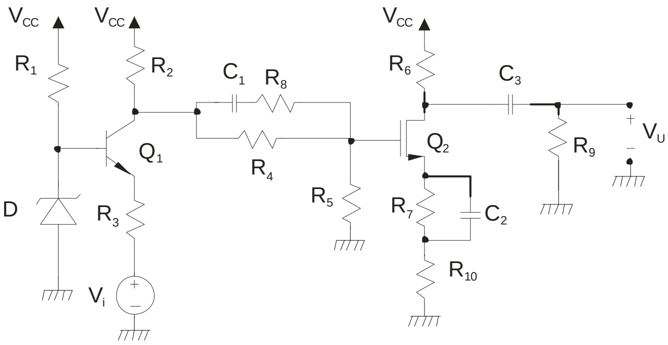
ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 16 luglio 2012

Esercizio A

R_1 =3.3 kΩ	R_9 = 20 kΩ
R_2 = 3 k Ω	R_{10} = 100 Ω
R_3 = 2 kΩ	C_1= 10 μF
R_5 = 7 kΩ	C_2= 1 μF
R_6 = 4.5 kΩ	C_3= 1 nF
R_7 = 1.9 kΩ	V_Z = 4.7 V
R_8 = 100 Ω	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 = 0.5 mA/V^2 e V_T = 1 V. D è un diodo zener ideale con Vz = 4.7 V.

Con riferimento al circuito in figura:

1) Calcolare il valore della resistenza R_4 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione di drain di Q_2 sia 9 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2. (R: R_4 = 2 kΩ)
2) Determinare 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 = - 6.297)
3) (**<u>Solo per 12 CFU</u>**) Determinare la funzione di trasferimento V_U/V_i e tracciarne il diagramma di Bode quotato asintotico del modulo. (R: f_{z1} = 7.579 Hz; f_{p1} = 9.009 Hz; f_{z2} = 83.766 Hz; f_{p2} = 349.024 Hz; f_{z3} = 0 Hz; f_{p3} = 6496.12 Hz)

Esercizio B

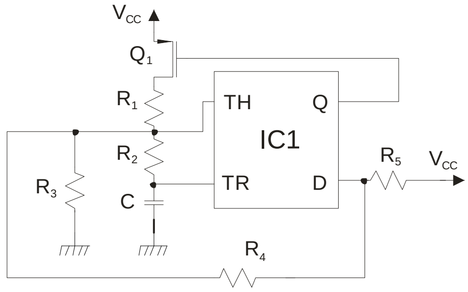
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

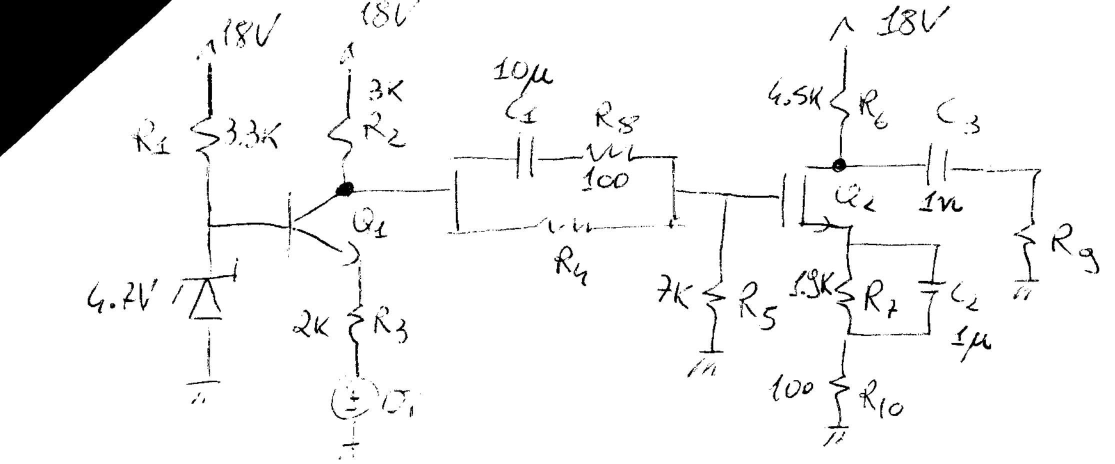
con in totale, non più di 12 transistori e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i 12 transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale *n* e pari a 5 per quello a canale *p*. Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

Esercizio C

R_1 =300 Ω	R_5 = 900 Ω
R_2 = 500 Ω	C = 2 μF
R_3 = 4 kΩ	V_{CC} = 5 V
R_4 = 100 Ω	



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a V_{CC} = 5V, Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T = -1 V. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 282.54 Hz)



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

$K = 0.5 \ \frac{mA}{V^2}$

$V_T = 1V$

1) $R_4 = ?$ $\quad V_{D2} = 9V$

$$I_{D2} = \frac{V_{CC} - V_{D2}}{R_6} = \cancel{18V}\ \frac{18-9}{4500} = 2\ mA$$

$$(V_{GS} - V_T) = +\sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2V \Rightarrow V_{GS} = 2 + 1 = 3V$$

$$\cancel{V_{DS}}\ V_S = I_{D2}(R_7 + R_{10}) = 4V$$

$$\Rightarrow V_G = V_{GS} + V_S = 7V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 9 - 4 = 5V \geq (V_{GS} - V_T) = 2V \Rightarrow \underline{\text{SATURAZIONE}} \quad \underline{\text{OK}}$$

$$I_{R5} = \frac{V_G}{R_5} = \frac{7}{7 \times 10^3} = 1\ mA = I_{R4}$$

$V_B = 4.7V$

$V_E = 4V$

$$I_E = \frac{V_E}{R_3} = \frac{4}{2 \times 10^3} = 2\ mA \simeq I_C$$

$$I_{R2} = I_E + I_{R4} = 2 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3} = 3\ mA$$

$$\Rightarrow V_{C1} = V_{CC} - R_2 I_{R2} = 18 - 3 \times 10^3 \times 3 \times 10^{-3} = 9V$$

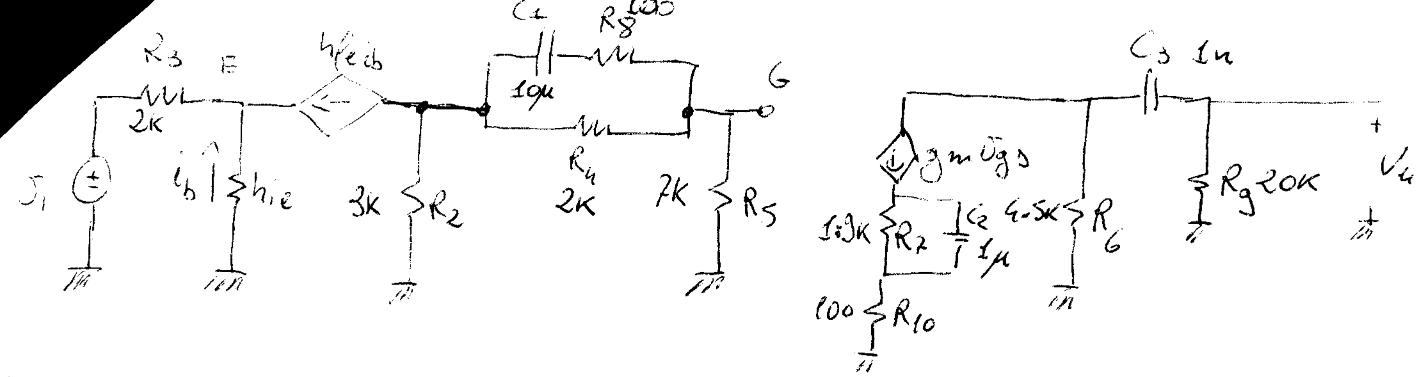
$$\underline{\underline{R_4}} = \frac{V_{C1} - V_G}{I_{R5}} = \frac{9 - 7}{10^{-3}} = \underline{\underline{2\ K\Omega}}$$

$$Q_1 \begin{cases} I_C = 2\ mA \\ V_{CE} = 5V \\ h_{ie} = 4.8K\Omega \\ h_{fe} = 290 \end{cases} \qquad Q_2 \begin{cases} I_D = 2\ mA \\ V_{DS} = 5V \\ g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2 \times 10^{-3}\ \frac{A}{V} \end{cases}$$

$I_{R1} = 4.03\ mA$

$$I_B = \frac{I_C}{290} = 6.896\ \mu A$$

$I_Z = I_{R1} - I_B = 4.0234\ mA$



2) A_{CB}

$$V_u = -g_m v_{gs}(R_6 \| R_9)$$

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

$$v_g = (-h_{fe} i_b)\left(\frac{R_2}{R_2 + R_8 \| R_4 + R_5}\right) \cdot R_5$$

$$v_i = -R_3(h_{fe}+1) i_b - h_{ie} i_b = -[R_3(h_{fe}+1) + h_{ie}] i_b$$

$$\frac{v_u}{v_i} = \underbrace{-g_m \overset{3673{,}47}{(R_6 \| R_9)} \frac{1}{1 + g_m R_{10}}}_{6.12245} \underbrace{\left(-h_{fe} \frac{R_2 R_5}{R_2 + R_8 \| R_4 + R_5}\right)}_{624056.606} \underbrace{\left(-\frac{1}{R_3(h_{fe}+1) + h_{ie}}\right)}_{1.64799 \times 10^{-6}} = -6.29656$$

$(15.982\,dB$

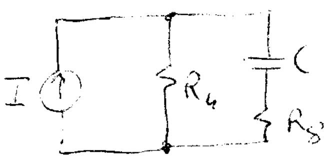
3) C_1: $R_{vc1} = [R_4 \| (R_2 + R_5)] + R_8 = 1766,\bar{6}\ \Omega$

$$f_{P1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{vc1}} = 9{,}0088\ Hz$$

$$Z_S = \left(\frac{1}{C_1 S} + R_8\right) \| R_4 = \infty \Rightarrow \frac{\left(\frac{1}{C_1 S} + R_8\right) \cdot R_4}{\frac{1}{C_1 S} + R_8 + R_4} = \infty \Rightarrow \frac{1}{C_1 S} + R_8 + R_4 = \emptyset =$$

$$\Rightarrow \frac{1}{C_1 S} = -(R_4 + R_8) \Rightarrow S = -\frac{1}{C_1(R_4 + R_8)}$$

$\Rightarrow f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_4 + R_8)} =$



$R_{VC} = R_8 + R_4 \Rightarrow f_{P*} = \frac{1}{2\pi C(R_8 + R_4)}$

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_4 + R_8)} = 7.573\ Hz$$

C_2: $R_{VC2} = R_7 \parallel \left(\frac{1}{g_m} + R_{10}\right) = 456\ \Omega$

$$\underline{f_{P2}} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{VC2}} = \underline{349.024\ Hz}$$

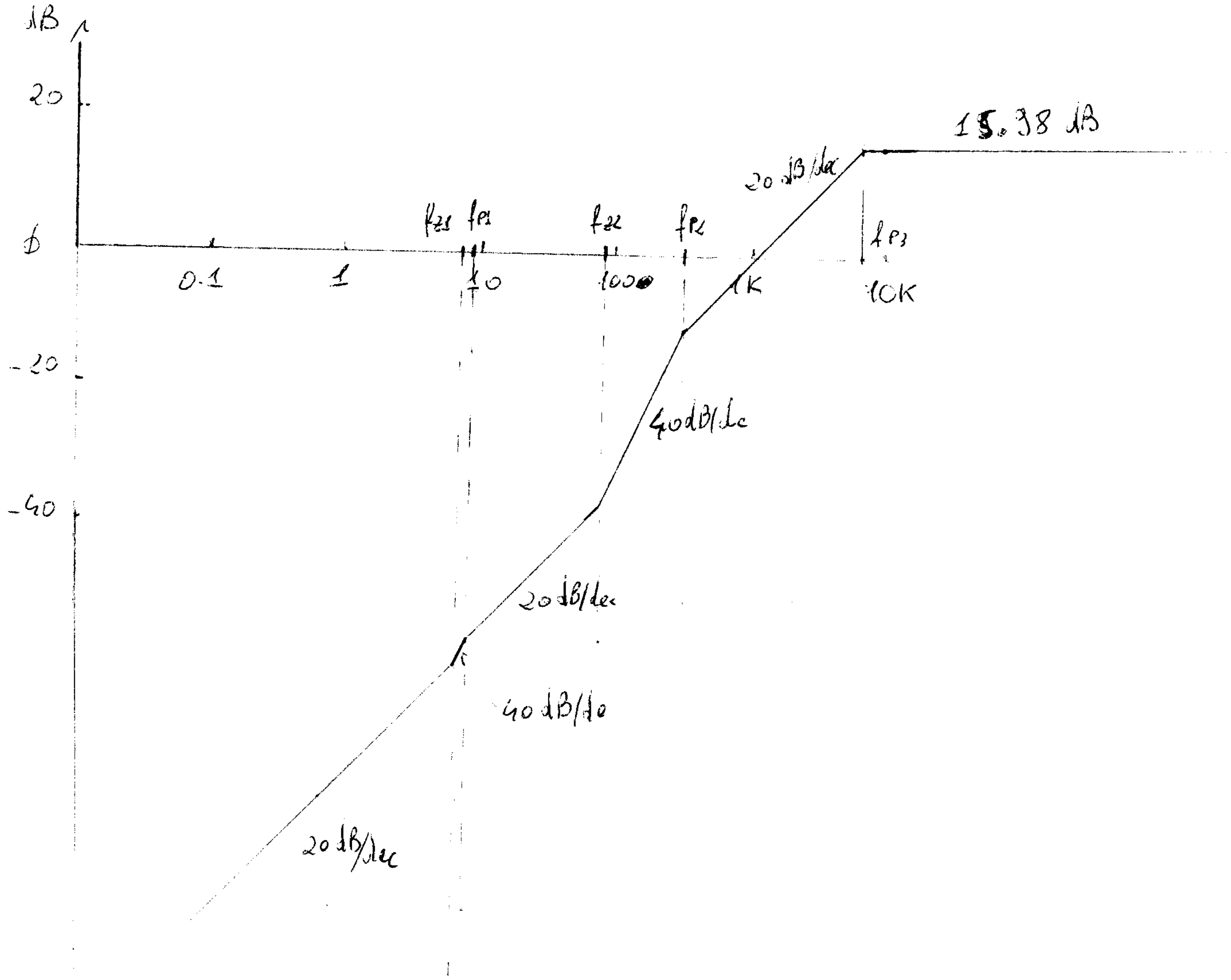
$$Z(s) = \left(\frac{1}{C_2 s} \parallel R_7\right) = \infty \Rightarrow f_{Z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_7} = 83.766\ Hz$$

C_3: $f_Z = \emptyset$

$$R_{VC3} = R_6 + R_3 = 24500\ \Omega$$

$$\underline{f_{P3}} = \frac{1}{2\pi C_3 (R_6 + R_3)} = \underline{6496.12\ Hz}$$

ZERI	POLI	
$f_{Z1} = 7.579\ Hz$	$f_{P1} = 3.0088$	$\lvert A_{CB} \rvert = 15.982\ dB$
$f_{Z2} = 83.766\ Hz$	$f_{P2} = 349.024$	
$f_{Z3} = \emptyset$	$f_{P3} = 6496.12\ Hz$	

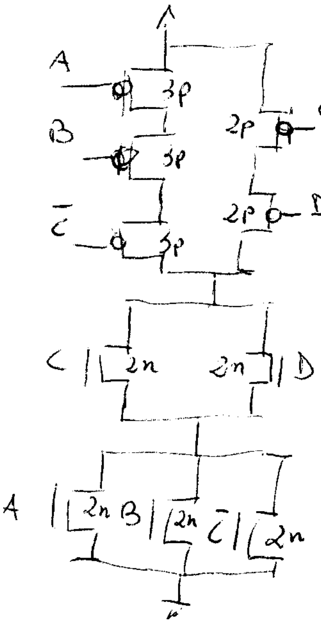


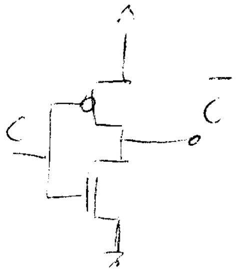
$V = (\overline{A} \bullet \overline{B})(\overline{A}C + \overline{D}B) + (\overline{C}\,\overline{D})(AB\overline{C} + \overline{D}B + \overline{A} + \overline{B}) =$

$= \overline{A}\,\overline{B}C + \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{D}B + \overline{C}\,\overline{D}AB + \overline{C}\,\overline{D}B + \overline{C}\,\overline{D}\,\overline{A} + \overline{C}\,\overline{D}\,\overline{B} =$

$= \overline{A}\,\overline{B}C + (AB + B + \overline{A} + \overline{B})\,\overline{C}\,\overline{D} + \overline{C}\,\overline{D}AB + \overline{C}\,\overline{D}\,\overline{A} =$

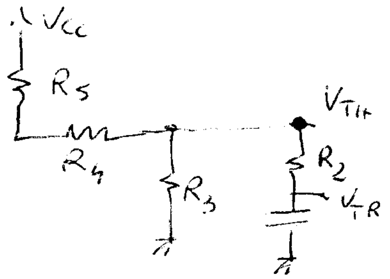
$= \overline{A}\,\overline{B}C + \overline{C}\,\overline{D}$





ESC. C.

$Q = 1$ $\quad Q_1$ OFF $\quad$ D OPEN



$V_C(t) = V_f + (V_i - V_f)\, e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow$

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

$V_{comm} = \frac{2}{3}V_{cc} - R_2 I_{R2}$

$I_{R3} = \frac{2}{3}V_{cc}\frac{1}{R_3} = 8.\overline{3} \times 10^{-4}\,A$

$I_{R4} = \frac{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}}{R_5 + R_4} = 1.\overline{6} \times 10^{-3}\,A$

$\Rightarrow I_{R2} = I_{R4} - I_{R3} = 8.\overline{3} \times 10^{-4}\,A$

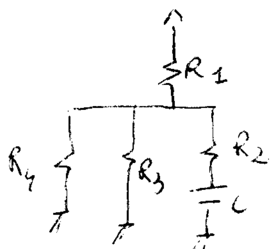
$\Rightarrow V_{comm} = 2.31\overline{6}\,V$

$\Rightarrow V_f = V_{cc}\frac{R_3}{R_3 + R_4 + R_5} = 4\,V$

$\tau_1 = C R_{eq} = C\left[R_2 + \underbrace{R_3 \| (R_4 + R_5)}_{800}\right] = C \times 1300 = 2.6\,ms$

$T_1 = \tau_1 \ln\left[\frac{V_i - V_f}{V_{comm} - V_f}\right] = 1.9948\,ms$

$Q = \phi$ $\quad Q_1$ ON $\quad$ D ON



$V_i = 2.31\overline{6}$ $\qquad V_f = V_{cc}\frac{R_3 \| R_4}{(R_3 \| R_4) + R_2} = 1.227\,V$

$V_{comm} = \frac{1}{3}V_{cc} = 1.\overline{6}\,V$

$R_{vc} = R_2 + (R_1 \| R_3 \| R_4) = 573.62\,\Omega$

$\tau_2 = 1.147\,ms \Rightarrow T_2 = 1.5445\,ms$

$\Rightarrow \boxed{f = 282.5426\,Hz}$