



La Distorsione d'incrocio



Sempre più spesso ci viene chiesto che cosa sia la Distorsione di Cross-Over e come la si controlli in uno stadio di potenza audio. Approfittando di alcune lettere giunte in redazione facciamo chiarezza sull'argomento

a cura di Flavio Criseo - 1° parte

Gli interventi sugli amplificatori audio di piccola e media potenza pubblicati recentemente su "Il Cinescopio" hanno suscitato una serie di interessi di tipo tecnico nei lettori della rivista, in particolare relativi alle specifiche riguardanti tecniche di riparazione ed eventuali controlli da effettuarsi sui finali di potenza e sugli stadi driver anteposti.

Cogliamo l'occasione per parlare della Distorsione Cross-Over (distorsione d'incrocio) e di alcune metodologie utili per collaudare e riparare in sicurezza un finale di potenza (Power Sound).

Quando non abbiamo a disposizione lo schema elettrico dell'amplificatore in riparazione, dobbiamo tenere presente alcuni concetti importanti e basilari:

1. la classe di funzionamento;
2. l'alimentazione (singola o duale);
3. le protezioni elettroniche;
4. gli stadi pilota;
5. i generatori di corrente costante.

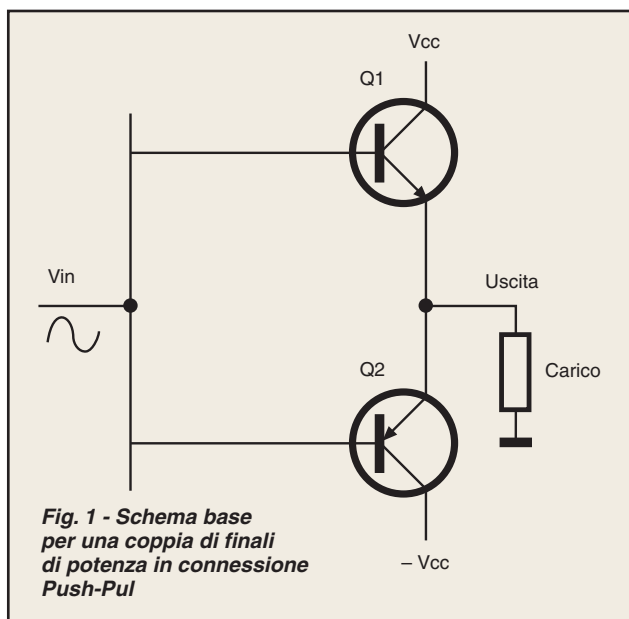
Negli amplificatori di media e piccola potenza la classe è quasi sempre AB oppure B; mentre in quelli di un certo pregio, la classe è quasi sempre A (sottolineo "quasi" perché delle volte questo non è vero!).

Nella classe A, i finali possono essere uno o più di uno posti in parallelo.

Non è raro, però, trovare dei finali in classe A composti da una coppia di transistori (uno PNP e uno NPN).

Sappiamo che, quando è immesso all'ingresso un segnale sinusoidale, questo è composto da un semiperiodo positivo e da un semiperiodo negativo.

La classe B (oppure la AB) è composta normalmente da una coppia di transistori



BJT (Bipolar Junction Transistor) che nel primo caso (classe B) permettono la conduzione di un finale BJT per ogni semiperiodo, mentre nella classe AB i BJT conducono anche durante il semiperiodo "opposto".

Sappiamo che il transistore NPN conduce nelle semionde positive (vedi Fig. 1), mentre il transistore PNP conduce durante le semionde negative.

Quando inizia la conduzione del PNP il BJT NPN dovrebbe spegnersi, ma si fa in modo che continui a condurre ancora per pochi istanti; in modo analogo, quando inizia a condurre il BJT NPN, il PNP rimane in conduzione ancora per pochi istanti.

In questo modo, si compensano i problemi relativi a eventuali imperfezioni dei transistori, perché se un BJT ha una tensione minima di conduzione leggermente diversa dall'altro transistore (per esempio il PNP ha una V_{be} di accensione di 0,65 V, mentre il BJT NPN ha una V_{be} di 0,7 V) vi sarà un piccolissimo istante in cui tutti e due saranno spenti. A causa di questo inconveniente, il segnale in uscita non sarà più perfetto, ma presenterà una piccola distorsione nell'intorno dell'intervallo di spegnimento in entrambi i transistori (vedi Figg. 2a e 2b).

Uno dei motivi per il quale si sente dire spesso che "la coppia dei finali di potenza è selezionata" è proprio questo. Anche se il costruttore produce allo stesso modo tutti i transistori aventi la stessa sigla, per esempio tutti i 2SC3834, questi avranno sempre delle piccole differenze che possono essere non trascurabili se si devono impiegare questi transistori in un apparecchio audio di una certa qualità.

Si è soliti, quindi, effettuare dei test e delle misure che collaudano il transistore e che mettono in risalto eventuali piccole differenze.

Dai dati di ogni transistore si scelgono quindi

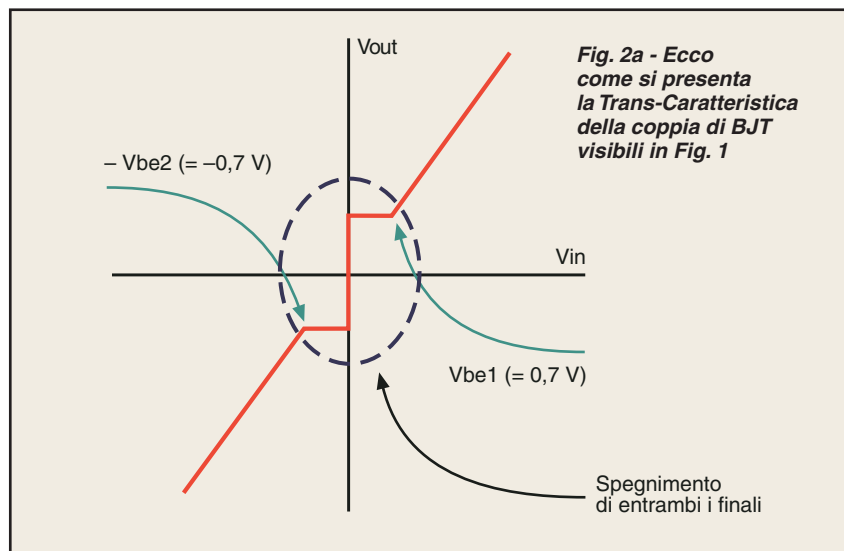


Fig. 2a - Ecco come si presenta la Trans-Characteristic della coppia di BJT visibili in Fig. 1

delle coppie di transistori con le caratteristiche più simili possibili in modo da essere sicuri della loro simmetria.

Questo porta a un notevole aumento di costi, ma anche a risultati senza paragoni in termini di qualità audio.

Le caratteristiche di un BJT possono essere verificate anche in un laboratorio non attrezzatissimo, purché si disponga di un oscilloscopio, di un traccia curve, di un voltmetro di precisione e di un amperometro di precisione.

Normalmente si acquistano direttamente componenti selezionati perché, anche se questi hanno costi maggiori, ci risparmiano la fatica di acquistarne molti per poterli selezionare in un secondo momento nel proprio laboratorio.

Nella classe A, il finale (o i finali) di potenza lavorano per tutto l'intervallo dell'onda sinusoidale in ingresso, pertanto le giunzioni Base - Emittitore del BJT sono sempre accese.

In questa categoria di amplificatori, il rendimento è bassissimo (infatti nella pratica si arriva a circa il 20% e, al massimo, al 25%).

Per dovere di cronaca ricordiamo che, tramite opportuni calcoli matematici, la teoria dice che possiamo ottenere rendimenti del 50%.

L'assorbimento di uno stadio in classe A è molto forte anche in assenza di segnale, quindi, quando ci troviamo di fronte a un amplificatore di questa classe e vediamo che i finali scaldano anche con l'ingresso cortocircuitato a massa, non dobbiamo pensare che ci sia un'avaria.

Questo non è vero se lo stadio di potenza è in classe AB oppure B.

Ricapitoliamo

La classe A si differenzia dalla classe B dal fatto che nel primo caso la coppia di transistori è sempre in conduzione mentre nella seconda i BJT conducono alternativamente.

La classe AB è caratterizzata dal fatto che il BJT finale di potenza rimane ancora in conduzione (se pur per poco) quando comincia a condurre l'altro finale.

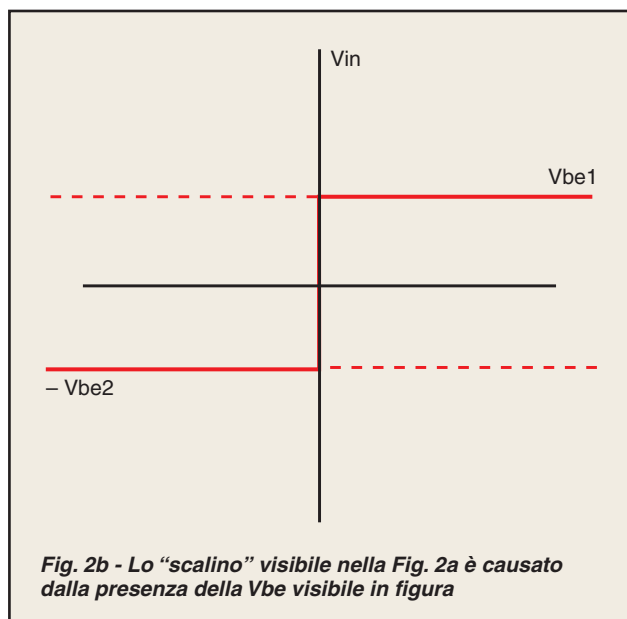


Fig. 2b - Lo "scalino" visibile nella Fig. 2a è causato dalla presenza della V_{be} visibile in figura



In che modo la Distorsione di Cross-Over è dannosa

Per tentare di fare chiarezza abbiamo realizzato alcune semplici figure. Si veda nella Fig. 3 come una coppia di finali a simmetria complementare (sia in classe A, B o AB) è spesso connessa come raffigurato.

Questa configurazione è la Push-Pull (che tradotto in italiano significherebbe "Spingi-Tira"). Vediamo come funziona e perché si chiama così.

Ammettiamo di avere un funzionamento in classe B, quando Q1 conduce, Q2 è spento, viceversa se Q2 conduce, Q1 è spento.

Siccome Q1 è un NPN, affinché esso entri in conduzione, la tensione di base deve essere positiva. Durante la semionda positiva del segnale in ingresso la giunzione Base-Elettore sarà quindi accesa.

Quando arriva la semionda negativa, Q1 si polarizza inversamente, spegnendo il BJT; contemporaneamente Q2 entra in conduzione perché la base si troverà a una tensione inferiore rispetto all'emettitore (anche perché un istante prima era acceso Q1 e quindi la tensione V_e di Q1 era sicuramente positiva). La corrente in Q2, quindi, non esce dall'emettitore, ma entra nell'emettitore e si scarica verso la $-V_{cc}$ ovvero tramite il collettore di Q2.

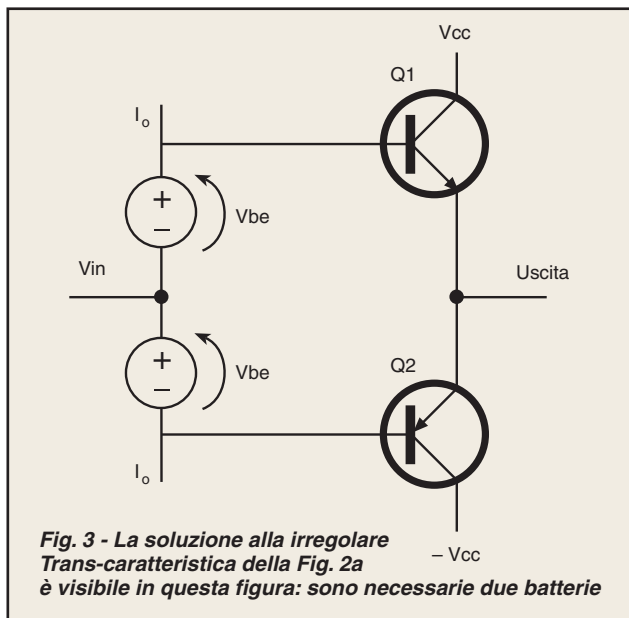


Fig. 3 - La soluzione alla irregolare Trans-caratteristica della Fig. 2a è visibile in questa figura: sono necessarie due batterie

Da ciò si capisce che le fasi importanti sono due:

1. Semionda positiva => Q1 è acceso e la corrente esce dall'emettitore del BJT quindi il carico (nel nostro caso l'altoparlante) è "Spinto" da una corrente entrante ai suoi capi.
2. Semionda negativa => Q2 è acceso e la corrente entra dall'emettitore del BJT, il carico (nel nostro caso l'altoparlante) è "Tirato" in verso opposto al precedente tramite Q2.

Mentre la semionda positiva del segnale pilota presente in ingresso serve a spingere l'altoparlante, la semionda negativa serve

a tirare (tramite il BJT PNP) la bobina mobile dell'altoparlante.

Il problema della tensione di soglia

La distorsione d'incrocio è legata alla tensione di soglia di ogni transistor facente parte della coppia di finali di potenza.

Fino ad ora abbiamo detto che appena arriva un segnale in ingresso, questo è trasferito in uscita grazie ai finali di potenza.

Sappiamo che se la V_{be} di un BJT è inferiore alla minima tensione di conduzione (più volte denominata sulle pagine de Il Cinescopio come la $V_{(be-on)}$) un BJT non riesce a condurre, quindi rimane spento.

Quando la $V_{(be-on)}$ è vicino ai $0,65V \div 0,7V$ il BJT si accende ed è a questo punto che possiamo avere un'amplificazione.

Sorge però un problema importante: se il segnale in ingresso ha un valore in tensione inferiore alla $V_{(be-on)}$ il transistor non effettua nessuna amplificazione perché ancora è spento. A causa di ciò, il piccolo segnale in ingresso viene perso e quindi non viene riprodotto in uscita.

Nelle Fig. 2a e 2b è possibile vedere la caratteristica d'ingresso ai finali di potenza e la caratteristica d'uscita degli stessi.

Nella Fig. 2a si può notare che vi è un intervallo in cui entrambi i BJT sono spenti; Q1 è spento per le tensioni inferiori a $0,7V$ mentre Q2 è spento per le tensioni superiori ai $-0,7V$.

L'intervallo entro il quale avviene la distorsione è quindi di $1,4V$ circa.

Nella Fig. 2b si noti come la tensione di soglia dei due transistori provoca una curva caratteristica spezzata (com'era prevedibile immaginare).

Guardiamo adesso nuovamente la Fig. 3: è possibile notare la presenza di due batterie connesse in serie e collegate alle basi dei due transistori.

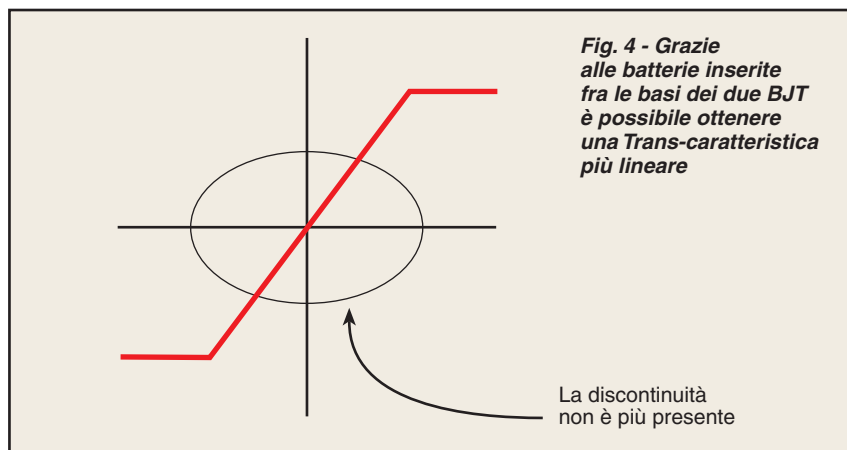


Fig. 4 - Grazie alle batterie inserite fra le basi dei due BJT è possibile ottenere una Trans-caratteristica più lineare

La discontinuità non è più presente

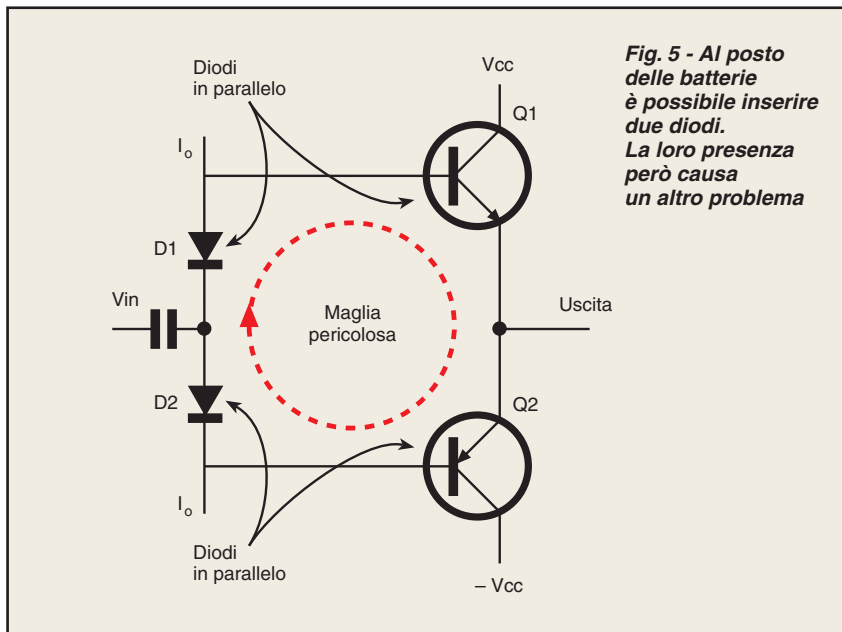


Fig. 5 - Al posto delle batterie è possibile inserire due diodi. La loro presenza però causa un altro problema

Se inserissimo infatti due batterie con lo stesso valore della tensione di soglia dei due transistori (due batterie di circa 0,7 V tanto per capirci) otterremmo un importante effetto: i transistori, vicinissimi alla loro accensione o “appena” accesi, riprodurrebbero in uscita anche un piccolissimo segnale giunto alle loro basi.

Questo verrebbe riprodotto in uscita con la dovuta amplificazione e senza perdite di informazione (proprio perché non si deve aspettare che il segnale in ingresso superi la tensione di soglia in quanto i transistori stessi sono già sulla soglia!).

Questo effetto genererebbe una caratteristica simile alla **Fig. 4**.

In figura si può notare come il tratto inclinato non è più discontinuo intorno all’origine degli assi di riferimento, ma passa per l’incrocio dello zero in modo lineare. In questo modo non abbiamo più la perdita di tutti quei segnali aventi tensione picco-picco inferiore a 1,4 V (ovvero 0,7 V massimi positivi e 0,7 V massimi negativi).

In pratica è molto scomodo utilizzare delle batterie raffigurate in Fig. 3; questo inconveniente lo si risolve inserendo due diodi, come in **Fig. 5**.

Riflettendo un attimo, tutto appare più chiaro: abbiamo bisogno di due batterie di 0,7 V circa per compensare la tensione di soglia dei due finali.

Siccome una batteria introduce una differenza di potenziale e

un normale diodo provoca una caduta di potenziale di circa 0,7 V, “quale migliore occasione per non impiegarne due messi in serie”?.

Giunti a questo punto, appare chiaro perché in moltissimi stadi di potenza di elevate prestazioni siano presenti dei diodi posti come nello schema in Fig. 5.

Delle volte, però, sono presenti anche quattro diodi anziché due; questo è reso necessario o perché i finali di potenza hanno una tensione di soglia doppia (circa 1,4 V per BJT) oppure perché i finali sono Darlington e quindi hanno due transistori accoppiati e non uno solo (di conseguenza avremo due V_{be} e non una sola).

In tutti i casi, il ragionamento non cambia. Se però ci trovassimo di fronte a un amplificatore da riparare con i finali completamente esplosi (dove si rende impossibile la lettura della sigla degli stessi) e senza schema elettrico, capire e vedere se fra le basi dei due finali ci siano due o quattro diodi è già un’informazione importante che può farci capire se i BJT esplosi fossero o meno dei Darlington.

Dalla potenza dell’amplificatore possiamo capire che potenza possono avere i finali, e dalla tensione di alimentazione dello stadio possiamo sapere che V_{ce} dovrebbero avere (in linea di massima).

- continua -