

# Transistor a giunzione bipolare

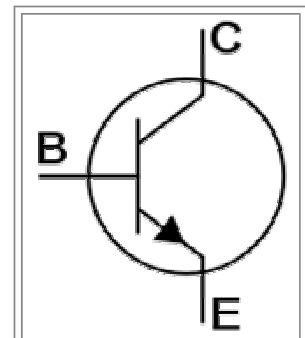
Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

In elettronica, il **transistor a giunzione bipolare**, anche chiamato con l'acronimo **BJT**, abbreviazione del termine inglese *bipolar junction transistor*, è una tipologia di transistor largamente usata nel campo dell'elettronica analogica principalmente come amplificatore ed interruttore.

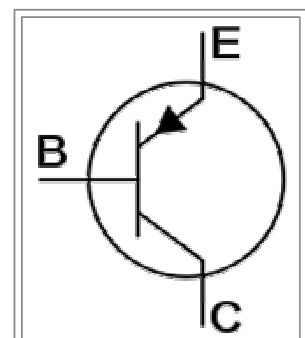
Si tratta di tre strati di materiale semiconduttore drogato, solitamente il silicio, in cui lo strato centrale ha drogaggio opposto agli altri due, in modo da formare una doppia giunzione p-n. Ad ogni strato è associato un terminale: quello centrale prende il nome di *base*, quelli esterni sono detti *collettore* ed *emettitore*. Il principio di funzionamento del BJT si fonda sulla possibilità di controllare la conduttività elettrica del dispositivo, e quindi la corrente elettrica che lo attraversa, mediante l'applicazione di una tensione tra i suoi terminali. Tale dispositivo coinvolge sia i portatori di carica maggioritari che quelli minoritari, e pertanto questo tipo di transistor è detto *bipolare*.

Ognuno dei tre terminali può essere considerato un terminale di ingresso o di uscita, e due di essi possono essere connessi: in tal caso il transistor può assumere le configurazioni *a base comune*, *a collettore comune* o *a emettitore comune*.

Insieme al transistor ad effetto di campo, il BJT è il transistor più diffuso in elettronica. Il dispositivo è in grado di offrire una maggiore corrente in uscita rispetto al FET, mentre ha lo svantaggio di non avere il terminale di controllo isolato.



Simbolo del BJT NPN



Simbolo del BJT PNP

## Indice

- 1 Introduzione
- 2 Correnti nel transistor
- 3 Regioni di lavoro
- 4 Configurazione a base comune
- 5 Configurazione a emettitore comune
- 6 Configurazione a collettore comune
- 7 Amplificazione
- 8 Modelli del transistor
  - 8.1 Modello di Ebers-Moll
  - 8.2 Modello in corrente continua
  - 8.3 Modello per piccoli segnali
  - 8.4 Modello del transistor ad alte frequenze
- 9 Voci correlate
- 10 Collegamenti esterni

## Introduzione

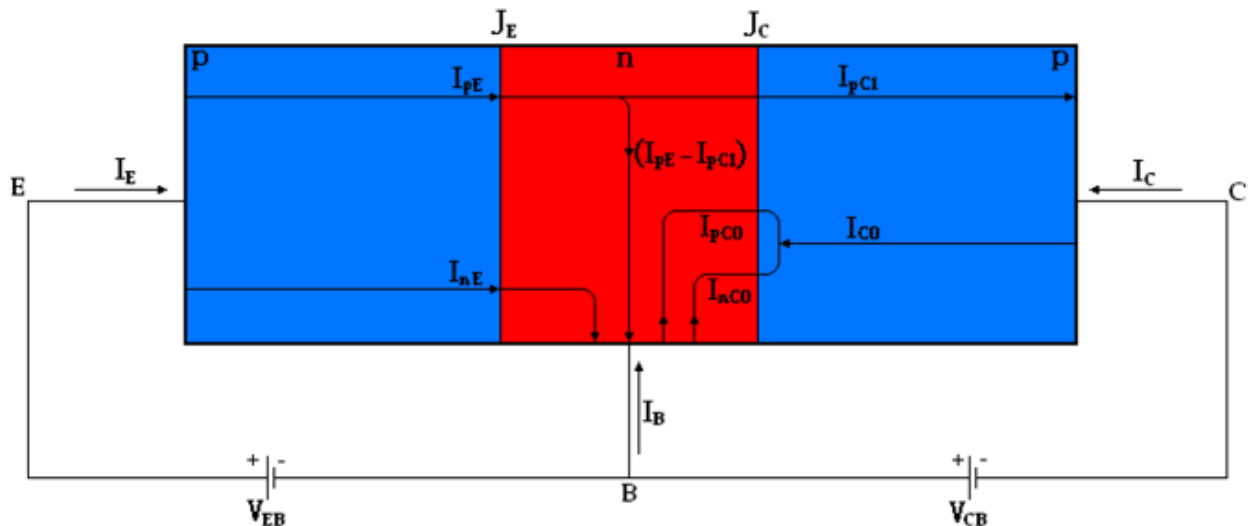
In base al tipo di transistor (npn o pnp) si possono disegnare le concentrazioni dei portatori di carica entro le tre zone del transistor. Le caratteristiche dei due tipi sono speculari a seconda di quali siano i portatori di carica maggioritari e minoritari. Nel funzionamento lineare la corretta polarizzazione delle giunzioni prevede che quella emettitore-base ( $J_E$ ) sia polarizzata direttamente e quella base-collettore ( $J_C$ ) inversamente. Nel caso in cui entrambe le giunzioni siano polarizzate direttamente si ha la saturazione, se queste sono polarizzate inversamente il transistor è interdetto.

Dunque, a seconda della polarizzazione, il transistor (al di là della configurazione), ha tre regioni di

funzionamento:

1. Regione attiva (alcuni considerano regione attiva diretta e inversa)
2. Regione di interdizione
3. Regione di saturazione

## Correnti nel transistor



A questo punto possiamo vedere quali sono le correnti che circolano dentro il transistor pnp. Poiché esso ha tre terminali (base  $B$ , collettore  $C$  ed emettitore  $E$ ), abbiamo tre correnti  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$  che convenzionalmente si prendono entranti nel transistor e quindi positive. La corrente di emettitore è composta di una corrente di lacune  $I_{pE}$  e una di elettroni  $I_{nE}$ , entrambe hanno verso entrante nella base (ovviamente le lacune essendo positive passano dall'emettitore alla base e gli elettroni essendo negativi passano dalla base all'emettitore, ma il verso della corrente è lo stesso per entrambe). Dunque la corrente di emettitore è data da:

$$I_E = I_{pE} + I_{nE}$$

Una parte notevole della corrente  $I_{pE}$  attraversa la base e giunge al collettore, e si indica con  $I_{pC1}$ , l'altra parte di lacune che entrano nella base si ricombina con gli elettroni della base stessa:  $I_{pE} - I_{pC1}$ , mentre la corrente di elettroni  $I_{nE}$  (che in verità va dalla base all'emettitore) essendo la base molto meno drogata rispetto all'emettitore, è molto inferiore rispetto alla corrente di lacune e quindi trascurabile.

La corrente di collettore è invece (essendo polarizzata inversamente) una piccola corrente di saturazione inversa, chiamata  $I_{C0}$ , che è composta da elettroni che passano dal collettore alla base  $I_{nC0}$  e da lacune che passano dalla base al collettore  $I_{pC0}$ . Anche nel collettore queste correnti hanno direzione convenzionale entrante nella base, ma effettivamente questa corrente esce dalla base. Dunque:

$$I_C = I_{C0} - I_{pC1}$$

ma anche:

$$I_{C0} = I_{nC0} + I_{pC0}$$

Se indichiamo con  $\alpha$  la frazione di corrente di emettitore che raggiunge il collettore allora:

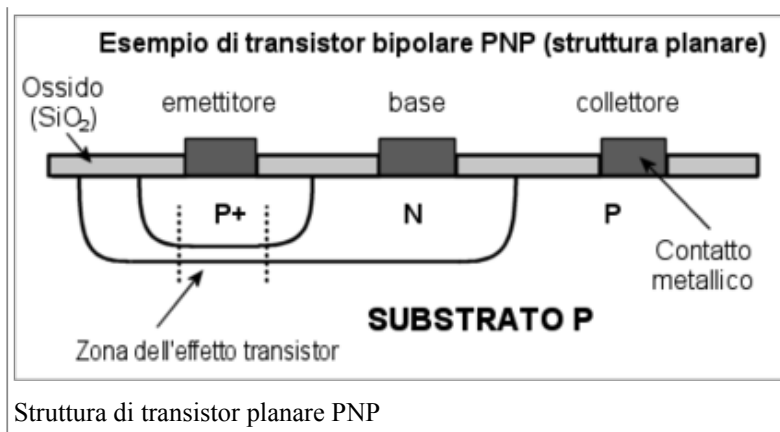
$$I_C = I_{C0} - \alpha I_E$$

$\alpha$  prende il nome di *amplificazione di corrente per grandi segnali* in questo caso a base comune. Può essere espressa anche come:

$$\alpha = \frac{I_{C0} - I_C}{I_E}$$

Per come è definito  $\alpha$  è sempre positivo e ha valore compreso tra 0.9 - 0.999 e varia con la tensione  $V_{CB}$ .

Naturalmente le stesse considerazioni valgono nel transistor npn, dove si invertono i portatori di carica maggioritari e minoritari e quindi le notazioni cambiano di conseguenza: tuttavia le equazioni valgono in analogia.



## Regioni di lavoro

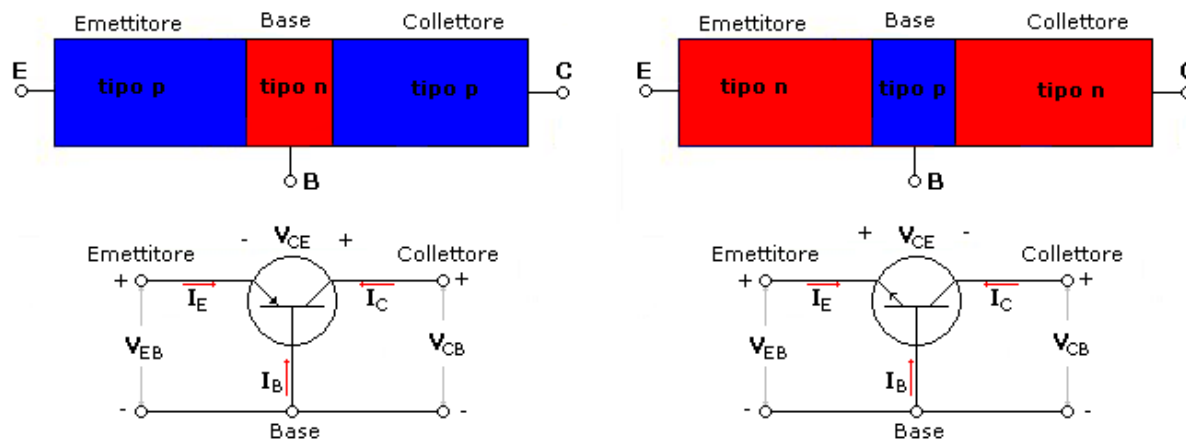
Il transistor viene spesso utilizzato come interruttore (switching transistor) adatto per attivare o disattivare circuiti, trasduttori, ecc.. In tutte queste applicazioni il funzionamento è legato a due particolari stati del BJT: quello di saturazione (ON) e quello di interdizione (OFF).

Nella saturazione è indispensabile che le due giunzioni siano polarizzate direttamente. Per bassi valori  $V_{ce}$  (tensione tra collettore ed emettitore) la corrente di base  $I_b$  perde il controllo sulla corrente di collettore  $I_c$  e manca la proporzionalità  $I_C = h_{fe} \times I_b$  (dove  $h_{fe}$  sta per guadagno di corrente in continua). I valori convenzionali delle tensioni di saturazione sono  $V_{ce} = 0,2V$  e  $V_{be} = 0,7V$ .

Nell'interdizione il transistor non conduce (OFF) e questa condizione si verifica se entrambe le giunzioni sono polarizzate inversamente. Un transistor NPN può essere considerato interdetto se la tensione  $V_{be}$  è minore o uguale a zero, mentre un transistor PNP può considerarsi interdetto se  $V_{be}$  è maggiore o uguale a zero.


Notevole importanza assume il tempo impiegato dal dispositivo per il passaggio da uno stato all'altro.

Nel caso ideale il transistor passa nello stato off e in quello ON e viceversa istantaneamente. Se questo fenomeno si verificasse non avremo dispersioni di calore da parte del BJT perché esso nello stato di interdizione e di saturazione non assorbe potenza. Infatti nello stato di interdizione non passa corrente nel transistor e nello stato di saturazione esso presenta una tensione nulla (o quasi).



Transistor bipolare a giunzione tipo p-n-p e n-p-n con rappresentazione circuitale.

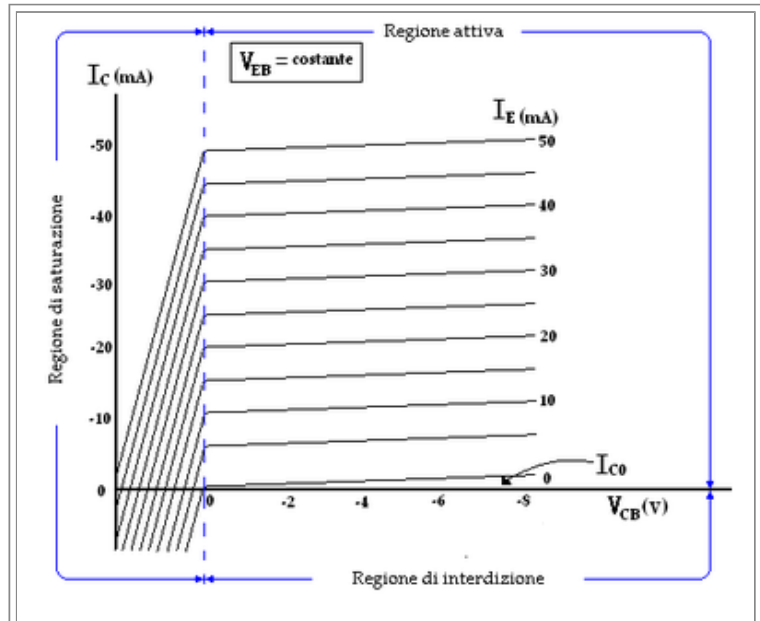
## Configurazione a base comune

 Per approfondire, vedi la voce *Transistor a base comune*.

Nel transistor pnp le correnti sono quelle descritte sopra. Nella **configurazione a base comune** la corrente è dovuta essenzialmente alle lacune, e la corrente  $I_C$  è completamente determinata dalla corrente  $I_E$  e dalla tensione  $V_{CB} = V_C$ . Inoltre la tensione  $V_{EB}$  è anche determinata da queste due variabili allora si può graficare la caratteristica d'uscita:

$$I_C = f_1(V_{CB}, I_E)$$


Il grafico della caratteristica di uscita ha in ascissa la  $V_{CB} = V_C$  in ordinata  $I_C$  e viene parametrizzata in base ai valori di  $I_E$ , mantenendo costante  $V_{EB}$ . Come si nota vi sono tre regioni caratteristiche che sono anche generali, in tutte le configurazioni le regioni sono sempre quelle attiva, di interdizione e di saturazione.



Caratteristiche di uscita del transistor bjt in configurazione a base comune. Da notare che la tensione base-emettitore viene mantenuta costante.

Nel caso di transistor pnp a base comune la 'regione attiva' è il caso in cui la giunzione  $J_C$  è polarizzata inversamente e  $J_E$  è polarizzata direttamente. Essa è rappresentata nella figura come una zona approssimativamente lineare.

## Configurazione a emettitore comune

 Per approfondire, vedi la voce *Transistor a emettitore comune*.

Come si vede dalla figura l'emettitore è collegato direttamente all'alimentazione, mentre la base si trova alla tensione  $V_{BE}$ . La  $V_{CC}$  è la tensione di alimentazione del circuito ed  $R_L$  è la resistenza di carico. La giunzione di emettitore risulta polarizzata direttamente e quella di collettore inversamente, siamo cioè nella **regione attiva** del transistor. Sappiamo che:

$$(2) I_B = -I_C - I_E$$

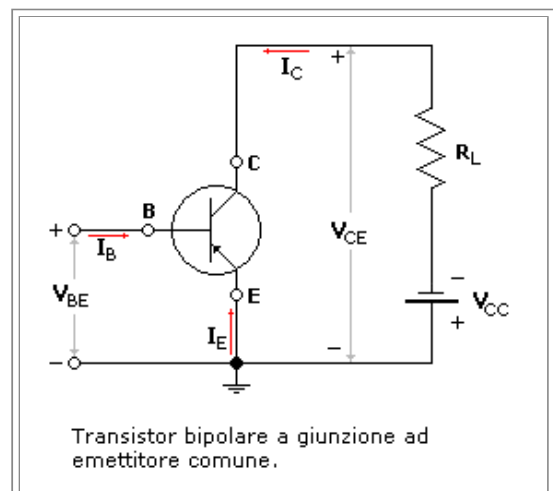
e che:

$$(3) I_C = I_{C0} - \alpha I_E$$

dunque ricaviamo la corrente di collettore:

$$I_C = I_{C0} - \alpha \cdot (-I_B - I_C) = I_{C0} + \alpha I_B + \alpha I_C$$

mettendo in evidenza  $I_C$ :



Transistor bjt nella configurazione ad emettitore comune

$$I_C = \frac{I_{C0}}{1 - \alpha} + \frac{\alpha I_B}{1 - \alpha}$$

In generale si definisce (4)  $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$  detta **amplificazione per ampi segnali**, e dunque:


$$(5) I_C = (1 + \beta)I_{C0} + \beta I_B$$

che si può approssimare, sapendo che  $I_B \gg I_{C0}$  allora il primo addendo si può trascurare:

$$(5') I_C \simeq \beta I_B$$

che ci dice come il transistor si comporta come amplificatore: una piccola variazione della corrente di base produce tramite il coefficiente  $\beta$ , una notevole variazione di corrente di collettore, poiché  $0,95 \leq \alpha \leq 0,999$  il coefficiente  $\beta$  è dell'ordine di  $10^2$ . In questo senso il transistor è anche un generatore di corrente controllato in corrente (o anche controllato in tensione), per questa sua caratteristica.

## Configurazione a collettore comune

 Per approfondire, vedi la voce *Transistor a collettore comune*.

Questa configurazione viene usata comunemente come buffer di tensione. In tale dispositivo il nodo di collettore del transistor è connesso all'alimentazione (un generatore di tensione), il nodo di base fa da ingresso mentre il nodo di emettitore fa da uscita. Il nodo di emettitore "insegue" il potenziale applicato all'ingresso, da cui il nome **inseguitore di emettitore** (in inglese **emitter follower**), usato di solito per riferirsi a questa configurazione. L'equivalente a FET del collettore comune è il *drain comune*.

## Amplificazione

Si vede bene come il transistor reagisce ad una piccola variazione di tensione di ingresso, producendo una grande variazione di corrente di uscita: ecco il motivo per cui un transistor è un amplificatore, in particolare di corrente.

Le configurazioni fondamentali degli amplificatori a singolo BJT sono:

- Amplificatore ad emettitore comune.
- Amplificatore a base comune, usato ad esempio nel Cascode.
- Amplificatore a collettore comune che viene usato come inseguitore di emettitore.

## Modelli del transistor

### Modello di Ebers-Moll

Il modello più simile ad un transistor è quello di Ebers-Moll, poiché esso ha una rappresentazione molto più fisica del funzionamento del transistor e permette di considerarlo in tutte le sue regioni di funzionamento allo stesso modo. Il modello di Ebers-Moll identifica il transistor come formato da due diodi ideali posizionati in direzioni opposte con in parallelo ad ognuno di essi un generatore dipendente di corrente controllato in corrente. In generale l'equazione (1) può essere utilizzata per rappresentare le correnti del diodo simmetricamente, intendendo la corrente di ingresso sia quella di emettitore, come nella (1), sia quella di collettore:

$$(1) I_C = -\alpha_F I_E + I_{C0} \left( 1 - e^{\frac{V_C}{V_T}} \right)$$

$$(6) I_E = -\alpha I_C + I_{E0} \left( 1 - e^{\frac{V_E}{V_T}} \right)$$

Si possono ricavare anche le formule delle tensioni:

$$(7) V_C = V_T \ln \left( 1 - \frac{I_C + \alpha_F I_E}{I_{C0}} \right)$$

$$(8) V_E = V_T \ln \left( 1 - \frac{I_E + \alpha_I I_C}{I_{E0}} \right)$$

dove  $\alpha_F$ ,  $\alpha_I$  sono le amplificazioni di corrente per identificare che nel primo caso il transistor in modo diretto (*forward*) e nel secondo inverso (*inverse*), come avevamo preannunciato.

## Modello in corrente continua

Lo schema di fronte è la rappresentazione di un transistor NPN connesso a due sorgenti di tensione. Perché il transistor conduca corrente da C a E, si applica una tensione (di circa 0.7 volt) alla giunzione base-emettitore. Questa tensione è chiamata  $V_{BE}$ . Questo fa in modo che la giunzione p-n conduca permettendo a una corrente più grande ( $I_C$ ) di scorrere nel collettore. La corrente totale che scorre in uscita è semplicemente la corrente di emettitore,  $I_E$ . Come tutti i componenti elettronici, la corrente totale in ingresso deve essere uguale alla corrente totale in uscita, quindi:


$$I_E = I_B + I_C$$

Questo comportamento può essere sfruttato per creare un interruttore digitale: se la tensione di base è semplicemente una serie di "acceso-spento", allora anche la corrente di collettore seguirà lo stesso andamento nel tempo.

In termini generali, comunque, l'amplificazione  $\beta_{dc}$ , ovvero il guadagno del transistor, è estremamente dipendente dalla temperatura di esercizio: all'aumentare della stessa il guadagno aumenta. In base alla tipologia di circuito elettronico che viene realizzato (ma in particolare nei circuiti amplificatori che richiedono al componente di lavorare nella zona lineare delle sue caratteristiche), il progettista dovrebbe sempre considerare una soddisfacente retroazione, tale da minimizzare gli effetti della variazione di temperatura.


## Modello per piccoli segnali

Qualora i segnali sono abbastanza piccoli, il transistor si comporta con sufficiente linearità e si può usare il modello ibrido del transistor.

 Per approfondire, vedi la voce *Modello ibrido del transistor*.

## Modello del transistor ad alte frequenze

In questo caso non si possono utilizzare i modelli precedenti, perché il transistor non si comporta con linearità. In questo caso si usa il modello di Giacoletto o modello ibrido a parametri  $\pi$ .

 Per approfondire, vedi la voce *Modello di Giacoletto*.

## Voci correlate

- Elettronica
- Semiconduttore
- Dispositivi a semiconduttore

- Transistor
- Polarizzazione del transistor bjt
- Stabilità del transistor
- Giunzione p-n
- Diodo
- Equazione del diodo ideale di Shockley
- Modello ibrido del transistor
- Amplificatore
- Transistor a emettitore comune
- Transistor a collettore comune
- Transistor a base comune
- Effetto Early
- Mosfet
- Valvola termoionica
- JFET
- CMUT
- IGBT

## Collegamenti esterni

- Una introduzione al BJT (Nota: questo sito mostra la corrente come un flusso di elettroni, invece di seguire la convenzione secondo cui la corrente segue il flusso delle lacune, quindi le frecce potrebbero indicare il senso sbagliato)
- Curve caratteristiche
- Analogia con l'acqua

Categorie: [Transistor](#) | [Semiconduttori](#)

---

- Ultima modifica per la pagina: 04:02, 30 mar 2010.
- Il testo è disponibile secondo la licenza [Creative Commons Attribuzione-Condividi allo stesso modo](#); possono applicarsi condizioni ulteriori. Vedi le [condizioni d'uso](#) per i dettagli. [Wikipedia®](#) è un marchio registrato della [Wikimedia Foundation, Inc.](#)