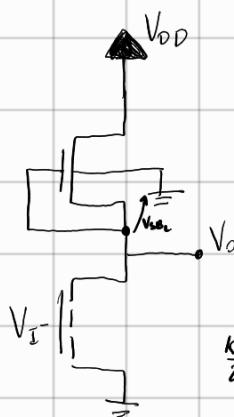


ESERCIZIO 1 (CARICO A SVUOTAMENTO)



$$V_{DD} = 5V$$

$$V_{TN} = 1V$$

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

$$\left(\frac{W}{L}\right)_S = \frac{3}{1} \quad \left(\frac{W}{L}\right)_L = \frac{1}{2}$$

$$F = 1.5 \mu m$$

$$K_n' = 20 \frac{A}{V^2}$$

$$\gamma = 0.5V$$

$$2\phi = 0.6V$$

PUNTO 1: Trovare V_{OL} e V_{OH} .

Parto da V_{OH} . Ho V_{OL} in ingresso \rightarrow MOSFET S SPENSO.

$$V_I = V_{OL} \Rightarrow V_{OH} = V_{DD}$$

Now: Trovare V_{OL} con V_{OH} in ingresso.

Mosfet S acceso.

In che regione di lavoro?

$$V_{GS_S} = V_{OH} \quad V_{GS_L} = 0 \text{ circa circuito}$$

$$V_{GS_S} - V_T > V_{OS_S} ?$$

$$\uparrow V_{OH} - V_T \quad \uparrow V_{OL} \rightarrow \text{Valore presumibilmente piccolo.}$$

$\hookrightarrow 4V >$ valore piccolo. Sarà inferiore e lo dico per Hp. Regione di lavoro

Ma per il MOSFET L?

$$V_{GS} = 0 \quad V_{TN_L} = -2V$$

$$2V > V_{OS_L} ? \quad \text{Dove } V_{OS_L} = V_{DD} - V_O = \text{grande}$$

$$V_{OS_L} > 2V \text{ per Hp.} \quad \uparrow \text{Piccola}$$

Lo verificheremo.

MOS_L SATURAZIONE

Uguagliare le correnti del transistore. Sono n.m. simili

$$I_{D_S} = K_m \left(\frac{W}{L} \right)_S \left(V_{GS_S} - V_{TN_S} - \frac{V_{DS_S}}{2} \right) V_{DS_S}$$

$$I_{D_L} = \frac{K_m}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_L \left(V_{GS_L} - V_{TN_L} \right)^2$$

(Hyp: Trascurare effetto substrato V_{SS})

↳ Se V_o suff. piccola, effetto di substrato trascurabile

$$I_{D_S} = I_{D_L}$$

$$K_m \left(\frac{W}{L} \right)_S \left(V_{OH} - V_{TN_S} - \frac{V_{OL}}{2} \right) V_{OL} = \frac{K_m}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_L V_{TN_L}^2$$

Risolvere e trovi:

$$3 \left(5 - \frac{V_{OL}}{2} \right) V_{OL} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} 2^2$$

$$12 V_{OL} - 3 \frac{V_{OL}^2}{2} = 1$$

$$3V_{OL}^2 - 24V_{OL} + 2 = 0$$

$$V_{OL} = \frac{24 \pm \sqrt{144 - 6}}{3} \approx 7.9 \text{ V}$$

0.084 V

$$V_{OH} = 5 \text{ V}$$

$$V_{OL} = 0.08 \text{ V}$$

Non accettabile perché $> V_{DD}$ (Modello è passivo, non ci può essere uscita al di fuori del range $[0, V_{DD}]$)

Hyp: V_{OL} piccole: trascuriamo e limitiamo in quelle regioni. Verifica.

MOSFETs:

$$V_{GS_S} - V_{TN_S} > V_{SS_S} ?$$

$5 - 1 > 0.08$ Verificata. Hyp corretta.

Se avessi fatto ipotesi sbagliata avrei avuto assurdo.

VERIFICO TENSIONE DI SOGLIA

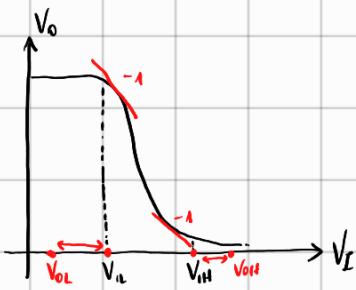
$$V_{TN_L} = V_{TN_L} + \gamma \left(\sqrt{V_{SB_L} + 2\phi} - \sqrt{2\phi} \right) = V_{SB_L} = V_0 ! \quad E \quad V_0 = V_{OL} \quad \text{perché abbiamo } V_{OH} \text{ in input}$$

$$= -2V + 0.5 \left(\sqrt{0.08 + 0.6} - \sqrt{0.6} \right) =$$

$$= -1.97 \text{ V}$$

Errore di 0.03 V, trascurabile. Approssimazione accettabile

PUNTO 2: Calcolo margine di rumore



$$NM_L = V_{IL} - V_{OL}$$

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH}$$

Calcolati a partire derivata

Usiamo le formule

$$V_{IL} = \frac{V_{INs} - V_{INL}}{\sqrt{K_R^2 + K_R}}$$

$$\text{Con } K_R = \frac{K_S}{K_e} = \frac{K_n'(\frac{V}{I})_s}{K_n'(\frac{V}{I})_e} = 6$$

V_{INL} va trovata con la procedura iterativa.

Punto da valore iniziale e corraggio.

Primo valore di V_{INL} lo prendo come V_{OL} , torno più vicina che mi aspetto

#	V_o	V_{INL}	V_o^*	V_{IL}
0	5	-1,2	4,92	1,18
1	4,92	-1,21	4,91	1,19
2	4,91	-1,21	4,91	1,19

$$V_o^* = V_{O0} + V_{INL} + \sqrt{V_{INL}^2 - K_R (V_{IL} - V_{INs})^2}$$

$$V_{INL} = V_{IN0} + \gamma (\sqrt{V_o^* + 2\phi} - \sqrt{2\phi})$$

FORMULE DA USARE

Quindi $V_{IL} = 1,19 \text{ V}$

Ora calcolo V_{IH}

$$V_{IH} = V_{TNS} - \frac{2V_{NL}}{\sqrt{3K_R}}$$

$$V_o^* = -\frac{V_{NL}}{\sqrt{3K_R}}$$

$$V_{TNS} = V_{TNS0} + \gamma \left(\sqrt{V_o^* + 2\phi_r} - \sqrt{2\phi_r} \right)$$

#	V_o	V_{NL}	V_o^*	V_{IH}
0	0	-2	0,47	1,94
1	0,47	-1,87	0,44	1,88
2	0,44	-1,88	0,44	1,88

Mi interessa che le due siano uguali

V_o rimanda più volte che posso immagazzinare: 0.

V_{NL} può cambiare. Basta così, perché V_o^* è diventato uguale, se ripetessi lo stesso ingresso

$$V_{IH} = 1,88V$$

$$NM_H = 5 - 1,88 = 3,12V$$

$$NM_L = 1,19 - 0,08 = 1,11V$$

PUNTO 3: Calcolo dell'area

$$A = \left[(WF)(LF) \right]_L + \left[(WF)(L \cdot F) \right]_S = \left[3 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1,5 \right] + \left[1,5 \cdot 2 \cdot 1,5 \right] = 11,25 \text{ mm}^2$$

ESERCIZIO 2



$$V_{DD} = 4V$$

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

$$\left(\frac{W}{L}\right)_L = \frac{1}{2}$$

$$V_{TO} = 1V$$

$$\gamma = 0.6V$$

$$2\Phi_F = 0.7V$$

$$K_n' = 25 \mu A/V^2$$

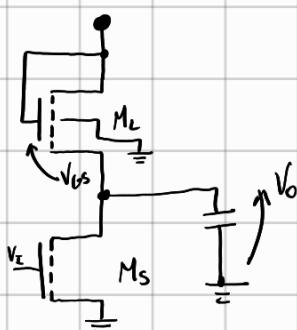
M_L o è spento o è in saturazione.

$$V_{GS_L} < V_{GS_c} - V_{IN_L} \quad \text{Ma, Sempre in saturazione}$$

Punto 1: Livelli logici.

$$V_I = V_{OL} \quad V_{OH}?$$

↑ Mosfet S spento.



Condensatore comincia a carica. Fino a che Valore?

$$V_O + V_{GS} = V_{DD} \Rightarrow V_{GS} = V_{DD} - V_O$$

\uparrow Fissa \downarrow Sta salendo,
 Scende

Ma quando V_{GS} arriva alla tensione di soglia del transistor si spegne.

$$V_{GS} \rightarrow V_{TN_L} \quad (\text{Dobbiamo tenere a metà dell'effetto substrato})$$

$$\Rightarrow V_{TN_L} = V_{DD} - V_{OH} \Rightarrow$$

\Rightarrow

$$V_{OH} = V_{DD} - V_{TN_L}$$

$$V_{TN_L} = V_{T_{i0}} + \gamma \left(\sqrt{V_{BS} + 2\phi_F} - \sqrt{2\phi_F} \right)$$

$\uparrow V_0!$ - Vale V_{OH} : Tensione di segnale reale con uscita alta

Quando ho un sistema di equazioni!

$$\begin{cases} V_{OH} = V_{DD} - V_{TN_L} \\ V_{TN_L} = V_{T_{i0}} + \gamma \left(\sqrt{V_{BS} + 2\phi_F} - \sqrt{2\phi_F} \right) \end{cases}$$

$$V_{OH} = V_{DD} - \left(V_{T_{i0}} + \gamma \left(\sqrt{V_{OH} + 2\phi_F} - \sqrt{2\phi_F} \right) \right)$$

$$\gamma \sqrt{V_{OH} + 2\phi_F} = \underbrace{V_{DD} - V_{T_{i0}} + \gamma \sqrt{2\phi_F}}_{\text{Raggruppo } \alpha} - V_{OH}$$

$$\rightarrow \gamma^2 V_{OH} + \gamma^2 2\phi_F = \alpha^2 + V_{OH}^2 - 2\alpha V_{OH} \quad (\text{Avremo 2 risultati}, 1 \text{ da scartare})$$

$$V_{OH}^2 - 7,36 V_{OH} + 12 = 0$$

$$V_{OH} = \frac{7,36 \pm \sqrt{617}}{2} = \begin{cases} 4,9V & \rightarrow \text{Al di fuori del range } [0,4] \text{ da scartare} \\ 2,4V & \Rightarrow \text{Dovranno uscire } V_{OH}. \end{cases}$$

NOTA: $V_{OH} > V_{DD} - V_{T_{i0}}$ da scartare: La $V_{OH} = V_{DD} - V_{TN_L}$, ma V_{TN_L} è sicuramente più grande di $V_{T_{i0}}$.

Calcoliamo V_{OL}

\Rightarrow Applico V_{OH} come input

$$V_0 = V_{OL} = ?$$

1) Regioni di funzionamento:

MOSFET L è acceso (era acceso con V_{OH} alto, ora ho V_{OL} basso) **È ipotesi**

MOSFET S è in tracollo: $V_{GSs} - V_{TNs} > V_{DSs}$

$$V_{OH} - V_{TNs} > V_{OL}$$

\uparrow grande \uparrow piccolo

IPOTESI che verificheremo

- $I_{D_L} = I_{DS}$ effetto substrato

$$\frac{1}{2} K'_0 \left(\frac{W}{L} \right)_L \left(V_{GS_L} - V_{TN_L} \right)^2 = K'_0 \left(\frac{W}{L} \right)_S \left(V_{GS_S} - V_{TO} - \frac{V_{DS_S}}{2} \right) V_{DS_S}$$

NOTA: V_{OL} piccolo! Ragionevole pensare che V_{TN_L} è $\approx V_{TN_0}$? Sì. **È ipotesi**

$$V_{DD} - V_0 = V_{DD} - V_{OL}$$

$$\frac{1}{2} K'_0 \left(\frac{W}{L} \right)_L \left(V_{GS_L} - V_{TN_0} \right)^2 = K'_0 \left(\frac{W}{L} \right)_S \left(V_{GS_S} - V_{TO} - \frac{V_{DS_S}}{2} \right) V_{DS_S}$$

Risolvo equaz.

$$V_{OL} = \frac{8,5 \pm \sqrt{47,5}}{5,5} = \begin{cases} 2,8 \text{ V} \\ 0,3 \text{ V} \end{cases}$$

Se $V_{OL} = 2,8 \text{ V}$, se lo applico come ingresso basso, V_{OL} fa accendere Mosfet di sotto. Non deve, altrimenti non avrei V_{OH} .

Vedere meno tutto quello che abbiamo detto prima.

Verifiko regione di tracollo:

$$0,3 < 2,4 - 1$$

\uparrow V_{DS_S} \uparrow V_{GS_S}

Dunque calcolare V_{TN_L} per vedere se è corretta l'HP di errore.