

dott. ing. A. Turrini

Amplificatore stereofonico 2x4W con asservimento della bobina mobile*

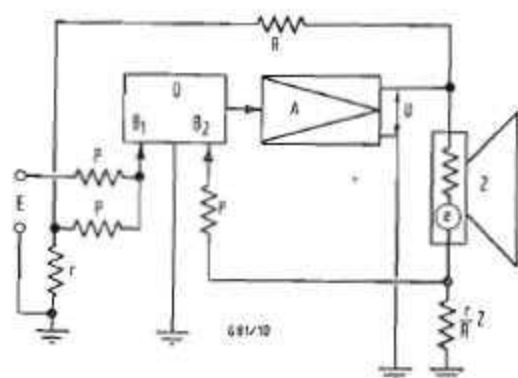


Fig. 1 - Schema di principio dell'amplificatore.

I TECNICI TRADIZIONALISTI esigono da un amplificatore di alta fedeltà una buona linearità ed un tasso di distorsione armonica inferiore allo 0,5% quando il carico è costituito da una pura resistenza. Belle prestazioni, se si pensa che alle estremità della catena si trovano « anelli » a distorsione relativamente forte, diciamo: il fonorivelatore ad un estremo, l'altoparlante all'altro.

Si capisce quindi che c'è qualcosa di meglio da fare che il cercare di guadagnare qualche centesimo di per cento sul tasso di distorsione, per cento che l'orecchio non è assolutamente capace di apprezzare. D'altra parte la messa a punto di un amplificatore di potenza su resistenza pura non è un'usanza alquanto superata? Sebbene non si possa farne a meno, desideriamo produrre qualcosa di diverso dalle calorie nel carico del nostro amplificatore.

Ora, qualsiasi altoparlante elettrodinamico a cono, sia pure ad impedenza così della costante e montato nel migliore dei contenitori, presenta un'impedenza estremamente variabile. La sua bobina

mobile costituisce un'impedenza crescente con la frequenza e le molte risonanze meccaniche rimangono imperfettamente controllate, ad onta di una forte controreazione, perchè la forza contro elettromotrice che si manifesta a partire dalle oscillazioni disordinate della bobina mobile viene mascherata dai termini Ri e $\omega L i$.

Indubbiamente, le relazioni classiche ottenute con materiali di qualità procurano all'orecchio suoni già assai brillanti, ma spesso esageratamente forzati da un rinforzo di Watt abilmente introdotto dal dimostratore, ma non riproducibile in un appartamento.

Per migliorare l'effetto di presenza nelle riproduzioni monofoniche o stereofoniche, piuttosto che minimizzare la potenza effettiva di ciascun canale, abbiamo preferito realizzare un vero e proprio asservimento della bobina mobile dell'altoparlante. Molti autori [1] e [2] hanno già proposto, nei loro scritti, circuiti a tubi elettronici, scaturiti dai sentieri battuti con questa idea direttrice.

La tensione raccolta dalla testina di ri-

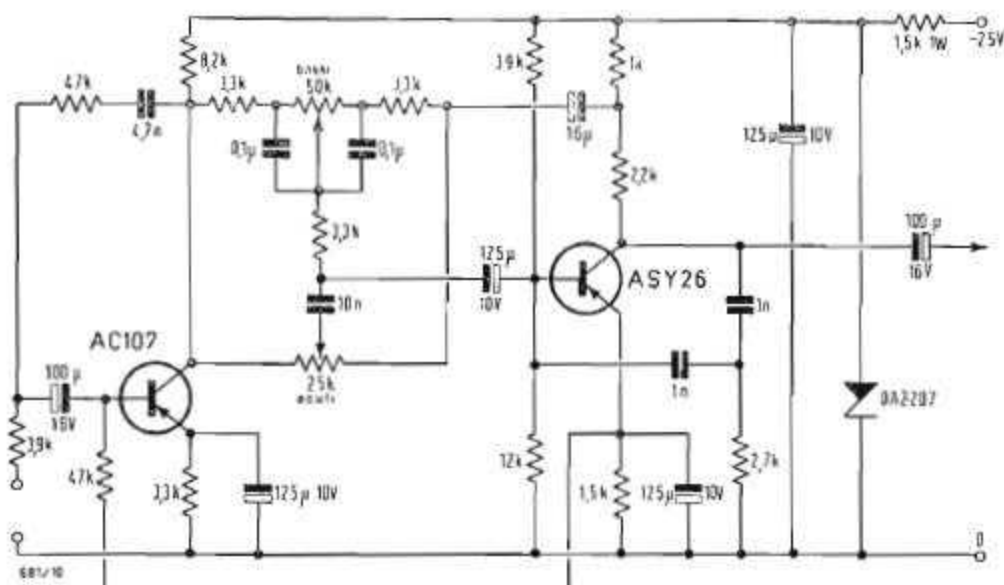


Fig. 2 - Preamplificatore per fonorivelatore magneto-dinamico Transco AG3402.

(*) Da *Toute l'Electronique*, gennaio 1965, pag. 27.

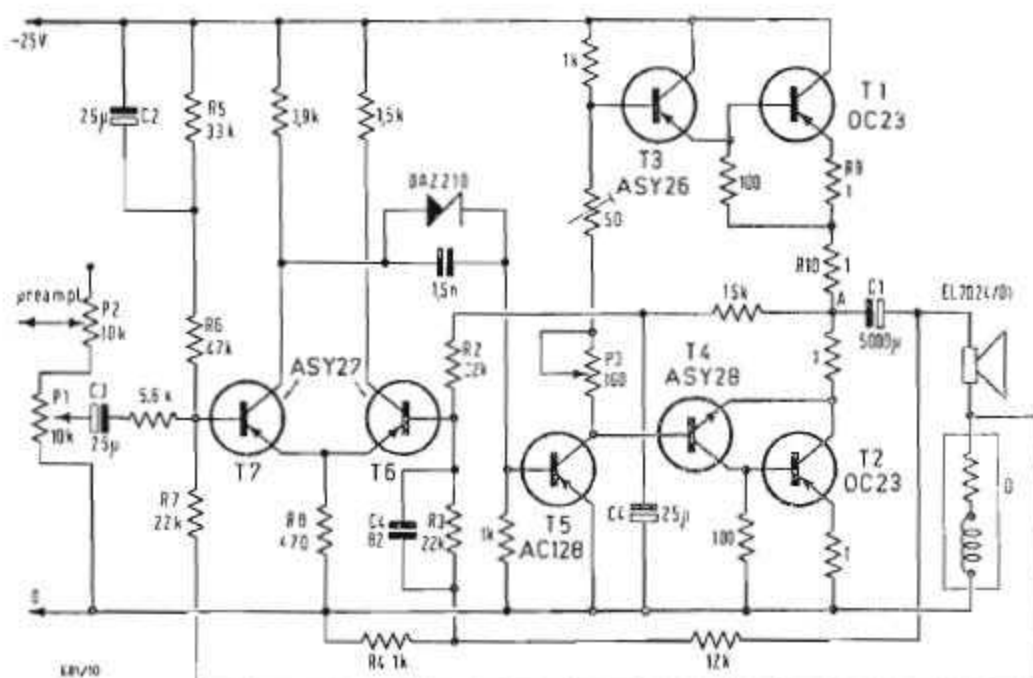


Fig. 3 - Amplificatore di potenza con asservimento della bobina mobile. La resistenza di 50 Ω nel circuito di collettore di T₃ è una resistenza NTC.

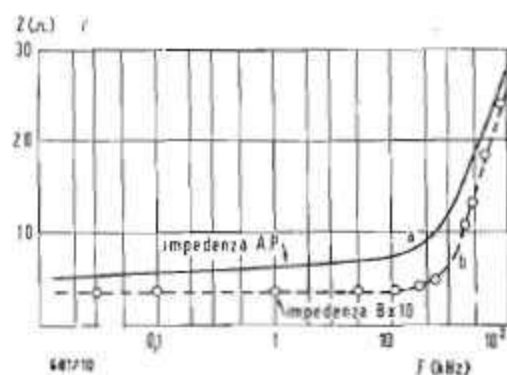


Fig. 1 - Variazioni dell'impedenza dell'altoparlante e di B.

produzione rappresenta teoricamente la pressione dell'onda da riprodurre; dall'ampiezza di questa tensione p dipenderà l'intensità sonora I_o , che si esprime con:

$$I_o = \frac{1}{R_a} p^2 = R_a v^2,$$

dove v è la velocità di spostamento delle molecole d'aria « agitate » da tale onda, ed R_a è la resistenza di radiazione dell'aria ambiente. A meno di un coefficiente, la velocità e la pressione presentano dunque la stessa variazione.

1. - DOVE LA VELOCITA' SI IMPONE

Ognuno sa che l'altoparlante presenta un'impedenza elettrica Z che è possibile misurare (a bobina bloccata), tale che se si applica una tensione U ai suoi terminali, risulta verificata la seguente relazione:

$$U = Z i + e.$$

L'altoparlante, che si comporta come un motore, produce infatti una forza controelettromotrice $e = B l v$ proporzionale alla velocità v di spostamento della bobina, all'induzione B nel traferro e alla lunghezza l dall'avvolgimento della bobina. Ossia:

$$U = Z i + B l v.$$

Ancora, tenuto conto della prevalenza del termine $Z i$ rispetto a $B l v$ (al di fuori della frequenza di risonanza dell'altoparlante e del contenitore), si vede che non c'è proporzionalità fra U e v nel circuito classico. Il miglioramento della fedeltà di un altoparlante è evidente se si impone alla bobina un moto la cui velocità sia proporzionale alla tensione E fornita dal fonorivelatore. Le soluzioni abituali, consistenti nello

stabilire una controreazione a partire dalla tensione sviluppata all'uscita dell'amplificatore, non sono sufficientemente efficaci a motivo dell'importanza relativa del termine $Z i$. Se, anche in assenza di spostamento del cono, la controreazione agisce, si ha un effetto contraddittorio del tutto evidente. Sembra inutile, d'altra parte, ridurre la impedenza di uscita di un amplificatore ad una frazione di ohm, quando la bobina da sola presenta una resistenza di parecchi ohm.

2. - PRINCIPIO DEL CIRCUITO

Sia un amplificatore differenziale D , seguito da un amplificatore di potenza A , che diano a circuito aperto un guadagno globale G , il più alto possibile (fig. 1). Il segnale di pilotaggio E è applicato all'entrata B ; la fase del segnale di uscita è tale che una controreazione prelevata dal ponte di resistenze R e r , risulta applicata a questa stessa terminazione. Se disponiamo in serie con l'altoparlante una frazione r/R dell'impedenza Z della bobina bloccata (per tutte le frequenze della gamma acustica), possiamo scrivere la relazione:

$$U = \left(E - \frac{r}{R} U + \frac{r}{R} Z i \right) G,$$

ossia

$$GE = \left(\frac{rG}{R} + 1 \right) U - \frac{rG}{R} Z i;$$

G essendo abbastanza grande perchè

$\frac{rG}{R}$ sia molto maggiore di 1, ne viene:

$$E = \frac{rU}{R} - \frac{r}{R} Z i,$$

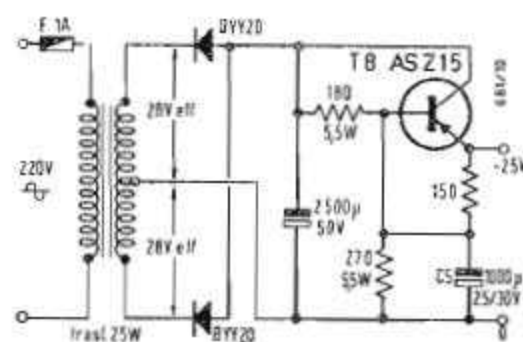


Fig. 5 - Alimentatore di bassa resistenza interna.

ossia

$$E \frac{R}{r} = U - Zi = e = Blv.$$

Così la velocità di spostamento del cono è praticamente proporzionale ad E .

Notiamo, però, che la tensione introdotta in B_2 ha un effetto di reazione positiva, bisogna dunque, per evitare che l'insieme si comporti come un oscillatore, realizzare un'impedenza addizionale di valore leggermente inferiore

$$a \frac{r}{R} Z.$$

3. - REALIZZAZIONE PRATICA

Il dimensionamento di una catena stereofonica per un appartamento medio, senza disturbare il vicinato, richiede una potenza d'uscita di 3 o 4 W di punta. Ma per ottenere risultati soddisfacenti è evidente che è necessario un eccellente altoparlante. Tenendo conto del compromesso prezzo-qualità, la nostra scelta è caduta sul mod. 21 cm PHILIPS bicono EL7024/01 ad impedenza costante. Ciascun altoparlante è montato in un mobile di 62 dm³. La componente ohmica della bobina mobile è di 4,2 Ω. Per conferire a questa catena un'omogeneità di costituzione, si è adottato un giradischi AG2009, dalle caratteristiche molto vicine a quelle dell'AG1016 che gli è successo, con una testina magnetodinamica stereo AG3402 Transco.

Ai nostri giorni, una formula interamente a transistori si impone. I trasformatori, sia di uscita, sia di accoppiamento, sono stati banditi a vantaggio della banda passante, del peso, della semplicità e dell'economia del complesso.

La correzione di registrazione e le regolazioni di tono sono incorporati in un preamplificatore identico a quello descritto da R. Tobey e J. Dinsdale nel *Wireless World* del dicembre 1961. La fig. 2 ne dà un adattamento per la testina di riproduzione predetta.

L'amplificatore principale presentato in fig. 3 è costruito intorno al controfase ben noto; comprende gli elementi A e D

dello schema a blocchi di fig. 1. Conviene attirare l'attenzione sui seguenti punti particolari:

— lo stadio d'entrata è costituito da un amplificatore simmetrico T_6 e T_7 ad accoppiamento di emettitore per mezzo di R_8 ;

— l'accoppiamento fra T_7 e T_3 si effettua col diodo Zener, il che evita l'uso di una capacità nociva per l'amplificazione delle frequenze basse e consente la polarizzazione automatica del punto A a mezza tensione per mezzo di una controreazione in continua attraverso R_1, R_2, R_3 e R_4 , da una parte, e il punto stabilizzatore R_5, R_6 e R , dall'altra parte;

— le resistenze R_9, R_{10}, R_{11} e R_{12} di 1 Ω ciascuna, sono rispettivamente destinate al bloccaggio, per mezzo degli emettitori, dei transistori T_1, T_3, T_4 e T_5 ;

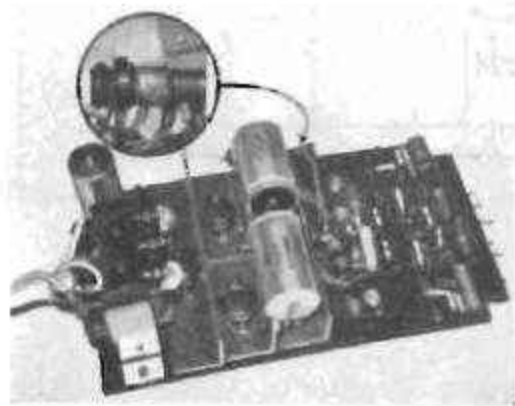
— la impedenza B inserita nel circuito dell'altoparlante è costituita da un supporto L.I.P.A. di 8 mm. di diametro, senza nucleo, con 29 spire di filo di 0,2 mm di diametro, rame-seta. L'avvolgimento è rinforzato da una lamina di crisocel di 5 mm di larghezza. A titolo indicativo la fig. 4a mostra la variazione d'impedenza della bobina bloccata dell'altoparlante in funzione della frequenza. La curva 4b conferma che l'impedenza della bobina B varia approssimativamente di 1/10 dell'impedenza dell'altoparlante. La componente ohmica della bobina B è circa 0,4 Ω;

— il condensatore C_2 elimina sgradevoli rumori quando si mette l'apparecchio sotto tensione;

— i potenziometri P_1 e P_2 sono doppi, a comandi accoppiati, le loro funzioni sono rispettivamente di regolare il volume e di equilibrare l'amplificazione dei due canali.

La messa a punto dell'amplificatore necessita solo della regolazione del potenziometro P_3 al fine di fissare la corrente di riposo dei transistori T_1 e T_2 ad un valore prossimo a 50 mA.

L'alimentazione rappresentata in fig. 5 è sufficiente per ottenere una tensione di 25 V sufficientemente filtrata e di



Gli amplificatori di potenza e l'alimentatore sono riuniti sopra una basetta di 270 x 140 mm. Nel cerchio la bobina B.

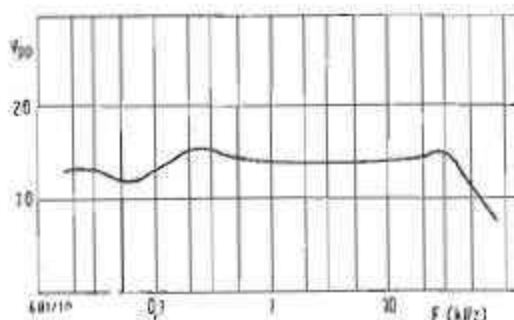


Fig. 6 - Tensione ai terminali dell'altoparlante in funzione della frequenza.

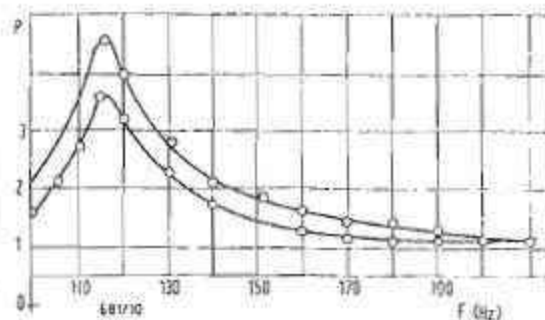
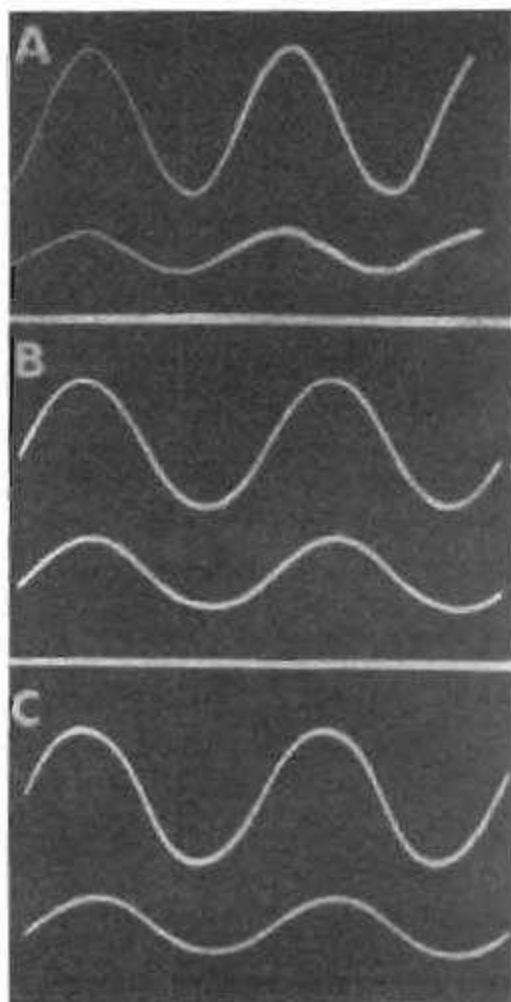
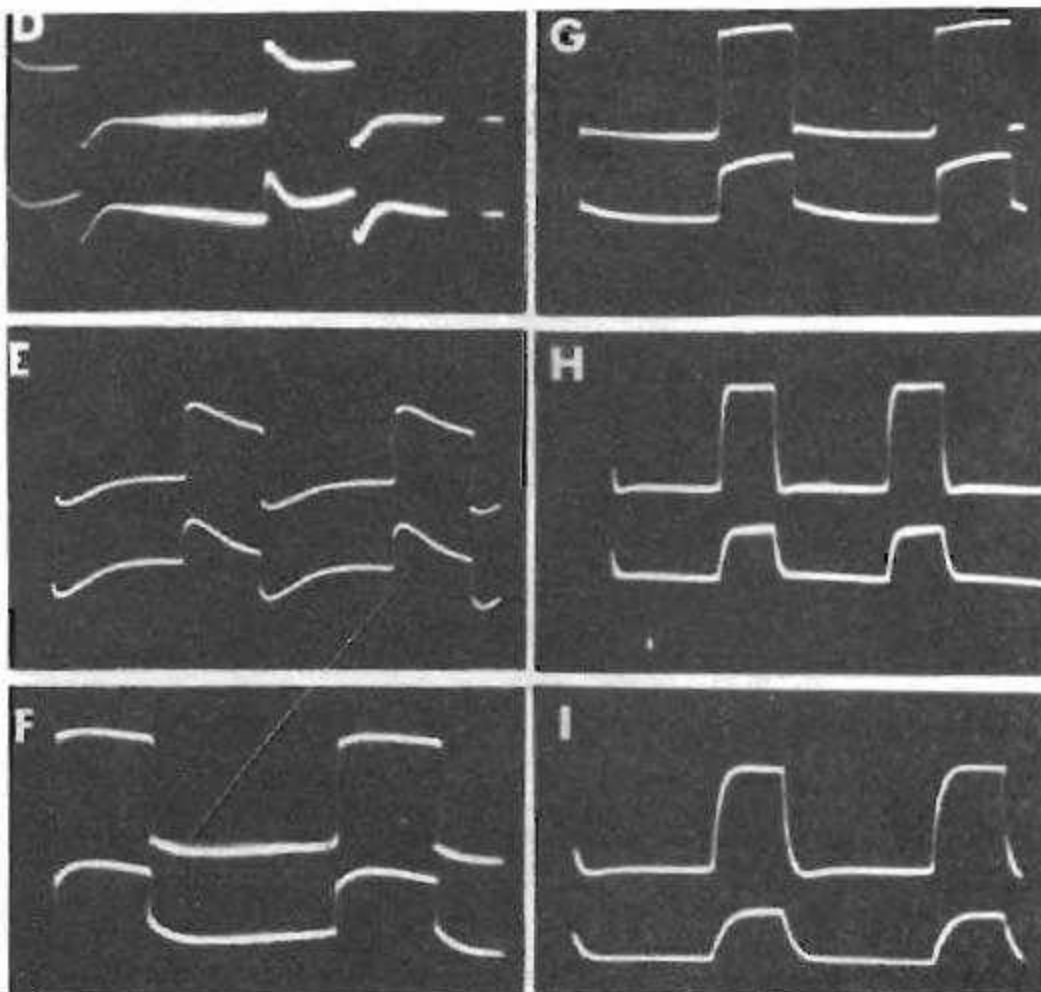


Fig. 7 - Pressione acustica in funzione della frequenza.

Gli oscillogrammi A (15 Hz; 5 ms/div.), B (1 kHz; 0,2 ms/div.) e C (20 kHz; 10 μ s/div.) sono stati rilevati in regime sinusoidale. Il segnale di grande ampiezza rappresenta la tensione ai capi della bobina (5 V/div.), e il secondo segnale rappresenta la corrente che l'attraversa (1 A/div.). Gli oscillogrammi di tensione (curva superiore) e di corrente (curva inferiore) sono stati ricavati con l'altoparlante fissato su schermo acustico di 60 x 60 cm, per le frequenze di 30 Hz (D), 100 Hz (E), 300 Hz (F), 1 kHz (G), 5 kHz (H) e 10 kHz (I). A 30 Hz la velocità della bobina è «rettangolare» al di sopra di 15 kHz, si noterebbe un'integrazione di segnale dovuta a C_s , che può essere ridotto a 33 pF.



bassa resistenza interna. Il transistor T8 (ASZ15) fornisce una tensione che rimane all'emettitore, qualunque sia l'erogazione, molto vicina a quella della base, la quale è rigorosamente disaccoppiata da C_5 .

4. - RISULTATI OTTENUTI

In media è disponibile una potenza elettrica di 3 VA sotto 25 V di alimentazione, e di 4 VA sotto 30 V senza filtraggio. Due curve consentono di farsi un'opinione sulle possibilità di questo amplificatore: la prima non è altro che un rimaneggiamento della tradizionale curva di risposta. La fig. 6 rappresenta la tensione di uscita punta-punta per una tensione di entrata sinusoidale di 0,13 V_{eff} . Poiché l'altoparlante è evidentemente sempre connesso per tutte le misure, esso «assorbe» in queste condizioni una potenza di 3,8 VA a 1 kHz.

La seconda caratteristica, fig. 7, confronta la pressione acustica prodotta dall'altoparlante (fissato per questa misura su uno schermo acustico piano di 60 x 60 cm.) per oscillazioni in prossimità di una risonanza, quando l'amplificatore è provvisto, o no, dell'induttanza B. La tensione applicata all'entrata dell'amplificatore è regolata per l'energia irradiata nei due casi, e deve essere a 210 Hz.

La tensione generata da un microfono posto a 1 m. davanti al cono conferma che si ottiene un migliore smorzamento col sistema qui adottato di asservimento della bobina mobile.

5. - CONCLUSIONI

Senza dubbio è possibile realizzare un asservimento più rigoroso. È forse più logico pilotare il motore dell'altoparlante in modo che la pressione acustica irradiata sia conforme alla tensione fornita dal fonorivelatore?

Ma, in modo perfettamente evidente i risultati ottenuti giustificano già l'adozione di uno schema la cui semplicità consente una facile realizzazione e ognuno potrà apprezzare auditivamente i pregi.

6. - BIBLIOGRAFIA

- [1] J. DUVOIS: *Studio critico e realizzazione di un amplificatore di alta fedeltà a contro reazione di tensione, funzione della velocità della bobina mobile.* Toute la Radio, febbraio 1959.
- [2] Y. BUETTE e L. PERRIN: *La catena di asservimento della pressione acustica.* Toute la Radio, marzo-aprile, maggio, giugno 1961.
- [3] R. TOBEY e J. DINSDALE: *Preamplificatore di alta fedeltà a transistori.* Wireless World, dicembre 1961. A