

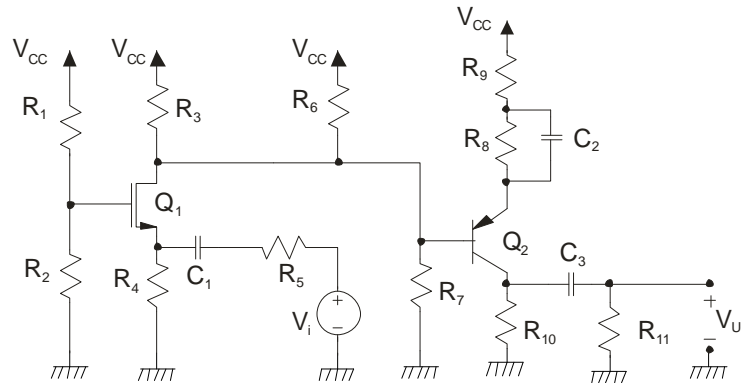
# ELETTRONICA DIGITALE

## Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 07 giugno 2013

### Esercizio A

$R_1 = 20 \text{ k}\Omega$	$R_9 = 100 \Omega$
$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 3.2 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 5 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 20 \text{ k}\Omega$
$R_5 = 50 \Omega$	$C_1 = 100 \text{ nF}$
$R_6 = 8 \text{ k}\Omega$	$C_2 = 1 \mu\text{F}$
$R_7 = 20 \text{ k}\Omega$	$C_3 = 1 \text{ nF}$
$R_8 = 3.2 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$



$Q_1$  è un transistor MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da  $I_{DS} = k(V_{GS} - V_T)^2$  con  $k = 0.5 \text{ mA/V}^2$  e  $V_T = 1 \text{ V}$ .  $Q_2$  è un transistor BJT BC179A resistivo con  $h_{re} = h_{oe} = 0$ ; per gli altri parametri forniti dal costruttore si utilizzino i valori tipici o, in loro assenza, i valori massimi.

Con riferimento all'amplificatore in figura:

- 1) Calcolare il valore delle resistenze  $R_4$  in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sull'emettitore di  $Q_2$  sia  $V_E = 11.4 \text{ V}$ ; 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:  $R_4 = 1677.82 \Omega$ )
- 2) Determinare il guadagno  $V_U/V_i$  alle frequenze per le quali  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  possono essere considerati dei corto circuiti. (R:  $V_U/V_i = -103.51$ )
- 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:  $f_{z1} = 0 \text{ Hz}$ ;  $f_{p1} = 3553.13 \text{ Hz}$ ;  $f_{z2} = 49.74 \text{ Hz}$ ;  $f_{p2} = 1369.84 \text{ Hz}$ ;  $f_{z3} = 0 \text{ Hz}$ ;  $f_{p3} = 6860.13 \text{ Hz}$ )

### Esercizio B

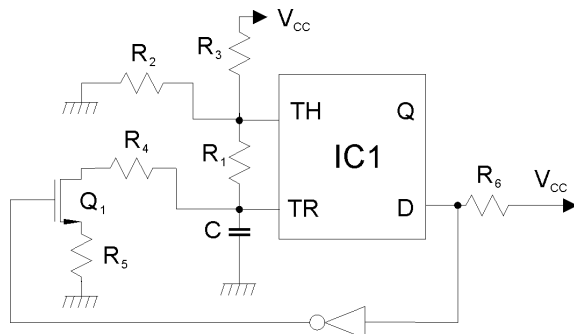
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = (\overline{A+C}) \cdot (\overline{BD} + B(A+CD)) + (\overline{B+C}) \cdot (A+D)$$

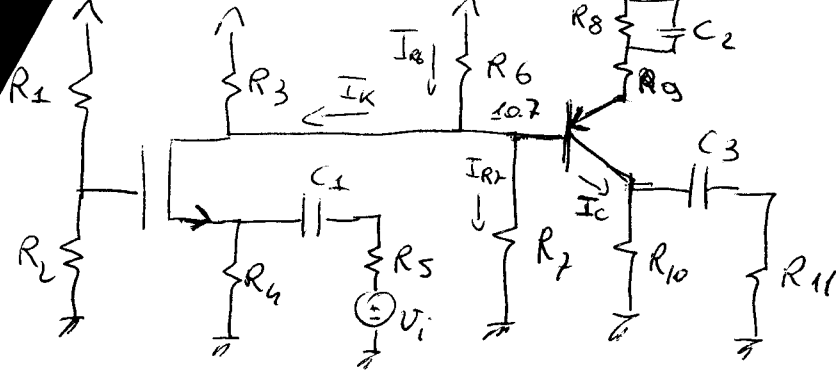
con in totale, non più di 8 transistori e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto  $(W/L)$  di tutti i 8 transistori, assumendo, per l'inverter di base,  $W/L$  pari a 2 per il MOS a canale  $n$  e pari a 5 per quello a canale  $p$ . Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

### Esercizio C

$R_1 = 500 \Omega$	$R_5 = 100 \Omega$
$R_2 = 4 \text{ k}\Omega$	$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$	$C = 1 \mu\text{F}$
$R_4 = 300 \Omega$	$V_{CC} = 5 \text{ V}$



Il circuito  $IC_1$  è un NE555 alimentato a  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $Q_1$  ha una  $R_{on} = 0$  e  $V_T = 1 \text{ V}$  e l'inverter è ideale. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R:  $f = 766.98 \text{ Hz}$ )



~~$V_E = 11.4V$~~   $V_{CC} = 18V$   
 ~~$R_1 = 20K$~~   $R_1 = 20K$   
 ~~$R_2 = 10K$~~   $R_2 = 10K$   
 ~~$R_3 = 5K$~~   $R_3 = 5K$   
 ~~$R_4 = 30K$~~   $R_4 = 30K$   
 ~~$R_5 = 50\Omega$~~   $R_5 = 50\Omega$   
 $R_6 = 8K\Omega$   
 $R_7 = 20K\Omega$   
 $R_8 = 3.2K\Omega$   
 $R_9 = 100\Omega$   
 $R_{10} = 3.2K\Omega$   
 $R_{11} = 20K\Omega$   
 $C_1 = 100nF$   
 $C_2 = 1\mu F$   
 $C_3 = 1nF$   
 $V_T = 1V$   
 $K = 0.5 \frac{mA}{V^2}$

BC 177A

$$V_E = 11.4V$$

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_E}{R_8 + R_9} = \frac{18 - 11.4}{3300} = 2mA$$

$$I_E \approx I_C$$

$$V_C = I_C R_{10} = 6.4V$$

$$\Rightarrow V_{CE} = -5V$$

$$V_B = V_E - V_f = 11.4 - 0.7 = 10.7V$$

$$I_{R7} = \frac{V_B}{R_7} = \frac{10.7}{20 \times 10^3} = 0.535mA$$

$$I_{R6} = \frac{V_{CC} - V_B}{R_6} = \frac{18 - 10.7}{8000} = 0.9125mA$$

$$I_K = I_{R6} - I_{R7} = 0.3775mA$$

$$I_{R3} = \frac{V_{CC} - V_B}{R_3} = 1.46mA$$

$$I_D = I_{R3} + I_K = 1.8375mA$$

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 1 + 1.917 = 2.917V$$

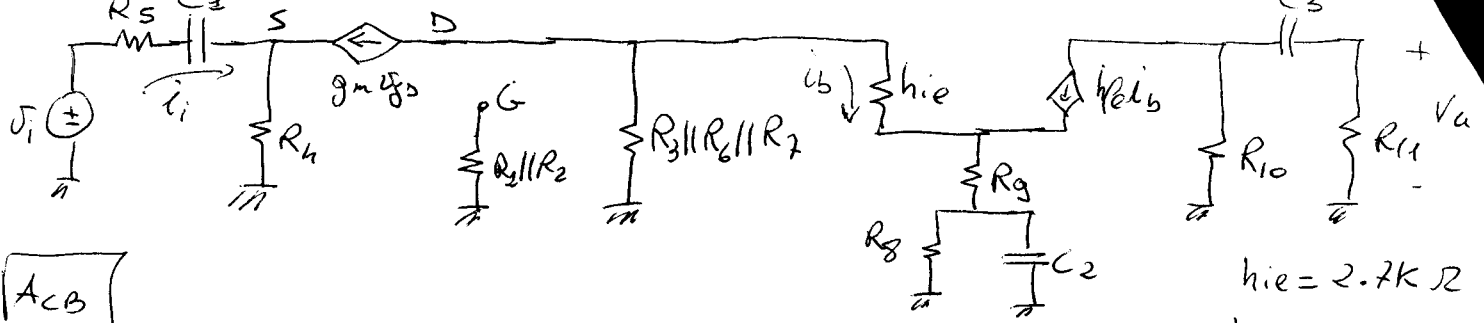
$$V_G = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 18 \frac{10 \times 10^3}{30 \times 10^3} = 6V$$

$$\Rightarrow V_S = V_G - V_{GS} = 3.083V$$

$$V_{DS} = 7.617V > (V_{GS} - V_T) = 1.917V$$

$$R_4 = \frac{V_S}{I_D} = \frac{3.083}{1.8375 \times 10^{-3}} = 1677.82\Omega$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 1.917 \times 10^{-3} \frac{A}{V}$$



**A<sub>CB</sub>**

$$V_u = -h_{fe} i_b R_{10} || R_{11}$$

$$i_b = -g_m v_{gs} \frac{R_3 || R_6 || R_7}{(R_3 || R_6 || R_7) + [h_{ie} + R_9(h_{fe} + 1)]} = g_m v_{gs} \frac{R_3 || R_6 || R_7}{(R_3 || R_6 || R_7) + [h_{ie} + R_9(h_{fe} + 1)]}$$

$$v_{gs} = \phi$$

$$v_{gs} = R_4 (g_m v_{gs} + i_i) = -R_4 g_m v_{gs} + R_4 i_i = \frac{R_4}{1 + g_m R_4} i_i$$

$$i_i = \left[ R_5 + \left( R_4 || \frac{1}{g_m} \right) \right] i_i$$

$$\Rightarrow \frac{V_u}{V_i} = -h_{fe} (R_{10} || R_{11}) g_m \frac{R_3 || R_6 || R_7}{(R_3 || R_6 || R_7) + [h_{ie} + R_9(h_{fe} + 1)]} \frac{R_4}{1 + g_m R_4} \frac{1}{R_5 + \left( R_4 || \frac{1}{g_m} \right)} =$$

$$= -103.51465 \quad (40.3 \text{ dB})$$

**C<sub>1</sub>**

$$f_{c1} = \phi$$

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi C_1 \left[ R_5 + R_4 || \frac{1}{g_m} \right]} = 3553.129 \text{ Hz}$$

$$447.3283$$

**C<sub>2</sub>**

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_8} = 49.7359 \text{ Hz}$$

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi C_2 \left[ R_8 || \left( R_3 + \frac{(R_3 || R_6 || R_7) + h_{ie}}{(h_{fe} + 1)} \right) \right]} = 1369.845 \text{ Hz}$$

$$116.1846$$

**C<sub>3</sub>**

$$f_{c3} = \phi$$

$$f_{c3} = \frac{1}{2\pi C_3 \left[ R_{10} || R_{11} \right]} = 6860.126 \text{ Hz}$$

$$23.2 \text{ K}\Omega$$

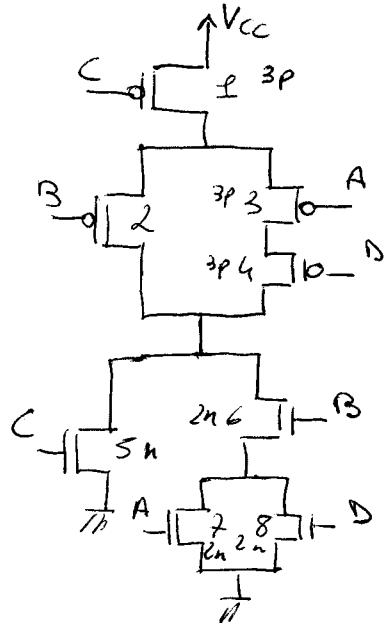
$$+ \bar{C})(\bar{B}\bar{D} + B(A+CD)) + (\bar{B}+\bar{C})(A+D) =$$

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

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

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

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



$$P.V.N.: Q_1 - Q_3 - Q_4$$

$$\frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_1} + \frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_3} + \frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_4} = \frac{1}{P}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_1 = \left(\frac{W}{L}\right)_3 = \left(\frac{W}{L}\right)_4 = 3P$$

$$\frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_2} + \frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_1} = \frac{1}{P}$$

$$\frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_2} + \frac{1}{3P} = \frac{1}{P}$$

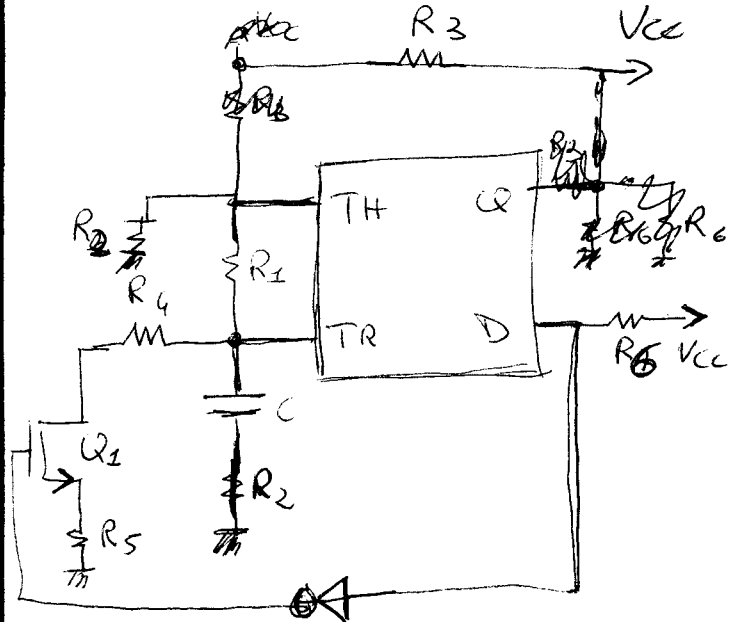
$$\Rightarrow \frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_2} = \frac{2}{3P} \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_2 = \frac{3}{2}P = 1.5P$$

$$P.D.N.: Q_6 - Q_8 \text{ opposite } Q_6 - Q_7$$

$$\Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_6 = \left(\frac{W}{L}\right)_7 = \left(\frac{W}{L}\right)_8 = 2n$$

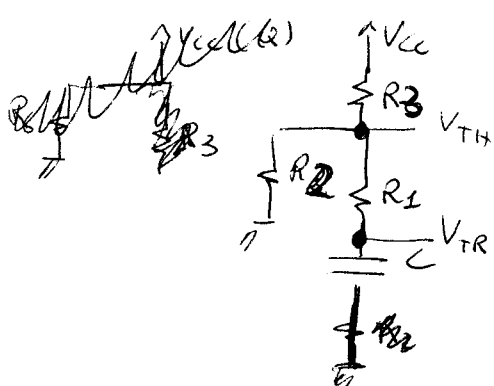
$$Q_5, Q_5 \text{ to solve}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_5 = n$$



$U=1 \quad \bar{U}=\phi \quad D=OFF$   
 $U=0 \quad \bar{U}=1 \quad D=ON$   
 $R_2=4k\Omega$   
 $R_3=1k\Omega$   
 $R_1=500\Omega$   
 $C=1\mu F$   
 $R_4=300\Omega$   
 $R_5=100\Omega$

$U=1 \quad \bar{U}=\phi \quad D=HI \quad V_G=\phi \quad U_1=OFF$



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

$V_f = V_{CC} \frac{R_2}{R_3+R_2} = \frac{4}{5} V_{CC} = 4V$

$V_{con} = \frac{2}{3} V_{CC} - R_1 I_{R1}$

$V_i < V_{con} < V_f$   
 $1.6V < 2.316V < 4V \quad OK$

$I_{R3} = \left( \frac{1}{3} V_{CC} \right) \frac{1}{R_3}$   
 $I_{R2} = \frac{2}{3} V_{CC} \frac{1}{R_2}$   
 $\Rightarrow I_{R1} = I_{R3} - I_{R2} = 8.3 \times 10^{-4} A$

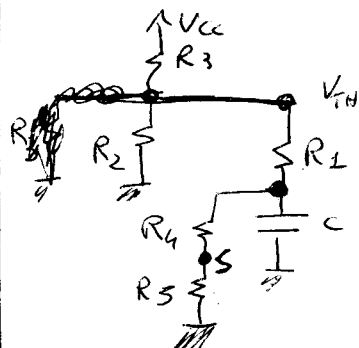
$V_{con} = 2.316V$

$R_{vc} = R_1 + (R_2 || R_3) = 1300\Omega$

$\tau_1 = CR_{vc} = 1.3ms$

$T_1 = \tau \ln \frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f} = 9.974 \times 10^{-4} s$

$U=\phi \quad \bar{U}=1 \quad D=ON \Rightarrow V_G=5V \quad \text{hp } U_1 \text{ ON to verification}$



$V_i = 2.316V$

$V_{con} = \frac{V_{CC}}{3} = 1.6V$

$V_{GS} > V_T \quad OK$

$V_i > V_{con} > V_f [2.3V > 1.6V > 0.3V] \quad V_G = V_f \frac{R_5}{R_4+R_5} = 0.2353$

$V_f = \left( \frac{V_{CC} R_2}{R_2+R_3} \right) \frac{1}{R_2 || R_3 + R_1 + R_4 + R_5} \cdot (R_4 + R_5) = 0.941176V$

$R_{vc} = (R_4 + R_5) || (R_1 + R_2 || R_3) = 305.88\Omega$

$C_2 = R_{vc} \times C = 305.88 \times 10^{-6} s$

$T_2 = \tau_2 \ln \frac{V_i - V_f}{V_{con} - V_f} = 3.0641 \times 10^{-4} s$

$T = 1.30381ms$   
 $f = 766.983Hz$