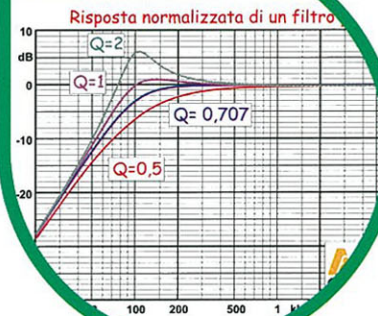
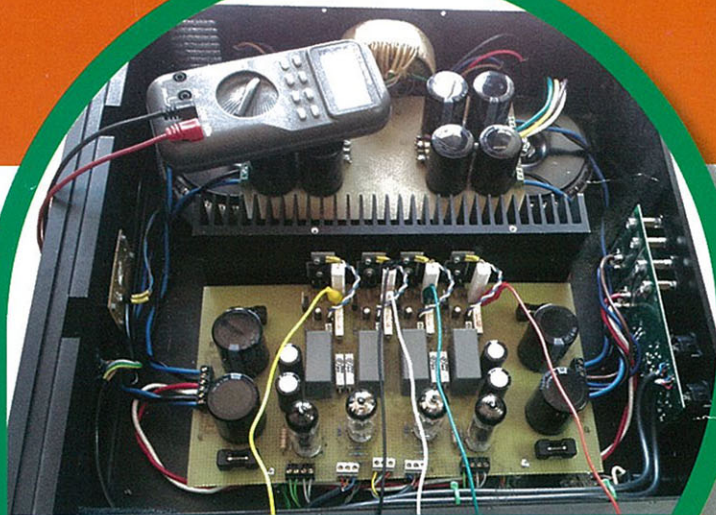


AUDIO COSTRUZIONE

Q Factor



**Due vie con
sub incorporato**

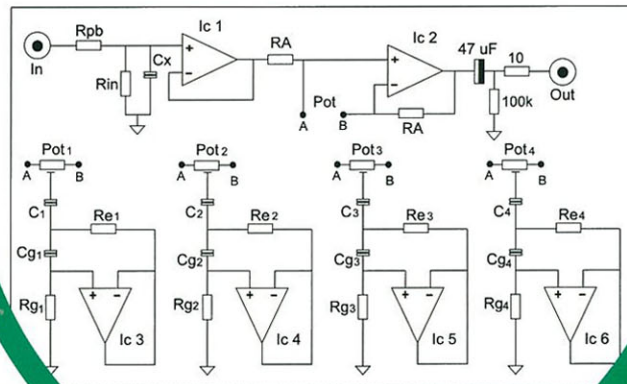


**Amplificatore ibrido
Le Ciclotron**

**Le vibrazioni
dell'altoparlante**



**Equalizzatore
a quattro bande**



Q FACTOR

di Renato Giussani

Fattore di merito, coefficiente di risonanza, fattore di qualità: molte definizioni per un parametro che merita di essere conosciuto meglio.

Quando gli appassionati di autocostruzione hi-fi si imbattono nel famigerato Q lo prendono di solito in considerazione secondo un solo punto di vista: quello che riguarda la capacità dell'altoparlante coinvolto di fornire una sensazione di elevata "prontezza" e "velocità" quando è capace di fermarsi rapidamente al cessare del segnale che lo ha messo e mantenuto in moto

In realtà, come vedremo, gli aspetti da tenere in conto sono diversi e metterli in relazione con le nostre sensazioni d'ascolto non è proprio semplicissimo.

Cominciando dall'inizio, sarà utile capire anzitutto quando è lecito parlare di Q e quando no.

Ed anche perché il nome di questo fattore è "di Merito" o "di Qualità".

È possibile definire un coefficiente di merito Q per qualsiasi circuito venga attraversato da una corrente alternata ed il suo valore serve a definire la dissipazione da cui questo è affetto.

Nel caso in cui il circuito sia composto da un solo induttore oppure un solo condensatore in serie ad un resistore, il QS (coefficiente di merito serie, pari alla reattanza diviso la resistenza) vale rispettivamente:

$$Q_s = X_L / R = 2\pi fL / R$$
$$Q_s = X_C / R = 1 / 2\pi fCR$$

nelle quali relazioni "f" rappresenta la frequenza in Hz alla quale il Q_s viene calcolato.

Ove la R presa in esame fosse la resistenza propria dell'induttore o del condensatore reale il cui valore compare nelle formule, il Q_s servirebbe quindi a valutare le perdite dalle quali questi sono affetti alla frequenza considerata. Ecco quindi che appare evidente perché il Q viene detto anche coefficiente di qualità (Quality Factor, da cui "Q"). Quanto più l'induttore o il condensatore considerato non presentano una resistenza "parassita" indesiderata ed approssimino un componente teorico ideale, tanto più possono essere considerati di alta qualità (soprattutto se devono essere impiegati in circuiti di accordo che vogliono implementare una elevata selettività).

Se ϕ è l'angolo di fase fra la tensione e la corrente che scorrono nel nostro semplice circuito, viene definito un angolo δ pari a $90 - \phi$, chiamato "angolo di perdita".



L'XXX15" dell'americana RE Audio è un subwoofer da 38 cm con un Q_T nominale 0,5.

Nel caso di circuiti elettrici che incorporino sia un induttore che un condensatore ed una resistenza, saremo in presenza di configurazioni caratterizzate dalla capacità di "risuonare" ad una particolare frequenza (che nel caso dei circuiti serie è quella alla quale $X_C = X_L$ e l'impedenza del nostro circuito diviene $Z=R$). La definizione di base nata per il coefficiente di qualità di un circuito risonante destinato ad essere percorso da corrente elettrica, alla frequenza di risonanza $f_0 = 1 / [2\pi\sqrt{LC}]$, è proprio:

$$Q_0 = 2\pi(\text{massima energia immagazzinata in un ciclo}) / (\text{energia dissipata in un ciclo}).$$

Il Q_0 , nel caso dei circuiti RLC serie, vale:

$$Q_{0S} = 1 / R_s \sqrt{L/C}$$

mentre, nel caso di circuiti RLC parallelo, vale invece:

$$Q_{0P} = R_p \sqrt{C/L}.$$

Procedendo velocemente possiamo prendere atto che anche le reti di crossover sono composte da condensatori, induttori e resistenze e in quanto tali sono caratterizzati anch'essi da un loro Q, calcolabile ad esempio alla frequenza di taglio f_c . Ad esempio:

per i filtri Butterworth assume il valore $Q_c = 1/\sqrt{2} = 0,707$

mentre per i Linkwitz/Riley $Q_c = 1/2 = 0,5$.

Vediamo allora perché gli audiofili sono abituati a sentir parlare di Q praticamente solo in relazione agli altoparlanti ed alla loro frequenza di risonanza, sia essa in aria libera o in cassa chiusa.

Il motivo è molto semplice.

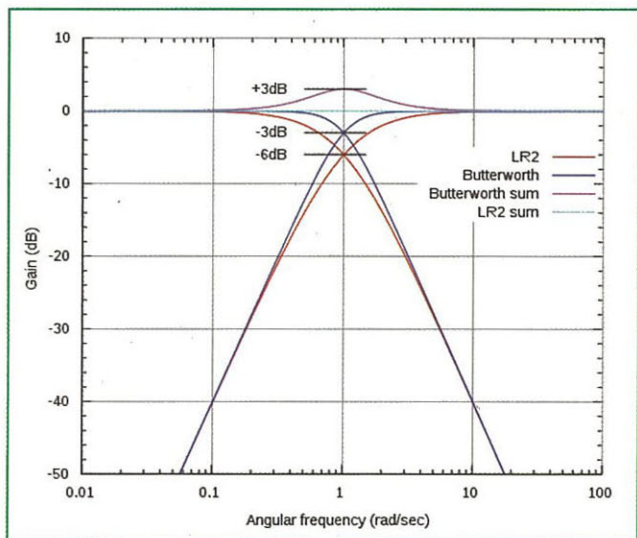


Figura 1
Confronto fra gli interventi delle reti di crossover secondo Butterworth e Linkwitz/Riley entrambe del second'ordine (12 dB/ott.).

Mentre nel caso dei crossover (vedi Fig. 1) il Q è di fatto un parametro secondario, se contrapposto alla tipologia del filtro ed alle sue caratteristiche in termini di risposta in frequenza e risposta in fase, lo stesso è invece uno dei parametri fondamentali previsti sia da Thiele che da Small per impostare il progetto di un sistema di carico di un altoparlante in grado di fornire le prestazioni desiderate sia in termini di risposta all'impulso che di massima potenza acustica generabile e andamento della risposta in frequenza. E tutto ciò in relazione ad una banda audio (il cosiddetto Low-End o Gamma Bassa) che molti altoparlanti fanno molta fatica a riprodurre con caratteristiche adeguate alla vera hi-fi, a meno che il progetto del loro sistema di carico non venga effettuato con la massima competenza e cura.

Cominciamo allora a vedere come è possibile trasferire quanto visto fin qui per il caso dei circuiti elettrici al circuito equivalente di un altoparlante, che per un trasduttore magnetodinamico (per cominciare relativamente alla sola parte meccanica) è il blocco centrale della Figura 2. Sempre in Figura 2 vediamo una rappresentazione RLC parallelo, con la massa mobile M_M nel ruolo di capacità, la compliance C_M in quello dell'induttanza e le resistenze attribuibili agli attriti delle sospensioni e dell'aria in quello della resistenza r_M .

E infatti, tornando alla definizione di frequenza di risonanza per un circuito RLC, possiamo scrivere:

$$f_0 = 1/[2\pi\sqrt{LC}] = 1/[2\pi\sqrt{(C_{MS} \times M_{MD})}]$$

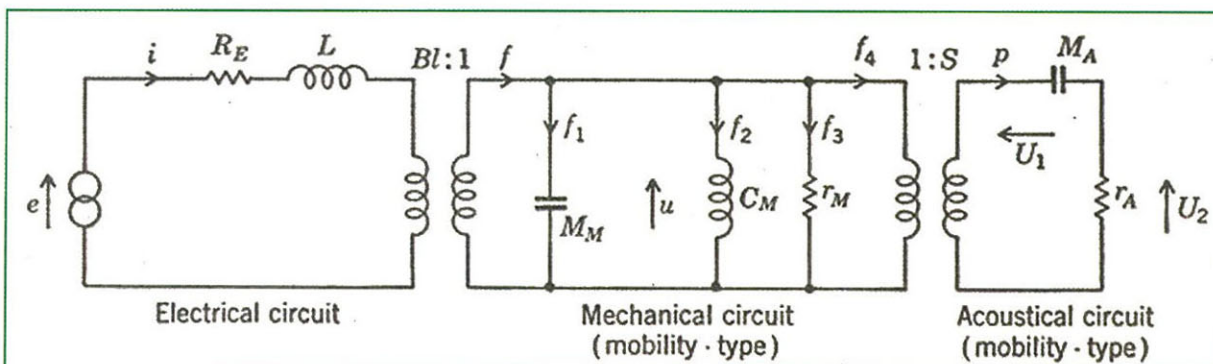


Figura 2
Circuito equivalente di un altoparlante magnetodinamico a bobina mobile.

Naturalmente, anche le relazioni relative al nostro Q mantengono il loro valore. E quindi possiamo scrivere anche:

$$Q_{OP} = R_P \sqrt{C/L} = Q_{MS} = r_{MS} \sqrt{(M_{MD}/C_{MS})}$$

cosa che però agli autocostruttori non può cambiare certamente la vita, anche se rende un poco più evidente il fatto che per avere fattori di merito meccanici bassi (a parità di perdite r_M , attenzione!) si deve avere un rapporto M_{MD}/C_{MS} basso (ovvero o masse piccole o elasticità grandi. O entrambe).

Però un altoparlante magnetodinamico è dotato anche di un suo "motore" costituito dalla bobina mobile immersa in un campo magnetico costante, destinata a generare la necessaria forza motrice quando attraversata da una opportuna corrente elettrica.

La sua rappresentazione nella Figura 2 è costituita dalla prima parte del circuito, nella quale compaiono il generatore della forza elettromotrice "e" nonché la R_E e la L della bobina mobile dell'altoparlante e la corrente "i" che vi scorre.

E quindi, tenendo conto di tutto, per il fattore di smorzamento totale dell'altoparlante possiamo scrivere:

$$Q_{TS} = 2\pi f_s \times M_{MS} / R_{MS}$$

da cui si evince una cosa davvero banale. E cioè che, a parità di frequenza di risonanza e di massa mobile, il valore del fattore di smorzamento diminuisce all'aumentare delle perdite.

Tornando alla definizione base:

$$Q_0 = 2\pi (\text{massima energia immagazzinata in un ciclo}) / (\text{energia dissipata in un ciclo})$$

si vede che ad un Q basso corrisponde una grande dissipazione percentuale di energia. Il che ci fa supporre una cosa che si può estrarre anche matematicamente e che qui daremo oramai per scontata, ovvero che, quando il segnale elettrico che tiene in moto il nostro altoparlante cessa, più il suo Q è basso e prima l'altoparlante si fermerà.

Ora sappiamo anche quali sono le entità fisiche che intervengono: le cosiddette "perdite" (esprese da R_{MS}), ovvero tutto ciò che è capace di trasformare l'energia immagazzinata nell'altoparlante in moto in un'altra forma di energia, il calore.

Leo Beranek (nel suo libro "Acoustics") ci evidenzia che per un normale ambiente domestico caratterizzato da un tempo di riverbero T_{60} di 0,5 s la costante di

decadimento è pari a:

$$\ln(1/1000)/0,5 = 13,8 \text{ s}^{-1}$$

Dove 1/1000 rappresenta il rapporto di 60 dB fra il livello iniziale e quello finale relativi alla misura del T_{60} .

Studi psicoacustici hanno peraltro evidenziato come accettabile un decadimento che faccia ridurre il livello acustico percepito ad un decimo del valore iniziale in un decimo di secondo, ovvero con una costante di decadimento di 23 s^{-1} (che è evidentemente più veloce di quello che abbiamo appena calcolato per un ambiente domestico già abbastanza assorbente).

Ipotizzando che per un altoparlante sia accettabile un decadimento pari a quattro volte questo valore (condizione particolarmente cautelativa), ne traiamo che il nostro altoparlante dovrebbe fermarsi con una costante di decadimento pari a $23 \times 4 = 92 \text{ s}^{-1}$.

Il che ci consentirebbe di porre la condizione:

$$R_{MC}/2M_{MS} \geq 92 \text{ s}^{-1}$$

ovvero, attribuendo questo valore ad una cassa chiusa:

$$Q_{TC} = 2\pi f_c \times M_{MS}/R_{MC} \leq 2\pi f_c \times 1/184 = 6,283 \times f_c \times 1/184 = 0,0341 \times f_c$$

che, per f_c uguale (ad esempio) a 45 Hz, ci fornisce per i valori che potrebbe assumere il suo fattore di merito:

$$Q_{TC} \leq 1,54$$

mentre per $F_c = 40$ Hz conduce a $Q_{TC} \leq 1,36$

e per $F_c = 70$ Hz a $Q_{TC} \leq 2,39$.

A me sembra che tali valori siano molto superiori e ben lontani da quelli che vengono considerati accettabili da sempre per i diffusori hi-fi che vorremmo poter ascoltare nei nostri ambienti.

Io ne traggio (e non da oggi, naturalmente) che i ragionamenti basati sul solo decadimento non sono sufficienti a consentire una corretta scelta del Q_{TC} da attribuire ai nostri diffusori a sospensione pneumatica.

Fra l'altro, chi ha studiato fisica sa che un sistema risonante nel quale le condizioni iniziali prevedano una velocità diversa da zero e/o una posizione di partenza diversa da quella di equilibrio (immaginate un'altalena, ad esempio) lasciato a se stesso inizierà immediatamente ad oscillare alla sua frequenza di risonanza, non ad un'altra.

Questo significa che cercare di ottenere che il nostro altoparlante sollecitato a muoversi a 100 Hz smetta più rapidamente di emettere tale frequenza quando il segnale a 100 Hz cessa, non passa certo per il valore del Q_T alla sua frequenza di risonanza, ove questa sia lontana da tale frequenza, magari ad esempio a 50 Hz.

Quando il segnale a 100 Hz cessa, il nostro altoparlante passerà subito ad oscillare a 50 Hz e ca-

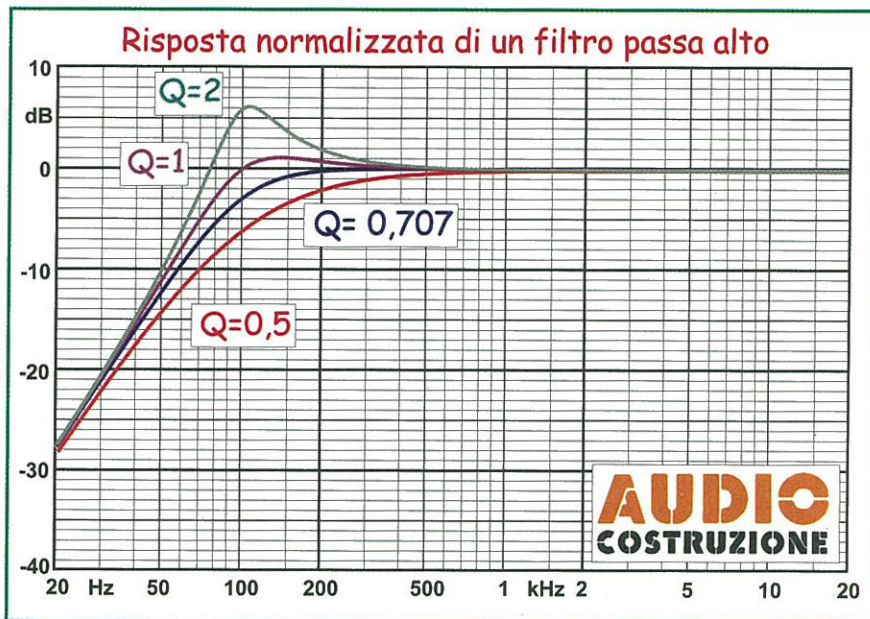


Figura 3
Risposte normalizzate di un passa-alto con diversi valori di Q_T

somai l'unico elemento da prendere in considerazione sono le perdite R_{MS} , che più grandi sono e meglio è a qualsiasi frequenza. Ecco perché alcuni costruttori, dopo avere scelto un certo altoparlante ed una certa F_c per il loro sistema, cercano di ottenerla non variando semplicemente il volume di carico, ma anche prevedendo una grande quantità di assorbente acustico (componente dissipativo per eccellenza) al suo interno.

Prendendo ora atto che le sensazioni acustiche che proviamo ascoltando un sistema ad alta fedeltà sono in massima parte determinate dalla sua "risposta in frequenza" globale in ambiente, andiamo a vedere come varia questa caratteristica al variare del Q .

E naturalmente non solo per i woofer e le casse chiuse, ma anche per midrange, tweeter, filtri, sistemi accordati (che di Q ne hanno uno per ciascuna risonanza prevista dal loro funzionamento).

Il grafico di **Figura 3** è una vecchia conoscenza. Mostra come varia la risposta in frequenza di un filtro passa-alto, come pure di un altoparlante in aria libera o un sistema in cassa chiusa, al variare del suo Q_T .

Questo grafico può essere utilizzato per valutare quale risposta in frequenza al low-end presenterà, in campo libero, una qualsiasi cassa acustica chiusa la cui frequenza di risonanza venga fatta corrispondere al valore 1 dell'asse delle ascisse.

È evidente che tutti i valori di Q superiori a 0,707 presentano un incremento rispetto al livello asintotico cui le curve tendono tutte all'aumentare della frequenza. In **Figura 4** vediamo come gli stessi fattori di merito modifichino la risposta di un filtro passa-basso.

In entrambi i valori notevoli sono:

- A) $Q=0,5$ (cui corrisponde un decadimento esponenziale del livello acustico senza alcuna ondulazione. Caratterizzata da un livello di $-6,02$ dB, rispetto a quello asintotico, alla frequenza di risonanza)
- B) $Q=0,707$ (detta anche massimamente piatta.

Risposta normalizzata di un filtro passa basso

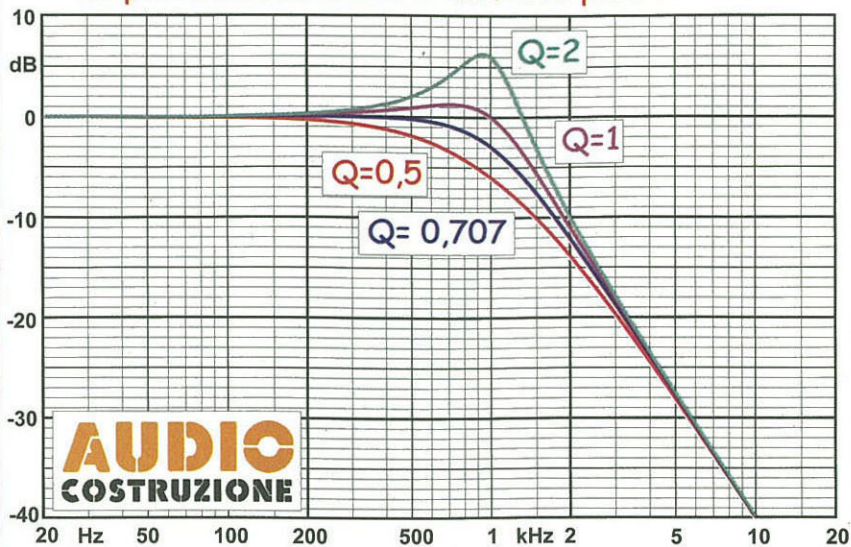


Figura 4

Risposte normalizzate di un passa-basso con diversi valori di Q_r

Presenta $-3,01$ dB alla risonanza)

C) $Q=1,0$ (che, in cambio di una esaltazione di circa $1,25$ dB ad una frequenza circa $1,4$ volte quella di risonanza, offre un livello di 0 dB alla stessa frequenza di risonanza. In passato veniva considerato il compromesso migliore).

Ma quando quella cassa verrà fatta funzionare in un ambiente chiuso, come sarà l'andamento alle basse frequenze che potremo ascoltare?

Molto ma molto differente.

In relazione sia alla geometria dell'ambiente d'ascolto, che determinerà la nascita di un "campo di onde stazionarie" esteso dalla frequenza della più bassa stazionaria che vi potrà nascere fino alla frequenza detta di Schröder [$f_s=2000\sqrt{(T_{60}/V)}$], sia alle posizioni assunte in quell'ambiente dai diffusori acustici e dall'ascoltatore.

Come frequenza minima potremo assumere quella del modo normale fra le due pareti più distanti.

Se, ad esempio, la nostra sala avesse dimensioni di $5 \times 7 \times 3$ m avremmo l'onda stazionaria più forte a frequenza più bassa a:

$$344 / (2 \times 7) = 24,57 \text{ Hz}$$

mentre la fine della banda governata dalle stazionarie (e regno quindi del campo riverberato) dovrebbe essere considerata (supponendo un $T_{60}=0,7$ s) pari a:

Disegni originali del brevetto n. 2.775.309 depositato nel 1953 da Edgar Villchur relativo all'invenzione dell'altoparlante a sospensione acustica. Egli provò a rivendere l'idea a diversi fabbricanti di diffusori ma la sua proposta non trovò accoglienza.

$$f_s = 2000\sqrt{(0,7/105)} = 163 \text{ Hz.}$$

E naturalmente il tempo di attivazione e di spegnimento delle onde stazionarie è molto maggiore del tempo di riverbero medio. Da cui si può facilmente dedurre un altro motivo, per non attribuire una particolare importanza al valore del fattore di merito delle nostre casse al fine di poterci garantire un veloce smorzamento delle note basse nel nostro ambiente.

Nel caso in cui fossimo costretti ad impiegare per i nostri ascolti una stanza particolarmente "cattiva", ovvero caratterizzata da onde stazionarie che enfatizzano ed "allungano" in modo esagerato frequenze un po' troppo alte (fenomeno frequentissimo negli ambienti "piccoli" e con le dimensioni di base troppo simili fra loro), l'unico rimedio che mi sento personalmente di consigliare è una correzione acustica attiva di tipo digitale: DRC o simili.

Dec. 25, 1956

E. M. VILLCHUR

2,775,309

SOUND TRANSLATING DEVICES

Filed March 15, 1954

FIG. 1

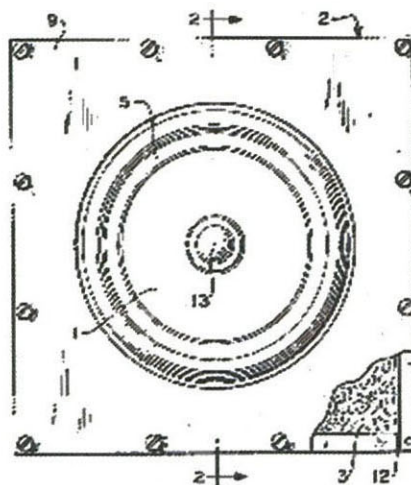


FIG. 2

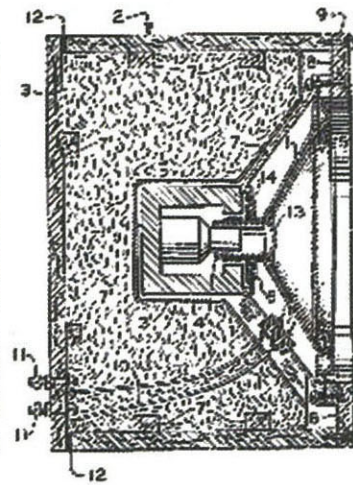


FIG. 4

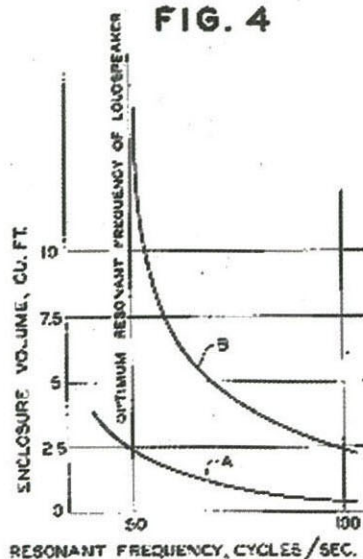
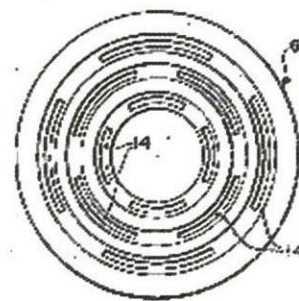


FIG. 3



INVENTOR.

BY Edgar M. Villchur.

audioplay