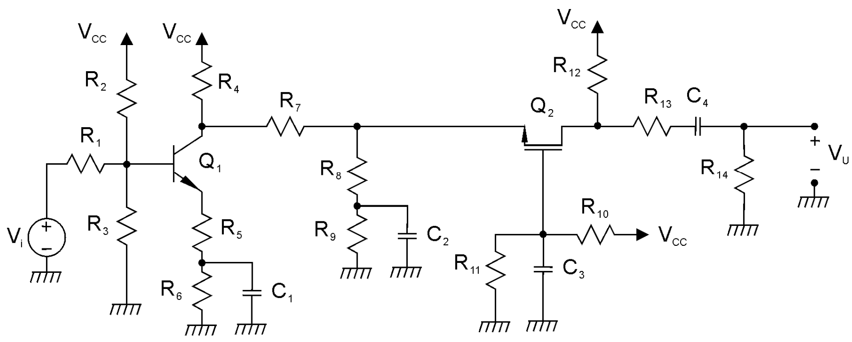
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 21 luglio 2015

Esercizio A

R_1 = 1 kΩ	R_{11} =200 kΩ
R_3 =92.5 kΩ	R_{12} = 2750 Ω
R_4 = 10 kΩ	R_{13} = 100 Ω
R_5 = 50 Ω	R_{14} = 1 kΩ
R_6 = 1450 Ω	C_1 = 1 μF
R_7 = 1 kΩ	C_2 = 100 nF
R_8 = 5 kΩ	C_3= 1 μF
R_9 = 4 kΩ	C_4= 2 nF
R_{10} =100 kΩ	V_{CC} = 18 V



Q_1 è un transistore BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe}= 0$; Q_2 è un transistore MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_D=k(V_{GS}-V_T)^2$ con k = 0.5 mA/V^2 e V_T = 1 V.
Con riferimento al circuito in figura:

1) Calcolare il valore della resistenza R_2 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul drain di Q_2 sia 12.5 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2. (R: R_2 = 3816.49)
2) Determinare l'espressione e il valore di V_U/Vi alle frequenze per le quali C_1, C_2, C_3 e C_4 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: V_U/Vi = - 6.48)
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} = 109.8 Hz; f_{p1} = 2431.3 Hz; f_{z2} = 716.2 Hz; f_{p2} = 688.4 Hz; f_{z4} = 0 Hz; f_{p4} = 20669.5 Hz)

Esercizio B

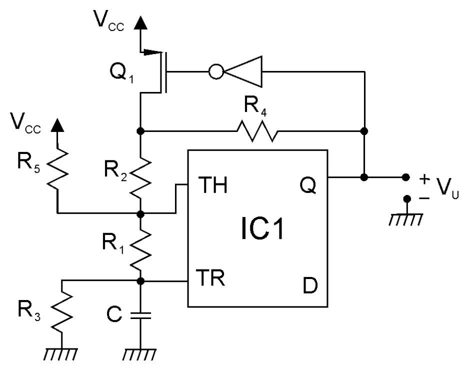
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

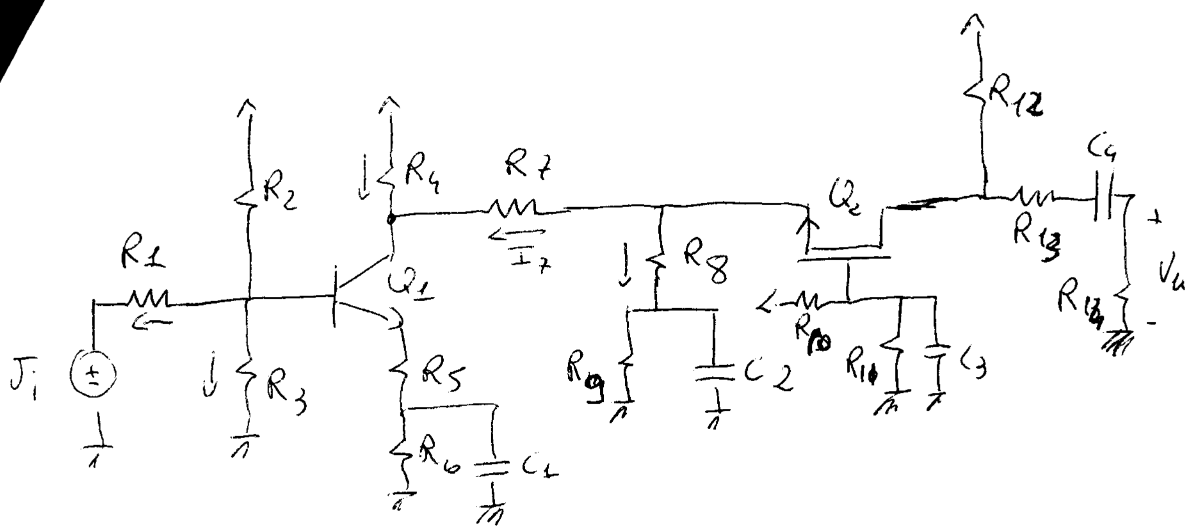
Esercizio C

R_1 =500 Ω	R_5 = 2 kΩ
R_2 = 2 kΩ	C = 47 nF
R_3 = 2.5 kΩ	**V_{CC} = 6 V**
R_4 = 50 Ω	



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a **V_{CC} = 6V**, Q_1 ha 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 = 7114.4 Hz)

APPELLO 21/07/2015



$R_1 = 1\,k\Omega$

$R_3 = 92.5\,k\Omega$

$R_4 = 10\,k\Omega$

$R_5 = 50\,\Omega$

$R_6 = 1450\,\Omega$

$R_7 = 1\,k\Omega$

$R_8 = 5\,k\Omega$

$R_9 = 4\,k\Omega$

$R_{10} = 100\,k\Omega$

$R_{11} = 200\,k\Omega$

$R_{12} = 2750\,\Omega$

$R_{13} = 100\,\Omega$

$R_{14} = 1\,k\Omega$

$C_1 = 1\,\mu F$

$C_2 = 100\,nF$

$C_3 = 1\,\mu F$

$C_4 = 2\,nF$

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

$V_{cc} = 18\,V$

•) R_2 per $V_D = 12.5V$

$$I_{12} = I_D = I_S = \frac{V_{cc} - V_D}{R_{12}} = \frac{18 - 12.5}{2750} = 2\,mA$$

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

$$V_G = V_{cc}\frac{R_{11}}{R_{10}+R_{11}} = 12V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 12 - 3 = 9V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 12.5 - 9 = 3.5V > (V_{GS} - V_T) = 2V$$

$$I_8 = \frac{V_S}{R_8 + R_9} = \frac{9}{9000} = 1\,mA$$

$$I_7 = I_D - I_8 = 2\times10^{-3} - 1\times10^{-3} = 1\,mA$$

$$V_C = V_S - R_7 I_7 = 9 - 10^3 \times 10^{-3} = 8V$$

$$I_4 = \frac{V_{cc} - V_C}{R_4} = \frac{18 - 8}{10^4} = 1\,mA$$

$$I_{C1} = I_4 + I_7 = 2\,mA \simeq I_E$$

$$V_E \simeq I_{C1}(R_5 + R_6) = 2\times10^{-3} \times 1500 = 3V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 8 - 3 = 5V$$

$$V_B = V_E + V_\gamma = 3.7V$$

$$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{3.7}{92.5\times10^3} = 40\,\mu A$$

$$Q_2 \begin{cases} I_D = 2\,mA \\ V_{DS} = 3.5V \\ V_{GS} = 3V \\ g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = \\ \quad = 2\times10^{-3}\,\frac{A}{V} \end{cases}$$

$$Q_1 \begin{cases} I_C = 2\,mA \\ V_{CE} = 5V \\ I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = 6.836\,\mu A \end{cases}$$

$h_{ie} = 4800\,\Omega$

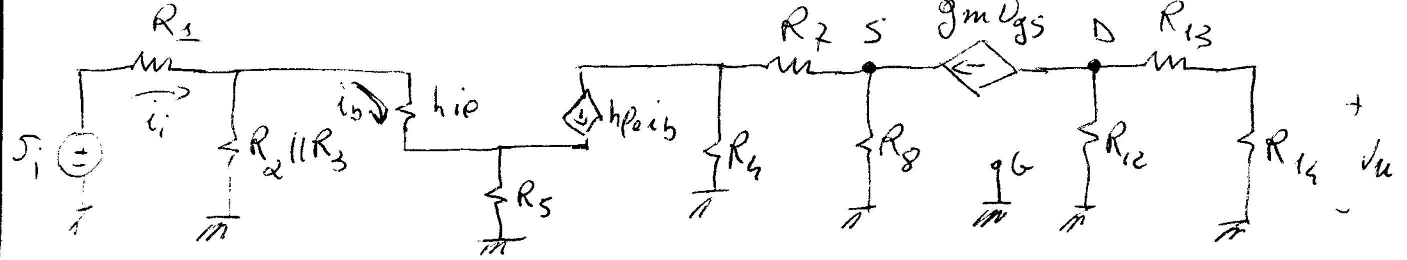
$h_{fe} = 300$

$$\frac{V_B}{R_1} = \frac{3.7}{10^3} = 3.7\ mA$$

$$I_2 = I_1 + I_3 + I_8 = 3.74683\ mA$$

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_B}{I_2} = \frac{18 - 3.7}{3.74683 \times 10^{-3}} = 3816.49\ \Omega$$

) A_{CB}



$$v_u = (-g_m v_{gs}) \frac{R_{12}}{R_{12}+R_{13}+R_{14}} \cdot R_{14}$$

$$v_g = \phi$$

$$\Rightarrow g_m v_s \frac{R_{12}}{R_{12}+R_{13}+R_{14}} R_{14}$$

$$v_s = \cancel{g_m}(-h_{fe} i_b) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + (R_8 \| \frac{1}{g_m})} \cdot \left(R_8 \| \frac{1}{g_m}\right) = (-h_{fe} i_b) \frac{R_4 R_8}{(R_4+R_7)(1+g_m R_8) + R_8}$$

$$i_b = i_i \frac{R_2 \| R_3}{(R_2 \| R_3) + h_{ie} + R_5 (h_{fe}+1)}$$

$$i_i = v_i \frac{1}{R_1 + R_2 \| R_3 \| [h_{ie} + R_5(h_{fe}+1)]}$$

$$\frac{v_u}{v_i} = \underbrace{\left[g_m \frac{R_{12} R_{14}}{R_{12}+R_{13}+R_{14}} \right]}_{1.42857} (-h_{fe}) \underbrace{\frac{R_4 \left(R_8 \| \frac{1}{g_m}\right)}{R_4 + R_7 + \left(R_8 \| \frac{1}{g_m}\right)}}_{113047.62} \cdot \underbrace{\frac{R_2 \| R_3}{(R_2\|R_3) + h_{ie} + R_5(h_{fe}+1)}}_{0.155867}$$

$$\cdot \underbrace{\frac{1}{R_1 + R_2 \| R_3 \| [h_{ie} + R_5(h_{fe}+1)]}}_{2.44262 \times 10^{-4}} = -6.475$$

$$|A_{CB}| = 16.22\ dB$$

POLI E ZERI

C_1: $f_{z1} = \dfrac{1}{2\pi C_1 R_6} = 109.76 \ Hz$

$f_{p1} = \dfrac{1}{2\pi C_1 R_{v1}} = 2431.33 \ Hz$

$R_{v1} = R_6 \parallel \left\{ R_5 + \dfrac{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + h_{ie}}{(h_{fe}+1)} \right\} = 65.46 \ \Omega$

C_2: $f_{z2} = \dfrac{1}{2\pi C_2 (R_8 \parallel R_9)} = 716.197 \ Hz$

$f_{p2} = \dfrac{1}{2\pi C_2 R_{v2}} = 688.41 \ Hz$

$R_{v2} = R_9 \parallel \left\{ R_8 + \left[\dfrac{1}{g_m} \parallel (R_4 + R_7) \right] \right\} = 2311.93 \ \Omega$

C_3: $f_{z3} = f_{p3}$

C_4 = $f_{z4} = \phi \ Hz$

$f_{p4} = \dfrac{1}{2\pi C_4 (R_{12} + R_{13} + R_{14})} = 20669.47 \ Hz$

ESERCIZIO B

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

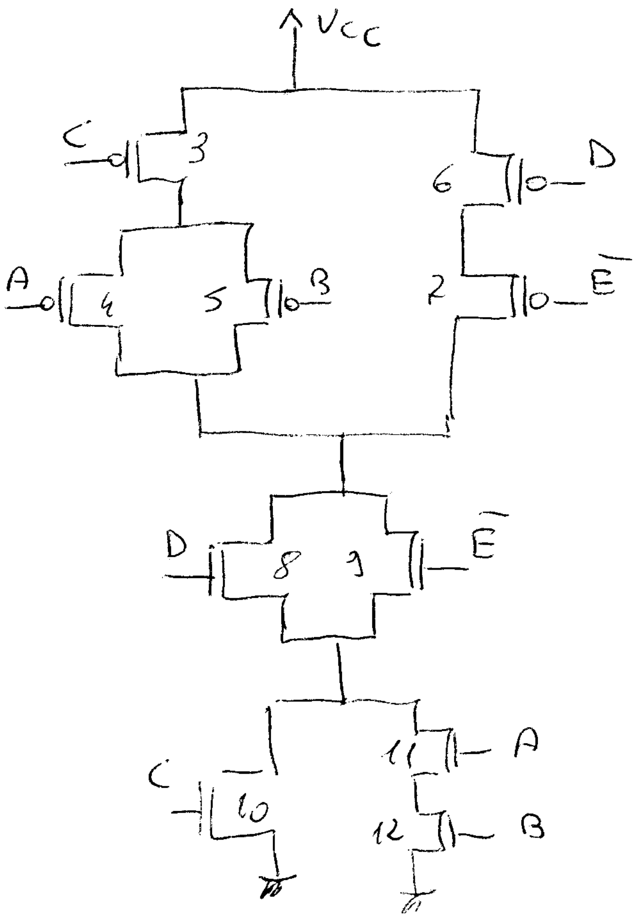
$= (\overline{A} + \overline{B})(\overline{C} D + \overline{D} E) + \overline{B}\,\overline{C} + \overline{A}\,\overline{C}\,\overline{D} + \overline{D} E =$

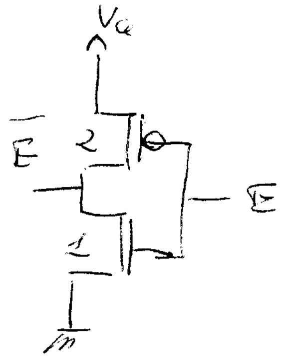
$= \overline{A}\,\overline{C} D + \overline{A}\,\overline{D} E + \overline{B}\,\overline{C} D + \overline{B}\,\overline{D} E + \overline{B}\,\overline{C} + \overline{A}\,\overline{C}\,\overline{D} + \overline{D} E =$

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

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

N. MOSFET = ~~[illegible]~~ $(5 \times 2) + 2 = 12$ MOSFET





$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = n = 2$

$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = p = 5$

·) PUN

Serie $Q_3 - Q_4$, $Q_3 - Q_5$; $Q_6 - Q_7$

$$\frac{2}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 2p = 10 = \left(\frac{W}{L}\right)_{3,4,5,6,7}$$

·) PDN

Serie $Q_8 - Q_{11} - Q_{12}$; $Q_9 - Q_{11}, Q_{12}$

$$\frac{3}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = 3n = 6 = \left(\frac{W}{L}\right)_{8,9,11,12}$$

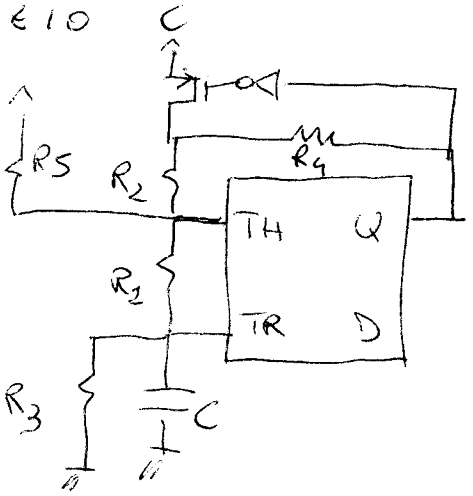
Serie $Q_{10} - Q_8$, $Q_{10} - Q_9$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{3n} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{2}{3n} \Rightarrow x = \frac{3}{2} n = 1.5n$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{10} = 1.5n = 3$$

ERCIZIO



$R_1 = 500\,\Omega$

$R_2 = 2\,k\Omega$

$R_3 = 2.5\,k\Omega$

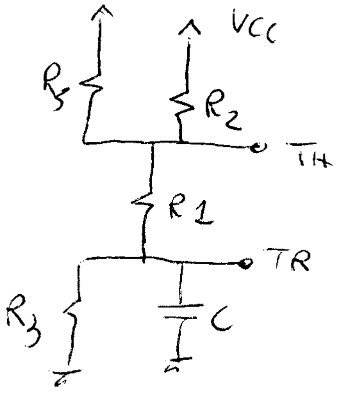
$R_4 = 50\,\Omega$

$R_5 = 2\,k\Omega$

$C = 47\,nF$

$V_{cc} = 6V$

1) $Q = 1$ $D = HI$ $V_{g1} = \phi V$ $V_{S1} = V_{cc} = 6V$ $V_{gS1} = -6V < -1V \Rightarrow Q_1$ ON



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

$$V_f = \frac{V_{cc}}{(R_2 \| R_5) + R_1 + R_3} \cdot R_3 = 3.75V$$

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

$$I_{R1} = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_2 \| R_5} = \frac{6-4}{1000} = 2mA$$

$$V_{con} = V_{TH} - R_1 I_{R1} = 4 - 2\times10^{-3}\times 500 = 3V$$

$V_i > V_{con} > V_f \Rightarrow$ la commutazione avviene

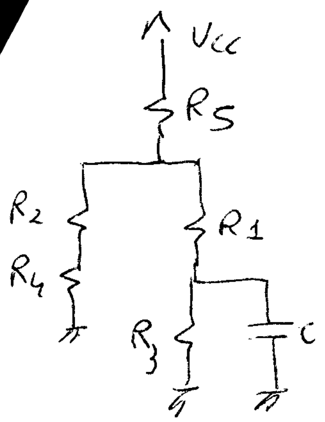
$$R_{vc1} = R_3 \| [R_1 + R_2 \| R_5] = 937.5\,\Omega$$

$$\tau_1 = R_{vc1} \cdot C_1 = 44.0625\,\mu s$$

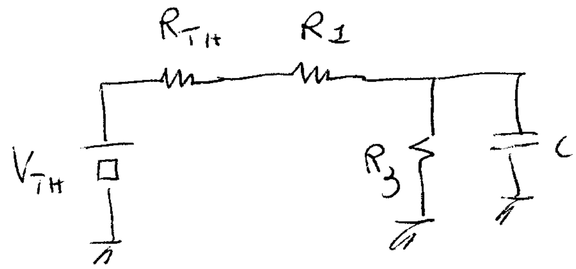
$$T_1 = \tau_1 \ln\left[\frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f}\right] = 3.7334\times10^{-5}\,s$$

$Q = 0 \quad V_{g1} = 6V \quad V_{s1} = 6V \Rightarrow V_{gs1} = 0V > -1$

$\Rightarrow Q_1$ OFF



$\Longrightarrow$



$V_{i_2} = V_{con1} = 3V$

$V_{con2} = V_{i1} = 2V$

$$V_{TH} = V_{cc} \frac{(R_2+R_4)}{(R_2+R_4)+R_5} = 3.037\ V$$

$$R_{TH} = (R_2+R_4) \| R_5 = 1012.346\ \Omega$$

$$V_f = \frac{V_{TH}}{R_{TH}+R_1+R_3} \cdot R_3 = 1.8923V$$

$V_{i2} > V_{con2} > V_{f2} \Rightarrow$ commutazione avviene

$$R_{V2} = R_3 \| (R_{TH}+R_1) = 942.3077\,\Omega$$

$$\tau_2 = R_{V2} \cdot C = 4.4288 \times 10^{-5}\ s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_{i2}-V_{f2}}{V_{con_2}-V_{f2}}\right) = 1.0322 \times 10^{-4}\ s$$

$$T = T_1 + T_2 = 1.405596 \times 10^{-4}\ s$$

$$f = \frac{1}{T} = 7114.42\ Hz$$