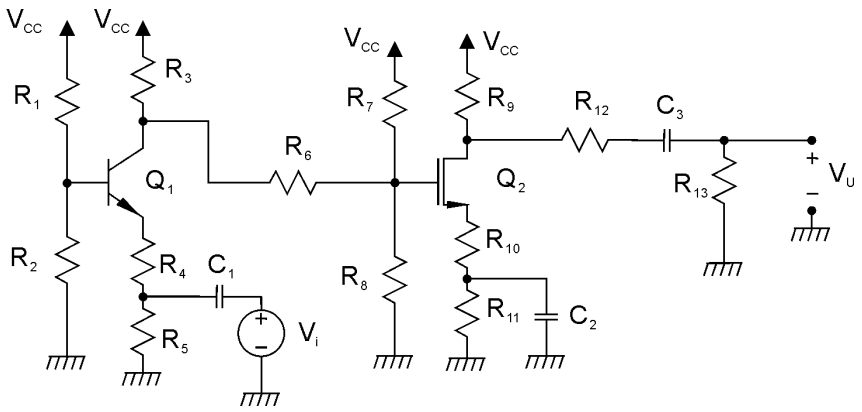
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 09 giugno 2016

Esercizio A

R_1 = 246 kΩ	R_{10} =50 Ω
R_3 = 2 kΩ	R_{11} = 2950 Ω
R_4 = 500 Ω	R_{12} = 1 kΩ
R_5 = 2 kΩ	R_{13} = 9 kΩ
R_6 = 2 kΩ	C_1 = 33 nF
R_7 = 24 kΩ	C_2 = 220 nF
R_8 = 2400 Ω	C_3= 100 nF
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 n 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 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_2 = 132240 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 = - 3.76)
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}=8427 Hz; f_{z2}=245 Hz; f_{p2}=934 Hz; f_{z3}=0 Hz; f_{p3}=79 Hz)

Esercizio B

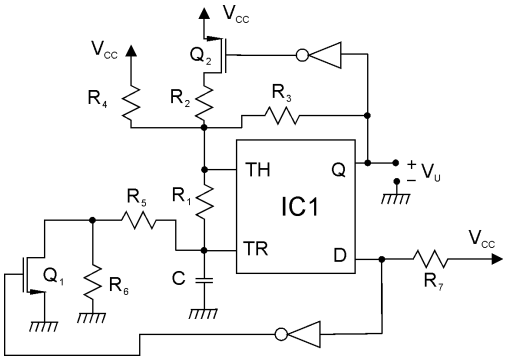
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

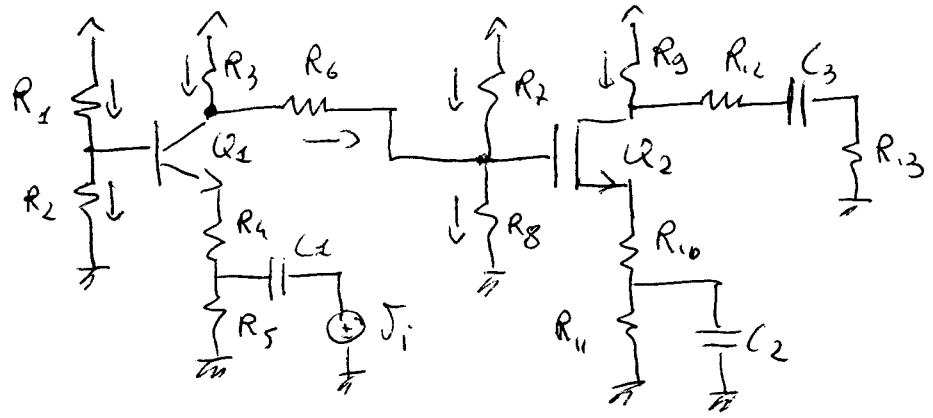
Esercizio C

R_1 = 1 kΩ	R_6 = 9 kΩ
R_2 = 3 kΩ	R_7 = 1 kΩ
R_3 = 3 kΩ	C = 33 nF
R_4 = 3 kΩ	**V_{CC} = 6 V**
R_5 = 1 kΩ	



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a **V_{CC} = 6V**, Q_1 ha una R_{on} = 0 Ω e V_T = 1V; Q_2 ha una R_{on} = 0 Ω e V_T = -1V. Gli inveter sono ideali. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 31978 Hz)

APPELLO 09/06/16



$R_1 = 246\,K\Omega$ (1)
$R_3 = 2K\Omega$
$R_4 = 500\Omega$
$R_5 = 2K\Omega$
$R_6 = 2K\Omega$
$R_7 = 24K\Omega$
$R_8 = 2400\Omega$
$R_9 = 10K\Omega$
$R_{10} = 50\Omega$
$R_{11} = 2950\Omega$
$R_{12} = 1K\Omega$
$R_{13} = 0.9K\Omega$
$C_1 = 33\,nF$
$C_2 = 220\,nF$
$C_3 = 100\,nF$
$V_{cc} = 18V$
$K = 0.25\,\frac{mA}{V^2}$

1) Det. R_2 per $V_D = 8V$

$$I_g = I_D = I_S = \frac{V_{cc} - V_D}{R_9} = \frac{18-8}{10^4} = 1\,mA$$

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

$V_{GS} = 3V$

$V_S = I_D \cdot (R_{10} + R_{11}) = 3V$

$V_{DS} = V_D - V_S = 8 - 3 = 5V > (V_{GS} - V_T) = 2$ sat. OK

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

Q_2: $I_D = 1\,mA$, $V_{DS} = 5V$, $V_{GS} = 3V$, $g_m = 10^{-3}\,\frac{A}{V}$

$V_G = V_{GS} + V_S = 3 + 3 = 6V$

$$I_8 = \frac{V_G}{R_8} = 2.5\,mA$$

$$I_7 = \frac{V_{cc} - V_G}{R_7} = 0.5\,mA$$

$I_6 = I_8 - I_7 = 2\,mA$

$V_C = V_G + R_6 I_6 = 10V$

$$I_3 = \frac{V_{cc} - V_C}{R_3} = \frac{18-10}{2000} = 4\,mA$$

$I_{C1} = I_3 - I_6 = 2\,mA$

Q_1: $I_C = 2\,mA$, $V_{CE} = 5V$, $\beta_F = 290$, $I_B = 6.896\,\mu A$, $h_{fe} = 300$, $h_{ie} = 4800\Omega$

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

$V_E = I_E (R_4 + R_5) = 5V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 10 - 5 = 5V$

$I_B = 6.896\,\mu A \Rightarrow I_g \ll I_C$ ok

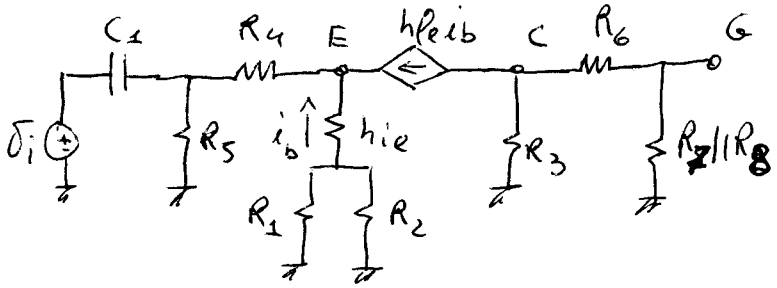
$= V_E + V_\gamma = 5.2V$

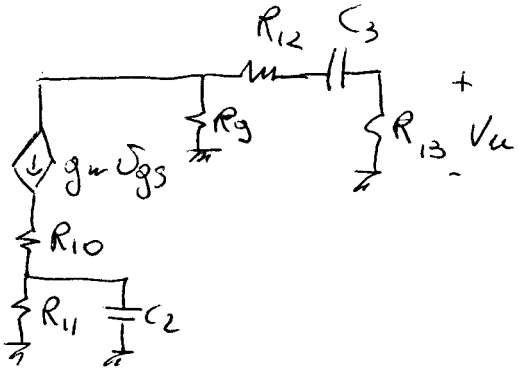
$I_1 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_1} = 50\,\mu A$

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

$R_2 = \frac{V_B}{I_2} = 132240\,\Omega$ (132250 Ω)

2) A_{CB}





$$V_u = (-g_m v_{gs}) \frac{R_9}{R_9 + R_{12} + R_{13}} R_{13}$$

$$v_s = g_m v_{gs} R_{10}$$

$$v_{gs} = v_g - g_m v_{gs} R_{10} = \frac{v_g}{1 + g_m R_{10}}$$

$$v_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_3}{R_3 + R_6 + R_7 \| R_8} \cdot (R_7 \| R_8)$$

$$v_i = -(h_{fe} + 1) i_b R_4 - i_b [h_{ie} + R_1 \| R_2]$$

$$i_b = - \frac{v_i}{R_4(h_{fe}+1) + h_{ie} + R_1 \| R_2}$$

$$A_{CB} = (-g_m) \frac{R_9 R_{13}}{R_9 + R_{12} + R_{13}} \frac{1}{1 + g_m R_{10}} (-h_{fe}) \frac{R_3 (R_7 \| R_8)}{R_3 + R_6 + R_7 \| R_8} \left(- \frac{1}{R_4(h_{fe}+1) + h_{ie} + R_1 \| R_2}\right)$$

10^{-3} 4500 0.95238 300 705.8823 4.144×10^{-6}

$= -3.761$

$|A_{CB}|_{dB} = 11.5\,dB$

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

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{V1}} = 8427.38 \text{ Hz}$$

$$R_{V1} = R_5 \,||\, \left[R_4 + \frac{hie + R_1 || R_2}{hfe+1} \right] = 572.29\ \Omega$$

C_2: $f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{11}} = 245.23$ Hz

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{V2}} = 934.21 \text{ Hz}$$

$$R_{V2} = R_{11} \,||\, \left[R_{10} + \frac{1}{g_m} \right] = 774.375\,\Omega$$

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

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 [R_9 + R_{12} + R_{13}]} = 79.58 \text{ Hz}$$

ESERCIZIO B

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

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

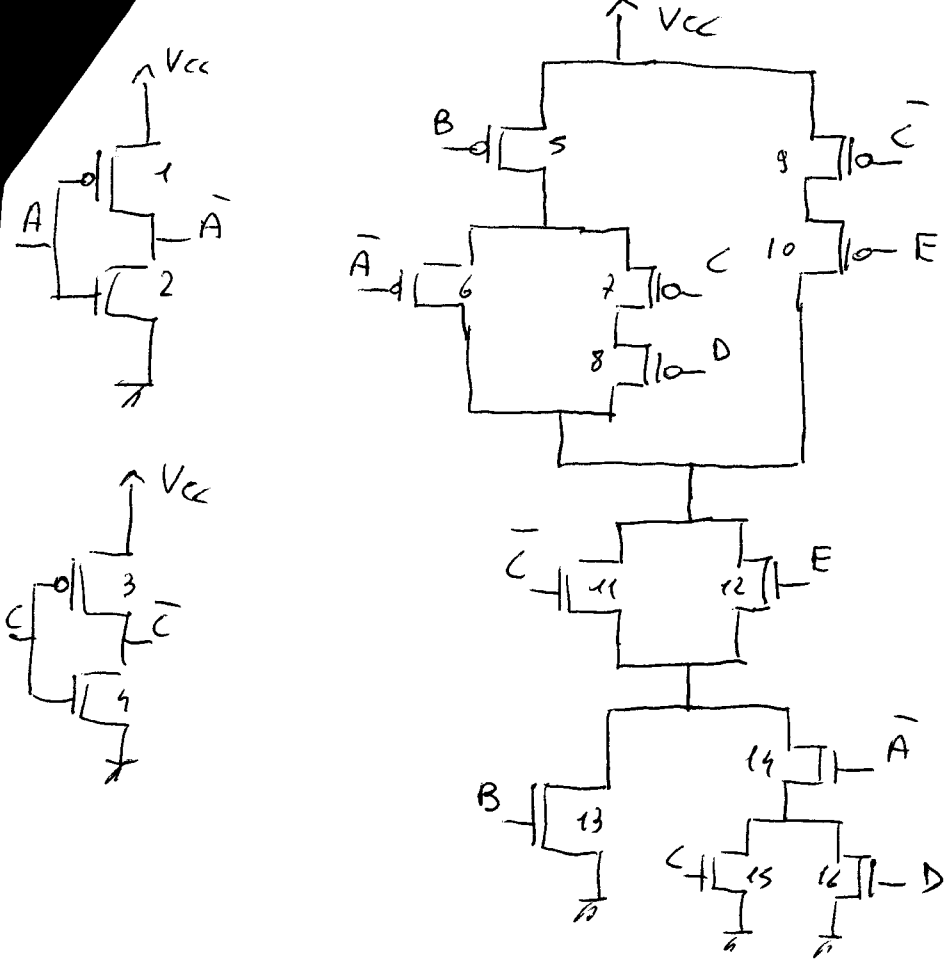
$$= A \bar{B} \bar{C} + A C \bar{E} + \bar{B} \bar{C} \bar{D} + C \bar{D} \bar{E} + \bar{A} C \bar{E} + A \bar{B} C =$$

(A) (A) (A) (x)

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

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

N. MOS: 16



$$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = \left(\frac{W}{L}\right)_3 = p = 5$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = \left(\frac{W}{L}\right)_4 = n = 2$$

} INVERTER

·) PUN:

SERIE $Q_5 - Q_7 - Q_8$ $\Rightarrow$ $\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p = 15$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{5,7,8} = 15$$

SERIE $Q_5 - Q_6$: $\frac{1}{x} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \Rightarrow \frac{1}{x} = \frac{2}{3p} \Rightarrow x = 1.5p = 7.5$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_6 = 7.5$$

SERIE $Q_9 - Q_{10}$: $\frac{2}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 2p = 10$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{9,10} = 2p = 10$$

N:

SERIE: Q_{12}, Q_{14}, Q_{16} oppure $Q_{12} - Q_{14} - Q_{15}$ oppure $Q_{11} - Q_{14}\ Q_{16}$

Il percorso $Q_{11} - Q_{14} - Q_{15}$ non è possibile

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

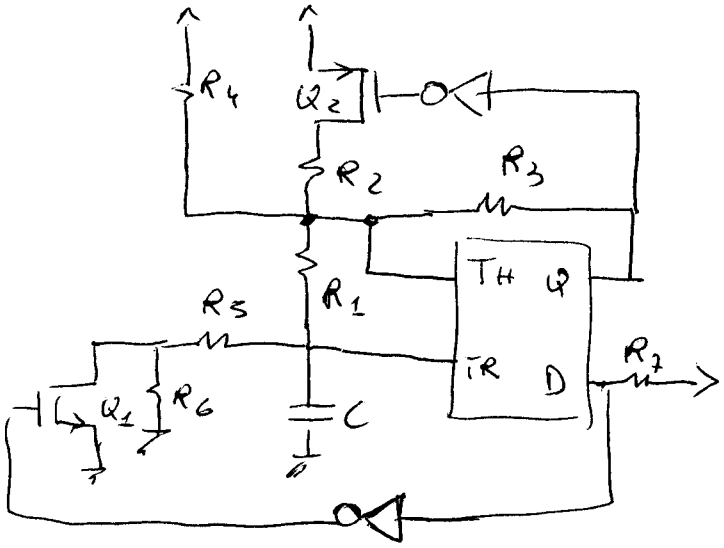
$$\left(\frac{W}{L}\right)_{11,12,14,15,16} = 3n = 6$$

SERIE $Q_{11} - Q_{13}$ oppure $Q_{12} - Q_{13}$

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

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{13} = 1.5n = 3$$

ESERCIZIO C



$R_1 = 500\,\Omega$

$R_2 = 3K\Omega$

$R_3 = 3K\Omega$

$R_4 = 3K\Omega$

$R_5 = 1K\Omega$

$R_6 = 9K\Omega$

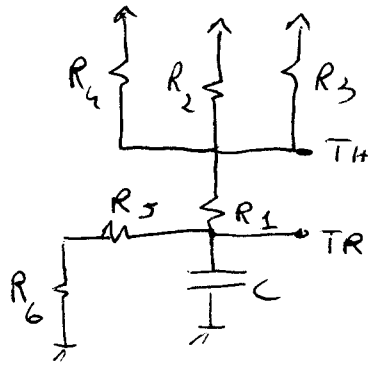
$R_7 = 1K\Omega$

$C = 33nF$

$V_{cc} = 18V$

1) $Q = 1 \Rightarrow V_{G2} = 0V \quad V_{S2} = 5V \Rightarrow V_{GS2} = -5V < V_T = -1V \Rightarrow Q_2$ ON

$D: \overline{1+1} \Rightarrow V_{G1} = 0V \quad V_{S1} = 0V \Rightarrow V_{GS1} = 0V < V_T = 1V \Rightarrow Q_1$ OFF



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

$$V_R = V_{cc} \frac{R_5 + R_6}{R_5 + R_6 + R_1 + R_2 \| R_3 \| R_4} = 5.21739V$$

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

$$I_{R1} = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_2 \| R_3 \| R_4} = 2mA$$

$V_{con} = \frac{2}{3} V_{cc} - R_4 I_{R1} = 3\,V$

$V_i < V_{con} < V_f$

$2\,V < 3\,V < 5.21739\,V$

$\tau_1 = C R_{V1} = 4.30 \times 10^{-5}\,s$

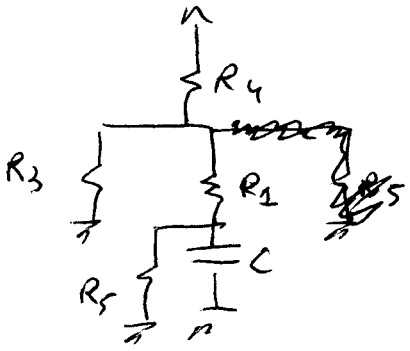
$R_{V1} = (R_5 + R_6) \| [R_1 + R_2 \| R_3 \| R_4] = 1304.348\,\Omega$

$T_1 = \tau_1 \ln\left(\frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f}\right) = 1.60225 \times 10^{-5}\,s$

---

2) $Q = 0 \Rightarrow V_{G2} = 6\,V \quad V_{S2} = 6\,V \Rightarrow V_{GS2} = 0\,V > V_T = -1\,V \Rightarrow Q_2$ off

$D = 0 \Rightarrow V_{G1} = 6\,V \quad V_{S1} = 0\,V \Rightarrow V_{GS1} = 6\,V > V_T = 1\,V \Rightarrow Q_1$ on



$V_{i2} = V_{con1} = 3\,V$

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

$V_{f2} = V_{cc} \frac{R_3 \| (R_1 + R_5)}{R_4 + R_3 \| (R_1 + R_5)} \frac{R_5}{R_1 + R_5} = 1\,V$

$V_{f2} < V_{i2} > V_{con2} > V_{f2}$

$\tau_2 = C R_{V2} = 0.22\,\mu s$

$R_{V2} = R_5 \| [R_1 + (R_3 \| R_4)] = 666.6\,\Omega$

$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f}\right) = 1.5249 \times 10^{-5}\,s$

$T = T_1 + T_2 = 3.12717 \times 10^{-5}\,s$

$f = \frac{1}{T} = 31977.75\,Hz$