

I tempi di commutazione del BJT

Nell'analisi delle differenze di comportamento tra il BJT ideale e quello reale, occorre anche considerare che, mentre nel caso ideale il passaggio dalla commutazione all'interdizione o viceversa avviene in tempo nullo, nel caso reale il passaggio tra le due condizioni limite richiede tempi non trascurabili e per di più diversi, in funzione del verso della commutazione.

Le cause di questi tempi sono sostanzialmente due:

a) Accumulo di portatori: quando una giunzione non è polarizzata, la concentrazione dei portatori (elettroni e lacune) nella zona P ed in quella N è uniforme; polarizzandola si modifica l'equilibrio precedente e si aumenta la concentrazione di portatori in una delle zone, mentre la si diminuisce nell'altra. Lo squilibrio delle concentrazioni tra le due condizioni (giunzione polarizzata e non polarizzata) viene definito *accumulo* e corrisponde ad un lavoro compiuto dal generatore esterno di polarizzazione, che per questo spende energia e richiede tempo.

Si comprende da questo che il passaggio dallo stato di giunzione non polarizzata, a quello di giunzione polarizzata (direttamente o inversamente) richiede un tempo, che costituisce appunto il *tempo d'accumulo*.

b) Capacità di giunzione: la giunzione è sede di effetti di tipo capacitivo che sono causa di ritardo nella modifica dello stato delle correnti e delle tensioni nel componente perché danno luogo a costanti di tempo assieme alle resistenze esterne ed interne al BJT. Queste costanti di tempo, sempre presenti nel comportamento del BJT, risultano particolarmente sensibili quando il componente opera in commutazione.

Le capacità si possono attribuire a due cause fisiche:

– *capacità di transizione:* è causata dalla presenza della zona di svuotamento della giunzione (depletion layer), che ha l'effetto di un dielettrico e dagli addensamenti di portatori maggioritari ai suoi lati, che costituiscono le armature; questa capacità è sensibile in condizione di *polarizzazione inversa*, viene indicata con C_T e va da alcuni pF ad alcune centinaia di pF. La capacità C_T si modifica in funzione del potenziale di polarizzazione della giunzione e della superficie della medesima.

– *capacità di diffusione:* in polarizzazione diretta, ove non si risente della capacità di transizione, si deve comunque tenere conto di un effetto reattivo denominato *capacità di diffusione* C_D . Questa capacità viene attribuita al fenomeno di ricombinazione che avviene nella zona di svuotamento. La capacità C_D è direttamente proporzionale alla corrente di polarizzazione diretta ed inversamente proporzionale alla temperatura della giunzione e assume valori dell'ordine della decina di pF.

Nell'analisi dei tempi di commutazione del BJT vengono normalmente diversificati i due tipi di passaggio (interdizione \rightarrow conduzione o viceversa) perché hanno entità diversa e, nell'ambito di ciascuno di questi, s'individuano componenti temporali, che sono dovute agli effetti sopra descritti.

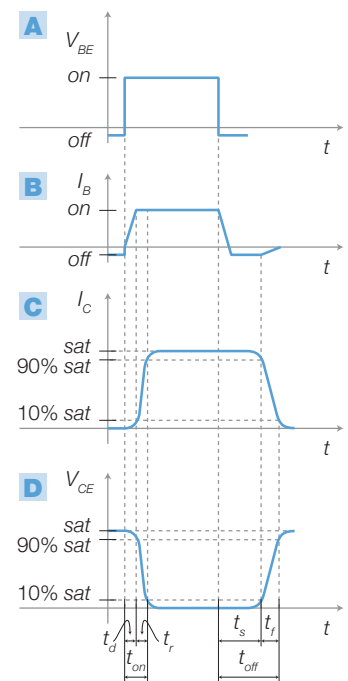


FIGURA 1
A) Segnale d'ingresso che produce la commutazione dall'interdizione alla saturazione e viceversa (onda quadra);
B) relativo andamento della corrente d'ingresso I_B ;
C) andamento della corrente di collettore I_C ;
D) andamento della tensione V_{CE} .

a) Commutazione dall'interdizione alla conduzione

Il tempo complessivo (FIGURA 1D) viene indicato con:

$$t_{ON} = t_d + t_r$$

dove:

$t_d = \text{delay time}$ (tempo di ritardo); è il tempo che intercorre tra il potenziale V_{BE} applicato alla base e l'inizio della circolazione della corrente I_B ; è dovuto essenzialmente al tempo d'accumulo della giunzione base-emettitore e risulta dell'ordine della decina di ns;

$t_r = \text{rise time}$ (tempo di salita); è il tempo necessario perché:

- la corrente della maglia d'uscita I_C si porti da 1/10 a 9/10 del valore finale;
- la tensione della maglia d'uscita V_{CE} si porti da 9/10 a 1/10 del valore iniziale.

Questo tempo è determinato dalla ricombinazione e dalla diffusione, ovvero dalle capacità di giunzione ed è dell'ordine di alcune decine di ns.

b) Commutazione dalla conduzione all'interdizione

Il tempo complessivo (FIGURA 1D) viene indicato con:

$$t_{OFF} = t_s + t_f$$

dove:

$t_s = \text{storage time}$ (tempo di immagazzinamento) è causato dalla esigenza di disperdere l'accumulo di cariche nella giunzione base-emettitore in conduzione (fenomeno di *recovery*) e dagli effetti reattivi della giunzione (fenomeno di decadimento o *decay*), che rallentano la variazione della corrente I_B a seguito dell'annullamento di V_{BE} ; risulta dell'ordine delle centinaia di ns;

$t_f = \text{fall time}$ (tempo di caduta); è il tempo necessario perché:

- la corrente della maglia d'uscita I_C si porti da 9/10 a 1/10 del valore finale;
- la tensione della maglia d'uscita V_{CE} si porti da 1/10 a 9/10 del valore iniziale.

Questo tempo è determinato dai medesimi fenomeni che provocano il tempo di salita t_r , ma ha durata leggermente superiore rispetto ad esso.

ESEMPIO 1

All'ingresso di un circuito con transistor 2N2222, viene applicata un'onda quadra; si determini la massima frequenza di tale onda, affinché anche l'onda d'uscita possa essere considerata quadra. Si ricordi che l'onda d'uscita è sfasata di 180° rispetto a quella d'ingresso ed i fronti di salita e discesa assumono durata non trascurabile a causa dei tempi di commutazione del BJT; Considerare le seguenti ipotesi:

- i tempi di salita e discesa dell'onda quadra d'ingresso (che ha duty cycle 50%) sono trascurabili;
- l'onda d'uscita si può considerare quadra se la durata del tempo t_{on} è inferiore ad 1/20 del semiperiodo del segnale.

SOLUZIONE

Dalle caratteristiche del BJT 2N2222 si rileva:

$t_{on} = t_d + t_r = 35 \text{ ns}$; se si indica con $T/2$ il semiperiodo del segnale, la condizione che permette di considerare quadra l'onda d'uscita, fornisce:

$$\frac{1}{20} \left(\frac{T}{2} \right) \geq 35 \cdot 10^{-9}$$

da cui: $T \geq 1,4 \mu\text{s}$,

ovvero: $f_{\max} = \frac{1}{T} \leq 715 \text{ kHz}$