

Amplificatori BF a transistori

di H. Schreiber

traduzione in esclusiva per CD-CO

di Giuseppe Volpe

da « Radio TV Constructeur »

Dopo avere analizzato degli adattatori e dei correttori di tono, e due amplificatori di media potenza (CD n. 9, pagine 667-674) affronteremo ora l'analisi degli amplificatori di potenza compresa fra 5 e 50 watt, e gli alimentatori relativi agli stessi. Poiché, nella descrizione di questi apparecchi, capiterà spesso di parlare di distorsioni inferiori all'1% e di bande passanti superiori ai 100 kHz, sarà necessario premettere una spiegazione. Ci si può in effetti chiedere a che cosa possano servire delle caratteristiche tali, se si tiene conto del fatto che la distorsione di registrazione e di riproduzione è correntemente superiore al 10% nel caso di un disco, che un altoparlante di eccellente qualità produce non meno del 20% di distorsione alle frequenze basse e che le frequenze superiori ai 15 o 20 kHz non sono né registrabili, né udibili. Adottando un punto di vista strettamente tecnico, si può dunque effettivamente dire che alcune delle caratteristiche annunciate non hanno alcuna utilità. Tuttavia, come si vedrà, a causa della qualità dei transistori di cui si dispone attualmente, è spesso difficile evitare di avere simili caratteristiche, ciò vuol dire che esse sono doppiamente gratuite. Allora perché non sopportarle, tanto più che esse costituiscono un innegabile elemento commerciale?

La maggior parte dei « patiti » dell'alta fedeltà chiedono effettivamente una distorsione inferiore all'1%, e bisogna soddisfarli. Anche se poi essi ascoltano questi amplificatori nelle disastrose condizioni acustiche di una stanza di soggiorno dai muri lisci e parsimoniosamente arredata di mobili moderni.

Resta da sapere se i transistori di potenza al silicio sono veramente necessari e se il germanio non andrebbe bene lo stesso, con una leggera diminuzione dell'elevata qualità delle caratteristiche? Per rispondere a questa domanda, bisogna confrontare le caratteristiche e i prezzi. Per le caratteristiche, la **tabella 1** mette a confronto il transistor 2N174 p-n-p al germanio molto classico, con il 2N3055, n-p-n al silicio di concezione più recente.

TABELLA 1

CARATTERISTICHE	2N174 (Ge)	2N3055 (Si)
potenza diss. con contenitore a 60°C (W)	80	90
tensione max collettore-emettitore, base bloccata con 1,5 volt (V)	80	100
corrente massima di collettore (A)	15	15
guadagno in corrente per $I_c = 4 \div 5$ A	25...50	20...70
frequenza di taglio per $I_c = 1$ A (kHz)	100	800

Dopo questa tabella, che non richiede alcun commento, vediamo i prezzi, rilevati dalle tariffe di un fornitore che vende i due tipi. Ed è a questo punto che il confronto diviene sorprendente, perché il prezzo del migliore dei due transistori, il 2N3055, rappresenta pressapoco il 65% del prezzo del 2N174. Bisogna dunque adoperare il silicio non solo perché è migliore, ma anche perché è meno caro. Nondimeno, non è da molto tempo che esiste questo rapporto di prezzo, e l'ondata dei ribassi non ha ancora raggiunto tutti i fabbricanti e tutti i dettaglianti. Dunque, prima di acquistare, informatevi, e... siate fermi sui prezzi.

Amplificatori a invertitore di fase - émettodyne

Quelli che si sono avvicinati alla B.F. verso il 1935 riconosceranno, nello schema di figura 13, un principio di funzionamento simile a quello dell'amplificatore di Loftin-White. Benché simmetrico in apparenza, questo montaggio non ha bisogno di esserlo elettricamente. L'amplificazione di potenza è, in effetti assicurata da T4 che lavora in collettore comune, dunque con una distorsione debolissima. Il ruolo di T5 è piuttosto quello di una resistenza di carico, che assicura il passaggio della corrente continua del circuito di emittore di T4. Ora essendo la resistenza dinamica d'uscita di T5 molto più grande della resistenza statica, si ha a che fare con una resistenza di carico che non consuma praticamente alcun segnale, cosicché si può effettivamente dire che la totalità del segnale d'uscita raggiunge l'altoparlante attraverso C3.

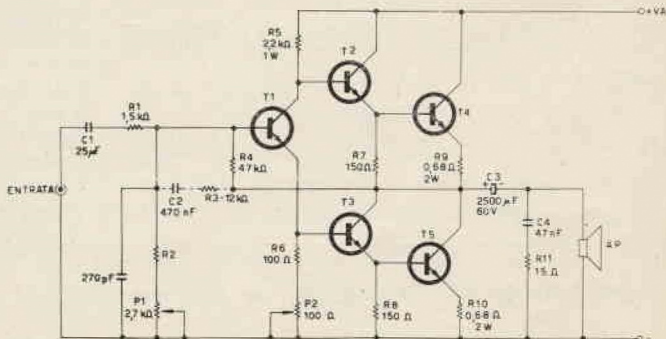
Inoltre, si giunge a lavorare in un regime vicino alla classe B, dunque con un buon rendimento, applicando alla base di T5 un segnale che si trova in opposizione di fase con quello che riceve la base di T4. Lo schema mostra che questi due transistori sono preceduti da due stadi a collettore comune, T2 e T3. La base del primo è connessa al collettore di T1, e quella del secondo all'emittore dello stesso transistor. Essendo le resistenze di carico corrispondenti (R5 e R6) molto diverse, si vede che non può esserci una simmetria reale. D'altra parte, non si può aumentare il valore di R6, perché ciò significherebbe una corrente di riposo troppo elevata nello stadio d'uscita. Né si può, poiché si lavora in classe B, effettuare un collegamento con capacità tra l'emittore di T1 e la base di T3.

Il collegamento diretto che esiste fra tutti gli stadi del montaggio permette una efficacissima stabilizzazione in temperatura. Essa è ottenuta grazie a una controreazione stabilita tra il collettore di T5 e la base di T1, dal partitore P1, R2, R4. Se la tensione sul collettore di T5 tende a diminuire, R4 trasmette questa diminuzione alla base di T1. Ne risulterà un aumento di corrente in T2 e T4, e una diminuzione in T3 e T5. Queste variazioni tendono a ristabilire la tensione di partenza sul collettore di T5.

Come provano le cifre date più avanti, la controreazione tramite R4 permette già di avere una distorsione molto bassa. Si può, peraltro, aggiungere ancora una controreazione che agisce unicamente in alternata (C2, R3) e che diminuisce il tasso di distorsione di circa la metà. Il valore di C2 è stato scelto in modo da compensare la perdita di guadagno alle frequenze basse dovuta a C1 e a C3.

Figura 13

A seconda del valore della tensione di alimentazione e dell'impedenza di carico, questo schema può essere utilizzato per delle potenze d'uscita comprese fra 5 e 25 W.



La risposta rimane così lineare fino a frequenze dell'ordine di 10 Hz. La rotazione di fase che si osserva con i transistori alle frequenze elevate, può portare, con un tasso di controreazione troppo elevato, ad una oscillazione spontanea verso i 100 Hz o più. Per evitarla, è sufficiente prevedere una cella del tipo C4-R11 tra i terminali d'uscita. Può sembrare paradossale di avere un'amplificazione molto lineare malgrado la mancanza di simmetria prima segnalata. La cosa si spiega tuttavia, se si considera che l'amplificatore veramente simmetrico, utilizzando gli stessi transistori, dà, come vedremo in seguito, 50 watt nelle stesse condizioni. Ciò vuol dire che nella versione della figura 13 la limitazione ha luogo prima che i transistori siano utilizzati a fondo, e si comprende il vantaggio di una tale soluzione per la distorsione osservata prima dello spianamento.

Realizzazione dell'amplificatore a invertitore-émettodyne.

Lo schema di figura 13 può essere utilizzato come mostra la **tabella II** per amplificatori la cui potenza varia dai 5 ai 25 watt. Le potenze indicate nella tabella corrispondono a una distorsione del 5% che diviene inferiore all'1% quando la potenza d'uscita resta a -3 dB al disotto della potenza nominale. Nel caso della versione 17 watt, ad esempio, si rileva lo 0,5% di distorsione a 10 watt (1 kHz), e lo 0,2% a 2,5 watt (1 a 10 kHz). Alla stessa potenza, il tasso delle armoniche è dello 0,5% a 100 Hz. Per la versione 25 watt, la distorsione resta inferiore all'1%, al disotto dei 20 watt è inferiore allo 0,6% con il circuito di controreazione C2-R3.

La potenza nominale è ottenuta, in tutti i casi, con una tensione d'ingresso compresa tra 1 e 2 Veff. In presenza della controreazione più energica (C2-R3), questi valori si raddoppiano appena. Essi tengono conto della resistenza R1, che simula la resistenza d'uscita dello stadio precedente. Questa resistenza può essere soppressa quando il preamplificatore collegato all'amplificatore di figura 13 lavora con una resistenza di carico uguale o superiore a 1,5 k Ω .

Per tutte le versioni indicate, la banda passante si estende da 10 Hz a 100 kHz a ± 3 dB, e tra 30 Hz e 30 kHz, si giunge facilmente a $\pm 0,2$ dB. La buona risposta ai segnali rettangolari è illustrata dalla fotografia di figura 14, che si riferisce alla versione 17 watt con controreazione, nella quale sono riprodotte dall'alto in basso le frequenze da 30, 100, 1000, e 20.000 Hz.

Per ogni stadio, sono indicati diversi tipi di transistori nella tabella delle caratteristiche. Questa lista è lunga dall'essere limitativa, perché esistono, in questo campo, un gran numero di tipi equivalenti. Conviene menzionare anche i transistori che sono venduti con indicazione parziale delle loro caratteristiche, come è sovente praticato per altri componenti elettronici. In effetti se si desidera acquistare un condensatore «ceramico» da 270 pF $\pm 5\%$, che sopporti 250 V e che abbia un coefficiente di temperatura negativo, non si va certo ad acquistare un qualunque 3 W 3422 B, ma ci si interesserà alle caratteristiche dei modelli proposti. Non c'è alcuna ragione di non procedere allo stesso modo nel campo dei transistori, e si trovano effettivamente già, in commercio, dei transi-

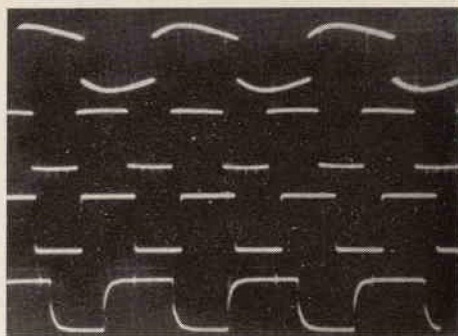


Figura 14
Dall'alto in basso, risposta ai segnali rettangolari a 30 Hz, a 100 Hz, a 1 e a 20 kHz rilevati ai capi del carico dell'amplificatore di figura 13.

stori che portano, al posto di un numero di individuazione, una scritta simile a 50W-80V, che sta ad indicare le caratteristiche principali. Quanto alle altre caratteristiche, come la corrente di fuga, la frequenza di transito, l'intensità massima di collettore, il guadagno in corrente, ecc., la tecnologia del silicio ha fatto ora dei progressi sufficienti perché non si abbia più bisogno di conoscerli per un'applicazione così banale qual è quella di un amplificatore B.F. Più esattamente, si potrà ammettere che queste caratteristiche sono superiori a quelle che ci sono necessarie, proprio come, nell'esempio del condensatore ceramico citato prima, non si ha bisogno di conoscerne la resistenza di isolamento, salvo che per particolari applicazioni.

Detto ciò, si potrà dunque utilizzare un n-p-n al silicio «0,5» watt (o più) per T1, e anche per T2 e T3 nella versione fino a 12 watt, un «1 watt» per T2, T3 nelle altre versioni. Per T4 e T5, saranno necessari dei «25 watt» (o più) per potenze fino a «12 watt», e dei «50 watt» nei montaggi di maggiore potenza. In tutti i casi la tensione di collettore dovrà essere almeno uguale alla tensione di alimentazione prevista. Il guadagno in corrente non è importante che per T2 e T3, e nelle versioni da 15 watt in su, in cui questo valore dovrà essere superiore a 80. Per ciò che riguarda lo stadio d'uscita, è da notare che si avranno dei vantaggi utilizzando transistori accoppiati.

Un radiatore di sottile lamiera di alluminio (3 x 3 cm per le versioni fino a 12 watt; 5 x 5 cm per le versioni a maggiore potenza) deve essere previsto per T2 e T3. Quanto ai radiatori dei transistori d'uscita, la loro superficie totale (contando le due facce), dovrà essere almeno uguale a 5 cm 2 per watt di potenza nominale. Quando questa sia superiore ai 10 watt, sarà più vantaggioso non utilizzare una semplice lastra piana, ma un fascio di più lamiere, costituito da «U» più o meno aperti e uniti uno al rovescio dell'altro. Dal lato su cui si fissa il transistor, lo spessore totale dovrà essere di almeno 3 mm.

TABELLA II

potenza massima d'uscita (W)	tensione di alim. (V)	corrente di alim. alla potenza max		impedenza di carico (Ω)	R2 (k Ω)	TRANSISTORI UTILIZZABILI					
		(Amed)	(Aeff)			T1		T2, T3		T4, T5	
5,5	30	0,3	0,45	15	5,6	2N927,	2N928,	2N3402,	2N3053,	2N3054,	180T2B,
10	35	0,45	0,65	10	5,6	2N2924.		2N3402,	2N3053.	2N1886,	BD109.
12	40	0,4	0,6	15	4,7	2N927,	2N928,	2N3404,	2N3405,	2N3054,	180T2B,
15	40	0,5	0,75	10	4,7	2N3416,	2N3705.	2N3053.		2N1886,	BDY10,
										2N1069.	
17	50	0,5	0,75	15	3,3	2N927,	2N928,	2N3404,	2N3405,	2N3055,	180T2B,
25	50	0,7	1	10	3,3	2N3416,	2N3053,	2N3053,	2N2197,	2N1490,	2N1616,
						2N3704,	2N3705.	74T2,	TIP 24,	BDY10.	
								2N3766.			

La corrente in ampere media è quella che si misura con uno strumento inserito ai capi dell'alimentazione, quello in ampere efficaci corrisponde all'assorbimento effettivo dell'alimentazione. La differenza è dovuta alla forma della corrente di alimentazione (vedere i paragrafi sull'alimentazione, alla fine dell'articolo).