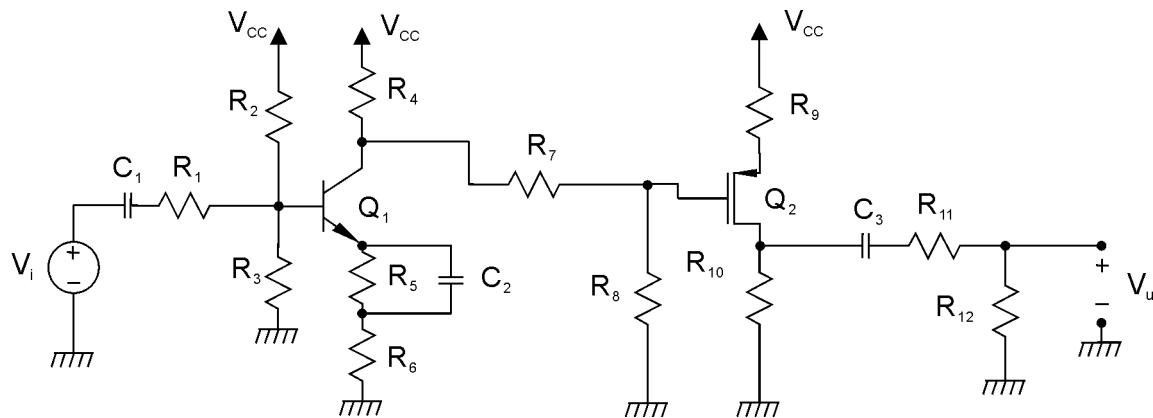


ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 29 giugno 2021

Esercizio 1



Q_1 è un transistor BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$.

Q_2 è un transistor MOS a canale p resistivo con $V_T = -1$ V e la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) 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 29 giugno 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:

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

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.

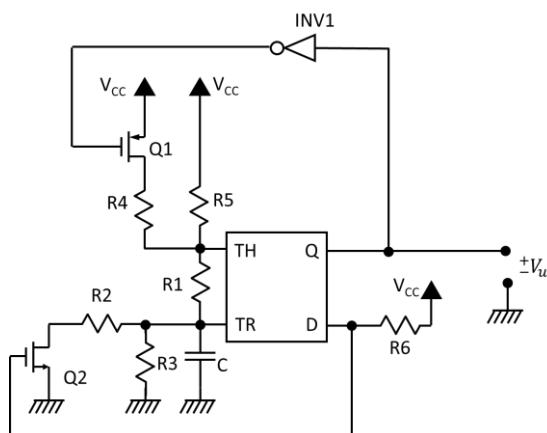
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 29 giugno 2021

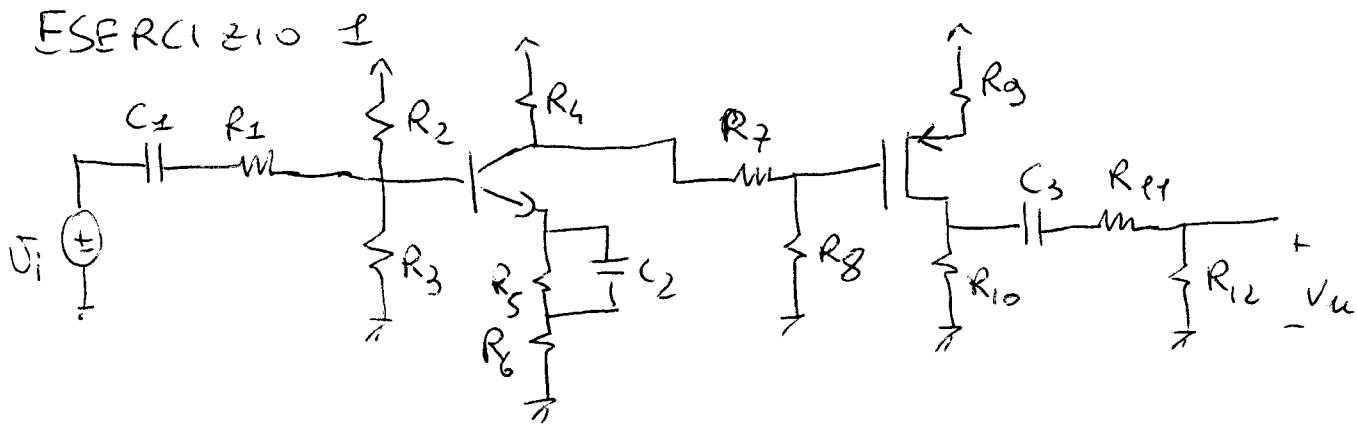
Esercizio 3

$R_1 = 50 \Omega$	$R_5 = 10 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 50 \text{ k}\Omega$	$R_6 = 10 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$	$C = 1 \mu\text{F}$
$R_4 = 100 \Omega$	$V_{CC} = 6 \text{ V}$

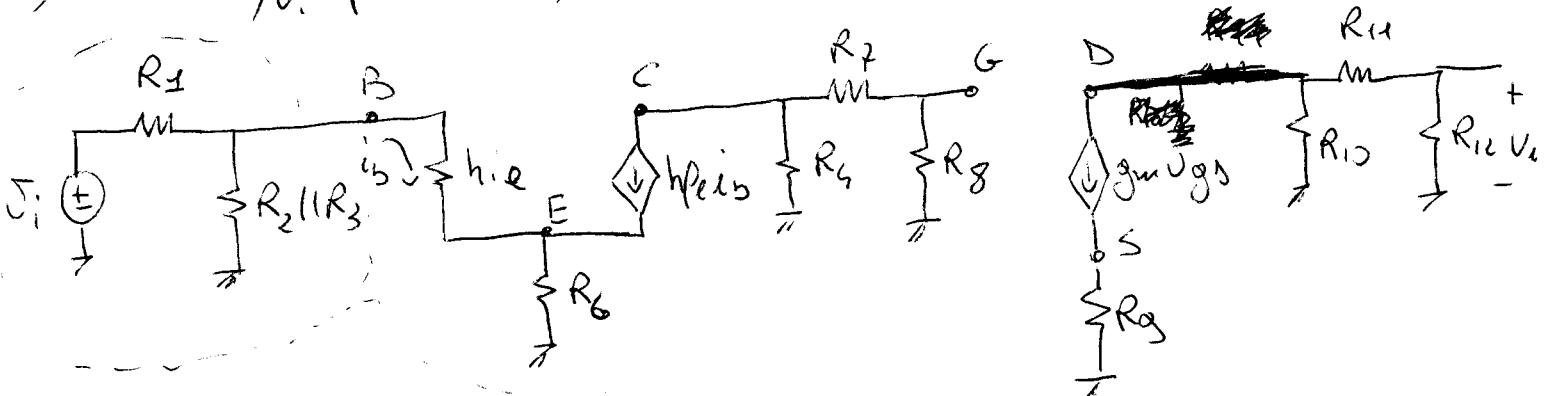


Il circuito IC₁ è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \text{ V}$; Q₁ ha una $R_{on} = 0$ e $V_{Tp} = -1\text{V}$; Q₂ ha una $R_{on} = 0$ e $V_{Tn} = 1\text{V}$; l'inverter INV1 è ideale.

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



1) Det. V_u/V_i per C_1, C_2, C_3 come circuito



$$V_u = (-g_m V_{gs}) \frac{R_{12}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}} R_{12}$$

$$V_S = (g_m V_{gs}) R_g$$

$$V_{gs} = V_g - V_S = V_g - g_m V_{gs} R_g$$

$$(1 + g_m R_g) V_{gs} = V_g \Rightarrow V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m R_g}$$

$$V_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_4}{R_4 + R_2 + R_8} R_8$$

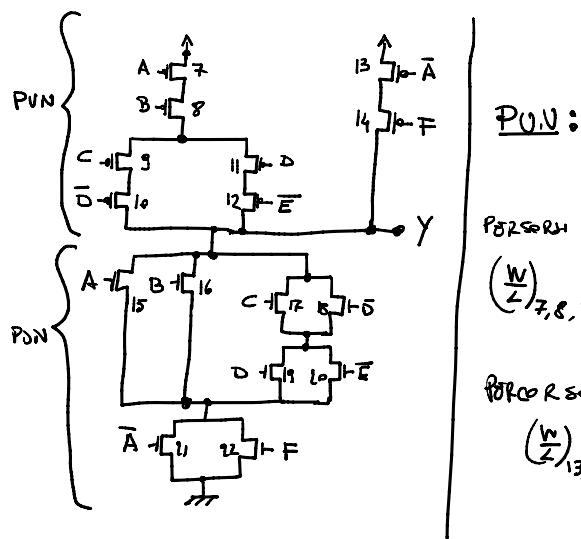
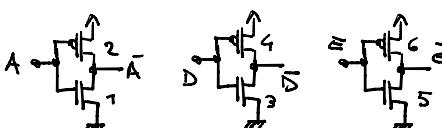
$$i_b = \frac{V_{ther}}{R_{ther} + h_{ie} + R_6(h_{fe} + 1)} = \frac{V_i R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3} \frac{1}{(R_1 || R_2 || R_3) + h_{ie} + R_6(h_{fe} + 1)}$$

$$\frac{V_u}{V_i} = (-g_m) \frac{R_{10} R_{12}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}} \frac{1}{1 + g_m R_g} (-h_{fe}) \frac{R_4 R_8}{R_4 + R_2 + R_8} \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3} \frac{1}{(R_1 || R_2 || R_3) + h_{ie} + R_6(h_{fe} + 1)}$$

$$\frac{1}{(R_1 || R_2 || R_3) + h_{ie} + R_6(h_{fe} + 1)}$$

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

$$\left\{ N = 2 \times 8 + 2 \times 3 = 22 \right.$$

INVERTER:

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

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

$$\left(\frac{W}{Z} \right)_{7,8,9,10,11,12} = X \rightarrow \frac{1}{X} + \frac{1}{X} + \frac{1}{X} + \frac{1}{X} = \frac{4}{X} = \frac{1}{P} \rightarrow X = \left(\frac{W}{Z} \right)_{7,8,9,10,11,12} = 4P = 20$$

PERCORSI DA 2: 13-14 POSSIBILI

$$\left(\frac{W}{Z} \right)_{13,14} = 6 \rightarrow \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3} \rightarrow t = \left(\frac{W}{Z} \right)_{13,14} = 2P = 10$$

PDN:

PERCORSI DA 3:

$$\left\{ \begin{array}{l} 17-19-21 \\ 17-19-22 \\ 17-20-21 \\ 17-20-22 \\ 18-19-21 \\ 18-19-22 \\ 18-20-21 \\ 18-20-22 \end{array} \right\}$$

POSSIBILI

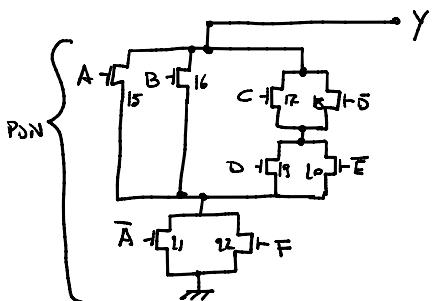
IMPOSSIBILI ($D \neq \bar{D}$)

POSSIBILI

$$\left(\frac{W}{Z} \right)_{17,18,19,20,21,22} = J$$

$$\frac{1}{J} + \frac{1}{J} + \frac{1}{J} = \frac{3}{J} = \frac{1}{M}$$

$$J = \left(\frac{W}{Z} \right)_{17,18,19,20,21,22} = 3M = 6$$



PERCORSI DA 2:

$$\left\{ \begin{array}{l} 15-21 \\ 15-22 \\ 16-21 \\ 16-22 \end{array} \right\}$$

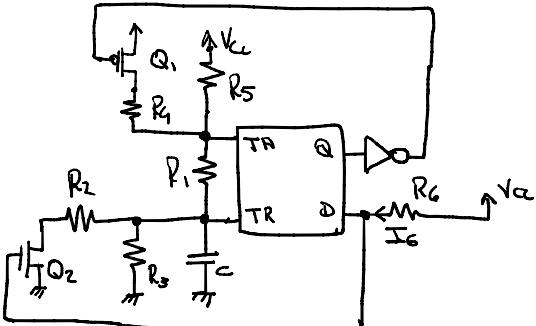
IMPOSSIBILI ($A \neq \bar{A}$)

POSSIBILI CON 21 E 22 GIÀ DEDUCIBILI (3M)

$$\left(\frac{W}{Z} \right)_{15,16} = K \rightarrow \frac{1}{K} + \frac{1}{3M} = \frac{1}{M} = \frac{3}{3M} \rightarrow \frac{1}{K} = \frac{2}{3M}$$

$$\rightarrow K = \left(\frac{W}{Z} \right)_{15,16} = \frac{3}{2M} = 3$$

$C = 1 \mu F$
 $R_1 = 50 \Omega$
 $R_2 = 50 k\Omega$
 $R_3 = 1 k\Omega$
 $R_4 = 100 \Omega$
 $R_5 = 10 k\Omega$
 $R_6 = 10 k\Omega$



N555

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

$$Q = 1$$

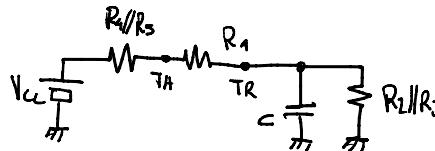
D = H.Z.

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

$$Q = 0$$

D = 0

FAS8 DI SET $\rightarrow \begin{cases} Q = '1' \rightarrow V_{G1} = 0 \rightarrow V_{GS1} = -V_a < V_{TP} = -|V_{TP}| \rightarrow Q_1 \text{ ON} \\ D = \text{H.Z.} \rightarrow I_6 = 0 \rightarrow V_D = V_a - R_6 \cdot I_6 = V_{CC} - V_{GS2} > V_{TM} \rightarrow Q_2 \text{ ON} \end{cases}$



$$V_{IN} = \frac{1}{3} V_a = 2V$$

$$V_{F1} = V_{CC} \frac{R_{23}}{R_{23} + R_1 + R_{45}} = 5.208V$$

$$R_{23} = R_2 // R_3 = 980,39 \Omega$$

$$R_{45} = R_4 // R_5 = 99,01 \Omega$$

$$\underline{\text{COM11:}} \quad I_1 = \left(V_a - \frac{2}{3} V_{CC} \right) \frac{1}{R_{45}} = 20.2 \text{ mA}$$

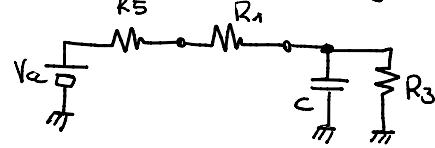
$$V_{COM11} = \frac{2}{3} V_a - R_6 \cdot I_1 = 2.93V$$

$$\text{VDRIFT CO OUT} \quad V_{f1} < V_{COM11} < V_{f2} \Rightarrow 2V < 2.93V < 5.208V$$

$$R_{V1} = R_2 // R_3 // (R_1 + R_4 // R_5) = 129,35 \Omega \rightarrow T_1 = R_{V1} \cdot C = 129.35 \mu s$$

$$T_1 = T_1 \cdot \ln \left\{ \frac{V_{f1} - V_{f2}}{V_{f2} - V_{COM11}} \right\} = 47.73 \mu s$$

FAS8 DI RESET $\rightarrow \begin{cases} Q = '0' \rightarrow V_{G1} = V_{CC} \rightarrow V_{GS1} = 0V > V_{TP} = -|V_{TP}| \rightarrow Q_1 \text{ OFF} \\ D = '0' \rightarrow V_{GS2} = 0V < V_{TM} \rightarrow Q_2 \text{ OFF} \end{cases}$



$$V_{f2} = V_{COM11} = 2.93V$$

$$V_{F2} = V_{CC} \frac{R_3}{R_3 + R_1 + R_5} = 0.543V$$

$$V_{COM21} = V_{f1} = 2V$$

$$\text{VDRIFT CO OUT} \quad V_{f2} > V_{COM21} > V_{f1} \Rightarrow 2.93V > 2V > 0.543V$$

$$R_{V2} = R_2 // (R_1 + R_5) = 909.5 \Omega \rightarrow T_2 = R_{V2} \cdot C = 909.5 \mu s$$

$$T_2 = T_2 \cdot \ln \left\{ \frac{V_{f2} - V_{f1}}{V_{f2} - V_{COM11}} \right\} = 471.56 \mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 519.29 \mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = 1.925 \text{ kHz}$$

