

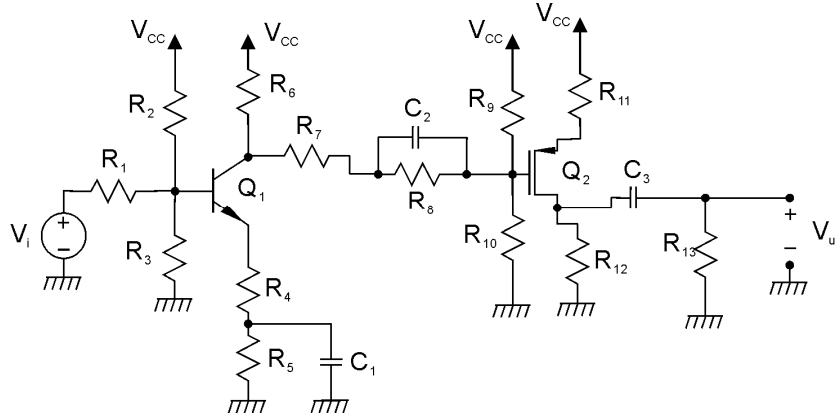
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 28 gennaio 2016

Esercizio A

$R_1 = 15.4 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 8 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 3.5 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 50 \text{ }\Omega$	$R_{12} = 3.5 \text{ k}\Omega$
$R_5 = 3450 \text{ }\Omega$	$R_{13} = 10 \text{ k}\Omega$
$R_6 = 2400 \text{ }\Omega$	$C_1 = 100 \text{ nF}$
$R_7 = 200 \text{ }\Omega$	$C_2 = 22 \text{ nF}$
$R_8 = 7800 \text{ }\Omega$	$C_3 = 1.5 \text{ nF}$
$R_9 = 20 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$



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 la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 0.5 \text{ mA/V}^2$ e $V_T = -1 \text{ V}$;

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R_3 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul source di Q_2 sia 11 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2 . (R: $R_3 = 14720 \text{ }\Omega$)
- 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 corto circuiti. (R: $V_U/V_i = 3.7$)
- 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: $f_{z1} = 461.3 \text{ Hz}$; $f_{p1} = 20302.8 \text{ Hz}$; $f_{z2} = 927.5 \text{ Hz}$; $f_{p2} = 1797.58 \text{ Hz}$; $f_{z3} = 0 \text{ Hz}$; $f_{p3} = 7859.5 \text{ Hz}$;))

Esercizio B

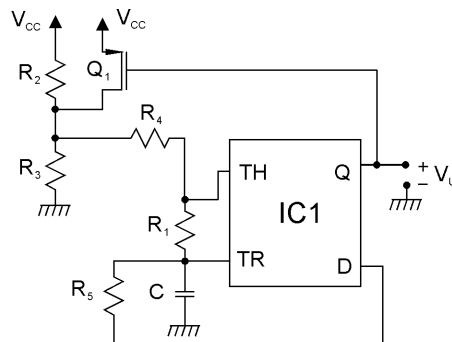
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

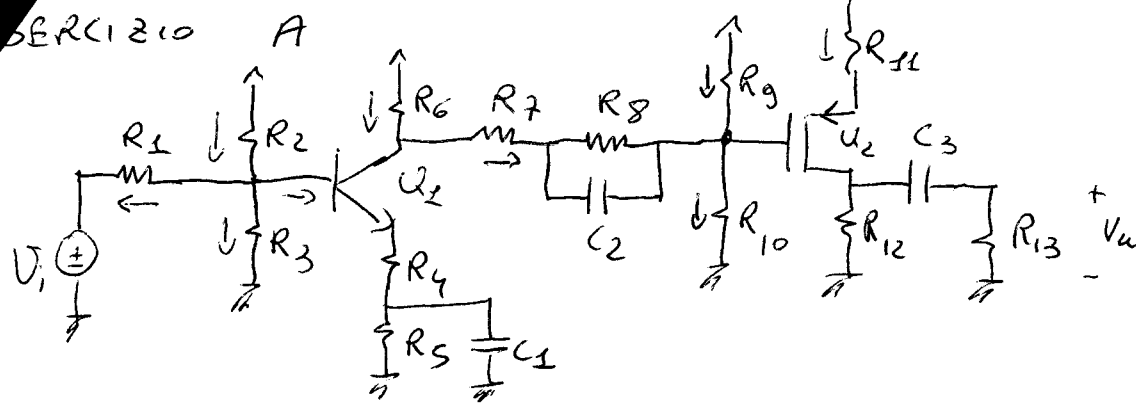
Esercizio C

$R_1 = 1200 \text{ }\Omega$	$R_5 = 200 \text{ }\Omega$
$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$	$C = 47 \text{ nF}$
$R_3 = 4 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 6 \text{ V}$
$R_4 = 200 \text{ }\Omega$	



Il circuito IC1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6 \text{ V}$, Q_1 ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = -1 \text{ V}$. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: $f = 18872 \text{ Hz}$)

BERC1210



1) Det. R_3 per $V_S = 11V$

$$I_{D1} = \frac{V_{CC} - V_S}{R_{11}} = 2mA = I_D$$

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

$$V_G = V_{GS} + V_S = -3 + 11 = 8V$$

$$V_D = I_D R_{12} = 7V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 7 - 11 = -4V < (V_{GS} - V_T) = -2V \quad (OK)$$

$$I_{Q1} = \frac{V_{CC} - V_G}{R_3} = 0.5mA$$

$$I_{Q2} = \frac{V_G}{R_{10}} = 1mA$$

$$I_7 = I_{Q2} - I_{Q1} = 0.5mA$$

$$V_C = V_G + (R_7 + R_8)I_7 = 12V$$

$$I_6 = \frac{V_{CC} - V_C}{R_6} = 2.5mA$$

$$I_C = I_6 - I_7 = 2mA = I_E$$

$$V_E = I_E(R_4 + R_5) = 7V$$

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

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.836 \mu A$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 7.7V$$

$$I_2 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_2} = 1.03mA$$

$$I_1 = \frac{V_B}{R_1} = 0.5mA$$

$$I_3 = I_2 - I_1 - I_B = 5.231 \times 10^{-4}A \Rightarrow$$

$$R_1 = 15.4K\Omega$$

$$R_2 = 10K\Omega$$

$$R_4 = 50\Omega$$

$$R_5 = 3450\Omega$$

$$R_6 = 2400\Omega$$

$$R_7 = 200\Omega$$

$$R_8 = 7800\Omega$$

$$R_9 = 20K\Omega$$

$$R_{10} = 8K\Omega$$

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

$$R_{12} = 3.5K\Omega$$

$$R_{13} = 10K\Omega$$

$$C_1 = 100nF$$

$$C_2 = 22nF$$

$$C_3 = 1.5nF$$

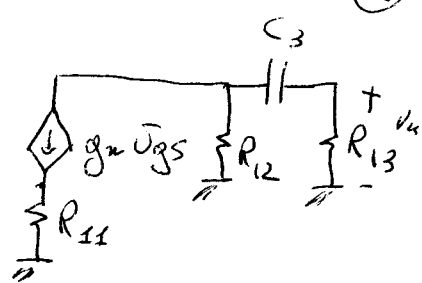
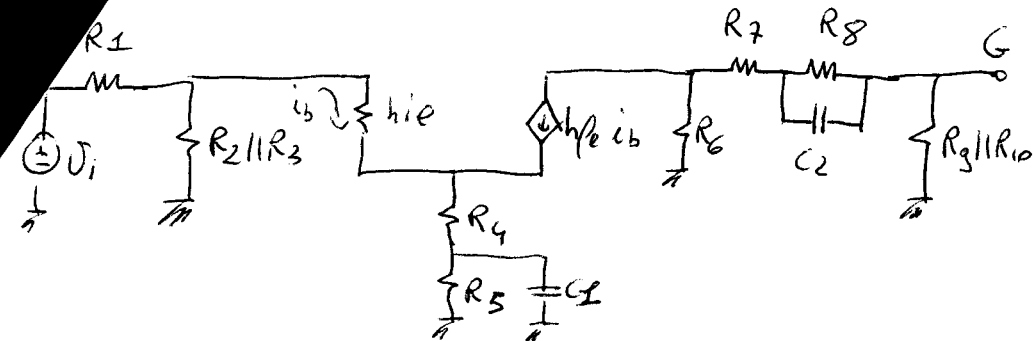
$$V_{CC} = 18V$$

$$K = 0.5 \frac{mA}{V^2}$$

$$Q_2 = \begin{cases} I_D = 2mA \\ V_{DS} = -4V \\ V_{GS} = -3V \\ g_m = 2K(V_{GS} - V_T) \\ = 2 \times 10^{-3} \frac{A}{V} \end{cases}$$

$$Q_1 = \begin{cases} I_C = 2mA \\ V_{CE} = 5V \\ h_{FE} = 290 \\ h_{FE} = 300 \\ h_{ie} = 4800\Omega \end{cases}$$

$$R_2 = \frac{V_B}{I_3} = 14713.84\Omega$$



Amplificazione a centro banda

$$V_o = (-g_m V_{gs}) (R_{12} \parallel R_{13})$$

$$V_{gs} = R_{11} g_m V_{gs}$$

$$V_{gs} = V_g - g_m R_{11} V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m R_{11}}$$

$$V_g = (R_9 \parallel R_{10}) (-h_{fe} i_b) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_9 \parallel R_{10}}$$

$$V_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} = (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) i_b + h_{ie} i_b + R_4 (h_{fe} + 1) i_b$$

$$i_b = V_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \frac{1}{h_{ie} + (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + R_4 (h_{fe} + 1)}$$

$$A_{CB} = \left[g_m (R_{12} \parallel R_{13}) \right] \frac{1}{1 + g_m R_{11}} \left[\frac{(R_9 \parallel R_{10}) (h_{fe}) R_6}{R_6 + R_7 + R_9 \parallel R_{10}} \right] \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \cdot \frac{1}{h_{ie} + (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + R_4 (h_{fe} + 1)}$$

$$= + 3.7042$$

$$|A_{CB}|_{dB} = 13.374$$

POL1 E 2ER1

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_5} = 461.32 \text{ Hz}$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{v1}} = 20302.76 \text{ Hz}$$

$$R_{v1} = R_5 \parallel \left[R_4 + \frac{h_{ie} + R_1 \parallel R_2 \parallel R_3}{(h_{fe} + 1)} \right] = 78.39 \text{ } \Omega$$

$$= \frac{1}{2\pi C_2 R_8} = \underline{\underline{927.47 \text{ Hz}}}$$

$$\underline{\underline{f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{V2}} = 1797.58 \text{ Hz}}}$$

$$R_{V2} = R_8 \parallel [R_6 + R_7 + R_3 \parallel R_{10}] = 4024.47 \Omega$$

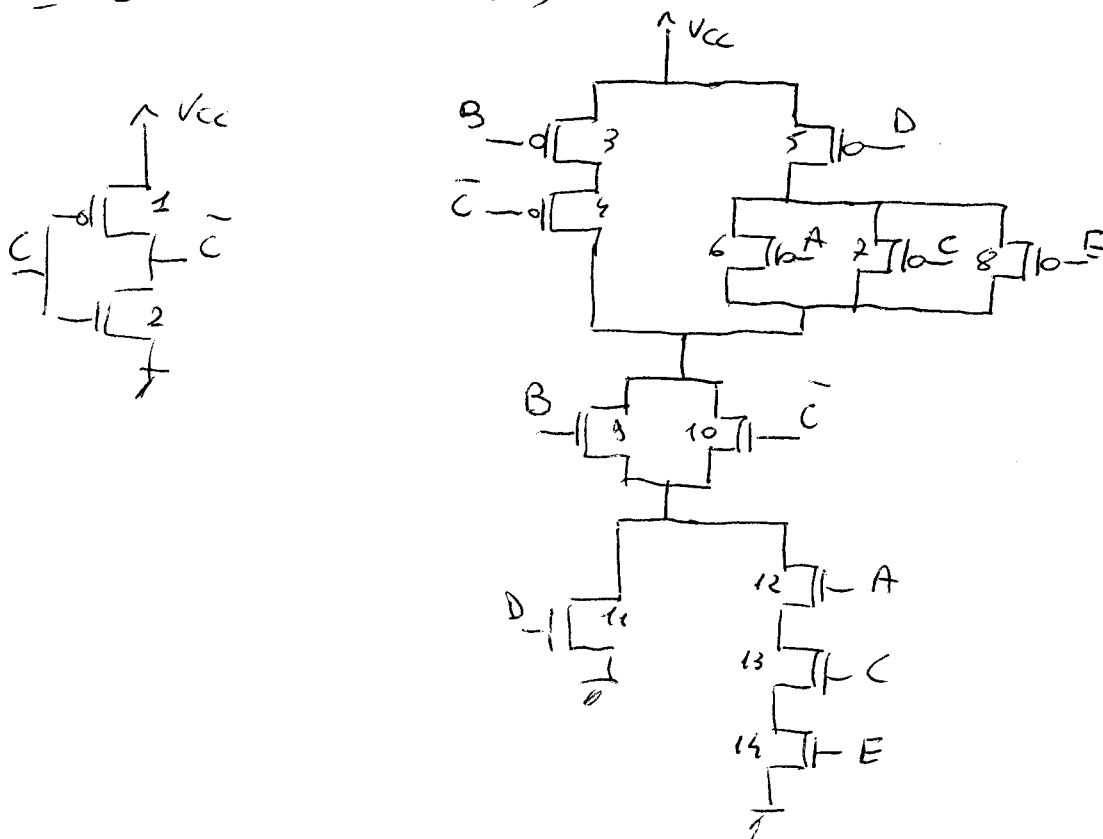
$$f_{z3} = \phi$$

$$\underline{\underline{f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 (R_{12} + R_{13})} = 7859.5 \text{ Hz}}}$$

ESERCIZIO B

$$\begin{aligned} Y &= \overline{A} \overline{E} (\overline{B} C + \overline{D}) + A \overline{B} C + \overline{D} \overline{C} = \\ &= (\overline{A} + \overline{E}) (\overline{B} C + \overline{D}) + A \overline{B} C + \overline{D} \overline{C} = \\ &= \overline{A} \overline{B} C + \overline{A} \overline{D} + \overline{B} C \overline{E} + \overline{D} \overline{E} + A \overline{B} C + \overline{D} \overline{C} = \\ &= \overline{B} C (\overline{A} + \overline{E} + A) + \overline{D} (\overline{A} + \overline{C} + \overline{E}) = \\ &= \overline{B} C + \overline{D} (\overline{A} + \overline{C} + \overline{E}) \end{aligned}$$

N. MOSFET = 14



$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{W}{L}\right)_{Q_1} &= p = 5 \\ \left(\frac{W}{L}\right)_{Q_2} &= n = 2 \end{aligned} \right\} \text{ INVERTER}$$

P.O.N.

1) Serie di 2 MOSFET

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 2p = 10$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{3,4,5,6,7,8} = 2p = 10$$

P.D.N.

1) Serie $Q_9 - Q_{12} - Q_{13} - Q_{14}$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 4n = 8$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{9,12,13,14} = 4n = 8$$

1) Serie di 2 MOSFET.

$$1^a \text{ OPZIONE } Q_{10} - Q_{11} \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{10,11} = 2n = 4$$

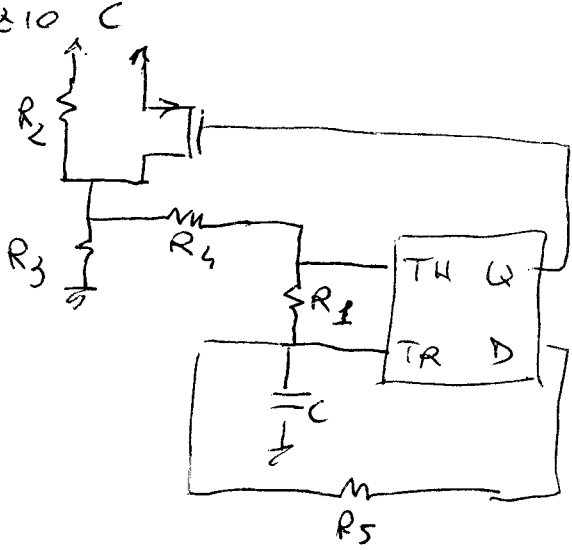
$$2^a \text{ OPZIONE } Q_9 - Q_{11} \Rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = \frac{4}{3}n = \frac{8}{3}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{11} = \frac{8}{3} \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{10} = 4n = 8$$

La 2^a opzione non è ad area minima quindi la

soluzione corretta è:

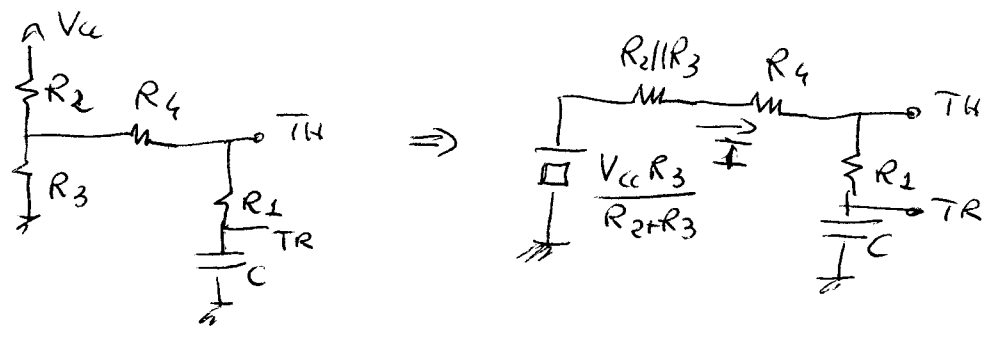
$$\left(\frac{W}{L}\right)_{10} = \left(\frac{W}{L}\right)_{11} = 2n = 4$$



- $R_1 = 1200 \Omega$
- $R_2 = 1 k\Omega$
- $R_3 = 4 k\Omega$
- $R_4 = 200 \Omega$
- $R_5 = 200 \Omega$
- $C = 47 nF$
- $V_{CC} = 6V$

1° caso

$Q = 1 \Rightarrow V_{GS1} = 6V \quad V_{SD1} = 6V \Rightarrow V_{GS1} = 0V > V_T = +1V \Rightarrow Q \text{ off}$
 $D = \text{HI}$



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

$$V_f = V_{CC} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 4.8V$$

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

$$I_1 = \left(\frac{V_{CC} R_3}{R_2 + R_3} - V_{TH} \right) \frac{1}{R_4 + R_2 || R_3} = 0.8 mA$$

$$V_{cor} = V_{TH} - R_1 I_1 = 3.04V$$

$$R_{V1} = R_1 + R_4 + R_2 || R_3 = 2200 \Omega$$

$$\tau_1 = C_1 R_{V1} = 103.4 \mu s$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left(\frac{V_i - V_f}{V_{cor} - V_f} \right) = 4.80092 \times 10^{-5} s$$

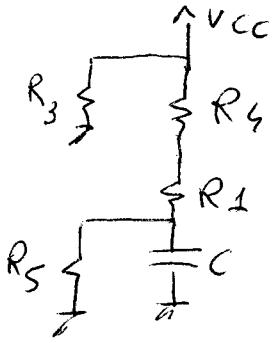
$$V_i < V_{cor} < V_f \quad (OK)$$

(450

(6)

$$Q=0 \Rightarrow V_G=0V \quad V_S=6V \quad V_{GS}=-6V < V_T \Rightarrow Q \text{ ON}$$

$$D=0$$



$$V_i = 3.04V$$

$$V_i > V_{con} > V_f \quad (\text{OK})$$

$$V_{con} = 2V$$

$$V_f = V_{cc} \frac{R_5}{R_5 + R_4 + R_1} = 0.75V$$

$$R_{V2} = R_5 \parallel (R_1 + R_4) = 175 \Omega$$

$$\tau_2 = 8.225 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left(\frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f} \right) = 4.979 \mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 5.2988 \times 10^{-5} s$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{\underline{18871.95 \text{ Hz}}}$$