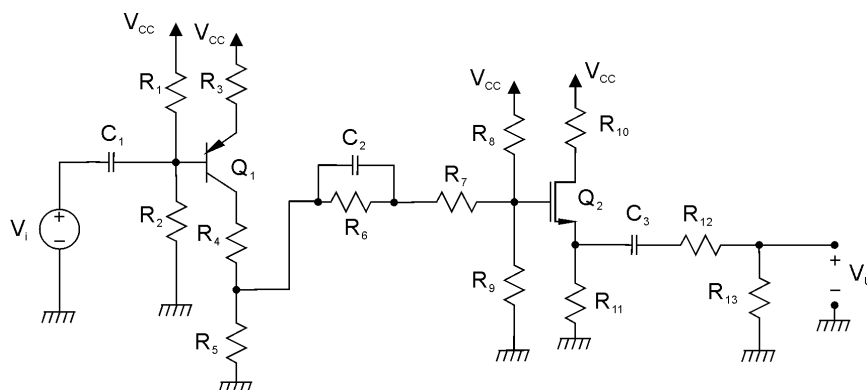


Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 21 luglio 2016

Esercizio A

$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 3 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 7 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 4 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 850 \text{ }\Omega$	$R_{12} = 50 \text{ }\Omega$
$R_5 = 3200 \text{ }\Omega$	$R_{13} = 50 \text{ k}\Omega$
$R_6 = 5900 \text{ }\Omega$	$C_1 = 10 \text{ nF}$
$R_7 = 100 \text{ }\Omega$	$C_2 = 15 \text{ nF}$
$R_8 = 10 \text{ k}\Omega$	$C_3 = 33 \text{ nF}$
$R_9 = 55 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$



Q₁ è un transistor BJT BC179A resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$; per gli altri parametri forniti dal costruttore si utilizzino i valori tipici o, in loro assenza, i valori massimi; Q₂ è un transistor MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_{DS} = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 0.5 \text{ mA/V}^2$ e $V_T = 1 \text{ V}$.

Con riferimento all'amplificatore in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R_3 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul drain di Q_2 sia 12 V; si ipotizzi di trascurare la corrente di base di Q_1 rispetto alla corrente che scorre nella resistenza R_1 . Determinare, inoltre, il punto di riposo dei transistori e verificare la saturazione di Q_2 . (R: $R_3 = 1650 \Omega$)
- 2) Determinare V_U/V_i alle frequenze per le quali C_1 , C_2 e C_3 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: $V_U/V_i = -1.22$)
- 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: $f_{z1}=0$ Hz; $f_{p1}=10268$ Hz; $f_{z2}=1798$ Hz; $f_{p2}=2700$ Hz; $f_{z3}=0$ Hz; $f_{p3}=95.5$ Hz)

Esercizio B

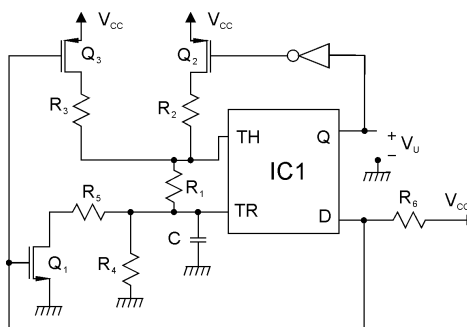
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

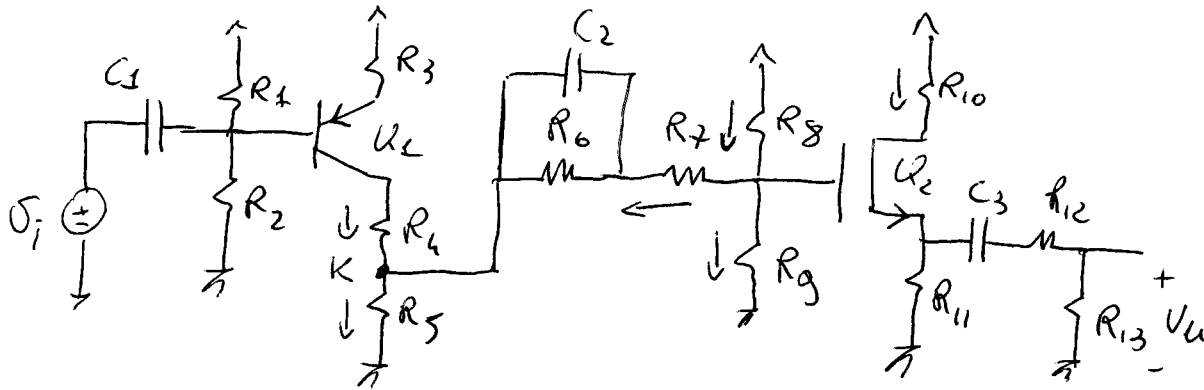
Esercizio C

$R_1 = 50\ \Omega$	$R_5 = 1\ \text{k}\Omega$
$R_2 = 100\ \Omega$	$R_6 = 2\ \text{k}\Omega$
$R_3 = 8950\ \Omega$	$C = 220\ \text{nF}$
$R_4 = 1\ \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 6\ \text{V}$



Il circuito IC₁ è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 6V$; Q₁ ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = 1V$; Q₂ e Q₃ hanno una $R_{on} = 0$ e $V_T = -1V$; l'inverter è ideale. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 8406 Hz)

ESERCIZIO A



$$R_1 = 2k\Omega$$

$$R_2 = 7k\Omega$$

$$R_4 = 850\Omega$$

$$R_5 = 3200\Omega$$

$$R_6 = 5300\Omega$$

$$R_7 = 100\Omega$$

$$R_8 = 10k\Omega$$

$$R_9 = 55k\Omega$$

$$R_{10} = 3k\Omega$$

$$R_{11} = 4k\Omega$$

$$R_{12} = 50\Omega$$

$$R_{13} = 50k\Omega$$

$$C_1 = 10nF$$

$$C_2 = 15nF$$

$$C_3 = 33nF$$

$$V_{CC} = 18V$$

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

c) Det R_3 per $V_{DQ} = 12V$

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_D}{R_{10}} = 2mA$$

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

$$V_S = I_D R_{11} = 8V$$

$$\text{per } Q_2 \text{ satur.} \Rightarrow I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 3V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 12 - 8 = 4V > V_{GS} - V_T = 2V \Rightarrow \text{OK}$$

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

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

$$I_8 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_8} = 700\mu A$$

$$I_9 = \frac{V_G}{R_9} = 200\mu A$$

$$I_7 = I_8 - I_9 = 500\mu A$$

$$V_K = V_G - (R_6 + R_7)I_7 = 8V$$

$$I_5 = \frac{V_K}{R_5} = 2.5mA$$

$$I_4 = -I_{C1} = I_5 - I_7 = 2mA$$

$$V_C = V_K + R_4 I_4 = 9.7V$$

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

$$I_B \ll I_1 \Rightarrow V_{B1} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 14V$$

$$V_{E1} = V_{B1} + V_{BE} = 14.7V$$

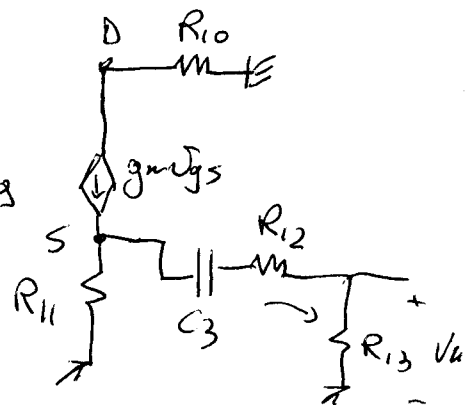
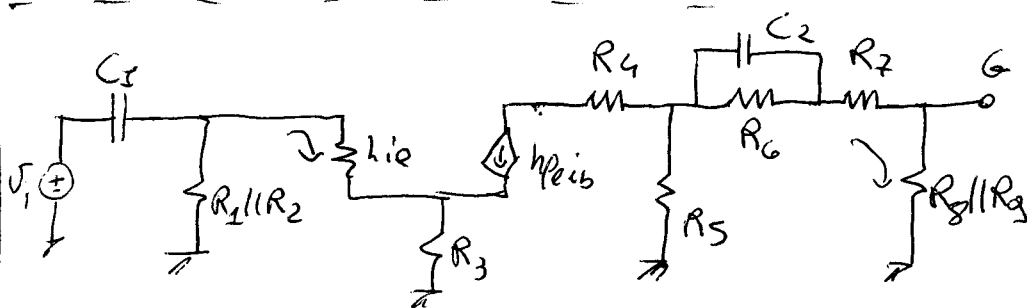
$$V_{CE1} = V_C - V_E = 9.7 - 14.7 = -5V$$

$$Q_2 \begin{cases} I_C = -2mA \\ V_{CE} = -5V \\ h_{fe} = 260 \\ h_{ie} = 2.7k\Omega \end{cases}$$

Dalle caratteristiche grafiche si vede che la

corrente di base per $V_{CE} = -5V$ e $I_C = -2mA$ è circa $I_B = -10\mu A$ che può essere trascurata rispetto a $I_1 = 2mA$. Per cui si può dire che $I_E \approx I_C$.

$$R_3 = \frac{V_{CC} - V_E}{I_E} = \underline{\underline{1650\Omega}}$$



$$V_u = R_{13} i_{13}$$

$$i_{13} = (g_m v_{gs}) \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{12} + R_{13}}$$

$$v_s = (g_m v_{gs}) [R_{11} \parallel (R_{12} + R_{13})]$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = \frac{v_g}{1 + g_m [R_{11} \parallel (R_{12} + R_{13})]}$$

$$v_g = (R_8 \parallel R_9) i_8$$

$$i_8 = (-h_{fe} i_b) \frac{R_5}{R_5 + R_7 + R_8 \parallel R_9}$$

$$v_i = h_{ie} i_b + R_3 (h_{fe} + 1) i_b \Rightarrow i_b = \frac{v_i}{h_{ie} + R_3 (h_{fe} + 1)}$$

(3)

$$A_{CB} = \frac{V_{ce}}{V_i} = \frac{2 \times 10^{-3}}{260} \cdot g_m \cdot \frac{R_{11} \cdot R_{13}}{R_{11} + R_{12} + R_{13}} \cdot \frac{1}{1 + g_m [R_{11} \parallel (R_{12} + R_{13})]} \cdot R_8 \parallel R_9$$

$$= \frac{0.272}{2.3076 \times 10^{-6}} \cdot (-h_{fe}) \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_7 + R_8 \parallel R_9} \cdot \frac{1}{h_{ie} + R_3(h_{fe} + 1)} = -1.2957$$

$$|A_{CB}|_{dB} = 1.697 \text{ dB}$$

-) Poles & ZERs

C₁: $f_{z1} = \phi \text{ Hz}$

$$\underline{f_{p1}} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{v1}} = \underline{10268.1 \text{ Hz}}$$

$$R_{v1} = R_1 \parallel R_2 \parallel [h_{ie} + R_3(h_{fe} + 1)] = 1549.99 \Omega$$

C₂: $\underline{f_{z2}} = \frac{1}{2\pi C_2 R_6} = \underline{1798.36 \text{ Hz}}$

$$\underline{f_{p2}} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{v2}} = \underline{2700.48 \text{ Hz}}$$

$$R_{v2} = R_6 \parallel [R_5 + R_7 + R_8 \parallel R_9] = 3929.05 \Omega$$

C₃: $\underline{f_{z3}} = \phi \text{ Hz}$

$$\underline{f_{p3}} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{v3}} = \underline{95.513 \text{ Hz}}$$

$$R_{v3} = \left(\frac{1}{g_m} \parallel R_{11} \right) + R_{12} + R_{13} = 50494.4 \Omega$$

ESERCIZIO B (4)

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

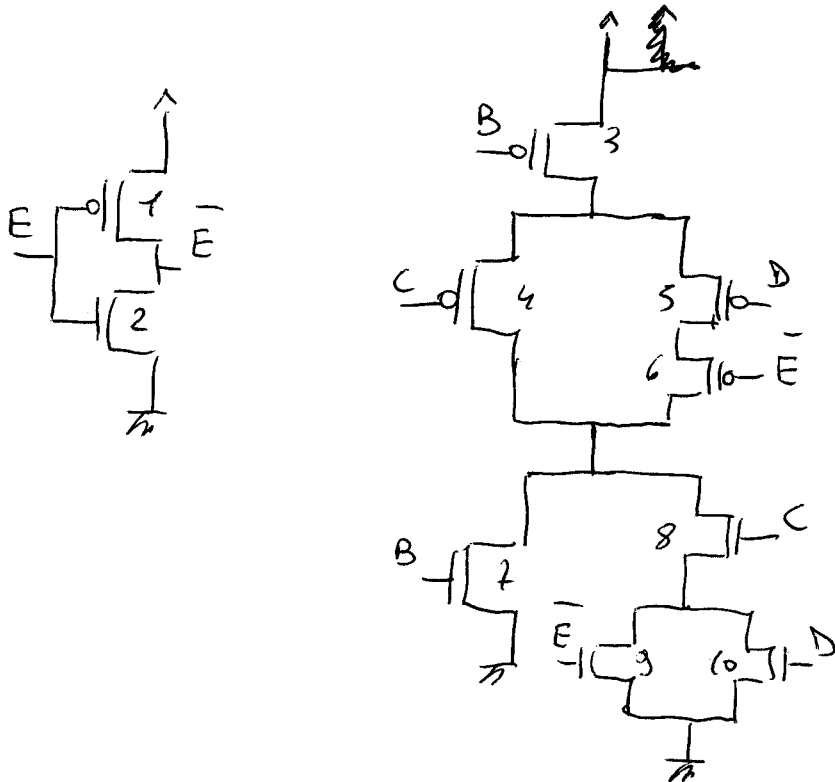
$$= A\overline{B}(\overline{C} + \overline{D}E) + \overline{A}\overline{B}\overline{C} + \overline{A}\overline{B}\overline{D}E =$$

$$= \underbrace{A\overline{B}\overline{C}}_x + \underbrace{\overline{A}\overline{B}\overline{D}E}_0 + \underbrace{\overline{A}\overline{B}\overline{C}}_x + \underbrace{\overline{A}\overline{B}\overline{D}E}_0 =$$

$$= \overline{B}\overline{C} + \overline{B}\overline{D}E =$$

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

$$N_{POS} = 10$$



$$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = p = 5 \quad ; \quad \left(\frac{W}{L}\right)_2 = n = 2$$

.) PUN

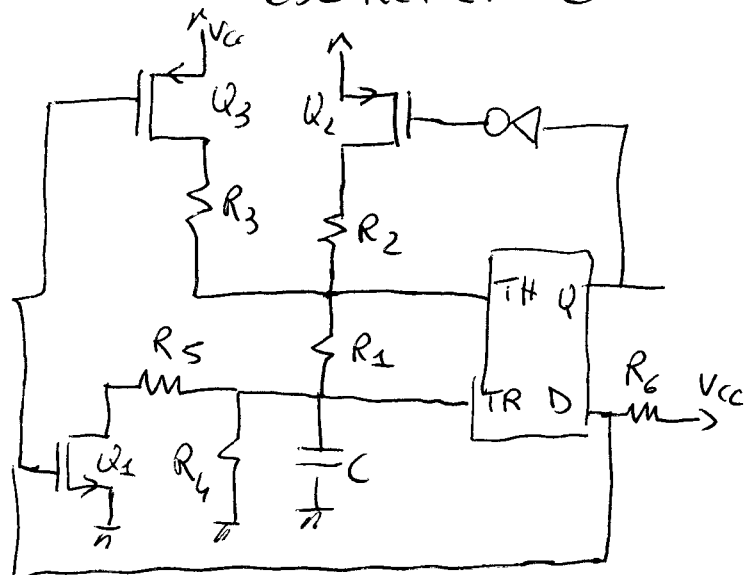
Serie di $Q_3 - Q_5 - Q_6 \Rightarrow \frac{3}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p = 15 = \left(\frac{W}{L}\right)_{3,5,6}$

Serie di $Q_3 - Q_4 \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = \frac{3}{2}p = 7.5 = \left(\frac{W}{L}\right)_4$

.) PDN

Serie di $Q_8 - Q_9$ e $Q_8 - Q_{10} \Rightarrow \frac{2}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 2n = 4 = \left(\frac{W}{L}\right)_{8,9,10}$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_7 = n = 2$$



$$R_1 = 50 \Omega$$

$$R_2 = 100 \Omega$$

$$R_3 = 8350 \Omega$$

$$R_4 = 1 k\Omega$$

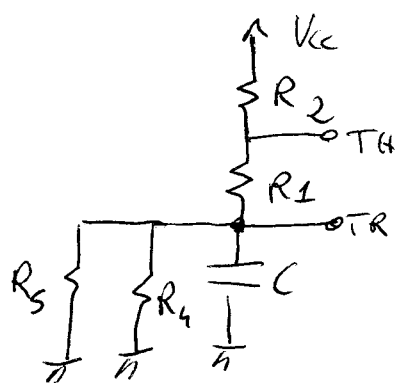
$$R_5 = 1 k\Omega$$

$$R_6 = 2 k\Omega$$

$$C = 220 nF$$

$$V_{CC} = 6 V$$

- 1) $Q = 1$ $V_{G2} = 0$ $V_{S2} = 6V \Rightarrow V_{GS2} = -6V < V_{TP} = -1V \Rightarrow Q_2$ ON
 $D = HI$ $V_{G1} = 6V$ $V_{S1} = 0V \Rightarrow V_{GS1} = 6V > V_{TN} = 1V \Rightarrow Q_1$ ON
 $V_{G3} = 6V$ $V_{S3} = 6V \Rightarrow V_{GS3} = 0V > V_{TP} = -1V \Rightarrow Q_3$ OFF



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

$$V_f = V_{CC} \frac{R_4 || R_5}{(R_4 || R_5) + R_1 + R_2} = 4.615 V$$

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

$$I_{RE} = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_2} = 20 mA$$

$$V_{CON} = V_{TH} - R_1 I_{RE} = 3V$$

$$V_i < V_{CON} < V_f \Rightarrow \text{CORRUTTA}$$

$$R_{VC} = R_5 || R_4 || (R_1 + R_2) = 155.38 \Omega$$

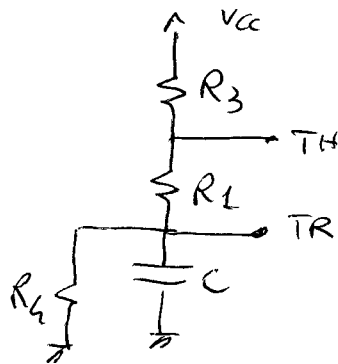
$$\tau_1 = C R_{VC} = 2.538 \times 10^{-5} s$$

$$\tau_2 = \tau_1 \ln \left(\frac{V_i - V_f}{V_{CON} - V_f} \right) = 12.23 \mu s$$

$$U=0 \quad V_{G2}=6V \quad V_{S2}=6V \Rightarrow V_{GS2}=0V > V_{TP} \Rightarrow Q_2 \text{ OFF}$$

$$D=\emptyset \quad V_{G1}=0V \quad V_{S1}=0V \Rightarrow V_{GS1}=0V < V_{TN} \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$$

$$V_{G3}=0V \quad V_{S3}=6V \Rightarrow V_{GS3}=-6V < V_{TP} \Rightarrow Q_3 \text{ ON}$$



$$V_{i2} = V_{cor1} = 3V$$

$$V_{cor2} = V_{i1} = 2V$$

$$V_f = V_{CC} \frac{R_4}{R_4 + R_3 + R_1} = 0.6V$$

$$V_i > V_{cor} > V_f \Rightarrow \text{CORRECTION}$$

$$R_{VC} = R_4 \parallel (R_1 + R_3) = 900 \Omega$$

$$\tau_2 = C R_{VC} = 198 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left(\frac{V_i - V_f}{V_{cor} - V_f} \right) = 106.72 \mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 118.95 \mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{\underline{8406.55 \text{ Hz}}}$$