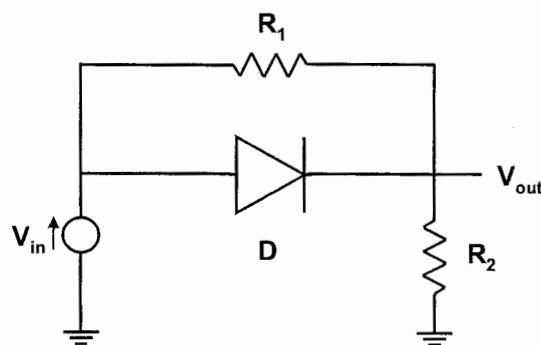


23 Novembre 2007

**Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...**

**Esercizio 1.** Si consideri il circuito in Fig.1, in cui  $R_1=R_2=1k\Omega$ ,  $V_\gamma=0.7V$  (tensione di innescio del diodo).

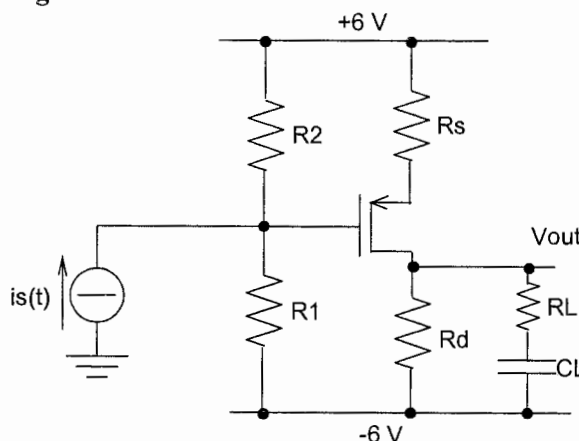
Fig.1



- Tracciare su un grafico quotato la caratteristica ingresso – uscita  $V_{in}/V_{out}$ .
- Tracciare su un grafico quotato l'andamento temporale della tensione  $V_{out}$  quando  $V_{in} = 10V \sin 2\pi ft$  ( $f=1kHz$ ).
- Come in b), ma assumendo per il diodo una tensione di breakdown  $V_{BD}=-4.5V$ . Quale e' il minimo valore di  $V_{BD}$  per cui il diodo non va in breakdown?
- Calcolare la potenza massima dissipata nelle due resistenze  $R_1$  e  $R_2$ .
- Calcolare la corrente di picco nel diodo.

**Esercizio 2** Si consideri il circuito in Fig. 2, dove  $R1=70k\Omega$ ,  $R2=50k\Omega$ ,  $R_s=2k\Omega$ ,  $R_d=2k\Omega$ ,  $R_L=0.1k\Omega$ ,  $C_L=1nF$ ,  $k_p=1.5mA/V^2$  e  $V_{tp}=-1V$ .

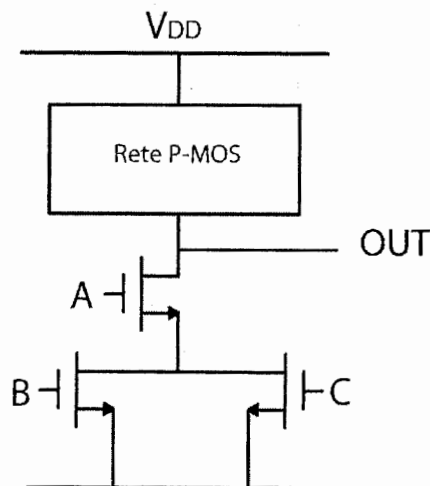
Fig.2



- Polarizzare il circuito.
- Determinare il guadagno di piccolo segnale  $v_{out}/i_s$  a bassa frequenza e ad alta frequenza.
- Sia  $i_s(t)=1\mu A \sin(2\pi ft)$  un segnale a bassa frequenza per il circuito. Disegnare il grafico quotato di  $V_{out}(t)$  (polarizzazione + segnale) e di  $i_s(t)$ .
- Calcolare la costante di tempo associata alla capacita'  $C_L$  e identificare la corrispondente frequenza critica.
- Il segnale del punto c) può essere considerato un "piccolo segnale"? Giustificare la risposta.

**Esercizio 3.** Si consideri il circuito in Fig. 3, dove  $V_{dd}=5V$ ,  $1/2\mu_n C_{ox}(W/L)_n = 1mA/V^2$ ,  $V_{tn}=1V$ ,  $V_{tp}=-1V$ ,  $\mu_n/\mu_p=2.5$ ,  $(W/L)_n=30$

Fig.3



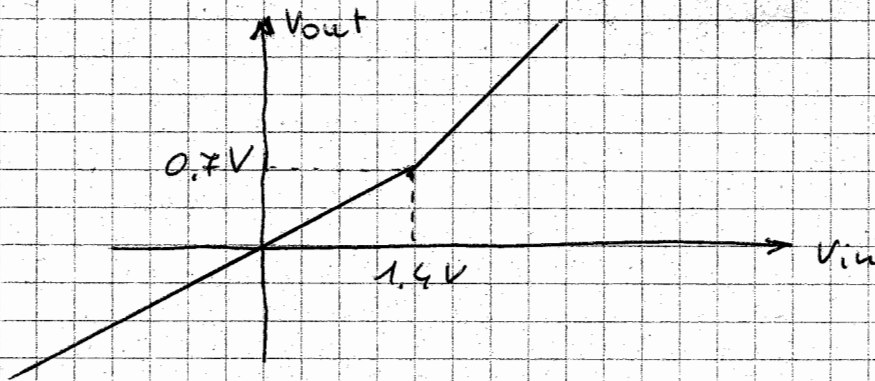
- Qual è la funzione logica svolta dal circuito?
- Completare il circuito C-MOS disegnando la rete p-MOS
- Calcolare il tempo di propagazione quando gli ingressi commutano da 000 a 111 e in uscita è connessa una capacita' di 1pF
- Dimensionare il W/L dei mos p (tutti uguali tra loro) per uguagliare i tempi delle commutazioni 000 -> 111 e 111 -> 000
- Stimare la massima potenza dinamica dissipata dalla porta logica.

Traccia soluzioni

1 a)

$$V_{out} = \frac{V_{in} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{in}}{2} \quad -\infty < V_{in} \leq 1.4 \text{ V} \quad \text{diodo spento}$$

$$V_{out} = V_{in} - V_D \quad 1.4 \text{ V} \leq V_{in} < +\infty \quad \text{diodo acceso}$$

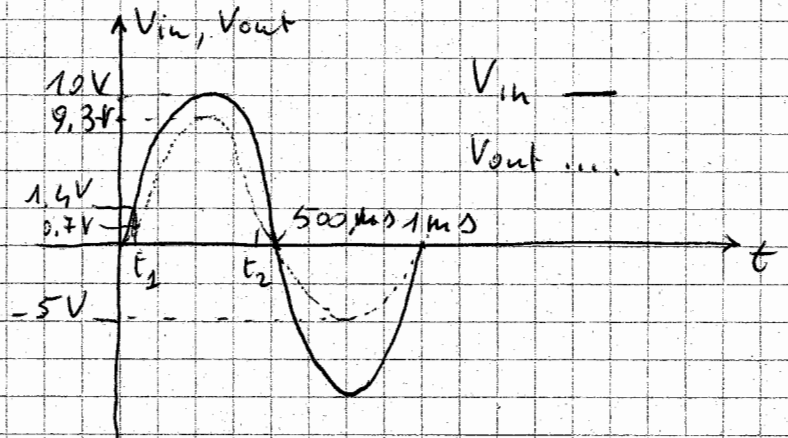


1 b)

$$1.4 \text{ V} = 10 \text{ V} \sin 2\pi f t_1$$

$$t_1 = \frac{1}{2\pi f} \arcsin 0.14 = 22.3 \mu\text{s}$$

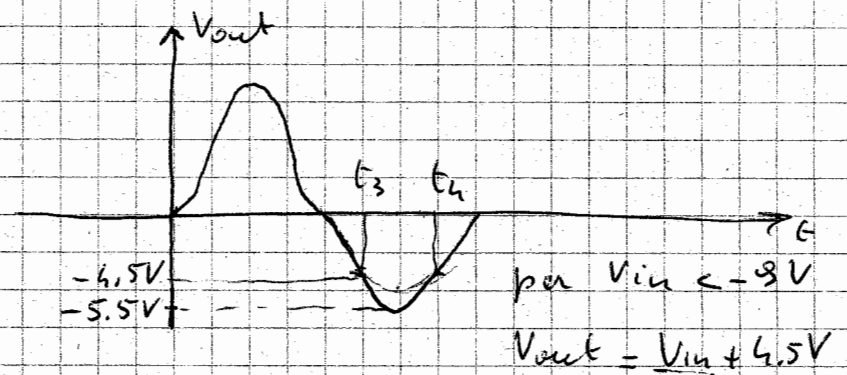
$$t_2 = 500 - 22.3 = 477.7 \mu\text{s}$$



$$1 c) \quad t_3 = \frac{1}{2\pi f} \arcsin(-0.9)$$

$$= 678 \mu\text{s}$$

$$t_4 = 827 \mu\text{s}$$



La max tensione inversa applicata al diodo è  $-5 \text{ V}$ , quindi il minimo valore di  $V_{BD}$  per cui il diodo non va in breakdown è  $|V_{BD}| > |5 \text{ V}|$  ovvero  $V_{BD} < -5 \text{ V}$ .

$$1d) P_{MAX R_1} = \frac{V_{R_1}^2}{R_1} = (\text{newa BD}) (-5V)^2 / R_1 = 25 \text{ mW} \quad 2/4$$

$$= (\text{con BD}) (V_{BD}) / R_1 = 20.25 \text{ mW}$$

$$P_{MAX R_2} = \frac{V_{R_2 \text{ max}}^2}{R_2} = \frac{(9.3V)^2}{R_2} = 86.5 \text{ mW}$$

$$1e) I_{picco} + \frac{V_D}{R_1} = \frac{V_{out \text{ max}}}{R_2} \quad I_{picco} = \frac{9.3}{10^3} - \frac{0.7}{10^3} = 8.6 \text{ mA}$$

$$2a) V_G = -6V + \frac{12V}{R_1 + R_2} \cdot R_1 = 1V$$

$$\begin{cases} I_D = K_p (V_{OD})^2 = K_p (V_{SG} - |V_{tp}|)^2 \\ I_D = \frac{6V - V_S}{R} \end{cases} \quad V_{SG} = V_S - V_G$$

Dal sistema si ottiene una eq di 2° grado in  $I_D$  oppure in  $V_S$

Risolvendo rispetto a  $I_D$ :  $I_D = \begin{cases} 2.6 \text{ mA} & \text{da scartare in quanto } V_S = 0.8V \\ 1.5 \text{ mA} & \checkmark \end{cases}$  che è  $< V_G$  (pMos off)

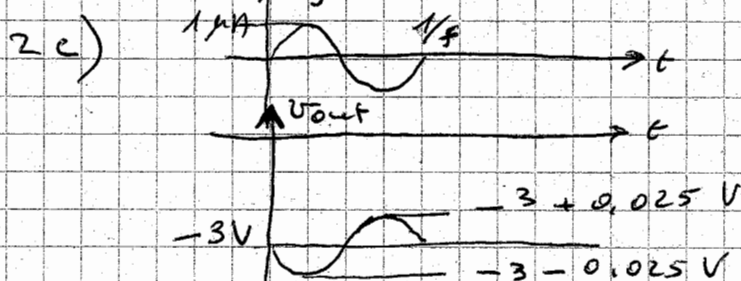
Risolvendo rispetto a  $V_S$ :  $V_S = \begin{cases} 0.66V & \text{da scartare in quanto } < V_G \\ 3V & \checkmark \end{cases}$

$$V_D = -6V + I_D \cdot R_D = -3V \Rightarrow \text{pMos saturo}$$

$$g_m = 2K V_{OD} = 3 \text{ mA/V} \rightarrow \frac{1}{g_m} = 333 \Omega$$

$$2b) \left. \frac{V_{out}}{i_D} \right|_{LF} = -R_1 // R_2 \cdot \frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S} = 25 \text{ K}\Omega$$

$$\left. \frac{V_{out}}{i_D} \right|_{HF} = -R_1 // R_2 \cdot \frac{R_D // R_L}{\frac{1}{g_m} + R_S} = 1.18 \text{ K}\Omega$$



$$2d) \tau = (R_d + R_L) C_L = 2.1 \mu s$$

$$f_{critica} = \frac{1}{2\pi\tau} = 75.8 \text{ kHz}$$

$$2e) U_g = i_s (R_1 // R_2) \quad U_s = U_g \frac{R_s}{\frac{1}{g_m} + R_s}$$

$$U_{gs} = U_g - U_s = i_s R_1 // R_2 \left(1 - \frac{R_s}{\frac{1}{g_m} + R_s}\right) = 4.16 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} = 4.16 \text{ mV}$$

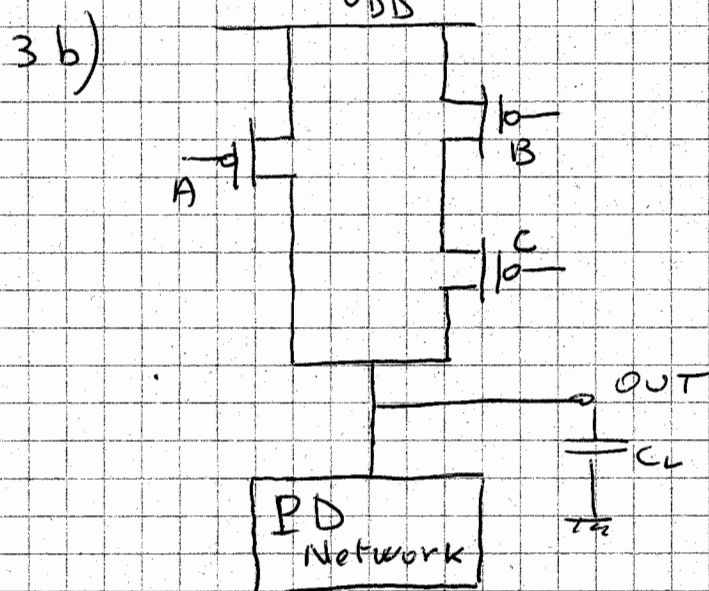
Condizione di piccolo segnale:

$$U_{gs} \ll 2 V_{DS} = 2 \cdot (-1V)$$

da verificata!

$$3a) \bar{Y} = A \cdot (B + C) \quad Y = \overline{A \cdot (B + C)} = \bar{A} + \overline{(B + C)} = \bar{A} + \bar{B} \cdot \bar{C} \text{ da}$$

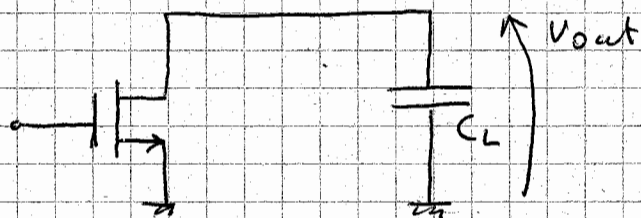
cui la rete di pull-up



3c) Lavare la rete nMOS di pull-down. Calcoliamo il  $K_{eqn}$  delle rete di pull-down.

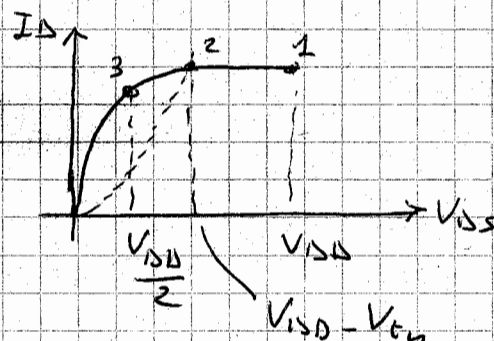
$$K_{BC} = K_B + K_C = 2 K_n = 2 \text{ mA/V}^2$$

$$K_{eqn} = \frac{K_A \cdot K_{BC}}{K_A + K_{BC}} = \frac{2 K_n^2}{3 K_n} = \frac{2}{3} K_n = 0.66 \text{ mA/V}^2$$



$$V_{out}(0) = V_{DD}$$

$$V_{out}(t_{prop}) = \frac{V_{DD}}{2}$$



$C_L$  si scarica linearmente nel tratto  $1 \rightarrow 2$

con corrente  $I_D = K_{eq} (V_{DD} - V_{th})^2$

(Mos saturo) ( $\Delta t = t_1$ )

Poi la scarica continua con il Mos in

zona triodo nel tratto  $2 \rightarrow 3$ . In quest. tratto approssimiamo

il funzionamento del MOS con una  $R_{eq} = \frac{V_{DD} - V_{th}}{I_D} (\Delta t = t_2)$

Calcoliamo i 2 intervalli di tempo

$$I_D t_1 = V_{th} \cdot C_L \quad t_1 = \frac{V_{th} \cdot C_L}{I_D} = 94 \text{ ps}$$

La scarica da 4V a 2.5V sarà di tipo exp, con  $\tau = R_{eq} \cdot C_L$

~~done~~  $R_{eq} = \frac{4V}{10.67 \text{ mA}} = 375 \Omega$  Allora  $\tau = 375 \text{ ps}$

Ricaviamo  $t_2$  da  $\frac{V_{DD}}{2} = (V_{DD} - V_{th}) \cdot e^{-t_2/\tau} \Rightarrow t_2 = 175 \text{ ps}$

$$t_{prop} = t_1 + t_2 = 270 \text{ ps}$$

3d) Occorre che  $K_{eqn} = K_{eqp}$  per avere  $t_{prop} M \rightarrow L$  e  $L \rightarrow M$

uguali. Ma  $K_{eqp} = K_{pA} + K_{pBC} = \frac{3}{2} K_p$

Per cui, imponendo

$$\frac{2}{3} K_n = \frac{3}{2} K_p \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_p = \frac{4}{9} \frac{\mu_n}{\mu_p} \left(\frac{W}{L}\right)_n$$

si ricava  $\left(\frac{W}{L}\right)_p \cong 33.3$

3e)  $P_{din_{max}} = C_L V_{DD}^2 \cdot f_{max}$  dove  $f_{max} \leq \frac{1}{2 t_{prop}} = 1.85 \text{ GHz}$

per cui  $P_{din_{max}} = 46.3 \text{ mW}$