



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE



Gli altoparlanti

A.Carini – Elettronica per l'audio e l'acustica

Gli altoparlanti

- Un altoparlante è un dispositivo che converte energia elettrica in energia acustica (un trasduttore elettro-acustico) o più in generale un sistema che consiste di uno o più di tali dispositivi.
- Sono ormai presenti in modo pervasivo nella nostra vita (radio, radiosveglie, stereo, televisori, smartphone, computer, ...)
- Finalità principali:
 - Comunicazione
 - Sound reinforcement
 - Sound production
 - Sound reproduction
- Mentre ci sono dei requisiti comuni per tutti questi usi, ciascuno impone le sue specifiche sugli attributi dell'altoparlante.

Componenti di un altoparlante

- Sono:
 - Il Trasduttore
 - Il Radiatore (radiator)
 - L'alloggiamento (enclosure)
 - Il crossover
- Il progetto e l'analisi di un altoparlante è un campo multidisciplinare, incorpora elementi di musica, fisica, ingegneria elettrica e meccanica, strumentazione.

Tipi di trasduttori

- Ci sono vari modi per convertire l'energia elettrica in acustica. Di tutte le possibilità solo poche sono divenute dominanti negli altoparlanti di uso pratico:
 - Trasduttori elettrodinamici
 - Trasduttori elettrostatici
 - Trasduttori piezoelettrici
- Un trasduttore contiene in genere tre elementi:
 - Il motore
 - Converte energia elettrica in energia meccanica
 - Il diaframma
 - Converte l'energia meccanica in energia acustica
 - Un sistema di sospensione
 - Sostiene il diaframma e gli consente di muoversi in modo vincolato.
 - Esercita una forza proporzionale allo spostamento dalla posizione d'equilibrio e una forza di smorzamento proporzionale alla velocità del moto.

Trasduttori elettrodinamici o magnetodinamici

- In questo trasduttore, una corrente tempo variante passa attraverso una bobina conduttiva sospesa in un campo magnetico e genera una forza sulla bobina e sulle parti a essa collegate. La forza genera la vibrazione di queste parti e la radiazione del suono.
- Ci sono varie modalità per generare trasduttori elettrodinamici, la più comune è quella che fa uso di un driver conico.
- In un driver conico, un diaframma a forma di cono è sospeso attraverso la sua parte periferica esterna a una struttura detta *surround* (contorno) ed è sospeso nella parte centrale mediante lo *spider* (una sospensione elastica).
- Il *motore* consiste in un magnete permanente che concentra il campo magnetico in un gap anulare, nel quale è posizionata la bobina attaccata al centro al cono con un supporto cilindrico.

Trasduttori elettrodinamici o magnetodinamici

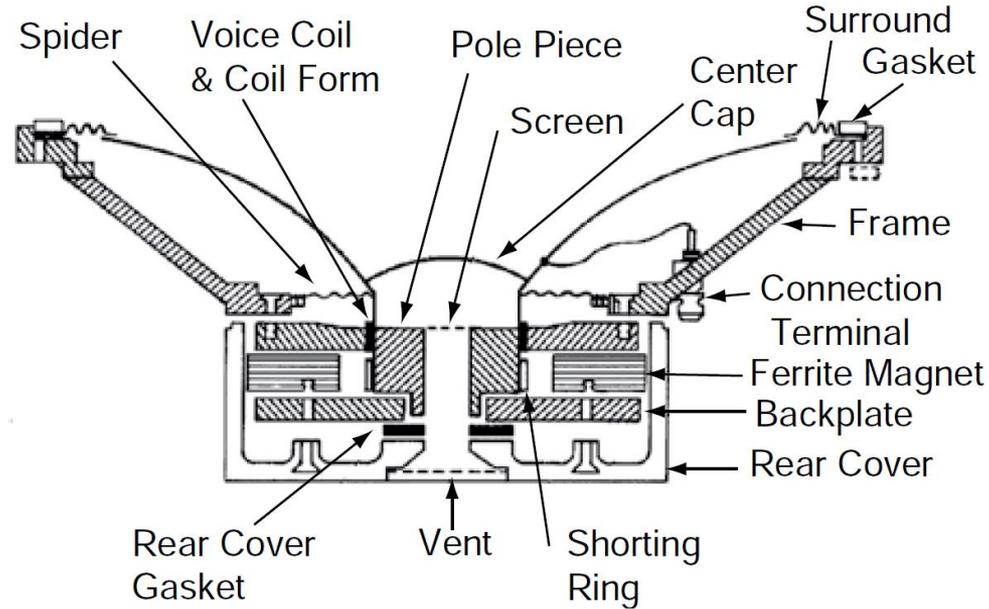
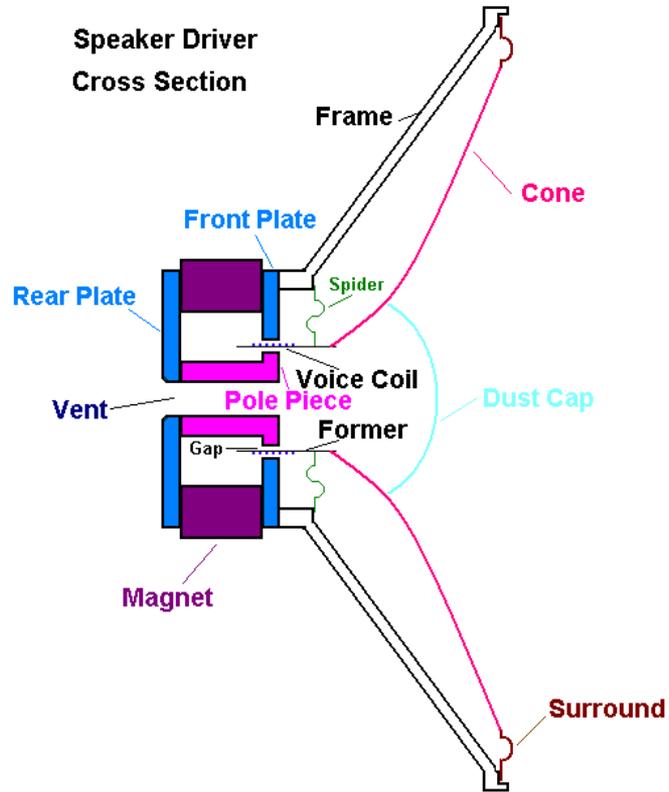


FIGURE 2.1 Typical woofer parts identification. Courtesy Yamaha International Corp.

Trasduttori elettrodinamici o magnetodinamici



Tipologie di diaframmi

- Il più comune dispositivo di radiazione diretta è il cono di carta pilotato da una bobina cilindrica.
- Il cono più economico è quello ripiegato (folded cone), costituito da un foglio di carta ritagliato, arrotolato e incollato sul bordo.
- Un cono più costoso è quello in carta stampata, costituito da un unico pezzo.
 - Una polpa umida di carta viene pressata e cucinata per rimuovere l'umidità. Talvolta vengono realizzate delle increspature o degli anelli concentrici. I lati possono essere diritti o curvati secondo varie profondità.
- La maggior parte dei modelli considerano un pistone rigido, mentre questo è impossibile da realizzare. In alcuni casi, la rigidità del diaframma viene volutamente ridotta per creare rotture controllate (controlled breakup) in frequenza.
- Oltre alla carta vengono usati anche altri materiali (plastiche come polipropilene e bextrene, materiali compositi formati da sandwich di alluminio e materiali schiumosi centrali, composti di fibre di carbonio e epossidico (un polimero), kevlar).

Tipologie di diaframmi



FIGURE 2.2 Loudspeaker incorporating a whizzer cone.

Tipologie di diaframmi

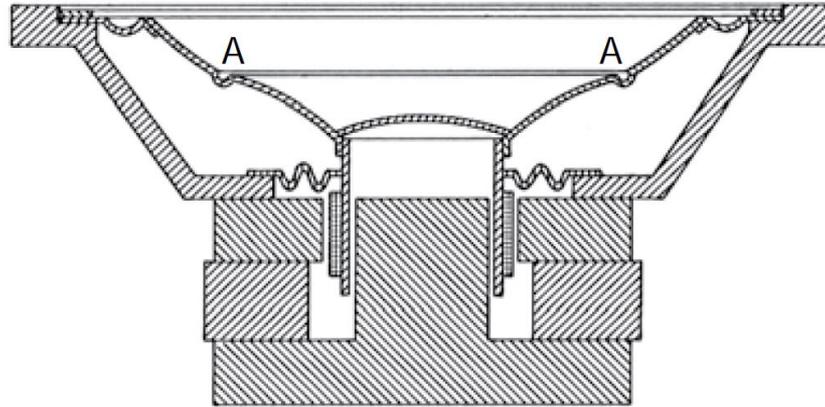


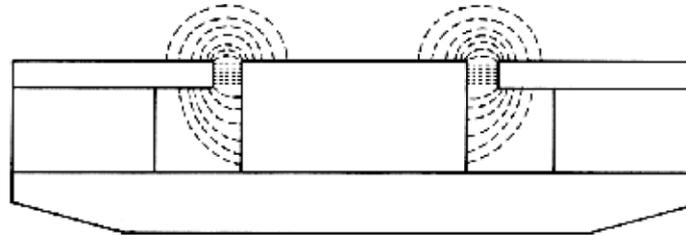
FIGURE 2.3 Loudspeaker illustrating decoupling center cone. (From U.S. Patent 4,146,756.)

Metodi di sospensione

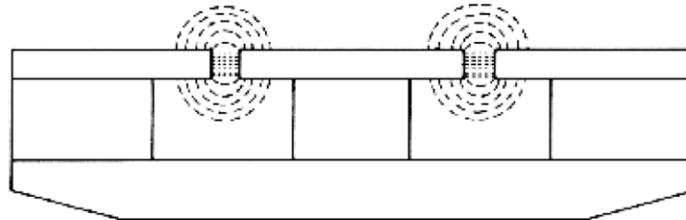
- Comprende due distinti elementi: il *surround* e lo *spider*.
- Il *surround* è attaccato alla periferia del diaframma e anche alla struttura di supporto (detta *basket* - cestello).
- Lo *spider* è attaccato al supporto della bobina mobile (o al cono in prossimità della bobina) ed è anche collegato al *basket*.
- *Surround* e *spider* contribuiscono entrambi allo smorzamento del moto del diaframma, con lo *spider* che contribuisce alla maggior parte della rigidità.
- Siccome influiscono sulla sigillatura dell'altoparlante, i *surround* sono progettati per non essere porosi. Sono spesso fatti di una striscia di tessuto impregnato di resina, formata a caldo e ondulata. Altrimenti, materiali schiumosi come gomma butilica.
- Gli *spider* sono normalmente fatti a caldo, a onda aperta, con tessuto impregnato di resina. Non devono sigillare l'aria.

Costruzione meccanica

- Sono state applicate le soluzioni più diverse. In genere cercano di ottenere un flusso magnetico uniforme e simmetrico.



A. Flux distribution in nonsymmetrical gap showing an uneven fringe field.



B. Flux distribution with symmetrical field geometry showing equal fringe field on both sides of the gap.

FIGURE 2.6 JBL symmetric field geometry versus asymmetric design. Courtesy JBL.

Diaframma a cupola

- Usato principalmente alle alte frequenze.
- Le cupole possono essere di diverso materiale, lino impregnato, carta, alluminio,...
- Tweeter a cupola molle hanno avuto un notevole successo per molti anni.

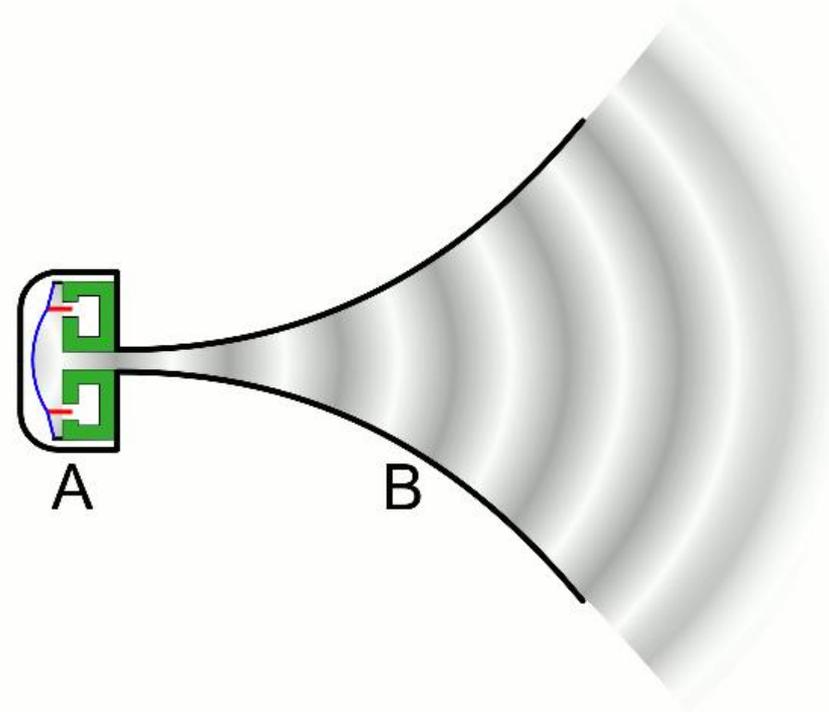
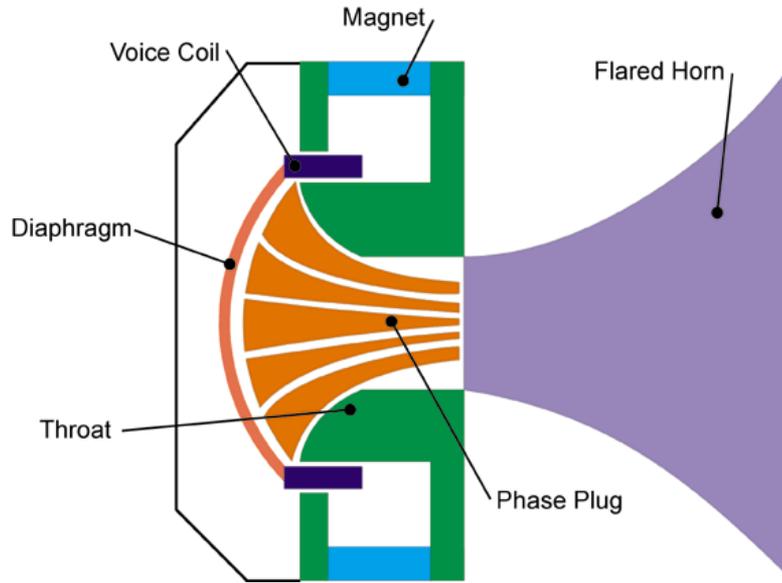


Compression driver

- Migliorano le prestazioni del trasduttore elettrodinamico usato per pilotare una tromba.
- In un compression driver, il diaframma irradia in una camera di compressione e la sua uscita è diretta attraverso un *phasing plug* – dispositivo di rifasamento – collegato alla bocca della tromba.
- Il vantaggio dei compression driver è che piccoli spostamenti del diaframma sono convertiti in più grandi velocità delle particelle all'uscita del driver, e quindi sono sufficienti più piccoli spostamenti del diaframma per generare una data potenza acustica in uscita.
- Per contro possono aumentare le distorsioni ed è richiesta una tromba.
- La finalità del phasing plug è quella di equalizzare la lunghezza del cammino dalla superficie del diaframma all'uscita. La larghezza di banda si estende alle alte frequenze in relazione al risultato ottenuto da questo dispositivo.

Compression driver

A typical compression driver showing one design of phase plug and a contracting throat feeding a flared horn.



Compression driver

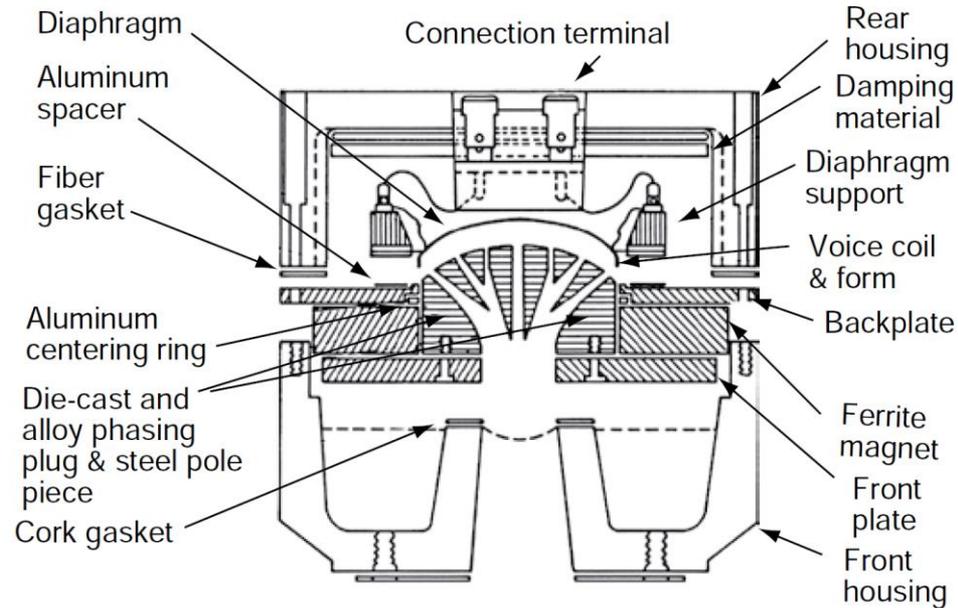


FIGURE 2.8 Typical ceramic-magnet compression driver. Courtesy Yamaha International Corp.

Compression driver

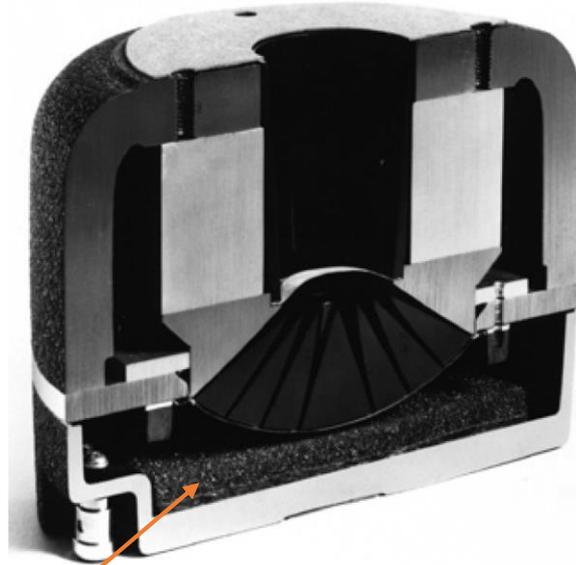


FIGURE 2.9 JBL 2440 2-inch throat alnico compression driver. Courtesy JBL/UREI.

Si noti il materiale assorbente usato per evitare risonanze nella cavità

Compression driver



FIGURE 2.10 Altec 802/808 alnico 1 inch throat compression driver with tangerine radial phase plug. Courtesy Altec Lansing Corp.

Compression driver



FIGURE 2.11 Community M4 4 inch throat midrange driver. Courtesy Community Professional Loudspeakers.

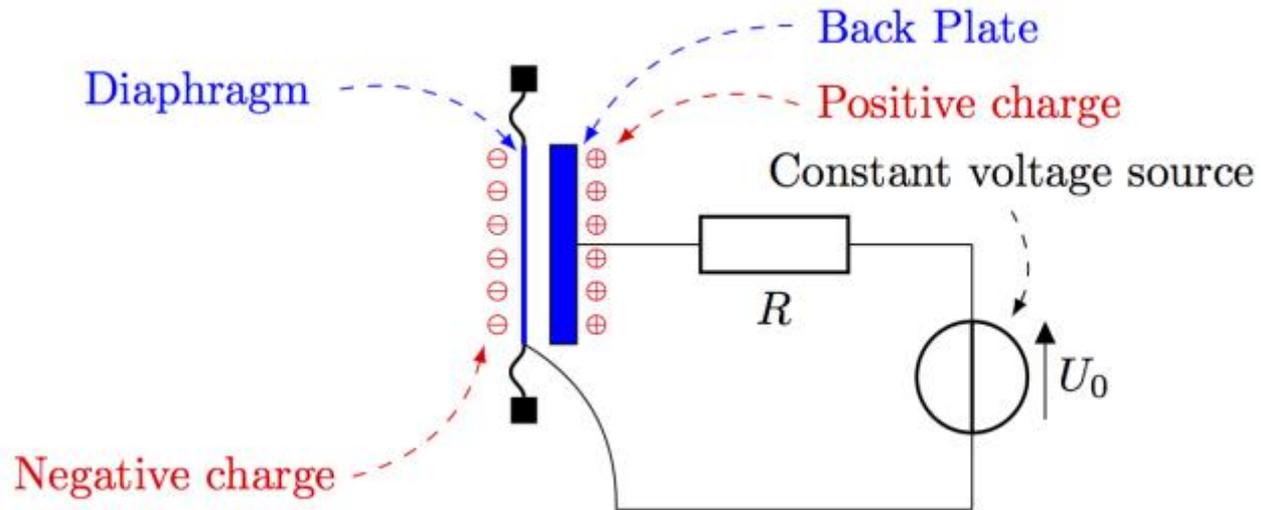
Trasduttori elettrostatici

- Sfruttano il fatto che due cariche elettrostatiche posizionate a una certa distanza subiranno una forza (attrattiva o repulsiva) diretta lungo la linea che le connette.
- Nel progetto di un altoparlante le forze sono sempre attrattive a causa delle cariche complementari trasferite dall'amplificatore ai due piani metallici.
- Un altoparlante elettrostatico è costituito da un diaframma formato da due fogli metallici separati da un dielettrico.
- L'applicazione di un segnale sinusoidale puro causerebbe forze attrattive sia nelle semionde positive che in quelle negative, con raddoppio della frequenza.
- Per questo motivo, una tensione di polarizzazione costante è applicata tra i due fogli del diaframma, per generare una attrazione costante.
- Il segnale audio è sommato a questa polarizzazione e modula la forza attrattiva.
- In risposta, i diaframmi si muovono in opposizione avvicinandosi o allontanandosi a seconda del segno.

Trasduttori elettrostatici

- Il limite superiore dell'ampiezza del segnale è uguale a metà della tensione di polarizzazione.
- Il risultato è un basso livello di distorsione armonica fintanto che la variazione di distanza tra i piani è minima.
- I movimenti dei diaframmi generano onde sonore, e producono uguali potenze acustiche irradiate in direzioni opposte (radiazione bipolare).
- Superano alcuni svantaggi degli altoparlanti conici, specie alle alte frequenze:
- Negli altoparlanti elettrostatici il diaframma viene pilotato in modo uniforme su tutta la superficie e evitano la rottura del comportamento in alta frequenza.
- Il diaframma può avere una piccola massa rispetto al carico esercitato dall'aria sul diaframma. Ciò enfatizza le frequenze elevate e la risposta al transitorio.

Trasduttori elettrostatici



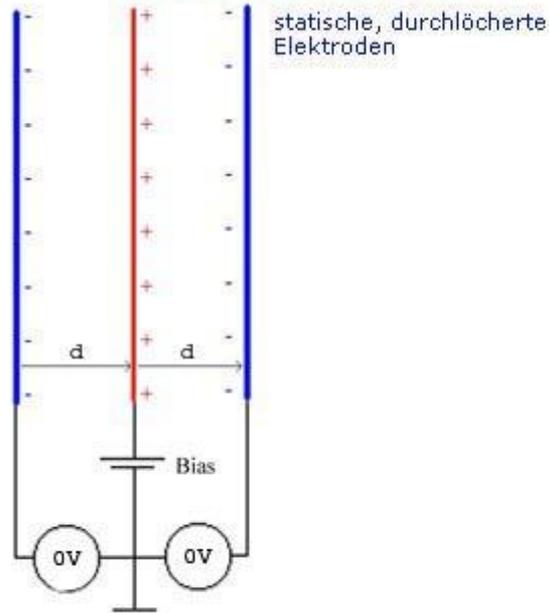
Trasduttori elettrostatici

- Diverse possibili realizzazioni:
 1. Il diaframma viene teso all'interno del suo supporto e viene lasciato un gap tra il diaframma e due elettrodi fissi.
 2. Il diaframma viene supportato da un gran numero di elementi disposti attorno all'intera superficie dei due elettrodi. Questi agiscono come spaziatori e mantengono il diaframma al centro degli elettrodi. Il diaframma è un foglio di plastica su cui è depositato un sottile strato conduttivo.
- Gli elettrodi ai due lati devono essere acusticamente trasparenti per evitare effetti di pressione dovuti all'aria nell'intercapedine.
- I diaframmi possono avere qualunque dimensione. La prestazione per unità di area è la stessa per qualunque area del diaframma.

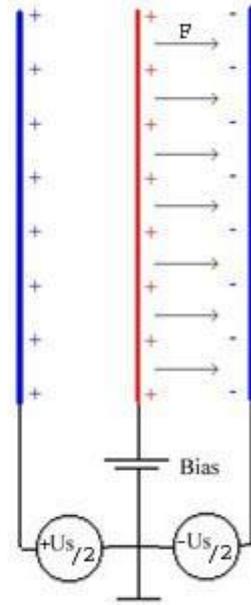
Trasduttori elettrostatici

J. S. HIGH *Courtesy US Patent & Trademark Office*
ELECTROSTATIC LOUD SPEAKER **1,930,518**

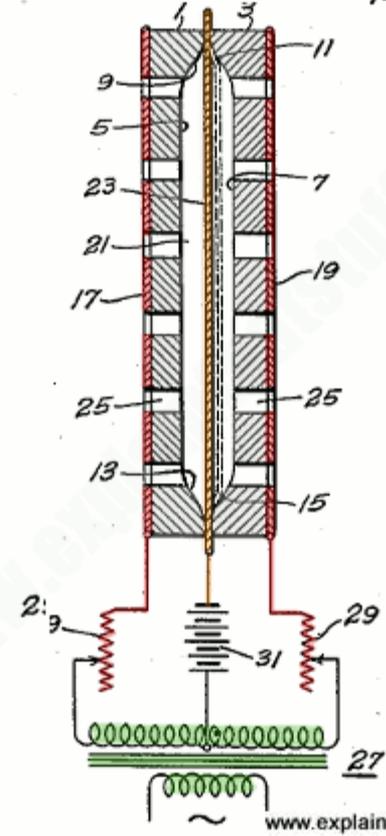
bewegliche, elektrisch leitende Folie



Gleichgewicht, ohne Signalspannung

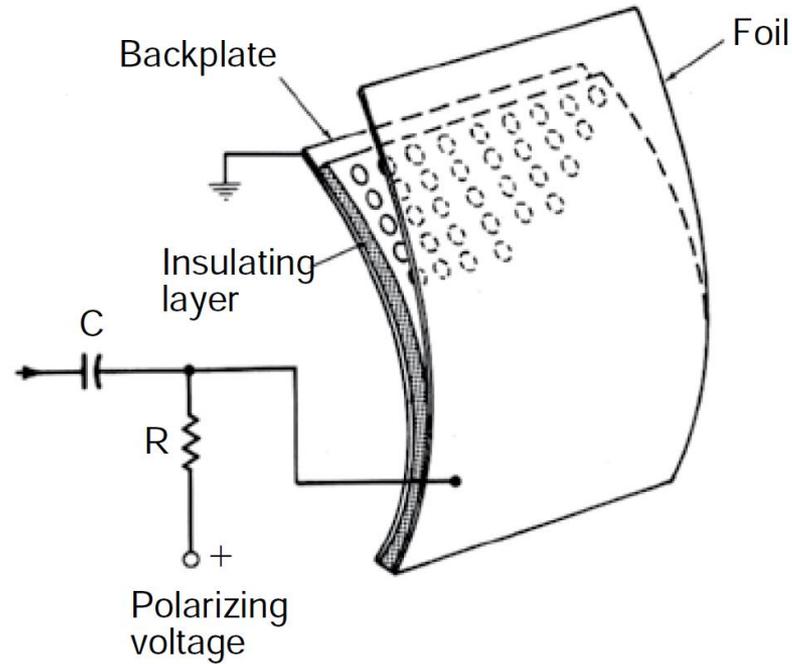


Auslenkung durch Anlegen einer Spannung



www.explainthatstuff.com

Trasduttori elettrostatici



Trasduttori elettrostatici

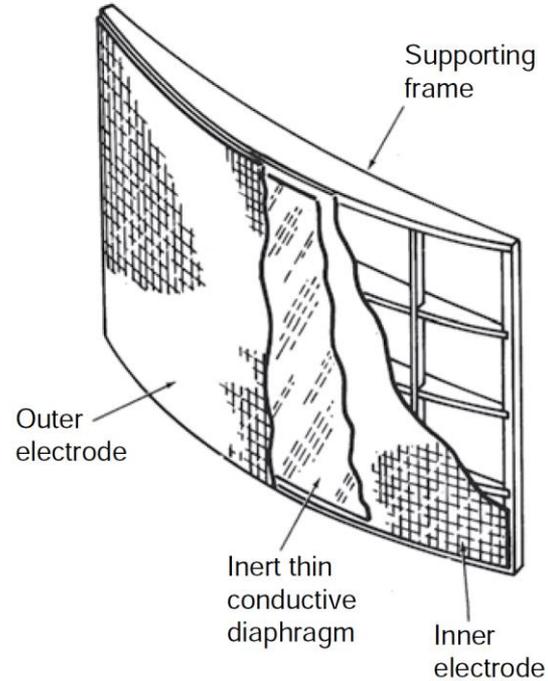
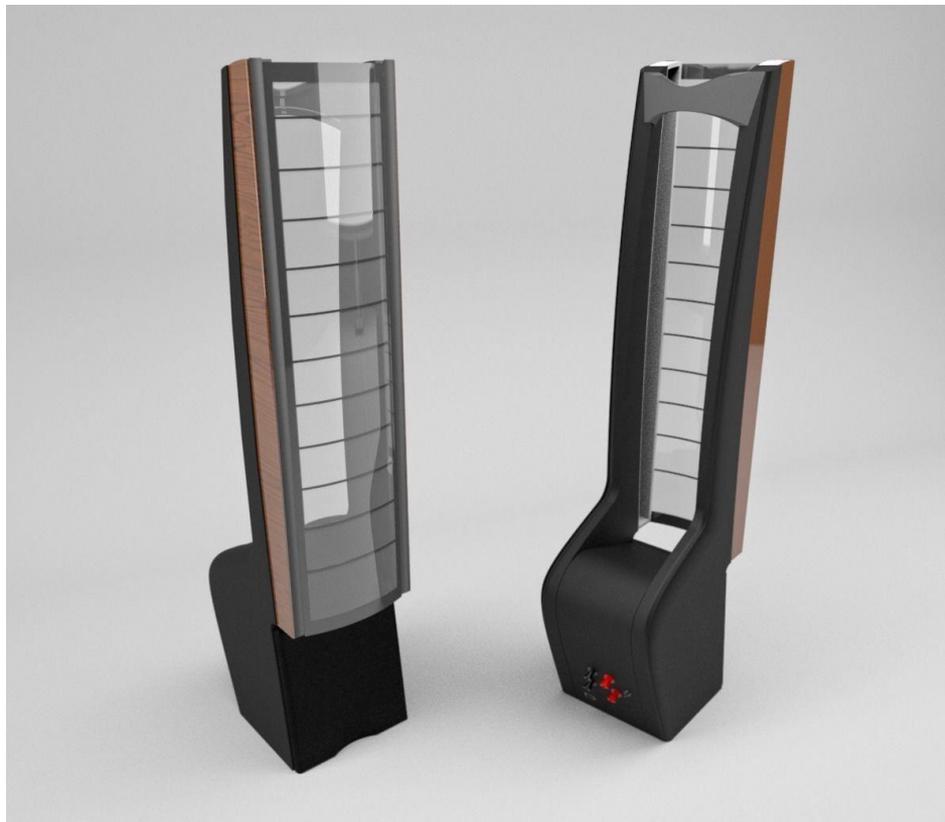


FIGURE 2.15 Cutaway view showing the internal construction of an electrostatic loudspeaker.

Trasduttori elettrostatici



Trasduttori elettrostatici

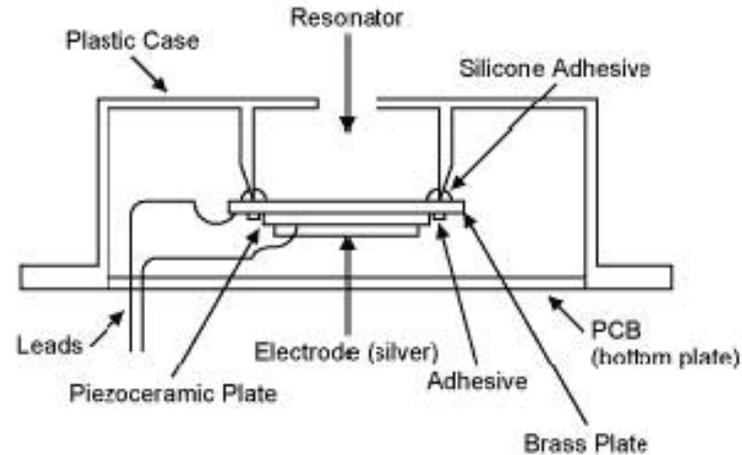
- Una superficie del diaframma larga rispetto alla lunghezza d'onda diviene estremamente direzionale alle alte frequenze.
- La velocità del diaframma è direttamente proporzionale alla forza elettrostatica applicata.
- Le misure indicano che per un'ampiezza della tensione costante applicata agli elettrodi, la risposta acustica è uniforme ben oltre il range dell'udito.
- Alle basse frequenze, l'uscita è limitata dalla massima ampiezza del moto del diaframma, determinata dalla spaziatura dei diaframmi e dallo smorzamento delle sospensioni.
- La massima potenza d'uscita è determinata dalla forza del campo elettrostatico che può essere prodotto tra diaframma ed elettrodi.

Trasduttori elettrostatici

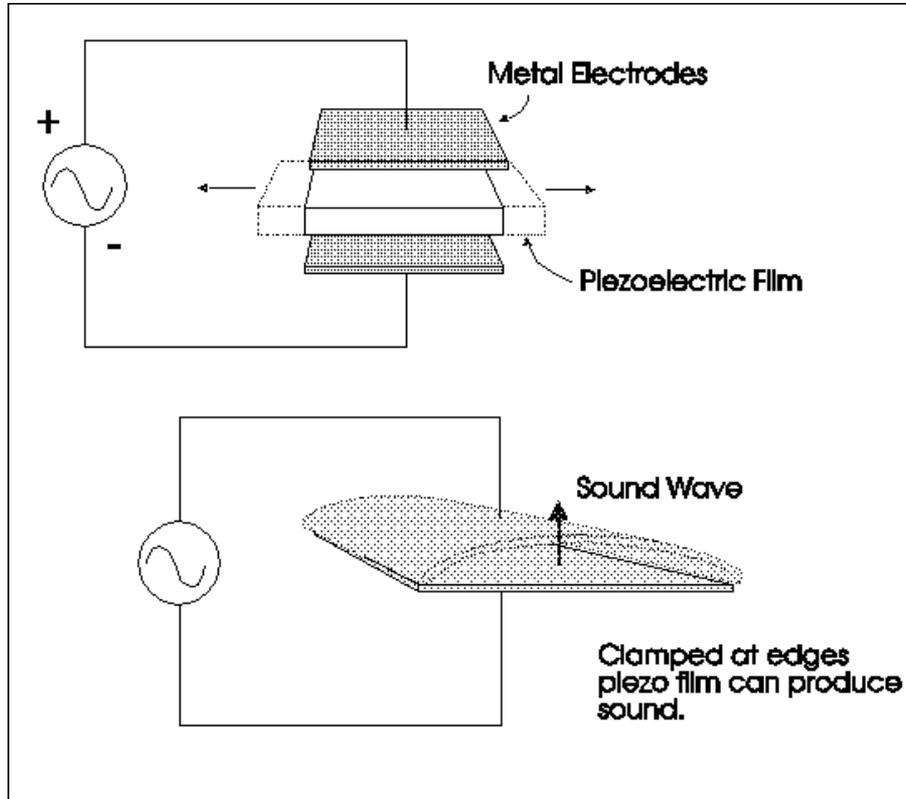
- L'altoparlante elettrostatico viene visto da un amplificatore come una capacità (dell'ordine di $0.0025 \mu\text{F}$). Quindi l'impedenza decade di 6 dB per ottava al crescere della frequenza.
- Siccome gli altoparlanti elettrostatici sono relativamente grandi in area rispetto ai diaframmi conici, la loro direttività è elevata e cresce con la frequenza.
- In alcuni casi il diagramma viene spezzato in diverse regioni per i diversi range di frequenza, le più piccole sono usate per le alte frequenze ottenendo così una più alta dispersione.

Trasduttori piezoelettrici

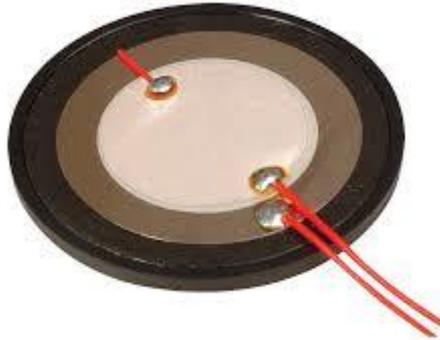
- In un materiale piezoelettrico, una tensione applicata al materiale provoca uno sforzo o una deflessione.
- Questa caratteristica è attrattiva in particolare nel caso di unità a pilotaggio diretto come nei dispositivi a ultrasuoni



Trasduttori piezoelettrici



Trasduttori piezoelettrici



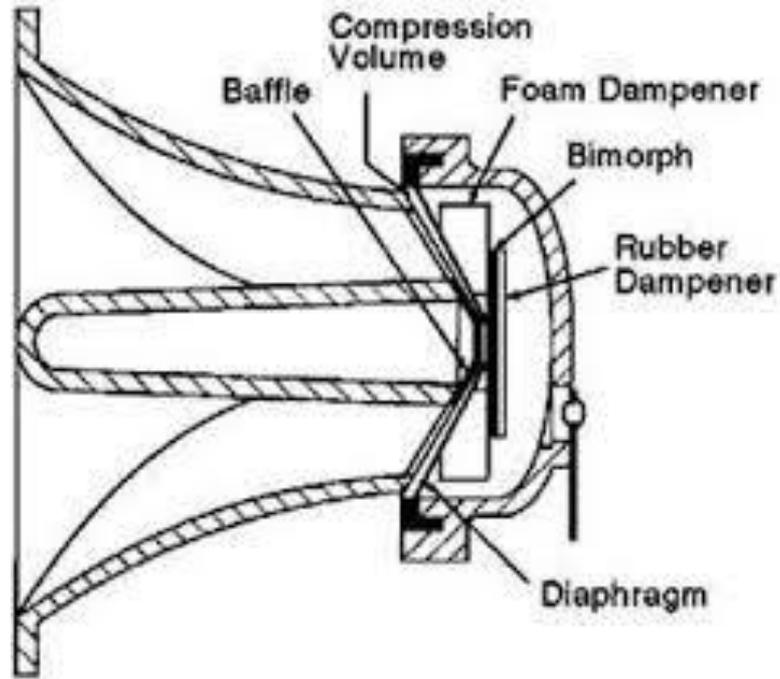
Trasduttori piezoelettrici

- Uno dei primi materiali piezoelettrici scoperti è il sale di Rochelle, che soffre di una debole resistenza meccanica, bassa temperatura di rottura pari a 55°C, sensibilità all'umidità.
- Il titanato di bario è il primo materiale ceramico piezoelettrico, non molto sensibile da un punto di vista elettrico.
- Il materiale piezoelettrico più utilizzato è il PZT, zirconato titanato di piombo. Viene prodotto cucinando del materiale ceramico argilloso sino a ottenere delle barre da 1 pollice. Queste vengono affettate in sottili wafer. Due wafer vengono legati insieme con polarità opposte con gli elettrodi sulla superficie piatta, ottenendo un dispositivo piegabile bimorfo. Applicando una tensione, la deformazione provoca una più grande piegatura in centro.

Trasduttori piezoelettrici

- Nei primi tentativi di applicarlo ad altoparlanti a cono, si impiegava un elemento piezoelettrico rettangolare ancorato su tre spigoli, in modo da consentire al quarto spigolo di pilotare l'altoparlante.
- Altre strutture: a mensola ancorata da un lato con l'altoparlante sull'altro lato.
- Nel 1965 la Motorola ha prodotto il primo altoparlante piezoelettrico che usava un tubo a espansione in lunghezza per pilotare un cono collegato a una tromba.
- Successivamente, facendo uso di materiale bimorfo circolare si sono migliorate le prestazioni. I due dischi lavorano l'uno in opposizione all'altro, con il primo che si espande e il secondo che si contrae. Il driver si piega all'interno e all'esterno e muove il cono avanti e indietro o, nel caso di altoparlanti a tromba, si muove in una camera di compressione accoppiata alla bocca della tromba.
- Ulteriori avanzamenti si sono avuti con lo sviluppo di film polimerici piezoelettrici.

Trasduttori piezoelettrici



Trasduttori piezoelettrici

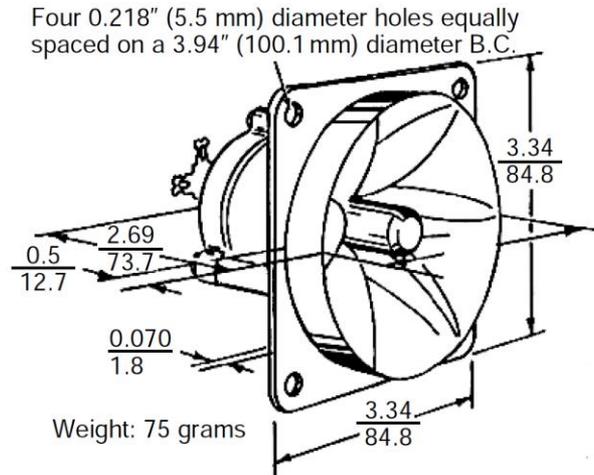


FIGURE 2.17 Motorola KSN 1001A piezoelectric ultrahigh-frequency driver/horn. Courtesy Motorola, Inc.

Trasduttori piezoelettrici

- Sono particolarmente adatti all'uso sott'acqua, per via dell'eccellente adattamento di impedenza tra il materiale piezoelettrico e l'acqua (attraverso una opportuna barriera).



Il motore di un altoparlante elettrodinamico

- Il metodo più comune per accoppiare l'uscita dell'amplificatore al diaframma di un altoparlante elettrodinamico è quello che fa uso di una bobina cilindrica.
- L'approccio viene usato in tutti gli altoparlanti a cono e nei compression driver.
- Il metodo viene chiamato *motore lineare*.
- L'avvolgimento è fatto da filo a sezione rotonda o rettangolare avvolto attorno a un cilindro cavo di carta, plastica o alluminio, detto *former*.
- Un nuovo approccio consiste nella stampa di un conduttore su di un sottile foglio di Mylar (polietilene) forzato in un campo magnetico, generato da una barretta magnetica (vedasi anche i *paper louspeaker*).
- Un'altra possibilità è quella di un diaframma a nastro percorso da corrente e posizionato nel campo del magnete: la bobina funge sia da diaframma che da conduttore.

Il motore di un altoparlante elettrodinamico

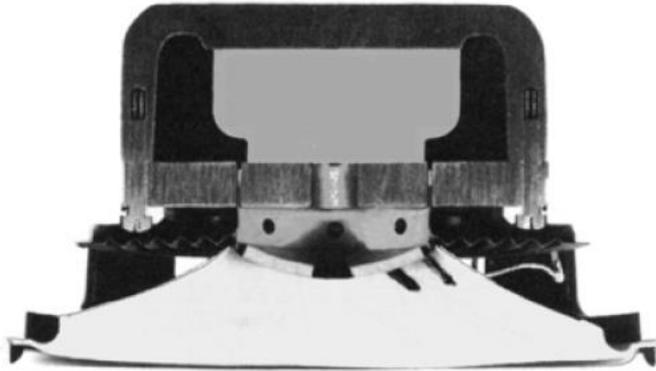


FIGURE 2.19 Cross section of a typical cone loudspeaker showing construction (alnico magnet at center under pole piece). Courtesy JBL.



(Vedasi: <http://highlowtech.org/?p=1372>)

Il motore di un altoparlante elettrodinamico

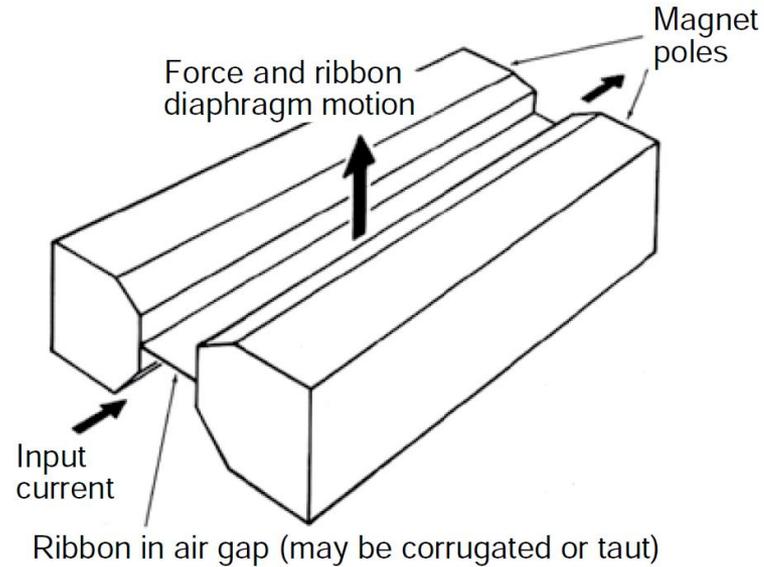


FIGURE 2.20 Ribbon loudspeaker.

Il motore di un altoparlante elettrodinamico

- Una soluzione molto diversa per il motore è quella applicata nel *servo drive loudspeaker (SDL)* dove si usa un servomotore rotante che pilota un woofer a cono con un sistema di pulegge e cinghie.
- Due diaframmi opposti sono pilotati con un sistema push-pull in modo da avere una forza assiale bilanciata.
- Gli altoparlanti SDL hanno varie dimensioni e forme, ma in genere sono usati in una configurazione a tromba per le basse frequenze.

Il motore di un altoparlante elettrodinamico

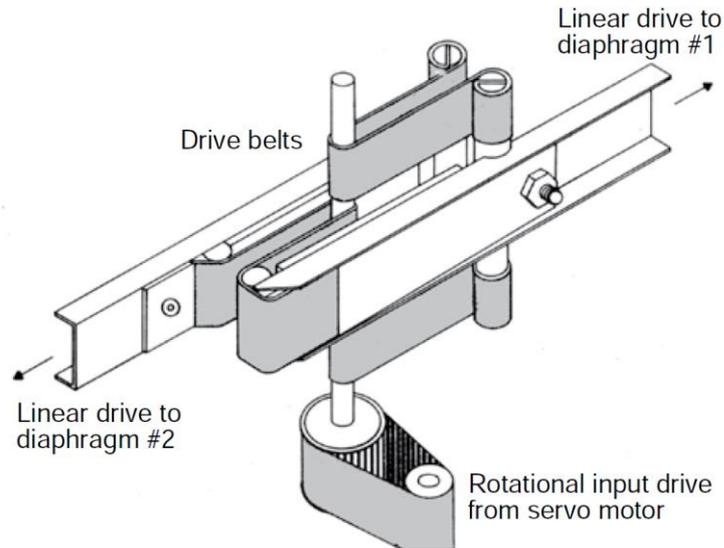


FIGURE 2.21 Belt drive system of the SDL loudspeaker.

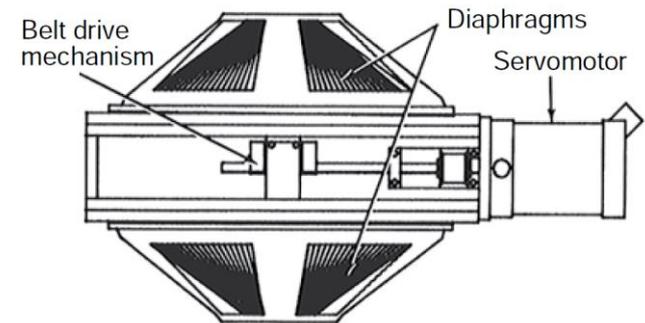


FIGURE 2.22 Position of SDL belt drive and opposing diaphragms.

Il motore di un altoparlante elettrodinamico

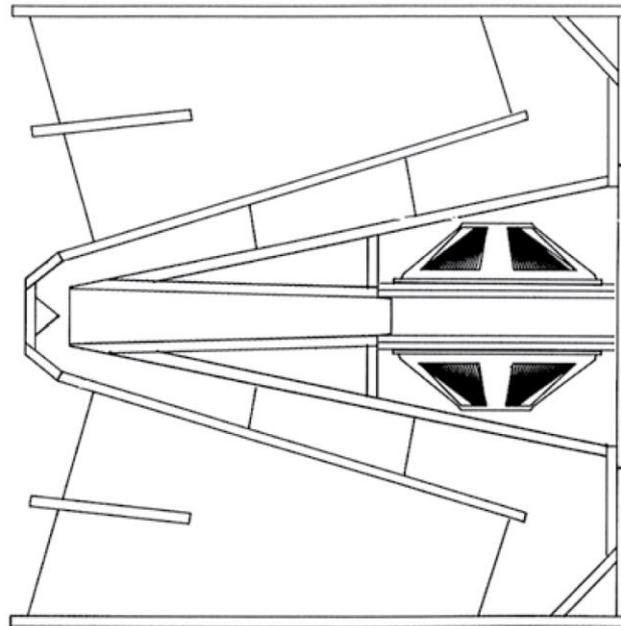
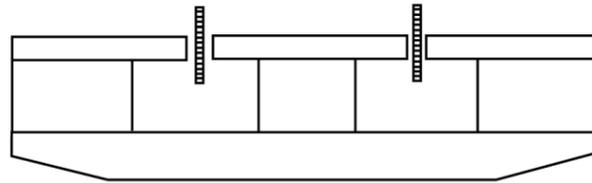


FIGURE 2.23 Position of the SDL diaphragms on a folded horn.

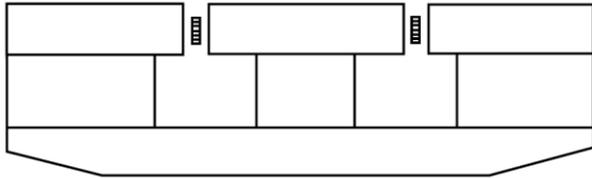
Limitazioni dell'uscita

- La massima uscita negli altoparlanti elettromagnetici è funzione di un certo numero di parametri, tra cui il massimo spostamento del diaframma, il trasferimento di calore, la qualità del suono (ovvero la massima nonlinearietà accettabile) e la vita media dovuta agli stress meccanici.
- Sui driver abbiamo dei limiti legati allo spostamento e dei limiti termici.
- I limiti di spostamento possono essere causati sia da fattori meccanici
 - quando la parte mobile tocca quella fissa, o
 - quando un elemento di sospensione è reso nonlineare,
- sia da fattori elettrici.
 - quando il motore viene operato al di fuori del suo range di linearità.

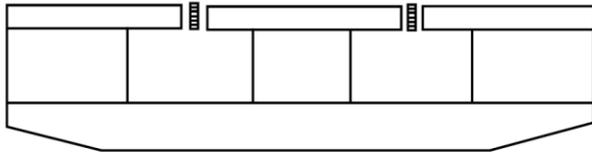
Limitazioni dell'uscita



A. Overhung coil.



B. Underhung coil.



C. Equal length coil and gap.

FIGURE 2.24 Three basic voice coil/magnetic gap configurations.

Limitazioni dell'uscita

- La bobina «a uguale lunghezza» ha maggiori probabilità di generare una distorsione. Produce però la massima forza motrice, in quanto a parità di magneti ha la massima massa di conduttori nel campo magnetico.
- La bobina «underhung» consente maggiori escursioni ma richiede un magnete più grande a causa del gap più lungo. Se raddoppia la lunghezza del gap raddoppia anche la massa del magnete. Per conto abbiamo una escursione doppia e quindi quadruplica la potenza acustica in uscita.
- La bobina «overhung» può dare la massima linearità del motore. Viene spesso usata nei woofer dove è richiesta una più grande escursione. Il maggiore svantaggio è che gli avvolgimenti non interessati dal campo magnetico non partecipano alla trasduzione. La parte «extra» della bobina aumenta la massa e la resistenza riducendo l'efficienza del motore.

Tipi di radiatori

- Oltre a convertire l'energia elettrica in un'energia meccanica (il moto di un diaframma), un altoparlante deve includere qualche mezzo per convertire l'energia meccanica in energia acustica.
- I radiatori assolvono a questa funzione.
- In generale ci sono due tipi principali di radiatori:
 - Radiatori *diretti*.
 - Radiatori *a tromba*.
- Nei radiatori diretti, il diaframma è direttamente accoppiato all'aria.

Radiatori conici

- Nei radiatori conici il diaframma ha la forma di cono troncato.
- La superficie concava del cono è quella che in genere irradia il suono.
- La forma è in parte dettata dalla convenienza (il magnete può essere posizionato sul retro consentendo nel contempo al surround e allo spider di tenere sospeso il magnete) ma soprattutto ci sono delle motivazioni acustiche.
- L'eccitazione viene applicata al centro del diaframma e il suono si propaga comunque con velocità finita sul diaframma.
- In un diaframma piatto, il suono prodotto dalle aree più esterne arriverebbe a un punto di osservazione sull'asse ritardato rispetto alla radiazione del centro.
- La forma conica compensa questo ritardo riducendo la distanza da percorrere.
- Con una buona scelta dell'angolo del cono il range di risposta utile può essere esteso significativamente.

Radiatori a cupola

- Spesso il radiatore prende la forma di un cupola pilotata e sospesa alla sua periferia.
- I radiatori a cupola sono molto popolari come elementi per le alte frequenze.
- La forma della cupola ha anche qui motivazioni acustiche.
- Siccome l'eccitazione è periferica, il movimento meccanico si muoverà verso l'interno.
- Se la forma fosse piatta, il suono generato dalla parte più interna arriverebbe a un ascoltatore sull'asse in ritardo rispetto al suono generato dalla parte esterna.
- La forma convessa aiuta a fornire un fronte d'onda più coerente lungo l'asse.

Radiatori ad anello

- In un radiatore ad anello un diaframma flessibile a forma di anello è collegato rigidamente lungo le circonferenze interne e esterne.
- Non c'è distinzione tra diaframma e sospensione: la stessa parte copre entrambe le funzioni.
- Un tweeter a cupola con una copertura sopra il centro funziona come un radiatore ad anello.
- Possono anche essere usati per pilotare piccole trombe.

Radiatori ad anello

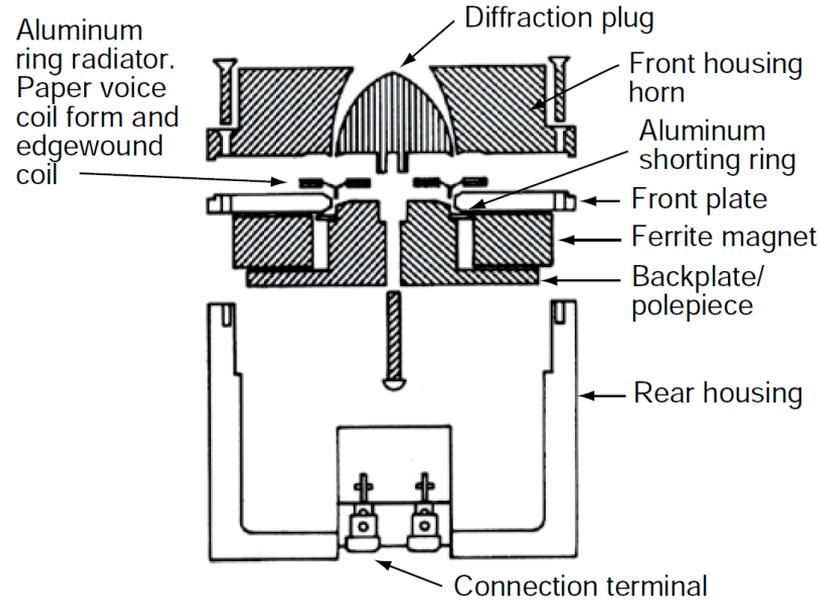
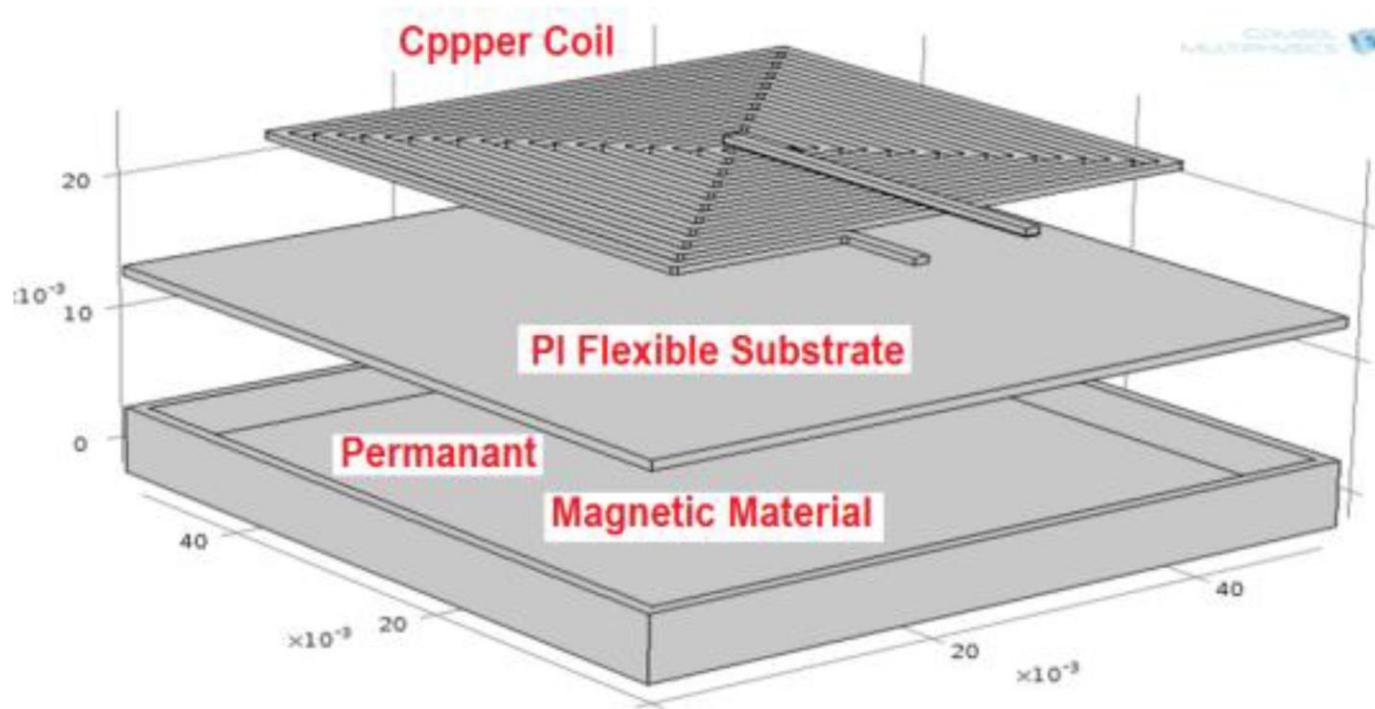


FIGURE 2.27 Yamaha ceramic-magnet ring radiator cross section. Courtesy Yamaha International Corp.

Radiatori a pannello

- Ricadono in questa categoria sia gli altoparlanti elettrostatici che quelli elettrodinamici planari.
- Il vantaggio acustico di questi radiatori è che la forza pilota è applicata uniformemente su un'ampia porzione di diaframma. Per questo motivo, la rigidità del diaframma non è un elemento essenziale.
- Proiettano un'ombra della loro forma come pattern d'ascolto.
- In vicinanza dell'altoparlante, generano una più ampia zona d'ascolto, ovvero producono uno *sweet spot* più ampio.

Radiatori a pannello



Horns - Trombe

- Le trombe vengono usate per migliorare l'efficienza del trasduttore e per controllare la direttività del suono irradiato.
- Un approccio per caratterizzarle considera il tasso di aumento dell'area della sezione rispetto all'asse longitudinale.
- Di tutti i rate di espansione, solo pochi hanno trovato uso nel progetto delle trombe: esponenziale, iperbolico, conico, e catenario.
- In tromba esponenziale:
$$A(x) = A_0 e^{mx}$$
- Dove A_0 è l'area della bocca e m è una costante della *flare rate*.
- In realtà, le trombe di uso pratico sono più note per la forma delle loro pareti.

Trombe radiali

- Hanno le pareti laterali diritte e le pareti superiori e inferiori che sono dei settori sferici. Consentono una naturale espansione radiale dell'onda sonora mantenendo una espansione esponenziale.

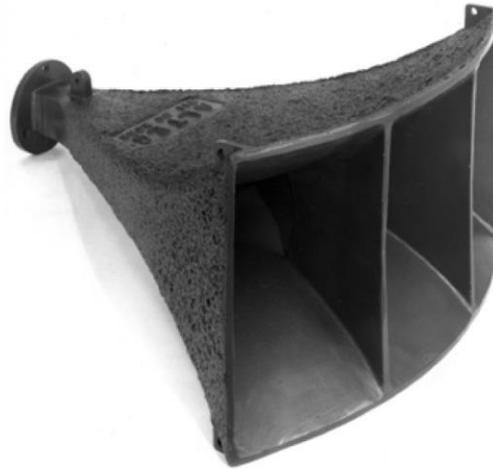


FIGURE 2.28 Altec Lansing 311-60 cast aluminum sectoral horn with sound-deadening material.
Courtesy Altec Lansing Corp.

Trombe a celle multiple

- Venivano usate specificatamente per gli attributi di controllo della direttività.
- Ogni tromba illumina una porzione dell'area da coprire e sono tutte pilotate da una stessa sorgente.

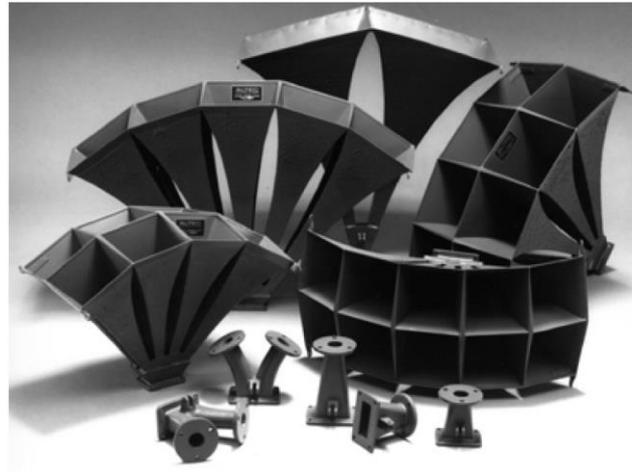


FIGURE 2.29 Altec Lansing 1.4-inch throat, all soldered and coated steel horn family showing throat plumbing fixtures. Courtesy Altec Lansing Corp.

Trombe a controllo di direttività

- Consentono un fascio angolare costante sia in orizzontale che verticale su un ampio range di frequenze.
- La Electro-Voice con bocca a apertura iperbolica e sezione radiale conica.



FIGURE 2.30 Electro-Voice HR9040 constant directivity horn. Courtesy Electro-Voice, Inc.

Trombe a controllo di direttività

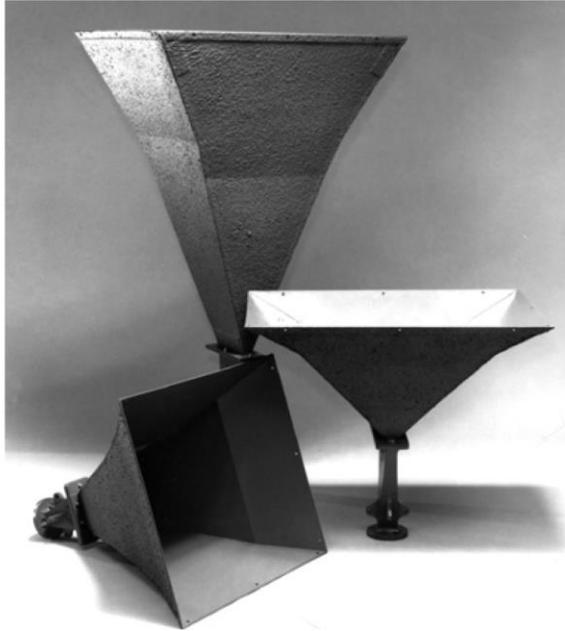
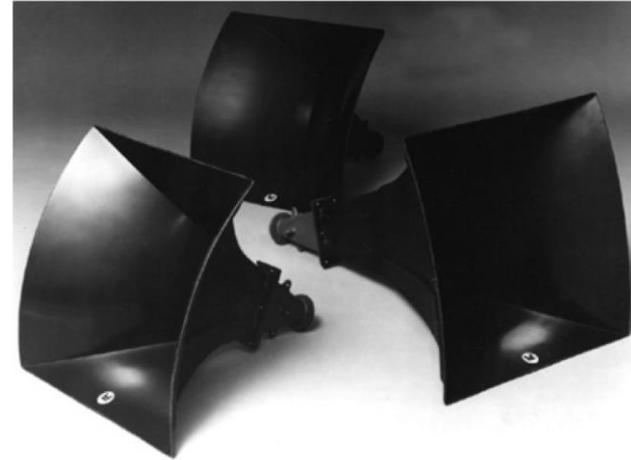


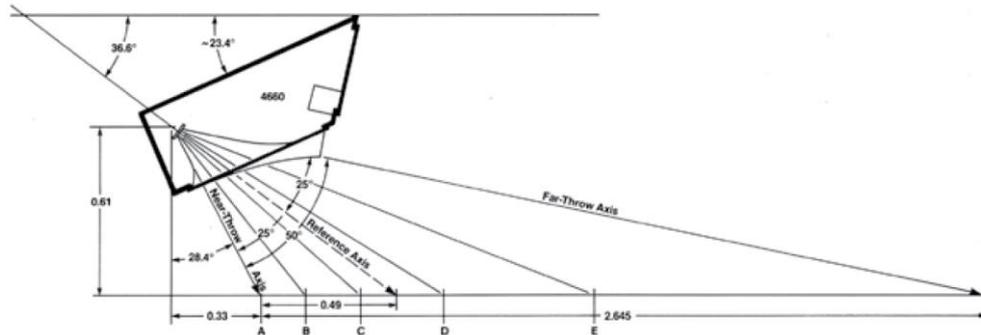
FIGURE 2.31 Altec Lansing Manta-Ray horn family, cast aluminum throat and soldered, coated bell construction. Courtesy Altec Lansing Corp.



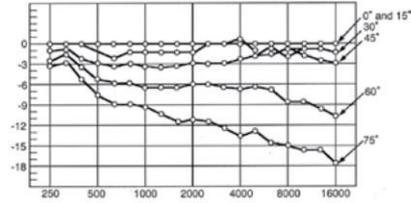
JBL biradial horn family cast aluminum throat and fiberglass bell construction. JREI.

Trombe a direttività asimmetrica

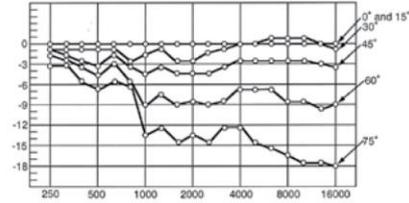
- In realtà, la direttività non dovrebbe essere simmetrica sul piano orizzontale lungo l'asse della tromba.
- E' più conveniente richiedere alla tromba di avere una copertura orizzontale stretta a distanza più elevata dalla sorgente e più ampia per distanze vicine.
- Inoltre è desiderabile che venga irradiata la massima intensità sugli angoli verticali più elevati, in modo da inviare più energia alle posizioni più distanti e garantire così un valore SPL il più possibile uniforme su tutta la scena.



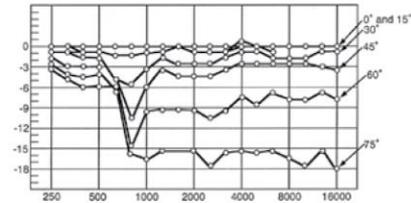
Trombe a direttività asimmetrica



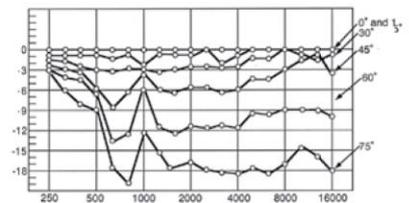
B. Off-axis response at A.



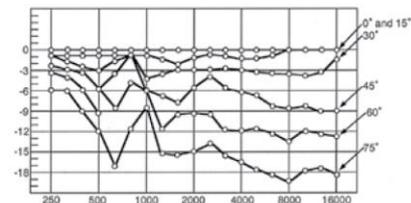
C. Off-axis response at B.



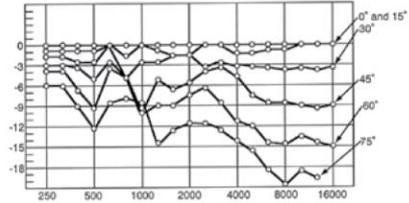
D. Off-axis response at C.



E. Off-axis response at D.



F. Off-axis response at E.

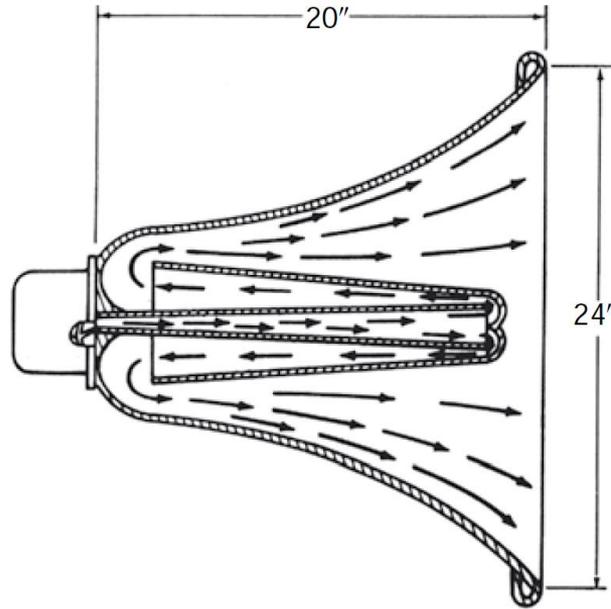


G. Off-axis response at F.

FIGURE 2.34 JBL 4660 asymmetric-directivity horn. Courtesy JBL.

Trombe ripiegate

- Uno dei principali inconvenienti delle trombe è la loro dimensione fisica.
- Per ovviare a questo problema si possono usare le trombe ripiegate.



Sistemi di altoparlanti

- La maggior parte degli altoparlanti che conosciamo sono sistemi che comprendono diversi trasduttori/radiatori, ognuno dei quali irradia una porzione dello spettro audio.
- Motivazioni per dividere il range di frequenze audio in bande multiple:
 - La larghezza di banda di un trasduttore singolo è inadeguata per coprire i requisiti di un sistema completo.
 - La direttività di un singolo trasduttore non è sufficientemente consistente su tutto il range di frequenze.
 - La massima potenza acustica di un singolo trasduttore è insufficiente. Con più trasduttori possiamo ottenere una maggiore potenza acustica totale.
- I sistemi di altoparlanti sono spesso caratterizzati dal numero di divisioni spettrali: altoparlanti a 2 vie, a 3 vie, etc.

Sistemi di altoparlanti

- Un sistema di altoparlanti consiste di
 - 2 o più trasduttori/radiatori
 - Una rete di crossover,
 - Un alloggiamento.
- L'alloggiamento, oltre che accorpare i componenti, ha funzioni strutturali, acustiche, estetiche.
- Il progetto richiede alcune decisioni:
 - Il numero di bande spettrali o divisioni,
 - Il tipo di radiatore da usare per ciascuna banda,
 - La localizzazione e l'orientamento dei singoli componenti nell'alloggiamento.

Sistemi di altoparlanti

- La scelta del **numero di bande** richiede il compromesso tra esigenze conflittuali.
- Un maggiore numero di bande consente una più elevata potenza d'uscita e di migliorare la configurazione del radiatore in ciascuna banda.
- D'altro canto, aumenta la dimensione, la complessità, il costo.
- La scelta del tipo di **radiatore** è spesso una questione di abitudini o convenzioni.
- Quando possibile, è preferibile adattare l'efficienza e la direttività di bande adiacenti su di un range centrato attorno al punto di crossover. Può essere più facilmente ottenuto usando radiatori simili per le diverse bande.
- Per la **localizzazione** dei singoli componenti, è uso metterli su di uno stesso piano, spostati l'uno rispetto all'altro in senso verticale o orizzontale. Nel caso di stereo, si generano delle coppie simmetriche.
- Altro approccio: sistemi coassiali, con due o più bande dell'altoparlante sullo stesso asse.

Sistemi di altoparlanti



Crossover

- E' un banco di filtri ciascuno dei quali consente il passaggio di una porzione dello spettro. Il segnale filtrato è quindi applicato a una delle bande dell'altoparlante.
- I tipi di filtri utilizzati sono passa-basso, passa-alto e passa-banda.
- La più semplice rete di crossover consiste di un filtro passa-basso e uno passa-alto per un sistema a due vie.
- Le scelte da fare nel progetto sono:
 1. La frequenza di crossover.
 2. L'ordine dei filtri. I filtri analogici hanno un roll-off caratteristico che è un multiplo di 6 dB/ottava.
- Negli crossover passivi comunemente l'ordine massimo è il terzo, mentre in quelli attivi viene usato anche il quarto ordine.

Efficienza e sensibilità

- **L'efficienza** è definita come il rapporto tra la potenza fornita dall'uscita e la potenza applicata all'ingresso.
- E' sempre minore di 1 e viene spesso espressa in %.
- Tipiche efficienze variano dall'1% nei prodotti hi-fi a circa il 25% per dispositivi a banda limitata a tromba.
- La **sensibilità** è data dal livello di pressione sonora prodotto a una distanza di riferimento con un segnale elettrico di ingresso di riferimento.
- Lo standard più comune è dB-SPL a 1 m con un ingresso di 1 W.
- Siccome l'impedenza dell'altoparlante varia con la frequenza e siccome l'amplificatore «di potenza» in realtà è un amplificatore di tensione controllato in tensione, l'1 W viene in genere tradotto nel valore efficace di tensione ($2.83 \text{ V rms su } 8 \Omega = 1\text{W}$).

La risposta in frequenza

- La risoluzione in frequenza va commisurata alla sensibilità dell'orecchio umano. In genere si considera una risoluzione costante in frazioni d'ottava (log freq.). E' difficile serva una risoluzione superiore a 1/6 d'ottava.
- La risposta in frequenza è funzione di 4 parametri f, θ, ϕ, ρ . Limitandoci al campo lontano possiamo considerare soli 3 parametri f, θ, ϕ .
- Dovremo fare una misura per ogni coppia di angoli.
- La risoluzione angolare è molto dibattuta. C'è chi suggerisce 1° , chi di più.
- Pur considerando 10° , un set completo di misure su un dispositivo a simmetria mirror image (quindi con misure su di un solo quadrante) richiede 172 misure.
- In assenza di simmetria, ce ne vogliono 325.

L'impedenza

- Raramente è costante rispetto alla frequenza.
- L'impedenza nominale fornita dalle specifiche – 4, 8, 16 Ω – è un valore puramente indicativo.

Distorsione

- Ci sono dei meccanismi nonlineari negli altoparlanti.
- Questi includono le nonlinearità del motore, delle sospensioni, dell'aria (nella phasing plug o nella bocca della tromba).
- Tutti gli altoparlanti di uso pratico hanno livelli non trascurabili di distorsione armonica e di intermodulazione.
- Il livello di distorsione che costituisce un vero problema è ancora dibattuto.
- Diversi studi negli anni hanno stabilito che una distorsione armonica si percepisce quando ha valori superiori al 2%.
- Sembra che le distorsioni pari (di seconda, quarta, ..., armonica) siano meglio tollerate (o anche preferite) dagli ascoltatori.
- Non c'è al momento consenso su quale sia il modo migliore per caratterizzare le prestazioni di un altoparlante in termini di distorsioni.

Vedere:

- Glen Ballou, “Electroacoustic Devices: Microphones and Loudspeakers”, Focal Press, 2009
 - Cap. 2.1, 2.2-2.2.2, 2.3-2.6.1, 2.7-2.7.6, 2.8-2.8.2, 2.8.5.0, 2.9.2, 2.9.4, 2.9.5, 2.9.6