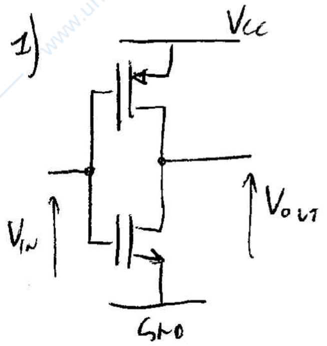
PORTA LOGICA CMOS

1)



$V_{T_N} = |V_{T_P}| = 1,5\,V$

$V_{CC} = 5V$

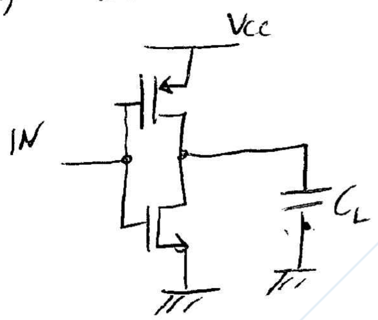
$\mu C_{ox_N} = 200 \frac{\mu A}{V^2}$ $\left(\frac{W}{L}\right)_N = 10$

$\mu C_{ox_P} = 120 \frac{\mu A}{V^2}$ $\left(\frac{W}{L}\right)_P = 10$

Calcolare la caratteristica statica

Ricalcolare la $\frac{W}{L}$ del PMOS per avere $V_{TH} = \frac{V_{CC}}{2}$

2) Dato l'invertitore simmetrico $\left(V_{TH} = \frac{V_{CC}}{2}\right)$



$V_{CC} = 5V$

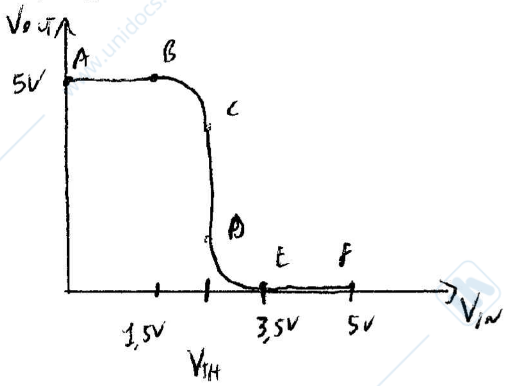
$k_N = k_P = 1 \frac{mA}{V^2}$

$V_{TN} = |V_{T_P}| = 1,5V$

$C_L = 5pF$

Calcolare il tempo di propagazione

SOLUZIONE



Punto A:

$V_{IN} = 0V \Rightarrow$ Nmos spento, Pmos acceso $\Rightarrow V_{U_A} = 5V$

da A a B, l'Nmos ha $V_{GS_N} < V_{T_N}$ perché è spento

$V_{U_{A \to B}} = 5V$ $\qquad V_{IN_B} = V_{T_N} = 1,5V$

Punto F: $V_{IN} = 5V$ perché $\left.\begin{matrix} V_{GS_P} = 0V \text{, Pmos spento} \\ V_{GS_N} = 5V \text{, Nmos acceso} \end{matrix}\right\} \Rightarrow V_{U_F} = 0V$

da F a E, il Pmos è spento finché $V_{GS_P} > V_{T_P} = -1,5V$

cioè $V_{GS_P} = V_{IN_E} - V_{CC} > V_{T_P} \Rightarrow V_{IN_E} > V_{CC} + V_{T_P} = 3,5V$

perciò $V_{IN_E} = 3,5V$

$V_{U_E} = 0V$

Per $V_{IN} = V_{TH}$, i due transistori mos sono accesi, e sono in saturazione.

Inoltre devono portare la stessa corrente, perché:

$I_{D_N} = I_{D_P}$ $\qquad k_N (V_{GS_N} - V_{T_N})^2 = k_P (V_{GS_P} - V_{T_P})^2$

$$\sqrt{k_N}\,(V_{IN} - V_{T_N}) = \sqrt{k_P}\,\underbrace{(V_{CC} - V_{IN} - |V_{T_P}|)}_{\text{deve essere} > 0 \text{ in quanto è la tensione di overdrive del PMOS}}$$

$$V_{IN} = V_{TH} = \frac{\sqrt{k_P}\,(V_{CC} - |V_{T_P}|) + \sqrt{k_N}\,V_{T_N}}{\sqrt{k_N} + \sqrt{k_P}} \simeq 2,09V$$

$k_N = \frac{1}{2} \mu C_{ox_N} \left(\frac{W}{L}\right)_N = 1 \frac{mA}{V^2}$

$k_P = \frac{1}{2} \mu C_{ox_P} \left(\frac{W}{L}\right)_P = 0,6 \frac{mA}{V^2}$

Per cui $V_{IN_C} = V_{IN_D} = V_{TH} = 2,09V$

Il tratto CD è identificato dalla saturazione dei due mos, per cui

C identifica l'entrata in zona OHMICA del PMOS

$V_{GD_P} = V_{T_P} \Rightarrow V_{IN_C} - V_{OUT_C} = V_{T_P} \Rightarrow V_{OUT_C} = V_{IN_C} - V_{T_P} = 3,59V$

D identifica l'entrata in zona OHMICA del NMOS

$V_{GD_N} = V_{T_N} \Rightarrow V_{IN_D} - V_{OUT_N} = V_{T_N} \Rightarrow V_{OUT_D} = V_{IN_D} - V_{T_N} = 0,59V$

Alla tensione di soglia V_{TH}, i mos sono in saturazione e:

$I_{D_N} = I_{D_P}$ $\qquad k_N (V_{TH} - V_{T_N})^2 = k_P (V_{CC} - V_{TH} - |V_{T_P}|)^2$

$$k_N = \frac{1}{2} \mu C_{ox_N} \left(\frac{W}{L}\right)_N = 1 \frac{mA}{V^2}$$

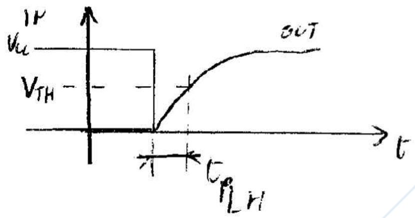
$$k_P = \frac{1}{2} \mu C_{ox_P} \left(\frac{W}{L}\right)_P \quad \text{non noto}$$

$$k_P = k_N \frac{(V_{TH} - V_{T_N})^2}{(V_{CC} - V_{TH} - |V_{T_P}|)^2} = 1 \frac{mA}{V^2}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_P = \frac{2 k_P}{\mu C_{ox_P}} = 16,67$$

2) 1° METODO: approssimazione resistiva

Propagazione ~~...~~ L→H



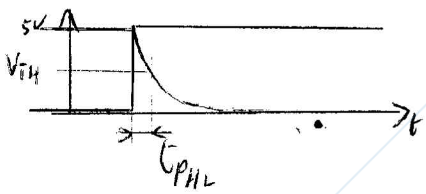
la capacità C_L viene caricata dal PMOS che presenta $|V_{GS_p}| = V_{cc} = 5V$
Nell'ipotesi che sia equivalente ~~da~~ ad una resistenza di valore

$$r_p = \frac{1}{2 k_p V_{OD_p}} = \frac{1}{2 k_p (V_{cc} - |V_{Tp}|)} = 143 \Omega$$

$t_{P_{LH}}$ è il tempo che impiega la capacità C_L a caricarsi da 0V a V_{TH}, cioè a 2,5V

$$t_{P_{LH}} = 0{,}69 \cdot r_p \cdot C_L = 0{,}49\,ns$$

Propagazione H→L



la capacità C_L viene scaricata dal NMOS che presenta $V_{GS_N} = V_{cc} = 5V$
Nell'ipotesi che si comporti come una resistenza di valore

$$r_N = \frac{1}{2 k_N V_{OD_N}} = \frac{1}{2 k_N (V_{cc} - V_{TN})} = 143 \Omega$$

t_{PHL} è il tempo che impiega la tensione sulla capacità C_L a passare da $V_{cc} = 5V$ a V_{TH}.
Nell'ipotesi di una scarica esponenziale

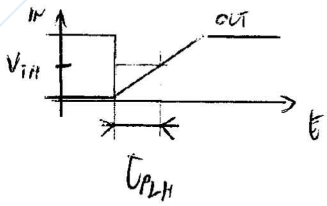
$$t_{PHL} = 0{,}69\, r_N C_L = 0{,}49\,ns$$

Il tempo di propagazione è la media

$$t_{PD} = \frac{t_{PHL} + t_{PLH}}{2} = 0{,}49\,ns$$

2° METODO: approssimazione a corrente costante

Propagazione L → H:

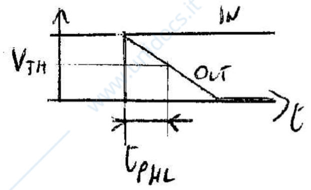


C_L viene caricata dalla corrente del PMOS che suppongo in saturazione

$$I_{D_P} = k_p \left(V_{CC} - |V_{TP}|\right)^2 = 12{,}25\,mA$$

$$\left.\begin{array}{l} Q = CV \\ I\,\Delta t = Q \end{array}\right\} \Rightarrow \quad t_{PLH} = \frac{C_L\, V_{TH}}{I_{D_P}} = 1{,}02\,ns$$

Propagazione H → L



C_L viene scaricata dalla corrente del NMOS che suppongo in saturazione

$$I_{D_N} = k_N \left(V_{CC} - V_{TN}\right)^2 = 12{,}25\,mA$$

$$t_{PHL} = \frac{C_L\,(V_{CC} - V_{TH})}{I_{D_N}} = 1{,}02\,ns$$

Tempo di propagazione

$$t_{PD} \doteq \frac{t_{PLH} + t_{PHL}}{2} = 1{,}02\,ns$$