

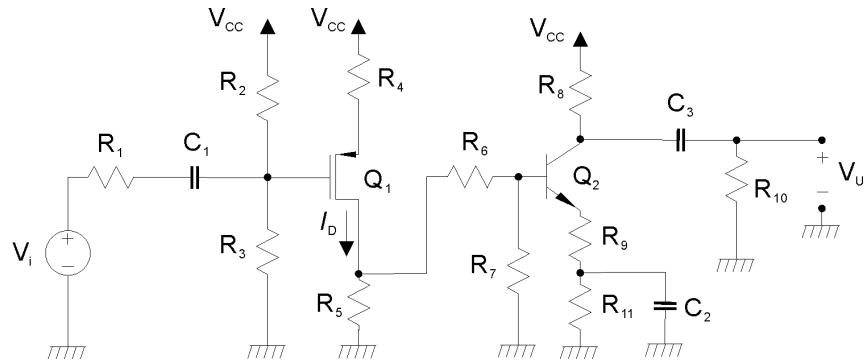
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta 08 gennaio 2013

Esercizio A

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$	$R_9 = 200 \Omega$
$R_2 + R_3 = 20 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 100 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 2.5 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 2.3 \text{ k}\Omega$
$R_5 = 5 \text{ k}\Omega$	$C_1 = 10 \text{ nF}$
$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$	$C_2 = 1 \mu\text{F}$
$R_7 = 5 \text{ k}\Omega$	$C_3 = 100 \text{ pF}$
$R_8 = 4 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$



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

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore delle resistenze R_2 e R_3 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione del collettore di Q_2 sia 10 V. Si ipotizzi di trascurare la corrente di base di Q_2 rispetto alla corrente che scorre nella resistenza R_7 . Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1 . (R: $R_2 = 11597 \Omega$; $R_3 = 8403 \Omega$)
- 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: $V_U/V_i = 10.259$)
- 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: $f_{z1} = 0 \text{ Hz}$; $f_{p1} = 2710.18 \text{ Hz}$; $f_{z2} = 69.20 \text{ Hz}$; $f_{p2} = 776.53 \text{ Hz}$; $f_{z3} = 0 \text{ Hz}$; $f_{p3} = 15303.36 \text{ Hz}$)

Esercizio B

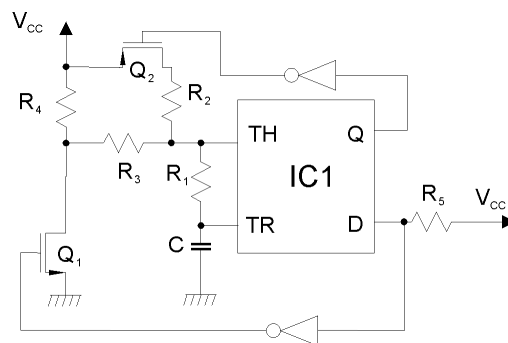
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = (A + B)(\overline{D}(\overline{AC})) + (\overline{C} + D)(\overline{AB} + \overline{DA})$$

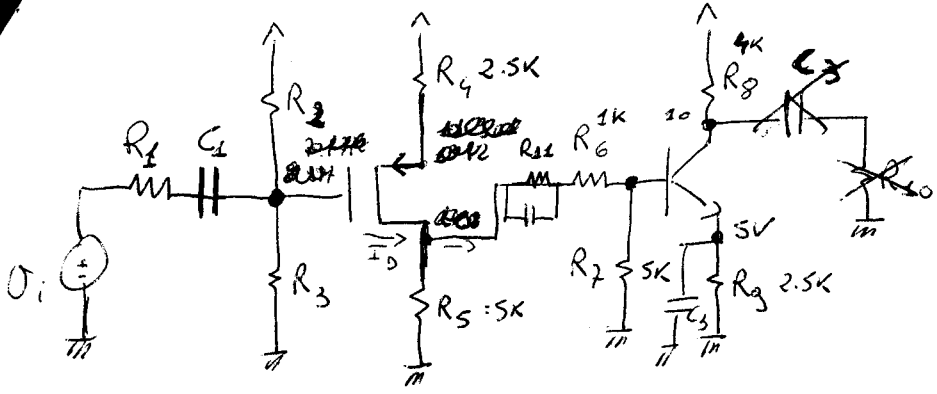
Determinare il numero minimo di transistori necessari e disegnare lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale n e pari a 5 per quello a canale p . Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

Esercizio C

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



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 5 \text{ V}$, Q_1 ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = 1 \text{ V}$, Q_2 ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = -1 \text{ V}$ e gli inverter sono ideali. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore. (R: $f = 2038.67 \text{ Hz}$).



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

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

$$V_T = -1V$$

$$R_{th} = R_2 || R_3 =$$

$$g_m = 2K|V_{GS} - V_T| = 1.5835 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$\begin{aligned} V_{CC} &= 10V \\ R_4 &= 4K\Omega \\ R_5 &= 2.5K\Omega \Rightarrow V_E = R_5 I_C = 5V \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} V_{CE} &= 5V \\ I_C &= 2mA \\ I_B &= 6.836 \mu A \end{aligned}$$

$$V_B = 5.7V$$

$$R_6 = R_7 = 5K\Omega \Rightarrow I_7 = 1.14 \text{ mA} \approx I_6 \text{ per } I_B \text{ trascurabile}$$

$$(R_4 || R_6) = 1K\Omega \Rightarrow V_{R_6} = (R_4 || R_6) I_6 = 1.14V \Rightarrow V_D$$

$$\Rightarrow V_D = V_{R_6} + V_B = 1.14 + 5.7 = 6.84V$$

$$\Rightarrow I_{R_5} = I_{R_4} = 1.14 \text{ mA} \Rightarrow I_{R_5} = \frac{6.84V}{10K\Omega} = 0.684 \text{ mA}$$

$$I_{D1} = I_{R_5} = 0.684 \text{ mA}$$

$$R_5 = 5K\Omega \Rightarrow I_{R_5} = 1.368 \text{ mA}$$

$$I_D = I_{R_5} + I_{R_6} = 2.508 \text{ mA}$$

$$(V_{GS} - V_T) = -\sqrt{\frac{I_D}{K}} = -3.167V$$

$$V_{GS} = -3.167V + V_T = -4.167V$$

$$R_4 = 2.5K\Omega$$

$$V_S = V_{CC} - R_4 I_D = 10V - 2.5K\Omega \cdot 2.508 \text{ mA} = 3.68V$$

$$V_{DS} = -4.89V < (V_{GS} - V_T) = -3.123V$$

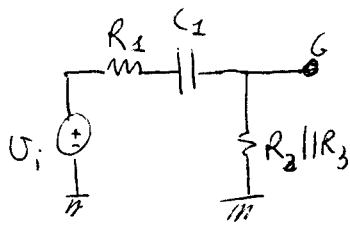
$$V_G = V_{GS} + V_S = -4.167V + 3.68V = -0.487V$$

$$R_2 + R_3 = 20K\Omega$$

$$I = \frac{V_{CC}}{R_2 + R_3} = 0.9 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_G}{I} = \frac{10V - (-0.487V)}{0.9 \text{ mA}} = 11.537K\Omega$$

$$R_3 = 8403\Omega$$



$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_6 + R_{10} = 1 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_6 = 200 \Omega$$

$$R_{10} = 800 \Omega$$

$$R_{10} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$V_u = -h_{fe} I_b (R_8 \parallel R_{10})$$

$$I_b = -g_m V_{gs} \left[\frac{R_5}{R_5 + [R_6 + R_7 \parallel (h_{ie} + R_9(h_{fe} + 1))]} \cdot \frac{R_7}{R_7 + h_{ie} + R_9(h_{fe} + 1)} \right]$$

$$V_s = g_m V_{gs} \cdot R_4 \Rightarrow V_{gs} = \frac{1}{1 + g_m R_4} V_u$$

$$V_u = V_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3}$$

$$A_v = \frac{V_u}{V_i} = \left[h_{fe} (R_8 \parallel R_{10}) \cdot g_m \right] \frac{R_5}{R_5 + [R_6 + R_7 \parallel (h_{ie} + R_9(h_{fe} + 1))]} \cdot \frac{R_7}{R_7 + h_{ie} + R_9(h_{fe} + 1)} \cdot \frac{1}{1 + g_m R_4} \cdot \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3}$$

$$= 0.00017 \cdot 10.259 \cdot 20.22 = 0.0346$$

$$f_{z1} = \phi$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 [R_1 + R_2 \parallel R_3]} = 2710.18 \text{ Hz}$$

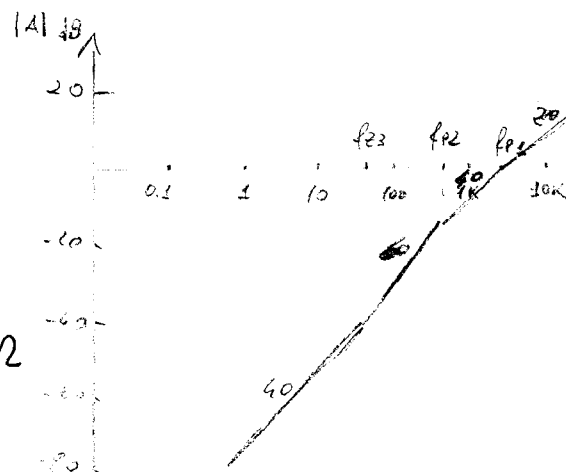
$$f_{z3} = \phi$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 (R_8 + R_{10})} = 15303.36 \text{ Hz}$$

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{11}} = 69.1978 \text{ Hz}$$

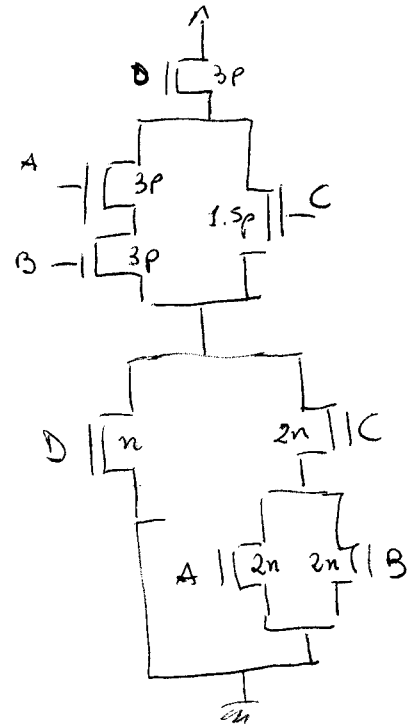
$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{k2}} = 776.523 \text{ Hz}$$

$$R_{vcl2} = R_{11} \parallel \left[R_9 + \frac{h_{ie} + R_7 \parallel (R_6 + R_5)}{h_{fe} + 1} \right] = 204.9562 \Omega$$



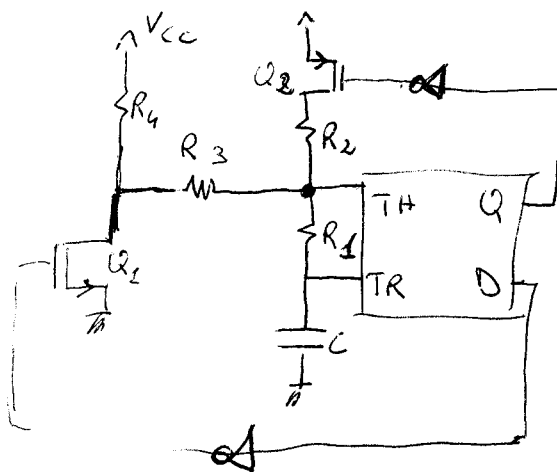
$$\begin{aligned}
 & (\bar{A} + \bar{B}) \cdot (\bar{D} \cdot (\bar{A} \bar{C})) + (\bar{C} + \bar{D}) (\bar{A} \bar{B} + \bar{D} \bar{A}) = \\
 & = \bar{A} \bar{B} \cdot [\bar{D} \cdot (\bar{A} + \bar{C})] + \bar{C} \bar{D} (\bar{A} + \bar{B} + \bar{D} \bar{A}) = \\
 & = \bar{A} \bar{B} \bar{D} + \bar{A} \bar{B} \bar{D} \bar{C} + \bar{C} \bar{D} \bar{A} + \bar{C} \bar{D} \bar{B} + \bar{C} \bar{D} \bar{A} = \\
 & = \bar{A} \bar{B} \bar{D} + \bar{C} \bar{D} + \bar{C} \bar{D} \bar{B} = \\
 & = \bar{A} \bar{B} \bar{D} + \bar{C} \bar{D} = \bar{D} [\bar{A} \bar{B} + \bar{C}]
 \end{aligned}$$

belong to a new m-
 di MOSFET network per
 mple to rel
 e for il movimento



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

$$\frac{B}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 3p$$

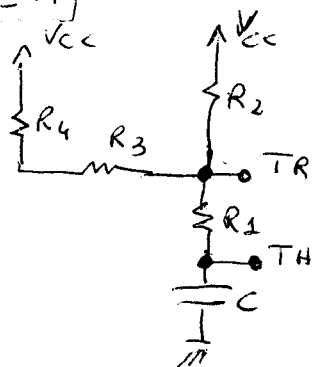


Q=1 D: OPEN
 Q=0 D: closed

1° caso $Q_1 = 1$ (upper transistor) D alta impedanza $\Rightarrow Q_2$ OFF

$\hookrightarrow Q_2$ ON

$$V_{TH} = \frac{1}{3} V_{CC} = V_i$$



$$R_2 = 1K\Omega$$

$$R_4 = 500\Omega$$

$$R_3 = 1K\Omega$$

$$R_1 = 300\Omega$$

$$V_{TR} = \frac{2}{3} V_{CC}$$

$$I_{R2} = \frac{V_{CC} - \frac{2}{3} V_{CC}}{R_2} = \frac{\frac{1}{3} V_{CC}}{R_2} = 1.6 \text{ mA}$$

$$I_{R3} = \frac{V_{CC} - \frac{2}{3} V_{CC}}{R_4 + R_3} = \frac{\frac{1}{3} V_{CC}}{R_4 + R_3} = 0.83 \text{ mA}$$

$$I_{R1} = I_{R2} + I_{R3} = 2.5 \text{ mA}$$

$$V_{TH} = \frac{2}{3} V_{CC} - R_1 I_{R1} = 2.083 \text{ V}$$

$$V_f = V_{CC}$$

$$R_{VC} = R_1 + R_2 \parallel (R_3 + R_4) = 1166.6$$

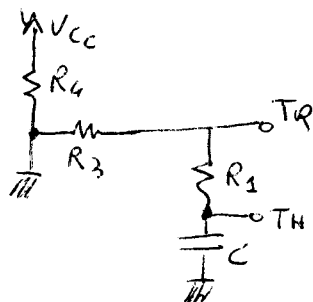
$$\Rightarrow \tau_1 = 1.16 \text{ msec}$$

$$C = 1 \mu F$$

$$T_1 = \tau \ln \frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f} = 1.558 \times 10^{-4} \text{ s}$$

2° caso $Q_1 = 0 \Rightarrow Q_2$ OFF

D bassa $\Rightarrow Q_1$ ON



$$V_i = 2.083 \text{ V}$$

$$V_f = 0$$

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

$$R_{VC} = R_1 + R_3 = 1500\Omega$$

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

$$2.08 > 1.6 \text{ V} > 0 \text{ V}$$

$$\tau_2 = 1.5 \text{ msec}$$

$$3.347$$

$$T_2 = 3.347 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$T = T_1 + T_2 = 4.905 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = 2038.67 \text{ Hz}$$