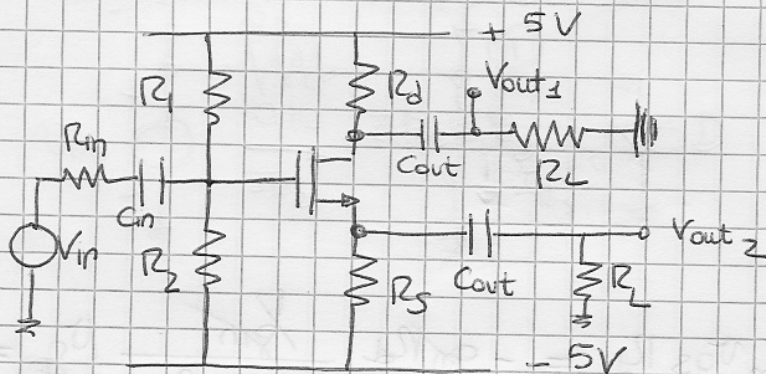


ESERCIZIO 1



$$k_n = 12 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{Tn} = 0.5 \text{ V}$$

$$R_m = 1 \text{ k}$$

$$R_1 = 600 \text{ k}$$

$$R_2 = 400 \text{ k}$$

$$R_3 = 1.5 \text{ k}$$

$$R_5 = 1 \text{ k}$$

② POLARIZZAZIONE $\Rightarrow C_n, C_{out}$ aperte. Hp. MOS saturo

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} [5 \text{ V} - (-5 \text{ V})] - 5 \text{ V} = \frac{400 \text{ k}}{600 \text{ k} + 400 \text{ k}} * 10 \text{ V} - 5 \text{ V} = -1 \text{ V}$$

$$\begin{cases} I_D = k (V_{GS} - V_T)^2 \\ V_G - (-5 \text{ V}) = V_{GS} + I_D R_S \end{cases}$$

$$\hookrightarrow -1 \text{ V} + 5 \text{ V} = V_{GS} + k R_S [V_{GS}^2 - 2V_{GS} V_T + V_T^2]$$

$$+4 = V_{GS} + 12 V_{GS}^2 - 12 V_{GS} + 3$$

$$12 V_{GS}^2 - 11 V_{GS} - 1 = 0$$

$$\hookrightarrow V_{GS} = \frac{+11 \pm \sqrt{(11)^2 + 48}}{24} = \frac{11 \pm 13}{24} \rightarrow \begin{cases} -\frac{1}{12} < V_T \text{ NON ACC.} \\ +1 > V_T \text{ OK} \end{cases}$$

$$I_D = k (V_{GS} - V_T)^2 = 12 \text{ mA/V}^2 (1 - 0.5)^2 = 3 \text{ mA}$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = -1 \text{ V} - 1 \text{ V} = -2 \text{ V}$$

$$V_D = +5 \text{ V} - I_D R_3 = 5 \text{ V} - 3 \text{ mA} * 1.5 \text{ k} = +0.5 \text{ V}$$

$$\hookrightarrow V_{GD} = -1 - 0.5 = -1.5 \text{ V} < V_T \text{ OK MOS saturo}$$

$$g_m = 2k (V_{GS} - V_T) = 2 * 12 \text{ mA/V}^2 (1 - 0.5 \text{ V}) = 12 \text{ mA/V} \Rightarrow \frac{1}{g_m} = 83.3 \Omega$$

(b) GUADAGNO $\frac{V_{out1}}{V_{in}}$ | HF

$$V_g = \frac{R_2 \parallel R_1}{R_{in} + R_1 \parallel R_2} V_{in}$$

$$V_{gs} = \frac{1/g_m}{1/g_m + R_s} V_g$$

$$i_d = g_m V_{gs}$$

$$V_{out1} = -i_d R_d \parallel R_L = -g_m V_{gs} R_d \parallel R_L = -g_m R_d \parallel R_L \frac{1/g_m}{1/g_m + R_s} V_g =$$

$$= -g_m R_d \parallel R_L \frac{1}{1 + g_m R_s \parallel R_L} \frac{R_2 \parallel R_1}{R_{in} + R_1 \parallel R_2} V_{in}$$

$$\hookrightarrow G_1 = \frac{V_{out1}}{V_{in}} = - \frac{g_m R_d \parallel R_L}{1 + g_m R_s \parallel R_L} \frac{R_2 \parallel R_1}{R_{in} + R_1 \parallel R_2} = \frac{240k}{600k \parallel 400k} =$$

$$= - \frac{12 \text{ mA/V} \times 1.5 \text{ k}\Omega \parallel 1 \text{ k}\Omega}{1 + 12 \text{ mA/V} \times 1 \text{ k}\Omega \parallel 1 \text{ k}\Omega} \frac{1k + 600k \parallel 400k}{1k + 600k \parallel 400k} =$$

$$= - 1.024 \quad 0.996$$

(c) GUADAGNO $\frac{V_{out2}}{V_{in}}$ | HF

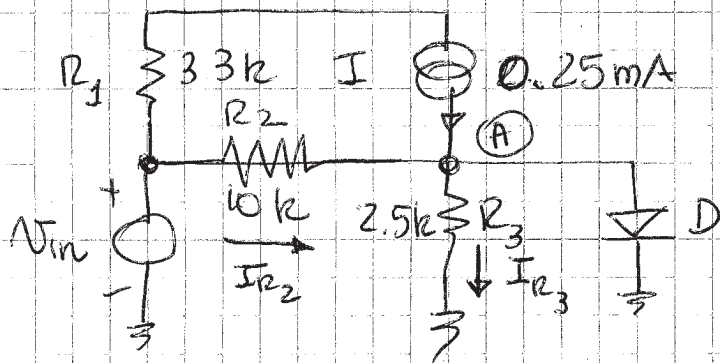
$$G_2 = \frac{V_{out2}}{V_{in}} = \frac{R_5 \parallel R_L}{R \parallel R_5 + 1/g_m} \frac{R_1 \parallel R_2}{R_{in} + R_1 \parallel R_2} = \frac{1k \parallel 1k}{1k \parallel 1k + 83\Omega} \cdot \frac{240k}{1k + 240k} =$$

$$= +0.859$$

(d) $Z_1 = R_d = 1.5 \text{ k}\Omega$

(e) $Z_2 = R_5 \parallel 1/g_m \approx 1/g_m = 83.3 \Omega$

ESERCIZIO 2



(a) CORRENTE NEL DIODO PER $V_{in} = 2.5V$

Hp diodo on

$$I_{R3} = \frac{V_D}{R_3} = \frac{0.7V}{2.5k} = 280 \mu A$$

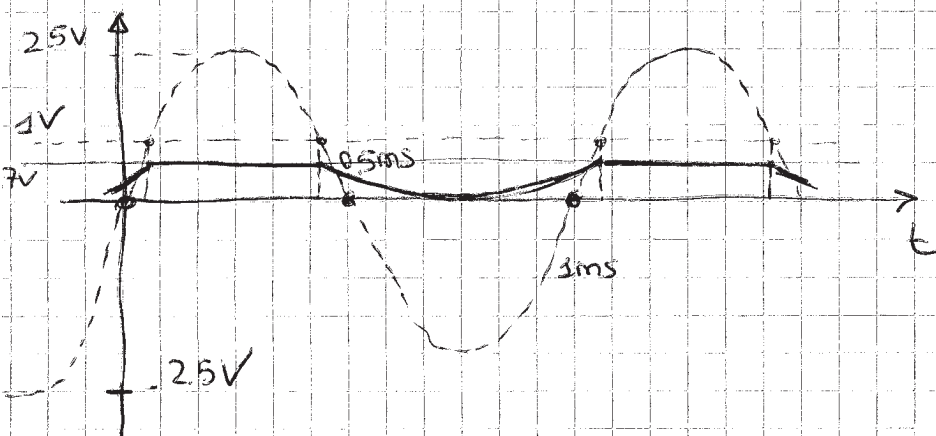
$$I_{R2} = \frac{V_{in} - 0.7V}{R_2} = \frac{2.5V - 0.7V}{10k} = 180 \mu A$$

Bilancio di corrente al nodo (A)

$$I_{R2} + I = I_{R3} + I_D$$

$$\boxed{I_D = I_{R2} + I - I_{R3} = 180 \mu A + 250 \mu A - 280 \mu A = 150 \mu A}$$

(b) ANDAMENTO TEMPORALE DI V_{out}

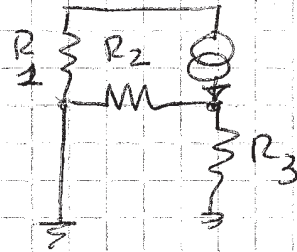
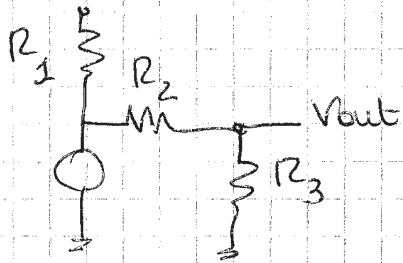


$$f = 1kHz \Rightarrow T = 1ms$$

Calcolo il valore di V_{in} per cui si accende il diodo.

Diode D supposto OFF Applico il princ. di sovrapp. degli effetti

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_3}{R_3 + R_2} + I (R_2 \parallel R_3)$$



Affinchè il diodo non accenda: $V_{out} = 0.7V$

$$0.7V = V_{in} \frac{R_3}{R_3 + R_2} + I (R_2 \parallel R_3)$$

$$V_{in} = \left[0.7V - I (R_2 \parallel R_3) \right] \cdot \frac{R_3 + R_2}{R_3} =$$

$$= \left[0.7V - 0.25mA (10k \parallel 2.5k) \right] \cdot \frac{10k + 2.5k}{2.5k} = +1V$$

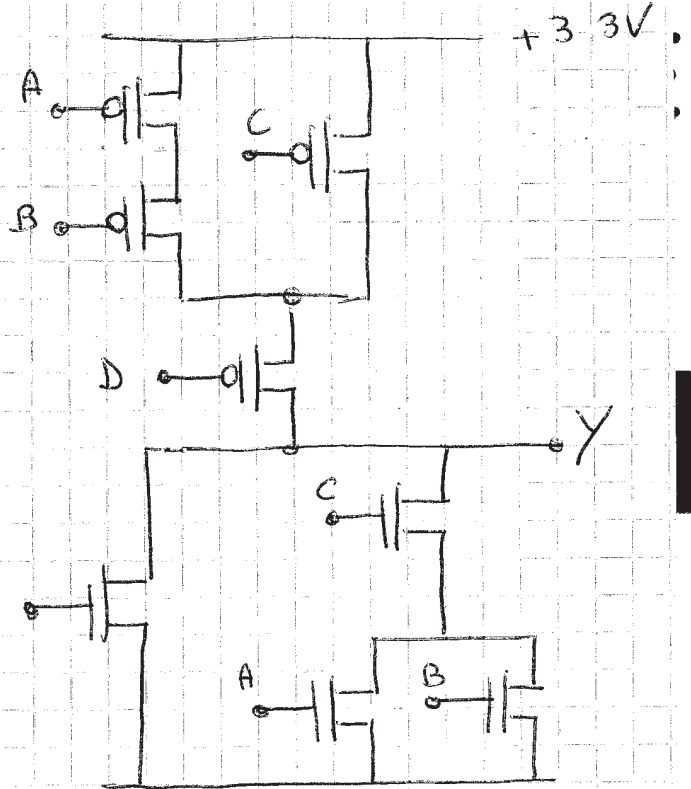
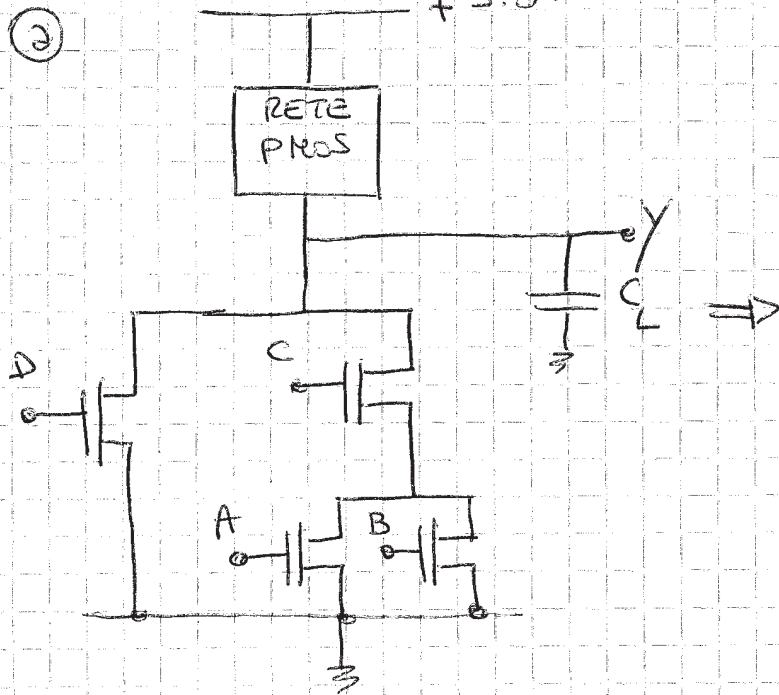
Quando $V_{in} = -2.5V$

$$V_{out} = -2.5V \frac{2.5k}{10k + 2.5k} + 0.25mA (2.5k \parallel 10k) = 0V$$

Quando $V_{in} = 0V$

$$V_{out} = 0.25mA (2.5k \parallel 10k) = 0.5V$$

ESERCIZIO 3



⑤
$$Y = [(A+B) \cdot C] + D = [(\overline{A+B}) + \overline{C}] \cdot \overline{D} =$$

$$= [(\overline{A} \cdot \overline{B}) + \overline{C}] \cdot \overline{D}$$

③ TEMPO DI PROPAGAZIONE ABCD = 1111 \rightarrow ABCD = 1100

ABCD = 1111 \Rightarrow $V_{out} = 0V = '0'$
 tutti gli NMOS sono accesi

ABCD = 1100 \Rightarrow $V_{out} = +3.3V = '1'$
 si aprono gli NMOS comandati da C e D e si accendono i relativi PMOS

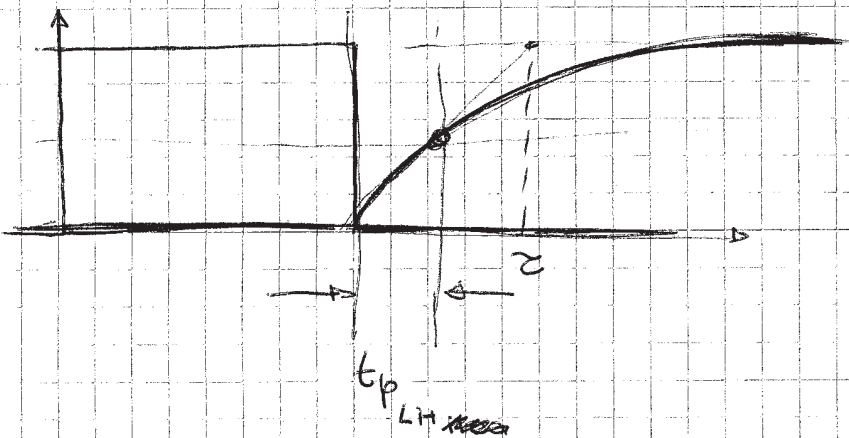
④ approssimazione ohmica

$$R_{onP}^{-1} = 2k_p (V_{GS} - V_T) = 2k_p (V_{DD} - V_T) = 2 \times 0.1 \text{ mA/V}^2 \times (3.3 - 0.7) \text{ V}$$

$$= 0.52 \text{ mA/V} \Rightarrow R_{onP} = 1923 \Omega$$

La carica dello capacitor avviene tramite la serie delle

Ron del pMOS c.e.D.

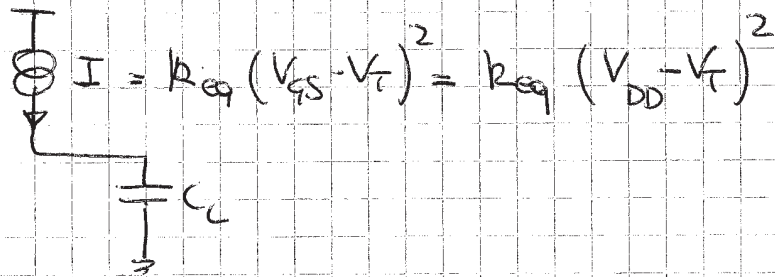


$$t_{pLH} = 0.69\tau$$

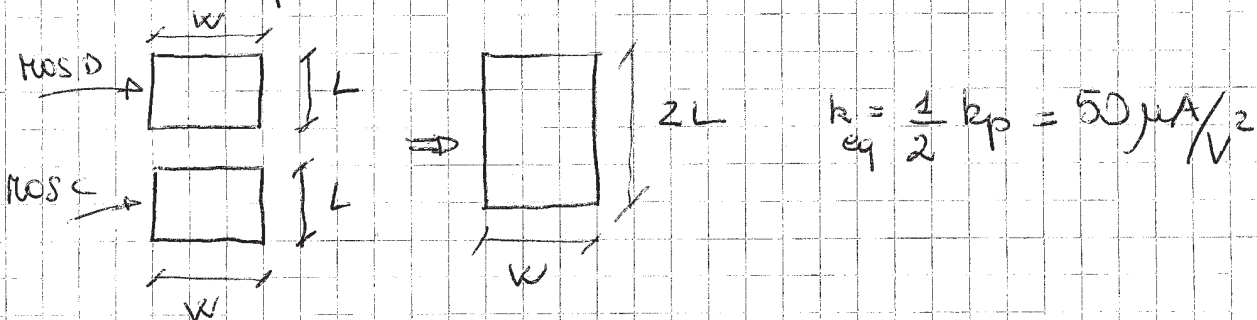
$$\tau = 2R_{on} \cdot C_L = 2 \cdot 1923 \Omega \cdot 4.7 \text{ pF} = 18.1 \text{ ns}$$

$$\Downarrow t_{pLH} = 0.69\tau = 12.5 \text{ ns}$$

② approssimazione MOS naturo



Il k_{eq} è dato dalla serie dei MOS c.e.D



$$I = k_{eq} (V_{DD} - V_T)^2 = 50 \mu\text{A}/\text{V}^2 (3.3\text{V} - 0.7\text{V})^2 = 338 \mu\text{A}$$

$$t_{PLH} = \frac{Q_{condens}}{I} = \frac{C_L \left(V_{DD} - \frac{V_{DD}}{2} \right)}{I} =$$

$$= \frac{4.7 \text{ pF} \times \frac{3.3 \text{ V}}{2}}{338 \mu\text{A}} = \boxed{22.9 \text{ ns}}$$

d) MINIMO TEMPO DI PROPAGAZIONE

dal carico della capacità di uscita può avvenire con le seguenti "resistenze equivalenti" al minimo:

$$- \left[(R_{onA} + R_{onB}) \parallel R_{onC} \right] + R_{onD} = \frac{2}{3} R_{onP} + R_{onP} = \frac{5}{3} R_{onP}$$

$$- R_{onC} + R_{onD} = 2 R_{onP}$$

la pancia più veloce si ha quando tutti gli NMOS sono accesi

$$- R_{onD} \parallel \left[R_{onC} + (R_{onA} \parallel R_{onB}) \right] =$$

$$= R_{onN} \parallel \left[R_{onN} + \left(\frac{R_{onN}}{2} \right) \right] =$$

$$= R_{onN} \parallel \frac{3}{2} R_{onN} = R_{onN} \left[\frac{3/2}{5/2} \right] = \frac{3}{5} R_{onN}$$

Il minimo tempo di propagazione si ha nella transizione di Volt da '1' a '0', con ingressi che vanno tutti a '1':

$$- \text{ohmico} : \tau = R_{on} \times C_L = \frac{3}{5} R_{onN} C_L = 2.2 \text{ ns}$$

$$R_{onN} = \left[2k_n (V_{GS} - V_t) \right]^{-1} = \left[2 \times 250 \mu\text{A/V}^2 (3.3\text{V} - 0.7\text{V}) \right]^{-1} = \left[1.3 \text{ mA/V} \right]^{-1}$$

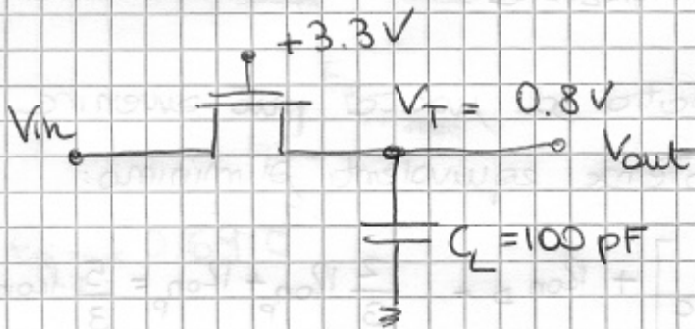
$$= 769 \Omega$$

$$\hookrightarrow \tau_p = 0.69 \tau = \boxed{1.5 \text{ ns}}$$

- MOS saturo: $k_{eq} = \frac{5}{3} k_n = \frac{5}{3} \cdot 250 \mu A/V^2 = 417 \mu A/V^2$

$$t_p = \frac{C_L (V_{DD} - V_{DD}/2)}{k_{eq} (V_{DD} - V_T)^2} = \frac{4.7 pF \cdot \frac{3.3V}{2}}{0.417 mA/V^2 (3.3V - 0.7V)^2} = 2.75 ms$$

ESERCIZIO 4



(a) $V_{in} = 0V$

Nel MOS non può passare corrente in continua perché c'è il condensatore C_L , come unico percorso verso massa.

Dal lato dell'ingresso il canale è formato poiché il gate è a $+3.3V$ ed il canale è $0V$.

↳ l'unico modo per non far passare corrente nel MOS è, cioè avere $V_{DS} = 0V$.

$$\boxed{V_{out} = V_{in} = 0V}$$

(b) $V_{in} = 3.3V$

Dal lato dell'ingresso il canale è in pinch-off, poiché $V_{GS} = 0$.

Il MOS deve essere spento \Rightarrow l'uscita si trova una tensione di soglia sotto il gate.

$$\boxed{V_{out} = 3.3V - V_T = 3.3V - 0.8V = +2.5V}$$

L'uscita non può arrivare a $+3.3V$ perché quando V_{out} è pari a $+2.5V$, il MOS si spegne e la capacità non si carica oltre.