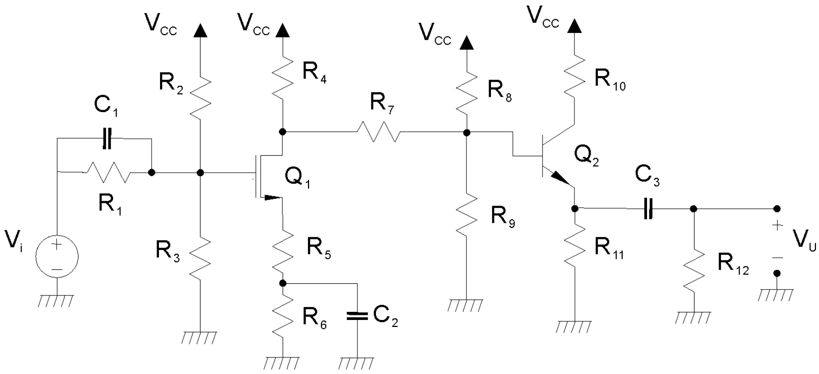
ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 28 giugno 2013

Esercizio A

R_1 = 20 kΩ	R_{10} = 2.5 k Ω
R_2 = 10 kΩ	R_{11} = 4 k Ω
R_3 = 20 kΩ	R_{12} = 16 k Ω
R_4 = 1.8 kΩ	C_1 = 10 nF
R_5 = 100 Ω	C_2 = 10 μF
R_6 = 900 Ω	C_3 = 1 nF
R_8 = 30 k Ω	V_{CC} = 18 V
R_9 = 10 kΩ	



Q_1 è un transistore MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_{DS} = k(V_{GS}-V_T)^2$ con $k = 0.25$ mA/V^2 e $V_T = 1$V. Q_2 è un transistore BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$.
Con riferimento all'amplificatore in figura:
1) Calcolare il valore delle resistenze R_7 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sull'emettitore di Q_2 sia $V_E = 8$ V. Determinare, inoltre il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1. (R: R_7 = 1904.38 Ω)
2) Determinare il guadagno 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 = - 1.99)
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} = 795.77 Hz; f_{p1} = 3183.01 Hz; f_{z2} = 17.68 Hz; f_{p2} = 44.21 Hz; f_{z3} = 0 Hz; f_{p3} = 9932.26 Hz)

Esercizio B

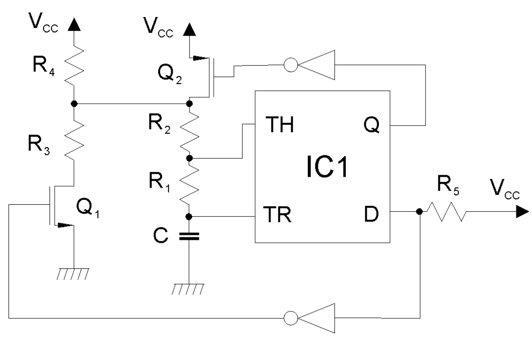
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

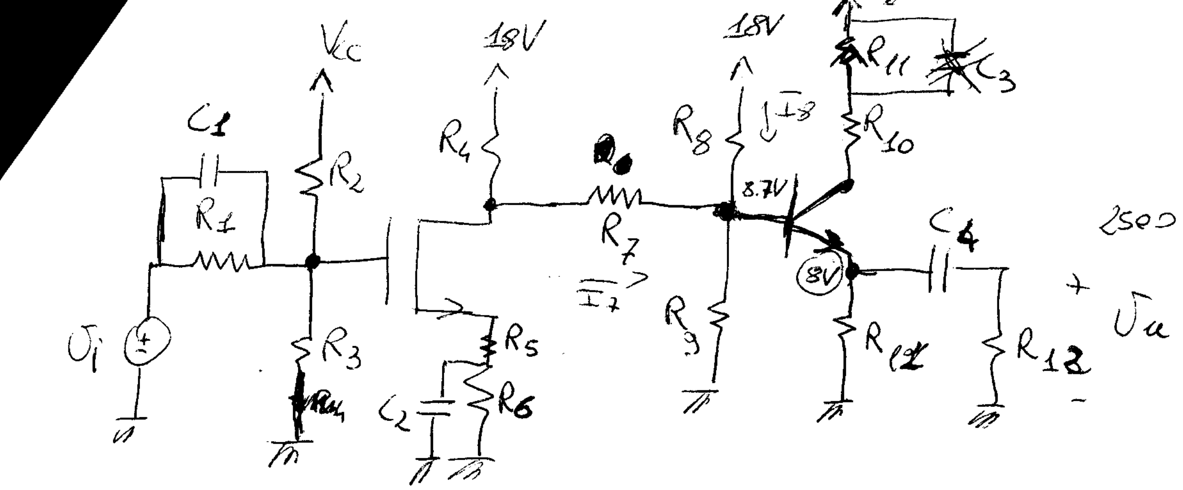
Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale *n* e pari a 5 per quello a canale *p*. Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

Esercizio C

R_1 =1 kΩ	R_5 = 5 kΩ
R_2 = 2 kΩ	C = 100 nF
R_3 = 500 Ω	V_{CC} = 5 V
R_4 = 4.5 kΩ	



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a V_{CC} = 5V, Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T=1V, Q_2 ha una R_{on} = 0 e V_T= - 1V e gli inverter sono ideali. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 3672.98 Hz)



$V_{CC} = 18V$

$\boxed{V_E = 8V}$

$R_{12} = 4k\Omega$

2500 $R_{11} = \cancel{10k\Omega}$ 1.5kΩ

$R_{10} = 1k\Omega$ 2500Ω

$R_8 = 30k\Omega$

$R_9 = 10k\Omega$

$R_2 = 10k\Omega$

$R_1 = 20k\Omega$

$R_3 = 20k\Omega$

$V_E = 8V$

$I_E = \frac{V_E}{R_{12}} = \frac{8}{4\times10^3} = 2\,mA$

$V_C = V_{CC} - (R_{11}+R_{10})I_C = 13V$

$\Rightarrow V_{CE} = 13 - 8 = 5V$

$I_C = 2\,mA$

$\beta_F = 290 \Rightarrow I_B = 6.8965\times10^{-6}\,A$

$V_B = V_E + V_\gamma = 8.7V$

$I_9 = \frac{V_B}{R_9} = \frac{8.7}{10\times10^3} = 0.87\,mA$

$I_8 = \frac{V_{CC}-V_B}{R_8} = 0.31\,mA$

$\Rightarrow I_7 = I_B + I_9 - I_8 = 5.66896\times10^{-4}\,A$

$R_5 = 100\Omega$

$R_6 = 900\Omega$

$K = 0.25\times10^{-3}$

$V_T = 1V$

$R_4 = 1800\Omega$

$R_{13} = 16k\Omega$

$C_1 = 10nF$

$C_2 = 10\mu F$

$C_3 = 1nF$

$V_G = V_{CC}\frac{R_1 \| R_3}{R_2 + R_1 \| R_3} = 18\cdot\frac{10\times10^3}{20\times10^3} = 9V$

$I_D = K(V_{GS}-V_T)^2 =$

$= K(V_G - V_S - V_T)^2 =$

$= K[9 - 1 - (R_5+R_6)I_D]^2 =$

$= K(8 - 10^3 I_D)^2 = K(64 - 16\times10^3 I_D + 10^6 I_D^2) =$

$= 16\times10^{-3} - 4I_D + 0.25\times10^{+3} I_D^2$

$I_D^2 - 20\times10^{-3} I_D + 64\times10^{-6} = 0$

$\Rightarrow I_D = \frac{20\times10^{-3} \pm \sqrt{400\times10^{-6} - 256\times10^{-6}}}{2} = \frac{20\times10^{-3} \pm (12\times10^{-3})}{2} = 16\,mA \rightarrow V_S = 16V; \quad 4\,mA \rightarrow V_S = 4V$

Per avere $V_{GS} > V_T$ deve essere $I_D = 4\,mA$

$V_S = 4V$

$V_{GS} = 5V$

$V_D = V_{cc} - R_4 I_4$

$I_4 = I_D + I_7 = 4.566896 \times 10^{-3}\,A$

$V_D = 9.7295872\ V$

$R_7 = \dfrac{V_D - V_B}{I_7} = 1906.38\ \Omega$

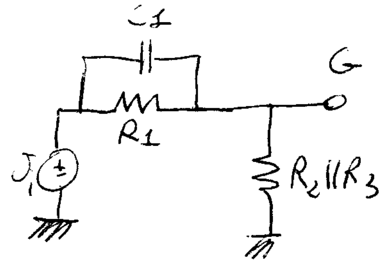
$h_{ie} = 4800$

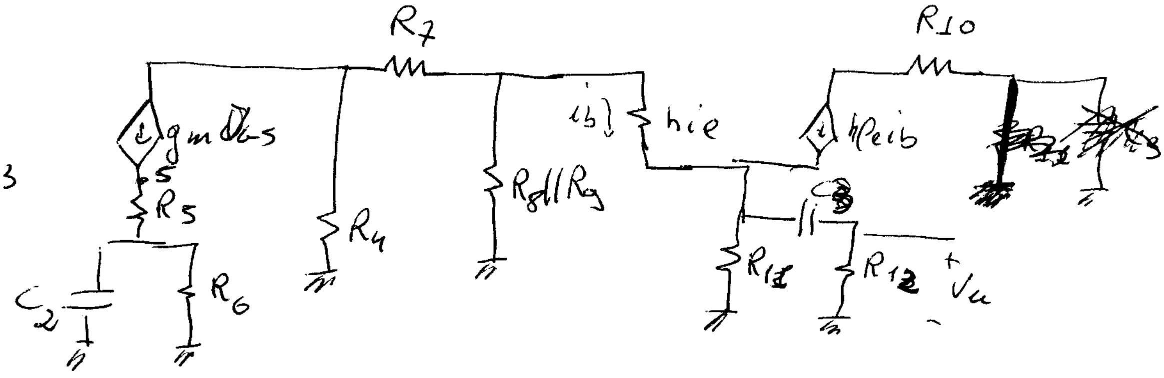
$h_{fe} = 300$

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

$R_{11} || R_{12} = 3200\ \Omega$

$R_8 || R_9 = 7500\ \Omega$





A_{CB}:

$V_u = (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)\, i_b$

$i_b = (-g_m v_{gs}) \cdot \dfrac{R_4}{R_4 + R_7 + R_8||R_9||[h_{ie} + (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)]} \cdot \dfrac{R_8||R_9}{(R_8||R_9) + [h_{ie} + (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)]}$

$v_S = (g_m v_{gs}) R_5 \Rightarrow$

$v_{gs} = v_g - R_5 g_m v_{gs} \Rightarrow v_{gs} = \dfrac{v_g}{1 + g_m R_5}$

$v_g = v_i$

$\Rightarrow v_{gs} = \dfrac{v_i}{1 + g_m R_5}$

$\Rightarrow A_{CB} = \dfrac{v_u}{v_i} = (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)(-g_m) \dfrac{R_4}{R_4 + R_7 + R_8||R_9||[h_{ie} + (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)]}$

$\cdot \dfrac{R_8||R_9}{(R_8||R_9) + [h_{ie} + (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)]} \cdot \dfrac{1}{1 + g_m R_5} = -1.99308$

$|A_{CB}(j\omega)|_{dB} = 5.99\ dB$

C1

$f_{z1} = \dfrac{1}{2\pi C_1 R_1} = 795.77\ Hz$

$f_{p1} = \dfrac{1}{2\pi C_1 [R_1||R_2||R_3]} = 3183.01\ Hz$

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_6} = 17.68\ Hz$$

$$f_{P2} = \frac{1}{2\pi C_2 \left[R_6 \| \left(R_5 + \frac{1}{g_m} \right) \right]} = 44.21\ Hz$$

$\boxed{C3}$

$$f_{z3} = \phi$$

$$f_{P3} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{VC3}} = 9932.26\ Hz$$

$$R_{VC3} = \left\{ \frac{\left[(R_7 + R_4) \| R_8 \| R_9 \right] + h_{ie}}{(h_{fe}+1)} \| R_{11} \right\} + R_{12} = 16024.04\ \Omega$$

ESERCIZIO B

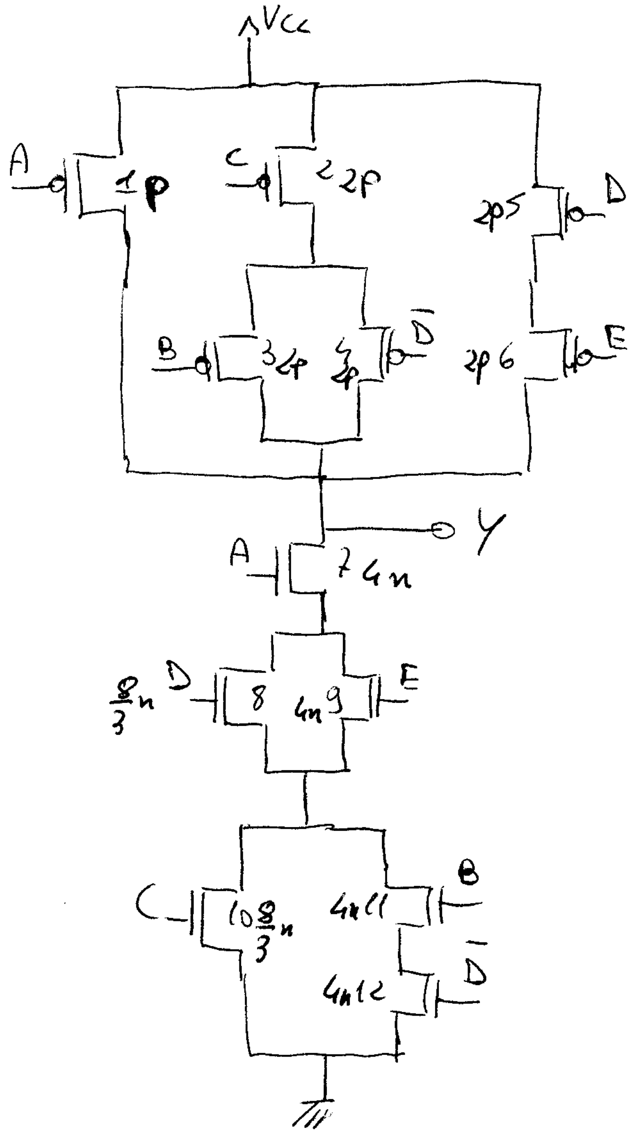
$$Y = (\bar{A} + \bar{C} + \bar{D})(\bar{B}\bar{C} + D) + (\bar{D}\bar{E})(\bar{A}\bar{B} + C) + \bar{D}\bar{E} + \bar{D}\bar{A} =$$

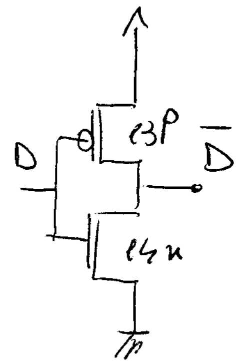
$$= \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}D + \bar{B}\bar{C} + \bar{C}D + \bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}\bar{D}\bar{E} + \bar{D}\bar{E}C + \bar{D}\bar{E} + \bar{D}\bar{A} =$$

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

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

$\Rightarrow$ OCCORRONO 14 MOSFET (~~12~~ 6 PUN + 6 PDN + 2 INVERTER)





·) PUN

$Q_1 : P = 5$

$\left.\begin{array}{l} Q_2 - Q_4 \\ Q_2 - Q_3 \end{array}\right\} \Rightarrow 2P = 10$

$Q_5 - Q_6 \} \Rightarrow 2P = 10$

·) PDN

$Q_7 - Q_9 - Q_{11} - Q_{12} \Rightarrow 4n = 8$

$Q_7 - Q_8 - Q_{10} \quad \frac{2}{x} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{2}{x} = \frac{3}{4n} \Rightarrow \frac{x}{2} = \frac{4}{3}n \Rightarrow x = \frac{8}{3}n = \frac{16}{3}$

Con questa scelta si ha area minima per $Q_8; Q_{10}$ ~~[illegible]~~ inoltre si ha $Q_7\ Q_9\ Q_{10}$

In alternativa

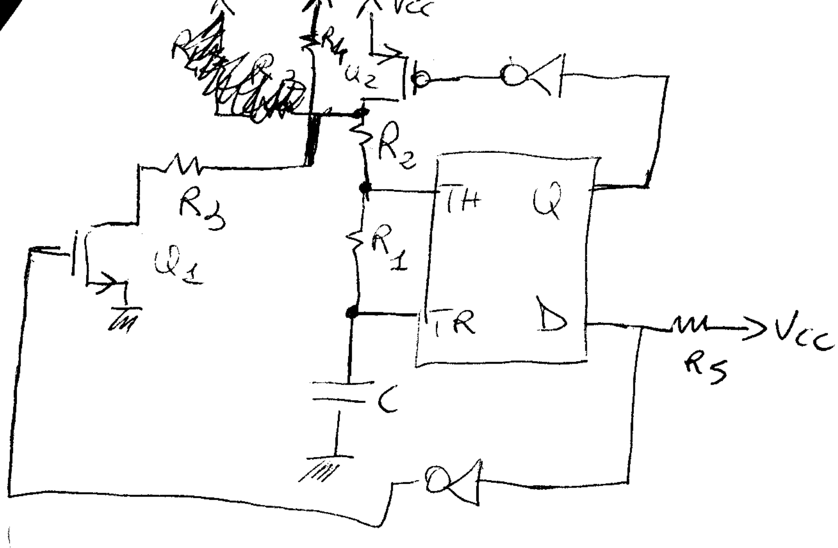
$Q_7\ Q_9\ Q_{10} \Rightarrow \underline{Q_{10}} \Rightarrow 2n = \underline{4}$

$Q_7\ Q_8\ Q_{10} \Rightarrow \underline{Q_8} = 4n = \underline{8}$

$8 + 4 = 12 > \frac{32}{3}$

$\frac{3}{8n} + \frac{2}{4n} = \frac{7}{8n}$

$\left(\frac{W}{L}\right)_{7-9-10} = \frac{8}{7}n > n$ ok



$R_1 = 1K\Omega$

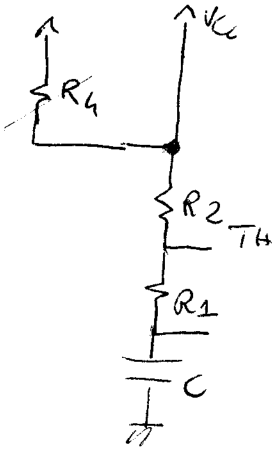
$R_2 = 2K2$

$R_3 = 500\,\Omega$

$R_4 = 4500\,\Omega$

$C = 100\,nF$

1) $Q = 1$ D : HI U_1 OFF U_2 ON



$V_i = \frac{1}{3} V_{cc} = 1.\bar{6}\ V$

$V_f = V_{cc} = 5V$

$V_{com} = \frac{2}{3}V_{cc} - R_1\left(\frac{V_{cc} - 2/3 V_{cc}}{R_2}\right) =$

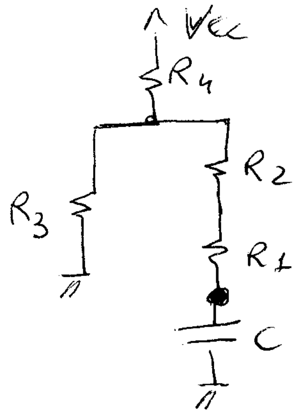
$= 2.5V$

$R_{VC1} = R_1 + R_2 = 3K2 \qquad \tau_1 = 0.3\ ms$

$V_i < V_{com} < V_f$

$1.\bar{6}V < 2.5V < 5V$ ok

2) $Q = \phi$ U_1 ON U_2 OFF



$V_i = 2.5V$

$V_f = \frac{V_{cc}\ R_3}{R_4 + R_3} = 0.5V$

$V_{com} = \frac{1}{3} V_{cc} = 1.\bar{6}$

$R_{VC2} = (R_1 + R_2) + (R_4 \| R_3) = 3450\,\Omega$

$\tau_2 = 0.345\ ms$

$V_i > V_{com} > V_f$

$2.5V > 1.\bar{6}V > 0.5V$ ok

$T_1 = \tau_1 \ln \frac{V_i - V_f}{V_{comp} - V_f} = 8.634 \times 10^{-5}\ s$

$T_2 = \tau_2 \ln \frac{V_i - V_f}{V_{com} - V_f} = 1.859 \times 10^{-4}\ s$

$T = T_1 + T_2 = 0.2722\ ms \qquad f = \frac{1}{T} = 3672.98\ Hz$