

iaf

A cura dell'Istituto Alta Fedeltà Anno II - Settembre 1978

4

**SPECIALE
ALTOPARLANTI**

**DETERMINAZIONE DELLA RISPOSTA A BASSA FREQUENZA
DI ALTOPARLANTI IN CASSA CHIUSA**

**MISURA DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DEGLI
ALTOPARLANTI DINAMICI**

IL PROBLEMA DEI CROSS-OVER



ISTITUTO
ALTA FEDELTA'



ISTITUTO
ALTA FEDELTA'

4

SPECIALE ALTOPARLANTI

In questo fascicolo

- Renato Giussani**
- Pag. 3** **Determinazione della risposta a bassa frequenza di altoparlanti in cassa chiusa**
- La misura della risposta di un altoparlante a frequenza inferiore a 100-150 Hz crea grossi problemi anche in camera anecoica. Per ovviare a questi inconvenienti si può ricorrere ad alcune tecniche alternative come la misura in campo vicino o il calcolo della risposta in frequenza a partire dalla determinazione elettrica del Q_T dell'altoparlante. L'autore illustra queste possibilità e sottolinea l'eccellente accordo tra i risultati sperimentali ottenuti con queste tecniche che ne giustifica una sempre più ampia diffusione. Renato Giussani è nato a Como nel 1947. Laureato in Ingegneria Meccanica presso l'Università di Roma, riveste attualmente l'incarico di direttore tecnico della rivista Stereoplay. Fa parte del comitato 29 del CEI, è membro dell'Audio Engineering Society ed è uno dei soci fondatori dell'Istituto Alta Fedeltà.
- Giancarlo Gandolfi**
- Pag. 10** **Misura dei parametri caratteristici degli altoparlanti dinamici**
- Per il corretto progetto di un altoparlante è necessaria una buona conoscenza dei parametri fondamentali che caratterizzano l'altoparlante e delle leggi che ne governano il funzionamento. L'Autore, dopo essersi soffermato sul circuito equivalente elettro-meccano-acustico dell'altoparlante, esamina in dettaglio la procedura seguita per la determinazione dei suoi parametri fondamentali. Giancarlo Gandolfi è nato a Reggio Emilia nel 1940. Laureato in Ingegneria Elettronica, specializzato in calcolatori elettronici, si è occupato di trasmissioni a microonde, riveste attualmente l'incarico di direttore tecnico della RCF ed è uno dei soci fondatori dell'Istituto Alta Fedeltà.
- Gian Piero Abbate**
- Pag. 17** **Il problema dei cross-over**
- Il progetto di una rete di cross-over ottimale, nella quale cioè le relazioni di ampiezza e di fase dei singoli filtri siano tali che il segnale somma all'uscita della rete abbia nel dominio del tempo e della frequenza le stesse caratteristiche del segnale di ingresso, è un problema discusso da lungo tempo per il quale non era stata finora data una soluzione completa. In questo articolo l'Autore propone una sua soluzione originale che risolve elegantemente il problema proposto. La trattazione è di carattere analitico e non viene proposta alcuna soluzione pratica benché l'Autore ne abbia già verificato sperimentalmente la fattibilità. Gian Piero Abbate, diplomato Capitano di lungo corso a Genova nel 1968, laureato a Padova in Fisica Elettronica nel 1974, specialista in bioingegneria e cibernetica, compositore e musicista, è attualmente responsabile della progettazione prodotti Alta Fedeltà presso le Industrie Seleco Zanussi S.p.A. dove ricopre il ruolo di Technical Product Manager Hi-Fi.

DETERMINAZIONE DELLA RISPOSTA A BASSA FREQUENZA DI ALTOPARLANTI IN CASSA CHIUSA

Il funzionamento a bassa frequenza degli altoparlanti è stato esaminato già da molti anni con alcune trattazioni particolarmente approfondite. La verifica delle prestazioni a frequenze inferiori ai 100 Hz incontra però spesso difficoltà pratiche difficilmente superabili. Dopo aver esposto due metodi di misura alternativi proposti da R.H. Small e D.B. Keele Jr., l'Autore fornisce una serie di confronti fra risultati di misure in campo vicino e risposte in frequenza calcolate analiticamente in base a parametri misurati con rilevazioni puramente elettriche sui sistemi in esame. Viene infine fornito un programma di calcolo per calcolatore da tavolo HP-97.

Introduzione

Condizione richiesta perché una misura abbia significato assoluto è che fornisca dati dipendenti esclusivamente dalle caratteristiche del dispositivo in esame, ovvero riconducibili a questi. Solo così è possibile garantire la ripetibilità della misura stessa ottenendo risultati utili alla formazione o alla verifica di teorie elaborate su modelli opportuni.

Per garantire la desiderata significatività, le misure acustiche su altoparlanti vengono effettuate in ambienti standardizzati nei quali le leggi di propagazione del suono siano note e controllate.

Il più importante di questi è la camera anecoica, che cerca di ricreare artificialmente le stesse condizioni del campo libero.

Sfortunatamente ottenere la completa eliminazione delle riflessioni dalle pareti diventa sempre più difficile man mano che la frequenza del suono emesso nella camera diminuisce e le dimensioni richieste sia per il locale sia per lo strato assorbente divengono ben presto proibitive.

Come conseguenza, per valutare con grande precisione le prestazioni a bassa frequenza degli altoparlanti, l'unico metodo universalmente accettato è a tutt'oggi la misura all'aperto.

Per effettuare rilevazioni con irradiazione su un angolo di 2π rad si usa seppellire il diffusore acustico con il pannello frontale a filo del terreno, mentre per rilevazioni con irradiazione libera su 4π rad sono stati usati sollevatori di vario tipo, in grado di portare sia il sistema acustico che il microfono di misura ad altezze dell'ordi-

ne dei 10 metri sul livello del suolo. Tralasciamo di esaminare i motivi di scomodità, imprecisione e lentezza di esecuzione di misure su altoparlanti in queste condizioni, mentre sottolineiamo che la possibilità di effettuarle è legata alle condizioni atmosferiche e di rumore ambiente.

Per ovviare ai suddetti inconvenienti, diversi ricercatori si sono applicati all'esame del problema e sono stati proposti almeno due metodi di misura alternativi, in forma direttamente applicabile ai casi reali, con un adeguato supporto teorico di dimostrazione del rispettivo campo di validità. Ci riferiamo ai metodi proposti da R.H. Small [1] al 13° convegno della IREE nel maggio del 1971 e da D.B. Keele Jr. [3] il 15 maggio 1973 al 45° convegno della AES a Los Angeles, di cui ci occuperemo più diffusamente nel seguito.

In particolare il metodo esposto da Keele estende la sua validità a tutto il campo di frequenze entro il quale l'altoparlante può essere ragionevolmente considerato un pistone vibrante rigido [3, p. 155].

Sotto la stessa ipotesi è possibile ricavare dall'equazione del moto del pistone una relazione che esprime il livello di pressione emesso dall'altoparlante in funzione di alcuni suoi parametri fisici fondamentali; appare quindi di estremo interesse la verifica sperimentale dell'accordo esistente fra le prestazioni misurabili con il metodo di Keele e quelle determinabili analiticamente.

Funzione di trasferimento

L'interesse di questo articolo è limitato all'esame della risposta in frequenza dell'altoparlante per $ka < 1$.

A questa condizione la curva di risposta di un altoparlante funzionante in cassa chiusa è espressa in dB da [4, p. 225; 5, eq. 9; 2, eq. 28]:

$$(1) \quad 20 \log \left| \frac{g^2}{\sqrt{(g^2 \cdot 1)^2 + g^2 / Q_{TCO}^2}} \right|$$

con:

$$g = \frac{\omega}{\omega_c} = \frac{f}{f_c}$$

e il livello di pressione sonora di riferimento pari a quello asintotico per frequenze superiori alla risonanza, nell'ipotesi che l'emissione si mantenga omnidirezionale e la membrana vibrante sia «controllata dalla massa», cioè operi ad accelerazione costante.

L'andamento della curva descritto dalla relazione (1) è quello tipico di un filtro passa-alto del second'ordine ed è completamente descritto dal valore del Q_{TCO} del diffusore. È quindi possibile conoscere la risposta

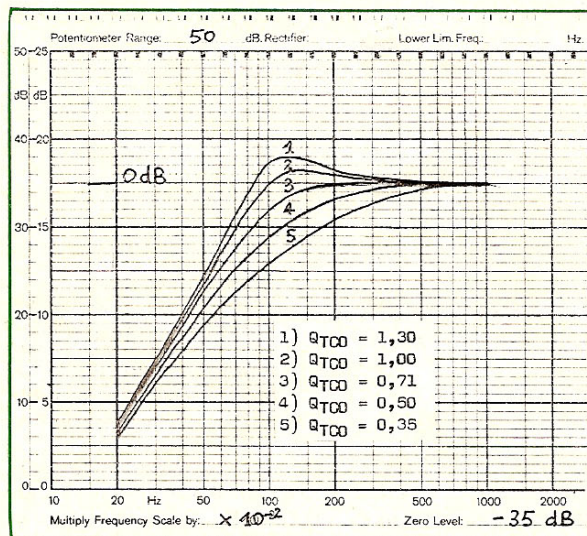


Figura 1 - Famiglia di curve di risposta in frequenza normalizzate di altoparlanti in cassa chiusa per diversi valori di Q_{TCO} .

teorica di un altoparlante in cassa chiusa semplicemente misurandone il Q_{TCO} (in cassa) e facendo uso di un grafico riproducente una famiglia di curve di risposta normalizzate (vedi Fig. 1). A proposito di queste curve si può ricordare che quella corrispondente al valore di $Q_{TCO} = 0,5$ è relativa ad un sistema caratterizzato da smorzamento critico; per $Q_{TCO} = 0,707$ si ha risposta «massimamente piatta» (Maximally Flat), cioè la curva a livello più alto che tende asintoticamente all'ordinata 0 dB senza assumere mai valori positivi (Butterworth); il valore di $Q_{TCO} = 1$ è invece generalmente considerato quello in grado di fornire la più estesa risposta in frequenza (0 dB per $f = f_c$) con una accettabile risposta ai transitori; è da notare però che molti costruttori specializzati di ottima reputazione dichiarano il Q_{TCO} del diffusore privo di filtro, scegliendo un fattore di merito del diffusore completo più alto, anche per prodotti in cui la ottimizzazione delle prestazioni tecniche è uno degli obiettivi principali di progetto.

Un metodo pratico e rapido per il calcolo della risposta teorica di una cassa chiusa è quello di fare uso della relazione (1) con l'ausilio di un elaboratore elettronico. Anche un piccolo calcolatore scientifico programmabile portatile è in grado di effettuare il calcolo della risposta per un numero discreto di frequenze in un tempo ragionevolmente breve ⁽¹⁾.

Metodi di misura proposti da Small e Keele

Il primo metodo di misura diretta della risposta a bassa frequenza di altoparlanti che non fosse influenzato dalle limitazioni inerenti l'uso di una camera anecoica (né fosse condotto in campo libero) è quello proposto da R.H. Small [1]. Il metodo si basa sulla considerazione che la velocità di volume in uscita da una cassa (indipendentemente dal numero di aperture presentate), nell'ipotesi di perdite per assorbimento nulle, è pari a:

$$(2) \quad U_o = p_B \omega C_{AB}$$

La pressione in un punto a distanza «r» dalla cassa (per irradiazione su 2π) è pari a:

$$(3) \quad p_r = (\rho / 2\pi r) \omega U_o$$

nella quale ρ è la densità dell'aria (1,18 kg/m³).

Quindi per ottenere la rappresentazione dell'andamento della pressione acustica in funzione della frequenza a distanza «r» dal diffusore basta rilevare la pressione all'interno della cassa e moltiplicare due volte per altrettanti fattori proporzionali alla frequenza, come richiesto dalle equazioni (2) e (3). Questa operazione può essere compiuta direttamente (come suggerito dallo stesso Small) mediante due derivazioni successive del segnale elettrico fornito dal trasduttore di pressione, ovvero inserendo nel sistema di misura uno stadio avente guadagno crescente di 12 dB/ottava su tutta la gamma di frequenze interessate dalla misura.

Questo può essere un semplice filtro passa-alto del second'ordine caratterizzato da un fattore di merito $Q = 0,5$ e frequenza di taglio abbastanza lontana dalla massima frequenza di misura.

Small ha cercato di estendere la gamma di utilizzazione del suo metodo (verso frequenze sempre più alte) tenendo conto anche di effetti del second'ordine e compensandoli. Le due verifiche sperimentali che presenta dimostrano una ottima corrispondenza con i risultati teorici fino a circa 200 Hz. Anche Keele propone una misura effettuata con il metodo di Small, ma non avendo compensato la variazione della cedevolezza con la frequenza ed avendo utilizzato, come rete di doppia derivazione, un filtro passa-alto con punto a -3 dB a 1 kHz, l'andamento rilevato appare corretto solo fino a circa 600 Hz.

Il metodo di Small richiede, per riportare i valori di pressione misurata a quelli che si avrebbero a distanza nota, una calibrazione del sistema di misura piuttosto laboriosa; in particolare la costante di tempo del circuito di equalizzazione deve essere calcolata e variata per ogni sistema di altoparlanti sulla base di accurate misure effettuate sull'altoparlante sia in aria libera che in cassa. In cambio offre il vantaggio di poter essere

(1) vedi appendice.

applicato con uguale attendibilità sia a sistemi chiusi che a sistemi reflex, proprietà questa di non trascurabile importanza.

Viceversa Keele, sia analiticamente sia sperimentalmente, ha sottolineato la validità della misura in campo vicino e la sua corrispondenza alle misure effettuate in camera anecoica per frequenze alle quali l'ambiente di misura era ragionevolmente assimilabile al campo libero.

La validità del metodo si basa sulla considerazione che per basse frequenze tali che $ka < 1$, la pressione nel campo vicino di un pistone rigido vibrante montato su un piano infinito è direttamente proporzionale alla pressione in campo lontano secondo la [3, eq. 5]:

$$(4) \quad p_N = \frac{2r}{a} p_F$$

nella quale p_N sta per «Near Field Pressure» e p_F per «Far Field Pressure».

Per il caso di emissione su un angolo di 4π la relazione diventa [3, eq. 6]:

$$(5) \quad p_N = \frac{4r}{a} p_F$$

Ulteriori sviluppi dei calcoli e riferimenti a precedenti studi conducono Keele ad affermare che:

1) Al diminuire della frequenza la pressione nel campo vicino di un pistone rigido vibrante ad accelerazione costante tende asintoticamente ad un valore costante; per $ka = 1,6$ la pressione sonora è inferiore di 1 dB al valore asintotico [3, p. 155].

2) All'aumentare della distanza «r» dal pistone, la pressione sonora diminuisce di 1 dB per $r/a = 0,11$, mentre per valori di r/a inferiori tende asintoticamente ad un valore costante, che può essere calcolato per mezzo della (4) o della (5) [3, p. 156].

3) La distribuzione della pressione lungo la superficie di un pistone rigido circolare ha simmetria circolare e subisce un'attenuazione con la distanza dal centro tale da diminuire di 1 dB (per $ka = 2$) ad una distanza dal centro pari a 0,4 volte il raggio [3, p. 156].

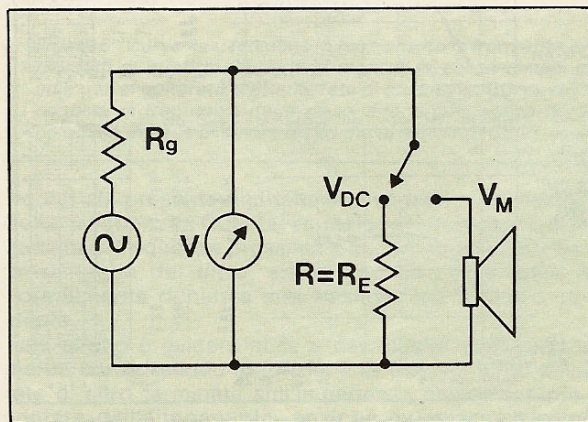


Figura 2 - Disposizione sperimentale adottata per la misura dell'impedenza degli altoparlanti ($R_g = 5 \text{ Ohm}$)

Verifiche sperimentali

In questa sede ci proponiamo di confrontare i risultati di alcune misure di risposta in frequenza effettuate su sistemi chiusi in campo vicino in ambiente semiriverberante, con le curve calcolate facendo uso della relazione (1).

L'utilizzazione della citata relazione (1) presuppone la conoscenza della frequenza di risonanza e del Q_{TCO} del sistema.

La frequenza di risonanza è stata determinata dalla misura del modulo dell'impedenza del sistema, effettuata con la disposizione di misura mostrata in fig. 2. La disposizione adottata permette anche (con l'aggiunta di un ohmetro di precisione) di rilevare con sufficiente approssimazione i dati necessari al calcolo del Q_{TCO} del diffusore secondo il metodo proposto da A.N. Thiele [6, p. 478]. Tale metodo è stato riproposto anche da Small [2] e si riassume nella possibilità di calcolare Q_{EC} , Q_{MC} e Q_{TCO} alla frequenza di risonanza di un altoparlante, in aria libera o in cassa, dalle seguenti relazioni:

$$(6) \quad Q_{EC} = \frac{f_c}{\Delta f} \frac{\sqrt{|Z_{VC}(j\omega)|_M \cdot R_E}}{|Z_{VC}(j\omega)|_M - R_E}$$

$$(7) \quad Q_{MC} = \frac{f_c}{\Delta f} \sqrt{\frac{|Z_{VC}(j\omega)|_M}{R_E}}$$

$$(8) \quad Q_{TCO} = \frac{f_c}{\Delta f} \sqrt{\frac{R_E}{|Z_{VC}(j\omega)|_M}}$$

nelle quali $\Delta f = (f_2 - f_1)$ e f_1, f_2 sono le frequenze prossime a quella di risonanza per le quali

$$(9) \quad |Z_{VC}(j\omega)| = \sqrt{|Z_{VC}(j\omega)|_M \cdot R_E}$$

La resistenza «R» di fig. 2 deve essere molto maggiore del massimo valore assunto dall'altoparlante alla risonanza. Supponendo di dover misurare una impedenza massima $|Z_{VC}(j\omega)|_M$ l'errore percentuale su questa rilevazione conseguente alla variazione della corrente,

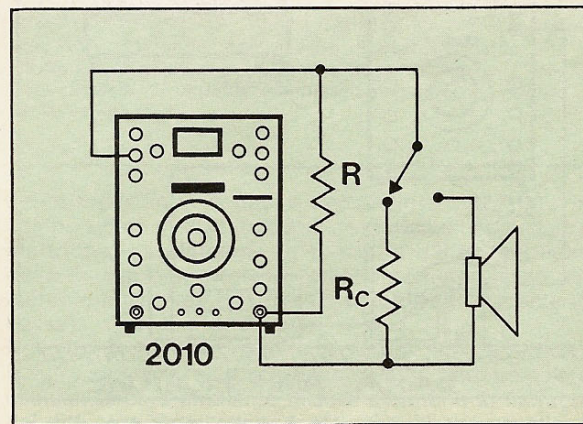


Figura 3 - Schema di collegamento per la misura di Q_{TCO} . Al generatore non è richiesta una f.e.m. rigorosamente costante in funzione della frequenza.

supposta costante, risulta pari a:

$$(10) \quad \Delta |Z_{VC}(j\omega)| \% = \left(\frac{|Z_{VC}(j\omega)|_M}{R_C} - 1 \right) \cdot 100$$

nella quale R_C è la resistenza usata per calibrare il sistema.

Con $R = 3300 \text{ ohm}$, $R_C = 8,2 \text{ ohm}$ e $|Z_{VC}(j\omega)|_M = 100 \text{ ohm}$ l'errore di misura risulta inferiore al 3%. La massima impedenza misurata su un altoparlante (in aria libera) fra quelli presi in considerazione è stata di 86 ohm.

Nel caso tale approssimazione non sia ritenuta sufficiente è possibile ricavare Q_{TCO} con la disposizione di misura di Fig. 3, con la quale si ricavano direttamente:

$$(11) \quad \frac{R_E}{|Z_{VC}(j\omega)|_M} = \frac{V_{DC}}{V_M}$$

mentre la tensione corrispondente alle frequenze f_1 e f_2 è pari a:

$$(12) \quad V_{1,2} = \sqrt{V_M \cdot V_{DC}}$$

Con il metodo descritto è possibile calcolare la risposta di un altoparlante montato in cassa chiusa a partire da misure esclusivamente elettriche ai suoi morsetti. L'accordo dei risultati ottenuti con le relative misure effettuate in campo vicino nella situazione sperimentale di fig. 4 è mostrato per quattro altoparlanti nella fig. 5. Le risposte così calcolate e misurate si riferiscono ad alimentazione degli altoparlanti tramite un generatore di tensione, in pratica un amplificatore di potenza dotato di fattore di smorzamento sufficientemente elevato, collegato tramite cavi a bassa resistenza.

Nei diffusori a più vie i woofer sono però normalmente pilotati tramite reti di filtro passive, più o meno elaborate, che hanno di solito la funzione di filtro passa-basso per un corretto accoppiamento acustico con gli altri altoparlanti costituenti il sistema. La presenza di questa rete passiva fa sì che ai capi del

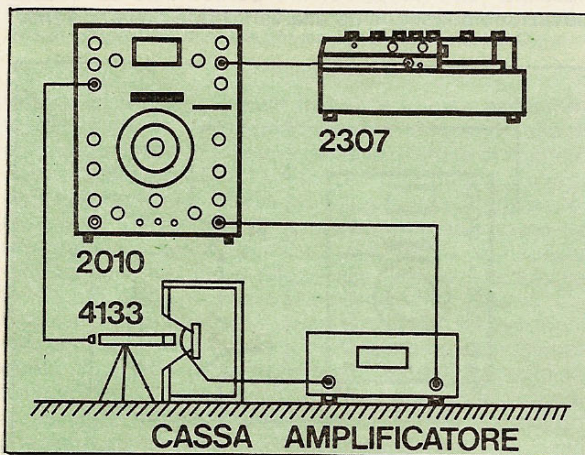
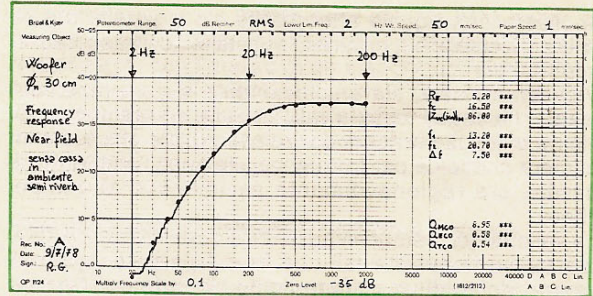


Figura 4 - Disposizione sperimentale adottata per la misura della risposta in frequenza in campo vicino. Diffusori appoggiati su un supporto alto 70 cm., in ambiente semiriverberante.



Confronto fra risposta calcolata e misurata in campo vicino di un woofer avente $a = 12,5 \text{ cm}$ (ϕ nominale 30 cm), in aria.

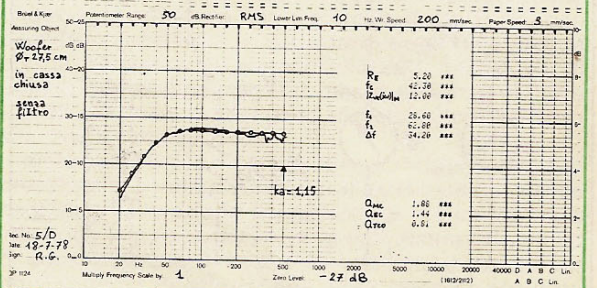
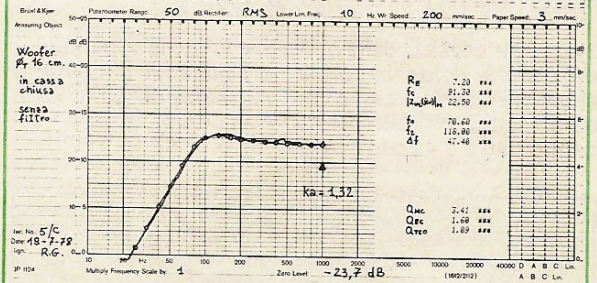
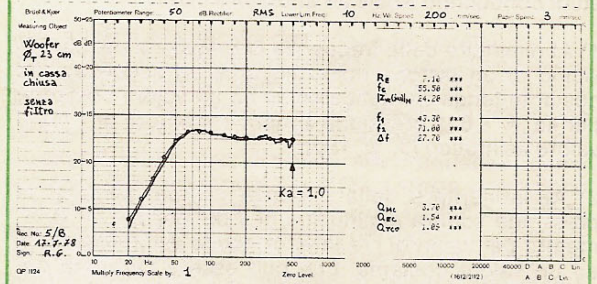
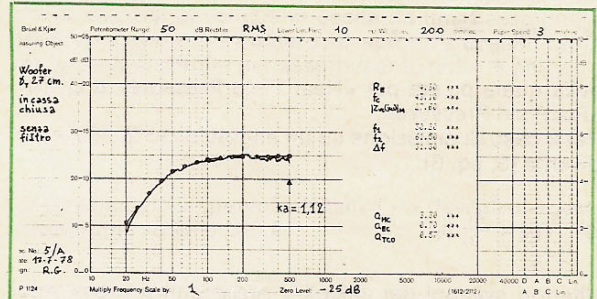


Figura 5 - Confronto di risultati di misure di risposta in frequenza effettuate in campo vicino e risposte determinate analiticamente in base ai dati riportati sul lato destro dei grafici per quattro altoparlanti in cassa chiusa.

R. Giussani - Misure di altoparlanti a bassa frequenza

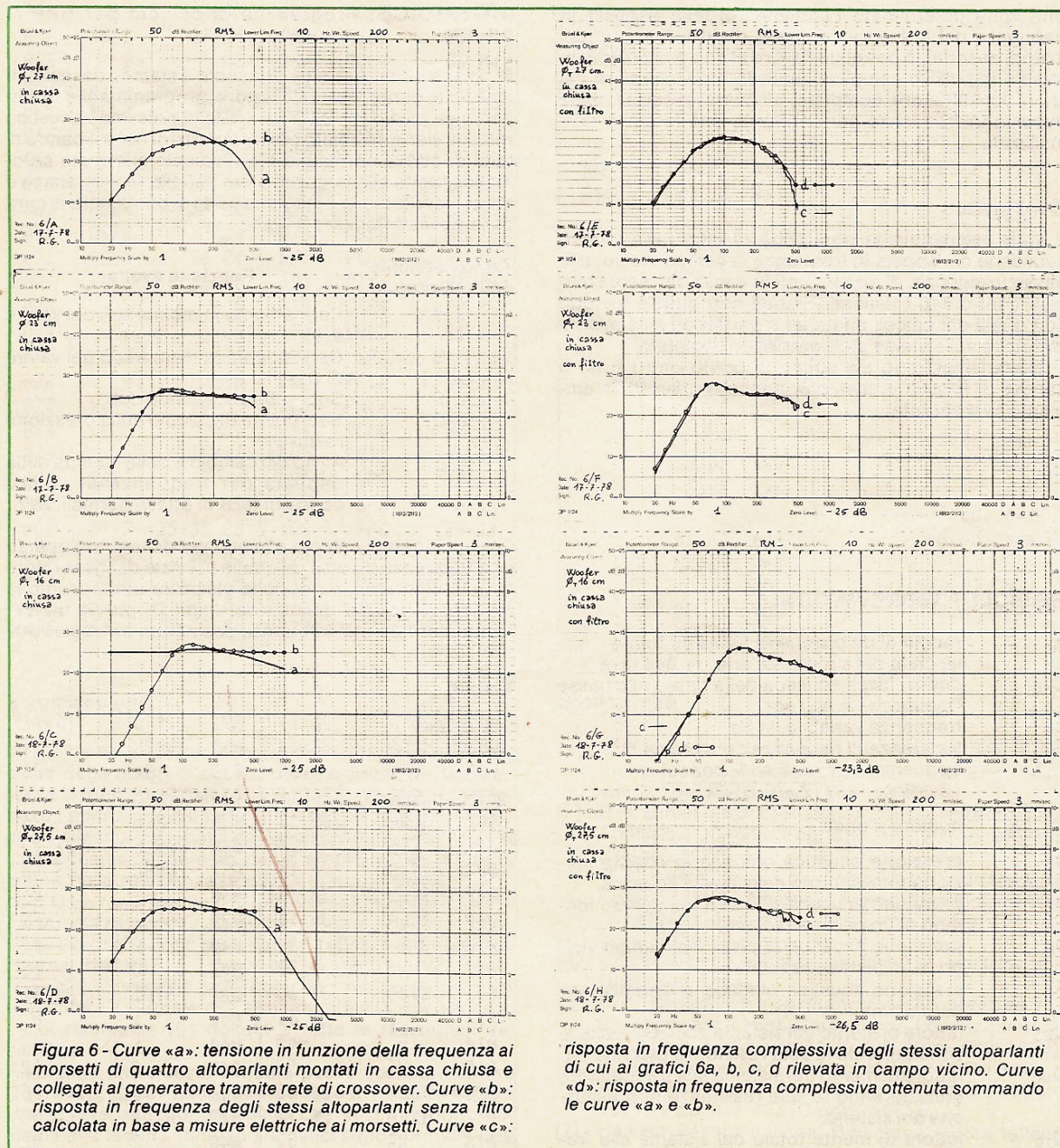


Figura 6 - Curve «a»: tensione in funzione della frequenza ai morsetti di quattro altoparlanti montati in cassa chiusa e collegati al generatore tramite rete di crossover. Curve «b»: risposta in frequenza degli stessi altoparlanti senza filtro calcolata in base a misure elettriche ai morsetti. Curve «c»:

risposta in frequenza complessiva degli stessi altoparlanti di cui ai grafici 6a, b, c, d rilevata in campo vicino. Curve «d»: risposta in frequenza complessiva ottenuta sommando le curve «a» e «b».

woofer sia presente una tensione variabile in funzione della frequenza. Questa variazione interessa sia la gamma di frequenze prossima e superiore alla frequenza di taglio del filtro, sia la gamma nella quale è normalmente richiesta una trasmissione a livello costante.

Tale effetto è evidenziabile e calcolabile quantitativamente considerando la funzione di trasferimento della rete di filtro terminata sull'impedenza complessa presentata dall'altoparlante, anziché su una resistenza pura.

Per ottenere la risposta in frequenza globale esibita dal diffusore completo di filtro, basta sommare alla risposta

dell'altoparlante in cassa senza filtro (misurata in campo vicino o ricavata come detto a partire da misure elettriche) l'andamento in funzione della frequenza della tensione ai morsetti dell'altoparlante stesso alimentato attraverso il filtro (e montato regolarmente in cassa).

Nella fig. 6 sono confrontate le risposte in frequenza di quattro sistemi di altoparlanti completi di filtro calcolate esclusivamente mediante misure elettriche ai morsetti del diffusore e dell'altoparlante, con misure acustiche effettuate in campo vicino sul diffusore completo; si noti l'ottimo accordo su tutta la gamma di frequenze presentata.

Una volta determinato l'andamento della risposta in frequenza del diffusore completo di filtro con uno dei metodi descritti, è possibile risalire al comportamento in regime impulsivo semplicemente in base al valore del Q_{TCO} del diffusore completo, ricavato a partire dalla risposta in frequenza per confronto con le curve normalizzate.

Conclusioni

È stata esaminata la possibilità di effettuare misure acustiche di risposta in frequenza in campo vicino, alle basse frequenze, di altoparlanti in cassa chiusa e sono stati confrontati i risultati ottenuti con questo metodo con quelli dei calcoli effettuati a partire da sole misure elettriche sul sistema elettroacustico completo.

I risultati mostrano un ottimo accordo entro tutto il campo di misura presentato, anche se rilevati in ambiente riverberante.

SIMBOLI E ABBREVIAZIONI

a	raggio di un pistone radiante circolare
c	velocità del suono nell'aria, = 344 m/s
C_{AB}	cedevolezza acustica della cassa alle basse frequenze, = $V_B/\rho c^2$
f	frequenza variabile, in Hz
f_c	frequenza di risonanza del sistema, in Hz
f_1, f_2	frequenze adiacenti ad f_c per cui $ Z_{VC}(j\omega) = \sqrt{ Z_{VC}(j\omega) _M \times R_E}$
k	numero d'onda, = $\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$
P_B	pressione acustica efficace in regime stazionario all'interno della cassa acustica
P_F	pressione acustica di picco nel campo lontano di un pistone radiante
P_N	pressione acustica di picco nel campo vicino di un pistone radiante
P_r	pressione acustica efficace a distanza «r» dal sistema
Q_{EC}	fattore di merito del sistema alla frequenza f_c considerando la sola resistenza elettrica R_E
Q_{MC}	fattore di merito del sistema alla frequenza f_c considerando le sole resistenze non elettriche del sistema
Q_{TC}	fattore di merito totale del sistema alla frequenza f_c considerando tutte le resistenze del sistema
r	distanza di misura, dal sistema
Q_{TCO}	valore di Q_{TCO} con $R_g = 0$
R_E	resistenza in corrente continua della bobina mobile dell'altoparlante
R_g	resistenza interna del generatore
U_o	velocità di volume in uscita dal sistema acustico
$ Z_{VC}(j\omega) _M$	impedenza del sistema alla frequenza f_c
ρ	densità dell'aria, = 1,18 kg/m ³
ω	frequenza variabile in rad/s, = $2\pi f$
ω_c	frequenza di risonanza del sistema in rad/s, = $2\pi f_c$

APPENDICE: Programma di calcolo per HP-97, (HP-67).

Si riporta un programma di calcolo e stampa dei risultati messo a punto per calcolatore programmabile stampante da tavolo HP-97 [7]; il livello di pressione acustica relativa viene calcolato per frequenze di centro banda di terzi di ottava normalizzati e il calcolo si arresta automaticamente alla frequenza $f = 500$ Hz. Il programma è stato inserito nella biblioteca Hi-Fi 1 pubblicata a cura della Hewlett Packard Italiana.

Tasto definibile dall'utilizzatore

Funzione svolta

A	Caricamento in memoria A del valore di f_c
B	Caricamento in memoria B del valore di Q_{TCO}
C	Subroutine di stampa dati
D	Subroutine di calcolo della pressione relativa
E	Avvio del calcolo e della stampa della risposta per frequenze di centro banda di terzi di ottava normalizzati.

Per richiedere il calcolo e la stampa della pressione ad una frequenza diversa da quelle previste dal generatore di numeri interno, è possibile utilizzare direttamente la routine di calcolo definita dal tasto D, previo caricamento del valore di frequenza desiderato nel registro X.

Listing

001	*LBLA	21 11	031	SPC	16-11
002	STOA	35 11	032	PRTX	-14
003	RTN	24	033	RV	-31
004	*LBLB	21 12	034	PRTX	-14
005	STOB	35 12	035	RTN	24
006	RTN	24	036	*LBLB	21 15
007	*LBLD	21 14	037	GSBC	23 13
008	STOD	35 14	038	1	01
009	RCLA	36 11	039	.	-62
010	=	-24	040	2	02
011	X ²	53	041	5	05
012	STOS	35 05	042	STO1	35 01
013	1	01	043	1	01
014	-	-45	044	.	-62
015	X ²	53	045	2	02
016	RCL5	36 05	046	6	06
017	RCL6	36 12	047	STO2	35 02
018	X ²	53	048	2	02
019	=	-24	049	0	00
020	+	-55	050	STO3	35 03
021	7X	54	051	*LBLB	21 00
022	1/X	52	052	RCL3	36 03
023	RCL5	36 05	053	GSBD	23 14
024	X	-35	054	RCL3	36 03
025	ABS	16 31	055	RCL1	36 01
026	LOG	16 32	056	X	-35
027	2	02	057	STO4	35 04
028	0	00	058	GSBD	23 14
029	X	-35	059	RCL4	36 04
030	RCLD	36 14	060	RCL2	36 02

061	x	-35	087	RCL4	36 04	f_c Hz	43.10	***	-1.41	***
062	GSBD	23 14	088	GSBD	23 14	Q_{Tco}	0.57	***	100.00	***
063	2	02	089	RCL4	36 04				-0.89	***
064	STx3	35-35 03	090	RCL1	36 01				125.00	***
065	RCL3	36 03	091	x	-35				-0.56	***
066	GSBD	23 14	092	GSBD	23 14				160.00	***
067	2	02	093	2	02	Hz	20.00	***	-0.33	***
068	STx4	35-35 04	094	STx3	35-35 03	dB	-14.37	***	200.00	***
069	RCL4	36 04	095	RCL3	36 03				-0.21	***
070	GSBD	23 14	096	GSBD	23 14				250.00	***
071	RCL4	36 04	097	RCL1	36 01				-0.13	***
072	RCL2	36 02	098	STx3	35-35 03				315.00	***
073	x	-35	099	GT00	22 00				-0.08	***
074	6	06	100	*LBLC	21 13				400.00	***
075	3	03	101	SPC	16-11				-0.05	***
076	0	00	102	RCLA	36 11				500.00	***
077	XZY?	16-35	103	PRTX	-14				-0.03	***
078	R/S	51	104	RCLB	36 12					***
079	XZY	-41	105	PRTX	-14					***
080	GSBD	23 14	106	SPC	16-11					***
081	2	02	107	SPC	16-11					***
082	STx3	35-35 03	108	SPC	16-11					***
083	RCL3	36 03	109	SPC	16-11					***
084	GSBD	23 14	110	SPC	16-11					***
085	2	02	111	RTN	24					***
086	STx4	35-35 04	112	R/S	51					***

AVVERTENZA

In queste note abbiamo deciso di adottare i simboli originali degli autori citati, dando ove possibile la preferenza a quelli proposti da R.H. Small. Vogliamo richiamare l'attenzione sul fatto che il fattore di merito totale di un sistema costituito da un altoparlante montato in cassa chiusa, alimentato da un amplificatore, dipende anche dalla resistenza di uscita di quest'ultimo; il simbolo Q_{Tco} rappresenta il Q totale del sistema nel caso in cui questa resistenza sia nulla.

Nella sua trattazione sui diffusori reflex, pubblicata dal Journal dell'AES nel fascicolo di giugno 1973 (pag. 363), Small propone il più comodo simbolo Q_T per rappresentare il Q totale dell'altoparlante alla sua frequenza di risonanza (f_c) dovuto a tutte le resistenze del sistema.

Riteniamo che questo simbolo possa sostituire anche Q_{Tco} o Q_{Ts} (Q dell'altoparlante ad f_c derivante da tutte le sue resistenze). Sottolineiamo che in un moderno sistema alta fedeltà i diffusori acustici sono normalmente collegati ad un amplificatore caratterizzato da elevato fattore di smorzamento, per cui il Q_{Tc} (se i cavi di collegamento, sono convenientemente dimensionati) si riduce in pratica sempre a Q_{Tco} .

Bibliografia

- [1] R.H. Small, «Simplified Loudspeaker Measurements at Low Frequencies». J. Audio Eng. Soc., vol. 20, pp. 28-33 (Gen./Feb. 1972).
- [2] R.H. Small, «Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis». J. Audio Eng. Soc., vol. 20, pp. 383-395 (Giugno 1972).
- [3] D.B. Keele Jr., «Low-Frequency Loudspeaker Assessment by Nearfield Sound-Pressure Measurement». J. Audio Eng. Soc., vol. 22, pp. 154-162 (Apr. 1974).
- [4] L.L. Beranek, *Acoustics*, pp. 208-239 (McGraw-Hill, New York, 1954).
- [5] J.F. Novak, «Performance of Enclosures for Lo-Resonance High-Compliance Loudspeakers». IRE Trans. Audio, vol. AU-7, p. 5 (Gen./Feb. 1959).
- [6] A.N. Thiele, «Loudspeakers in Vented Boxes». J. Audio Eng. Soc., vol. 19, pp. 382-392 (Maggio 1971), e pp. 471-483 (Giugno 1971).
- [7] Hewlett Packard Italiana, Biblioteca di alta fedeltà per calcolatori portatili programmabili HP-97, HP-67. Programma Hi-Fi 1 11-A.

www.renatogiussani.it