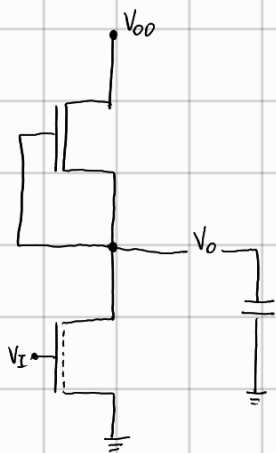


A) LIVELLI LOGICI



$$V_{DD} = 4V$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_S = \frac{5}{1}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_L = \frac{1}{3}$$

$$V_{TNS0} = 1V$$

$$V_{TNL0} = -2V$$

$$\theta = 0.5V^{\frac{1}{2}}$$

$$2\phi = 0.5V$$

$$K_n' = 15 \text{ MA/V}^2$$

$$C_L = 1.5 \text{ pF}$$

Analizziamo a simulamento: Canale sempre aperto.

Se mosfet S spento (V_{GS} in ingresso), condensatore si

carica fino a che $V_{DS} > 0 \Rightarrow V_{OH} = V_{DD} = 4V$

Per calcolare uscita bassa, pongo V_{DD} in ingresso.

Hp1: $V_{GS} - V_{TNS0} = V_{DS} = V_O$. Lavoriamo in triodo.

Hp2: $V_{GS} = 0$ $V_{DSL} = V_{DD} - V_{OL}$, alla rispetto a $-V_{TNL}$.

Ipotesi che lavoriamo in saturazione.

Hp3: Trascuriamo effetto body su MOSFET L per

l'uscita, che sarà bassa. Verifico dopo.

$$1) I_D = K_n' \left(\frac{W}{L}\right)_S (V_{OH} - V_{TNS0} - \frac{V_{OL}}{2}) V_{OL}$$

$$2) I_D = \frac{K_n'}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_L (-V_{TNL})^2$$

$$\Rightarrow K_n' \left(\frac{W}{L}\right)_S (V_{OH} - V_{TNS0} - \frac{V_{OL}}{2}) V_{OL} = \frac{K_n'}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_L (-V_{TNL})^2$$

$$5(4 - 1 - \frac{V_{OL}}{2}) V_{OL} = \frac{1}{2} \cdot (-2)^2$$

$$30(3 - \frac{V_{OL}}{2}) V_{OL} = 4$$

$$90V_{OL} - 15V_{OL}^2 = 4$$

$$15V_{OL}^2 - 90V_{OL} + 4 = 0$$

$$V_{OL} = \begin{cases} 5.95 V & \text{Non accettabile: } V_{OL} > V_{DD} \\ 0.045 V & \text{Accettabile.} \end{cases}$$

$$3) V_{inL} = V_{in} + \gamma(\sqrt{2\phi_F + V_{OL}} - \sqrt{2\phi_F}) = -1.98 V \Rightarrow \text{Hp di trascurabilità ammesso.}$$

$$2) -V_{inL} \geq V_{DD} - V_{OL} ? \text{ No. Hp di saturaz. verificata.}$$

$$1) V_{OH} - V_{inSO} \geq V_{OL} ? \text{ SÌ, Hp di livello verificata.}$$

② POTENZA STATICA MEDIA/MASSIMA

La corrente I_D con ingresso alto è:

$$1) I_D = K_n' \left(\frac{W}{L} \right)_S (V_{OH} - V_{inSO} - \frac{V_{OL}}{2}) V_{OL}$$

$$I_D = 10^{-5} A$$

$$2) I_D = K_n' \left(\frac{W}{L} \right)_L (-V_{inL})^2 = 9.8 \cdot 10^{-6} A$$

} Vanno bene entrambe

$$P_{MEDIA} = \frac{I_D V_{DD}}{2} = 20 \mu W \quad \text{Perché con ingresso basso corrente } = 0.$$

↳ DUTY CYCLE 50%

$$P_{MAX} = I_D V_{DD} = 40 \mu W \quad \text{PORTA SEMPRE ACCESA}$$

③ TEMPO TRANSIZIONE L→H

Hp: Trascurare effetto body su L

$$V_{OL} \rightarrow \frac{1}{2} V_{OH}$$

Cioè da 0.045V a 2V.

Se $V_O = 2V$, allora verifica condiz. di lavoro dei mosfet.

$$-V_{inSO} \geq V_{DD} - V_O ? \quad 2 \geq 2 \quad \text{SÌ, Siamo in saturazione.}$$

$$I_D = K_n' \left(\frac{W}{L} \right)_L (-V_{inLO})^2 = 10^{-5} A$$

$$\text{Ma so che } I_D = C \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{C \Delta V}{I_D} = 5.93 \cdot 10^{-7} s$$

① RAPPORTO POTENZA DINAMICA / POTENZA STATICA MAX

$$f = 1 \text{ KHz}$$

$$P_{\text{din}} = C V_{\text{DD}}^2 f = 2.4 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

$$K = \frac{P_{\text{din}}}{P_{\text{stat}}} = 0.0006$$

② ENERGIA DISSIPATA SUL MOS CON $V_{\text{OL}} \rightarrow V_{\text{OH}}$

Hp: trascurare effetto body su L

$$V_{\text{OL}} \rightarrow \frac{1}{2} V_{\text{OH}} \Rightarrow 0.045 \text{ V} \rightarrow 2 \text{ V}$$

Switch lavora sempre in knodo (Verificato prima ①)

Load sempre in saturazione.

$$I_D = 10^{-5} \text{ A (calcolata in ①)}$$

$$\Delta t = 5.93 \cdot 10^{-7} \text{ s (calcolata in ①)}$$

Energia erogata da batteria?

$$E_B = V_{\text{DD}} I_D \Delta t = 2.37 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Energia immagazz. sul condensatore?

$$E_C = \frac{1}{2} C \Delta V^2 = 1.17 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

\Rightarrow Energia dissipata sul MOS:

$$E_{\text{mos}} = E_B - E_C = 1.2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

③ DATI I LIVELLI LOGICI, TROVARE RAPPORTI

$$V_{\text{OL}} = 0.2 \text{ V} \quad \text{duty cycle} = 50\%$$

$$P_{\text{MED}} = 0.4 \text{ mW} \quad V_{\text{DD}} = 3.5 \text{ V} \quad \gamma = 0.5 \text{ V}^{\frac{1}{2}} \quad 2\phi = 0.6 \text{ V} \quad K_m' = 25 \mu\text{A/V}^2$$

Con V_{OH} in ingresso, $V_{\text{OH}} - V_{\text{TN,20}} \geq V_{\text{OL}} \Rightarrow S$ lavora in knodo.

Con V_{OH} in ingresso, $-V_{\text{TN,L}} \geq V_{\text{DD}} - V_{\text{OL}}$? Verifco.

$$V_{TNL} = V_{TNL0} + \gamma (\sqrt{2\phi + V_{02}} - \sqrt{2\phi}) = -1.94 \text{ V}$$

Il mosfet è in saturazione

$$P_{MED} = \frac{V_{DD} I_D}{2} \Rightarrow I_D = \frac{2 P_{MED}}{V_{DD}} = 0.229 \text{ mA}$$

$$I_D = \frac{K_n'}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_L (-V_{TNL})^2 \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_L = \frac{4.9}{1}$$

$$I_D = K_n' \left(\frac{W}{L}\right)_S (V_{OH} - V_{TNL0} - \frac{V_{OL}}{2}) I_{OL} \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_S = \frac{19}{1}$$

G) CALCOLARE OCCUPAZIONE DI AREA

$$f = 3 \text{ MHz}$$

$$A = (f^2 \cdot W_L \cdot L_L) + (f^2 \cdot W_S \cdot L_S) = 2.15 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$$

H) POTENZA DISSIPATA SUI MOS (L-H DA VOL A $\frac{1}{2} V_{OH}$)

Hp: trascurare effetto substrate

20 ottobre 2021 relegum

$$C = 1.5 \text{ pF}$$

$$P_{DISSMOS} = P_{GENB} - P_{ASSC}$$

↳ Potenza generata da batteria

↳ Potenza assorbita da condensatore

$I_D = 10 \text{ mA}$ da punto C) (Per C), Load lavora sempre in saturazione

$$P_{GENB} = V_{DD} I_D = 40 \text{ mW}$$

$$P_{ASSC} = \frac{E_{ASSC}}{\Delta t}, \text{ dove } \Delta t = \frac{C \Delta V}{I_D} = 5.93 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$E_{ASSC} = \frac{1}{2} C \Delta V^2 = 2.966 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

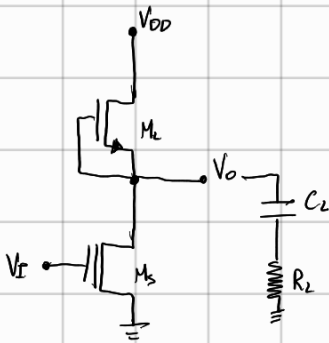
$$P_{ASSC} = 5 \text{ mW} \Rightarrow P_{DISSMOS} = P_{GENB} - P_{ASSC} = 35 \text{ mW}$$

① VARIAZ. DI ENERGIA IMMAGAZZINATA NELLA CAPACITÀ DI CARICO DURANTE LA TRANSIZ. H-L

$$C_L = 1.5 \text{ pF}$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} C_L V_{OH}^2 - \frac{1}{2} C_L V_{OL}^2 = \frac{1}{2} C_L (V_{OH}^2 - V_{OL}^2)$$

② ENERGIA DISSIPATA SU RESISTENZA IN SERIE



$$V_{DD} = 4V$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_L = \frac{1}{3} \quad \left(\frac{W}{L}\right)_S = \frac{5}{1}$$

$$V_{TNL0} = 1V$$

$$V_{TNL0} = -2V$$

$$\gamma = 0.5 V^{1/2}$$

$$2\phi = 0.6V \quad K_N' = 25 \mu A/V^2$$

$$C_L = 1 \text{ pF} \quad R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

3) Energia dissipata sulla R_L da V_{OL} a $\frac{1}{2} V_{OH}$

$$\frac{1}{2} V_{OH} = 2V$$

$-V_{TN} \geq V_{DS}$? Saremo uguali lavoro in saturazione durante la transiz.
MOSFET S interdetto.

$$I_D = \frac{K_N'}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_L (-V_{TN})^2 = 16.7 \mu A$$

$$\Delta t = \frac{C \Delta V}{I_D} = 1.17 \cdot 10^{-7} s$$

$$E_{RES} = R_L I_D^2 \Delta t = 3.26 \cdot 10^{-14} W$$