sono di valore positivo.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) disegnare il circuito equivalente per l'analisi di piccolo segnale;
- 2) determinare l'espressione di V_U/V_i alle frequenze per le quali i condensatori C_1 , C_2 e C_3 possono essere considerati dei corto circuiti.

ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 20 settembre 2021

Esercizio 2

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

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

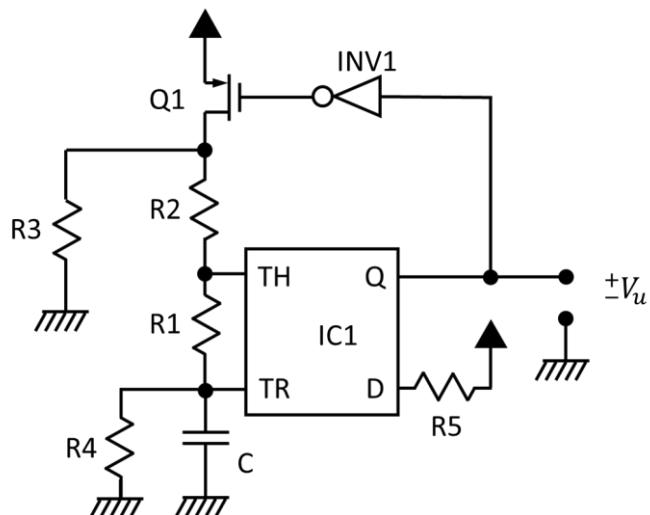
Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale *n* e pari a 5 per quello a canale *p*. Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento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

ELETTRONICA DIGITALE
 Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 20 settembre 2021

Esercizio 3

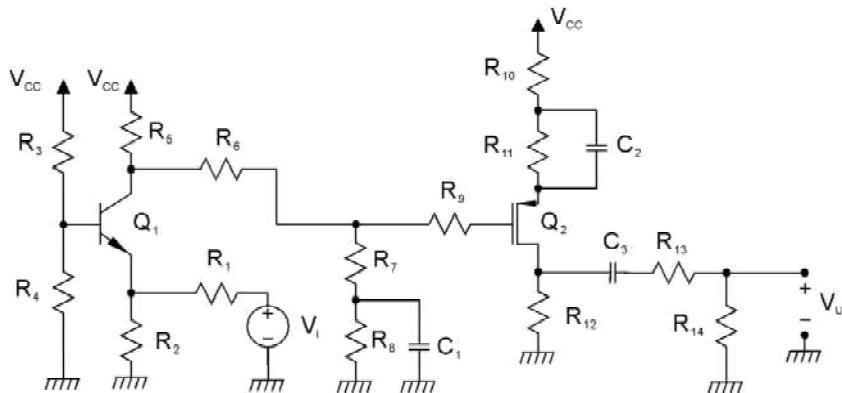
| | |
|---------------------------|------------------------|
| $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ | $C = 1 \mu\text{F}$ |
| $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ | $V_{CC} = 6 \text{ V}$ |
| $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$ | |
| $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$ | |



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \text{ V}$; Q_1 ha una $R_{on} = 0$ e $V_{Tp} = -1 \text{ V}$; l'inverter INV1 è ideale.

Verificare che il circuito si comporta come un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.

Esercizio 1



Il circuito equivalente per piccoli segnali con C_1, C_2, C_3 cortocircuitati è:

Equivalent circuit for small signals:

The circuit is shown with red annotations for currents and voltages. The first stage (Q1) has an input voltage V_i and an output current i_{12} . The second stage (Q2) has an input current i_{12} and an output voltage V_u .

Equations derived:

$$V_u = R_{14} i_{14}$$

$$i_{14} = (-g_m \bar{J}_{gs}) \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{13} + R_{14}}$$

$$\bar{J}_g = R_{10} g_m \bar{J}_{gs}$$

$$\bar{J}_{gs} = \bar{J}_g - \bar{J}_d = \bar{J}_g - R_{10} g_m \bar{J}_{gs} \Rightarrow \bar{J}_{gs}(1 + g_m R_{10}) = \bar{J}_g$$

$$\Rightarrow \bar{J}_{gs} = \frac{\bar{J}_g}{1 + g_m R_{10}}$$

$$\bar{J}_g = R_7 i_7 = R_7 (-h_{fe} i_b) \frac{R_S}{R_S + R_6 + R_7}$$

$$\bar{J}_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} = -(h_{fe} + 1) i_b (R_1 \parallel R_2) - (h_{ie} + R_3 \parallel R_4) i_b$$

$$\Rightarrow i_b = -\bar{J}_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{(h_{fe} + 1)(R_1 \parallel R_2) + h_{ie} + R_3 \parallel R_4}$$

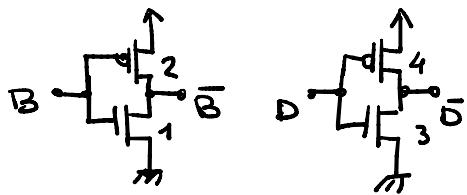
$$\frac{V_u}{V_i} = (-g_m) \frac{R_{14} R_{12}}{R_{12} + R_{13} + R_{14}} \frac{1}{1 + g_m R_{10}} (-h_{fe}) \frac{R_7 R_S}{R_S + R_6 + R_7} (-) \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{(h_{fe} + 1)(R_1 \parallel R_2) + h_{ie} + R_3 \parallel R_4}$$

$$= -g_m \frac{R_{12} R_{14}}{R_{12} + R_{13} + R_{14}} \frac{1}{1 + g_m R_{10}} h_{fe} \frac{R_S R_7}{R_S + R_6 + R_7} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{(h_{fe} + 1)(R_1 \parallel R_2) + h_{ie} + R_3 \parallel R_4}$$

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

$$N = 2 \times (7 + 3) = 20$$

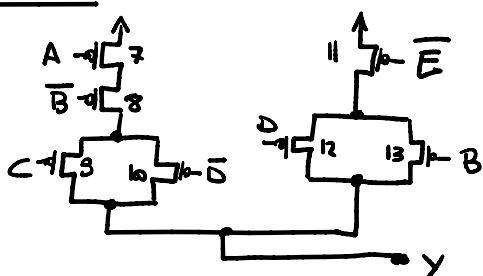
INVISIBILITY:



$$\left(\frac{W}{Z}\right)_{1,3,5} = M = 2$$

$$\left(\frac{W}{Z}\right)_{2,4,6} = P = 5$$

PULL-UP N.



DIT. P.U.N.:

DA 3: $\begin{cases} 7 - 8 - 3 \\ 7 - 8 - 10 \end{cases}$ Possibilities

$$\left(\frac{W}{Z}\right)_{7,8,3,10} = x \rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{3}{x} = \frac{1}{P}$$

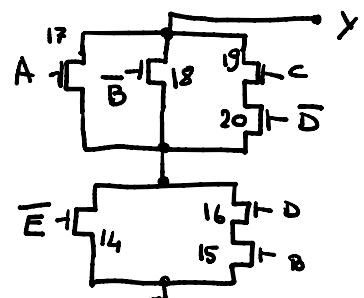
$$\rightarrow x = \left(\frac{W}{Z}\right)_{7,8,3,10} = 3P = 15$$

DA 2: $\begin{cases} 11 - 12 \\ 11 - 13 \end{cases}$ Possibilities

$$\left(\frac{W}{Z}\right)_{11,12} = t \rightarrow \frac{1}{t} + \frac{1}{t} = \frac{2}{t} = \frac{1}{P}$$

$$T = \left(\frac{W}{Z}\right)_{11,12,13} = 2P = 10$$

PULL DOWN N.



DIT. PDN.:

DA 4: 19-20-16-15

IMPOSIBLE (\bar{D}, D)

DA 3: $\begin{cases} 17 - 16 - 15 \text{ Possible} \\ 18 - 16 - 15 \text{ IMPOSSIBLE} \\ 19 - 20 - 14 \text{ Possible} \end{cases}$

$$\left(\frac{W}{Z}\right)_{14,15,16,17,19,20} = F \rightarrow \frac{1}{F} + \frac{1}{F} + \frac{1}{F} = \frac{3}{F} = \frac{1}{m}$$

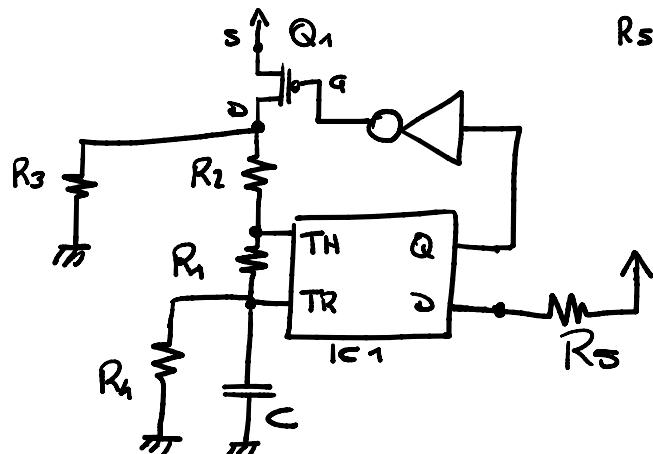
$$\rightarrow F = \left(\frac{W}{Z}\right)_{14,15,16,17,19,20} = 3m = 6$$

DA 2: $\begin{cases} 17, 14 \\ 18, 14 \end{cases}$ Possibilities

$$\left(\frac{W}{Z}\right)_{18} = K \rightarrow \underbrace{\frac{1}{K}}_{18} + \underbrace{\frac{1}{K}}_{14} = \frac{2}{K} = \frac{3-1}{3m} = \frac{2}{3m}$$

$$\rightarrow K = \left(\frac{W}{Z}\right)_{18} = \frac{3}{2}m = 3$$

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 1\text{k}\Omega, & R_2 &= 2\text{k}\Omega \\
 R_3 &= 3\text{k}\Omega, & R_4 &= 5\text{k}\Omega \\
 R_S &= 1\text{k}\Omega, & C &= 1\mu\text{F} \\
 V_{CC} &= 6V & V_{TP} &= -1V
 \end{aligned}$$



NE555

$$\text{SET: } \text{INITIAL } \Rightarrow V_{TR} = \frac{1}{3} V_{CC}$$

$$Q = 1$$

$$D = \text{H.Z.}$$

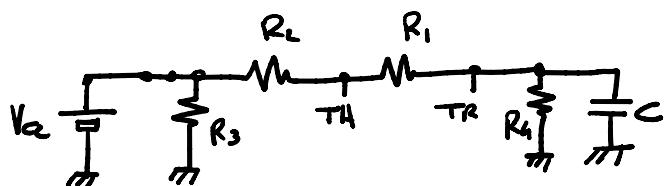
$$\text{RESET: } \text{INITIAL } \Rightarrow V_{TR} = \frac{2}{3} V_{CC}$$

$$Q = 0$$

$$D = 0$$

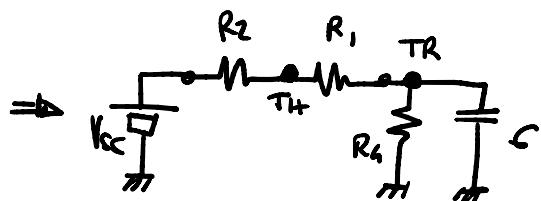
$$\text{SET: INITIALE } V_{TP} = \frac{1}{3} V_{CC} = 2V = V_{in}$$

$$V_Q = 6V \rightarrow V_{G1} = 0V \rightarrow V_{AS} = \underbrace{-6V}_{Q_1 \text{ ON}} < V_{TP} = -1V$$



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

$$\text{FIN: } V_{f_1} = V_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = 3,75V$$



$$\text{COM: } V_{TR}(\text{com 1}) = \frac{2}{3} V_{CC} = 4V$$

$$I_{1\text{ com}} = \frac{V_{CC} - \frac{2}{3} V_{CC}}{R_2} = 1mA$$

$$V_{COT12} = \frac{2}{3} V_{CC} - R_1 \cdot I_{1\text{ com}} = 3V$$

$$\begin{aligned}
 \text{VERIFICA: } V_{in} &< V_{COM12} < V_{f_1} \\
 2V &< 3V & < 3.75V
 \end{aligned}$$

$$R_{V1} = R_4 \parallel (R_1 + R_2) = 1875\Omega$$

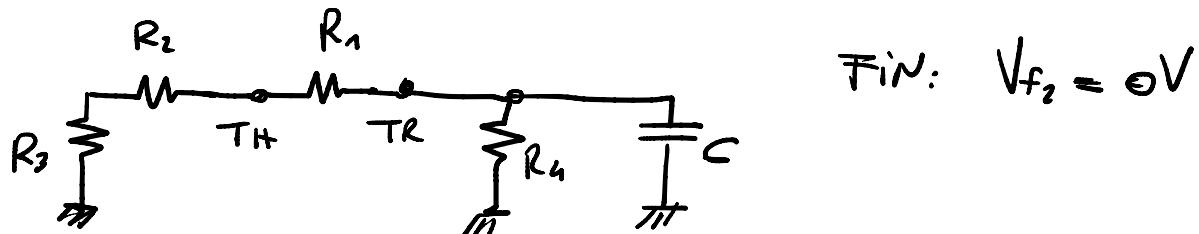
$$\tau_1 = R_{V1} \cdot C = 1,875 \text{ ms}$$

$$\tau_1 = \tau_1 \cdot \ln \left\{ \frac{V_{f_1} - V_{G1}}{V_{f_1} - V_{COT12}} \right\} = 1,589 \text{ ms}$$

RISOTTO: INIZIA CON $\begin{cases} V_{TH} = \frac{2}{3} V_{CC} = 4V \\ V_{TR} = V_{COM2} = V_{i2} = 3V \end{cases}$

TERMINA CON $V_{TR} = V_{COM2} = V_{i1} = 2V$

$Q=0 \rightarrow V_A = 6V \rightarrow V_{GS} = 0V > V_{TP} = -1V : Q_1 \text{ OFF}$



VERIFICA: $V_{i2} > V_{COM2} > V_{f2}$
 $3V > 2V > 0$

$$R_{V2} = R_4 \parallel (R_1 + R_2 + R_3) = 2727,3 \Omega$$

$$\tau_1 = R_{V2} \cdot C = 2,727 \text{ ms}$$

$$T_2 = \tau_1 \cdot \ln \left\{ \frac{V_{f2} - V_{i2}}{V_{f2} - V_{COM2}} \right\} = 1,1 \text{ ms}$$

$$T = T_1 + T_2 = 2,6945 \text{ ms}$$

$$f_{osc} = 1/T = 371,1267 \text{ Hz}$$