

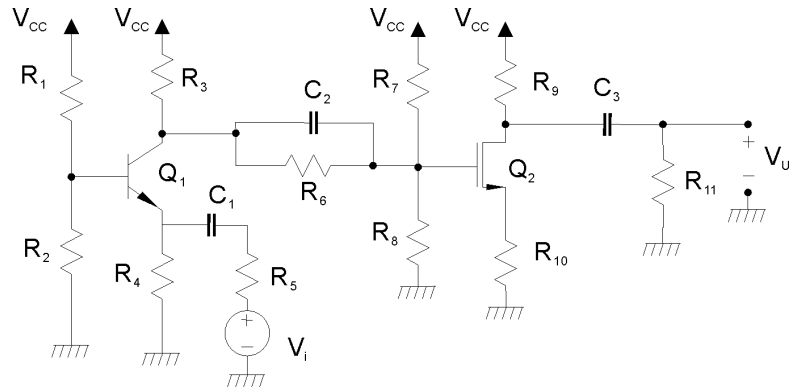
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 28 gennaio 2013

Esercizio A

$R_2 = 940 \Omega$	$R_9 = 2 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 3 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 750 \Omega$
$R_4 = 2 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 2 \text{ k}\Omega$
$R_5 = 100 \Omega$	$C_1 = 100 \text{ nF}$
$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$	$C_2 = 1.5 \mu\text{F}$
$R_7 = 40 \text{ k}\Omega$	$C_3 = 10 \text{ nF}$
$R_8 = 6.4 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$



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_1 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione di drain di Q_2 sia 10 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2 . (R: $R_1 = 2660 \Omega$)
- 2) Determinare V_U/V_i alle frequenze per le quali C_1 , C_2 e C_3 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: $V_U/V_i = -12.97$)
- 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: $f_{z1} = 0 \text{ Hz}$; $f_{p1} = 13477.61 \text{ Hz}$; $f_{z2} = 106.1 \text{ Hz}$; $f_{p2} = 118.56 \text{ Hz}$; $f_{z3} = 0 \text{ Hz}$; $f_{p3} = 3978.87 \text{ Hz}$)

Esercizio B

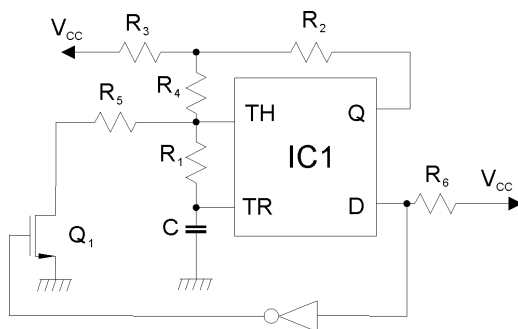
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = (\overline{AB})(\overline{CD} + \overline{DE} + BC) + (\overline{D + E})(\overline{DB} + \overline{A}) + \overline{ACD}$$

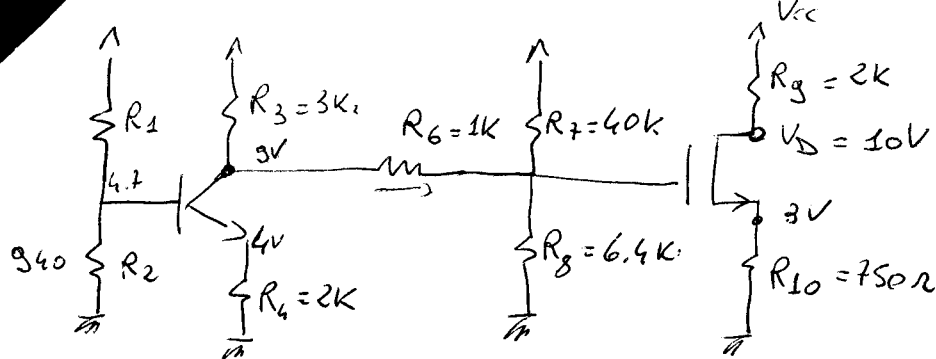
con in totale, non più di 16 transistori e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i 16 transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale n e pari a 5 per quello a canale p. Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

Esercizio C

$R_1 = 500 \Omega$	$R_5 = 100 \Omega$
$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$	$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$	$C = 1 \mu\text{F}$
$R_4 = 500 \Omega$	$V_{CC} = 5 \text{ V}$



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: $f = 1425.7 \text{ Hz}$)



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

$$K = 0.25 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$$

$$V_T = 1$$

$$V_D = 10 \text{ V}$$

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_D}{R_D} = \frac{18 - 10}{2000} = 4 \text{ mA}$$

$$V_S = I_D R_{10} = 3 \text{ V}$$

$$V_{GS} - V_T = +\sqrt{\frac{I_D}{K}} = 4 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 5 \text{ V} \Rightarrow V_G = 8 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 10 - 3 = 7 \text{ V} > (V_{GS} - V_T) = 4 \text{ V}$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$I_{R8} = \frac{V_G}{R_8} = \frac{8}{6.4 \text{ K}} = 1.25 \text{ mA}$$

$$I_{R7} = \frac{V_{CC} - V_G}{R_7} = \frac{18 - 8}{40 \text{ K}} = 0.25 \text{ mA}$$

$$I_{R6} = I_{R8} - I_{R7} = 1 \text{ mA}$$

$$V_C = R_6 I_{R6} + V_G = 1 + 8 = 9 \text{ V}$$

$$I_{R3} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_3} = \frac{18 - 9}{3 \text{ K}} = 3 \text{ mA}$$

$$I_C = I_{R3} - I_{R6} = 2 \text{ mA} \approx I_E$$

$$V_E = I_E R_4 = 4 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 9 - 4 = 5 \text{ V}$$

$$V_B = V_E + V_T = 4.7 \text{ V}$$

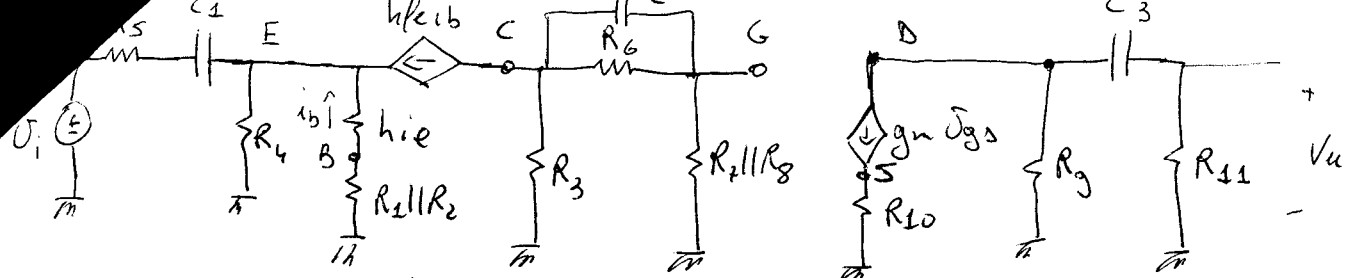
$$I_{R2} = \frac{V_B}{R_2} = \frac{4.7}{940} = 5 \text{ mA} \approx I_{R1}$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_B}{I_{R2}} = \frac{18 - 4.7}{5 \times 10^{-3}} = 2660 \Omega \quad (2656, 336) \Omega$$

$$h_{FE} = 290 \Rightarrow I_B = \frac{2 \times 10^{-3}}{290} = 6.89 \mu\text{A}$$

$$h_{ie} = 4800$$

$$h_{fe} = 300$$



$$R_2 || R_3 = 634.5 \, \Omega$$

$$R_3 || R_2 || R_8 = 1000 \, \Omega$$

$$g_m = 2 \frac{m}{V}$$

$$R_2 || R_3 = 5512.24 \, \Omega$$

$$R_3 || R_2 || R_8 = 1943.32$$

$$V_u = -g_m V_{gs} (R_3 || R_2 || R_8)$$

$$V_{gs} = (g_m V_{gs}) R_{10} \Rightarrow$$

$$V_{gs} = V_g - g_m R_{10} V_{gs} \Rightarrow V_{gs} = \frac{1}{1 + g_m R_{10}} V_g$$

$$V_g = \left[-h_{fe} i_b \frac{R_3}{R_3 + R_2 || R_8} \right] \cdot (R_2 || R_3)$$

$$V_i = R_5 i_i + R_4 [i_i + (h_{fe} + 1) i_b] = (R_5 + R_4) i_i + R_4 (h_{fe} + 1) i_b$$

$$-(h_{fe} + 1) i_b = i_i \frac{R_4}{R_4 + \frac{h_{ie} + R_2 || R_3}{h_{fe} + 1}} \Rightarrow i_b = - (h_{fe} + 1) \frac{R_4 + \frac{h_{ie} + R_2 || R_3}{h_{fe} + 1}}{R_4} i_i = - \frac{R_4 (h_{fe} + 1) + h_{ie} + R_2 || R_3}{R_4} i_i$$

$$V_i = \left[(R_5 + R_4) - \frac{R_4 (R_4 (h_{fe} + 1) + h_{ie} + R_2 || R_3)}{R_4} + R_4 (h_{fe} + 1) \right] i_i$$

$$\frac{V_u}{V_i} = \underbrace{-g_m (R_3 || R_2 || R_8)}_{-0.8} \underbrace{\frac{1}{1 + g_m R_{10}}}_{-582.936} \left[-h_{fe} \frac{R_3 (R_2 || R_3)}{R_3 + R_2 || R_8} \right] \cdot \underbrace{\frac{1}{(R_5 + R_4) - \frac{R_4 (h_{fe} + 1) + h_{ie} + R_2 || R_3}{R_4} + R_4 (h_{fe} + 1)}}_{-2.78 \times 10^{-5}}$$

$$= -12.96583 \text{ (22.256 dB)}$$

$$f_{z1} = \phi$$

$$R_{vc1} = R_5 + R_4 || \left[\frac{h_{ie} + R_2 || R_3}{h_{fe} + 1} \right] = 118.088 \, \Omega \Rightarrow f_{p1} = \frac{1}{2\pi R_{vc1} C_1} = 13477.608 \, \text{Hz}$$

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi R_{c2} C_2} = 106.103 \, \text{Hz}$$

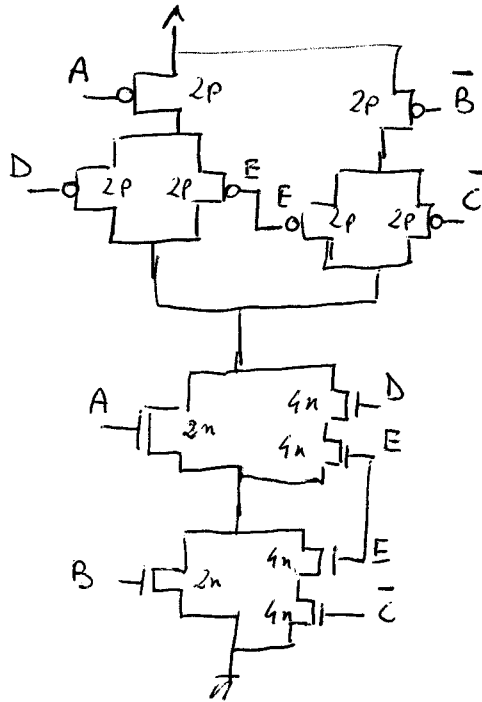
$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 [R_6 || (R_3 + R_2 || R_8)]} = 118.56 \, \text{Hz}$$

$$f_{z3} = \phi$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 (R_9 || R_{11})} = 3378.87 \, \text{Hz}$$

ESERCIZIO B

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



$$\frac{4}{x} + \frac{1}{n}$$

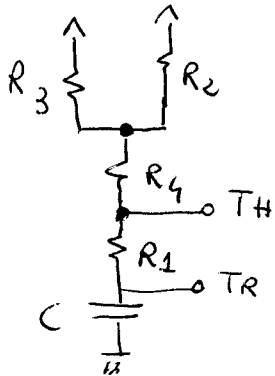
$$\frac{1}{x} + \frac{1}{4n} + \frac{1}{4n} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{2n} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{n} - \frac{1}{2n} = \frac{1}{2n} \Rightarrow x = 2n$$

ESERCIZIO C

1) $Q = 1$ $D = H.I. \Rightarrow Q_1$ OFF



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

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

$$I_{R4} = \frac{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}}{R_4 + R_2 \parallel R_3} = \frac{5}{3} \times 10^{-3} A$$

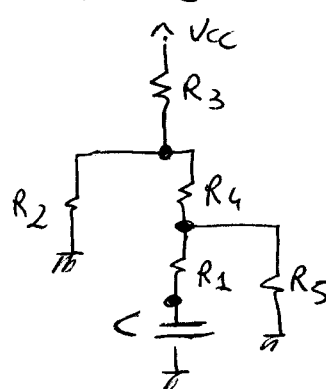
$$V_{con} = \frac{2}{3}V_{cc} - R_1 I_{R4} = \frac{10}{3} - 2.5 = 2.5V$$

$$R_{vc} = R_1 + R_4 + R_2 \parallel R_3 = 1500$$

$$C = 10^{-6}$$

$$T_1 = \tau \ln \frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f} = 4.315 \times 10^{-4} s$$

$Q = \phi$ Q_1 ON



$$V_i = 2.5V$$

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

$$R_2 \parallel (R_4 + R_5) = 375$$

$$V_i > V_{con} > V_f$$

$$2.5V > 1.6V > 0.221V$$

$$V_f = V_{cc} \frac{R_2 \parallel (R_4 + R_5)}{R_3 + R_2 \parallel (R_4 + R_5)} \quad \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 0.22721$$

$$R_{vc} = R_1 + R_5 \parallel [R_4 + R_3 \parallel R_2] = 530.9091$$

$$T_2 = 2.698 \times 10^{-4} s$$

$$T_2 = 7.0140 \times 10^{-4} s$$

$$f = 1425.8 Hz$$