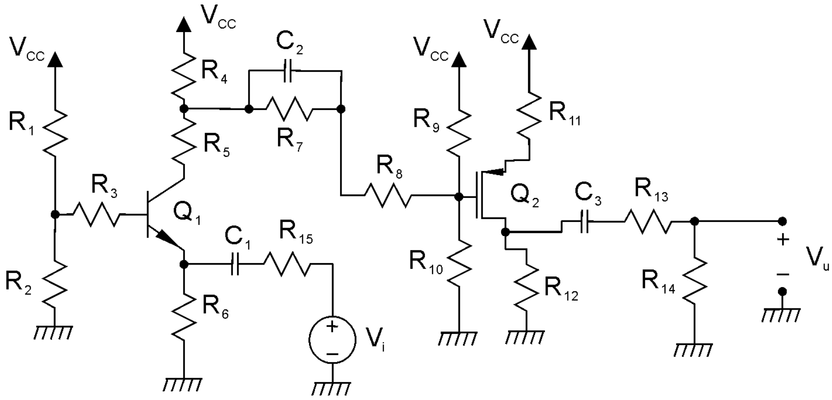
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 02 settembre 2015

Esercizio A

R_1 = 20 kΩ	R_{11} = 2.4 kΩ
R_3 = 4 kΩ	R_{12} = 3 kΩ
R_4 = 3.2 kΩ	R_{13} = 1 kΩ
R_5 = 1 kΩ	R_{14} = 20 kΩ
R_6 = 1.5 kΩ	R_{15} = 50 Ω
R_7 = 2.3 kΩ	C_1 = 100 nF
R_8 = 500 Ω	C_2 = 10 nF
R_9 =18.8 kΩ	C_3= 68 nF
R_{10} =8.6 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 p resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS}-V_T)^2$ con k = 0.25 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 source di Q_2 sia 12.6 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2. (R: R_2 = 5274.5 Ω)
2) Determinare l'espressione e il valore di V_U/Vi alle frequenze per le quali C_1, C_2, e C_3 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: V_U/Vi = - 16.9)
3) (**<u>Solo per 12 CFU</u>**) 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} = 17318.6 Hz; f_{z2} = 6919.8 Hz; f_{p2} = 8577.5 Hz; f_{z3} = 0 Hz; f_{p3} = 97.5 Hz;)

Esercizio B

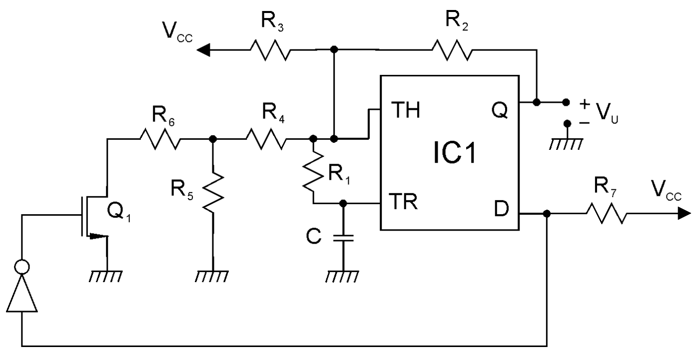
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

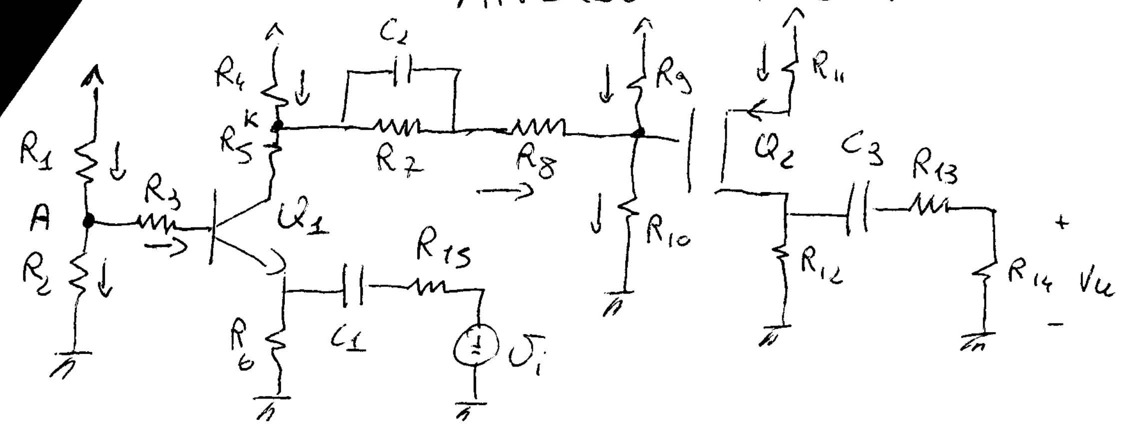
Esercizio C

R_1 =200 Ω	R_6 = 500 Ω
R_2 = 500 Ω	R_7 = 1 kΩ
R_3 = 2 kΩ	C = 47 nF
R_4 = 500 Ω	**V_{CC} = 6 V**
R_5 = 2 kΩ	



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 = 32564 Hz)

APPELLO 02/09/15



$R_1 = 20 K\Omega$

$R_3 = 4 K\Omega$

$R_4 = 3.2 K\Omega$

$R_5 = 1 K\Omega$

$R_6 = 1.5 K\Omega$

$R_7 = 2.3 K\Omega$

$R_8 = 500 \Omega$

$R_9 = 18.8 K\Omega$

$R_{10} = 8.6 K\Omega$

$R_{11} = 2.4 K\Omega$

$R_{12} = 3 K\Omega$

$R_{13} = 1 K\Omega$

$R_{14} = 20 K\Omega$

$R_{15} = 50 \Omega$

$C_1 = 100\ nF$

$C_2 = 10\ nF$

$C_3 = 68\ nF$

$K = 0.25 \frac{mA}{V^2}$

$V_T = -1V$

1) TROVARE R_2 per $V_S = 12.6\ V$

$$I_S = I_D = \frac{V_{CC} - V_S}{R_{11}} = 2.25\ mA$$

$$V_D = R_{12} I_D = 6.75\ V$$

$$V_{GS} = V_T - \sqrt{\frac{I_D}{K}} = -1 - \sqrt{\frac{2.25 \times 10^{-3}}{0.25 \times 10^{-3}}} = -1 - 3 = -4V$$

$$V_G = V_{GS} + V_S = -4 + 12.6 = 8.6\ V$$

$$V_{DS} = 6.75 - 12.6 = -5.85\ V < (V_{GS} - V_T) = -3V$$

$$g_m = 2K |V_{GS} - V_T| = 1.5 \times 10^{-3} \frac{A}{V}$$

$$I_{10} = \frac{V_G}{R_{10}} = \frac{8.6}{8.6 \times 10^3} = 1\ mA$$

$$I_9 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_9} = \frac{9.4}{18.8 \times 10^3} = 0.5\ mA$$

$$I_8 = I_{10} - I_9 = 0.5\ mA$$

$$V_K = V_G + (R_7 + R_8) I_8 = 10 V$$

$$I_4 = \frac{V_{CC} - V_K}{R_4} = \frac{18 - 10}{3.2 \times 10^{+3}} = 2.5\ mA$$

$$I_5 = I_C \simeq I_E = I_4 - I_8 = 2\ mA$$

$$V_E \simeq R_6 I_C = 3V$$

$$V_C = V_K - R_5 I_C = 10 - 2 = 8V$$

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

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.8965\ \mu A$$

$$Q_2: \begin{cases} I_D = 2.25 mA \\ V_{GS} = -4V \\ V_{DS} = -5.85V \\ g_m = 1.5 \times 10^{-3} \frac{A}{V} \end{cases}$$

$$Q_1: \begin{cases} I_C = 2 mA \\ V_{CE} = 5V \\ h_{FE} = 290 \\ I_B = 6.8965 \mu A \\ h_{ie} = 4800 \Omega \\ h_{fe} = 300 \end{cases}$$

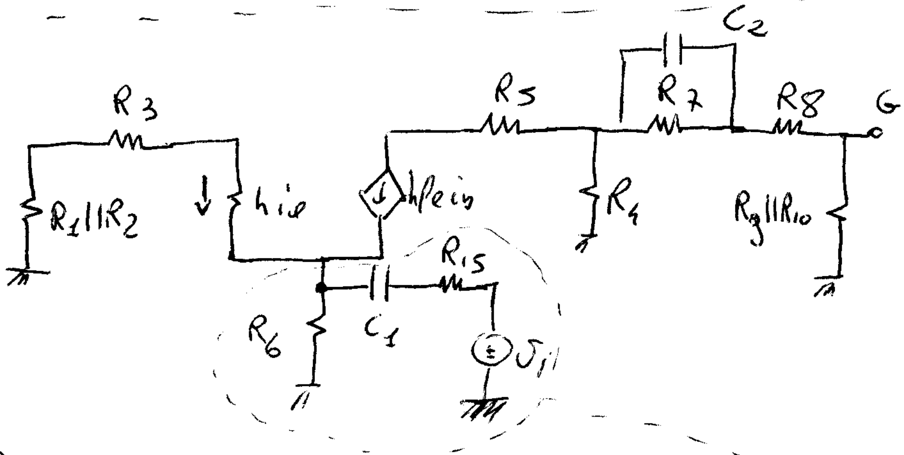
$V_E + V_\gamma = 3.7 V$

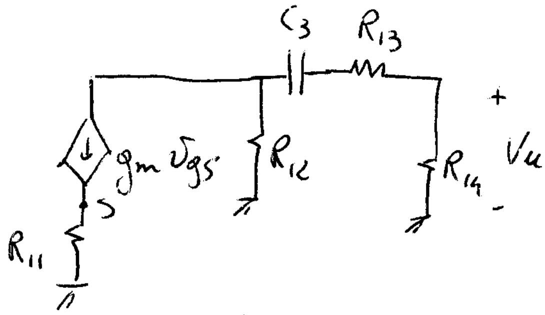
$V_A = V_B + R_3 I_B = 3.727586 V$

$I_1 = \frac{V_{CC} - V_A}{R_1} = 7.1362 \times 10^{-4} A$

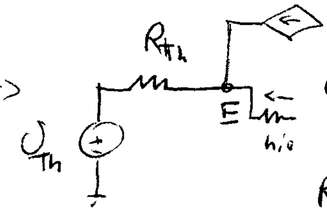
$I_2 = I_1 - I_B = 7.0672 \times 10^{-4} A$

$R_2 = \frac{V_A}{I_2} = 5274.46 \Omega$





.) A_{CB}



$v_{Th} = v_i \frac{R_6}{R_6+R_{15}}$

$R_{Th} = R_6 \| R_{15}$

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

$v_S = (g_m v_{gs}) R_{11}$

$v_{gs} = v_g - g_m v_{gs} R_{11} = \frac{v_g}{1 + g_m R_{11}}$

$v_g = -(h_{fe} i_b) \frac{R_4}{R_4 + R_8 + R_9\|R_{10}} \cdot (R_9\|R_{10})$

$v_i \frac{R_6}{R_6+R_{15}} = -(h_{fe}+1)(R_6\|R_{15}) i_b - (h_{ie} + R_3 + R_1\|R_2) i_b$

$v_i = -\left(\frac{R_6+R_{15}}{R_6}\right) \cdot \left[(R_6\|R_{15})(h_{fe}+1) + h_{ie} + R_3 + R_1\|R_2\right] i_b$

$\frac{V_u}{v_i} = (-g_m) \underbrace{\frac{R_{12}}{R_{12}+R_{13}+R_{14}} R_{14}}_{(3.75)} \underbrace{\left(\frac{1}{1+g_m R_{11}}\right)}_{0.2174} \underbrace{(-h_{fe}) \frac{R_4}{R_4+R_8+R_9\|R_{10}} (R_9\|R_{10})}_{590028.13} (-) \underbrace{\frac{R_6}{R_6+R_{15}}}_{0.9677} \cdot$

$\underbrace{\left(\frac{1}{(R_6\|R_{15})(h_{fe}+1) + h_{ie} + R_3 + R_1\|R_2}\right)}_{3.6313 \times 10^{-5}} = -16.90 \quad (|A_{CB}| = 24.56\ dB)$

POLI E ZERI

C_1: $f_{z1} = \emptyset$ Hz

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{v1}} = 17318,65 \text{ Hz}$$

$$R_{v1} = R_{15} + R_6 \parallel \left(\frac{h_{ie} + R_3 + R_1 \parallel R_2}{(h_{fe}+1)} \right) = 91.898 \, \Omega$$

C_2:
$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_7} = 6919.78 \text{ Hz}$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{v2}} = 8577.52 \text{ Hz}$$

$$R_{v2} = R_7 \parallel \left[R_8 + R_9 \parallel R_{10} + R_4 \right] = 1855.489 \, \Omega$$

C_3: $f_{z3} = \emptyset$ Hz

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{v3}} = 97.52 \text{ Hz}$$

$$R_{v3} = R_{12} + R_{13} + R_{14} = 24 \text{ k}\Omega$$

ESERCIZIO B

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

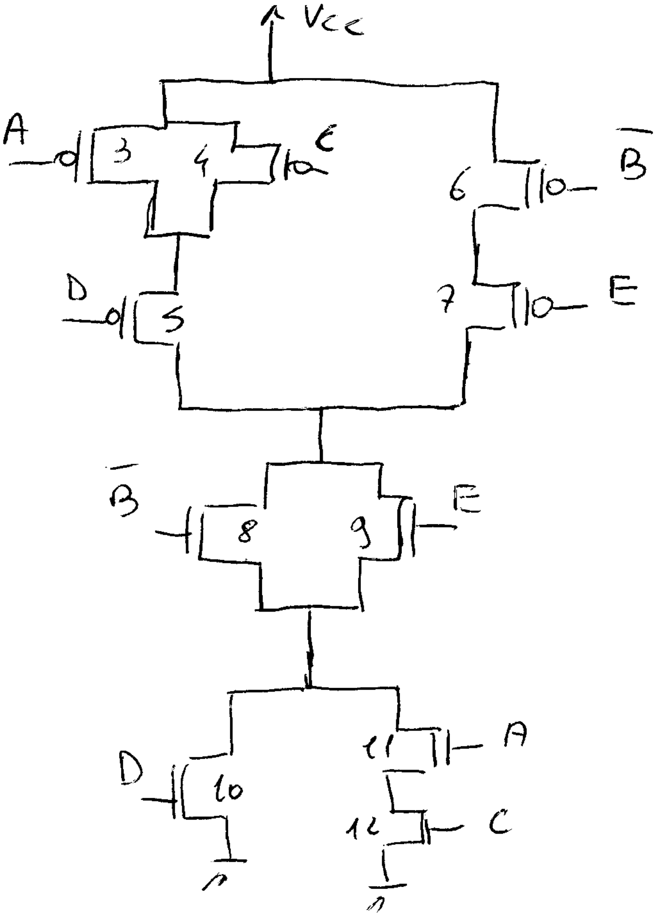
$$= (\bar{D} + \bar{E})(\bar{A}B + \bar{C}\bar{D}) + \bar{A}\bar{B}\bar{D} + AB\bar{E} =$$

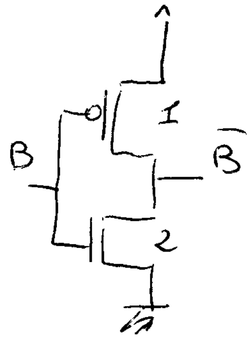
$$= \underset{\times}{\bar{A}B\bar{D}} + \underset{\circ}{\bar{C}\bar{D}} + \bar{A}B\bar{E} + \underset{\circ}{\bar{C}\bar{D}\bar{E}} + \underset{\times}{\bar{A}\bar{B}\bar{D}} + AB\bar{E} =$$

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

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

N. MOSFET: 12





·) ~~Q_1~~ $\left(\frac{W}{L}\right)_1 = p = 5$ $\quad\Big\}$ INVERTER DI BASE

$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = n = 2$

·) PUN

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

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

$$\left(\frac{W}{L}\right)_3 = \left(\frac{W}{L}\right)_4 = \left(\frac{W}{L}\right)_5 = \left(\frac{W}{L}\right)_6 = \left(\frac{W}{L}\right)_7 = 2p = 10$$

·) PDN

Serie $Q_8 - Q_{11} - Q_{12}$ oppure $Q_9 - Q_{11} - Q_{12}$

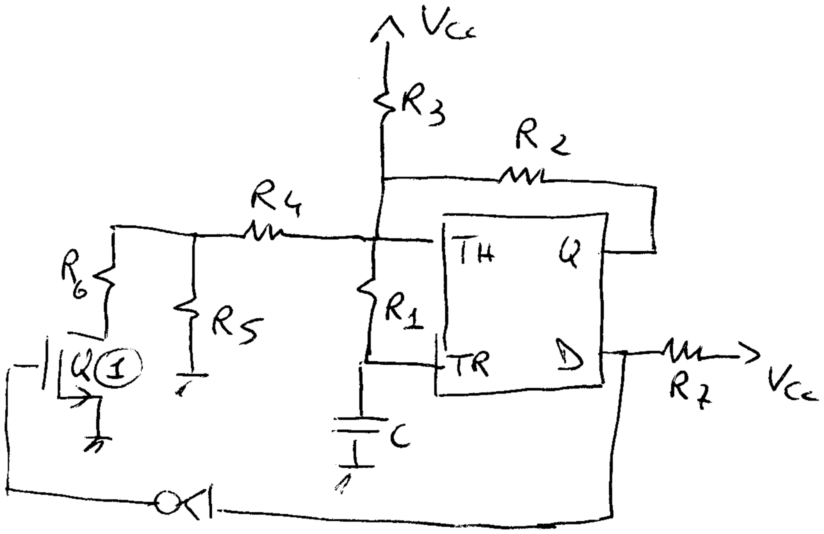
$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{n} \Rightarrow X = 3n = 6$$

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

Serie $Q_8 - Q_{10}$ oppure $Q_9 - Q_{10}$ con Q_8 e Q_9 già dimensionati

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{3n} = \frac{1}{n} \Rightarrow x = \frac{3}{2} n = 3 \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{10} = 3$$

ERC 1210 C



$R_1 = 200\,\Omega$

$R_2 = 500\,\Omega$

$R_3 = 2K\Omega$

$R_4 = 500\,\Omega$

$R_5 = 2K\Omega$

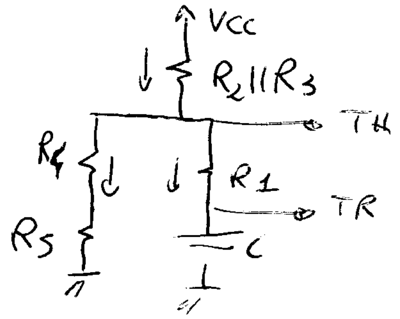
$R_6 = 500\,\Omega$

$R_7 = 1K\Omega$

$C = 47nF$

$V_{cc} = 6V$

·) $Q = 1$ D: HI Q_1 OFF



$V_{i_1} = \frac{1}{3} V_{cc} = 2V$

$V_{f_1} = V_{cc} \frac{R_4 + R_5}{R_4 + R_5 + R_2 \| R_3} = 5.172\,V$

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

$I_2 = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_2 \| R_3} = 5\,mA$

$I_4 = \frac{V_{TH}}{R_4 + R_5} = 1.6\,mA$

$I_1 = I_2 - I_4 = 3.4\,mA$

$V_{com1} = V_{TH} - R_1 I_{R1} = 3.32\,V$

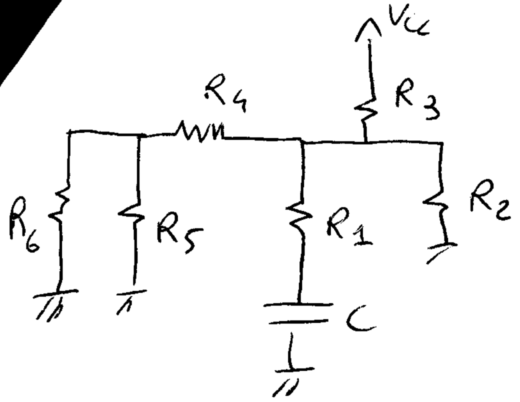
$V_{i1} < V_{com1} < V_{f1} \Rightarrow$ il circuito commuta

$R_{v1} = R_1 + R_2 \| R_3 \| (R_4 + R_5) = 544.83\,\Omega$

$\tau_1 = C_1 R_{v1} = 2.56 \times 10^{-5}\,s$

$T_1 = \tau_1 \ln\left(\frac{V_{i_1} - V_{f_1}}{V_{com_1} - V_{f_1}}\right) = 1.378 \times 10^{-5}\,s$

$Q = \emptyset \quad D = \emptyset \Rightarrow Q_1$ ON



$V_{i_2} = V_{con1} = 3.32\,V$ $\quad V_{i2} > V_{con2} > V_{f2}$

$V_{con_2} = V_{i1} = 2\,V$

$$V_{f2} = V_{cc} \frac{R_2 \| [R_4 + R_5 \| R_6]}{\{R_2 \| [R_4 + R_5 \| R_6]\} + R_3} = 0.83V$$

$$R_{V2} = R_1 + \{R_2 \| R_3 \| [R_4 + R_5 \| R_6]\} = 426.923\ \Omega$$

$$\tau_2 = C_1 R_{V2} = 2.24 \times 10^{-5}\ s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{con2} - V_{f2}} = 1.693 \times 10^{-5}\ s$$

~~[illegible]~~ $T = T_1 + T_2 = 3.071 \times 10^{-5}\ s$

$$f = \frac{1}{T} = 32563.9\ Hz$$