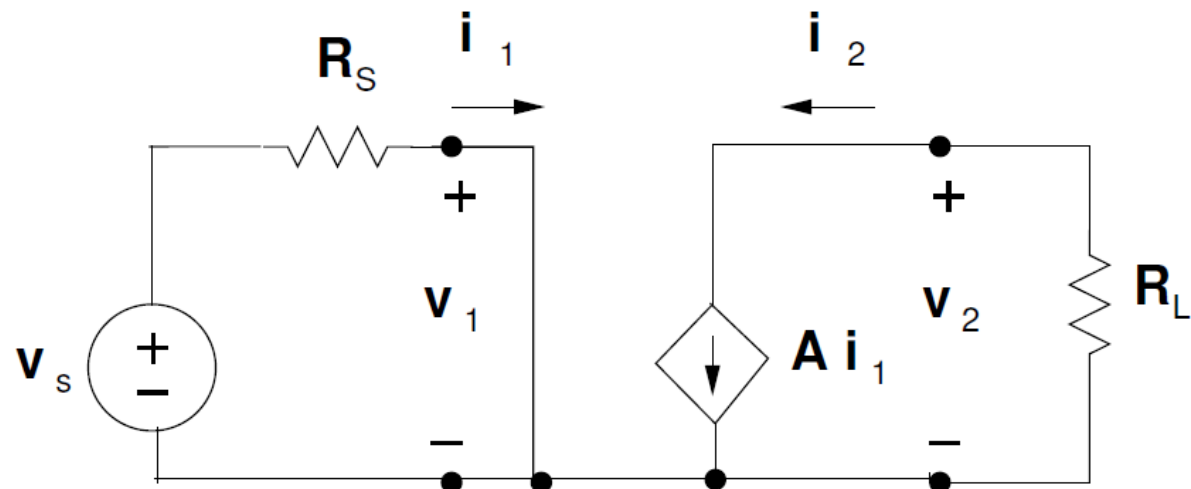


Elettronica Digitale

A.A. 2020-2021

Lezione 18/03/2021

Transistore Bipolare (BJT)

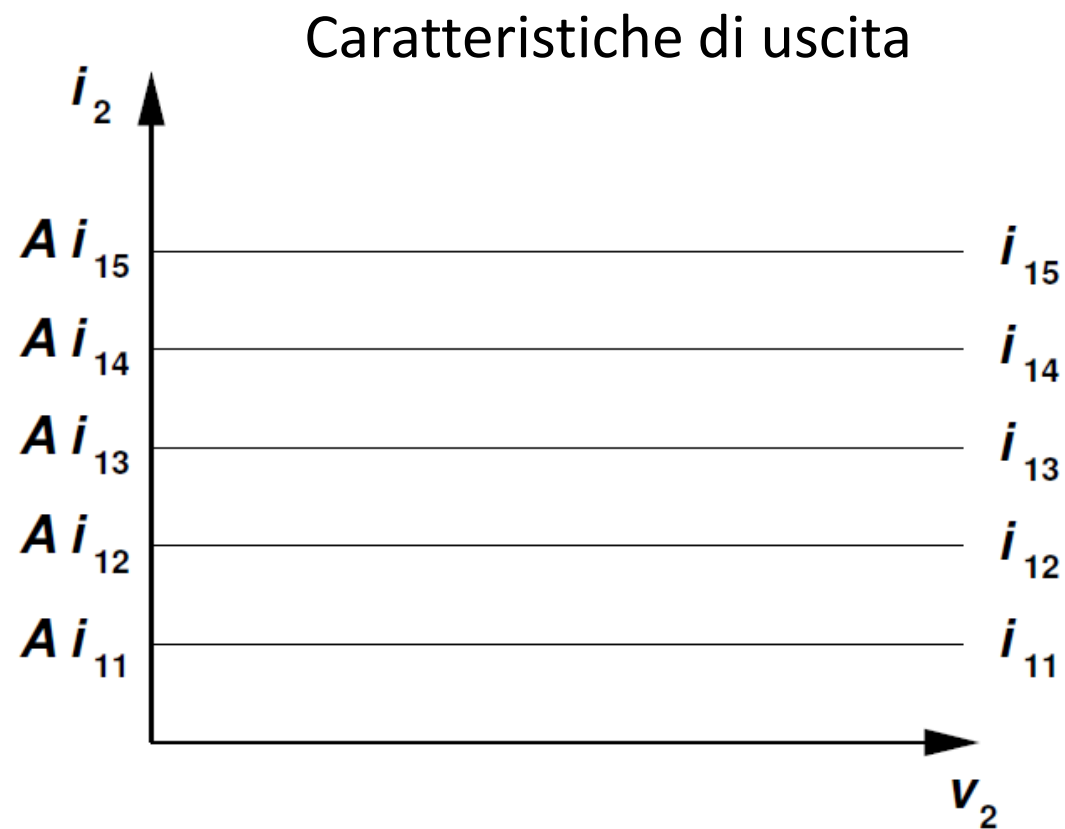


Caratteristiche di ingresso

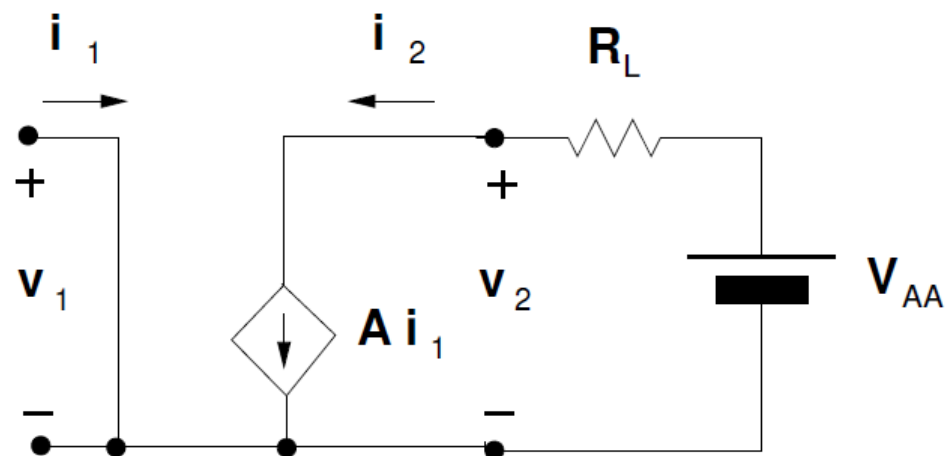
$$i_1 = f(v_1, i_2 \text{ o } v_2)$$

Caratteristiche di uscita

$$i_2 = f(v_2, i_1 \text{ o } v_1)$$



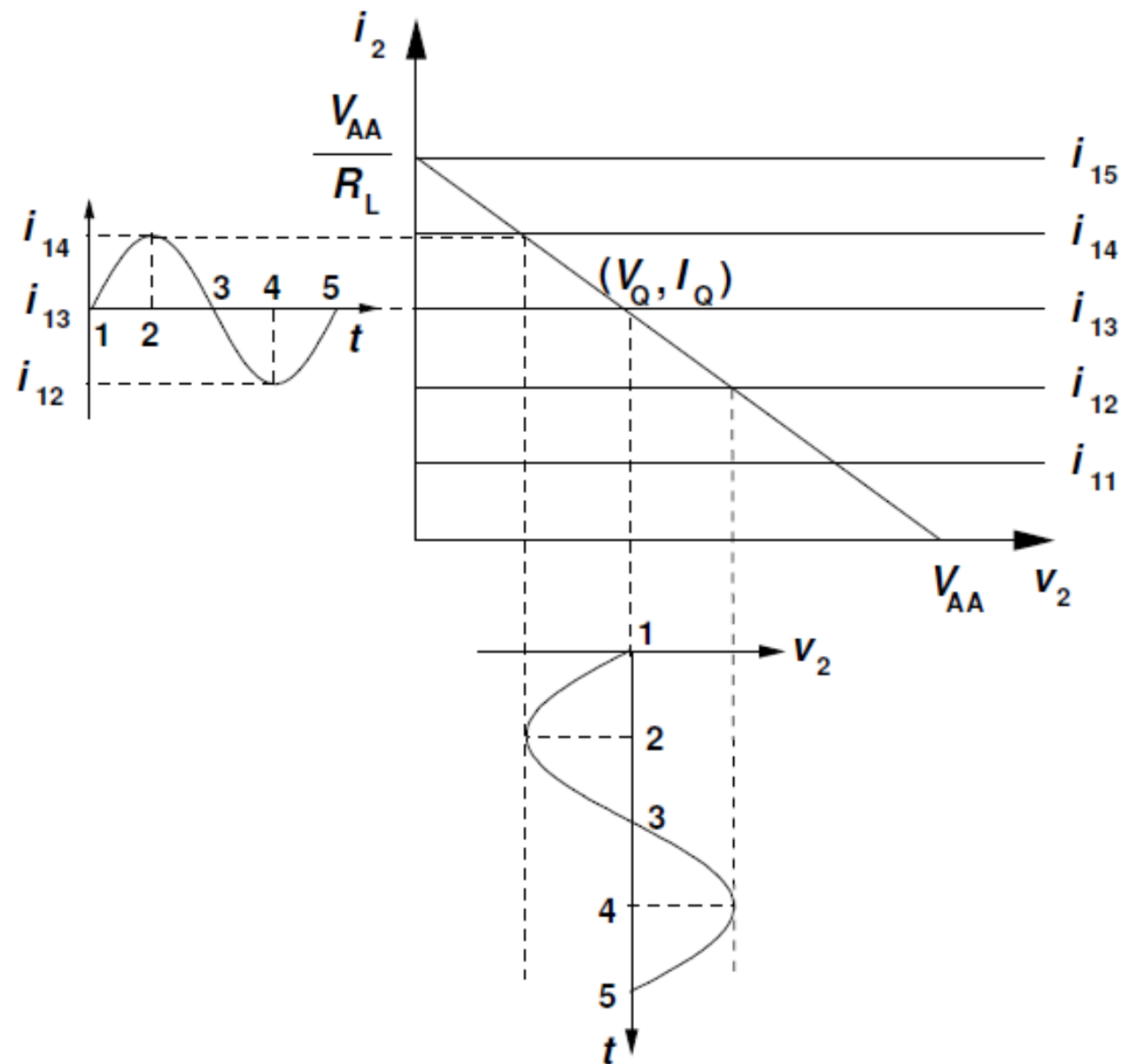
Transistore Bipolare (BJT)



$$V_{AA} = R_L i_2 + v_2$$

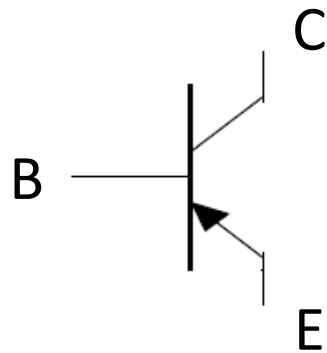
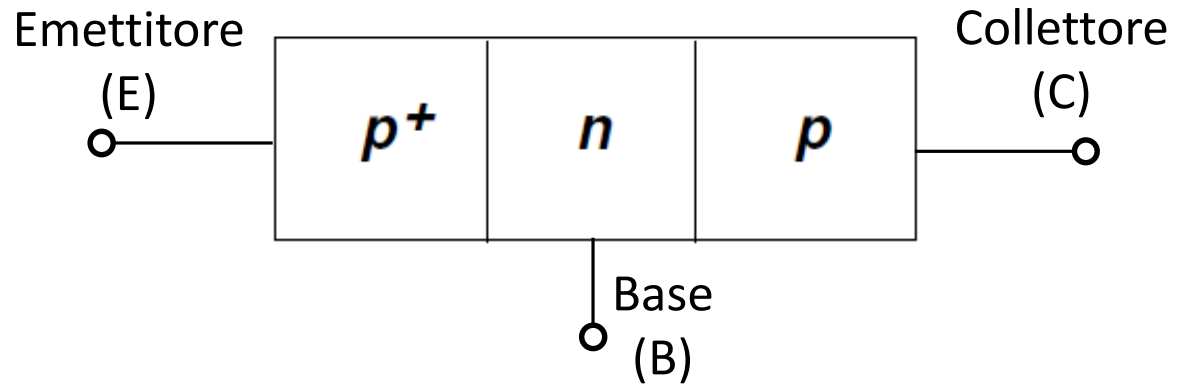
$$i_2 = \frac{V_{AA}}{R_L} - \frac{v_2}{R_L}$$

Retta di carico

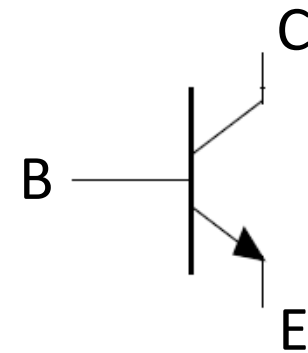
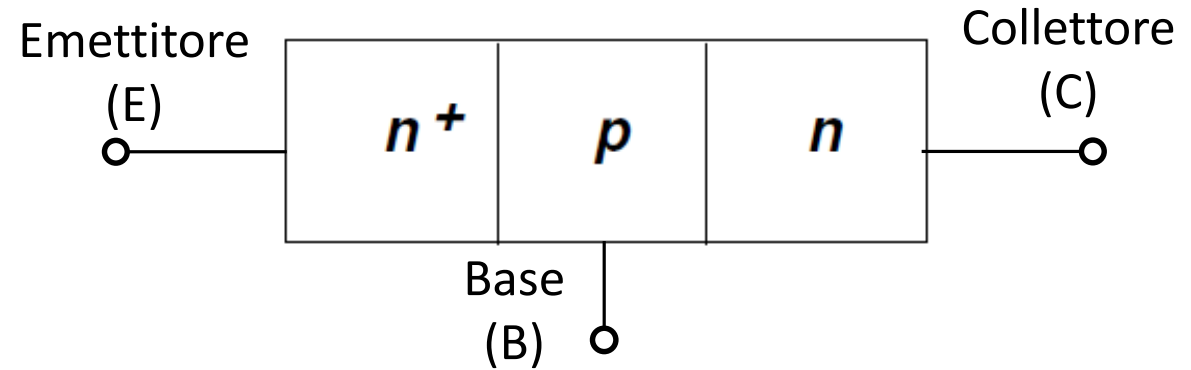


Transistore Bipolare (BJT)

Il transistor bipolare a giunzione consiste di due giunzioni ***p-n*** poste una di seguito all'altra e orientate in senso inverso



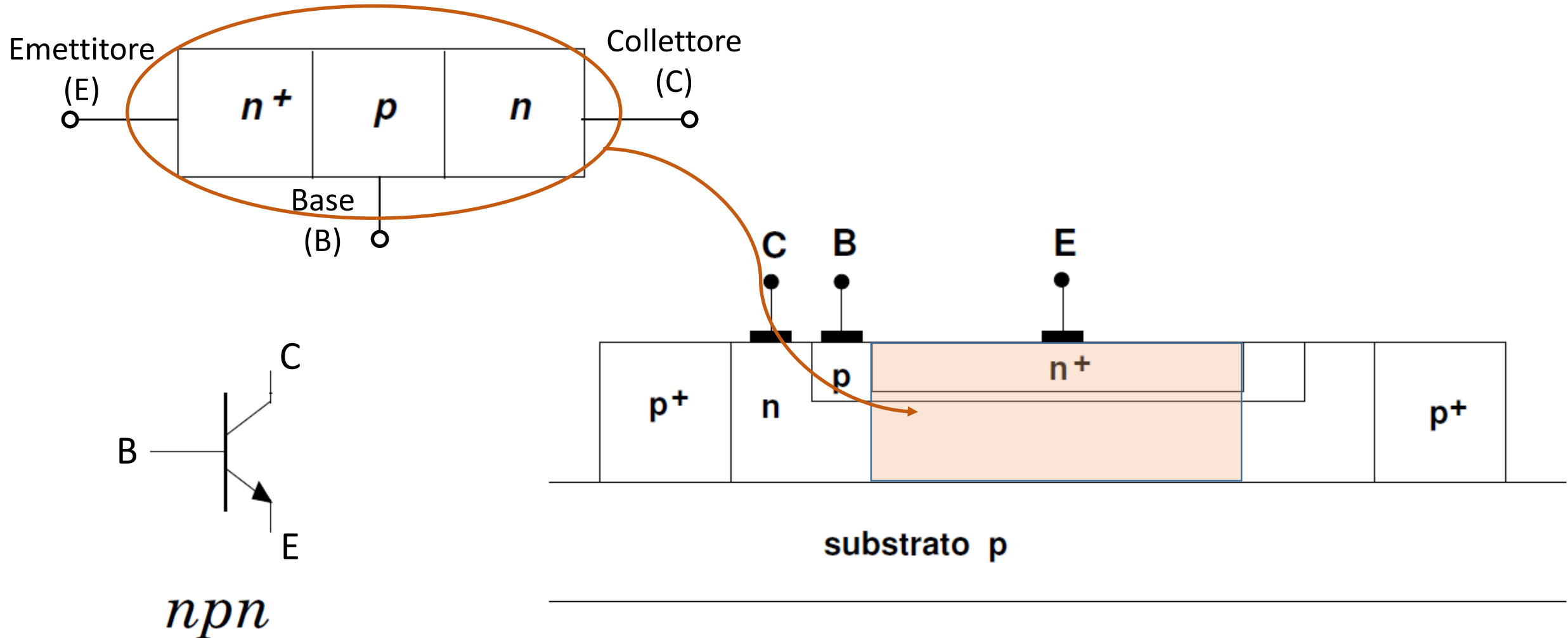
pnp



npn

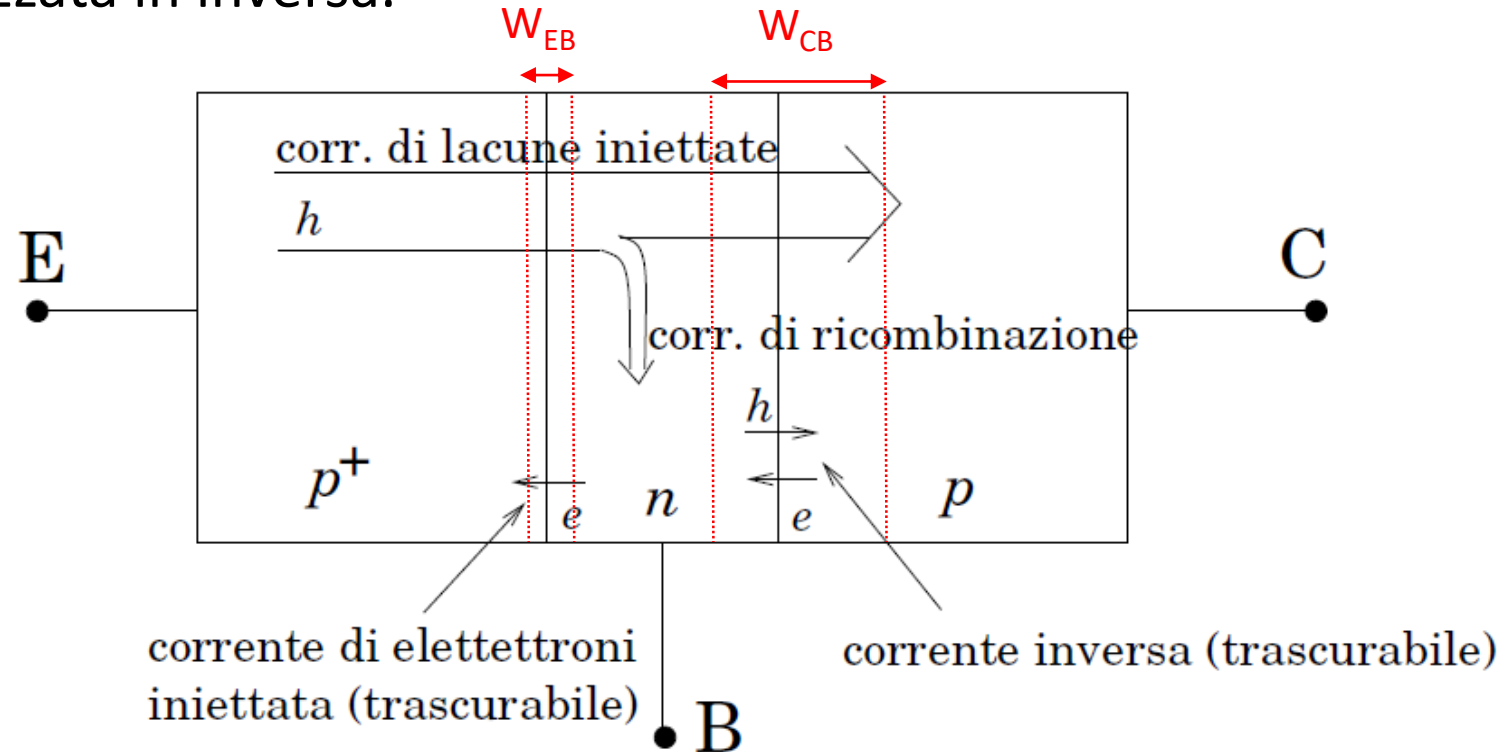
Transistore Bipolare (BJT)

Il transistor bipolare a giunzione consiste di due giunzioni **p-n** poste una di seguito all'altra e orientate in senso inverso



Transistore Bipolare (BJT)

Polarizzazione in zona attiva diretta: giunzione base emettitore polarizzata in diretta e giunzione base collettore polarizzata in inversa.



Caduta di tensione nelle zone neutre trascurabile: fuori dalle zone di svuotamento solo corrente di diffusione

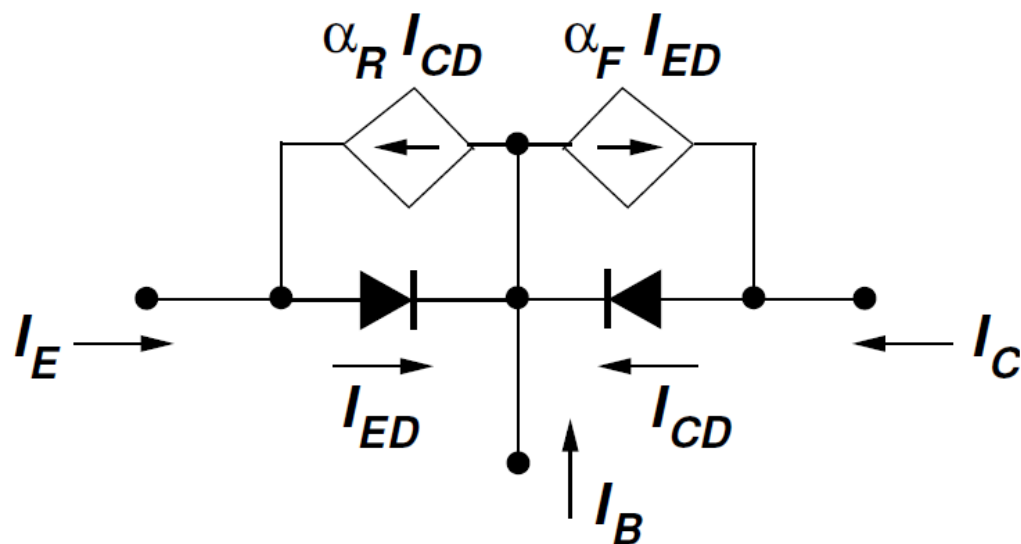
Iniezione di elettroni dalla base verso l'emettitore trascurabile (effetto drogaggio p^+n)

Corrente inversa della giunzione BC trascurabile (effetto polarizzazione inversa)

Transistore Bipolare (BJT)

Modello di Ebers-Moll: descrive il comportamento per grandi segnali del transistor BJT

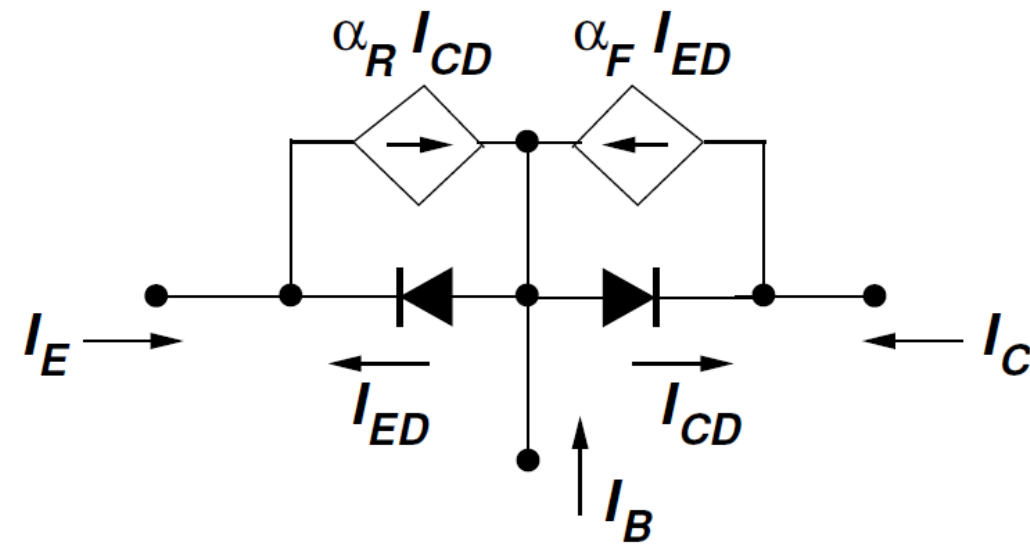
PNP



α_F Frazione di corrente diretta

α_R Frazione di corrente inversa

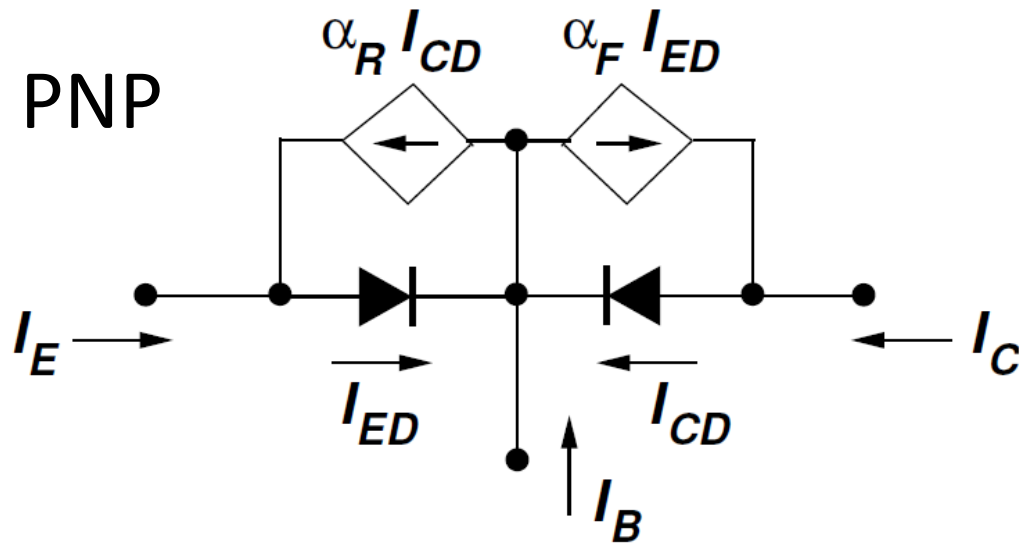
NPN



$0.98 \leq \alpha_F \leq 0.9998$

$0.4 \leq \alpha_R \leq 0.8$

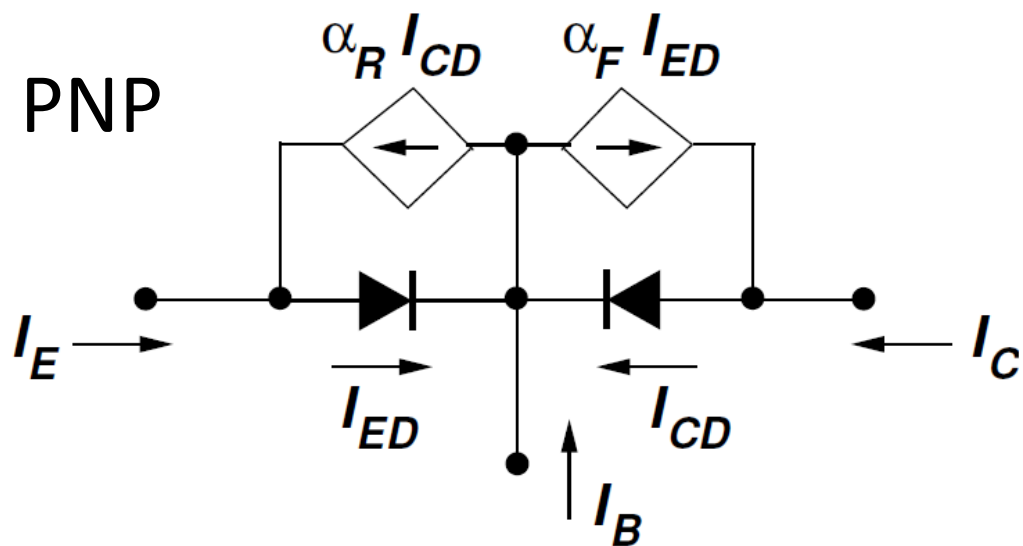
Transistore Bipolare (BJT) – Equazioni di Ebers-Moll



$$\begin{cases} I_{ED} = I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_{CD} = I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{CB}}{V_T}\right) - 1 \right) \end{cases}$$

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

Transistore Bipolare (BJT) – Equazioni di Ebers-Moll

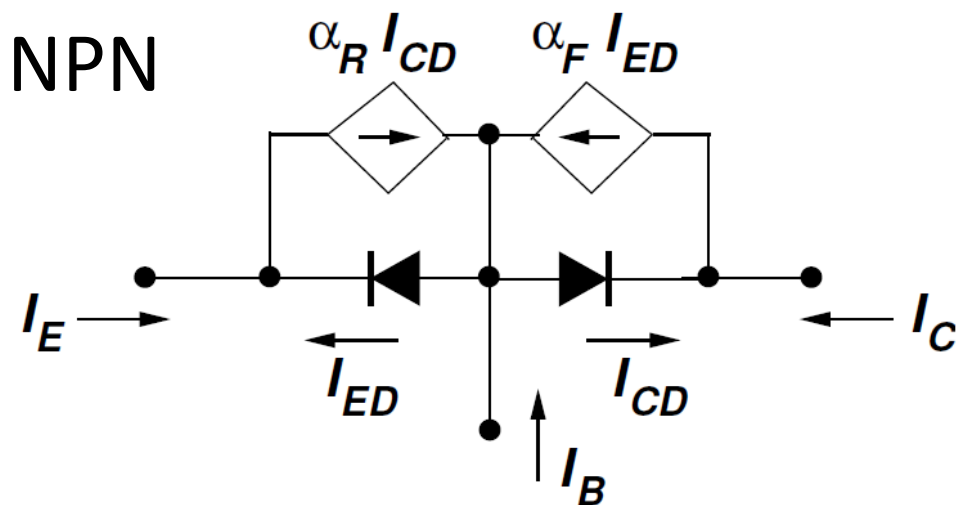


$$\begin{cases} I_{ED} = I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_{CD} = I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{CB}}{V_T}\right) - 1 \right) \end{cases}$$

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

$$\begin{cases} I_E = I_{ED} - \alpha_R I_{CD} = I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) - 1 \right) - \alpha_R I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{CB}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_C = -\alpha_F I_{ED} + I_{CD} = -\alpha_F I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) - 1 \right) + I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{CB}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_B = -I_E - I_C \end{cases}$$

Transistore Bipolare (BJT) – Equazioni di Ebers-Moll



$$\begin{cases} I_{ED} = I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_{CD} = I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{BC}}{V_T}\right) - 1 \right) \end{cases}$$

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

$$\begin{cases} I_E = -I_{ED} + \alpha_R I_{CD} = -I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right) + \alpha_R I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{BC}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_C = +\alpha_F I_{ED} - I_{CD} = +\alpha_F I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right) - I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{BC}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_B = -I_E - I_C \end{cases}$$

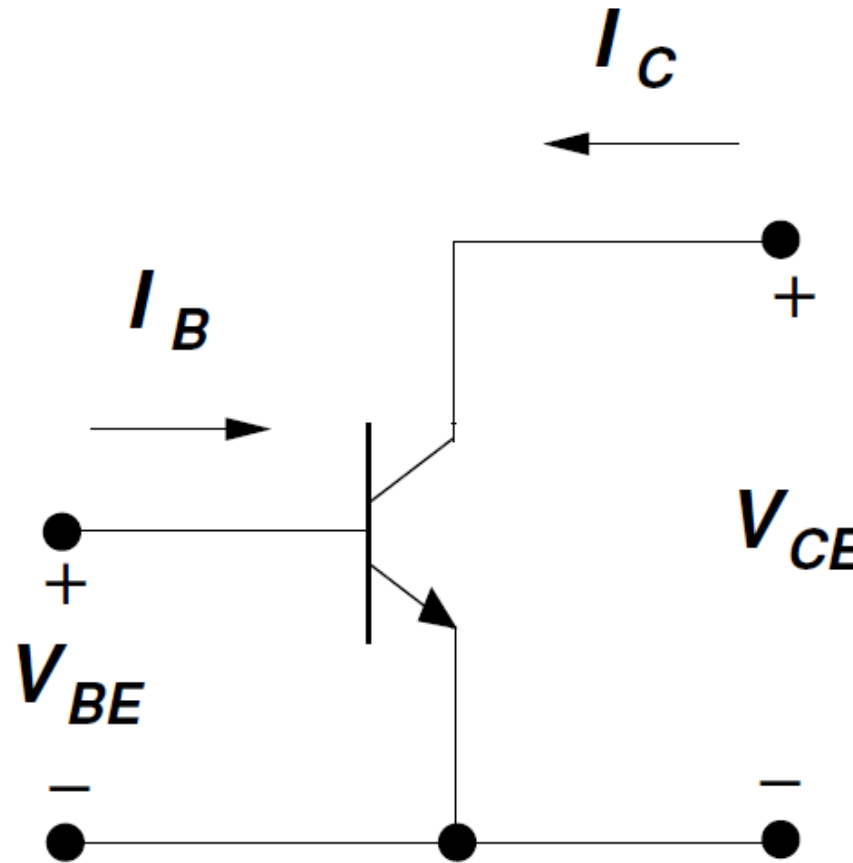
Transistore Bipolare (BJT)

Zona di funzionamento	Polarizzazione giunzioni	Impiego del BJT
Attiva Diretta	Giunzione "BE": diretta Giunzione "BC": inversa	Amplificatore
Attiva Inversa	Giunzione "BE": inversa Giunzione "BC": diretta	Prestazioni molto degradate
Interdizione	Giunzione "BE": inversa Giunzione "BC": inversa	Interruttore aperto
Saturazione	Giunzione "BE": diretta Giunzione "BC": diretta	Interruttore chiuso

Transistore Bipolare (BJT) – Caratteristiche a emettitore comune

Caratteristiche di ingresso

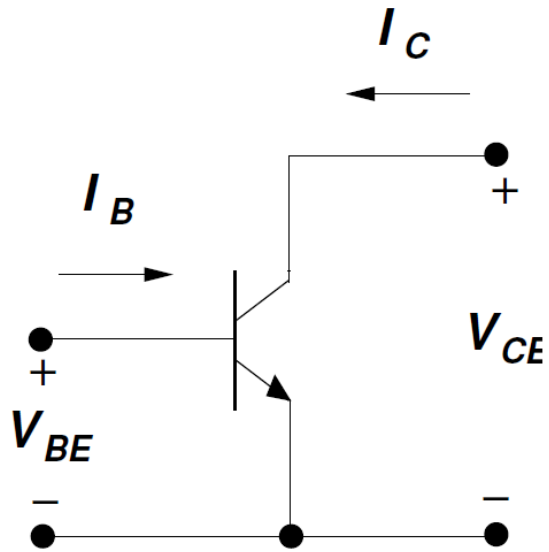
$$I_B = f(V_{BE}, V_{CE})$$



Caratteristiche di uscita

$$I_C = g(V_{CE}, I_B)$$

Transistore Bipolare (BJT) – Caratteristiche a emettitore comune

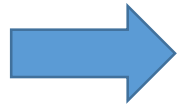


$$\begin{cases} I_E = -I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right) + \alpha_R I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{BC}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_C = +\alpha_F I_{ES} \left(\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right) - I_{CS} \left(\exp\left(\frac{V_{BC}}{V_T}\right) - 1 \right) \\ I_B = -I_E - I_C \end{cases}$$

Zona attiva diretta

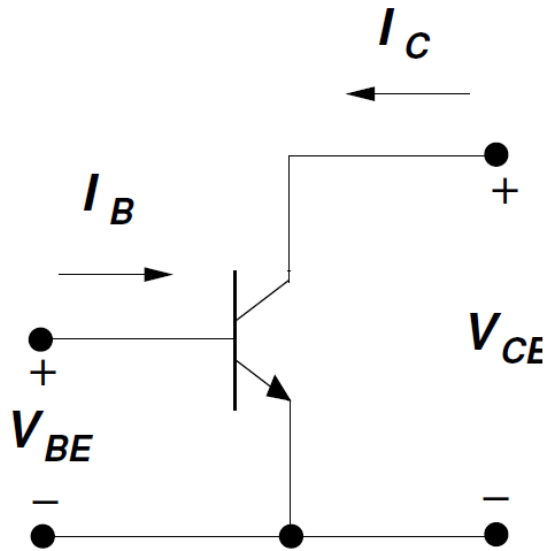
$$V_{BE} \gg V_T$$

$$V_{BC} \ll -V_T$$

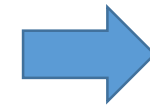


$$\begin{cases} I_E \approx -I_{ES} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - \alpha_R I_{CS} \approx -I_{ES} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \\ I_C \approx +\alpha_F I_{ES} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) + I_{CS} \approx \alpha_F I_{ES} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \end{cases}$$

Transistore Bipolare (BJT) – Caratteristiche a emettitore comune



$$\begin{cases} I_E \approx -I_{ES} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \\ I_C \approx \alpha_F I_{ES} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \end{cases}$$



$$I_C \approx -\alpha_F I_E$$

$$I_B = -I_E - I_C = -\left(-\frac{1}{\alpha_F} I_C\right) - I_C = I_C \left(\frac{1}{\alpha_F} - 1\right) = I_C \frac{1 - \alpha_F}{\alpha_F}$$

Zona attiva diretta

$$V_{BE} \gg V_T$$

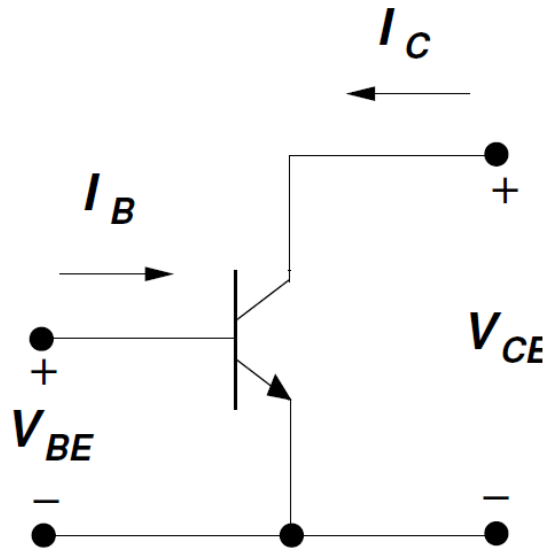
$$V_{BC} \ll -V_T$$

$$I_C = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F} I_B = \beta_F I_B$$

$$\beta_F = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F} = h_{FE}$$

Guadagno di corrente in corto circuito a emettitore comune

Transistore Bipolare (BJT) – Caratteristiche a emettitore comune



Caratteristiche di uscita

