

$$V_{DD} = 4V$$

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

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

$$V_{IO} = 1V$$

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

$$2\phi = 0.7V$$

$$k_m' = 25MA/V^2$$

(A) LIVELLI LOGICI

1) V_{OH}

Quando mosfet S è spento, V_o aumenta fino a quanto Mosfet L

rimane acceso, cioè $V_{GS_L} \geq V_{IN_L}$.

$$\Rightarrow \begin{cases} V_{OH} = V_{DD} - V_{IN_L} \\ V_{IN_L} = V_{IN_0} + \gamma (\sqrt{2\phi + V_{OH}} - \sqrt{2\phi}) \end{cases}$$

RISOLUO SISTEMA

$$V_{OH} = V_{DD} - V_{IN_0} - \gamma (\sqrt{2\phi + V_{OH}} - \sqrt{2\phi})$$

$$V_{OH} = V_{DD} - V_{IN_0} + \gamma \sqrt{2\phi} - \gamma \sqrt{2\phi + V_{OH}}$$

$\alpha = 3.34V$

$$V_{OH} - \alpha = -\gamma \sqrt{2\phi + V_{OH}}$$

$$V_{OH}^2 + \alpha^2 - 2\alpha V_{OH} = \gamma^2 (2\phi + V_{OH})$$

$$V_{OH}^2 - 2\alpha V_{OH} - \gamma^2 V_{OH} + \alpha^2 - \gamma^2 2\phi = 0$$

$$V_{OH}^2 - 6.84 V_{OH} + 11.04 = 0$$

$4.2V$ non accettabile: $V_{OH} > V_{DD} - V_{IN_0}$

$$V_{OH} = \begin{cases} 2.6V & \text{accettabile: } V_{OH} < V_{DD} - V_{IN_0} \end{cases}$$

2) V_{OL}

Quando ho V_{OH} al ingresso, faccio H_p :

- $V_{OH} - V_{ISO} \geq V_{OL} \Rightarrow$ Lavoro al 100%. Verifichiamo.
- Mosfet L limita sempre la saturazione.

$$I_D = \frac{K_m}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_L \left(V_{DD} - V_{OL} - V_{INL} \right)^2$$

$$I_D = K_m \left(\frac{W}{L} \right)_S \left(V_{OH} - V_{ISO} - \frac{V_{OL}}{2} \right) V_{OL}$$

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

$$\frac{1}{4} \left(4 - V_{OL} - 1 \right)^2 = 3 \left(2.6 - 1 - \frac{V_{OL}}{2} \right) V_{OL}$$

$$\frac{1}{4} \left(9 + V_{OL}^2 - 6 V_{OL} \right) = 3 V_{OL} \left(1.6 - \frac{V_{OL}}{2} \right)$$

$$9 + V_{OL}^2 - 6 V_{OL} = 12 V_{OL} \left(1.6 - \frac{V_{OL}}{2} \right)$$

$$9 + V_{OL}^2 - 6 V_{OL} = 19.2 V_{OL} - 6 V_{OL}^2$$

$$7 V_{OL}^2 - 25.2 V_{OL} + 9 = 0$$

$$3.19 V \text{ non accettabile} > V_{OH}$$

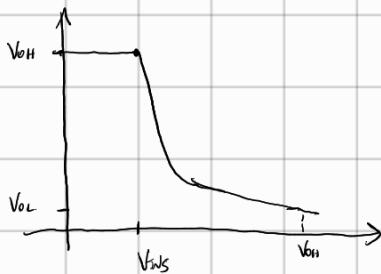
$$V_{OL} = \begin{cases} 0.4 V & \text{accettabile} \end{cases}$$

$$V_{INL} = V_{IN0} + \gamma \left(\sqrt{2\phi} + V_{OL} - \sqrt{2\phi} \right) = 1.08 V \Rightarrow H_p \text{ di transizione effetto body validata.}$$

$$V_{OH} - V_{INL} \geq V_{OL} ? SS, H_p \text{ di transito verificata.}$$

(B)

MARGINI DI RUMORE



$V_{IL} = V_{INS}$, perché la curva presenta punto di non linearità
davanti all'ingresso in saturazione di S .

$$NM_L = V_{IL} - V_{OL} = 1V - 0.4V = 0.6V$$

Calcolo V_{IH} :

#ITERAZ.	V_o	V_{TNL}	V_o^*	V_{IH}
0	///	1.00V	0.69	1.99
1	0.69	1.13V	0.66	1.95
2	0.66	1.13V	0.66	1.95

FORMULE:

$$V_o^* = \frac{V_{OO} - V_{TNL}}{\sqrt{1 + 3 \frac{K_S}{K_L}}} \quad V_{IH} = V_{INS} + \frac{V_o^*}{2} + \frac{K_L}{2K_S} \cdot \frac{1}{V_o^*} (V_{OO} - V_o^* - V_{TNL})^2 \quad \left. \right\}$$

$$V_{TNL} = V_{TNL_0} + \gamma \left(\sqrt{2\phi + V_o} - \sqrt{2\phi} \right)$$

Bisogna dimostrare le formule impostando
 $\frac{dV_I}{dV_o} = -1$ (SLICE 6) oppure altrimenti
impostare il calcolo e poi scrivere
le formule.

STEP 1: Punto con $V_{IL} = V_{INS}$, valore più vicino a quello reale,
valore che curvo risulta relativamente basso.

STEP 2: Calcolo V_o^*

STEP 3: Calcolo V_{IH} .

FIERO FINCHÉ V_{IH} non varia nelle prime 2 cifre decimali.

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH} = 2.6 - 1.95 = 0.65 \text{ V}$$

(C) POTENZA MASSIMA DISSIPATA

$$P_{MAX} = N_D V_{DD} \quad \text{dove } N_D = \text{correlato con } n \text{ presso alto.}$$

$$N_D = K_m' \left(\frac{W}{L} \right)_S (V_{OH} - V_{T,SO} - \frac{V_{OL}}{2}) N_{OL} = 42 \text{ mA}$$

$$N_D = K_m' \left(\frac{W}{L} \right)_L (V_{DD} - V_{OL} - V_{T,SO})^2 \approx 40 \text{ mA} \quad \xrightarrow{\text{uso quella trovata}}$$

$$P_{MAX} = 168 \mu \text{W}$$

(D) SE K_m' CAMBIA, COSA CAMBIA NELL'INV?

Per i punti precedenti, cambiano (C) e (E)

Non cambiano (A) e (B)

(E) RAPPORTO POTENZA STATIC / POTENZA DINAMICA

$$f = 2 \text{ MHz}$$

$$P_{DIN} = f V_{DD}^2 C = 32 \text{ mW}$$

$$k = \frac{P_{DIN}}{P_{MAX}} = 0,19$$

(F) TEMPO PER RAGGIUNGERE V_o DURANTE TRANSIZ. H-L [TRASCURA I MOSFET L]

$$V_{DD} = 5 \text{ V} \quad \gamma = 0.5 \text{ V}^{\frac{1}{2}} \quad 2\phi = 0.7 \text{ V} \quad \left(\frac{W}{L} \right)_S = \frac{S}{1} \quad K_m' = 25 \text{ mA/V}^2 \quad V_{IO} = 1 \text{ V}$$

$$V_{OH}^2 - 2\alpha V_{OH} - \gamma^2 V_{OH} + \alpha^2 - \gamma^2 2\phi = 0$$

$$\alpha = V_{DD} - V_{T,IO} - \gamma \sqrt{2\phi}$$

$$V_{OH}^2 - 9.09 V_{OH} + 19.36 = 0$$

$$V_{OH} = 3.4 \text{ V} \quad V_o = 2.8 \text{ V} \quad C = 1 \text{ pF}$$

• Tracciare come si del mosfet di carico

$$V_{OH} - V_{INL} \geq V_0 ?$$

$3.4 - 1 \geq 2.8$? No. Saturazione.

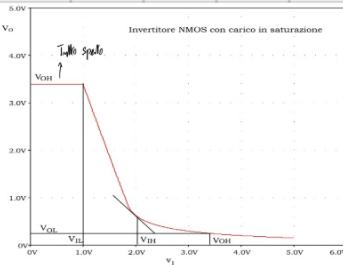
Mosfet di switch resta sempre in saturazione.

$$I_D = \frac{k_m'(W)}{2} \left(\frac{V_{OH} - V_{INL}}{V_{TH}} \right)^2 = 150 \text{ mA}$$

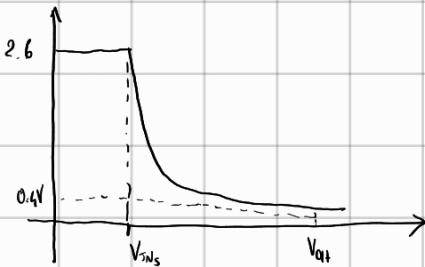
CONVENZ. GENERAT. SU CONDENS.

$$I_D = -C \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = -\frac{C \Delta V}{I_D} = h \cdot 10^{-9} \text{ s}$$

(G) TRACCIARE CARATTERISTICA E IDENTIFICARE TRATTI LINEARI PRESENTI



$$V_{OH} = 2.6 \text{ V} \quad V_{OL} = 0.4 \text{ V}$$



Ha un tratto lineare per tensioni poco superiori a V_{INL} :

• I due mos lavorano entrambi in saturazione.

$$I_D = \frac{k_m'(W)}{2} \left(\frac{V_{OO} - V_O - V_{INL}}{V_{TH}} \right)^2$$

$$I_D = \frac{k_m'(W)}{2} \left(\frac{V_I - V_{INL}}{V_{TH}} \right)^2$$



$$\frac{K_m}{Z} \left(\frac{W}{L} \right) \left(V_{DD} - V_o - V_{TNS} \right)^2 = \frac{K_m}{Z} \left(\frac{W}{L} \right)_S \left(V_I - V_{TNS} \right)^2$$

$$K_L \left(V_{DD} - V_o - V_{TNS} \right)^2 = K_S \left(V_I - V_{TNS} \right)^2$$

$$\sqrt{\frac{K_S}{K_L}} \left(V_I - V_{TNS} \right) = V_{DD} - V_o - V_{TNS}$$

$$V_o = -\sqrt{K_R} V_I + \underbrace{\sqrt{K_R} V_{TNS} + V_{DD} - V_{TNS}}_{\beta}$$

Trascurando effetto subshunt \Rightarrow appross. ad andamento lineare

$$\text{Pendenza} = -\sqrt{K_R}$$

$$K_R = \frac{K_S}{K_L}$$

Trascurando dipendenza di V_{TNS} da V_o . Trascurando anche che I_o ha dipendenza da V_{DS}

② SECONDO TRATTO LINEARE da 0 a V_{TNS} con pendenza 0

Primo tratto finisce su V_{TNS} .

Secondo tratto quando M_S va nre fondo.

H) QUALE PARAMETRO VA MODIFICATO PER RADDOPPIARE $P_{STATICA}$ A PARITÀ DI P_{DIN} ?

$$P_{DISS} = P_{STAT} + P_{DIN} \Rightarrow \text{DUTY CYCLE } 50\% \Rightarrow \frac{V_{DD} I_{DH} + V_{DD} I_{DL}}{2} + C V_{DD}^2 f$$

Dovo raddoppiare I_{DL} (come fa nella bussola): posso farlo raddoppiando i rapporti di aspetto di MOS_2 e MOS_3 .