



La Distorsione d'incrocio



Continuando con l'articolo dedicato alla Distorsione di Cross-Over affrontiamo ora il problema di come deve essere progettato il sistema per evitare di incorrere nella distruzione dei diodi presenti fra le basi della coppia dei BJT

a cura di Flavio Criseo - 2ª e ultima parte

Nella prima parte avevamo parlato della potenza che i finali audio devono avere e a quale tensione essi siano sottoposti nella condizione di riposo e in fase dinamica.

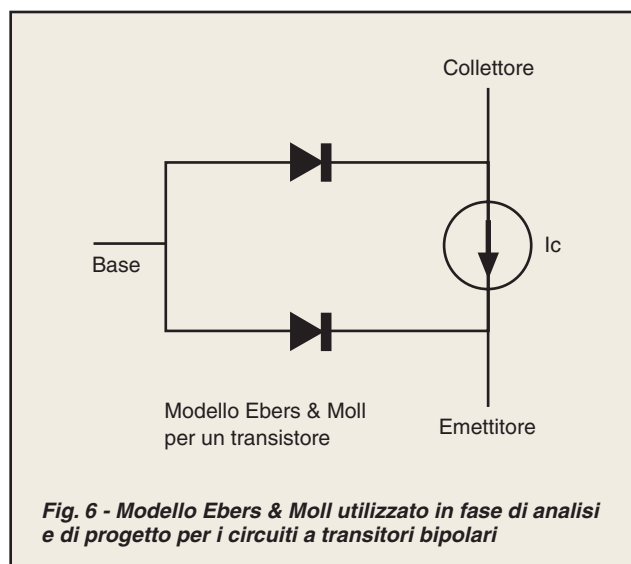
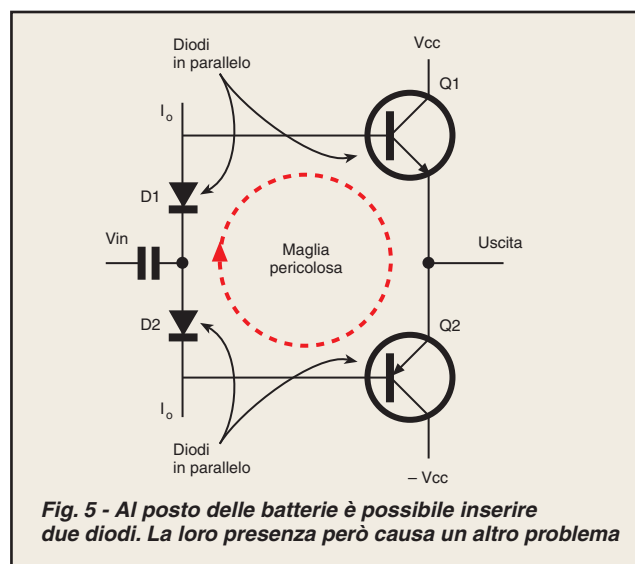
Riproponiamo la **Fig. 5** per maggior chiarezza di esposizione; questo ci consentirà di

consultarla più agevolmente unitamente alla **Fig. 6** di seguito proposta.

Abbiamo detto a cosa servono i due diodi (o quattro) presenti fra le basi della coppia dei BJT. Come in molti casi, la soluzione di un problema porta sempre ad altri inconvenienti.

I diodi in questione risolvono il problema della distorsione legata alle due tensioni di V_{be-on} , però creano un problema non trascurabile: la presenza di due diodi in parallelo.

Vediamo di capire cosa accade: durante la progettazione di un dispositivo a transistori, spesso



si fa riferimento a un modello equivalente, il così detto modello Ebers & Moll (dai nomi di chi in passato lo ha ideato e studiato).

Questo modello riduce il transistor a un circuito equivalente, come raffigurato in Fig. 6.

Dalla figura è possibile notare la base, l'emettitore e il collettore di un transistor, nonché il generatore di corrente ideale che raffigura l'effetto transistor.

Spesso si parla di giunzione Base-Emettitore; si veda in figura che tale giunzione è rappresentata da un diodo (e quindi la sua soglia di conduzione è, come detto spesso in passato, di circa 0,7 V) posto fra i due terminali.

Anche la giunzione Base-Collettore è rappresentata da un altro diodo.

Tenendo presente il modello di Ebers & Moll, si vedano adesso la Fig. 7 e la Fig. 5; il diodo D1 (Fig. 5) è in parallelo al diodo costituente la V_{be} di Q1, mentre il diodo D2 è in parallelo alla V_{be} di Q2.

D1 e D2 sono fra loro in serie, del resto lo sono anche i diodi costituenti le due giunzioni Base Emittitore dei due BJT; questo non è grave, infatti è possibile considerare le due serie di diodi come un unico diodo con una tensione di accensione di 1,4 V, anziché 0,7. C'è però un pericolo.

Le due serie di diodi sono in parallelo fra loro (si veda la Fig. 7).

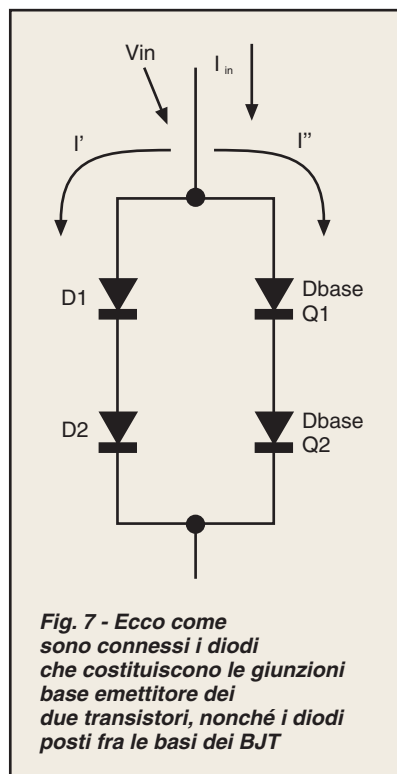


Fig. 7 - Ecco come sono connessi i diodi che costituiscono le giunzioni base emettitore dei due transistori, nonché i diodi posti fra le basi dei BJT

Ciò è un problema non indifferente, perché le caratteristiche dei componenti a semiconduttore (in modo particolare dei diodi) sono di tipo esponenziale.

Che cos'è la caratteristica esponenziale?

L'elettronica dei semiconduttori dimostra che la corrente in un diodo è data da:

$$I = I_s \cdot \left(e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right)$$

dove:

- $I \Rightarrow$ è la corrente che scorre nel diodo
- $I_s \Rightarrow$ è la corrente di saturazione inversa del diodo
- $V_d \Rightarrow$ è la tensione ai capi del diodo
- $V_t \Rightarrow$ è la tensione termica (legata alla temperatura)

Come si può vedere, nella formula è presente un termine "e", tale termine matematico provoca un innalzamento della caratteristica (vedi Fig. 8) di un qualsiasi diodo in modo molto ripido. In altri termini, a ogni leggero incremento della tensione ai capi del diodo, abbiamo una forte corrente che scorre entro la giunzione PN del diodo stesso.

Si veda in Fig. 8 la retta passante per V_d che interseca la caratteristica del diodo in un certo punto (punto 1); per una $V_d = 0,7$ V abbiamo quindi 0,8 A.

Se polarizziamo il diodo con una tensione leggermente maggiore della V_d precedente (per esempio 1 V), vediamo che la corrente che scorre non è solo leggermente superiore a quella precedente, ma è molto maggiore (1,5 A).

Sapendo quanto detto possiamo fare la seguente conclusione: basta una piccola variazione di tensione per avere una forte corrente che attraversa il diodo.

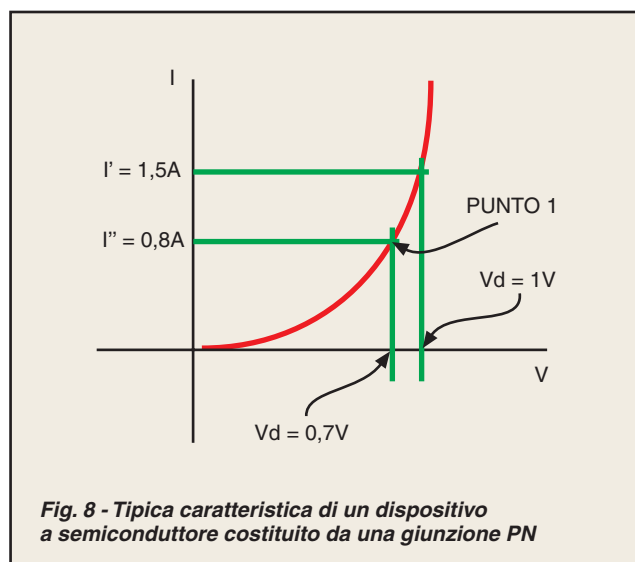


Fig. 8 - Tipica caratteristica di un dispositivo a semiconduttore costituito da una giunzione PN

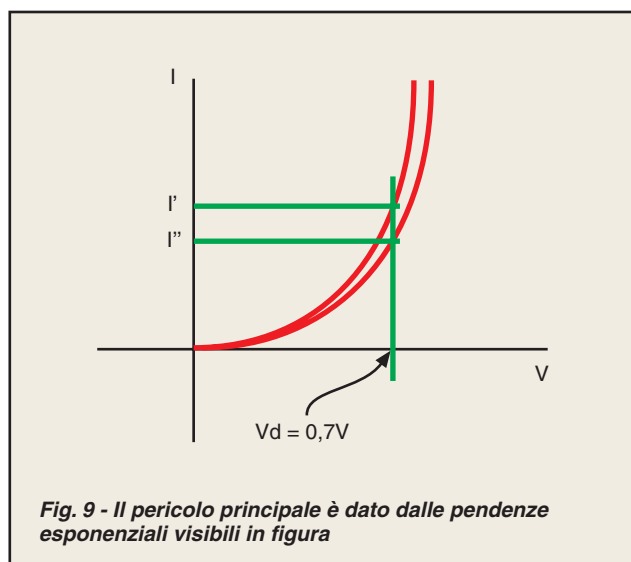


Fig. 9 - Il pericolo principale è dato dalle pendenze esponenziali visibili in figura



Torniamo a noi

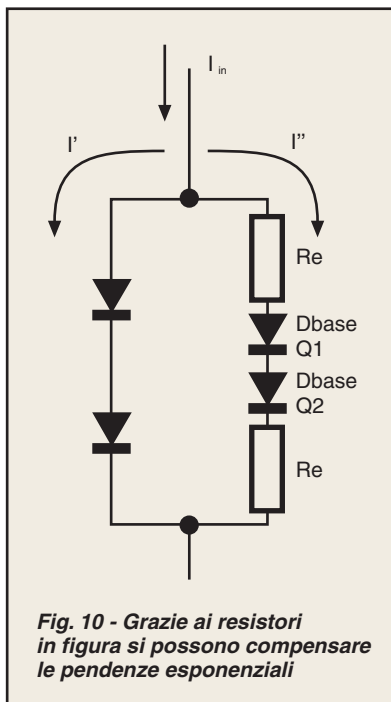
Abbiamo detto precedentemente che le due coppie di diodi in serie sono a loro volta in parallelo fra loro (vedi Fig. 7); abbiamo anche detto che qualsiasi transistor, anche se costruito in modo identico, può differire leggermente da un altro e che per questo motivo le coppie di finali si selezionano.

Leggere differenze sono naturalmente presenti anche nei diodi, quindi guardiamo la Fig. 9 e vediamo cosa succede.

I diodi posti in serie e raffigurati in Fig. 7 sono percorsi dalla stessa corrente (la stessa cosa vale, per esempio, per due resistenze poste in serie in un circuito elettrico: la caduta di potenziale è legata al valore in Ohm, la corrente che le percorre è la stessa per entrambe), quindi possiamo considerare le due curve della Fig. 9 rappresentative di ogni serie di diodi.

Ammettiamo che, come spesso accade nella pratica, i diodi siano tutti uguali (o meglio siano tutti dello stesso tipo).

Ogni coppia di diodi in serie sarà leggermente diversa dall'altra, questo è sempre più vero anche perché la coppia di diodi in serie a destra nella Fig. 7 è la serie dei due diodi costituenti le giunzioni Base-Elettrodo dei due finali di potenza, quindi sicuramente diversa dai diodi posti fra le basi dei finali stessi (raffigurati a sinistra).



Per una stessa tensione di accensione, per esempio 0,7 V, abbiamo due valori di corrente molto diversi (vedi Fig. 9). Essendo la caratteristica dei diodi di tipo esponenziale, le correnti saranno molto diverse.

L'effetto dannoso è proprio questo. Due correnti diverse in due rami diversi per diodi molto simili fra loro.

La corrente è legata alla temperatura (si veda nell'equazione del

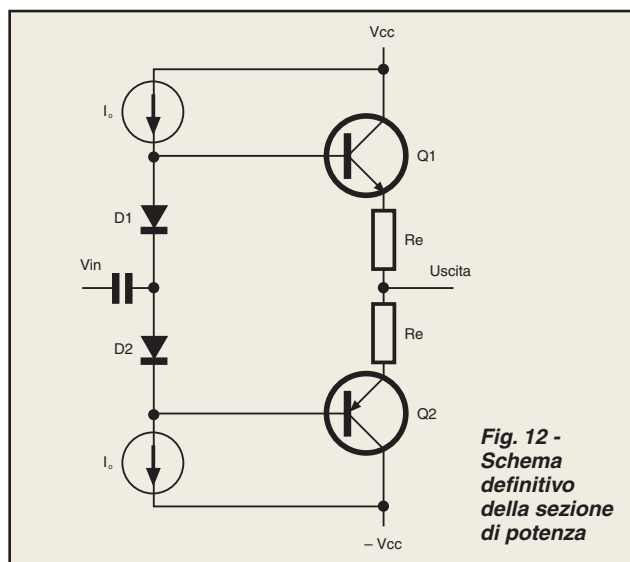
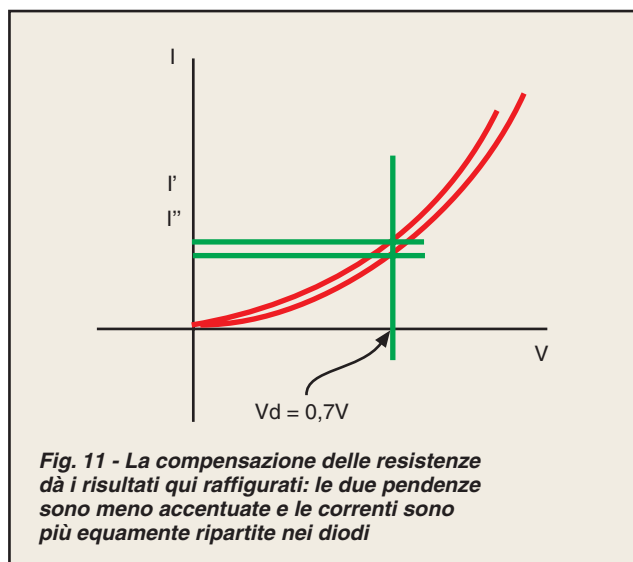
diodo la presenza della tensione termica) quindi, maggiore sarà la corrente maggiore sarà la temperatura.

A mano a mano che la temperatura sale, si innesca il cosiddetto Effetto Valanga che porta a una corrente così intensa (e soprattutto per un brevissimo tempo) da distruggere i diodi.

Nel nostro caso, il grafico di Fig. 9 indica una maggiore corrente per la I' quindi i diodi disegnati a sinistra nella Fig. 7 si bruceranno per primi.

Dopo che i due diodi saranno messi fuori causa, rimarranno nel circuito solo i diodi delle giunzioni dei finali (che fino a questo momento conducevano meno corrente e quindi erano meno funzionali), e tutta la corrente non potrà che scorrere solo attraverso i nostri finali di potenza. Stesso discorso fatto in precedenza. Si innesca l'effetto valanga fino a quando la corrente sarà così elevata da distruggere anche i finali audio.

In definitiva, abbiamo corretto la distorsione d'incrocio inserendo due diodi fra le basi dei finali audio, ma a causa della creazione di una maglia elettrica come illustrato in Fig. 7 e abbiamo messo in parallelo dei componenti con caratteristica esponenziale. Pertanto: prima si bruciano i diodi più conduttivi, poi si bruciano gli altri.



Come fare per risolvere questo problema?

Per ovviare a tale problema si rende indispensabile abbassare la caratteristica esponenziale dei diodi in modo da ripartire, nel modo più equo possibile, la corrente nella maglia elettrica in questione.

Si veda la **Fig. 10**: se unitamente a due diodi posti in parallelo inserissimo anche due resistori di piccolo valore, ma sufficienti per abbassare la caratteristica esponenziale, potremmo far sì che le correnti I' e I'' siano molto simili fra loro. Due correnti molto simili fra loro sarebbero possibili solo se le due curve esponenziali fossero molto vicine fra loro.

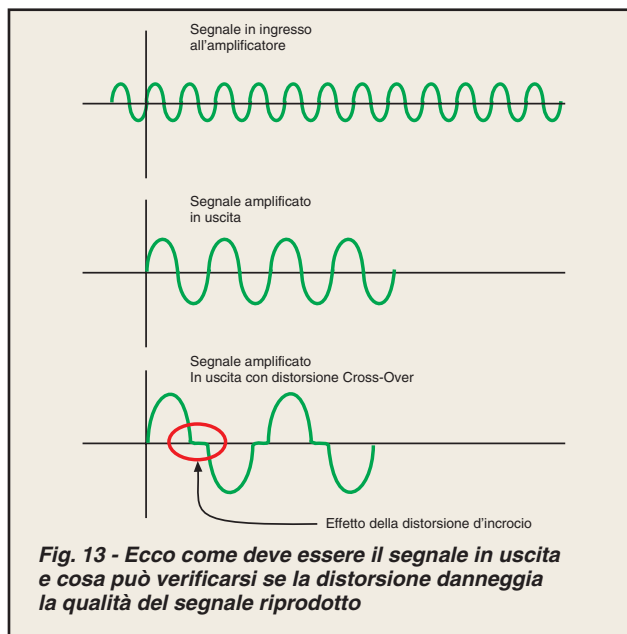
La Fig. 10 mostra come e dove vanno messi i resistori, in modo da avere una caratteristica come illustrato in **Fig. 11**.

In questa figura si può notare come, per una stessa tensione di conduzione, abbiamo sempre due correnti diverse. A differenza della Fig. 9, le correnti in Fig. 11 sono però molto simili fra loro, quindi ogni coppia di diodi sarà percorsa da una corrente quasi uguale. Nessuna delle due coppie sarà soggetta all'effetto valanga, i diodi condurranno tutti e allo stesso modo e la distorsione d'incrocio sarà così eliminata.

Nella pratica, lo schema classico è quasi sempre come in **Fig. 12**; possono esserci delle differenze legate a eventuali circuiti di protezione oppure alla presenza di MOS anziché BJT, ma il risultato non cambia.

I generatori lo raffigurati rappresentano dei circuiti atti alla polarizzazione della coppia di potenza. Possono essere a un solo oppure a più transistor, ma il loro compito è sempre quello di imprimere una certa corrente alle basi dei finali.

Anche i diodi posti fra le basi dei transistori possono essere sostituiti da un transistor posto fra le basi dei due finali di potenza. Si riveda la Fig. 6, il modello di Ebers & Moll semplifica il transistor come se fosse formato dai due diodi e da un generatore di corrente, quindi



la necessità di avere due diodi è soddisfatta anche con un solo transistor.

Si notino le resistenze di potenza R_e nella Fig. 12. Questi resistori sono in serie ai due diodi costituenti i finali audio, quindi svolgono l'azione di abbassare la caratteristica esponenziale nel modo spiegato precedentemente. Spesso sono di piccolo valore Ohmico e di elevato wattaggio: per esempio 4, 5, 6 W o anche più. Ciò dipende dalla potenza della coppia finale dalle correnti in gioco e da quanto si deve abbassare la caratteristica dei diodi.

Se vogliamo controllare la Distorsione d'incrocio...

Per controllare eventuali sbilanciamenti o distorsioni è bene disporre di un buon generatore di segnali BF e immettere un'onda sinusoidale in ingresso a circa 1000 Hz.

Il valore della frequenza campione può cambiare a piacere del tecnico, l'importante è tenere presente che il nostro orecchio è più sensibile alle frequenze vicine ai 1000 Hz quindi, di conseguenza, l'amplificatore

avrà delle caratteristiche elettriche tali da erogare maggiore potenza vicino ai 1000 Hz. Vanno bene anche frequenze più basse o leggermente superiori, il controllo può essere effettuato lo stesso.

Procedimento:

- collegarsi con un oscilloscopio doppia traccia in ingresso e visualizzare il segnale immesso all'amplificatore. Connettere l'altra sonda dell'oscilloscopio ai contatti d'uscita dell'amplificatore (naturalmente inserire anche l'altoparlante);
- portare il livello del segnale in ingresso, proveniente dal generatore BF, ai valori minimi e accendere l'amplificatore;
- visualizzare se il segnale minimo in ingresso è amplificato in uscita e, soprattutto, se l'onda in uscita è perfettamente uguale a quella in ingresso (naturalmente l'ampiezza sarà maggiore a causa dell'amplificazione);
- aumentare piano piano l'ampiezza del segnale in ingresso e vedere se l'ampiezza in uscita è crescente; controllare soprattutto se l'onda in uscita sia senza interruzioni o sbalzi di segnale.

Per evitare di forzare troppo l'altoparlante è possibile collegare al posto dello stesso una resistenza di 8 Ω con una potenza di almeno 40 W o 50 W (a riguardo, consiglio l'utilizzo di resistori corazzati e fissati su un'aletta di raffreddamento).

Se saranno presenti delle anomalie, l'onda potrà avere un andamento come in **Fig. 13**, nel segnale in alto l'onda è regolare, nel segnale in basso è presente un'onda con la caratteristica distorsione che può presentarsi in uscita.

Nota: Se il lettore riterrà importante conoscere e approfondire l'argomento "finali audio e circuiti ad esso correlati" contatti pure la Redazione de "Il Cinescopio". Sarò ben lieto di approfondire gli argomenti che più interessano in modo da facilitare la comprensione degli stadi audio, sia in termini di interpretazione dei circuiti elettrici, sia in termini di riparazioni, soprattutto quando gli schemi non sono disponibili.

F.C.