



TEORIA COMPLETA DEI TRANSISTOR BJT

1. Introduzione al Transistor BJT

Il **BJT (Bipolar Junction Transistor)** è un dispositivo semiconduttore a tre terminali utilizzato per amplificare o commutare segnali elettrici. È chiamato "bipolare" perché la sua operazione coinvolge sia portatori di carica maggioritari (elettroni) che minoritari (lacune).

Il BJT è costituito da tre regioni di materiale semiconduttore drogato: **Emettitore (E)**, **Base (B)** e **Collettore (C)**. Queste regioni formano due giunzioni PN che determinano il comportamento del transistor.

2. Struttura e Tipologie di BJT

2.1 Transistor NPN

Nel transistor **NPN**, la struttura è composta da una sottile regione di tipo P (Base) posizionata tra due regioni di tipo N (Emettitore e Collettore). La configurazione è dunque: **N-P-N**.



Identificazione NPN

La freccia del transistor va dalla Base verso l'Emettitore (da B a E)

Questo indica che la corrente convenzionale fluisce dall'emettitore verso la base quando il transistor è in conduzione.

Condizione di polarizzazione: $V_{BE} > 0$ (la base deve essere positiva rispetto all'emettitore)

2.2 Transistor PNP

Nel transistor **PNP**, la struttura è invertita: una sottile regione di tipo N (Base) è posizionata tra due regioni di tipo P (Emettitore e Collettore). La configurazione è: **P-N-P**.



Identificazione PNP

La freccia del transistor va dall'Emettitore verso la Base (da E a B)

In questo caso la freccia punta verso l'interno del transistor (entra nel simbolo).

Condizione di polarizzazione: $V_{EB} > 0$ (l'emettitore deve essere positivo rispetto alla base)

3. Principio di Funzionamento

3.1 Le Giunzioni del BJT

Un BJT contiene due giunzioni PN:

- **BEJ (Base-Emitter Junction):** giunzione tra base ed emettitore
- **BCJ (Base-Collector Junction):** giunzione tra base e collettore

Lo stato di polarizzazione di queste due giunzioni determina la regione di funzionamento del transistor (interdizione, zona attiva, saturazione).

3.2 Flusso di Corrente nel BJT

Quando il transistor è correttamente polarizzato, si stabilisce un flusso di corrente tra i tre terminali. Nel caso di un transistor NPN in zona attiva:

- Una piccola corrente di base (I_B) entra nel terminale di base
- Questa corrente controlla una corrente molto più grande di collettore (I_C)
- La corrente di emettitore (I_E) è la somma delle altre due correnti

Legge di Kirchhoff per le correnti:

$$I_E = I_C + I_B$$

4. Regioni di Funzionamento

Il transistor BJT può operare in diverse regioni a seconda dello stato di polarizzazione delle sue giunzioni:

4.1 Zona di Interdizione (Cut-off)

🚫 Interdizione

In questa regione, entrambe le giunzioni (BEJ e BCJ) sono polarizzate inversamente. Il transistor è praticamente spento e non conduce corrente significativa.

Condizioni NPN:

- $V_{BE} < 0,7V$ (giunzione base-emettitore non conduce)
- $I_C \approx 0$
- $I_B \approx 0$

Condizioni PNP:

- $V_{EB} < 0,7V$ (giunzione emettitore-base non conduce)
- $I_C \approx 0$
- $I_B \approx 0$

4.2 Zona Attiva (Active Region)

⚡ Zona Attiva - La Regione di Amplificazione

Questa è la regione in cui il transistor opera come **amplificatore**. La giunzione base-emettitore (BEJ) è polarizzata direttamente, mentre la

giunzione base-collettore (BCJ) è polarizzata inversamente.

Per transistor NPN:

- $V_{BE} = 0,7V$ (giunzione BE in conduzione diretta)
- $V_C > V_B - 0,4V$ (il collettore deve essere più positivo della base di almeno 0,4V)
- $I_C = I_E$ (approssimazione valida perché I_B è molto piccola)

Per transistor PNP:

- $V_{EB} = 0,7V$ (giunzione EB in conduzione diretta)
- $V_C < V_B + 0,4V$ (il collettore deve essere più negativo della base di almeno 0,4V)
- $I_C = I_E$

Relazione fondamentale tra le correnti:

$$I_B = I_C / \beta$$

dove **β (beta)** è il **guadagno di corrente** del transistor

Alternativamente:

$$I_C = \beta \times I_B$$

Il parametro β tipicamente varia tra 50 e 300 per i transistor comuni.

4.3 Zona di Saturazione



Saturazione - Il Transistor come Interruttore Chiuso

In saturazione, entrambe le giunzioni (BEJ e BCJ) sono polarizzate direttamente. Il transistor è "completamente acceso" e si comporta come un interruttore chiuso. La tensione collettore-emettitore scende a un valore molto

basso.

Condizione caratteristica:

$V_{CE} = 0,2V$ (valore tipico di saturazione)

dove $V_{CE} = V_C - V_E$

⚠️ Verifica della Zona di Saturazione

Se durante l'analisi di un circuito si trova che $V_{CE} < 0,2V$ (ad esempio negativo), significa che l'ipotesi iniziale era errata. In questo caso bisogna:

- Assumere che il transistor sia in saturazione ($V_{CE} = 0,2V$)
- Procedere con la **verifica della zona attiva** per confermare
- Ricalcolare le correnti con le nuove assunzioni

5. Polarizzazione delle Giunzioni

5.1 Giunzione Base-Emettitore (BEJ)

Per transistor NPN:

La BEJ è polarizzata **direttamente** quando:
 $V_B > V_E$

Per transistor PNP:

La BEJ è polarizzata **direttamente** quando:
 $V_E > V_B$

5.2 Giunzione Base-Collettore (BCJ)

Per transistor NPN:

La BCJ è polarizzata **direttamente** quando:

$$V_B > V_C$$

(questo porta il transistor in saturazione)

Per transistor PNP:

La BCJ è polarizzata **direttamente** quando:

$$V_C > V_B$$

(questo porta il transistor in saturazione)

6. Parametri Fondamentali del BJT

Parametro	Simbolo	Descrizione	Valori Tipici
Guadagno di corrente in continua	β (beta) o h_{FE}	Rapporto tra corrente di collettore e corrente di base	50 - 300
Tensione base-emettitore	V_{BE}	Caduta di tensione sulla giunzione BE in conduzione	0,6 - 0,7V
Tensione di saturazione	$V_{CE(sat)}$	Tensione collettore-emettitore in saturazione	0,2V
Guadagno di emettitore	α (alpha)	Rapporto I_C/I_E	$\approx 0,98 - 0,99$

Relazione tra α e β :

$$\alpha = \beta / (\beta + 1)$$

$$\beta = \alpha / (1 - \alpha)$$

7. Procedura di Analisi di un Circuito con BJT

Metodologia Standard

1. **Identificare il tipo di transistor** (NPN o PNP) osservando la direzione della freccia
2. **Assumere una regione di funzionamento** (tipicamente zona attiva)
3. **Applicare le condizioni della regione assunta:**
 - Per zona attiva: $V_{BE} = 0,7V$ (NPN) o $V_{EB} = 0,7V$ (PNP)
 - $I_C \approx I_E$ (relazione fondamentale in zona attiva)
 - $I_B = I_C / \beta$ (per calcolare la corrente di base)
4. **Calcolare tensioni e correnti** usando le leggi di Kirchhoff
5. **Verificare le ipotesi:**
 - Per NPN in zona attiva: controllare che $V_C > V_B - 0,4V$
 - Per PNP in zona attiva: controllare che $V_C < V_B + 0,4V$
 - Se V_{CE} risulta negativo o troppo basso, assumere saturazione
6. **Se necessario, ricalcolare** con la regione corretta

8. Applicazioni dei Transistor BJT

8.1 Amplificatori

In zona attiva, il BJT può amplificare segnali. Una piccola variazione della corrente di base produce una grande variazione della corrente di collettore, permettendo l'amplificazione di tensione e corrente.

8.2 Interruttori Elettronici

Sfruttando le regioni di interdizione (OFF) e saturazione (ON), il BJT può funzionare

come interruttore controllato elettronicamente, fondamentale nei circuiti digitali e di potenza.

8.3 Oscillatori

Configurazioni particolari di BJT possono generare forme d'onda periodiche per applicazioni di temporizzazione e generazione di segnali.

9. Riepilogo Formule Essenziali

FORMULE FONDAMENTALI:

Correnti:

- $I_E = I_C + I_B$
- $I_C = \beta \times I_B$
- $I_B = I_C / \beta$
- $I_C \approx I_E$ (in zona attiva)

Tensioni (NPN):

- $V_{BE} = 0,7V$ (zona attiva)
- $V_{CE} = V_C - V_E$
- $V_{CE(sat)} = 0,2V$ (saturazione)
- Condizione zona attiva: $V_C > V_B - 0,4V$

Tensioni (PNP):

- $V_{EB} = 0,7V$ (zona attiva)
- $V_{EC} = V_E - V_C$
- $V_{EC(sat)} = 0,2V$ (saturazione)
- Condizione zona attiva: $V_C < V_B + 0,4V$

⌚ Punti Chiave da Ricordare

- La freccia indica sempre l'emettitore e la direzione della corrente convenzionale
- In zona attiva, V_{BE} (o V_{EB}) è sempre circa 0,7V
- La corrente di base è molto più piccola della corrente di collettore ($I_B \ll I_C$)

I_C)

- In saturazione, V_{CE} scende a circa 0,2V
- La verifica della regione di funzionamento è cruciale per l'analisi corretta