

Una possibilità di esaminare lo schema e di ascoltare il nuovo altoparlante di Peter Walker: un'occasione da non perdere...

Crediamo che l'articolo che segue, il quale tratta delle interessanti soluzioni adottate in questo insolito altoparlante, interesserà molti dei nostri lettori. Dopo una parte introduttiva sugli altoparlanti elettrostatici in generale, tanto per fare il punto, entreremo in maggiori particolari parlando dell'ESL 63. Parleremo infine di come l'ESL 63 si comporta come un dipolo e di come si interfaccia con i locali di ascolto.

L'altoparlante elettrostatico

L'altoparlante elettrostatico è, sotto molti aspetti, la controparte del diffusissimo altoparlante a bobina mobile. Per cominciare, in un significato strettamente teorico: la forza esercitata su una membrana ESL è

(corrente). In pratica le armature perforate sono anch'esse di materiale termoplastico, con uno strato conduttore stampato in superficie: in questo modo vengono molto semplificati i problemi di isolamento ad alta tensione, e nell'ESL 63 si rende anche possibile l'impiego di elettrodi sagomati (vedi figura 2).

Un aspetto più interessante è lo smorzamento della risonanza fondamentale. In un sistema di pilotaggio elettrostatico si tratta della risonanza tra la cedevolezza del diaframma (dovuta alla summenzionata forza di recupero) e la massa d'aria che si trova nelle immediate vicinanze (aumentata naturalmente della piccolissima massa del diaframma stesso). I lettori provvisti di conoscenze musicali potranno notare

QUAD ESL 63

Non siamo soliti pubblicare delle recensioni di prodotti audio. Ciò non significa che noi, come tecnici dall'orecchio critico, non possiamo avere un'opinione sulle caratteristiche costruttive di un particolare prodotto. Perciò, se il fabbricante ci fa pervenire una copia dello schema ed una possibilità di ascolto di un Quad ESL 63, non possiamo proprio rifiutare...

proporzionale alla *tensione* applicata invece che alla *corrente*, mentre è la *corrente* che passa nell'*impedenza cinetica dell'ESL*, piuttosto che la *tensione ai suoi capi*, ad essere proporzionale alla velocità effettiva del diaframma. Un altro aspetto è costituito dal fatto che un diaframma ESL, il quale porta solo una quantità più o meno grande di cariche elettrostatiche (e da cui s'altro dovrebbe derivare il suo nome?), potrà essere di dimensioni molto grandi e tuttavia molto leggero, in pratica molto più leggero della massa d'aria che deve muovere. La figura 1 mostra una sezione di un moderno gruppo elettrostatico. Il diaframma è formato da una pellicola termoplastica flessibile e molto sottile, ben tesa, in modo da fornire la forza di richiamo verso la posizione centrale di equilibrio. Deve essere possibile caricare con sicurezza il diaframma senza che le singole cariche abbiano la possibilità di distruirsi in modo ineguale durante i movimenti, altrimenti la forza, che agisce sulle cariche, sarà anch'essa distribuita in modo non uniforme.

Allo scopo è necessaria una resistività superficiale assai elevata. Il diaframma in poliestere spesso 3 micron, usato nell'ESL 63, fa uso della conduzione elettronica ottenuta drogandolo con un atomo donatore su circa dieci milioni di atomi non conduttori (Incidentalmente si può dire che si tratta di una tecnologia di avanguardia, che ha fatto origine ai maggiori problemi nello sviluppo portato avanti dalla Quad). Le piastre fisse, perforate allo scopo di permettere il passaggio dell'aria, formano in pratica un condensatore ad armature parallele. La tensione alternata applicata ai capi di questo condensatore stabilisce il campo del segnale, e la forza di azionamento è il prodotto tra la carica totale e l'intensità di campo. Quando il diaframma si muove provoca uno spostamento di cariche nel circuito delle armature e possiamo osservare che la velocità di movimento del diaframma deve essere proporzionale alla velocità di spostamento delle cariche

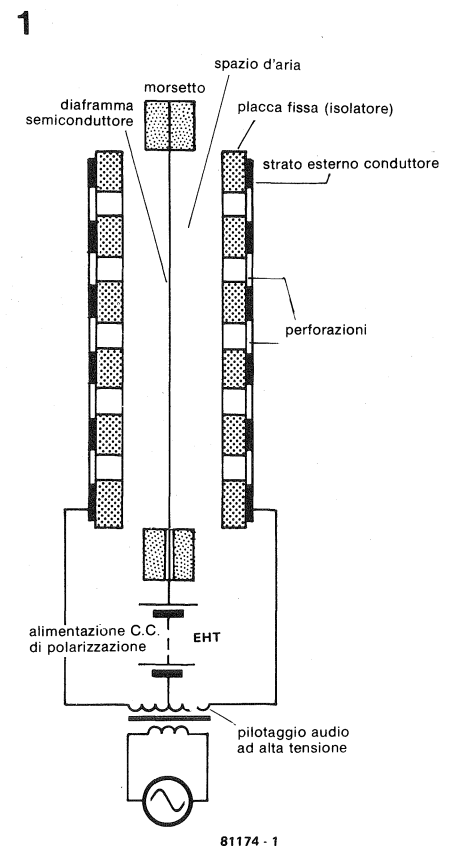
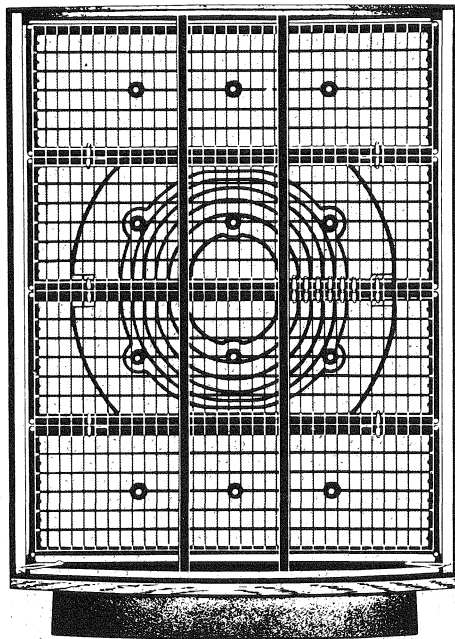


Figura 1. Sezione di un tipico altoparlante elettrostatico con il relativo circuito esterno. L'apparente semplicità è ingannevole.

che questo *carico dovuto alla massa d'aria* (in termini acustici "inertanza") ha le stesse caratteristiche del meccanismo necessario per la correzione terminale nell'accordo di una canna d'organo. Lo smorzamento elettrico di questa risonanza può essere ottenuto regolando la corrente cinetica (nel caso della bobina mobile, la tensione). Nell'ESL 63 c'è anche uno smorzatore acustico interno ottenuto facendo resistenza al libero flusso d'aria.

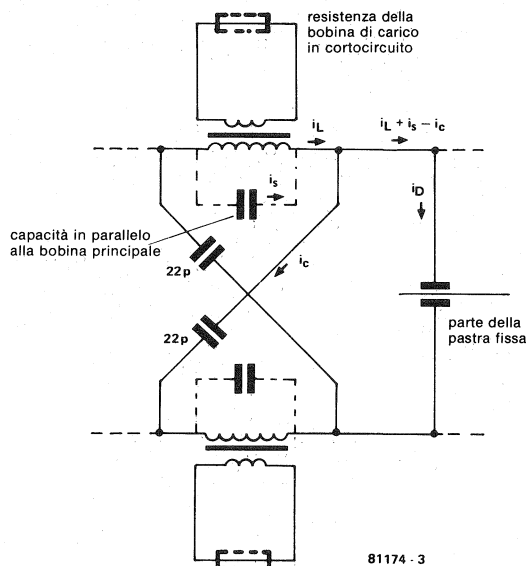
2



81174 - 2

Figura 2. Una delle due placche fisse dell'ESL 63, che mostra la separazione tra le varie sezioni di pilotaggio sotto forma di anelli neri.

3



81174 - 3

Figura 3. Una sezione della linea di ritardo. Se $i_c > i_s$ il circuito è un passa-tutto; con $i_c = i_s$ esso diventa una linea L-C.

Le casse

Secondo le nostre conoscenze, le casse degli altoparlanti esistono soprattutto per ottenere un'efficiente uscita dei bassi dal sistema a bobina mobile, che ha una superficie di membrana abbastanza piccola. Esse si sviluppano a partire dai tipici mobiletti radio a fondo aperto, realizzati quando si comprende che l'onda in opposizione di fase proveniente dal retro interferiva annullandosi con quella anteriore, riducendo la pressione totale dei toni bassi nell'ambiente. Non teniamo conto delle trombe per toni bassi, che sono in realtà dei trasformatori di adattamento acustico, ed

hanno la tendenza ad assumere dimensioni enormi, per cui restano due idee di partenza: assorbire l'onda posteriore in una cassa chiusa, oppure usarla per pilotare un sistema risonante sfasatore che provvederà un'uscita supplementare di toni bassi (sistemi "bass-reflex" e certi modelli a labirinto del tipo a "linea di trasmissione"). Come possiamo notare, due delle proprietà degli altoparlanti elettrostatici rendono non necessario né desiderabile il montaggio entro casse. *Non necessario* perché la loro superficie irradiante può facilmente essere resa così vasta da relegare i problemi delle interferenze distruttive solo alle fre-

quenze musicali estremamente basse. Questi si possono risolvere con l'esaltazione dei bassi, senza distorsione, dato che il sistema di pilotaggio è lineare (il sistema deve naturalmente avere la possibilità di compiere escursioni ampie: metri cubi al secondo di velocità per volume restano sempre metri cubi al secondo). *Indesiderabile* perché le casse, per loro stessa natura funzionano con forti pressioni interne, che potrebbero anche sfondare il diaframma elettrostatico.

Adattamento a linea di ritardo

Uno dei problemi che presenta il pilotaggio elettrostatico è la corrente reattiva che passa nella capacità tra le piastre alle alte frequenze di lavoro. Peter Walker ha chiarito, sin dal 1954, che questo problema può essere risolto impiegando diverse sezioni di altoparlante come se fossero gli elementi in parallelo di una linea di ritardo L-C. Il brevetto inglese N° 1 228 775, pubblicato nel 1971, spiega come questo accorgimento possa essere usato per controllare la figura di irradiazione di un altoparlante elettrostatico ad elevata superficie. Nel maggio del 1979, una pubblicazione dell'AES ha infine chiarito come tutto ciò avvenga.

Una sezione della linea di ritardo usata nell'ESL 63 si può vedere in figura 3. Si tratta di una cosa interessante. Con i suoi condensatori in diagonale, sembra trattarsi di un circuito "passa tutto" del primo ordine. E forse si tratta proprio di questo, per quanto una parte almeno della corrente dei condensatori andrà ad annullare quella che passa attraverso la capacità distribuita dell'avvolgimento (disegnata a tratteggio). I secondari apparentemente in cortocircuito servono in effetti ad applicare uno smorzamento agli induttori, per determinare il comportamento della sezione passa-tutto ai transistori, oppure per rastremare l'ampiezza lungo la linea, oppure per entrambi gli scopi. Il ritardo per ogni sezione è di 24 μ secondi, che corrisponde ad una differenza di lunghezza di percorso in aria di poco più di 8 mm.

Il punto essenziale da considerare circa questo metodo di adattamento è che la *riflessione acustica* indesiderata ai margini del diaframma di estensione finita, assumerà la forma di una *riflessione elettrica* sulla linea. Questa potrà essere facilmente eliminata con una semplice modifica elettrica alla linea stessa.

Audio ad alta tensione

La tensione di segnale applicata all'ESL 63 può arrivare fino a più di dieci *kilovolt*. Questa elevata tensione è necessaria per ottenere delle intensità di campo vicine al limite di ionizzazione (scarica) su un intervallo d'aria largo a sufficienza da permettere un movimento del diaframma alle basse frequenze di funzionamento. La progettazione di un trasformatore audio atto a svolgere questo compito, entro l'intera banda di frequenza, e con bassa distorsione, deve essere stata un'esercitazione piuttosto interessante...

In realtà l'ESL 63 è dotato di due trasformatori identici e gagliardi, avvolti con i rispettivi secondari in serie. A prescindere dalla difficoltà di sistemare questi oggetti così ingombranti in un basamento alquanto basso, essi forniscono un elegante sistema per ridurre l'induttanza parassita e le capacità distribuite che limitano la banda superiore delle frequenze di un trasformatore.

Un punto degno di nota è che un trasformatore audio con nucleo in ferro non può diminuire in alcun modo le prestazioni di un sistema in cui esso sia usato. Al contrario, l'uso di un trasformatore è spesso il miglior sistema, se non, come in questo caso, l'unico sistema, di ottenere il risultato.

La figura 4 fornisce un grafico del modulo dell'impedenza d'ingresso. Per quanto la cosa possa sorprendere, non c'è molta differenza rispetto a quello di un altoparlante convenzionale. Per mantenere costante la carica della membrana, nonostante le perdite per dispersione, e le perdite supplementari dovute a ionizzazioni localizzate dello spazio d'aria, occorre l'applicazione di una tensione EHT alla superficie (semi) conduttrice. La tensione deve essere alta a sufficienza da produrre un'intensità di campo di polarizzazione nei due spazi d'aria (ossia tra la membrana a riposo e ciascuna delle armature fisse) pari a metà del limite di ionizzazione. Nell'ESL 63 questo limite è di circa 5,25 kV, corrispondenti a circa 2 kV/mm. La carica del diaframma è proporzionale a questa intensità del campo di polarizzazione.

Il generatore EHT si vede in figura 5. Si tratta di un classico raddrizzatore in cascata di Cockcroft-Walton, con una sola piccola aggiunta: la tensione alternata di alimentazione è con approssimazione stabilizzata mediante varistori per rendere l'EHT più o meno indipendente dalle fluttuazioni della tensione di rete. Un altro interessante particolare è che le cariche vengono trasmesse tramite una lampada al

4

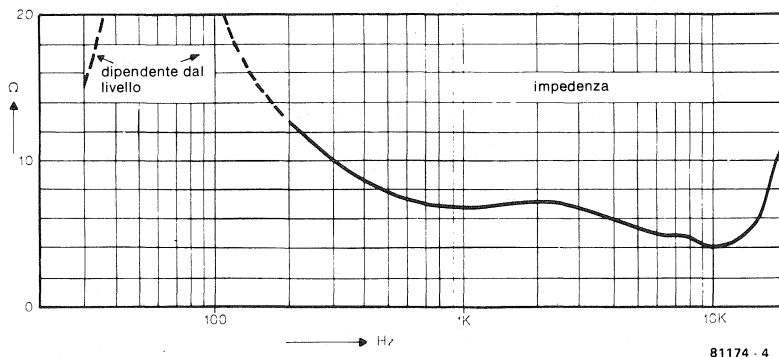


Figura 4. Una rappresentazione grafica del modulo dell'impedenza d'ingresso.

neon portata da un condensatore. Questa, insieme alla resistenza da 10 MΩ, ed alle resistenze di perdita, di molto superiori, forma un altro circuito classico: l'oscillatore a rilassamento con lampada al neon lampeggiante. Il numero di lampi al secondo è proporzionale alla quantità di carica trasmessa al diaframma.

Forse ciò è dovuto al fatto che Peter Walker voleva tener d'occhio quanto succedeva. Sembra quasi di sentire le sue parole: "..... molto sensibile e molto meglio dei soliti rozzi strumenti, specialmente con tutti questi kilovolt in ballo".

La protezione

Un altoparlante elettrostatico è lineare fino al punto in cui avviene la ionizzazione in uno dei due spazi d'aria. Non appena questo avviene, restano pochi millisecondi per abbassare la tensione, dopodiché la scarica danneggerà senza rimedio il sistema. Di conseguenza, il circuito di protezione deve avere un intervento quasi istantaneo, e restare attivo per un tempo sufficiente a permettere il raffreddamento degli ioni. La figura 6 mostra come si ottiene lo

scopo nell'ESL 63. L'irradiazione di disturbi ad alta frequenza che accompagna lo stabilirsi della ionizzazione, viene captata da un'antenna, uno spezzone di filo che gira intorno al circuito ad alta tensione, e rilevata da T3. Disturbi che superino un certo livello sono l'indice sicuro che si sta generando una situazione pericolosa. In questo caso verrà fatto partire il temporizzatore 555, che accenderà il Triac T1. Per cui attenzione agli amplificatori di potenza. Questo altoparlante colpisce all'indietro

Il diodo di scarica T2 ed il Triac T3 trasferiscono l'innescò di T1 all'ingresso audio nel caso di mancanza della tensione di rete. Il circuito è quindi a prova di inesperto. Questa sistemazione proteggerà anche l'altoparlante contro i sovraccarichi accidentali. L'amplificatore dovrà essere provvisto di un sistema di protezione contro i cortocircuiti ben progettato, anche se esso non può fornire una tensione d'uscita molto elevata (abbiamo sentito di un'interruzione in apparenza provocata dalla padrona di casa che inseriva la spina di una caffettiera elettrica!). Abbiamo constatato che la protezione interviene senza che ci sia

5

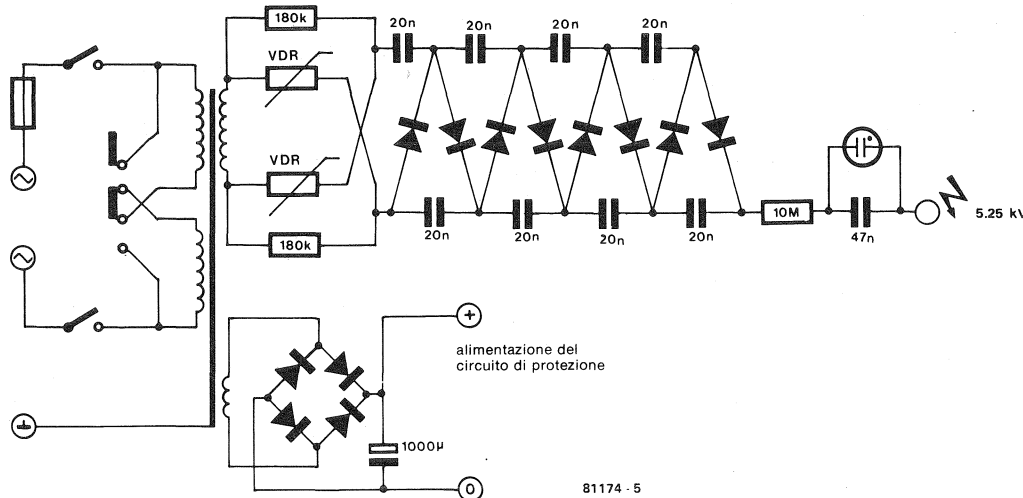


Figura 5. L'alimentatore ed il generatore EHT dell'ESL 63. Si noti la stabilizzazione dell'EHT mediante varistor. La velocità di lampeggiamento della lampada al neon indica quanta carica viene fornita alla membrana.

6

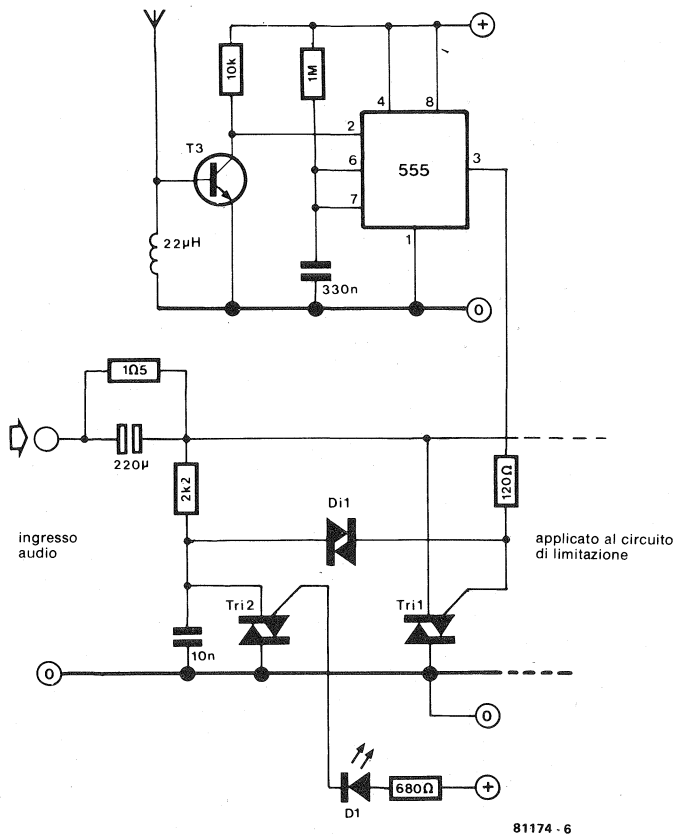


Figura 6. Il freno di emergenza. Il funzionamento normale avviene con il Triac T3 mantenuto acceso dall'alimentatore. Il temporizzatore 555 viene avviato dal rivelatore di ionizzazione Tr3, e fa partire T1 in modo da mettere in cortocircuito l'ingresso audio. Con la corrente staccata T1 può essere fatto partire tramite T2 da un segnale d'ingresso eccessivo.

7

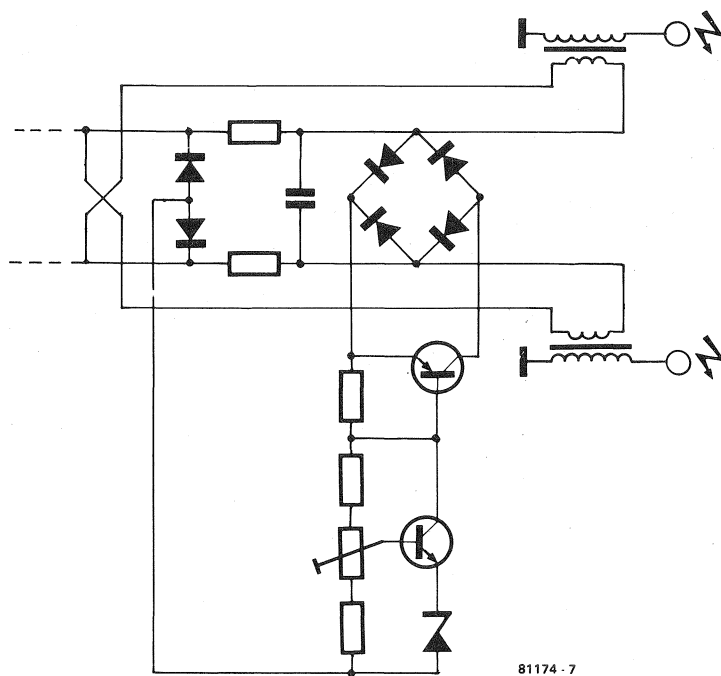


Figura 7. Parte del circuito d'ingresso che mostra il limitatore d'ingresso graduale che reagisce ai picchi di segnale superiori a 40 V.

bisogno di sorveglianza: la cosa potrà sembrare sconcertante ad un ascoltatore immerso in un forte passaggio musicale: l'altoparlante si comporta in modo superbo, e all'improvviso tace. Perciò l'ESL 63 è dotato anche di un limitatore d'ingresso graduale, progettato per cominciare a dare un segnale di avviso udibile della distorsione a partire da circa 3 dB sotto la soglia di interruzione.

Il suo funzionamento si può vedere in figura 7. Il segnale arriva ai trasformatori elevatori audio passando attraverso piccole resistenze in serie. Tr2 funziona in un circuito a soglia di tensione regolabile. Quando i picchi della tensione d'ingresso superano i 40 V, per qualsiasi polarità di oscillazione, Tr1 verrà mandato in conduzione, assorbendo una corrente supplementare dalla resistenze in serie. Questo produrrà una riduzione non lineare udibile, nella tensione di pilotaggio del primario.

Il circuito di limitazione potrebbe presumibilmente essere disattivato senza peggiorare in alcun modo i margini di sicurezza. In effetti, avremmo preferito un segnale di avviso ottico, magari pilotato da un monostabile, al posto del limitatore di riduzione dell'ampiezza disponibile. Che si pensa di una versione escludibile?

FRED

L'acronimo FRED (Full Range Electrostatic Doublet = dipolo elettrostatico a piena banda) è un'altra idea originale della Quad. Proviamoci a capire come funziona. Peter Walker illustra il suo principio dell'irradiazione e dell'espansione di un fronte d'onda proveniente da un diaframma piatto per mezzo dell'adattamento con linea di ritardo tronca, come appare dalla figura 8. Altri hanno interpretato questo come se si producesse una sorgente puntiforme *virtuale* situata a circa 30 cm dietro l'altoparlante, dal punto di osservazione dell'ascoltatore. La situazione effettiva dell'ESL 63 sembra essere più complicata. Un *dipolo acustico* consiste di due generatori uguali di segno opposto, ciascuno di piccole dimensioni rispetto alla lunghezza d'onda, e disposti ad una distanza analogamente piccola. La pressione netta, ad una distanza dal dipolo grande rispetto alla *spaziatura* tra gli elementi, è descritta con precisione da una funzione coseno (il coseno dell'angolo formato dall'asse frontale e dalla direzione dell'osservatore). Tutto questo è illustrato nella figura 9. Se abbiamo capito giusto, ciò che ha fatto Peter Walker è stato di combinare il ritardo e la compensazione d'ampiezza del pilotaggio della membrana in modo da mantenere l'irradiazione a lobi assiali tipica del dipolo (con l'intera membrana che si comporta come un sistema di generatori a dipolo *reali* ed in fase) entro praticamente l'intera zona di lavoro, anche se il sistema diventa presto grande rispetto alla lunghezza d'onda. Le forme di irradiazione di figura 10 mostrano solo un leggero restringimento per la frequenza di 8 kHz, e questo dimostra la bontà dei risultati...

Non si tratta soltanto di un ottimo altoparlante: si tratta di un affascinante compendio di fisica applicata.

8

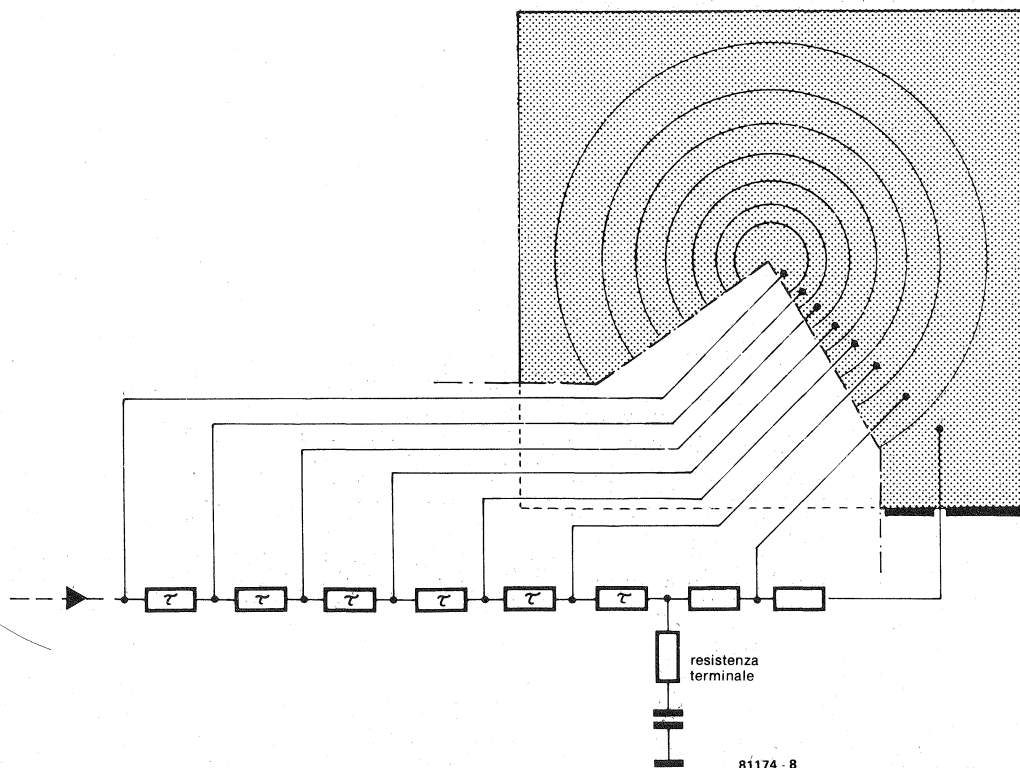


Figura 8. Questa figura mostra come l'ESL 63 irradia un fronte d'onda curvo da una membrana piatta usando un adattamento a linea di ritardo. Le prese della linea di ritardo sono collegate alle superfici concentriche delle placche fissate al sistema di pilotaggio.

L'ascolto ...

Due aspetti dell'interfaccia altoparlante-ambiente, che potrebbero causare disturbo in un locale di ascolto domestico, sono le *riflessioni premature* e le *onde stazionarie*.

Un semplice caso di riflessione prematura appare in figura 11. L'altoparlante è sistemato su un pavimento molto riflettente, per cui l'ascoltatore riceve il suono dall'altoparlante *e*, per riflessione, dal pavimento. L'onda riflessa arriva pressapoco uno o due millisecondi dopo l'onda diretta, e con intensità alquanto inferiore. Il modo più efficace di affrontare il problema è di immaginare che il pavimento sia trasparente e che la riflessione provenga in effetti da un'*immagine* dell'altoparlante posta sotto di esso. La distanza in più percorsa dall'onda ritardata corrisponderà ad una o più mezza lunghezze d'onda di una qualche frequenza musicale (di solito nelle frequenze intermedie). Il problema consiste nel fatto che l'interferenza distruttiva provocherà una cancellazione parziale della pressione dovuta all'onda diretta, con il risultato di falle abbastanza larghe nella risposta centrale sulle frequenze corrispondenti a numeri dispari di mezza lunghezze d'onda. La situazione complessiva delle lunghezze d'onda, con le due onde più o meno in fase, darà origine a larghi picchi che di solito sono ancora più fastidiosi delle falle.

Il metodo dell'immagine può essere applicato a situazioni più complesse, basta che si usi un sufficiente numero di immagini per tenere conto di *tutte* le riflessioni fastidiose. Si può notare, facendo uso di un esempio, che una riflessione a doppio rim-

9

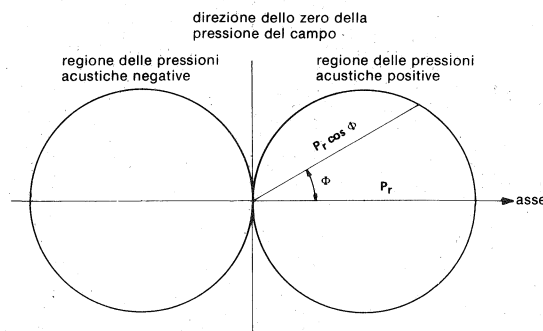


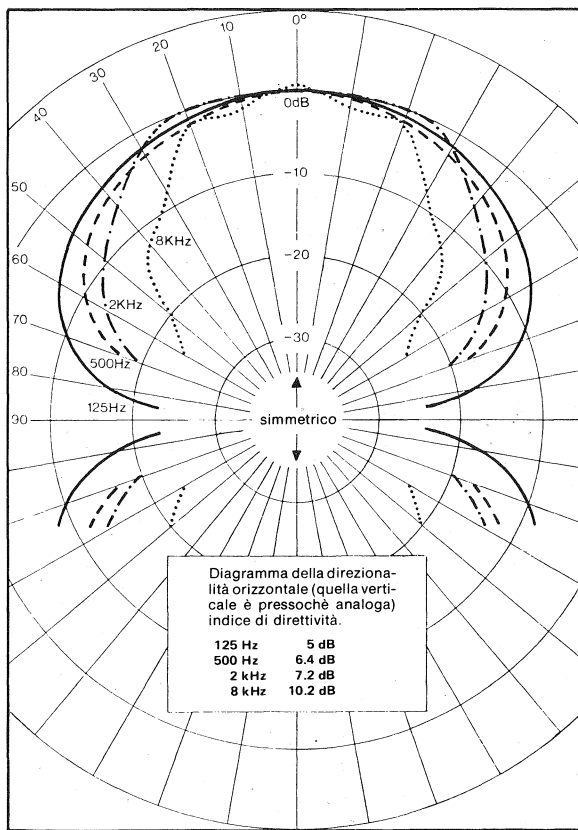
Figura 9. La cosiddetta sagoma di irradiazione di un dipolo.

balzo si potrebbe considerare come "irradiata" da un'*immagine dell'immagine*. Abbiamo il sospetto che proprio questo fosse l'effetto che abbiamo durante la nostra prima audizione di un ESL 63 in una stanza con pavimento a piastrelle. L'altoparlante era ben distanziato dalle pareti, ma esso "rimbombava" leggermente. L'effetto scompariva trasportando l'altoparlante in una stanza con pavimento a moquette oppure sollevandolo su di un appoggio estemporaneo (per la precisione una cassetta vuota per bottiglie del latte. Sarà un accessorio da fornire a richiesta?). La moquette attenuava la riflessione a sufficienza; l'effetto della cassetta del latte è più istruttivo: facciamo ancora capo alla figura 11. Cominciamo col notare che l'ESL 63 irradia come un dipolo, ad asse orizzontale ed ad una distanza dal pavimento di circa 50 cm. Sistemiamo ora l'ascoltatore, con le orecchie a circa un metro sopra il pavimento e circa 3 metri lontano dall'altoparlante. L'angolo verticale sot-

so alla retta che unisce l'ascoltatore all'altoparlante è eccetera eccetera ... Tutto questo ha dato origine ad un rebus in quanto l'operazione cassetta del latte avrebbe potuto al massimo ridurre di un paio di decibel la pressione dell'onda riflessa. Poi si è fatta luce. Muovendo il generatore immagine ancora 35 cm sotto il pavimento, si è provocato un percorso dell'onda riflesso che veniva intercettato da un tavolino da caffè!

Un'onda stazionaria, considerata come un *problema* di interfaccia con l'ambiente, deve essere tenuta distinta da un'onda stazionaria che si comporta come parte del processo di riverbero. Qualsiasi modo di onda stazionaria è caratterizzato dalla sua *frequenza naturale* e dal suo *grado di smorzamento*. Il problema insorge soltanto quando appare isolatamente un singolo modo con smorzamento leggero oppure un gruppo di tali modi strettamente intervallati. Le note musicali provenienti da uno strumento o da un'altoparlante, particolar-

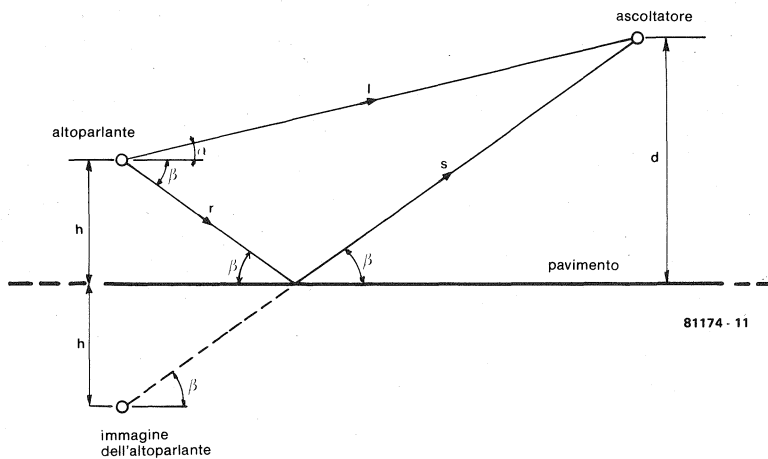
10



81174 - 10

Figura 10. Le sagome di irradiazione misurate dell'ESL 63. Si noti che queste sagome appaiono appiattite nei confronti di quelle di figura 9 a causa dell'impiego di una scala delle ampiezze logaritmica.

11



81174 - 11

Figura 11. Un'illustrazione del metodo del generatore immagine applicato al semplice caso di un riflessione da parte del pavimento.

mente le note sostenute, che hanno una frequenza vicina a quella naturale, possono dare origine ad oscillazioni forzate di ampiezza noiosamente elevata. Dopo la fine della nota, il modo si smorzera più o meno lentamente alla sua frequenza naturale. Se due o più modi sono eccitati insieme, possono avere luogo dei battimenti (se le note sono uguali) e quindi possono smorzarsi indipendentemente. Il vantaggio del dipolo in questo problema di interfaccia ambiente è che l'uscita avviene sotto forma di moto delle particelle lungo l'asse. Esso si accoppierà quindi soltanto con i modi che abbiano una componente significativa della velocità delle particel-

le nella direzione dell'asse. Questo è probabilmente uno dei motivi per cui questi dipoli elettrostatici sono considerati deboli nei toni bassi, anche quando ciò non accade, come nell'ESL 63. Il semplice fatto è che la stanza non dà il desiderato (ma piace davvero?) responso rimbombante. Combattere il rimbombo ambientale con un dipolo, significa cominciare con l'alimentarlo con onde sinusoidali a basso livello (naturalmente della "giusta" frequenza!) e quindi muovere sia l'altoparlante che l'ascoltatore qua e là fino ad identificare il modo che disturba. Provare poi a trovare una posizione od un orientamento dell'altoparlante che produca un

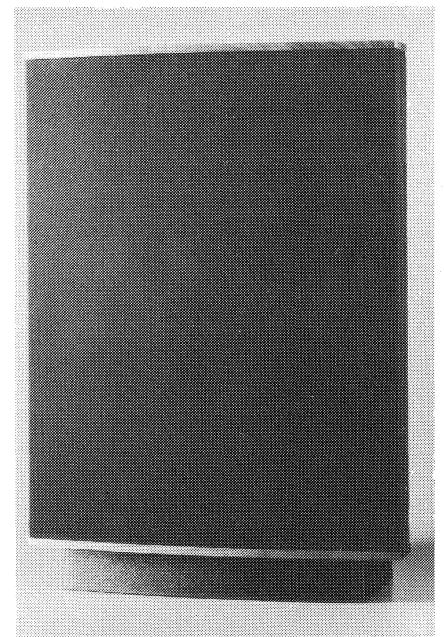
sufficiente indebolimento dell'accoppiamento indesiderato.

Woofers o non woofers.....

Molti anni fa, quando tutti gli altoparlanti disponibili avevano un solo cono teoricamente a risposta totale, qualche mente innovativa introdusse il concetto di *Tweeter* (altoparlante per i toni alti). Il passo successivo consistette nello spostare la banda operativa del riproduttore principale verso il basso dello spettro di frequenza, e quindi chiamare l'oggetto *Woofers* (altoparlante per i toni bassi). Più tardi venne alla luce anche lo *Squawker* (per toni medi), un termine che non ha mai veramente attaccato. Ora abbiamo anche a disposizione sistemi a banda ultralarga che aggiungono un *super tweeter* e, talvolta, anche un *subwoofer*. I sistemi subwoofer *separati* che stanno comparendo sul mercato, dovrebbero più logicamente essere chiamati *rimbombatori* o *rompistomaco*.....

Ora la domanda è: essendo garantito che l'ESL 63 eroga la sua uscita nei bassi in modo piacevole alla condizione piuttosto sfavorevole del carico d'aria sul dipolo, un woofers sarebbe d'aiuto?

Peter Walker dice enfaticamente di no. Per cominciare, la risposta ai bassi dell'ESL 63 è molto più estesa e meglio controllata rispetto al suo predecessore. In secondo luogo, la sua figura di irradiazione a dipolo



lo garantisce un'interfaccia più aperiodica verso un locale d'ascolto normale, di quanto possano fare i sistemi ausiliari per i bassi ora disponibili, in quanto si tratta di radiatori *omnidirezionali*.

D'altra parte, coloro che insistono su di una realistica (?) rappresentazione del pedale d'organo o, tanto è lo stesso, del rombo degli autotreni o della metropolitana potranno disapprovare.

Questi sono fatti loro (I suddetti ascoltatori potrebbero però provare ad ascoltare con l'orecchio incollato al mobile: l'effetto della vicinanza provocherà una buona esaltazione dei bassi!).

