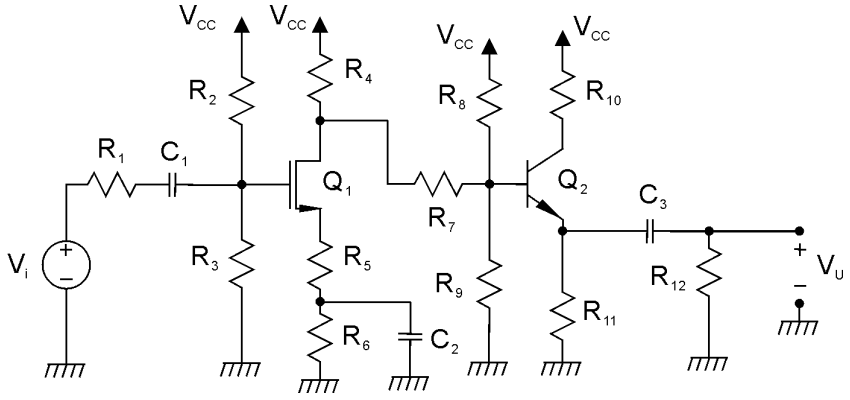
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 08 gennaio 2016

Esercizio A

R_1 = 50 Ω	R_{10} =500 Ω
R_2 = 14.5 kΩ	R_{11} = 6 kΩ
R_3 = 21.5 kΩ	R_{12} = 24 kΩ
R_4 = 1.5 kΩ	C_1 = 2 nF
R_5 = 50 Ω	C_2 = 20 nF
R_7 = 4.6 kΩ	C_3= 100 nF
R_8 = 265 kΩ	V_{CC} = 18 V
R_9 = 25.4 kΩ	



Q_1 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; Q_2 è un transistore BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe}$= 0.
Con riferimento al circuito in figura:

1) Calcolare il valore della resistenza R_6 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sull'emettitore di Q_2 sia 12 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1. (R: R_6 = 5093.2 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 = -1.9)
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} = 9136.6 Hz; f_{z2} = 1562.4 Hz; f_{p2} = 14452 Hz; f_{z3} = 0 Hz; f_{p3} = 66.2 Hz;)

Esercizio B

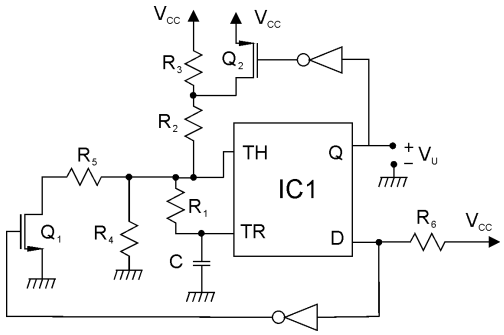
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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

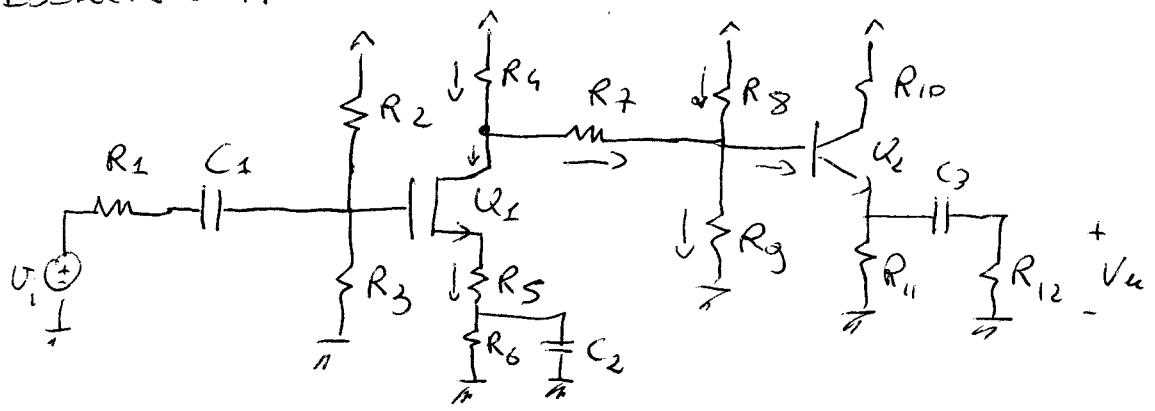
R_1 =500 Ω	R_5 = 250 Ω
R_2 = 1 kΩ	R_6 = 1 kΩ
R_3 = 1 kΩ	C = 68 nF
R_4 = 5 kΩ	**V_{CC} = 6 V**



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a **V_{CC} = 6V**, Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T = 1V; Q_2 ha una R_{on} = 0 e V_T = -1V; gli inverter sono ideali. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 10957 Hz)

08/01/2016

ESERCIZIO A



$R_1 = 50\ \Omega$
$R_2 = 14.5\ k\Omega$
$R_3 = 21.5\ k\Omega$
$R_4 = 1.5\ k\Omega$
$R_5 = 50\ \Omega$
$R_7 = 4.6\ k\Omega$
$R_8 = 265\ k\Omega$
$R_9 = 25.4\ k\Omega$
$R_{10} = 500\ \Omega$
$R_{11} = 6\ k\Omega$
$R_{12} = 24\ k\Omega$
$C_1 = 2\ nF$
$C_2 = 20\ nF$
$C_3 = 100\ nF$
$V_{cc} = 18\ V$
$K = 0.5\ mA/V^2$
$V_T = 1\ V$

1) Det R_6 per $V_E = 12\ V$

$$I_E = \frac{V_E}{R_{11}} = \frac{12}{6000} = 2\ mA$$

$$I_C \simeq I_E$$

$$V_C = V_{cc} - R_{10} I_C = 18 - 500 \times 2 \times 10^{-3} = 17\ V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 17 - 12 = 5\ V$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.896\ \mu A$$

$$V_B = V_E + V_\gamma = 12.7\ V$$

$$I_9 = \frac{V_B}{R_9} = \frac{12.7}{25400} = 0.5\ mA$$

$$I_8 = \frac{V_{cc} - V_B}{R_8} = \frac{18 - 12.7}{265 \times 10^3} = 20\ \mu A$$

$$I_7 = I_9 + I_B - I_8 = 486.896\ \mu A$$

$$V_D = V_B + R_2 I_7 = 14.9397\ V$$

$$I_4 = \frac{V_{cc} - V_D}{R_4} = 2.040\ mA$$

$$I_D = I_4 - I_7 = 1.553\ mA$$

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2.7625\ V$$

$$V_G = V_{cc} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 10.25\ V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 7.987\ V$$

$V_{DS} = 6.9527 > V_{GS} - V_T = 1.7625\ V$

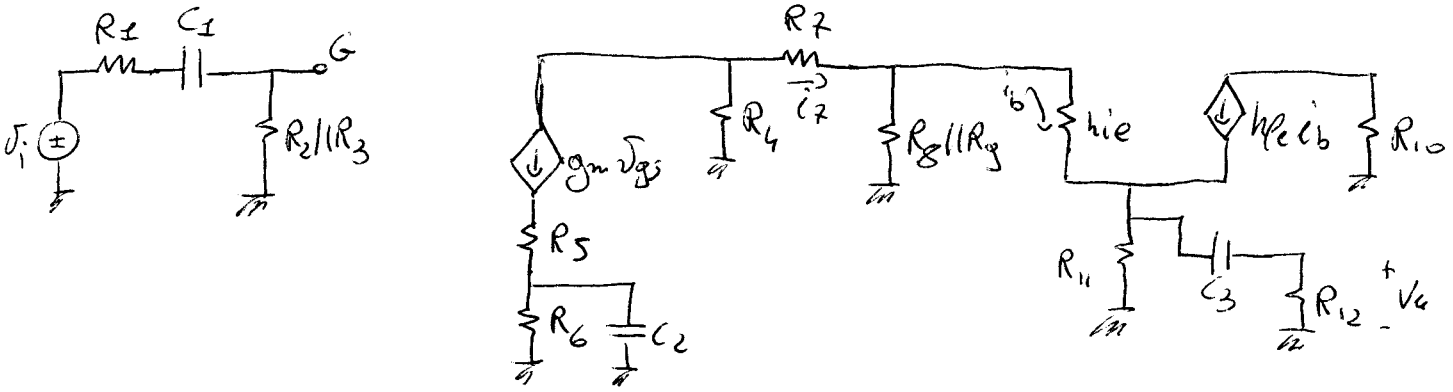
$Q_2 = \begin{cases} I_C = 2\ mA \\ V_{CE} = 5\ V \\ h_{FE} = 230 \\ h_{ie} = 4800\ \Omega \\ h_{fe} = 300 \end{cases}$

$Q_1 \begin{cases} I_D = 1.553\ mA \\ V_{DS} = 6.9527\ V \\ V_{GS} = 2.7625\ V \\ g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = \\ \quad = 1.7625 \times 10^{-3}\ \frac{A}{V} \end{cases}$

$V_6 = V_5 - R_5 I_D = 7.9098\ V$

$R_6 = \frac{V_6}{I_D} = 5033.24\ \Omega$

2) Det. espressione a vuoto di V_u/V_i a centro banda



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

$i_b = i_7 \dfrac{R_8||R_9}{(R_8||R_9) + h_{ie} + (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)}$

$i_7 = (-g_m V_{gs}) \dfrac{R_4}{R_4 + \left[R_7 + R_8||R_9||\left[h_{ie} + (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)\right]\right]}$

$V_s = (g_m V_{gs}) R_5$

$V_{gs} = V_g - g_m V_{gs} R_5 = \dfrac{V_g}{1+g_m R_5}$

$V_g = V_i \dfrac{R_2||R_3}{R_1 + (R_2||R_3)}$

$\dfrac{V_u}{V_i} = \underset{1444800}{(R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)} \dfrac{R_8||R_9}{(R_8||R_9) + h_{ie} + (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)} \underset{1.5737856\times10^{-2}}{(-g_m)} \dfrac{R_4}{R_4 + \left[R_7 + R_8||R_9||\left[h_{ie} + (R_{11}||R_{12})(h_{fe}+1)\right]\right]} \underset{1.2625\times10^{-3}}{} \underset{5.1878721\times10^{-2}}{}$

$\cdot \underset{0.919}{\dfrac{1}{1+g_m R_5}} \cdot \underset{0.934}{\dfrac{(R_2||R_3)}{R_1 + (R_2||R_3)}} = -1.8997 \quad (|A_{gl}|_{dB} = 5.5738\ dB)$

,021 E 2FR1

$f_{z1} = \phi$ Hz

$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{v1}} = 9136.63$ Hz

$R_{v1} = R_1 + R_2 \| R_3 = 8709.72\ \Omega$

$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_6} = 1562.41$ Hz

$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{v2}} = 14452.04$ Hz

$R_{v2} = R_6 \| \left[R_5 + \frac{1}{g_m} \right] = 550.63\ \Omega$

$f_{z3} = \phi$

$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{v3}} = 66.23$ Hz

$R_{v3} = R_{12} + R_{11} \| \frac{\left[(R_4 + R_7) \| R_8 \| R_9 \right] + h_{ie}}{(h_{fe}+1)} = 24031.82\ \Omega$

ESERCIZIO B

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

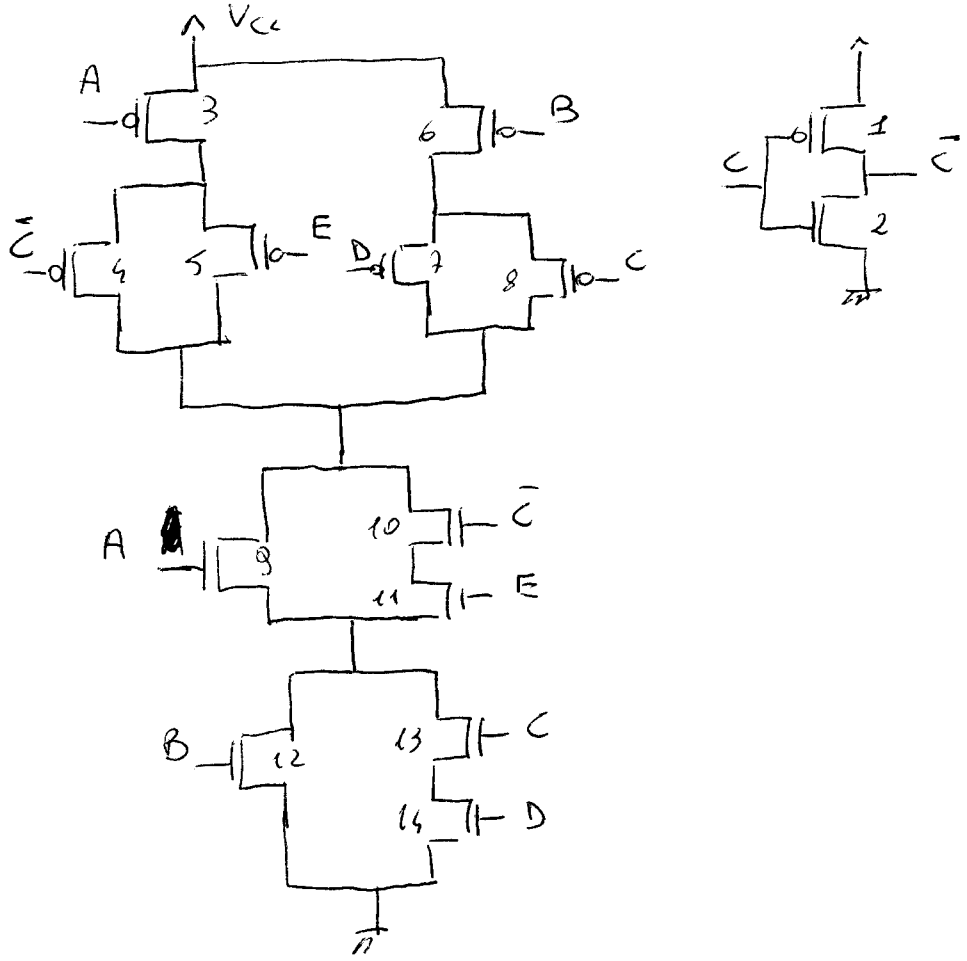
$= \bar{A}\bar{B}(C + \bar{D} + \bar{E}) + \bar{A}BC + \bar{A}B\bar{E} + A\bar{B}\bar{D} + \bar{B}\bar{C} =$

$= \underset{0}{\bar{A}\bar{B}C} + \underset{+}{\bar{A}\bar{B}\bar{D}} + \underset{\oplus}{\bar{A}\bar{B}\bar{E}} + \underset{0}{\bar{A}BC} + \underset{\ominus}{\bar{A}B\bar{E}} + \underset{+}{A\bar{B}\bar{D}} + \bar{B}\bar{C} =$

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

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

N. MOSFET = 14



Q_1, Q_2 inverter di base $\Rightarrow$ $Q_1 : p = 5$

$Q_2 : n = 2$

PUN

) serie di $Q_3 - Q_4$, $Q_3 - Q_5$, $Q_6 - Q_7$, $Q_6 - Q_8$

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

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{3,4,5,6,7,8} = 10$$

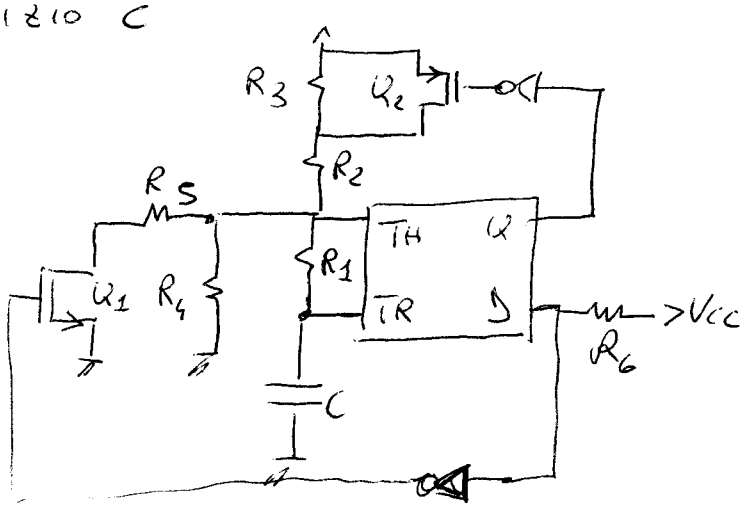
PDN

) serie di $Q_{10} - Q_{11} - Q_{12}$ oppure Q_9, Q_{13}, Q_{14}

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

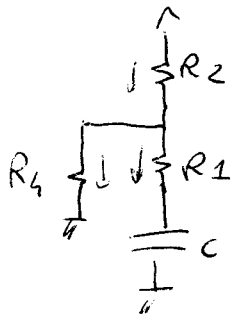
$$\left(\frac{W}{L}\right)_{9,10,11,12,13,14} = 6$$

ESERCIZIO C



$R_1 = 500\,\Omega$
$R_2 = 1\,k\Omega$
$R_3 = 1\,k\Omega$
$R_4 = 5\,k\Omega$
$R_5 = 250\,\Omega$
$R_6 = 1\,k\Omega$
$C = 69\,nF$
$V_{cc} = 6\,V$

1° CASO: $Q = 1 \Rightarrow V_{G2} = 0V \quad V_{S2} = 6V \quad V_{GS2} = -6V < V_T = -1V \Rightarrow Q_2$ ON
$D = HI \Rightarrow V_{G1} = 0V \quad V_{S1} = 0V \quad V_{GS1} = 0V < V_T = 1V \Rightarrow Q_1$ OFF



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

$V_f = \frac{V_{cc} R_4}{R_2 + R_4} = 5V$

$V_i < V_{com} < V_f$

$2V < 3.4V < 5V$ ok

$V_{com} = V_{TH} - R_1 I_{C1} =$

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

$I_2 = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_2} = \frac{6-4}{1000} = 2\,mA$

$I_4 = \frac{V_{TH}}{R_4} = \frac{4}{5000} = 0.8\,mA$

$I_1 = I_2 - I_4 = 1.2\,mA$

$\Rightarrow V_{com} = 4 - (1.2 \times 10^{-3}) \cdot 500 =$

$= 3.4\,V$

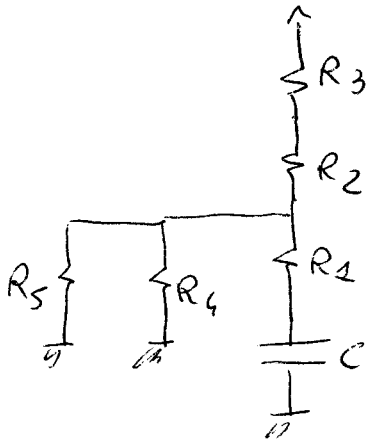
$R_{V1} = R_1 + R_2 \| R_4 = 1333.\bar{3}\,\Omega$

$\tau_1 = C R_{V1} = 80.\bar{6}\,\mu s$

$T_1 = \tau_1 \ln\left(\frac{V_i - V_f}{V_{com} - V_f}\right) = 56.99\,\mu s$

$Q = \phi \Rightarrow V_{G2} = 6V \quad V_{S2} = 6V \quad V_{GS2} = \phi V > V_T = -1V \Rightarrow Q_2$ OFF

$D = \phi \Rightarrow V_{G1} = 6V \quad V_{S1} = \phi V \quad V_{GS1} = 6V > V_T = 1V \Rightarrow Q_1$ ON



$V_i = 3.4V$ $\quad V_i > V_{con} > V_R$

$V_{con} = 2V$ $\quad 3.4V > 2V > 0.638V$

$$V_R = V_{cc} \frac{R_4 \| R_5}{(R_4 \| R_5) + R_2 + R_3} = 0.638V$$

$$R_{V2} = R_1 + [R_4 \| R_5 \| (R_2 + R_3)] = 712.766\,\Omega$$

$$\tau_2 = R_{V2} C_2 = 48.468\,\mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_i - V_R}{V_{con} - V_R}\right) = 34.272\,\mu s$$

$$T = T_1 + T_2 = 91.266\,\mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = 10956.96\,Hz$$