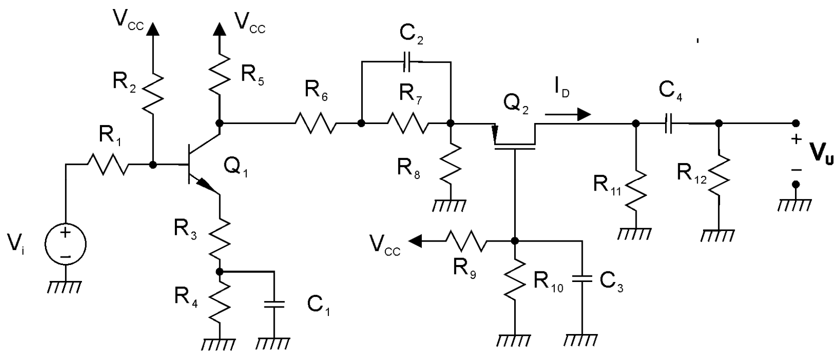
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 16 aprile 2015

Esercizio A

R_2 = 176 kΩ	R_{10} = 10 kΩ
R_3 = 250 Ω	R_{11} = 4 kΩ
R_4 = 4 kΩ	R_{12} = 30 kΩ
R_5 = 1 kΩ	C_1 = 15 nF
R_6 = 50 Ω	C_2 = 220 nF
R_7 = 550 Ω	C_3 = 1 μF
R_8 = 24 kΩ	C_4 = 680 pF
R_9 = 10 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 $k = 0.5$ mA/V^2 e $V_T = -1$ V.
Con riferimento al circuito in figura:

1) Calcolare il valore della resistenza R_1 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul drain di Q_2 sia 8 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2. (R: R_1 = 213440 Ω)
2) Determinare V_U/Vi alle frequenze per le quali C_1, C_2, C_3 C_4 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: V_U/Vi = - 1.73)
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} = 2652.58 Hz; f_{p1} = 20746.39 Hz; f_{z2} = 1315.33 Hz; f_{p2} = 1785.15 Hz; f_{z4} = 0 Hz; f_{p4} = 6883.86 Hz)

Esercizio B

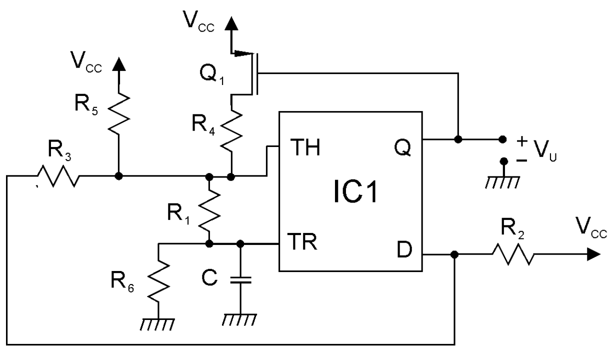
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

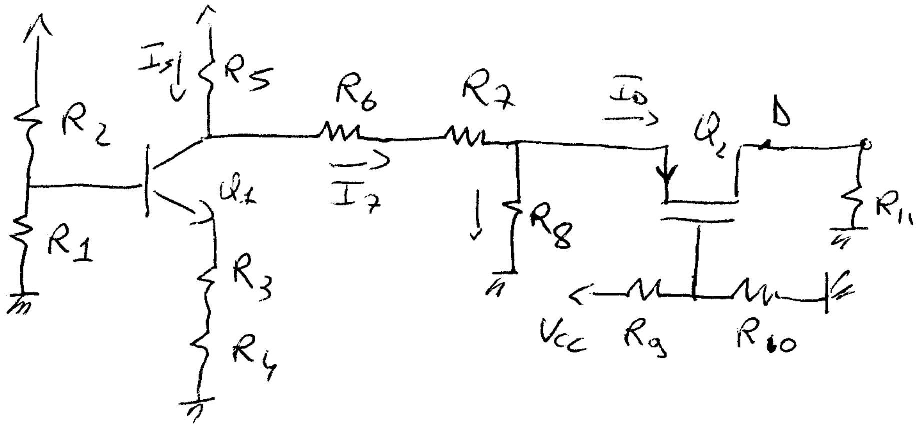
Esercizio C

R_1 =400 Ω	R_5 = 2 kΩ
R_2 = 1 kΩ	R_6 = 5 kΩ
R_3 = 1 kΩ	C = 100 nF
R_4 = 30 kΩ	**V_{CC} = 6 V**



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a **V_{CC} = 6V**, Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T = -1V. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 4751.87 Hz)

APPELLO 16/04/2015



1) $V_D = 8V$

$$I_D = \frac{V_D}{R_{11}} = \frac{8}{4\times10^3} = 2\,mA$$

$$I_D = K(V_{GS}-V_T)^2 \Rightarrow (V_{GS}-V_T) = -\sqrt{\frac{I_D}{K}} = -2V$$

$$\Rightarrow V_{GS} = -2 + V_T = -3V$$

$$V_G = V_{CC}\frac{R_{10}}{R_{10}+R_9} = 9V$$

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

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

$$I_8 = \frac{V_S}{R_8} = \frac{12}{24\times10^3} = 0.5\,mA$$

$$I_7 = I_8 + I_D = 2.5\,mA$$

$$V_C = I_7(R_6+R_7) + V_S = 13.5V$$

$$I_5 = \frac{V_{CC}-V_C}{R_5} = 4.5\,mA$$

$$I_C = I_5 - I_7 = 2\,mA$$

hp: $I_B \ll I_E \Rightarrow I_E \simeq I_C$

$$V_E = I_C(R_3+R_4) = 8.5V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 13.5 - 8.5 = 5V$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.896\times10^{-6}A$$

$$Q_2: \begin{cases} V_{DS} = -4V \\ V_{GS} = -3V \\ I_D = 2\,mA \\ g_m = 2K|V_{GS}-V_T| = \\ \quad = 2\times10^{-3}\,\frac{A}{V} \end{cases}$$

$$Q_1 \begin{cases} V_{CE} = 5V \\ I_C = 2\,mA \\ I_B = 6.896\,\mu A \\ h_{FE} = 290 \\ h_{fe} = 300 \end{cases}$$

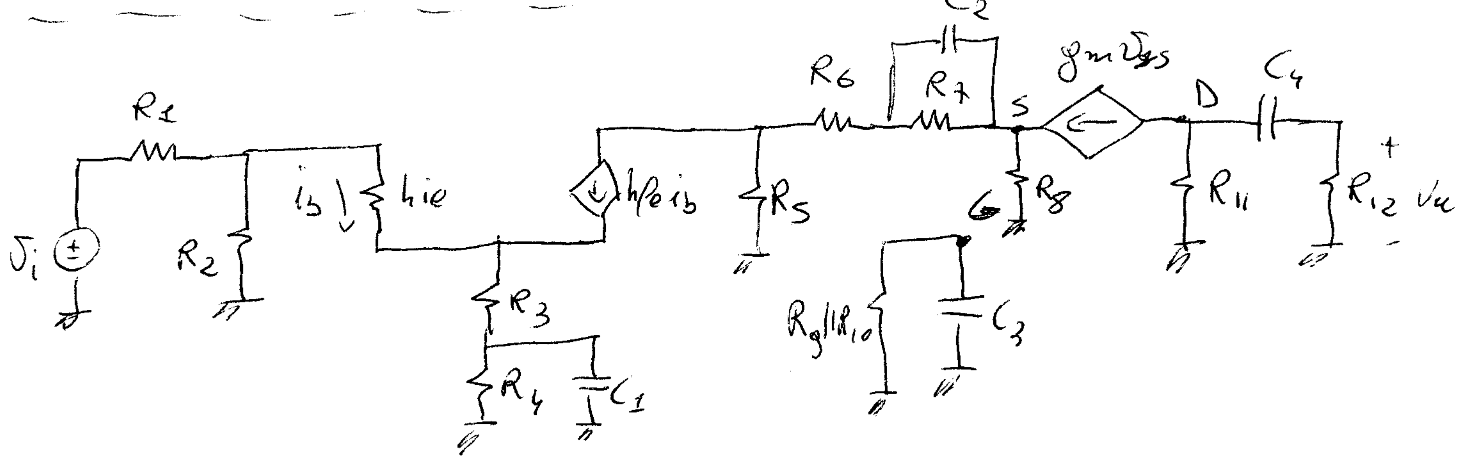
$h_{ie} = 4800\,\Omega$

$= V_E + V_\gamma = 9.2V$

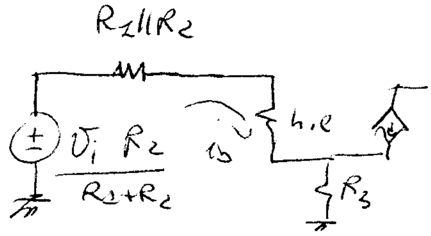
$$I_2 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_2} = 50\,\mu A$$

$$I_1 = I_2 - I_B = 43.1\,\mu A$$

$$R_1 = \frac{V_B}{I_1} = \underline{\underline{213440\ \Omega}}$$



A_{CB}



$$v_u = (R_{11} \| R_{12})(-g_m v_{gs})$$

$$v_g = \emptyset$$

$$v_s = (-h_{fe}\, i_b)\, \frac{R_5}{R_5 + R_6 + R_8 \| \frac{1}{g_m}} \left(R_8 \| \frac{1}{g_m}\right)$$

$$i_b = v_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} \, \frac{1}{R_1 \| R_2 + h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)}$$

$$A_{CB} = \underbrace{+ g_m (R_{11} \| R_{12})(-h_{fe})}_{2117.647} \underbrace{\frac{R_5 \left(R_8 \| \frac{1}{g_m}\right)}{R_5 + R_6 + R_8 \| \frac{1}{g_m}}}_{318.09845} \underbrace{\frac{R_2}{R_1 + R_2}}_{0.4519} \underbrace{\frac{1}{R_1 \| R_2 + h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)}}_{5.665 \times 10^{-6}}$$

$$= -1.7247 \quad (\,|A_{CB}|_{dB} = 4.73\ dB\,)$$

NDENSATORE $C_1 = 15\,nF$

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_4} = 2652.58\ Hz$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{v1}} = 20746.39\ Hz$$

$$R_{v1} = R_4 \parallel \left[R_3 + \frac{h_{ie} + R_1 \parallel R_2}{h_{fe}+1} \right] = 511.43\ \Omega$$

CONDENSATORE $C_2 = 220\,nF$

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_7} = 1315.33\ Hz$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{v2}} = 1785.15\ Hz$$

$$R_{v2} = R_7 \parallel \left[R_6 + R_5 + R_8 \parallel \frac{1}{g_m} \right] = 405.25\ \Omega$$

CONDENSATORE $C3$

$$f_{z3} = f_{p3}$$

CONDENSATORE $C_4 = 680\,pF$

$$f_{z4} = \phi$$

$$f_{p4} = \frac{1}{2\pi C_4 R_{v4}} = 6883.86\ Hz$$

$$R_{v4} = R_{11} + R_{12} = 34\ k\Omega$$

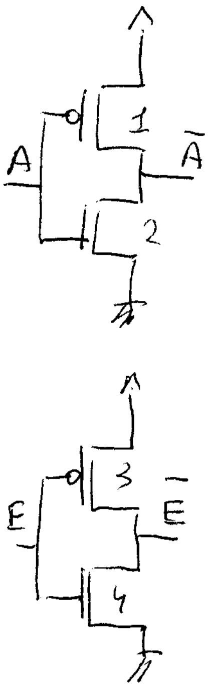
$$= \overline{(A+C)}\,(\bar B D + \bar D E) + \bar C\,(\bar B + A \bar D E) + A \bar E =$$

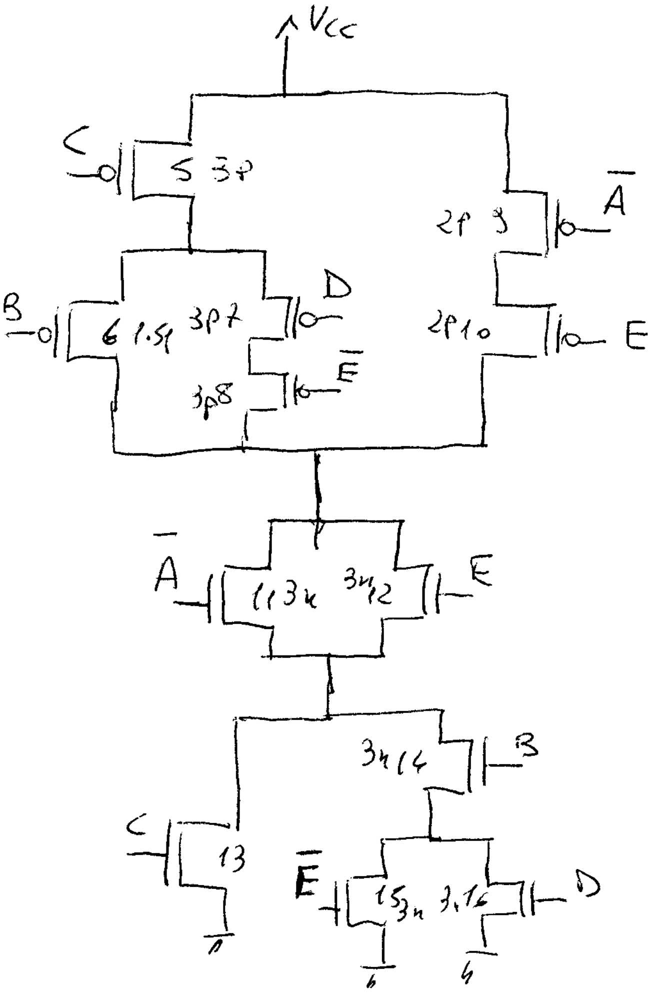
$$= \bar A \bar C\,(\bar B D + \bar D E) + \bar C \bar B + A \bar C \bar D E + A \bar E =$$

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

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

$$= \bar C\,(\bar B + \bar D E) + A \bar E \quad \Rightarrow \quad 16 \text{ MOSFET}$$





Q_1, Q_3 : p

Q_2, Q_4 : n

Q_5, Q_7, Q_8 : 3p

Q_6 : 1.5p

Q_9, Q_{10} : 2p

Q_{11}, Q_{14}, Q_{16} : 3n

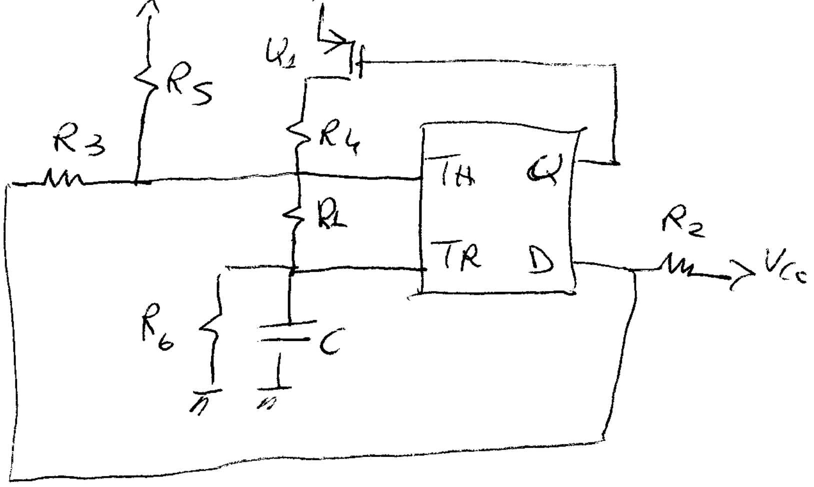
Q_{11}, Q_{14}, Q_{15} : 3n

Q_{12}, Q_{14}, Q_{16} : $\cancel{3n} \Rightarrow Q_{12} : 3n$

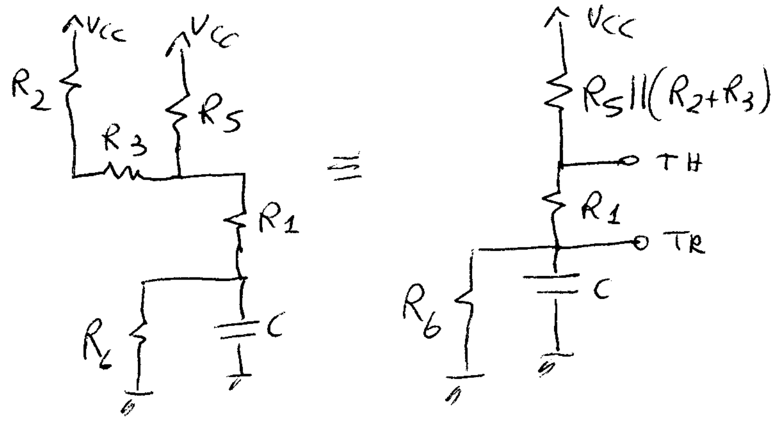
$Q_{11}; Q_{13} \Rightarrow Q_{13} = 1.5n$

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

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



$Q = 1 \quad D = HI \quad V_{G1} = V_{CC} \quad V_{S1} = V_{CC} \Rightarrow V_{GS} = 0 > V_T \Rightarrow Q_1$ OFF



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

$V_f = V_{CC} \dfrac{R_6}{R_6 + R_1 + R_5 \| (R_2+R_3)} =$

$V_f = 4.6875$

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

$I_1 = \dfrac{V_{CC} - V_{TH}}{R_5 \| (R_2 + R_3)} = \dfrac{2}{1000} = 2mA$

$V_{COR} = V_{TH} - R_1 I_1 = 3.2V$

$V_i < V_{COM} < V_f$

$2V > 3.2V > 4.6875V$

ok

$R_{VC} = R_6 \| \left[R_1 + R_5 \| (R_2 + R_3) \right] = 1093.75 \Omega$

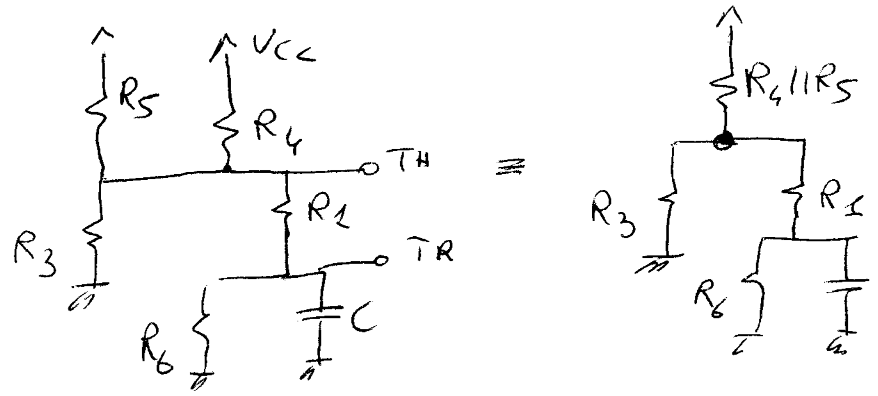
$\tau_1 = C_1 R_{VC} = 109.375 \mu s$

$T_1 = \tau_1 \ln \left[\dfrac{V_i - V_f}{V_{COM} - V_f} \right] = 64.697 \mu s$

⑥

$\ldots = 0 \quad D = 0 \qquad V_G = 0V \qquad V_{GS} = -V_{cc} < V_T \Rightarrow Q_2$ ON

$V_S = V_{cc} = 6V$



$\underline{\underline{V_i = 3.2V}}$

$\underline{\underline{V_{con} = 2V}}$

$$V_f = V_{cc} \frac{R_3 \| (R_1 + R_6)}{(R_4 \| R_5) + [R_3 \| (R_1 + R_6)]} \frac{R_6}{R_1 + R_6} = 1.724V$$

$V_i > V_{con} > V_f \quad [3.2V > 2V > 1.724V$ ok $]$

$R_{vc2} = R_6 \| [R_1 + R_4 \| R_5 \| R_3] = 869.25\,\Omega$

$\tau_2 = C R_{vc2} = 86.92\,\mu s$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f}\right) = 145.74\,\mu s$$

$T = T_1 + T_2 = 210.443\,\mu s$

$f = \frac{1}{T} = 4751.865$ Hz