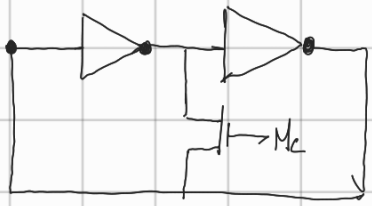
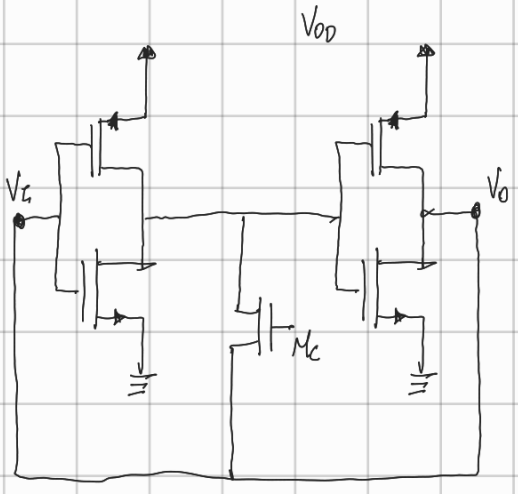
A)

Transistor a cavallo di ingresso e uscita dei due inverter.



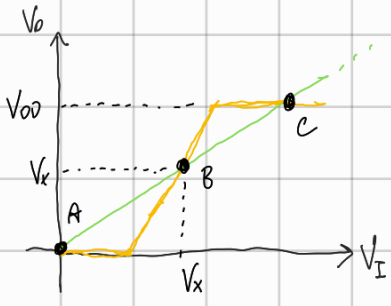
(A) SCHEMA IN CMOS



↳ NON METTERE MASSA!

Schema LATCH + TRANSISTOR

(B) DISEGNARE CARATT. DI TRASF. E INDICARE P.TI DI LAVORO



Curva di 2 inv. in cascata.

Vincolo: $V_O = V_I$

Punti di lavoro: intersez. delle 2 curve

Trova coordinate:

A(0,0) C(V_{DD}, V_{DD})

Trovo il punto $B(V_x, V_x)$

NOTA: Se inverters sono simmetrici, $V_x = V_{DD}/2$.

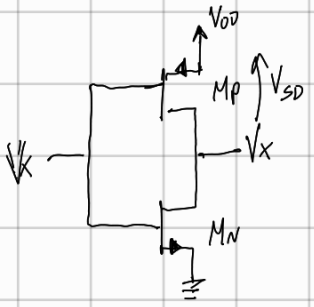
DATI: $V_{DD} = 4V$ $\left(\frac{W}{L}\right)_N = \frac{4}{1}$ $\left(\frac{W}{L}\right)_P = \frac{5}{1}$

$V_{TN} = -V_{TP} = 1V$ $K_N' = 25 \mu A/V^2$ $K_P' = 10 \mu A/V^2$

Quindi: $A(0,0)$ $C(4,4)$.

Troviamo B: punto instabile, ingresso = uscita per sistema complessivo ma anche per ciascuno degli inverters.

Che succede in CMOS se $V_O = V_I$?



Vedo punto di lavoro dei mosfet:

M_N:

$V_{GS} = V_X = V_{DS}$

$V_{DS} > V_{GS} - V_{TN}$? Sì. M_N si trova in saturazione

M_P:

$V_{SG} = V_{DD} - V_I = V_{SD} = V_{DD} - V_O$

$V_{SD} > V_{SG} - |V_{TP}|$? Sì. M_P si trova in saturazione

Eguaglio le correnti: sono in serie

$$\frac{K_P'}{2}\left(\frac{W}{L}\right)_P (V_{SG} - |V_{TP}|)^2 = \frac{K_n'}{2}\left(\frac{W}{L}\right)_N (V_{GS} - V_{TN})^2 = I_D$$

$V_{GS} = V_X \qquad V_{SG} = V_{DD} - V_X$

$$K_P' \left(\frac{W}{L}\right)_P \left(V_{DD} - V_X - |V_{TP}|\right)^2 = K_n' \left(\frac{W}{L}\right)_N \left(V_X - V_{TN}\right)^2$$

$$\sqrt{K_n' \left(\frac{W}{L}\right)_n} \left(V_X - V_{TN}\right) = \sqrt{K_P' \left(\frac{W}{L}\right)_P} \left(V_{DD} - V_X - |V_{TP}|\right)$$

$$\sqrt{100} \left(V_X - 1\right) = \sqrt{50} \left(3 - V_X\right)$$

$$10 V_X - 10 = 5\sqrt{2} \left(3 - V_X\right)$$

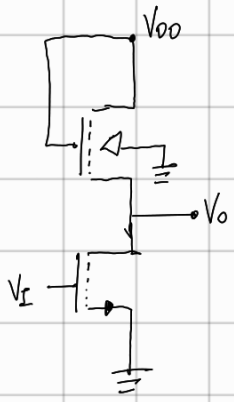
$$\sqrt{2} V_X - \sqrt{2} = 3 - V_X$$

$$(1 + \sqrt{2}) V_X = 3 + \sqrt{2}$$

$$V_X = 1.83 \, V$$

Quindi $B(1.83, 1.83)$. □

B)



$V_{DD} = 4\,V$

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

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

$V_{TO} = 1\,V$

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

$2\Phi = 0.6\,V$

$K'_N = 25\,\mu A/V^2$

① LIVELLI LOGICI

Calcolo V_{OH}:

$$\begin{cases} V_{OH} = V_{DD} - V_{TN_L} \\ V_{TN_L} = V_{TO} + \gamma\left(\sqrt{2\Phi + V_{OH}} - \sqrt{2\Phi}\right) \end{cases}$$

(V_{SB} del carico $= V_{OH}$)

$$V_{OH} = 4 - (1 + 0.5\sqrt{0.6 + V_{OH}} - \sqrt{0.6})$$

$$V_{OH} = 4 - 1 - 0.5\sqrt{V_{OH} + 0.6} + 0.5\sqrt{0.6}$$

$$V_{OH} + 0.6 = 4\left(3.39 - V_{OH}\right)^2$$

$$V_{OH} + 0.6 = 4\left(11.5 + V_{OH}^2 - 6.7\,V_{OH}\right)$$

$$4V_{OH}^2 - 27.8\,V_{OH} + 45.4 = 0$$

$V_{OH} =$ { 2.62 V accettabile: $V_{OH} < V_{DD} - V_{TO}$; 4.32 V non accettabile }

Trovo la V_{OL}: impongo uguaglianza correnti.

M_L sempre in saturazione. $I_L = \frac{K'_n}{2}\left(\frac{W}{L}\right)_L (V_{GS_L} - V_{TN_L})^2$ → Poiché uscita sarà bassa, ritengo accettabile il fenomeno l'effetto substrato. Se vuoi puoi fare iterazione dopo.

M_S sta in triodo perché tensione di uscita deve essere bassa.

$V_{DD} - V_{OL}$

$$\frac{K'_n}{2}\left(\frac{W}{L}\right)_L (V_{GS_L} - V_{TO})^2 = \frac{K'_n}{2}\left(\frac{W}{L}\right)_S \left(V_{OH} - V_{TO} - \frac{V_{OL}}{2}\right) V_{OL}$$

$$\frac{K'_n}{2}\left(\frac{W}{L}\right)_L (V_{DD} - V_{OL} - V_{TO})^2 = K'_n\left(\frac{W}{L}\right)_S \left(V_{OH} - V_{TO} - \frac{V_{OL}}{2}\right) V_{OL}$$

$$\frac{1}{4}(4 - V_{OL} - 1)^2 = 5\left(2.62 - 1 - \frac{V_{OL}}{2}\right) V_{OL}$$

$$\frac{1}{20}(9 + V_{OL}^2 - 6V_{OL}) = 1.62\,V_{OL} - \frac{V_{OL}^2}{2}$$

$$\frac{1}{10}(9 + V_{OL}^2 - 6V_{OL}) = 3.24\,V_{OL} - V_{OL}^2$$

$$9 + V_{OL}^2 - 6V_{OL} = 32.4\,V_{OL} - 10\,V_{OL}^2$$

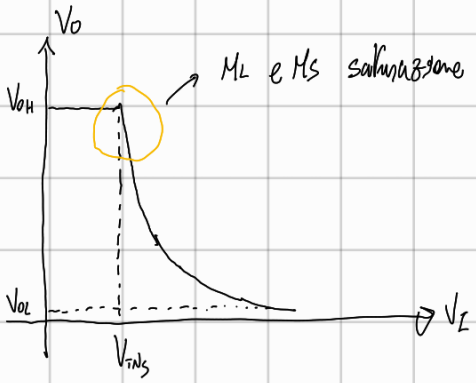
$$11\,V_{OL}^2 - 38.4\,V_{OL} + 9 = 0$$

$X_1 = 0.25\,V$ accettabile

$X_2 = 3.24\,V$ non accettabile

Valore compatibile con Hp.

② CARATTERISTICA DI TRASF.



Scrivo equazione discendente del tratto lineare.

$$\frac{1}{2}K'_N\left(\frac{W}{L}\right)_L\left(V_{DD}-V_O-V_{TO}\right)^2=\frac{1}{2}K'_N\left(\frac{W}{L}\right)_S\left(V_I-V_{TO}\right)^2$$

(V_{TO}: Tensione eff. substrato)

$$V_{DD}-V_O-V_{TO}=\sqrt{\frac{\left(\frac{W}{L}\right)_S}{\left(\frac{W}{L}\right)_L}}\left(V_I-V_{TO}\right)$$

con $\dfrac{\left(\frac{W}{L}\right)_L}{\left(\frac{W}{L}\right)_S}=\frac{1}{10}=K_R$

$$3-V_O=\sqrt{10}\,V_I-\sqrt{10}$$

$$V_O=-\sqrt{10}\,V_I+3+\sqrt{10}$$

1) Pendenza $=-\sqrt{10}$

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

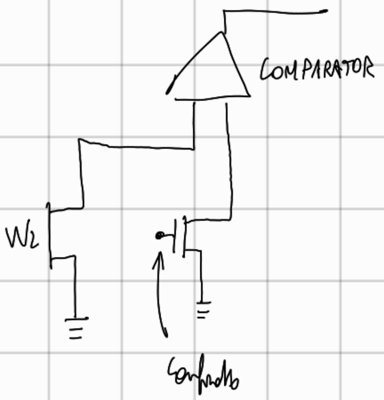
Primo tratto finisce su V_{TNS}.

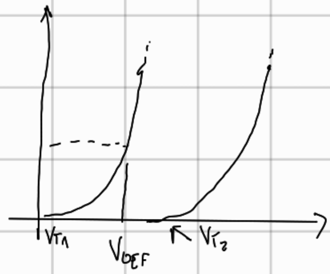
Secondo finisce quando M_S va in triodo.

$V_{DS}>V_{GS}-V_{TNS}$ ⇒ Ciocé finisce a $2.6-1=1.6\,V$

SCHEMA MEMORIA FLASH

(1)





SCHEMA MEMORIA FLASH: COMPARAZIONE e BIGRAFICO

MECCANISMI: elettroni caldi e effetto tunnel

↑ non per calcolare flusso di elettroni

VANTAGGI: elettroni caldi meno traumatico e meno dipendente da parametri fisici della cella, ma chiede forti correnti: difficile da fare in //.

Tunneling: Forti tensioni, ma più legato a parametri fisici tipo lo stato dell'ossido.

SCHEMA INVERTITORE A 3 STATI IN CMOS

Come si ottiene risposta dinamica uguale? Raddoppio i rapporti d'aspetto dei MOS esterni.