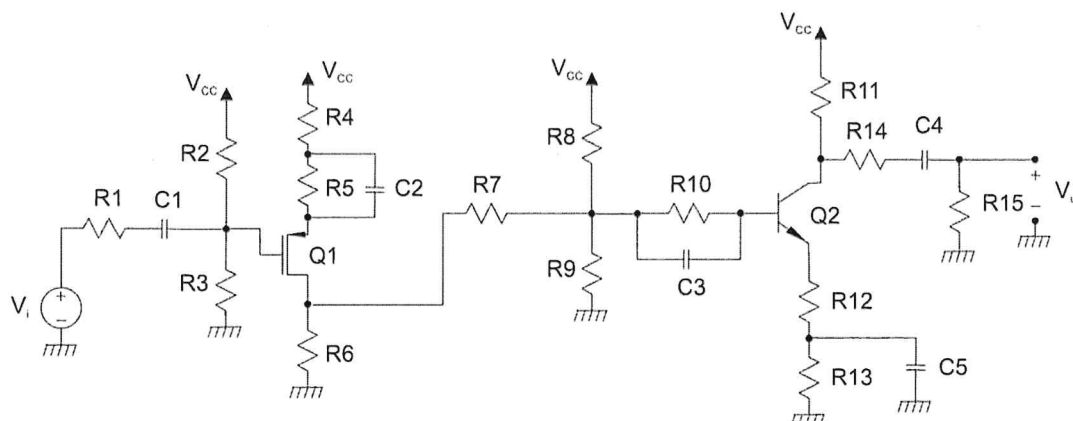


# ELETTRONICA DIGITALE

## Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 27 giugno 2024

### Esercizio A



$R1 = 100 \, \Omega$	$R2 = 20 \, k\Omega$	$R3 = 10 \, k\Omega$	$R4 = 50 \, \Omega$	$R6 = 3 \, k\Omega$	$R7 = 29 \, k\Omega$	$R8 = 128 \, k\Omega$	$R9 = 260 \, k\Omega$
$R10 = 29 \, k\Omega$	$R11 = 4350 \, \Omega$	$R12 = 150 \, \Omega$	$R13 = 2 \, k\Omega$	$R14 = 200 \, \Omega$	$R15 = 20 \, k\Omega$	$V_{cc} = 18 \, V$	

Q1 è un transistor MOS a canale p resistivo con  $V_T = -1 \, V$  e la corrente di drain in saturazione data da  $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$  con  $k = 0.5 \, mA/V^2$ ; Q2 è un transistor BJT BC109B resistivo con  $h_{re} = h_{oe} = 0$

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R5 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul collettore di Q2 sia 9.3 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q1.
- 2) Determinare l'espressione e il valore di  $V_U/V_i$  alle frequenze per le quali i condensatori riportati nel circuito in figura possono essere considerati dei corto circuiti.

### Esercizio B

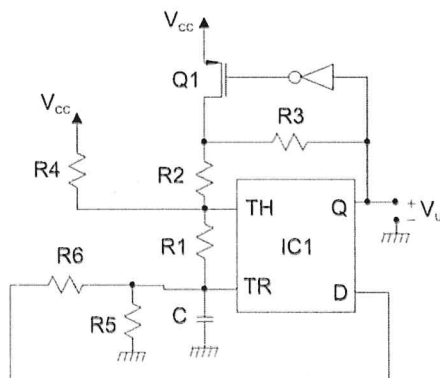
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

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

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.

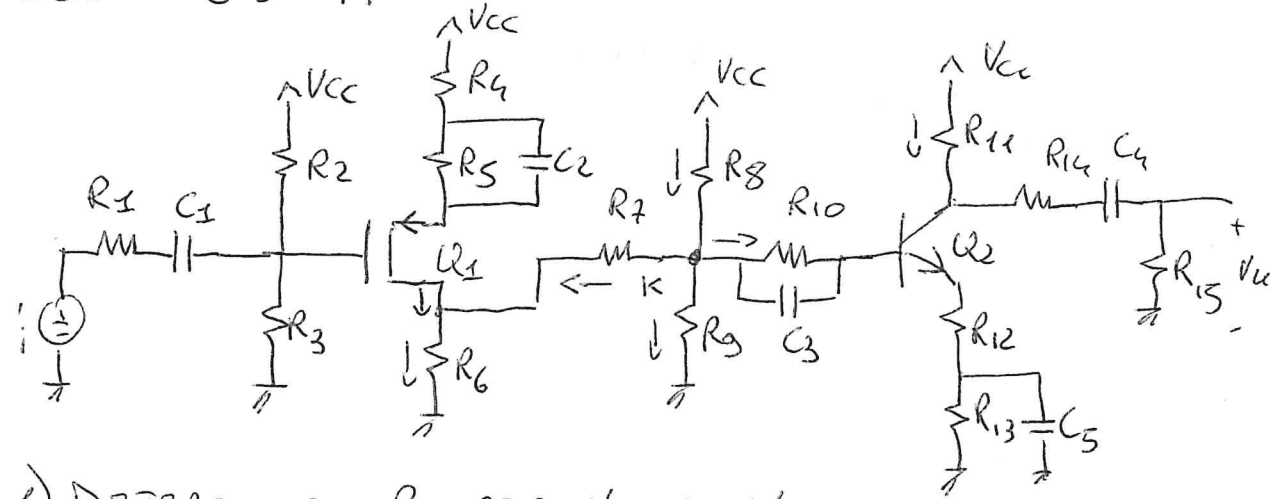
### Esercizio C

$R1 = 200 \, \Omega$	$R5 = 4 \, k\Omega$
$R2 = 1.6 \, k\Omega$	$R6 = 1 \, k\Omega$
$R3 = 800 \, \Omega$	$C = 22 \, nF$
$R4 = 1.6 \, k\Omega$	$V_{cc} = 6 \, V$



Il circuito IC1 è un NE555 alimentato a  $V_{cc} = 6 \, V$ ; Q1 ha  $R_{on} = 0$  e  $V_{Tn} = -1 \, V$ . L'inverter è ideale ed è anch'esso alimentato a  $V_{cc} = 6 \, V$ . Verificare che il circuito si comporta come un multivibratore astabile e determinare la frequenza del segnale di uscita.

ESERCIZIO A



- $R_1 = 100\Omega$
- $R_2 = 20K\Omega$
- $R_3 = 10K\Omega$
- $R_4 = 50\Omega$
- $R_6 = 3K\Omega$
- $R_7 = 29K\Omega$
- $R_8 = 128K\Omega$
- $R_9 = 260K\Omega$
- $R_{10} = 29K\Omega$
- $R_{11} = 4350\Omega$
- $R_{12} = 150\Omega$
- $R_{13} = 2K\Omega$
- $R_{14} = 200\Omega$
- $R_{15} = 20K\Omega$
- $V_{CC} = 18V$

c) DETERMINARE  $R_5$  PER  $V_C = 9.3V$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_{11}} = 2mA$$

hp: BJT IN C.A.D.  $\Rightarrow I_B \ll I_C \Rightarrow I_C \approx I_E$

$$V_E = I_E (R_{12} + R_{13}) = 4.3V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 5V$$

Q2 SI TROVA NEL PUNTO DI LAVORO  $I_C = 2mA$   $V_{CE} = 5V$

PER IL QUALE IL COSTRUTTORE FORNISCE I SEGUENTI PARAMETRI

$$h_{FE} = 290 ; h_{ie} = 4800\Omega ; h_{re} = 300$$

VERIFICA hp C.A.D. :  $V_{CE} \geq V_{CESAT}$

$$5V > 0.2V \Rightarrow hp \text{ VERIFICATA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{290} = 6.89655 \mu A$$

$$V_{BE} = V_{\gamma} = 0.7V$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 5V$$

$$V_K = V_B + R_{10} I_B = 5.2V$$

$$I_8 = \frac{V_{CC} - V_K}{R_8} = 109 \mu A$$

$$I_9 = \frac{V_K}{R_9} = 29 \mu A$$

$$I_7 = I_8 - I_B - I_9 = 73.1 \mu A$$

2

$$V_{D1} = V_K - R_7 I_7 = 3.08 V$$

$$I_6 = \frac{V_D}{R_6} = 1.026 \text{ mA}$$

$$I_D = I_6 - I_7 = 0.9536 \text{ mA}$$

$$I_G = 0 \Rightarrow \begin{cases} I_D = I_S \\ V_G = V_{CC} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 6 V \end{cases}$$

hp:  $Q_1$  SATURO  $\Rightarrow I_D = K (V_{GS} - V_T)^2$

$$V_{GS} = V_T \pm \sqrt{\frac{I_D}{K}} \quad \text{SCELGO SOLUZIONE " - " PERCHÉ } Q_1 \text{ È UN PNM}$$

E CONDUCE PER  $V_{GS} \leq V_T$

$$V_{GS} = V_T - \sqrt{\frac{I_D}{K}} = \cancel{0.000000} - 2.381 V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 8.381 V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = -5.301 V$$

VERIFICA SATURAZIONE:  $V_{DS} \leq (V_{GS} - V_T)$

$$-5.301 < -2.381 - (-1) = -1.381 \quad \text{OK}$$

$$g_m = 2K |V_{GS} - V_T| = 1.381 \times 10^{-3} \text{ A/V}$$

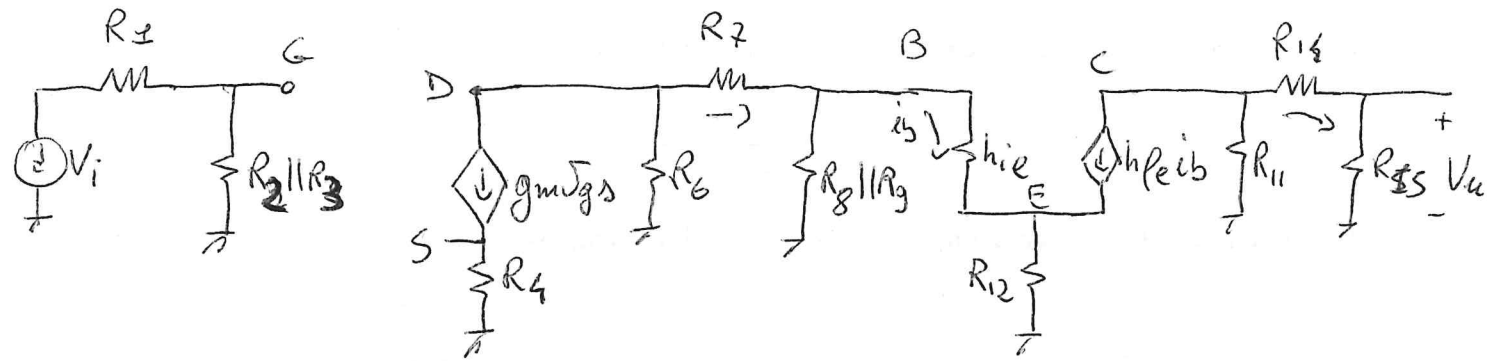
$$R_5 = \frac{V_{CC} - V_S}{I_S} - R_4 = \underline{\underline{10037.04 \Omega}}$$

$$Q_1: \begin{cases} I_D = 0.9536 \text{ mA} \\ V_{DS} = -5.301 V \\ V_{GS} = -2.381 V \\ g_m = 1.381 \times 10^{-3} \text{ A/V} \end{cases}$$

$$Q_2: \begin{cases} I_C = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = 5 V \\ h_{FE} = 290 \\ h_{ie} = 4800 \Omega \\ h_{fe} = 300 \end{cases}$$

2) Det  $\frac{V_u}{V_i}$  con  $C_I$  CERTO CIRCUITATI

(3)



$$V_u = R_{15} i_{15}$$

$$i_{15} = (-h_{fe} i_b) \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{14} + R_{15}}$$

$$i_b = i_7 \frac{(R_8 || R_9)}{(R_8 || R_9) + h_{ie} + R_{12}(h_{fe} + 1)} = i_7 \frac{(R_8 || R_9)}{(R_8 || R_9) + R_v} \quad R_v = h_{ie} + R_{12}(h_{fe} + 1) = 49950 \Omega$$

$$i_7 = (-g_m v_{gs}) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8 || R_9 || R_v}$$

$$\begin{cases} v_s = (g_m v_{gs}) R_4 \\ v_{gs} = v_g - v_s \end{cases} \Rightarrow v_{gs} = v_g - g_m v_{gs} R_4 \Rightarrow v_{gs} = \frac{v_g}{1 + g_m R_4}$$

$$v_g = v_i \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3}$$

$$\frac{V_u}{V_i} = (-h_{fe}) R_{15} \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{14} + R_{15}} \frac{R_8 || R_9}{(R_8 || R_9) + R_v} (-g_m) \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8 || R_9 || R_v} \frac{1}{1 + g_m R_4}$$

0.9852

$$\cdot \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3} = +40.36$$

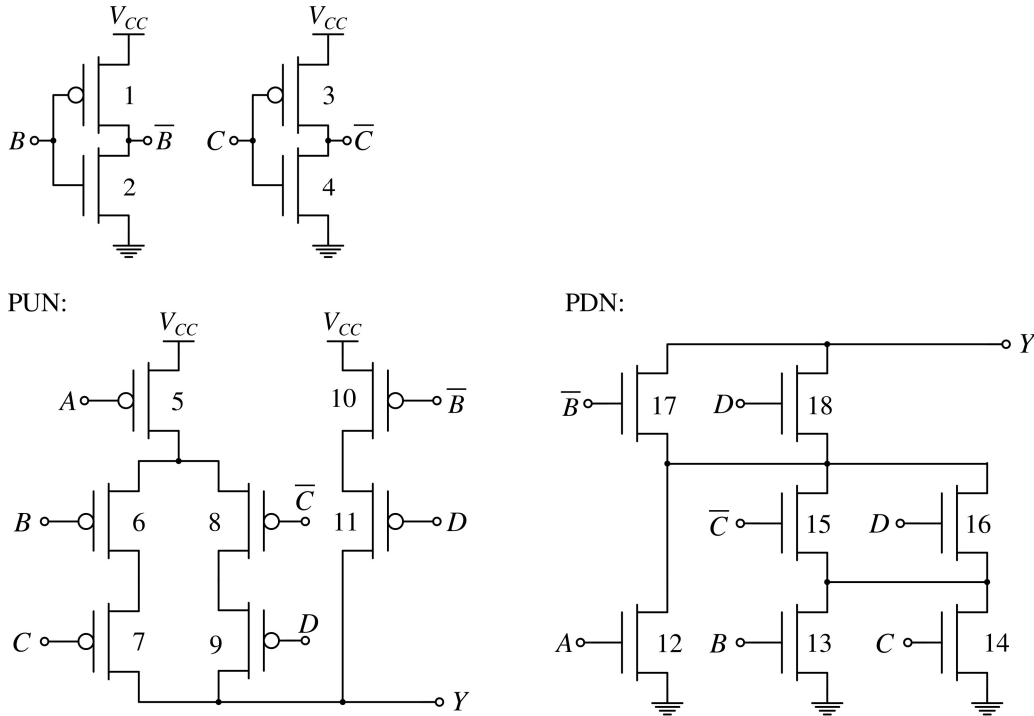
0

## Esercizio B – svolgimento

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

Numero di MOS:  $(7 + 2) \times 2 = 18$

Schema completo:



Dimensionamento della PUN, assumendo  $(W/L)_p = p = 5$ :

- $(W/L)_{1,3} = p = 5$
- Percorsi con 3 MOS in serie: (Q5-Q6-Q7), (Q5-Q8-Q9) entrambi possibili.  
 $(W/L)_{5,6,8,9} = x; \quad 3 \times \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \implies x = 3p = 15.$
- Percorsi con 2 MOS in serie: (Q10, Q11) possibile.  
 $(W/L)_{10,11} = y; \quad 2 \times \frac{1}{y} = \frac{1}{p} \implies y = 2p = 10.$

Dimensionamento della PDN, assumendo  $(W/L)_n = n = 2$ :

- $(W/L)_{2,4} = n = 2$
- Percorsi con 3 MOS in serie:
  - (Q13, Q15, Q17) impossibile:  $B$  e  $\bar{B}$
  - (Q13, Q15, Q18) possibile
  - (Q13, Q16, Q17) impossibile:  $B$  e  $\bar{B}$
  - (Q13, Q16, Q18) possibile
  - (Q14, Q15, Q17) impossibile:  $C$  e  $\bar{C}$
  - (Q14, Q15, Q18) impossibile:  $C$  e  $\bar{C}$
  - (Q14, Q16, Q17) possibile
  - (Q14, Q16, Q18) possibile
  - (Q14, Q16, Q18) possibile

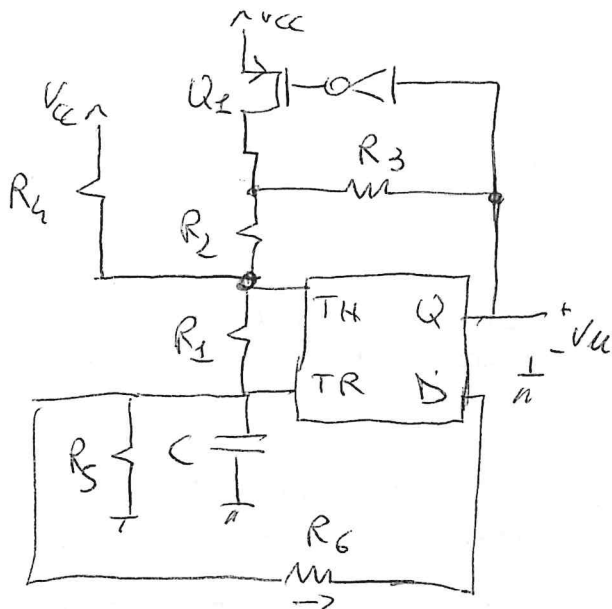
$$(W/L)_{13,14,15,16,17,18} = z; \quad 3 \times \frac{1}{z} = \frac{1}{n} \implies z = 3n = 6.$$

- Percorsi con 2 MOS in serie:

– (Q12, Q17) possibile con Q17 già dimensionato

– (Q12, Q18) possibile con Q18 già dimensionato

$$(W/L)_{12} = t; \quad \frac{1}{t} + \frac{1}{z} = \frac{1}{n} \implies t = \frac{zn}{z-n} = \frac{3}{2}n = 3.$$



$$R_1 = 200 \Omega$$

$$R_2 = 1.6 K\Omega$$

$$R_3 = 800 \Omega$$

$$R_4 = 1.6 K\Omega$$

$$R_5 = 4 K\Omega$$

$$R_6 = 1 K\Omega$$

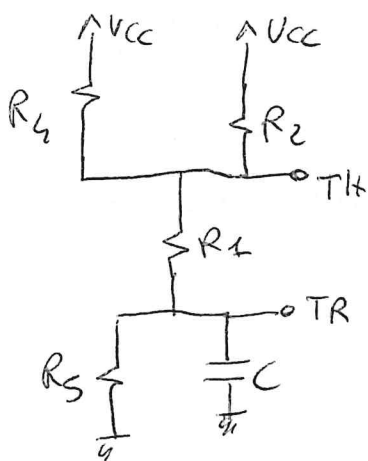
$$V_{CC} = 6V$$

$$C = 22 nF$$

c) FASE DI SET

$$Q = 1 \Rightarrow V_G = 0V, V_S = 6V; V_{GS} = -6V < V_T = -1V \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$$

$$D = HI \Rightarrow I_G = 0$$



$$V_{IS} = \frac{1}{3} V_{CC} = 2V$$

$$V_{F1} \approx V_{CC} \frac{R_5}{(R_2 || R_4) + R_1 + R_5} = 4.8V$$

$$\text{Se } V_{TH} = \frac{2}{3} V_{CC} = 4V$$

$$I_1 = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_2 || R_4} = 2.5 mA$$

$$V_{COR1} = V_{TH} - R_1 I_1 = 3.5V$$

VERIFICA COMPUTAZIONE:  $V_{IS} < V_{COR1} < V_{F1}$

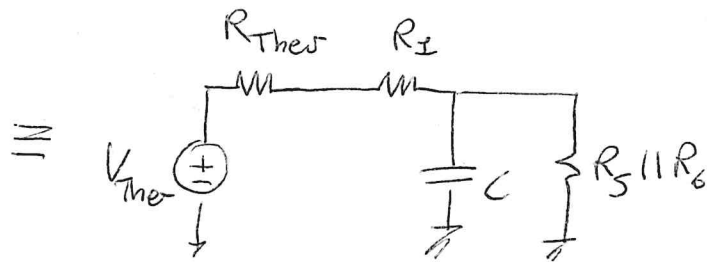
$$2V < 3.5V < 4.8V \quad \underline{OK}$$

$$R_{V1} = R_5 || (R_1 + R_2 || R_4) = 800 \Omega$$

$$\tau_1 = C R_{V1} = 17.6 \mu s$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \left( \frac{V_{IS} - V_{F1}}{V_{COR1} - V_{F1}} \right) = 13.504 \mu s$$

$$D = \emptyset \Rightarrow I_6 \neq 0$$



$$R_5 || R_6 = 800 \Omega$$

$$V_{f2} = V_{Ther} + \frac{(R_{5||R_6})}{R_{Ther} + R_1 + (R_{5||R_6})} = 1.47V$$

$$f = \frac{36374.2 \text{ Hz}}{2}$$