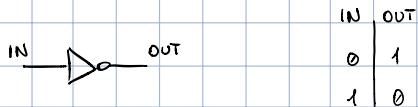


"1" $\rightarrow V_{High}$ $\approx V_{DD}$
 "0" $\rightarrow V_{Low}$ ≈ 0

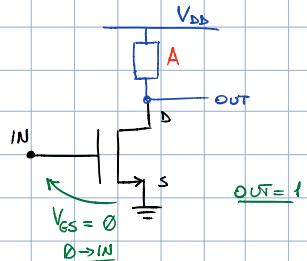
Questa rete digitale svolgerà le funzioni logiche dell'Algebra di Boole

NOT (NEGAZIONE)



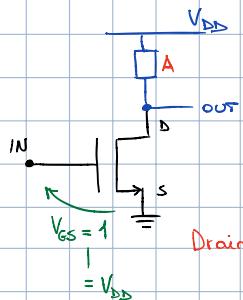
IN	OUT
0	1
1	0

Nei circuiti analogici il transistor viene utilizzato come amplificatore, nei digitali come interruttore e quindi ha 2 stati: ON (chiuso, passa corrente) e OFF (aperto, non passa corrente)



Consideriamo $V_{GS} = V_I$, $V_{DS} = V_0$

OUT=1 L'1 lo deve forzare qualcosa' altro perché T ora è spento

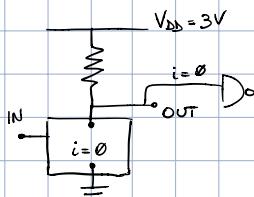


Ipotizziamo $V_{DD} = 3V$ e $V_T = 1V$, $\frac{1}{2}\mu Cox = 0.1 \frac{mA}{V^2}$, $\frac{W}{L} = 10$

1) Per farlo funzionare da inverter passivo inserire nel blocco A una resistenza $R = 10\text{ k}\Omega$ (pull-up)

Drain fa da pull-down

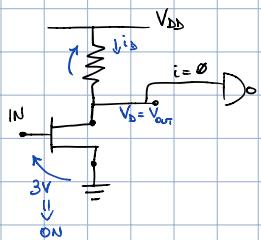
2) Allora con $V_{IN} = "0"$



Non c'è caduta di potenziale $\Rightarrow \Delta V = R \cdot i = 0$ e $V_{OUT} = "1"$ (poiché equipotenziale a V_{DD})

3) $V_{IN} = "1" \rightarrow V_{GS} = 3V (> V_T = 1V)$: Resistenza tra Drain e V_{DD}

Volutiamo se T è in zona OHM o SAT



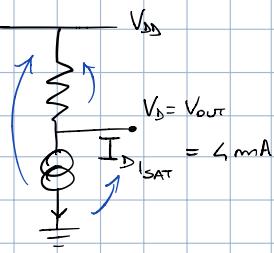
$$V_{OUT} = V_D = V_{DD} - R I_D$$

V_{IN} SAT?

OHM? \Rightarrow Facciamo un'ipotesi e verifichiamo facendo i conti.

Ipotesi 1: SAT

$$I_{D,SAT} = \frac{1}{2} \mu Cox \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2 = 0.1 \frac{mA}{V^2} \cdot 10 \cdot (3 - 1)^2 = 4mA$$



$$V_D = V_{DD} - RI_D = 3V - 10k\Omega \cdot 4mA = 3V - 40V = -37V$$

ipotesi errata, non posso accettare una $V_{out} < 0$!

Ipotesi 2: OHM

Si studia il legame tensione-corrente e la legge di Ohm

$$\begin{cases} I_{D,OHM} = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} [2(V_{GS} - V_t) V_{DS} - V_{DS}^2] \\ V_D = 3 - 10k\Omega I_D \end{cases}$$

$$I_D = \frac{1}{V^2} [4V_D - V_D^2]$$

$$V_D = 3 - 10k\Omega I_D = 3 - 10k\Omega \cdot 1mA [4V_D - V_D^2] = 3 - 40V_D + 10V_D^2 \rightarrow V_D$$

+1V il circuito va da 0 a 3V
(da 0 a V_{DD})
+0,075V

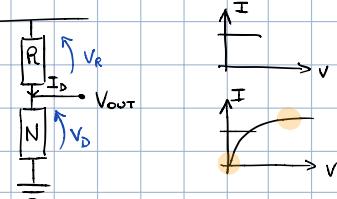
Controlliamo se $V_D = 75mV$ è compatibile con ipotesi 2: $V_{GD} = (3V - 0,075V) > V_t$ ✓

Tabella delle verità del negatore:

IN	OUT
3V	0,075V
0V	3V

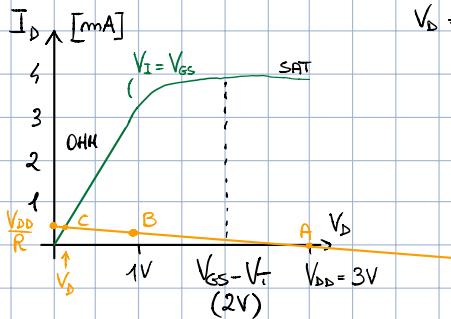
75mV è sufficientemente basso per discriminare tra "0" e "1"

Altro metodo (più intuitivo):



Si studia il grafico per vedere in che zona si trova il transistor:
l'intersezione, a pari corrente, dei due grafici darà una condizione per studiare la serie.

Immaginiamo:

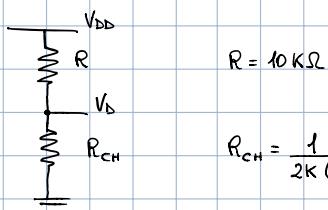


$$V_D = V_{DD} - RI_D$$

$$I_D = \frac{V_{DD}}{R} - \frac{V_D}{R} = \frac{3V}{R} - \frac{V_D}{R} = 0,3mA$$

Notiamo che se $V_I < V_t \Rightarrow \text{OFF}$ allora l'intersezione forma un V_{DD} (punto A) e $V_{out} = V_{DD}$. Con $V_I > V_t \Rightarrow \text{on}$ e la V_D inizia a ridursi (pinch-off), poi entra nella regione di triodo e da qui in poi la V_D decresce più lentamente al crescere di V_I (punto B).

Quindi sono in zona Ohmica: due resistori in serie usando la resistenza di canale R_{CH} :

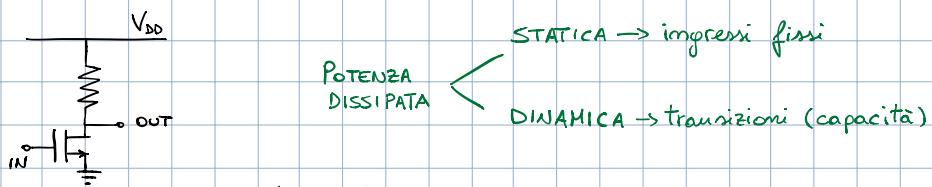


$$R = 10k\Omega$$

$$R_{CH} = \frac{1}{2k(V_{GS} - V_t)} = \frac{1}{2 \cdot 0,1 \frac{mA}{V^2} \cdot 2V} = 250\Omega$$

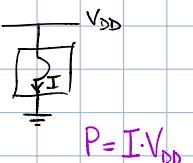
$$V_D = V_{DD} \cdot \frac{R_{CH}}{R + R_{CH}} = 3V \cdot \frac{250\Omega}{250\Omega + 10^4\Omega} = 73mV$$

Analizziamo la porta logica dal punto di vista di potenza dissipata e tempo di commutazione



La p. dinamica l'avrò sempre (condensatori da caricare/scoricare), la p. statica non sempre

Potenza statica



$$V_{IN} = 0 \quad V_{OUT} = 3V \quad I = 0 \Rightarrow P_s = 0$$

$$V_{IN} = 3V \quad V_{OUT} = 0,075V \quad I \neq 0 \Rightarrow P_s \neq 0$$

$$I_D = \frac{3 - 0,075}{10k\Omega} = 0,29mA$$

$$P_R = \Delta V_R \cdot I = (V_{DD} - V_D) \cdot I = (3 - 0,075) \cdot 0,29mA =$$

$$P_N = \Delta V_N \cdot I = V_D \cdot I = 0,29 \cdot 0,075 =$$

$$P_{TOT} = 0,29mA \cdot V_{DD} = 0,9mW$$

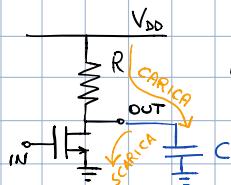
In generale è un valore che si vuole minimizzare

Esercizio x casa: Quale R per avere $V_{OUT, "0"} = 10mV$?

$$V_0 = V_D = 10mV \Leftrightarrow V_D = V_{DD} \cdot \frac{R_{CH}}{R + R_{CH}} = 10^{-2} \Rightarrow 3 \cdot \frac{250}{R+250} = 10^{-2}$$

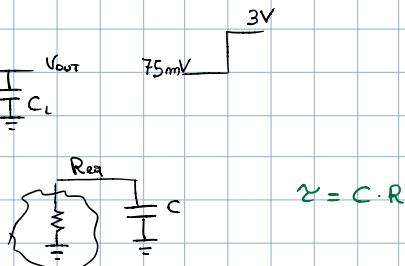
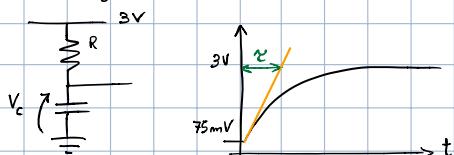
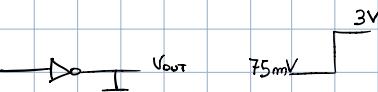
$$750 = 10^{-2}R + 2,5 \Rightarrow R = 747,5 \cdot 10^2 \Omega = 74750 \Omega = 74,75k\Omega$$

Potenza dinamica



Nella realtà c'è un fenomeno fisico modellizzato da un carico di tipo capacitivo collegato alla porta in uscita, dovuto ad altre porte logiche commesse in cascata o all'ossido delle piste elettriche: in DC è un CA ma dinamicamente è una capacità.

Carica: ingresso 1 \rightarrow 0



Con un ingresso basso il transistor è spento e $V_{OUT} = V_{DD}$, il condensatore sarà carico a regime con $V_c = 3V$ e partirà da $V_0 = 75mV$ con andamento esponenziale e costante di tempo τ .

Commutando da 0 a 1 l'ingresso, V_{OUT} non va direttamente a 0 ma a 75mV \Rightarrow ci sarà dissipazione di potenza statica

τ è anche il tempo per raggiungere la soglia logica V_{TH}

