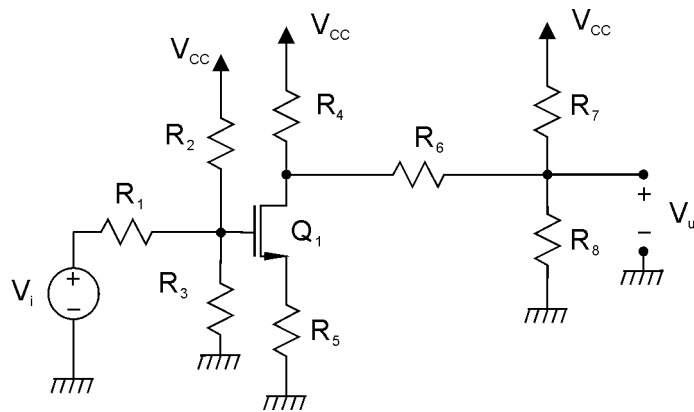


ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 20 luglio 2021

Esercizio 1

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 18 \text{ k}\Omega$
$R_5 = 1.5 \text{ k}\Omega$
$R_7 = 3 \text{ k}\Omega$
$R_8 = 24 \text{ k}\Omega$
$V_{CC} = 18 \text{ V}$



Q_1 è un transistor MOS a canale n 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 $k = 0.5 \text{ mA/V}^2$.

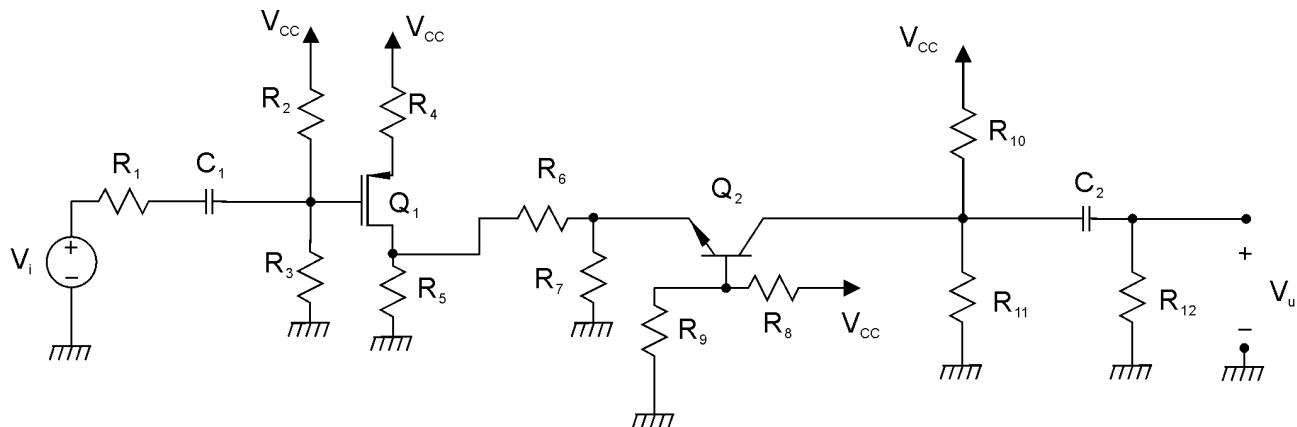
Con riferimento al circuito in figura:

- 1) Calcolare il valore della resistenza R_6 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione di uscita V_u sia 12 V ;
- 2) Determinare il punto di riposo del transistor Q_1 , verificarne la saturazione e calcolare i parametri per il modello di piccolo segnale.
- 3) Disegnare il circuito per l'analisi di piccolo segnale.

ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 20 luglio 2021

Esercizio 2



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

Gli altri parametri di piccolo segnale dei due transistori sono forniti dal costruttore e sono di valore positivo.

Con riferimento al circuito in figura:

- 1) disegnare il circuito equivalente per l'analisi di piccolo segnale;
- 2) determinare l'espressione di V_u/V_i alle frequenze per le quali i condensatori C_1 e C_2 possono essere considerati dei corto circuiti.

ELETTRONICA DIGITALE
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 20 luglio 2021

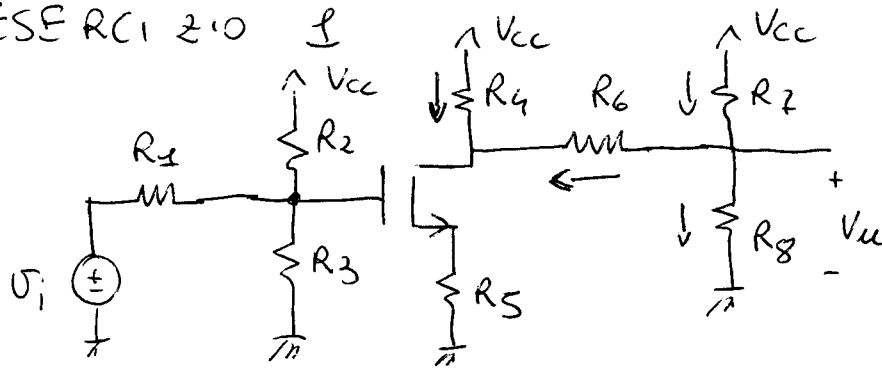
Esercizio 3

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

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

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



$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 18 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 1.5 \text{ k}\Omega$$

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

$$R_8 = 24 \text{ k}\Omega$$

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

$$K = 0.5 \text{ mA/V}^2$$

1) Det. R_6 per $V_u = 12 \text{ V}$

$$I_8 = \frac{V_u}{R_8} = 0.5 \text{ mA}$$

$$I_7 = \frac{V_{cc} - V_u}{R_7} = 2 \text{ mA}$$

$$I_6 = I_7 - I_8 = 1.5 \text{ mA}$$

$$V_{cc} I_6 = \phi \Rightarrow V_G = V_{cc} \frac{R_1 \parallel R_3}{(R_1 \parallel R_3) + R_2} = 6 \text{ V}$$

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

$$V_S = R_5 I_D \Rightarrow I_D = K (V_G - V_S - V_T)^2 =$$

$$= K (6 - R_5 I_D - 1)^2 =$$

$$= K (5 - 1500 I_D)^2 =$$

$$= 0.5 \times 10^{-3} (25 - 15000 I_D + 225 \times 10^4 I_D^2)$$

$$= 12.5 \times 10^{-3} - 7.5 I_D + 1125 I_D^2$$

$$1125 I_D^2 - 7.5 I_D + 12.5 \times 10^{-3} = 0$$

$$I_D = \frac{7.5 \pm \sqrt{72.25 - 56.25}}{2250} = \frac{7.5 \pm 4}{2250} = \begin{cases} I_{D1} = 5.5 \text{ mA} \\ I_{D2} = 2 \text{ mA} \end{cases}$$

Se $I_{D1} = I_{D1} \Rightarrow V_{S1} = 8.3 \text{ V} \Rightarrow V_{GS1} = -2.3 < V_T \Rightarrow \text{sol. non acc.}$

$I_D = I_{D2} = 2 \text{ mA} \Rightarrow V_S = 3 \text{ V} \Rightarrow V_{GS} = 3 \text{ V} > V_T \Rightarrow \text{sol. POSSIBILE}$

$$I_4 = I_D - I_6 = 0.5 \text{ mA}$$

$$V_D = V_{CC} - R_4 I_4 = 9 \text{ V}$$

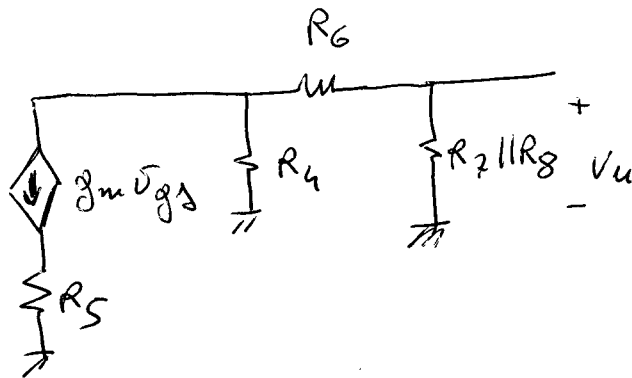
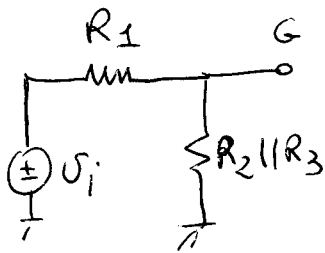
$$V_{DS} = V_D - V_S = 6 \text{ V}$$

Verifica hp di saturazione: $V_{DS} \stackrel{?}{\geq} V_{GS} - V_T$
 $6 \text{ V} > (3 - 1) = 2 \text{ V} \Rightarrow \text{VERIFICA OK}$

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

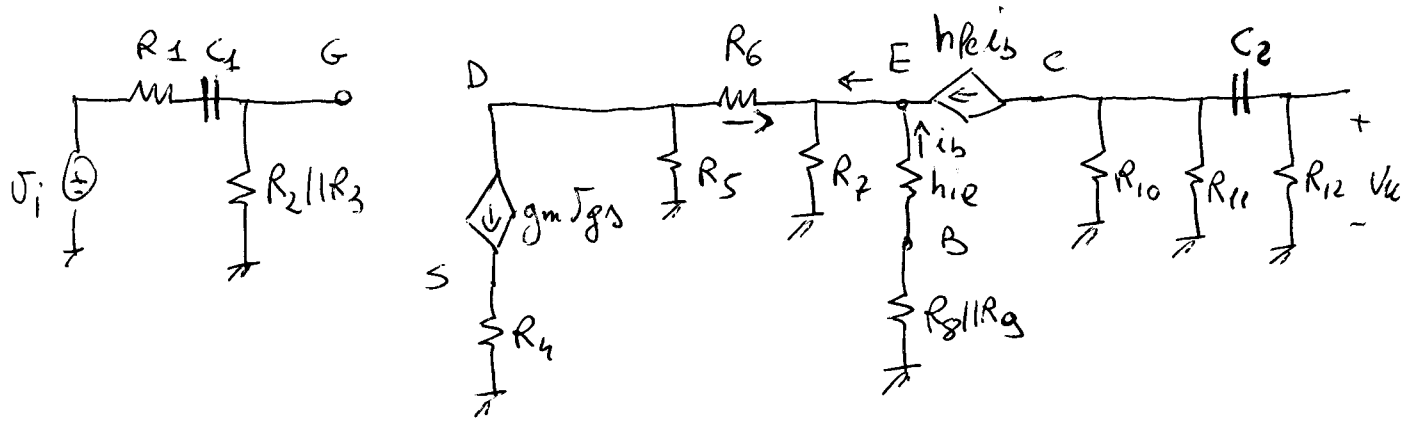
$$R_6 = \frac{V_u - V_D}{I_6} = \frac{32 - 9}{1.5 \times 10^{-3}} = \underline{\underline{2000 \text{ } \Omega}}$$

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



ESERCIZIO 2

3



Se C_1 e C_2 cortocircuito

$$V_{ce} = (-h_{fe} i_b) (R_{10} || R_{11} || R_{12})$$

$$i_E = (h_{fe} + 1) i_b \Rightarrow i_b = \frac{i_E}{(h_{fe} + 1)}$$

$$i_E = (-i_6) \frac{R_7}{R_7 + \frac{h_{ie} + R_8 || R_9}{(h_{fe} + 1)}}$$

$$i_6 = (-g_m v_{gs}) \frac{R_5}{R_5 + R_6 + R_7 || \left(\frac{h_{ie} + R_8 || R_9}{(h_{fe} + 1)} \right)}$$

$$v_s = (g_m v_{gs}) R_4$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_g - g_m v_{gs} R_4$$

$$\Rightarrow v_{gs} = \frac{v_g}{1 + g_m R_4}$$

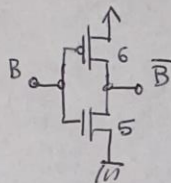
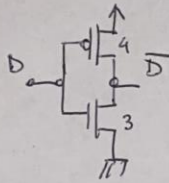
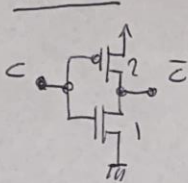
$$v_g = v_i \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3}$$

$$\frac{V_{ce}}{V_i} = (-h_{fe}) (R_{10} || R_{11} || R_{12}) \frac{1}{(h_{fe} + 1)} (-1) \frac{R_7}{R_7 + \frac{h_{ie} + R_8 || R_9}{h_{fe} + 1}} (-g_m) \frac{R_5}{R_5 + R_6 + R_7 || \left(\frac{h_{ie} + R_8 || R_9}{h_{fe} + 1} \right)} \cdot \frac{1}{1 + g_m R_4} \cdot \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3}$$

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

$$N = 2 \times (8 + 3) = 22$$

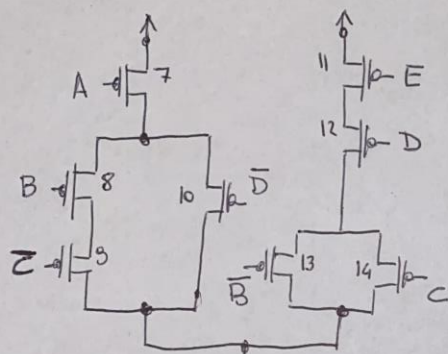
INVERTER



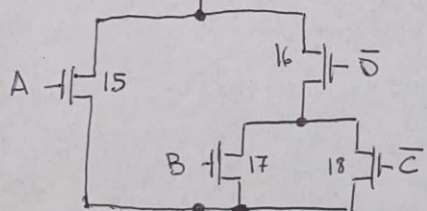
$$\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5} = m = 2$$

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

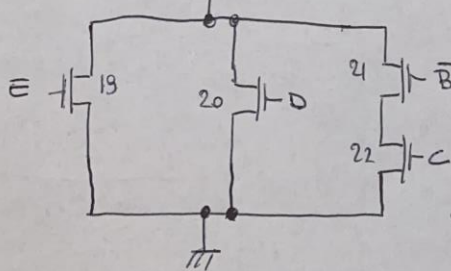
SCHEMATA :



P.O.N.



P.O.N.



Dim. POP

• PERIOD DA 3 :

7-8-9 } POSSIBILITÀ
11-12-13 } EQUIVALENTI
11-12-14 }

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9,11,12,13,14} = x$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{3}{x} = \frac{1}{p}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9,11,12,13,14} = x = 3p = 15$$

• PERIOD DA 2 :

7-10, CON 7 GLA' DA 2 (3p)

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{10} = t$$

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{3p} = \frac{1}{p} \Rightarrow \frac{1}{t} = \frac{3}{3p} - \frac{1}{3p} = \frac{2}{3p}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{10} = t = \frac{3}{2}p = 7.5$$

Dim. P.D.N.

•) PERCORSI DA 4:

$$\begin{cases} 16-17-21-22 & \text{IMPOSSIBILI (B e B)} \\ 16-18-21-22 & \text{IMPOSSIBILI (C e C)} \end{cases}$$

•) PERCORSI DA 3:

$$\begin{cases} 15-21-22 \\ 16-17-19 \\ 16-18-19 \end{cases} \text{ POSSIBILI}$$

$$\begin{cases} 16-17-20 \\ 16-18-20 \end{cases} \text{ IMPOSSIBILI (D e D)}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{15,16,17,18,19,21,22} = Z$$

$$\frac{1}{Z} + \frac{1}{Z} + \frac{1}{Z} = \frac{3}{Z} = \frac{1}{m}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{15,16,17,18,19,21,22} = Z = 3m = 6$$

•) PERCORSI DA 2:

$$\begin{cases} 15-19 & \text{POSSIBILI (15 e 19 GÀ DIMENSIONALI)} \\ 15-20 & \text{POSSIBILI (15 DIMENSIONATO A 3M, 20 DA DIMENSIONARE)} \end{cases}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{20} = J \quad \frac{1}{J} + \frac{1}{3m} = \frac{1}{m} \rightarrow \frac{1}{J} = \frac{3}{3m} - \frac{1}{3m} = \frac{3-1}{3m} = \frac{2}{3m}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{20} = J = \frac{3m}{2} = 3$$