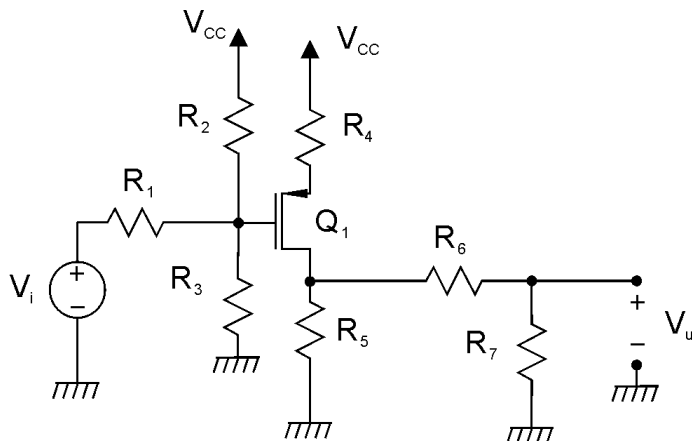


ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 26 gennaio 2021

Esercizio 1

$R_1 = 2.4 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 1950 \text{ }\Omega$
$R_3 = 10.4 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 3 \text{ k}\Omega$
$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_7 = 3 \text{ k}\Omega$
$V_{CC} = 18 \text{ V}$



Q_1 è un transistor MOS a canale p resistivo con $V_T = -1 \text{ V}$ e la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 0.5 \text{ mA/V}^2$.

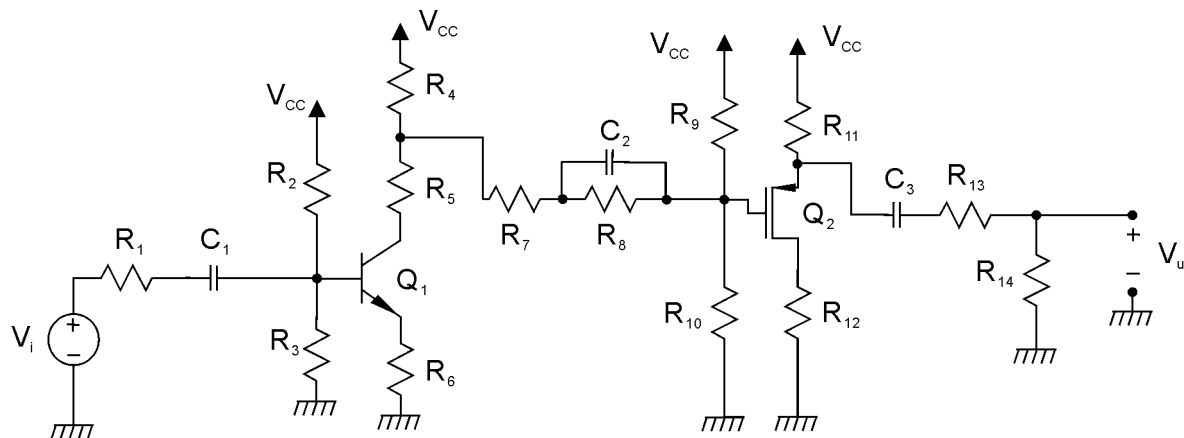
Con riferimento al circuito in figura:

- 1) calcolare il valore della resistenza R_5 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione di uscita V_u sia 4.5 V ;
- 2) determinare il punto di riposo del transistor Q_1 e verificarne la saturazione;
- 3) determinare l'espressione dei parametri per il modello di piccolo segnale del transistor Q_1 e disegnare il circuito equivalente per piccoli segnali.

ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 26 gennaio 2021

Esercizio 2



Q_1 è un transistor BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$; Q_2 è un transistor MOS a canale p resistivo con la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$ e $g_m > 0$.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) determinare l'espressione di V_u/V_i alle frequenze per le quali i condensatori possono essere considerati dei corti circuiti.

ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 26 gennaio 2021

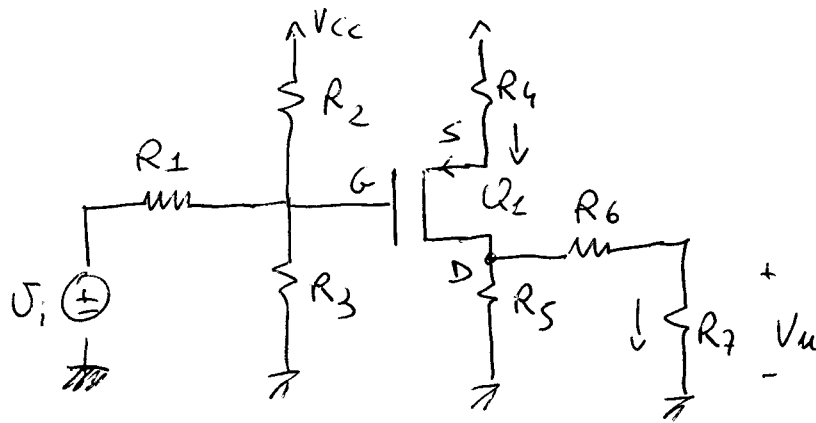
Esercizio 3

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

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

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 di tutti i transistori.

ESERCIZIO 1



$$R_1 = 2.4 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 1950 \Omega$$

$$R_3 = 10.4 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_7 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$V_{cc} = 18 \text{ V}$$

1) Det. R_S per $V_u = 4.5 \text{ V}$

$$I_7 = \frac{V_u}{R_7} = 1.5 \text{ mA}$$

$$V_D = I_7(R_6 + R_7) = 6 \text{ V}$$

$$V_G = V_{cc} \frac{(R_1 || R_3)}{(R_1 || R_3) + R_2} = 9 \text{ V}$$

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

$$I_D = K(V_G - V_S - V_T)^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow I_D = K(V_G - V_{cc} + R_4 I_D - V_T)^2 \\ V_S = (V_{cc} - R_4 I_D) \end{array} \right.$$

$$I_D = K(9 - 18 + 3 \times 10^3 I_D + 1)^2 = K(-8 + 3 \times 10^3 I_D)^2 =$$

$$= K(64 + 9 \times 10^6 I_D^2 - 48 \times 10^3 I_D) =$$

$$= 32 \times 10^{-3} + 4.5 \times 10^3 I_D^2 - 24 I_D$$

$$4.5 \times 10^3 I_D^2 - 24 I_D + 32 \times 10^{-3} = 0$$

$$I_D = \frac{25 \pm \sqrt{625 - 576}}{9 \times 10^3} = \frac{25 \pm 7}{9 \times 10^3} = \begin{cases} I_{D1} = 3.5 \text{ mA} \\ I_{D2} = 2 \text{ mA} \end{cases}$$

Se $I_D = I_{D1} = 3.5 \text{ mA} \Rightarrow V_S = 7.3 \text{ V} \Rightarrow V_{GS} = 1.6 \text{ V} > V_T = 1 \text{ V} \Rightarrow \underline{\text{NO}}$

Se $I_D = I_{D2} = 2 \text{ mA} \Rightarrow V_S = 12 \text{ V} \Rightarrow V_{GS} = -3 \text{ V} < V_T = -1 \text{ V} \Rightarrow \underline{\text{SOL. ACCETT.}}$

Per cui si ha

(2)

$$I_D = 2 \text{ mA}$$

$$I_S = I_D - I_T = 0.5 \text{ mA}$$

$$R_S = \frac{V_D}{I_S} = \underline{\underline{12 \text{ k}\Omega}}$$

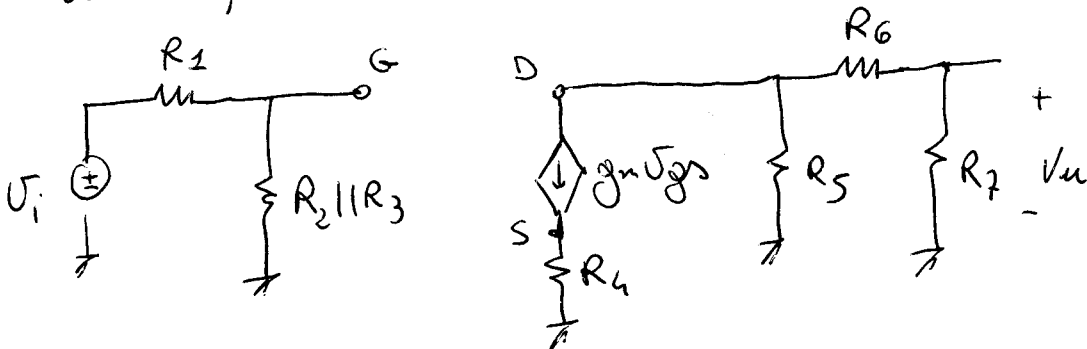
$$V_{DS} = V_D - V_S = 6 - 12 = -6 \text{ V} < (V_{GS} - V_T) = -3 + 1 = -2 \text{ V} \Rightarrow \underline{\text{hp OK}}$$

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

Il pt. di riposo di Q_1 è :

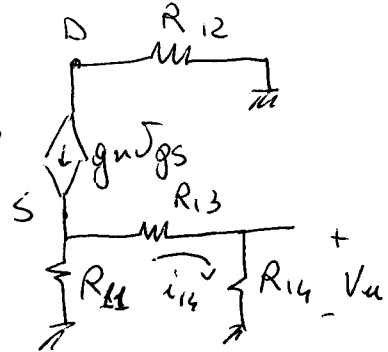
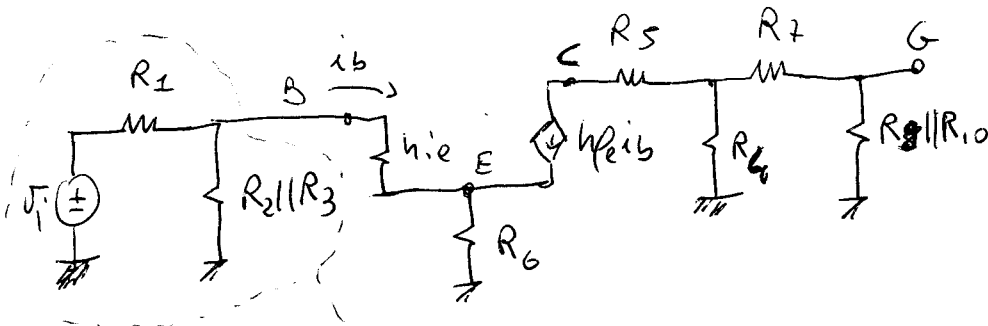
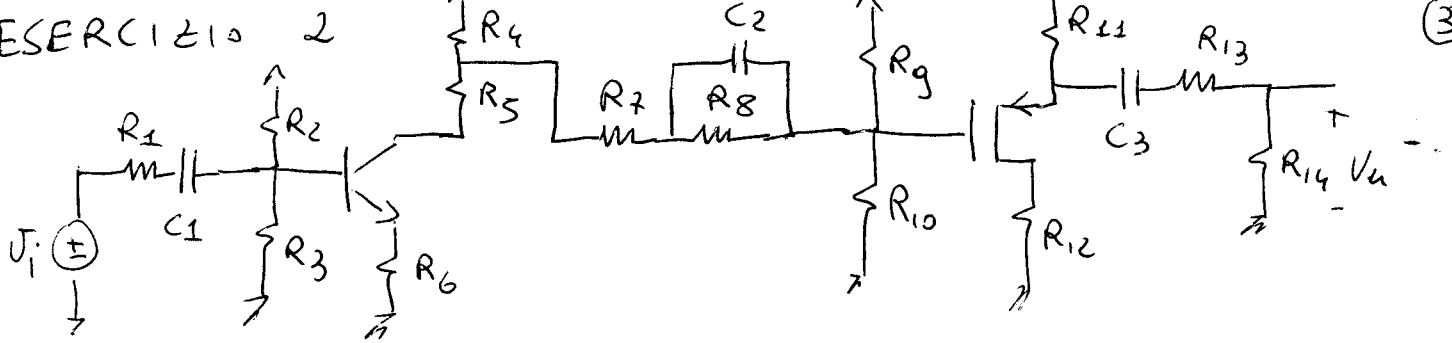
$$Q_1 : \begin{cases} I_D = 2 \text{ mA} \\ V_{DS} = -6 \text{ V} \\ V_{GS} = -3 \text{ V} \\ g_m = 2 \times 10^{-3} \text{ A/V} \end{cases}$$

Il circ. equivalente per piccoli segnali è :



ESERCIZIO 2

(3)



$$V_u = R_{14} i_{14}$$

$$i_{14} = (g_m J_{gs}) \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{13} + R_{14}}$$

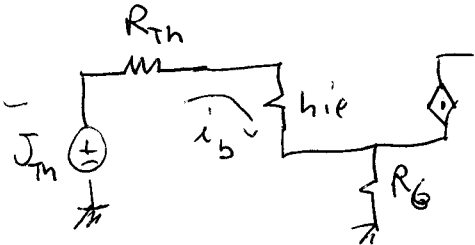
$$J_{gs} = (g_m J_{gs}) [R_{11} \parallel (R_{13} + R_{14})]$$

$$J_{gs} = J_g - J_s = J_g - g_m J_{gs} [R_{11} \parallel (R_{13} + R_{14})]$$

$$J_{gs} = \frac{J_g}{1 + g_m [R_{11} \parallel (R_{13} + R_{14})]}$$

$$J_g = (-h_{fe} i_b) \frac{R_4}{R_4 + R_7 + R_9 \parallel R_{10}} (R_9 \parallel R_{10})$$

$$i_b = \frac{J_{Th}}{R_{Th} + h_{ie} + R_6 (h_{fe} + 1)} = \frac{J_i R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \frac{1}{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + h_{ie} + R_6 (h_{fe} + 1)}$$

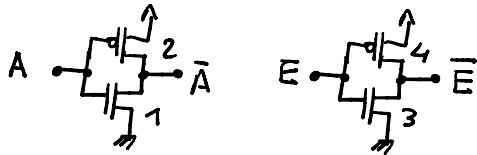


$$\begin{cases} J_{Th} = J_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \\ R_{Th} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \end{cases}$$

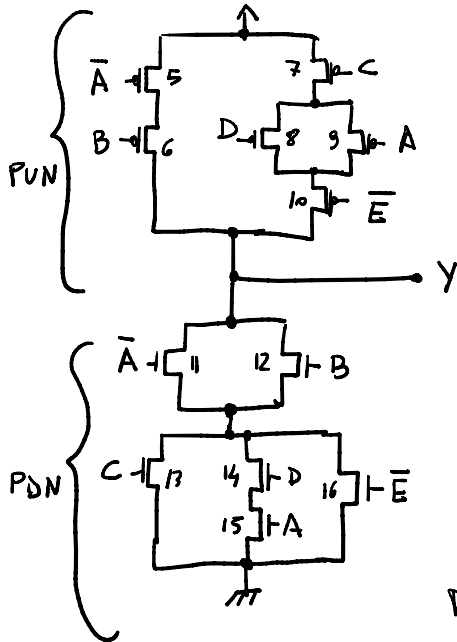
$$\frac{V_u}{V_i} = g_m \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{13} + R_{14}} R_{14} \cdot \frac{1}{1 + g_m [R_{11} \parallel (R_{13} + R_{14})]} (-h_{fe}) \frac{R_4 \cdot (R_9 \parallel R_{10})}{R_4 + R_7 + (R_9 \parallel R_{10})} \cdot \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + (R_2 \parallel R_3)} \cdot \frac{1}{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + h_{ie} + R_6 (h_{fe} + 1)}$$

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

$$N = 2 \times 6 + 2 \times 2 = 16$$



$$\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3} = m = 2, \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{2,4} = p = 5$$



DIMENSIONAMENTO PUN:

$$\# \text{ PATH DA 3: } \begin{cases} 7-8-10 \\ 7-9-10 \end{cases} \text{ POSSIBILI}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9,10} = x \rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{3}{x} = \frac{1}{p} \rightarrow x = \left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9,10} = 3p = 15$$

$$\# \text{ PATH DA 2: } \begin{cases} 5-6 \end{cases} \text{ POSSIBILI}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{5,6} = t \rightarrow \frac{1}{t} + \frac{1}{t} = \frac{2}{t} = \frac{1}{p} \rightarrow t = \left(\frac{W}{L}\right)_{5,6} = 2p = 10$$

DIMENSIONAMENTO PDN:

$$\text{PATH DA 3: } \begin{cases} 11-14-15 \\ 12-14-15 \end{cases} \text{ IMPOSSIBILI } (\bar{A} \equiv A)$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{12,14,15} = f \rightarrow \frac{1}{f} + \frac{1}{f} + \frac{1}{f} = \frac{3}{f} = \frac{1}{m} \rightarrow f = \left(\frac{W}{L}\right)_{12,14,15} = 3m = 6$$

$$\text{PATH DA 2: } \begin{cases} 11-13 \\ 11-16 \\ 12-13 \\ 12-16 \end{cases} \text{ POSSIBILI (NB: 12 GIÀ DIMENSIONATO A } 3m = 6)$$

CASO 1) DIMENSIONO PRIMA 13,16 USANDO 12 $\begin{matrix} 13 \\ \diagdown \\ 16 \end{matrix}$ E DOPO 11 USANDO 11 $\begin{matrix} 13 \\ \diagdown \\ 16 \end{matrix}$

CASO 2) DIMENSIONO 11,13,16 UGUALI USANDO 11 $\begin{matrix} 13 \\ \diagdown \\ 16 \end{matrix}$ E DOPO VERIFICO LA R_{ON} RISULTANTE SUI PERCORSI 12-13 E 12-16

$$\text{CASO 1) } \left(\frac{W}{L}\right)_{13,16} = m \rightarrow \frac{1}{m} + \frac{1}{3m} = \frac{1}{m} \rightarrow \frac{1}{m} = \frac{3-1}{3m} = \frac{2}{3m} \rightarrow m = \left(\frac{W}{L}\right)_{13,16} = \frac{3}{2}m = 3$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{11} = h \rightarrow \frac{1}{h} + \frac{1}{\frac{3}{2}m} = \frac{1}{m} \rightarrow \frac{1}{h} = \frac{3-2}{3m} = \frac{1}{3m} \rightarrow h = 3m = 6 = \left(\frac{W}{L}\right)_{11}$$

$$\text{CASO 2) } \left(\frac{W}{L}\right)_{11,13,16} = j \rightarrow \frac{1}{j} + \frac{1}{j} = \frac{2}{j} = \frac{1}{m} \rightarrow j = \left(\frac{W}{L}\right)_{11,13,16} = 2m = 4$$

$$\text{VERIFICA } R_{ON} \text{ DI } 12 \begin{matrix} 13 \\ \diagdown \\ 16 \end{matrix} : \frac{1}{3m} + \frac{1}{2m} = \frac{2+3}{6m} = \frac{5}{6m} < \frac{1}{m} \quad \underline{\text{OK}}$$

CONFRONTO L'AREA DEI DUE CASI

USANDO LE SOMME DEI $\frac{w}{2}$

	Q_8	Q_{13}	Q_{16}	SOMMA
CASO 1	3m	$\frac{3}{2}m$	$\frac{3}{2}m$	6m
CASO 2	2m	2m	2m	6m

LE DUE OPZIONI
SONO EQUIVALENTI
IN AREA