

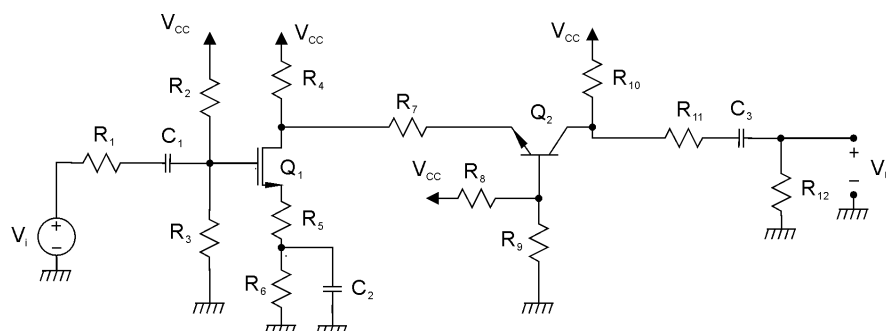
# ELETTRONICA DIGITALE

## Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 21 febbraio 2022

### Esercizio A

$R_1 = 50 \, \Omega$	$R_8 = 93 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 20 \, \text{k}\Omega$	$R_{10} = 2.5 \, \text{k}\Omega$
$R_3 = 10 \, \text{k}\Omega$	$R_{11} = 50 \, \Omega$
$R_4 = 11 \, \text{k}\Omega$	$R_{12} = 10 \, \text{k}\Omega$
$R_5 = 50 \, \Omega$	$V_{CC} = 18 \, \text{V}$
$R_7 = 500 \, \Omega$	



$Q_1$  è un transistor MOS a canale n resistivo con  $V_T = 1 \, \text{V}$  con la corrente di drain in saturazione data da  $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$  con  $k = 0.5 \, \text{mA/V}^2$ ;  $Q_2$  è un transistor BJT BC109B resistivo con  $h_{re} = h_{oe} = 0$ ;

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore delle resistenze  $R_6$  e  $R_9$  in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul collettore di  $Q_2$  sia 13 V e la tensione sul drain di  $Q_1$  sia 7 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di  $Q_1$ .
- 2) Determinare l'espressione e il valore di  $V_U/V_i$  alle frequenze per le quali  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  possono essere considerati dei corto circuiti.

### Esercizio B

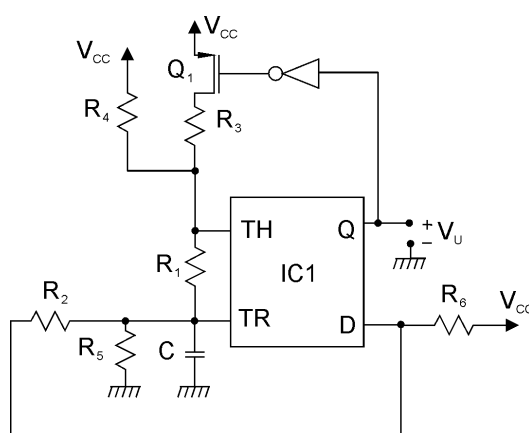
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

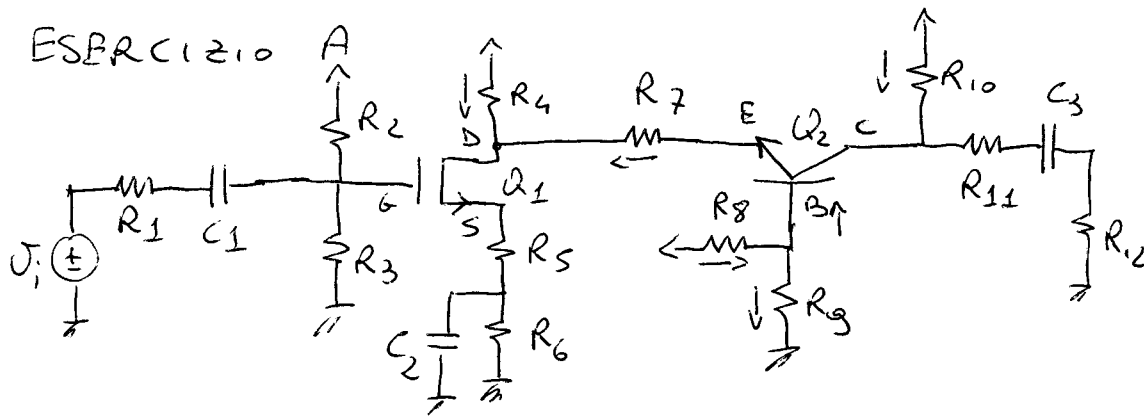
Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale  $n$  e pari a 5 per quello a canale  $p$ . Si specifichino i dettagli della procedura di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

### Esercizio C

$R_1 = 500 \, \Omega$	$R_5 = 1.5 \, \text{k}\Omega$
$R_2 = 500 \, \Omega$	$R_6 = 1 \, \text{k}\Omega$
$R_3 = 2 \, \text{k}\Omega$	$C = 470 \, \text{nF}$
$R_4 = 2 \, \text{k}\Omega$	$V_{CC} = 6 \, \text{V}$



Il circuito  $IC_1$  è un NE555 alimentato a  $V_{CC} = 6 \, \text{V}$ ;  $Q_1$  ha una  $R_{on} = 0$  e  $V_T = -1 \, \text{V}$ ; l'inverter è ideale. Dimostrare che il circuito in figura è un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 50 \Omega \\
 R_2 &= 20 \text{ k}\Omega \\
 R_3 &= 10 \text{ k}\Omega \\
 R_4 &= 11 \text{ k}\Omega \\
 R_5 &= 50 \Omega \\
 R_6 &= 500 \Omega \\
 R_7 &= 93 \text{ k}\Omega \\
 R_8 &= 2.5 \text{ k}\Omega \\
 R_{11} &= 50 \Omega \\
 R_{12} &= 10 \text{ k}\Omega \\
 V_{cc} &= 18 \text{ V}
 \end{aligned}$$

1) Det.  $R_6$  e  $R_9$  per  $V_c = 13 \text{ V}$  e  $V_D = 7 \text{ V}$

$$I_{10} = \frac{V_{cc} - V_c}{R_{10}} = 2 \text{ mA} = I_c$$

$$\text{hp } I_B \ll I_c \Rightarrow I_E \approx I_c$$

$$V_E = V_D + R_7 I_E = 8 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_c - V_E = 13 - 8 = 5 \text{ V}$$

PER  $Q_1$  SIAMO NEL PUNTO DI LAVORO  $I_c = 2 \text{ mA}$  e  $V_{CE} = 5 \text{ V}$  PER IL UUA  
IL COSTRUTTORE FORNISCE I PARAMETRI

$$h_{FE} = 290, \quad h_{ie} = 4800 \Omega, \quad h_{fe} = 300$$

$$I_B = \frac{I_c}{h_{FE}} = 6.89655 \mu\text{A} \Rightarrow \text{hp } I_B \ll I_c \text{ VERIFICATA}$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 8.7 \text{ V}$$

$$I_8 = \frac{V_{cc} - V_B}{R_8} = 0.1 \text{ mA}$$

$$I_9 = I_8 - I_B = 93.1 \mu\text{A}$$

$$R_9 = \frac{V_B}{I_9} = \underline{\underline{93447.3 \Omega}}$$

$$I_4 = \frac{V_{cc} - V_D}{R_4} = 1 \text{ mA}$$

$$I_D = I_4 + I_7 = 3 \text{ mA}$$

$$\text{hp: } Q_2 \text{ SATURO} \Rightarrow I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 3.45 \text{ V}$$

SI SCEGLIE LA SOLUZIONE CON IL SEGNO "+" PERCHÉ UN N MOS PUÒ CONDU  
SOLO SE  $V_{GS} \geq V_T$

$$I_G = 0 \Rightarrow V_G = V_{CC} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 6V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 6 - 3.45 = 2.55V$$

$$V_S = (R_5 + R_6) I_S \Rightarrow \underline{R_6} = \frac{V_S}{I_S} - R_5 = \frac{2.55}{3 \times 10^{-3}} - 50 = \underline{\underline{800 \Omega}}$$

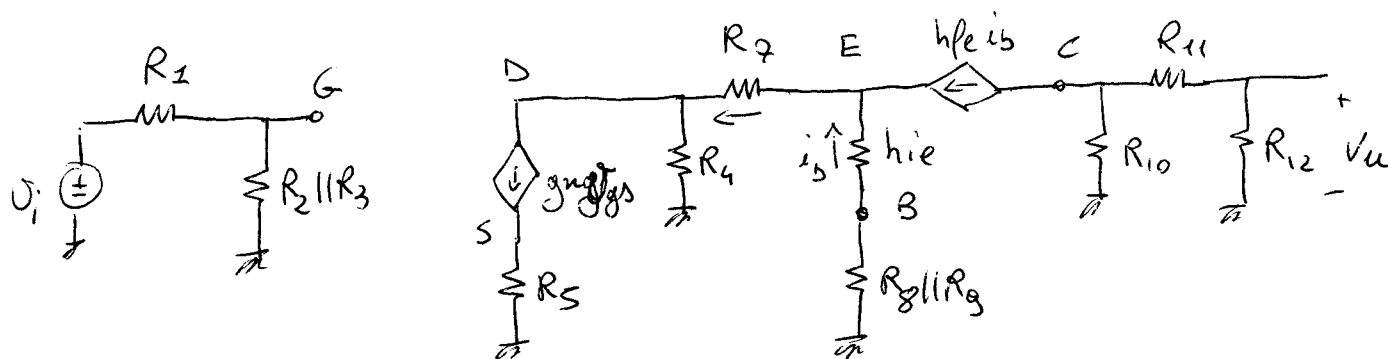
VERIFICA SATURAZIONE:  $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 7 - 2.55 = 4.45V > (V_{GS} - V_T) = 2.45V \quad \text{VERIFICA OK}$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2.45 \times 10^{-3} A/V$$

$$Q_1: \begin{cases} I_D = 3mA \\ V_{DS} = 4.45V \\ V_{GS} = 3.45V \\ g_m = 2.45 \times 10^{-3} A/V \end{cases}$$

$$Q_2: \begin{cases} I_C = 2mA \\ V_{CE} = 5V \\ I_B = 6.8965 \mu A \\ h_{fe} = 300 \quad h_{ie} = 4800 \Omega \end{cases}$$



$$V_u = (-h_{fe} i_b) \frac{R_{L0}}{R_{L0} + R_{L1} + R_{L2}}$$

$$i_7 = (h_{fe} + 1) i_b = (g_m V_{gs}) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + \frac{h_{ie} + R_8 || R_9}{(h_{fe} + 1)}}$$

$$\Rightarrow i_b = \frac{1}{(h_{fe} + 1)} g_m V_{gs} \frac{R_4}{R_4 + R_7 + \frac{h_{ie} + R_8 || R_9}{(h_{fe} + 1)}}$$

$$V_s = (g_m V_{gs}) R_5$$

$$V_{gs} = V_g - V_s = V_g - (g_m V_{gs}) R_5 \quad \Rightarrow \quad V_{gs} = \frac{V_g}{1 + g_m R_5}$$

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

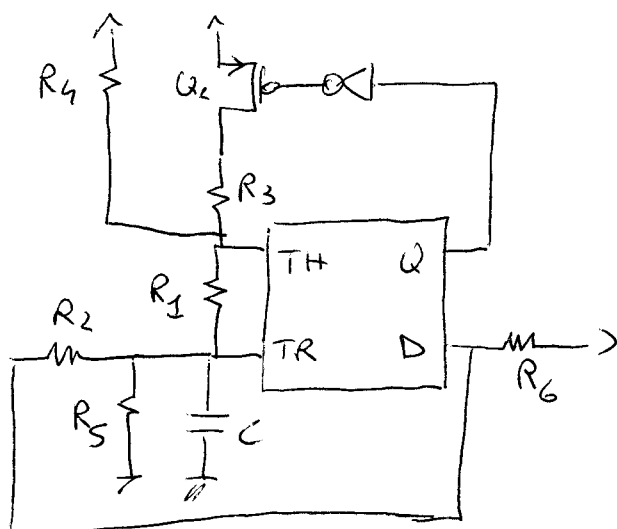
$$\frac{V_u}{V_i} = (-h_{fe}) \frac{R_{10} R_{12}}{R_{10} + R_{11} + R_{12}} \frac{1}{(h_{fe} + 1)} g_m \frac{R_4}{R_4 + R_7 + \frac{h_{ie} + R_{81} \parallel R_9}{h_{fe} + 1}} \frac{1}{1 + g_m R_5}$$

$\begin{matrix} 300 & 1992.032 & 3.32 \times 10^3 & 2.45 \times 10^3 & 0.9425 & 0.890868 \end{matrix}$

$$\frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} = -4.054$$

0.8925

### ESERCIZIO C



$$R_1 = 500 \Omega$$

$$R_2 = 500 \Omega$$

$$R_3 = 2k\Omega$$

$$R_4 = 2k\Omega$$

$$R_5 = 1500 \Omega$$

$$R_6 = 1k\Omega$$

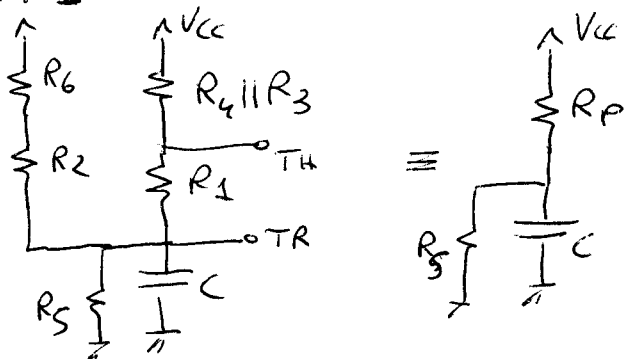
$$C = 470nF$$

$$V_{cc} = 6V$$

1<sup>a</sup> FASE :

$$Q = 1 \Rightarrow V_{GS1} = 0V \quad V_{GS1} = 6V \quad V_{GS1} = -6V < -1V \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$$

D = H



$$R_p = [R_1 + (R_4 \parallel R_3)] \parallel (R_2 + R_6) = 750 \Omega$$

$$V_{i1} = 2V$$

$$V_{f1} = V_{cc} \frac{R_5}{R_5 + R_p} = 4V$$

$$V_{cor1} = V_{Th} - R_1 I_1$$

$$V_{Th} = 4V$$

$$I_1 = \frac{V_{cc} - V_{Th}}{R_3 \parallel R_4} = 2mA$$

$$\Rightarrow V_{cor1} = 3V$$

VERIFICA COMPUTAZIONE

$$V_{i1} > V_{cor1} > V_{f1}$$

$$2V > 3V > 4V \Rightarrow \underline{OK}$$

$$R_{v1} = R_5 \parallel R_p = 500 \Omega$$

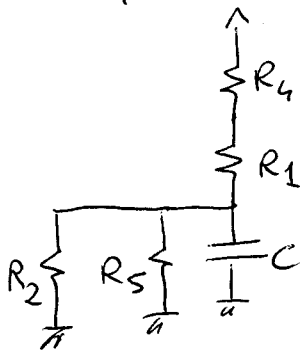
$$\tau_1 = R_{v1} C = 235 \mu s$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left( \frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{cor1} - V_{f1}} \right) = 1.62889 \times 10^{-4} s$$

2<sup>a</sup> FASE

$$Q = \phi \Rightarrow V_{G1} = 6V \quad V_{S1} = 6V \quad V_{GS1} = \phi V > -1V \Rightarrow Q_1 \text{ OFF}$$

$$D = \phi$$



$$V_{i2} = V_{cor1} = 3V$$

$$V_{cor2} = V_{i1} = 2V$$

$$V_{f2} = V_{cc} \frac{R_2 \parallel R_5}{(R_2 \parallel R_5) + R_1 + R_4} = 0.7826 V$$

VERIFICA COMPUTAZIONE:  $V_{i2} > V_{cor2} > V_{f2}$

$$3V > 2V > 0.7826 V \underline{OK}$$

$$R_{v2} = R_2 \parallel R_5 \parallel (R_1 + R_4) = 326.087 \Omega$$

$$\tau_2 = 153.26 \mu s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \left( \frac{V_{i2} - V_{f2}}{V_{cor2} - V_{f2}} \right) = 9.1838 \times 10^{-5} s$$

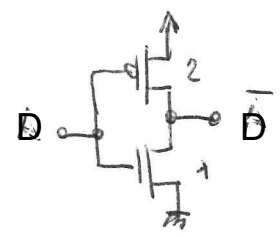
$$T = T_1 + T_2 = 254.787 \mu s$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{\underline{3924.847 \text{ Hz}}}$$

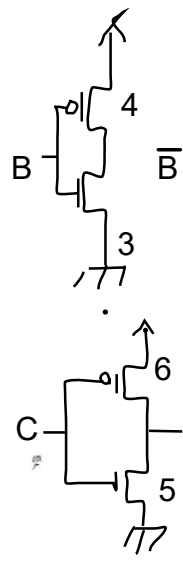
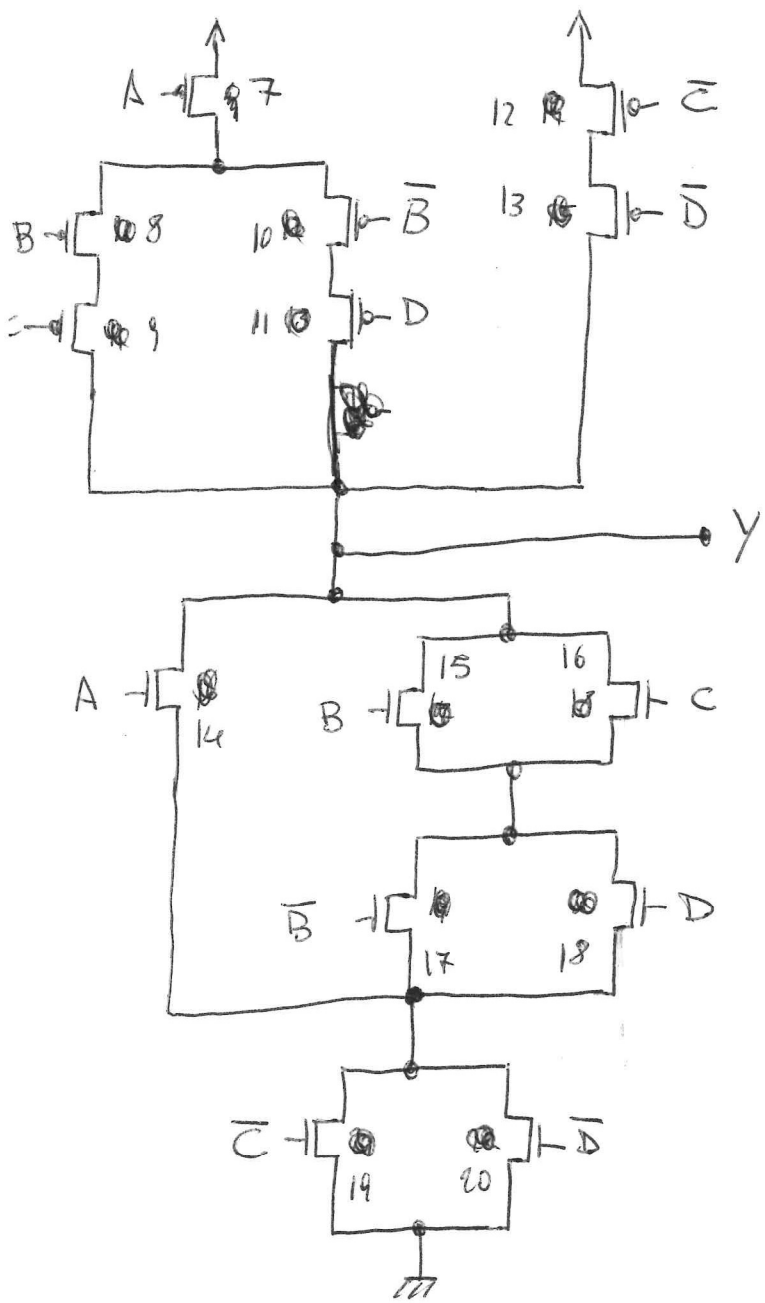
$$Y = \bar{A} \cdot (\bar{B}\bar{C} + BD) + CD$$

$$N = 2 \times (2 + 3) = 20$$

4 INVERTER :



ROUTE LOGIC :



$$\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5} = N = 2$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{2,4,6} = P = 5$$

DM. PUN :

FOR 2A DA 3 PMOS :

7-8-9 } POSSIBLE  
7-10-11

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9,10,11} = x$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{3}{x} = \frac{1}{P} \rightarrow x = 3P = 15$$

FOR 2A DA 2 PMOS :

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{12,13} = t \quad \frac{1}{t} + \frac{1}{t} = \frac{2}{t} = \frac{1}{P}$$

$$\rightarrow \text{result } t = 2P = 10$$

DM. PDN :

FOR 2A DA 3 NMOS :

15-17-19 } IMPOSSIBLE (B & C)  
15-17-20

15-18-19 POSS

15-18-20 IMPOSSIBLE (D & D-bar)

16-17-19 IMPOSSIBLE (C & C-bar)

16-17-20 POSS

16-18-19 IMPOSSIBLE (C & C-bar)

16-18-20 IMPOSSIBLE (D & D-bar)

$$\left(\frac{w}{z}\right)_{15, 16, 17, 18, 19, 20} = J$$

$$\frac{1}{J} + \frac{1}{J} + \frac{1}{J} = \frac{3}{J} = \frac{1}{m} \rightarrow J = 3m = 6$$

Percebo DA 2 e 14-19 Percebo DA 2 e 19-24 Percebo DA 2 e (3m)

$$\left(\frac{w}{z}\right)_{14} = K$$

$$\frac{1}{K} + \frac{1}{3m} = \frac{1}{m} = \frac{3}{3m} \rightarrow \frac{1}{K} = \frac{2}{3m}$$

$$\rightarrow K = \frac{3m}{2} = 3$$