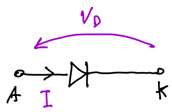
Equazioni Dispositivi

Diodo



- caratteristica I/V non lineare

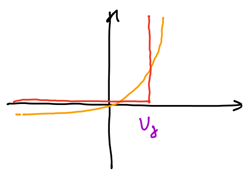
Formula generale

$$I_d = I_s \left(e^{V/V_T} - 1\right)$$

corrente saturazione

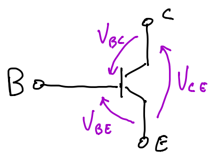
Modello a soglia

$$f(I_d, V_D) = \begin{cases} I_d = 0 & V < V_\gamma \\ V_D = V_\gamma & I_d > 0 \end{cases}$$



$V_\gamma \simeq 0.75\,V$ ← tensione di soglia

BJT



Vale sempre legge kirchhoff

$$I_E = I_B + I_C \qquad V_{BE} = V_{BC} + V_{CE}$$

→ a seconda di come sono polarizzati i terminali si hanno diversi regimi

BE	BC	REGIONE
DIR	INV	NORMALE
INV	DIR	ATT. INVERSA
INV	INV	OFF
DIR	DIR	SATURAZIONE

ATTIVA DIRETTA

β EFFICACE MINORE

ESAME NON SI USA

NON PIÙ RAPPORTO LINEARE

$$f(I_C, I_B, V_{BE}, V_{CE}) = \begin{cases} I_C = I_B = I_E = 0 \quad (OFF) & V_{BE} < V_\gamma \\ V_{BE} = V_\gamma,\ I_C = \beta_F I_B \quad (AD) & V_{CE} > V_{CE\,SAT} \\ V_{BE} = V_\gamma,\ V_{CE} = V_{CE\,SAT} \quad (SAT) & I_C < \beta_F I_B \end{cases}$$

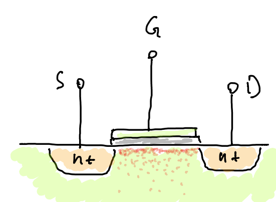
$$\Rightarrow I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = I_B + \beta_F I_B \quad (AD)$$

$$I_E = (\beta_F + 1) I_B \quad (AD)$$

MOSFET

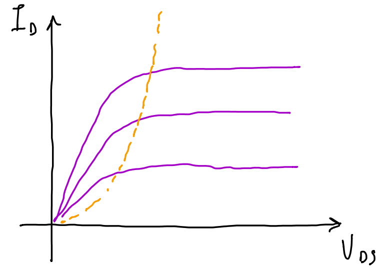
- → risolve fan-out, problemi consumi
- → DRAIN e SOURCE equivalenti
- → DRAIN è quello con potenziale maggiore
- → tensione applicata a gate controlla canale



→ TENSIONI V_{DS} MODESTE → LINEARE

→ TENSIONI V_{DS} MAGGIORI → IL CANALE SI SATURA

→ in gate si vede capacità equivalente



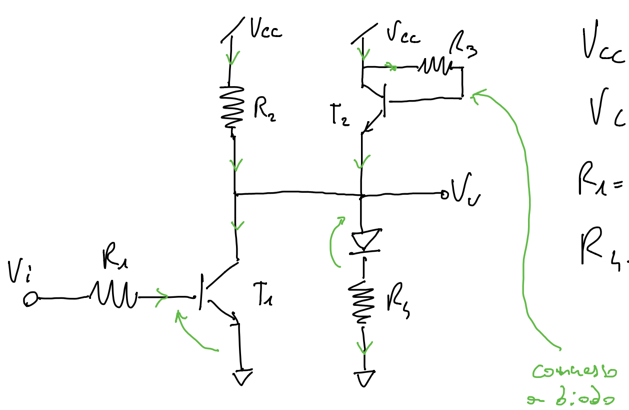
$$
f = \begin{cases} I_{DS} = 0 & \text{OFF} \quad V_{GS} < V_{TN} \\ I_{DS} = \frac{\beta}{2}(V_{GS} - V_{TN})^2 & \text{SAT} \quad V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TN},\ V_{GS} \geq V_{TN} \\ I_{DS} = \beta\left((V_{GS} - V_{TN})V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2}\right) & \text{LIN} \quad V_{DS} < V_{GS} - V_{TN},\ V_{GS} \geq V_{TN} \end{cases}
$$

N-MOS

$$
f = \begin{bmatrix} I_{DS} \to I_{SD} & \\ V_{DS} \to V_{SD} & V_{TN} \to |V_{TP}| \\ V_{GS} \to V_{SG} & \end{bmatrix}
$$

P-MOS

CARATT. STATICA E NOISE MARGIN



$V_{CC} = 5V \quad V_\gamma = 0.75\,V$

$V_{CE\,SAT} = 200\,mV \quad \beta_F = 100$

$R_1 = 250\,\Omega \quad R_2 = 1.5\,k\Omega \quad R_3 = 1\,k\Omega$

$R_4 = 500\,\Omega$

caratteristica statica

? $V_u(V_i)$

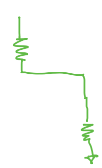
? N_M

noise margin

REGIONE 1 $\quad 0 < V_i < V_\gamma$

→ $V_i < V_\gamma$ → T_1 OFF

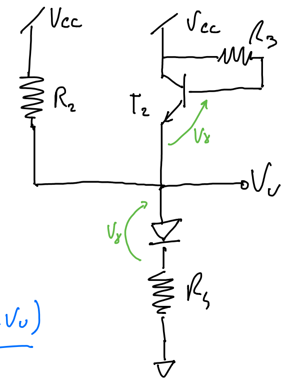
R_1 e R_2 NON FORMANO UN PARTITORE



D e T_2 FORSE ACCESI ?

$R_4 << R_2$ → $V_U \neq V_{CC}$ MA ALTO COMUNQUE

AD



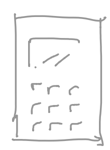
→ SI APPLICA KIRCHHOFF (ELIMINATI T1)

$$I_{R2} + I_{E2} = I_D$$

$$I_D = \frac{V_U - V_\gamma}{R_4} \qquad I_{R2} = \frac{V_{CC} - V_U}{R_2}$$

$$I_{E2} = (\beta_F + 1) I_{B2} = (\beta_F + 1)\frac{V_{CC} - (V_{BE2} + V_U)}{R_3} = (\beta_F + 1)\frac{V_{CC} - (V_\gamma + V_U)}{R_3}$$

$$\begin{cases} I_{R2} + I_{E2} = \underbrace{I_D}_{\equiv I_{R4}} \\ I_D = I_{R4} = \dfrac{V_U - V_\gamma}{R_4} \\ I_{R2} = \dfrac{V_{CC} - V_U}{R_2} \\ I_{E2} = (\beta_F + 1) I_{B2} = (\beta_F + 1)\dfrac{V_{CC} - (V_U + V_\gamma)}{R_3} \end{cases}$$

→ 

$$\begin{cases} I_{R2} = 5.449 \cdot 10^{-3} \\ I_D = 0.0068 \\ I_{E2} = 0.0068 \\ V_U = 4.183 \end{cases}$$

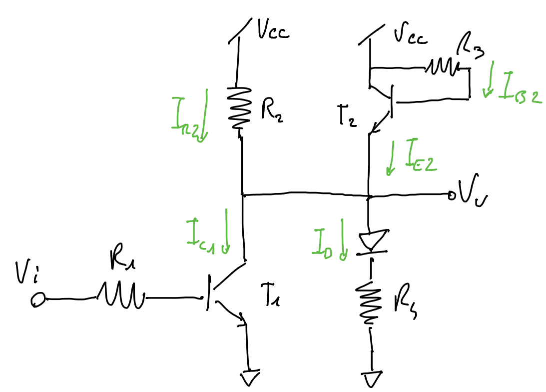
→ FINO A QUANDO SI RESTA IN REGIONE?

→ deve esserci un solo cambiamento per volta per cambiare regione → quando T_1 si accende

→ QUANDO $V_i = V_\gamma$

DEVE VARIARE UN SOLO DISPOSITIVO PER VOLTA DA UNA REGIONE ALL'ALTRA

→ IPOTESI COME PRIMA



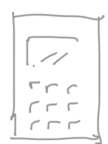
REGIONE 2 $\quad T_1$ AD $\quad D$ ON $\quad T_2$ AD

→ T_1 ENTRA IN EQ. KIRKHOFF

$$
\begin{cases}
I_{R2} + I_{E2} = I_D + I_{C1} \\
I_D = I_{R4} = \dfrac{V_u - V_\gamma}{R_4} \\
I_{R2} = \dfrac{V_{cc} - V_u}{R_2} \\
I_{E2} = (\beta_F + 1) I_{B2} = (\beta_F + 1) \dfrac{V_{cc} - (V_{BE2} + V_u)}{R_3} = (\beta_F + 1) \dfrac{V_{cc} - (V_\gamma + V_u)}{R_3} \\
I_{C1} = \beta_F I_{B1} = \beta_F \dfrac{V_i - V_\gamma}{R_1}
\end{cases}
$$

→ ALTRE EQ. UGUALI

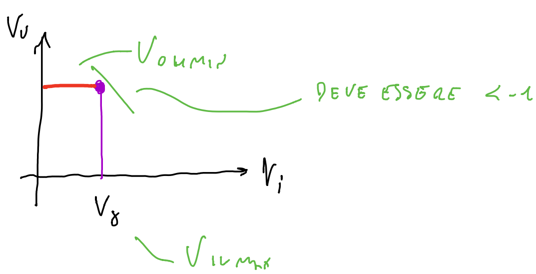
RISOLVERE TUTTO TRANNE V_i



$$
\begin{cases}
I_{C1} = 0.4\, V_i - 0.3 \\
V_u = -3.88\, V_i + 7.09 \\
I_{E2} = 0.39\, V_i - 0.29 \\
I_D = -0.008\, V_i + 0.013 \\
I_{R2} = 0.0009\, V_i - 0.0001
\end{cases}
$$

NOISE MARGIN

→ punto più vicino con cambio derivata



REGIONE 3 $\quad T_1$ AD $\quad D$ OFF $\quad T_2$ AD

→ tensione sta scendendo

T_2 RESTA ACCESO

CHI CAMBIA FRA T_1 E D?

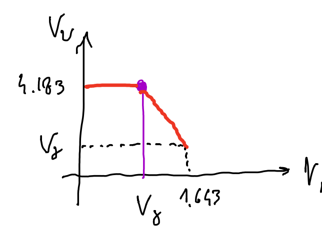
POSSIBILI SITUAZIONI:
- T_1 AD → SAT
- D ON → OFF

il diodo si spegne quando $V_u < V_\gamma$ → si incontra prima

$$
\begin{cases}
I_{R2} + I_{E2} = I_{C1} \; // \\
I_{R2} = \dfrac{V_{CC} - V_U}{R_2} \\
I_{E2} = (\beta_F + 1)\, I_{B2} = (\beta_F + 1) \dfrac{V_{CC} - (V_{BE2} + V_U)}{R_3} = (\beta_F + 1) \dfrac{V_{CC} - (V_\gamma + V_U)}{R_3} \\
I_{C1} = \beta_F I_B = \beta_F \dfrac{V_i - V_\gamma}{R_1}
\end{cases}
$$

continuando a calcolare

$\hookrightarrow$ $V_U = 7.219 - 3.958\, V_i$



REGIONE 4

→ T_1 SAT

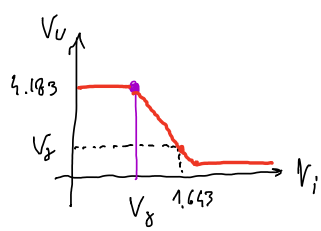
→ $V_{CE} = V_{CESAT}$

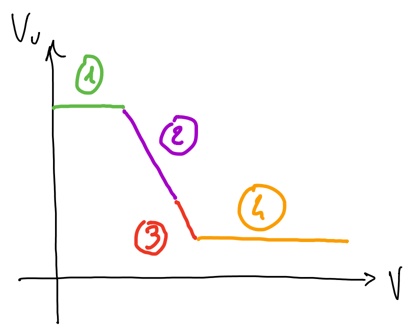
→ QUANDO $V_U = V_{CESAT}$?

$\hookrightarrow$ si sostituisce a eq. in regione 3

→ si segue retta e si guarda quando raggiunge valore V_{CESAT}

$\underline{V_U = V_{CESAT}}$





→ NOISE MARGIN

- FORMULE -

$N_{ML} = V_{IL\,MAX} - V_{OL\,MAX} = 0.55V$

$N_{MH} = V_{OH\,MIN} - V_{IH\,MIN} = 2. \ldots$

} PRENDI MINIMO

//