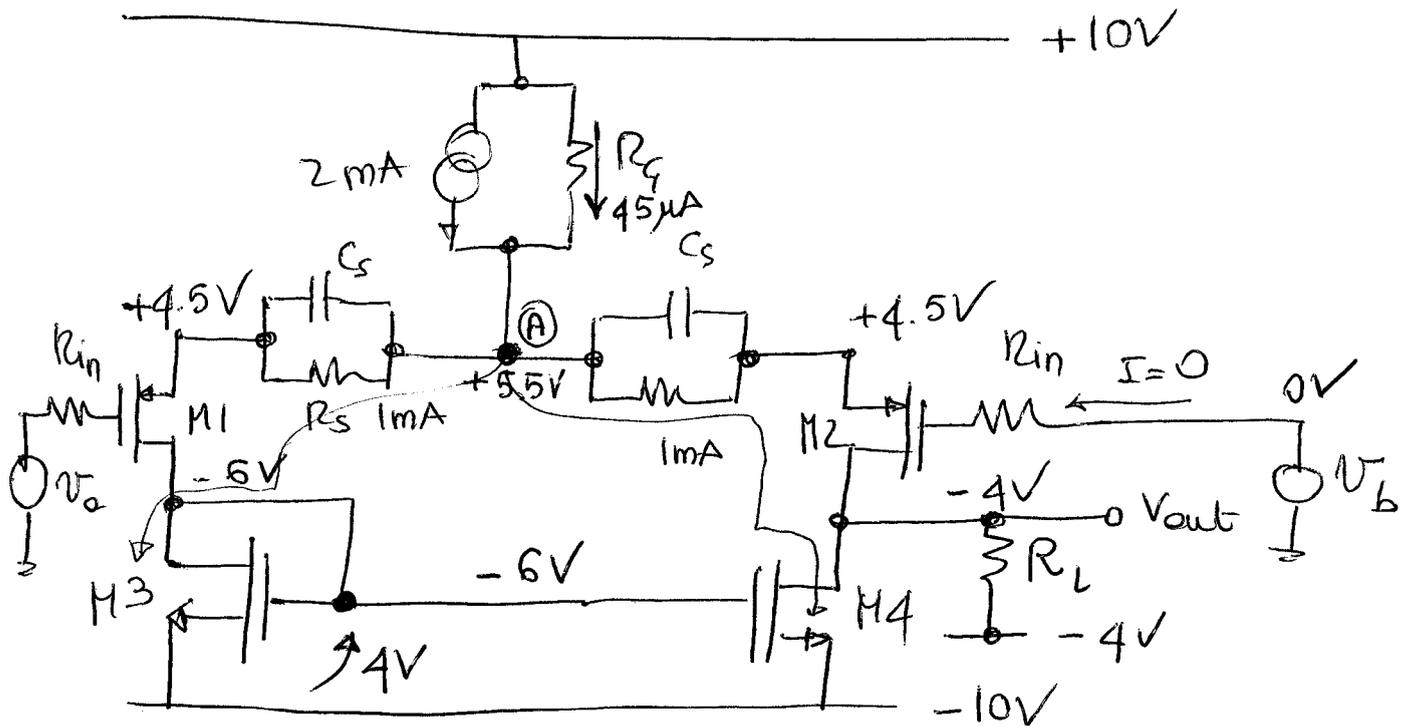


ESERCIZIO 1



⊙ Polarizzazione

Hp MOS saturi - A causa dello specchio $I_{R2} = 0 \Rightarrow V_{out} = -4V$
 $V_G = 0V$

$I_{D_{M1, M2}} = 1mA$ trascurando la corrente in R_q e supponendo lo stadio differenziale bilanciato.

$$V_{GS_{M1, M2}} = V_{TP} - \sqrt{\frac{I_D}{k_p}} = -2V - \sqrt{\frac{1mA}{20 \times 8\mu A/V^2}} = -4.5V$$

$$\hookrightarrow V_S = 0 - (-4.5V) = +4.5V$$

$$V_{R_S} = 1mA \times 1k\Omega = 1V \quad (\text{caduta sulle resistenze } R_S)$$

$$\hookrightarrow V_{(A)} = V_S + V_{R_S} = +4.5V + 1V = +5.5V$$

$$\hookrightarrow I_{R_q} = \frac{10V - V_{(A)}}{R_q} = \frac{10V - 5.5V}{100k\Omega} = 45\mu A \quad (2.25\% \text{ di } 2mA \hookrightarrow \text{trascurabile!})$$

$$V_{GS_A} = V_{TP} + \sqrt{\frac{I_D}{k_m}} = +2V + \sqrt{\frac{1mA}{5 \times 50\mu A/V^2}} = 4V$$

Tutti i MOSFET sono in saturazione

$$I_{D_{M1, M2}} = |2k_p (V_{GS} - V_{TP})| = 2 \times 8 \times 20\mu A/V^2 \times (4.5V - 2V) = 800\mu A/2$$

b) $G_{diff}|_{HF}$

$V_{out} = 2i_d * R_L$ per la presenza dello specchio
 $i_d = \frac{(V_a - V_b)}{\frac{1}{g_{mp}} + R_S + R_S + \frac{1}{g_{mp}}}$

$\hookrightarrow G_{diff}|_{HF} = \frac{V_{out}}{V_a - V_b} = \frac{2R_L}{\frac{2}{g_{mp}} + 2R_S} = \frac{g_m R_L}{1 + g_p R_S} = +4.4$

c) $G_{diff}|_{HF}$

R_S è by-passata dalla capacità C_S

$G_{diff}|_{HF} = \frac{2R_L}{2/g_{mp}} = \frac{10k}{1.25k} = +8$

d) Grazie alla presenza dello specchio di corrente (ideale!) e non idealità del generatore di corrente non pesa e $G_{diff} = 0$
 $\hookrightarrow CMRR = \infty$ sia a media che ad alta frequenza -

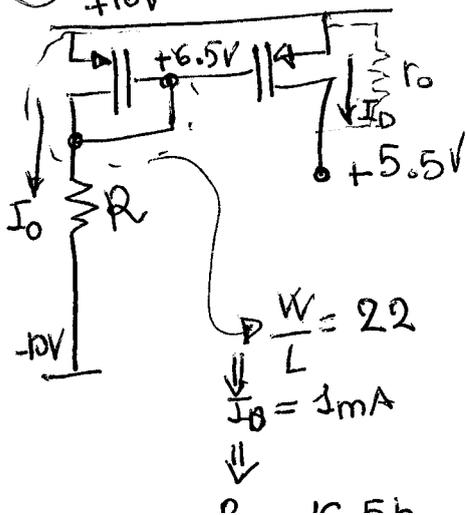
e) Le due capacità C_S sono dipendenti \rightarrow introducono polo su segnale differenziale

$\tau_p = \frac{C_S}{2} * (R_S || \frac{1}{g_{mp}}) * 2 = 47nF * (1k || 1.25k) = 26 \mu s$

$\hookrightarrow f_p = \frac{1}{2\pi \tau_p} = 6.1 kHz$

$Z_S = \frac{R_S}{1 + sC_S R_S} \rightarrow \infty$ se $s = -\frac{1}{C_S R_S} \Rightarrow$ le capacità C_S introducono anche uno zero con freq
 $f_z = \frac{1}{2\pi \tau_z} = \frac{1}{2\pi R_S C_S} = 3.4 MHz$

f) Posso realizzare uno specchio di corrente



$I_D = 2mA$

$V_{GS}|_{MAX} = 4.5V$ per garantire la saturazione del

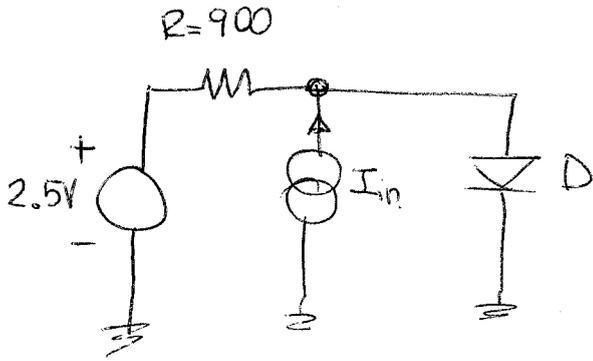
\hookrightarrow Scelgo $V_{GS} = 3.5V$

$\hookrightarrow I_D = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_p (V_{GS} - V_P)^2 \rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_p = \frac{I_D}{\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} (V_{GS} - V_P)^2}$

$= 44$

Per avere $r_o = 100k\Omega \Rightarrow V_A = I_D * r_o = 100k * 2mA = 200V$

ESERCIZIO 21

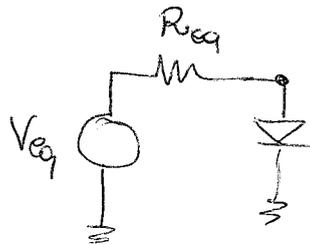


$$I_{in} = I_0 \sin(\omega t)$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 2 \text{ kHz}$$

$$I_0 = 5 \text{ mA}$$

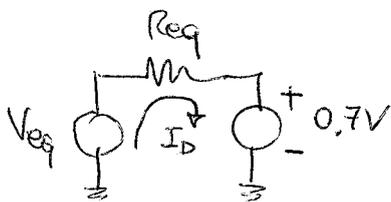
a) $I_{in} = +5 \text{ mA} \Rightarrow$



$$V_{eq} = 2.5 \text{ V} + 5 \text{ mA} \times 900 \Omega = 7 \text{ V}$$

$$R_{eq} = 900 \Omega$$

\hookrightarrow Dom

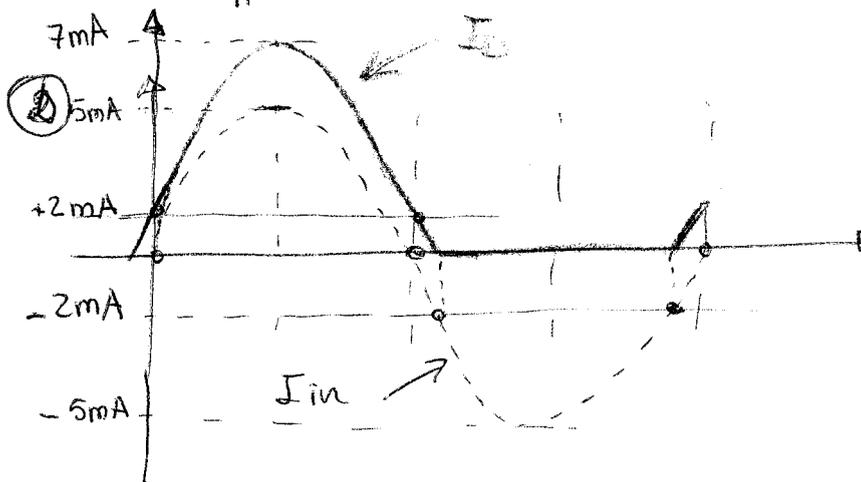


$$I_D = \frac{V_{eq} - 0.7 \text{ V}}{R_{eq}} = \frac{7 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{900} = 7 \text{ mA}$$

$$\hookrightarrow P_D = V_D \times I_D = 0.7 \text{ V} \times 7 \text{ mA} = 4.9 \text{ mW}$$

$$I_{in} = -5 \text{ mA} \Rightarrow V_{eq} = 2.5 \text{ V} - 5 \text{ mA} \times 900 \Omega = -2 \text{ V}$$

\hookrightarrow D off $\Rightarrow I_D = 0$ e $P_D = 0 \text{ W}$

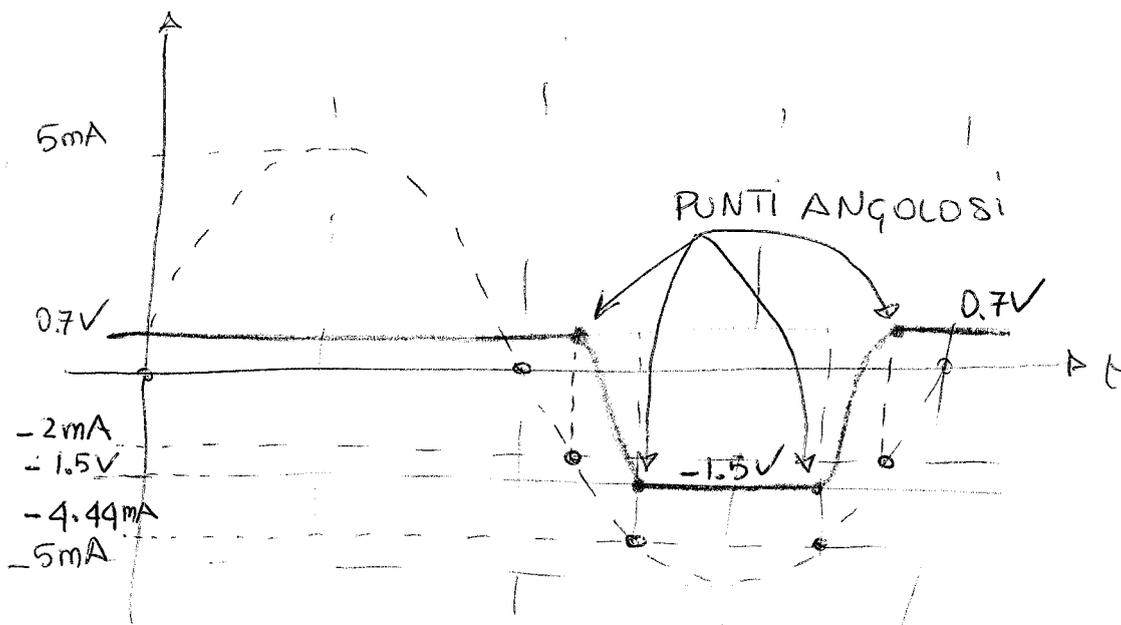


Quando $V_{eq} = +0.7 \text{ V} \Rightarrow$ D si accende

$$2.5 \text{ V} + I_{in} \times R = 0.7 \text{ V} \Rightarrow I_{in} = \frac{0.7 \text{ V} - 2.5 \text{ V}}{R} = -\frac{1.8 \text{ V}}{900}$$

c) da massima tensione inversa che il diodo vedrebbe si
 ... $I_{in} = -5 \text{ mA} \rightarrow V_{eq} = -2.5 \text{ V} - 5 \text{ mA} \times 900 \Omega$

maggiore della tensione di breakdown \Rightarrow il costo v_o in B

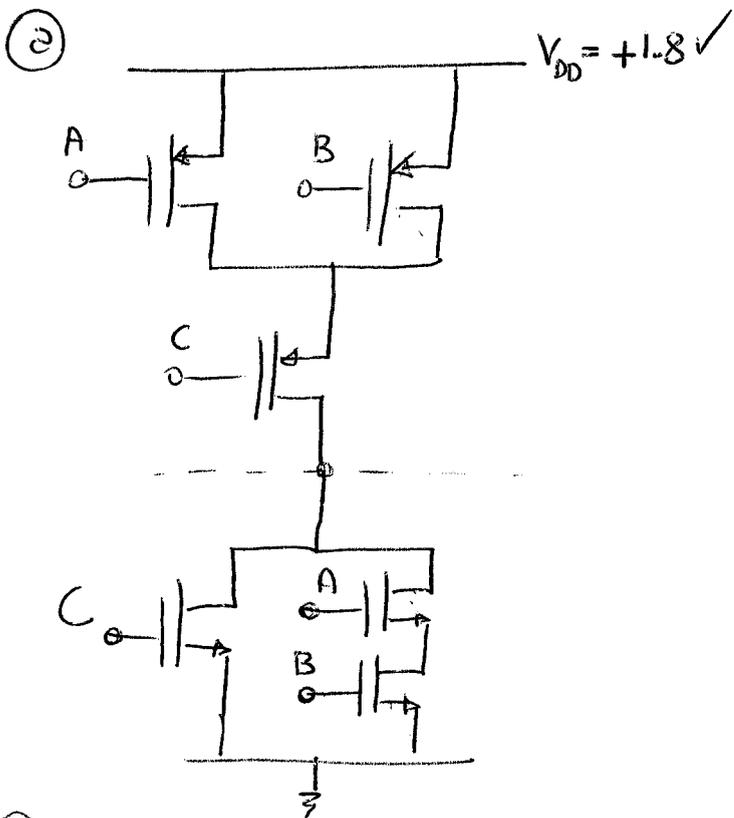


Calcoliamo per quale corrente v_o in breakdown:

$$V_{BQ} = V_{BD}$$

$$\Rightarrow 2.5V + I_{in} \times R = -1.5V$$

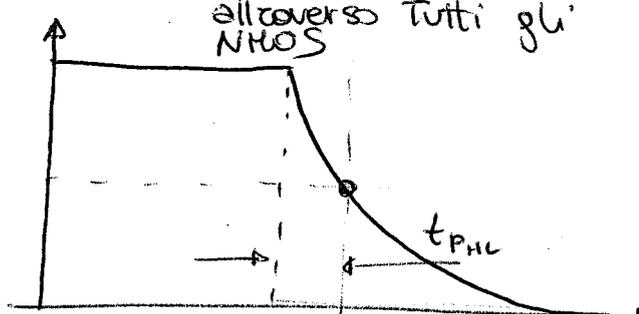
$$I_{in} = \frac{-1.5V - 2.5V}{900\Omega} = -\frac{4V}{900\Omega} = -4.44\text{ mA}$$



$$Y = f(A, B, C) = (\bar{A} + \bar{B}) \cdot \bar{C} = \overline{(A \cdot B) \cdot C} = \overline{(A \cdot B) + C}$$

③ $\left. \begin{matrix} A=0 \\ B=1 \\ C=0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow Y=1$
 da scarico avviene all'overshoot tutti gli NMOS

$\left. \begin{matrix} A=1 \\ B=1 \\ C=1 \end{matrix} \right\} \Rightarrow Y=0$



Approssimazione MOS saturo

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{eq} = \left(\frac{W}{2L}\right)_m + \left(\frac{W}{L}\right)_m = \frac{3}{2} \frac{W}{L} = 12$$

$$t_{PHL} = \frac{Q}{I_{sat_m}} = \frac{C_L \cdot V_{DD}/2}{k_m (V_{DD} - V_{Tm})^2} = \frac{C_L \cdot V_{DD}}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{DD} - V_{Tm})^2}$$

$$= \frac{1.4 \cdot 10^{-12} F \cdot 0.9 V}{12 \cdot 80 \mu A/V^2 \cdot (1.8 - 0.4)^2} = 0.67 ms$$

Approssimazione "ohmica"

$$R_{eq} = (R_{eqA} + R_{eqB}) \parallel R_{eqC} =$$

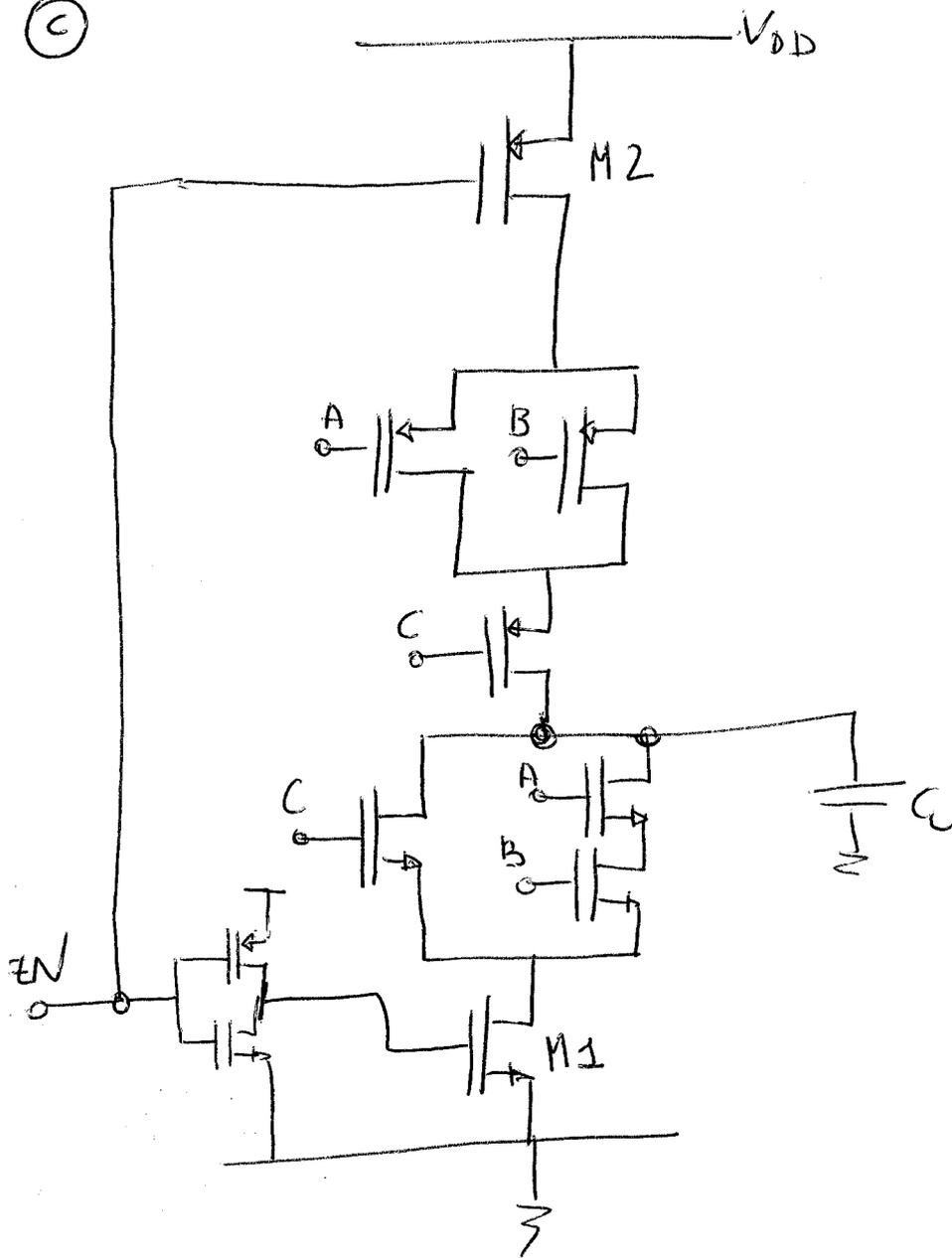
$$R_{eqA} = R_{eqB} = R_{eqC} = \left. \frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D} \right|_{V_{DS}=0} = \frac{1}{2k_m (V_{GS} - V_T)} = \frac{1}{2k_n (V_{DD} - V_{Tn})}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 80 \mu A/V^2 \cdot 8 \cdot (1.8 - 0.4)V} = 558 \Omega$$

$$= (1.8k + 1.8k) \parallel 1.8k = 558 \Omega \cdot \frac{2}{3} = 372 \Omega$$

$$\Downarrow t_{PHL} = \ln 2 \tau = 0.69 \tau = 0.69 \cdot R_{eq} \cdot C_L = 0.36 ms$$

©



Quando EN è alto \Rightarrow M_1 è aperto ed anche M_2 è aperto

\hookrightarrow indipendentemente da che cosa fanno gli ingressi, la capacità C_L vede un'impedenza infinita ai suoi capi e la tensione di uscita non commuta, poiché lo porta è disabilitato $\Rightarrow P_d = 0$

Quando EN è basso $\Rightarrow M_1$ e M_2 sono accesi:

quando $A=B=C=0 \Rightarrow Y=1$
 quando $A=B=C=1 \Rightarrow Y=0$ } \Rightarrow lo porta commuta

$$P_d = C_L \times V_{DD}^2 \times f_{ck} = 1.4 \text{ pF} \times (1.8 \text{ V})^2 \times 150 \text{ MHz} = 680 \mu\text{W}$$