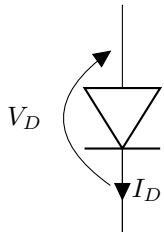


## DIODO



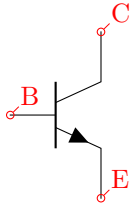
OFF

$$\begin{cases} I_D = 0 \\ V_D < V_\gamma \end{cases}$$

ON

$$\begin{cases} V_D = V_\gamma \\ I_D > 0 \end{cases}$$

## BJT



- OFF

$$I_B = I_C = I_E = 0 \quad \text{per } V_{BE} < V_\gamma$$

- AD

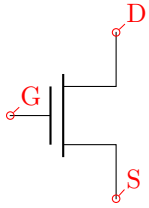
$$\begin{aligned} V_{BE} &= V_\gamma & \text{per } V_{CE} > V_{CE_{SAT}} \\ I_C &= \beta_F I_B & I_B > 0 \end{aligned}$$

- SAT

$$\begin{aligned} V_{BE} &= V_\gamma \\ V_{CE} &= V_{CE_{SAT}} & I_C < \beta_F I_B \end{aligned}$$

## MOSFET N-MOS

Trasferisce uno 0 forte:  $V_L = 0V$



- OFF

$$I_{DS} = 0 \quad \text{per } V_{GS} < V_{Tn}$$

- SATURAZIONE

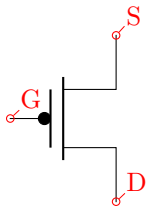
$$I_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2 \quad \text{per } \begin{cases} V_{DS} \geq V_{GS} - V_{Tn} \\ V_{GS} \geq V_{Tn} \end{cases}$$

- LINEARITÀ

$$I_D = \beta \left( (V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right) \quad \text{per } \begin{cases} V_{DS} < V_{GS} - V_{Tn} \\ V_{GS} \geq V_{Tn} \end{cases}$$

## MOSFET P-MOS

Trasferisce 1 forte  $V_H = V_{CC}$



- OFF

$$I_{SD} = 0 \quad \text{per } V_{SG} < |V_{TP}|$$

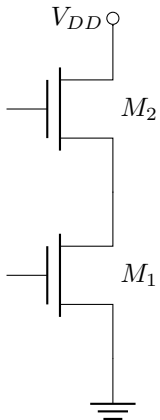
- SATURAZIONE:

$$I_{SD} = \frac{\beta}{2} (V_{SG} - |V_{TP}|)^2 \quad \text{per } \begin{cases} V_{SD} \geq V_{SG} - |V_{TP}| \\ V_{SG} > |V_{TP}| \end{cases}$$

- LINEARITÀ:

$$I_{SD} = \beta \left( (V_{SG} - |V_{TP}|) V_{SD} - \frac{V_{SD}^2}{2} \right) \quad \text{per } \begin{cases} V_{SD} < V_{SG} - |V_{TP}| \\ V_{SG} \geq |V_{TP}| \end{cases}$$

## N-mos in serie



$$\beta_{eq} = \frac{\beta_1 \beta_2}{\beta_1 + \beta_2}$$

In parallelo  $\beta_{eq} = \beta_1 + \beta_2$ . Per applicare queste formule le tensioni ai capi dei transistori devono essere le stesse.

La connessione in parallelo alla rete di pull-down è interpretabile come una somma logica (or) ed una connessione in serie come un prodotto (and). L'espressione finale è negata. Nella risoluzione applicata con questa formula, quando la rete CMOS è spenta, l'uscita  $V_u$  è a 0.

### Note generali

- La tensione logica  $V_{TL}$  è il valore di tensione per cui  $V_u = V_i$
- Il guadagno è  $\frac{dV_u}{dV_i}$ , nel tratto di pendenza, solitamente in regione attiva diretta del transistor
- Per calcolare il tempo di propagazione, scrivere l'equazione della corrente sulla capacità parassita (condensatore) e risolvere l'equazione

$$t_p = C \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{I_C} dV_u$$

Controllare che le espressioni della corrente siano sempre valide per il transitorio da  $V_i$  a  $V_f$ , controllando i le regioni di funzionamento dei componenti.