

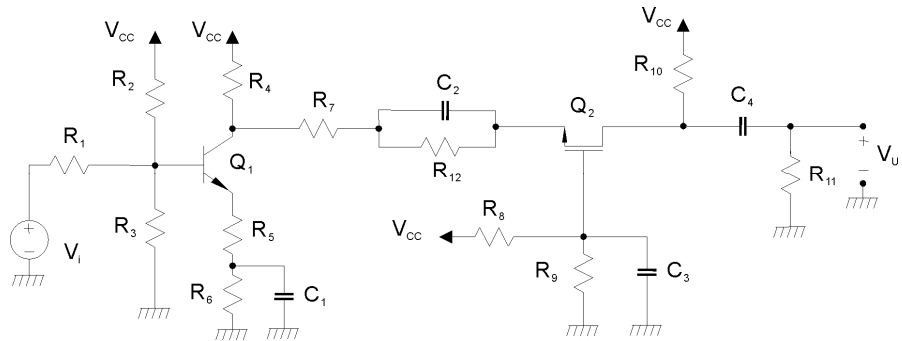
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 18 febbraio 2013

Esercizio A

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$	$R_9 = 20 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 2.5 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 3.5 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 20 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 2 \text{ k}\Omega$
$R_5 = 100 \Omega$	$R_{12} = 1 \text{ k}\Omega$
$R_6 = 800 \Omega$	$C_1 = 1 \mu\text{F}$
$R_7 = 250 \Omega$	$C_2 = 4.7 \mu\text{F}$
$R_8 = 10 \text{ k}\Omega$	$C_3 = 10 \text{ pF}$
$V_{CC} = 18 \text{ V}$	$C_4 = 10 \text{ nF}$



Q_1 è un transistor BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$. Q_2 è un transistor MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 0.25 \text{ mA/V}^2$ e $V_T = 1 \text{ V}$.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R_2 in modo che, in condizioni di riposo, la corrente di drain di Q_2 sia 1.44 mA. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2 . (R: $R_2 = 4419.86 \Omega$)
- 2) Determinare V_U/V_i alle frequenze per le quali C_1 , C_2 , C_3 e C_4 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: $V_U/V_i = -6.27$)
- 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: $f_{z1} = 198.94 \text{ Hz}$; $f_{p1} = 1547.83 \text{ Hz}$; $f_{z2} = 33.86 \text{ Hz}$; $f_{p2} = 35.47 \text{ Hz}$; $f_{z4} = 0 \text{ Hz}$; $f_{p4} = 2893.73 \text{ Hz}$)

Esercizio B

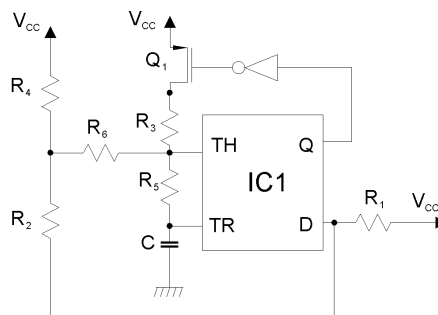
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = \overline{BC}(\overline{A} + \overline{DE}) + \overline{D}(\overline{EC}) + \overline{A}BC$$

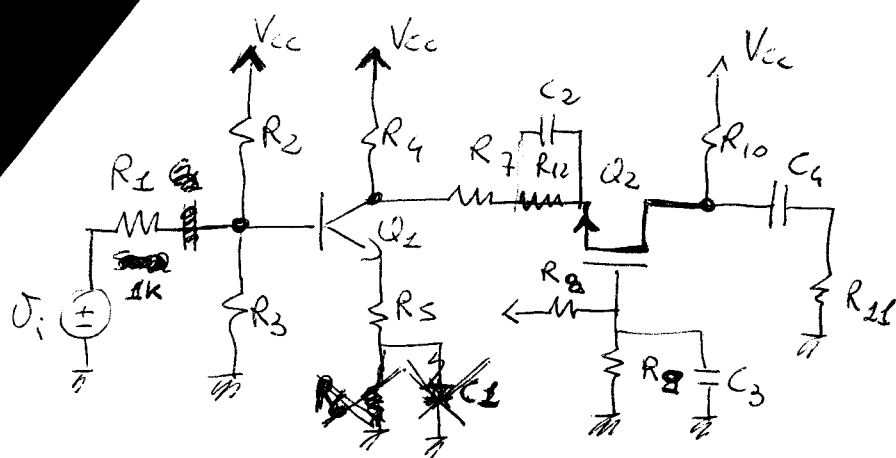
con in totale, non più di 14 transistori e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i 14 transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale n e pari a 5 per quello a canale p. Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

Esercizio C

$R_1 = 3 \text{ k}\Omega$	$R_5 = 500 \Omega$
$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$	$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 3 \text{ k}\Omega$	$C = 4.7 \mu\text{F}$
$R_4 = 4 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 5 \text{ V}$



Il circuito IC1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 5 \text{ V}$, Q_1 ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = -1 \text{ V}$. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: $f = 69.376 \text{ Hz}$)



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 1 \text{ K} \Omega & V_{CC} &= 18 \text{ V} \\
 R_3 &= 2.5 \text{ K} \Omega & K &= 0.25 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \\
 R_4 &= 20 \text{ K} \Omega & V_T &= 1 \text{ V} \\
 R_5 &= 100 \Omega \\
 R_6 &= 800 \Omega \\
 R_7 &= 1250 \Omega & R_{12} &= 100 \Omega \\
 R_8 &= 10 \text{ K} \Omega \\
 R_9 &= 20 \text{ K} \Omega \\
 R_{10} &= 3.5 \text{ K} \Omega \\
 R_{11} &= 2 \text{ K} \Omega \\
 C_1 &= 1 \mu \text{F} \\
 C_2 &= 4.7 \mu \text{F} \\
 C_3 &= 10 \text{ pF} \\
 C_4 &= 10 \text{ nF}
 \end{aligned}$$

1) Det. R_2 per $I_D = 1.44 \text{ mA}$

$$V_D = 12.36 \text{ V}$$

$$(V_{GS} - V_T) = \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2.4 \text{ V} \Rightarrow V_{GS} = 3.4 \text{ V}$$

$$V_G = \frac{V_{CC} R_2}{R_2 + R_3} R_3 = 12 \text{ V} \Rightarrow V_S = V_G - 3.4 = 8.6 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 4.36 \text{ V} > V_{GS} - V_T = 2.4 \text{ V}$$

$$V_C = V_S - (R_7 I_D) = 6.8 \text{ V}$$

$$I_{R_4} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_4} = \frac{18 - 6.8}{20 \times 10^3} = 0.56 \text{ mA}$$

$$I_C = I_{R_4} + I_D = 1.44 \times 10^{-3} + 0.56 \times 10^{-3} = 2 \text{ mA}$$

$$V_E = (R_5 + R_6) I_C = 1.8 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{CE} = 5 \text{ V} \quad I_C = 2 \text{ mA} \quad I_B = 6.896 \mu \text{A}$$

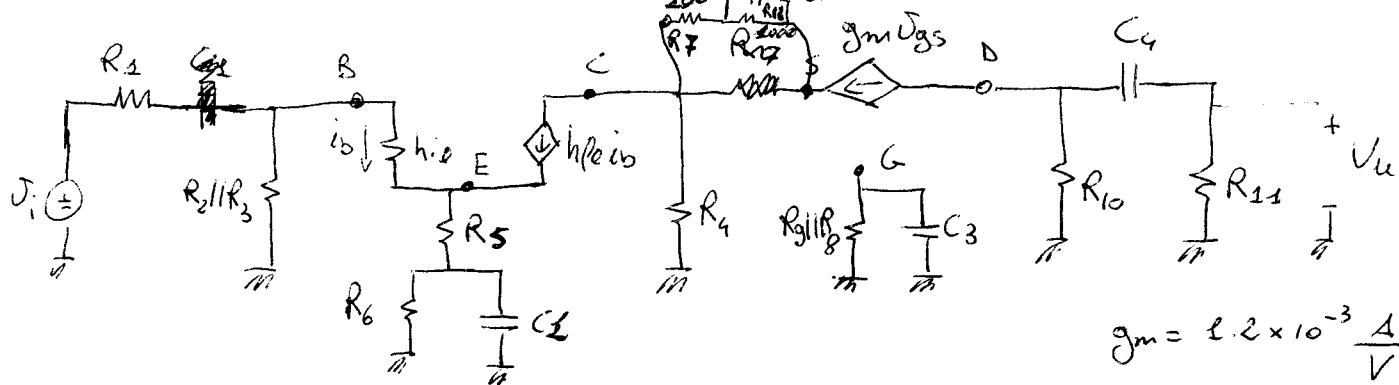
$$I_{R_3} = \frac{V_E + V_T}{R_3} = 1 \text{ mA} \quad I_{R_1} = \frac{V_E + V_T}{R_1} = 2.5 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_B}{I_{R_1} + I_{R_3} + I_B} = \frac{18 - 12.36}{1 \times 10^{-3} + 2.5 \times 10^{-3} + 6.896 \times 10^{-6}} = 4419.86 \Omega$$

Riassumendo:

$$\begin{aligned}
 Q_1 & \begin{cases} I_C = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = 5 \text{ V} \\ I_B = 6.896 \mu \text{A} \\ h_{ie} = 4800 \Omega \\ h_{fe} = 300 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 & \begin{cases} I_D = 1.44 \text{ mA} \\ V_{DS} = 4.36 \text{ V} \\ V_{GS} - V_T = 2.4 \text{ V} \\ g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 1.2 \times 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}} \end{cases}
 \end{aligned}$$



$$g_m = 1.2 \times 10^{-3} \frac{A}{V}$$

1) AMPLIFICAZIONE A CENTRO BANDA

$$V_u = -g_m V_{gs} (R_{10} || R_{11}) =$$

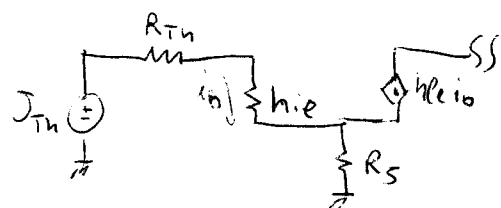
$$= g_m V_s (R_{10} || R_{11})$$

$$V_s = R_7 g_m V_{gs} + R_4 (g_m V_{gs} - h_{fe} i_b) =$$

$$= -g_m (R_4 + R_7) V_s - h_{fe} R_4 i_b$$

$$\Rightarrow V_s = - \frac{R_4 h_{fe} i_b}{1 + g_m (R_4 + R_7)}$$

Per calcolare i_b possiamo fare l'equivalente di Thevenin dell'ingresso



$$V_{Tn} = \frac{V_i}{R_1 + R_2 || R_3}$$

$$R_{Tn} = R_1 || R_2 || R_3$$

$$i_b = \frac{V_{Tn}}{R_{Tn} + h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)} = \frac{V_i}{R_1 + R_2 || R_3} \cdot \frac{1}{(R_1 || R_2 || R_3) + h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)}$$

$$A_{CB} = \frac{V_u}{V_i} = -g_m (R_{10} || R_{11}) \cdot \frac{h_{fe} R_4}{1 + g_m (R_4 + R_7)} \cdot \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3} \cdot \frac{1}{R_2 || R_3 + h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)}$$

$$= -6.2711$$

$$|A_{CB}|_{dB} = 15.94637 \text{ dB}$$

2) CONDENSATORE C1

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_6} = 198.34 \text{ Hz}$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 \left\{ R_6 || \left[R_5 + \frac{R_1 || R_2 || R_3 + h_{ie}}{h_{fe} + 1} \right] \right\}} = 1547.83 \text{ Hz}$$

$$102.824$$

3) C4

$$f_{p4} = \frac{1}{2\pi C_4 (R_{10} || R_{11})} = 2833.726 \text{ Hz}$$

$$C_1 = 1 \mu F$$

$$C_2 = 4.7 \mu F$$

$$C_4 = 10 \text{ nF}$$

$$C_3 = 10 \text{ pF}$$

C2:

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 \cdot R_{12}} = 33.86 \text{ Hz}$$

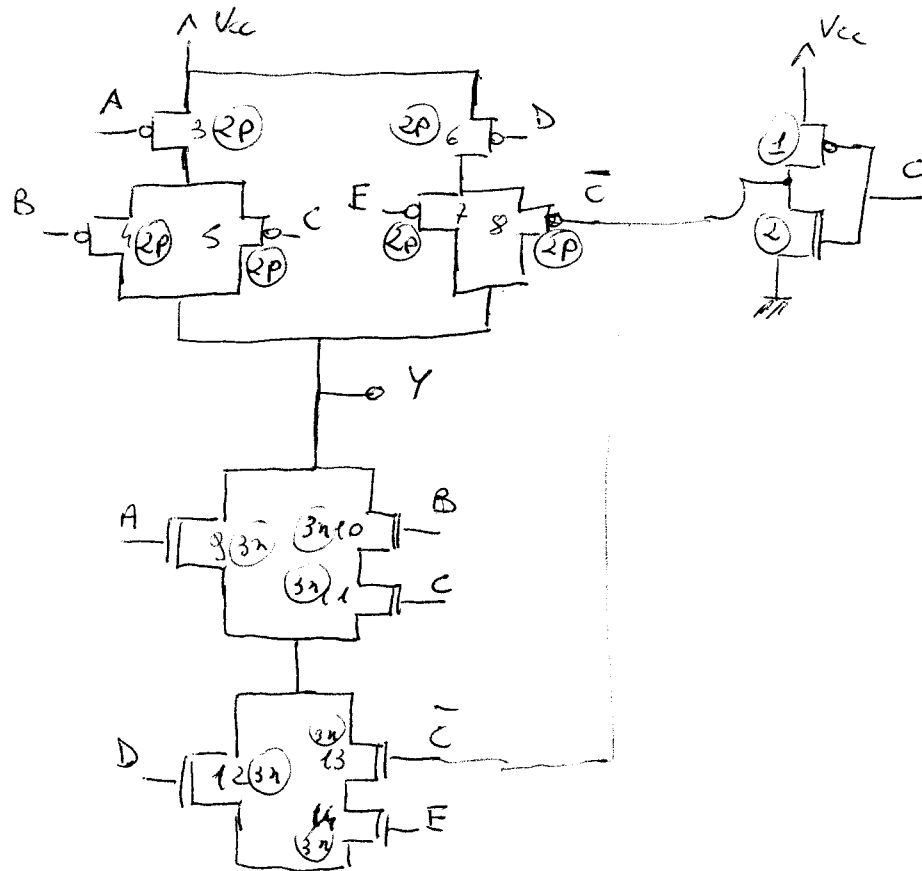
$$R_{Vc2} = 1000 || \left[250 + 20K + \frac{1}{g_m} \right] = 354.71$$

$$f_{p2} = 35.468 \text{ Hz}$$

RC1810 B

$$\begin{aligned}
 & \overline{BC} (\overline{A} + \overline{D}\overline{E}) + \overline{D} (\overline{E}\overline{C}) + \overline{A}\overline{B}C = \\
 & = (\overline{B} + \overline{C})(\overline{A} + \overline{D}\overline{E}) + \overline{D}(\overline{E} + \overline{C}) + \overline{A}\overline{B}C = \\
 & = \overline{A}\overline{B} + \overline{B}\overline{D}\overline{E} + \overline{A}\overline{C} + \overline{C}\overline{D}\overline{E} + \overline{D}\overline{E} + \overline{D}C + \overline{A}\overline{B}C = \\
 & = \overline{A}\overline{B} + \overline{A}\overline{C} + \overline{D}\overline{E} + \overline{D}C = \\
 & = \overline{A}(\overline{B} + \overline{C}) + \overline{D}(C + \overline{E})
 \end{aligned}$$

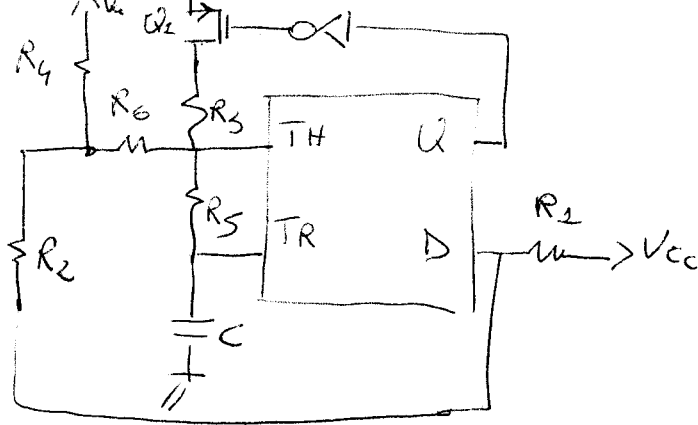
N. TRANSISTOR $12 + 2 = 14$



1) INVERTER $Q_2: n$ $Q_1: p$

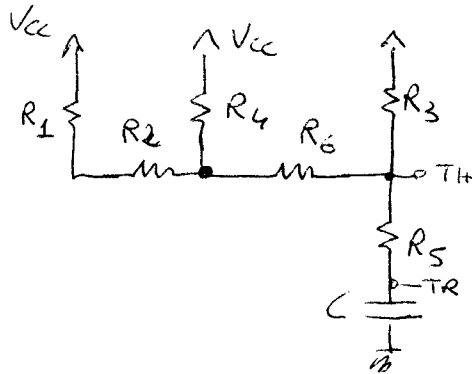
2) PUN. $Q_3 = Q_4 = Q_5 = Q_6 = Q_7 = Q_8 = 2p$

3) PDN ; serie di $Q_{10}, Q_{11}, Q_{12} = 3n$
serie di $Q_9, Q_{13}, Q_{14} = 3n$



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 3K\Omega \\
 R_2 &= 1K\Omega \\
 R_3 &= 3K\Omega \\
 R_4 &= 4K\Omega \\
 R_5 &= 500\Omega \\
 R_6 &= 1K\Omega \\
 C &= 4.7\mu F
 \end{aligned}$$

1° caso $Q=1 \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$
 $D=HI$



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

$$V_f = V_{cc}$$

Calcolo di V_{corr}

$$V_{th} = \frac{2}{3} V_{cc}$$

$$I_{R3} = \frac{V_{cc} - \frac{2}{3} V_{cc}}{R_3} = 5.5 \times 10^{-4} A$$

$$I_{R6} = \frac{V_{cc} - \frac{2}{3} V_{cc}}{R_6 + [R_4 || (R_2 + R_2)]} = 5.5 \times 10^{-4} A$$

$$V_{corr} = \frac{2}{3} V_{cc} - R_5 (I_{R3} + I_{R6}) = 2.7 V$$

$$V_i < V_{corr} < V_f$$

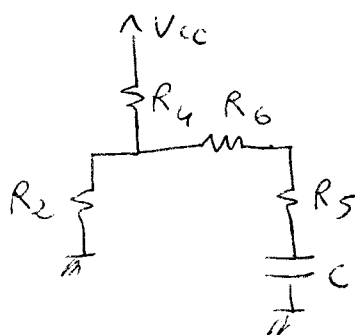
$$1.6V < 2.7V < 5V \text{ OK}$$

$$R_{vc} = R_5 + \left\{ R_3 || [R_6 + R_4 || (R_2 + R_2)] \right\} = 2000 \Omega \Rightarrow \tau_1 = 8.4 ms$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{V_i - V_f}{V_{corr} - V_f} = 3.81137 \times 10^{-3} s$$

2° caso $Q=0 \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$

$D=LOW$



$$V_i = 2.7 V$$

$$V_f = \frac{V_{cc} R_2}{R_2 + R_4} = 1V$$

$$V_{corr} = \frac{1}{3} V_{cc} = 1.6$$

$$V_i > V_{corr} > V_f$$

$$2.7V > 1.6V > 1V$$

$$R_{vc} = R_5 + R_6 + (R_4 || R_2) = 2300 \Omega \Rightarrow \tau_2 = 10.81 ms$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \frac{V_i - V_f}{V_{corr} - V_f} = 10.602764 \times 10^{-3} s$$

$$T = T_1 + T_2 = 14.4141 \times 10^{-3} s$$

$$\Rightarrow f = 69.376 Hz$$