

Il Transistori BJT

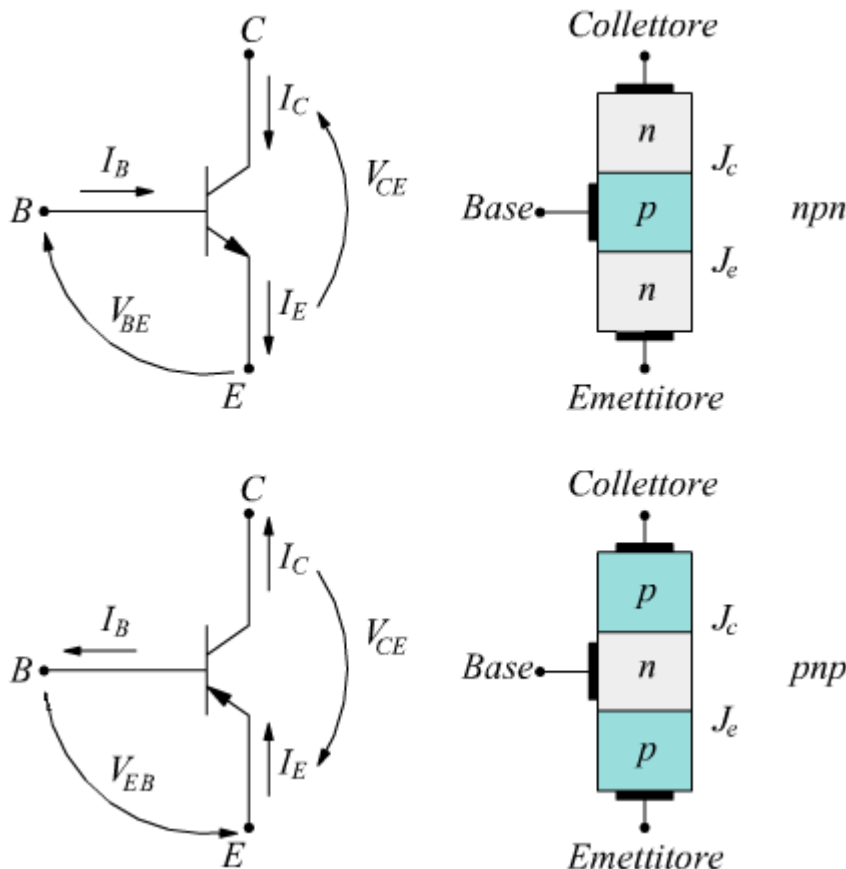
Il Transistor

Il transistor o BJT (bipolar junction transistor) è un componente elettronico che viene prodotto in forma discreta, come componente singolo o in forma integrata, cioè all'interno di circuiti integrati utilizzando per la sua costruzione il silicio, noto come materiale semiconduttore. Viene anche chiamato transistor bipolare perché in esso, il processo di conduzione coinvolge portatori di carica di entrambe le polarità, positiva e negativa; questo lo distingue da un altro transistor: il JFET: transistor ad effetto campo (junction field effect transistor) dove la conduzione vede coinvolti portatori di carica di un solo tipo, elettroni o lacune.

Il transistor viene usato in elettronica indifferentemente come componente analogico (amplificatore di corrente o di tensione) o logico (come interruttore) ha come caratteristica principale quella di essere pilotato in corrente, a differenza del JFET che è, invece, comandato in tensione.

È stato realizzato per la prima volta nei laboratori Bell nel 1948, inizialmente usando come materiale di costruzione un altro materiale semiconduttore: il germanio. Da quel momento e per i successivi decenni il suo utilizzo ha subito incrementi impressionanti giustificato anche dalla messa a punto di tecniche di miniaturizzazione applicate per la sua produzione.

La struttura di un transistor bipolare si riconosce perché costituita da tre regioni adiacenti di materiale semiconduttore drogate alternativamente n e p. In questo disegno sono rappresentate le due tipologie di BJT che si possono ottenere: il modello npn ed il modello pnp dove sono evidenziate le giunzioni di collettore J_c e di emettitore J_e .



Fog 1

Il modello npn è più diffuso, ma quando si illustra il funzionamento del dispositivo lo si fa normalmente col modello pnp perché in esso l'andamento delle correnti coincide con il flusso dei portatori di carica positiva, cioè le lacune.

Chi comanda il funzionamento è sempre la giunzione fra base-emettitore J_e che in questo caso viene polarizzata direttamente, mentre la giunzione J_c fra base e collettore viene polarizzata inversamente. Teoricamente è come avere due diodi contrapposti, uno polarizzato direttamente percorso da una corrente diretta e l'altro polarizzato inversamente e ovviamente percorso da una corrente inversa, piccola ma non trascurabile. Complessivamente la situazione è quella rappresentata nel disegno Fig 2.

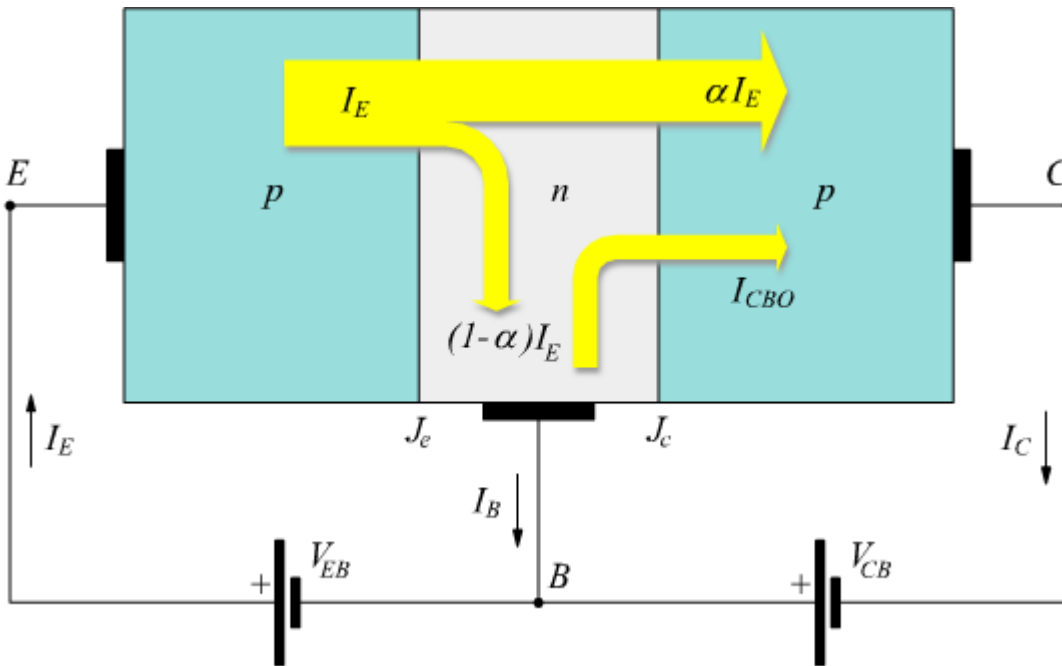


Fig 2

In virtù della polarizzazione diretta J_e viene attraversata da una corrente di diffusione I_E costituita prevalentemente da lacune; giunte nella base le lacune si elidono solo parzialmente con gli elettroni liberi.

La ricombinazione dà luogo alla corrente di base I_B che risulta essere molto più piccola di I_E . Dal punto di vista geometrico lo spessore della base di tipo n è più sottile delle zone di collettore e di emettitore di tipo p; la gran parte delle lacune proseguono verso il terminale di collettore in quantità αI_E ; un valore di $\alpha=0,99$ è plausibile in condizioni ordinarie. Una seconda corrente I_{CBO} viene convogliata verso il terminale collettore, ma questa è la corrente inversa di saturazione della giunzione J_c polarizzata inversamente. Assieme ad αI_E la I_{CBO} andrà a costituire la corrente di collettore I_C .

Per un transistor di tipo npn il comportamento sarà identico, ma il verso delle correnti sarà invertito, perché dovuto al movimento degli elettroni e dunque sarà contrario a quello descritto per il pnp.

Come si vede il funzionamento del transistor è molto complesso e per alcuni risulta difficile da capire perché legato a complessi calcoli matematici, pertanto in questa Lezione spiegheremo in modo pratico questo componente utilizzando semplici esempi. Prima è opportuno chiarire che fino ad ora abbiamo rappresentato il transistor in una forma didattica, nella realtà il transistor viene realizzato come in fig 2a

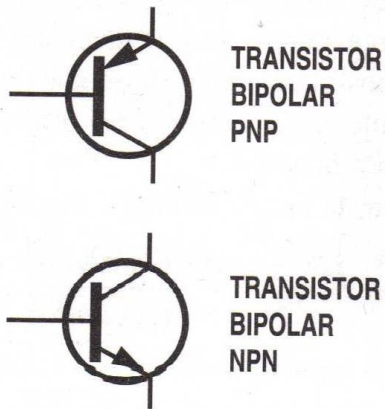


Fig 4a

Come già detto la lettera E indica l'Emettitore la lettera B indica la Base la lettera C indica il Collettore. Spesso però le lettere E - B - C non vengono riportate accanto al simbolo grafico dal momento che i tre terminali del transistor sono facilmente identificabili. Infatti:

- Il terminale Emittitore si riconosce perché sulla sua barra inclinata è sempre presente una freccia rivolta verso l'interno (PNP) o verso l'esterno (NPN).
- Il terminale Collettore si riconosce perché la sua barra inclinata non ha nessuna freccia.
- Il terminale Base si riconosce perché la sua barra ha la forma di una grossa I.

Questo stesso simbolo grafico si usa sia per i transistor di dimensioni ridotte sia per i transistor di dimensioni maggiori fig.3.

Solamente guardando il disegno pratico oppure la foto del montaggio è possibile stabilire le reali dimensioni del transistor.

La differenza che esiste tra un PNP ed un NPN riguarda non solo il drogaggio, ma anche la polarità di alimentazione da applicare sul terminale Collettore.

Nei transistor PNP il terminale Collettore va sempre collegato alla tensione negativa di alimentazione, mentre nei transistor NPN il terminale Collettore va sempre collegato alla tensione positiva di alimentazione fig.5.

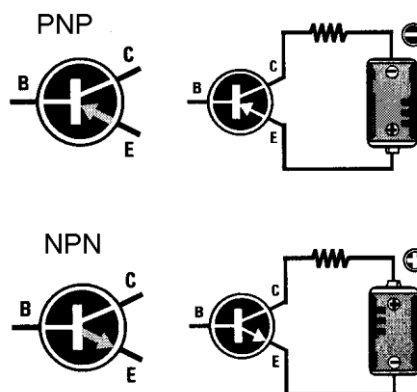


Fig 5

Per ricordare quale polarità va collegata sul Collettore del transistor possiamo prendere come riferimento la lettera centrale delle sigle PNP ed NPN, nei transistor PNP, poiché la lettera centrale è una N (negativo), dobbiamo quindi collegare il terminale Collettore al Negativo di alimentazione, mentre nei transistor NPN, poiché la lettera centrale è una P (positivo), dobbiamo collegare il terminale Collettore al Positivo di alimentazione.

A volte identificare i tre terminali E - B - C che fuoriescono dal corpo di un transistor può risultare problematico anche per un tecnico esperto.

Infatti una Casa Costruttrice può disporli nell'ordine E - B - C, un'altra Casa nell'ordine E - C - B, un'altra ancora nell'ordine C - B - E fig 6.

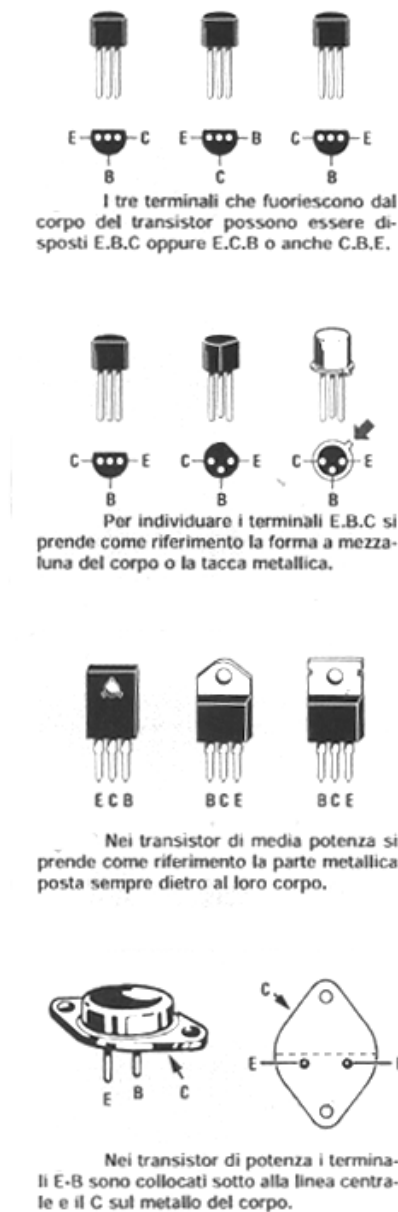


Fig 6

Un serio schema elettrico dovrebbe sempre recare la zoccolatura dei transistor utilizzati, vista normalmente da sotto, cioè dal lato in cui i terminali fuoriescono dal loro corpo.

Per evitare di leggere in senso inverso la disposizione dei piedini, sul corpo di questi componenti è sempre presente un riferimento.

Nei piccoli transistor plastici il riferimento è costituito dal corpo a forma di mezzaluna fig.6, mentre nei piccoli transistor metallici da una minuscola tacca metallica che fuoriesce dal corpo in prossimità del terminale E.

Nei transistor plastici di media potenza questo riferimento è costituito da una piccola aletta metallica posta da un solo lato del corpo, nei transistor metallici di potenza i due terminali E - B vengono



<http://www.marrazzoantonio.altervista.org>

sempre disposti più in basso rispetto alla linea centrale del corpo e con il terminale E posto sulla sinistra ed il B sulla destra. In terminale C è sempre collegato al corpo metallico del transistor.

Nel caso non si riesca a identificare la piedinatura del nostro componente è sempre possibile avvalersi del datasheet, ne esistono numerosissimi, attualmente quasi tutti in lingua inglese, reperibili anche da internet.

Configurazioni circuitali

Come abbiamo visto il transistor è un dispositivo a tre terminali, di conseguenza nell'impiego come amplificatore uno dei tre terminali dovrà essere in comune ad entrambe le porte, di ingresso e di uscita, cioè collegato a massa. Sono possibili tre diverse configurazioni circuitali: common base (base comune o a massa), common emitter (emettitore comune o a massa) e common collector (collettore comune o a massa) Fig 7 e Fig 7a. A seconda della configurazione adottata si ottengono circuiti amplificatori con caratteristiche sensibilmente diverse

Nella configurazione a base comune il terminale di ingresso è l'emettitore, quello di uscita il collettore. La corrente di ingresso, inviata dal generatore, viene trasferita dal transistor nel circuito di uscita come corrente I_c , con una amplificazione di corrente leggermente minore, la tensione che si genera ai capi della resistenza di carico R_L (posta in uscita come carico), è molto maggiore della tensione di ingresso all'emettitore. Un transistor con base a massa è quindi un amplificatore di tensione. Questa è stata storicamente la prima configurazione di utilizzo del bjt.

Nella configurazione a emettitore comune (common emitter), il terminale di ingresso è la base, quello di uscita il collettore, il generatore polarizza la giunzione base-emettitore esattamente come nel caso della configurazione con base a massa, ma questa volta è chiamato a erogare solo la debole corrente di base I_B , che è più piccola della corrente I_c . Un transistor bjt con emettitore a massa è quindi un amplificatore di corrente oltre ad essere un amplificatore di tensione analogamente al circuito con base a massa. Per queste ragioni la configurazione con emettitore comune è quella di utilizzo più frequente.

Nella configurazione a collettore comune (common collector) il terminale di ingresso è la base, quello di uscita l'emettitore. La corrente che circola nella resistenza di carico posta in uscita è maggiore di quella di base, il transistor bjt con collettore a massa è un amplificatore di corrente. L'amplificazione di tensione invece risulta leggermente minore di uno, in quanto la tensione che si trova all'uscita sul carico è quella del generatore di ingresso diminuita della frazione necessaria per polarizzare la giunzione base-emettitore. Il circuito con collettore comune è detto anche inseguitore di tensione (voltage follower o emitter follower).

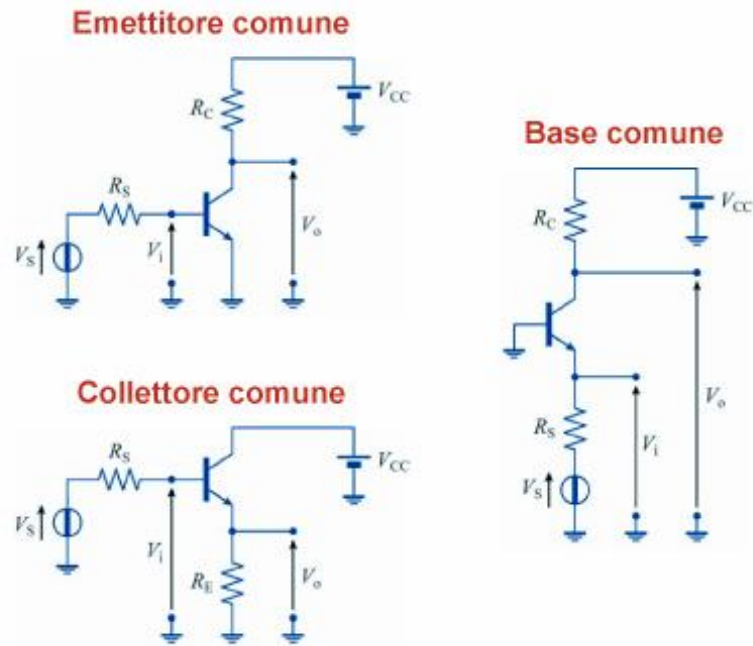
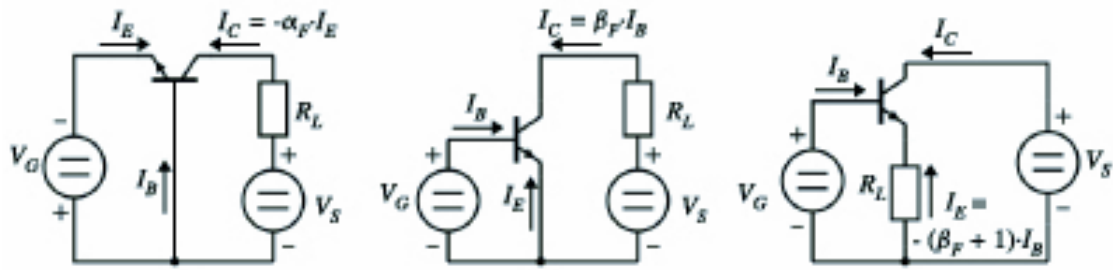


Fig 7



configurazione con correnti

Fig 7a

Le caratteristiche

Vediamo le caratteristiche di un transistor reperibili su quasi tutti i manuali, tanto per portare un esempio prendiamo un ipotetico transistor ed andiamo a leggere le sue caratteristiche:

- VCB = 45 volt max
- VCE = 30 volt max
- VEB = 6 volt max
- IC = 100mA max
- Ptot = 300 milliwatt
- Hfe = 100-200



<http://www.marrazzoantonio.altervista.org>

$$F_t = 50 \text{ Mhz}$$

VCB indica che questo transistor può accettare tra il Collettore e la Base una tensione massima di 45 volt.

VCB indica che la massima tensione che possiamo leggere tra i due terminali Collettore ed Emettore non dovrà mai raggiungere i 30 volt. Questo dato ci è utile per sapere qual è il valore massimo di tensione a cui possiamo alimentare questo transistor.

Un transistor che ha una VCE di 30 volt può essere utilizzato in tutti quei circuiti che vengono alimentati con tensioni di 28 - 24 - 18 - 20 - 12 - 9 - 4,5 volt, ma non in circuiti che vengono alimentati con tensioni di 30 volt o maggiori.

VEB indica il valore della massima tensione inversa che è possibile applicare tra il terminale Base e l'Emettitore.

Ammettendo che l'Emettitore risulti collegato a massa, l'ampiezza totale del segnale alternato che possiamo applicare sulla Base non potrà mai superare il doppio della tensione VEB, esempio con una VEB di 6 volt potremo applicare sulla Base una tensione alternata che non superi mai i:

$$6 + 6 = 12 \text{ volt picco/picco}$$

Nota: la VEB, che è una tensione inversa, non va confusa con la tensione diretta indicata con la sigla VBE che per ogni transistor risulta fissa su un valore compreso tra 0,6 e 0,7 volt.

IC indica la corrente massima che possiamo far scorrere sul Collettore per brevissimi istanti, quindi questa corrente non può essere mai considerata come normale corrente di lavoro.

Ptot indica la potenza massima che il transistor può dissipare ad una temperatura di 25 gradi.

All'atto pratico questa potenza si riduce notevolmente perché quando il transistor lavora, la temperatura del suo corpo aumenta considerevolmente, specie nei transistor di potenza.

Hfe indica il rapporto che esiste tra la corrente di Collettore e quella di Base.

Dato che questo valore è quasi identico al Beta (amplificazione di un segnale nella configurazione ad Emettore comune) viene anche chiamato guadagno.

Il valore 100-200 riportato nel nostro esempio sta ad indicare che, a causa delle tolleranze, questo transistor è in grado di amplificare un segnale non meno di 100 volte e non più di 200 volte.

Non c'è quindi da stupirsi se in possesso di tre identici transistor, uno amplifica 105 volte, uno 160 volte ed un altro 195 volte.

Ft significa frequenza di taglio ed indica il valore di frequenza massima che il transistor riesce ad amplificare.

Il transistor preso in esame riesce ad amplificare qualsiasi frequenza fino ad un massimo di 50 Megahertz circa, ma non frequenze maggiori.