

LE RETI DI CROSSOVER

Parte II

Prima di passare alla fase di progetto di un filtro per altoparlanti, è indispensabile esaminare la influenza che alcuni dei parametri coinvolti hanno sulle prestazioni complessive del sistema.

di Renato Giussani

Il mese scorso abbiamo esaminato alcuni aspetti della riproduzione del suono connessi con i problemi di progetto delle reti di crossover. In particolare si è concluso che la timbrica percepita in ambiente domestico dipende sia dalle caratteristiche di risposta e di dispersione del sistema di altoparlanti sia dall'assorbimento acustico dell'ambiente e dalla distanza di ascolto.

Se ipotizziamo che, per garantire un «comportamento acustico» confortevole anche con segnali acustici naturali, l'ambiente di ascolto debba essere caratterizzato da un assorbimento compreso entro un intervallo di valori non troppo ampio, possiamo cancellare, almeno temporaneamente, una incognita dalle variabili del problema.

Scelta una risposta complessiva ottimale (diversa a seconda della filosofia di suono adottata e della distanza e livello ottimali di progetto), rimane da decidere quanta parte del suono percepito dovrà essere diretto e quanto riverberato, ovvero la dispersione del sistema, in funzione della frequenza.

Come appare giusto anche intuitivamente, i sistemi monitor delle sale di controllo dei migliori studi di registrazione vengono equalizzati in modo da presentare una risposta complessiva nel punto di ascolto priva di discontinuità.

Alcuni tecnici ritengono ottimale una risposta dall'andamento orizzontale, altri preferiscono un andamento decrescente a un dB/ottava, altri ancora ritengono giusta una risposta complessiva nel punto di ascolto leggermente incurvata, con la convessità verso l'alto e le frequenze più alte via via in minore evidenza (fig. 1). A noi basta, per il momento, prendere atto del fatto che il filtro di crossover deve mettere gli altoparlanti prescelti in grado di garantire una risposta complessiva esente da qualsiasi enfasi o attenuazione di ristrette bande di frequenza, su una zona di ascolto sufficientemente ampia. Assunto come corretto che la risposta sull'asse del sistema e l'assorbimento ambiente siano privi di alterazioni e discontinuità, ciò equivale a richiedere un andamento della dispersione altrettanto privo di discontinuità.

Dato che tutti i woofer sono pressoché omnidirezionali alle frequenze più basse dello spettro, rimane solo da decidere se tale caratteristica di omnidirezionalità debba esse-

re mantenuta o quantomeno approssimata anche sul resto dello spettro audio. Tale problema non altera comunque la sostanza delle problematiche relative ai filtri di crossover ed alla scelta dell'incrocio ottimale. Rimandiamo i lettori interessati alle problematiche sulla dispersione alla lettura dell'articolo sulla prospettiva sonora pubblicato sul numero 34 di AUDIOREVIEW.

Risposta e dispersione dei singoli altoparlanti

Abbiamo già visto che, per costruire un sistema di altoparlanti hi-fi, si devono scegliere almeno due trasduttori, un woofer e un tweeter, che insieme possano emettere con le desiderate caratteristiche qualitative tutte le frequenze dello spettro audio. Per

ché sia possibile conseguire dal sistema una risposta in frequenza senza discontinuità è necessario che gli altoparlanti scelti abbiano risposte in frequenza (senza filtro) che si sovrappongono per un buon tratto. Come regola di base, la frequenza di incrocio potrà quindi essere scelta come quella di centro (su scala logaritmica) della banda che entrambi gli altoparlanti sono in grado di riprodurre (fig. 2). Le risposte di woofer e tweeter devono estendersi ai lati della frequenza di incrocio per un intervallo maggiore o minore a seconda della pendenza del filtro prescelto.

Si deve tenere presente, che la risposta dell'altoparlante che viene via via attenuato, può influire sul livello totale sempre meno quanto più ne diminuisce il livello. Un

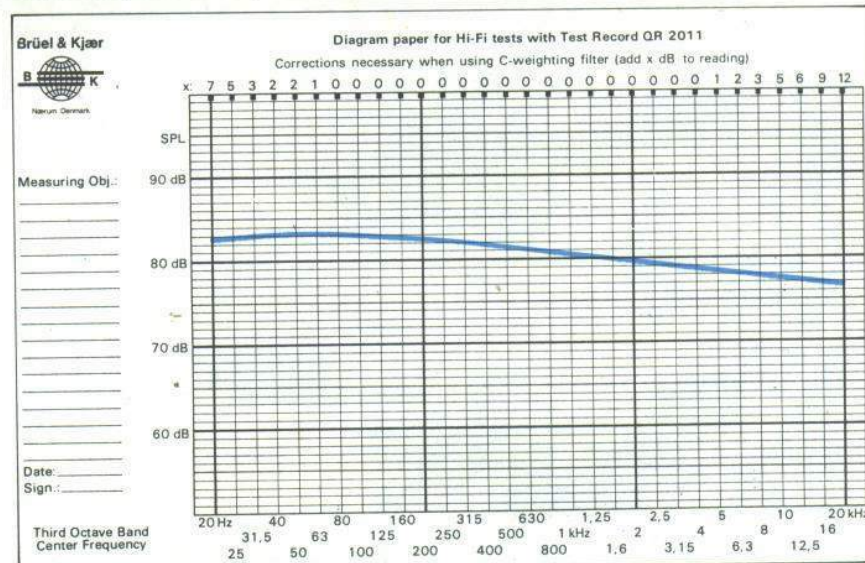


Figura 1 - Henning Moller, della danese Bruel & Kjaer, alcuni anni fa condusse una accurata ricerca sulle prestazioni dei sistemi alta fedeltà. Furono condotte numerose prove di ascolto (in condizioni controllate) in ambienti diversi ed utilizzando diversi sistemi di altoparlanti. I giudizi di un buon numero di ascoltatori vennero elaborati con metodi matematici ed uno dei risultati del lavoro fu questo grafico di risposta in frequenza ottimale, per sistemi hi-fi in ambiente domestico. Anni di attività nel settore ci hanno condotto a ritenere che questo grafico ha una buona validità. La rilevazione della risposta del sistema, da confrontarsi con la curva riportata, va effettuata con analizzatore a terzi di ottava e rumore rosa. Un metodo alternativo consiste nell'uso di un fonometro (di buona qualità) e di rumore rosa già filtrato a terzi di ottava (presente sia sul disco B&K QR 2011 che sull'AUDIO technical CD che AUDIOREVIEW presenterà sul prossimo numero).

crossover del primo ordine, i cui filtri attenuano la risposta dei componenti al ritmo di 6 dB/ottava, richiede quindi una sovrapposizione delle risposte non filtrate, molto maggiore di quanto non richieda ad esempio un filtro del quarto ordine, che attenua a 24 dB/ottava (fig. 3).

Abbiamo visto il mese scorso, che qualsiasi altoparlante disperde il suono nello spazio circostante, tanto più quanto più è piccolo rispetto alla lunghezza d'onda che sta emettendo. È evidente quindi che qualunque altoparlante disperderà di più di 100 Hz dei 1.000 Hz, ed i 1.000 dei 10.000. La membrana di un altoparlante, cono o cupola che sia, al di sotto di una certa frequenza dipendente dalle sue caratteristiche fisiche e geometriche, si comporta più o meno come se fosse piatta e perfettamente rigida. In

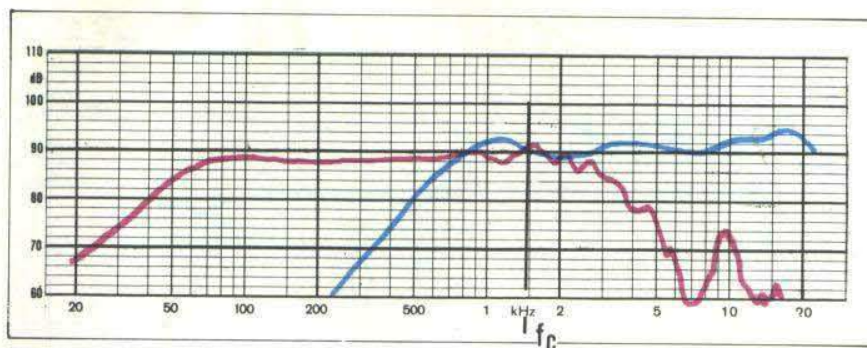


Figura 2 - Per realizzare un sistema di altoparlanti a due vie, si devono scegliere un woofer ed un tweeter le cui risposte in frequenza siano sovrapposte per un buon tratto. Le risposte in figura sono tratte dall'inserto CIARE pubblicato sul n. 44 di AUDIOREVIEW e si riferiscono al woofer M.200.25 CS/Fx-W ed al tweeter MD.26 C/Fx-TW.

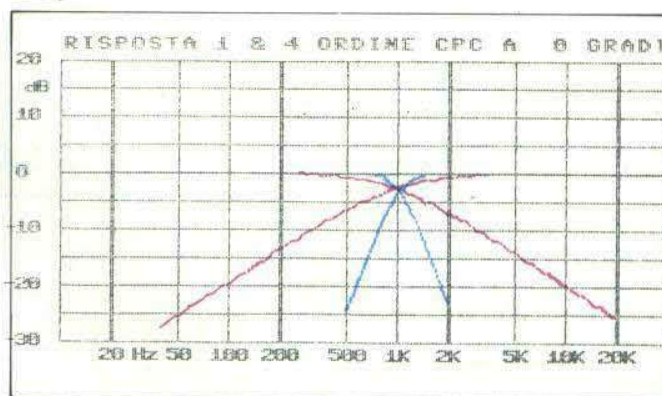
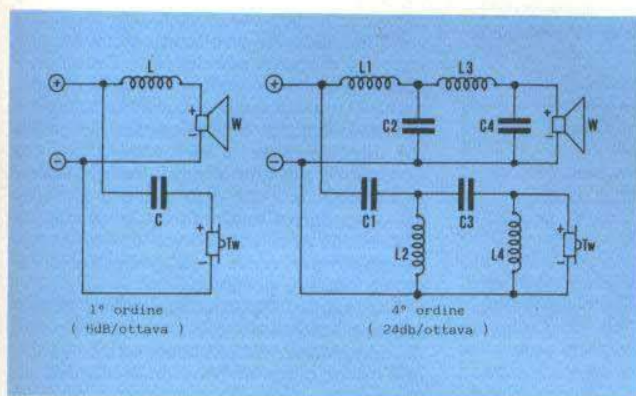


Figura 3 - Un crossover del primo ordine è composto da un solo elemento (reattivo) per filtro ed è caratterizzato da una attenuazione asintotica di 6 dB/ottava; un crossover del quarto ordine conta 4 elementi reattivi per filtro ed è caratterizzato da una pendenza asintotica di 24 dB/ottava. Nel grafico in figura, le curve meno inclinate rappresentano la risposta del crossover del 1° ordine, le più verticali quella del 4° ordine.

fig. 4 è riportato l'andamento calcolato della dispersione di un pistone rigido circolare, da cui si vede che, se gli altoparlanti si comportassero esattamente come il modello citato su tutta la banda di frequenza riprodotta, dovremmo comunque accettare una discontinuità della dispersione alla frequenza di incrocio. Infatti, un pistone da 20 cm di diametro, adatto a funzionare come woofer hi-fi alle basse frequenze, avrà a 2.000 Hz una dispersione inferiore a quella di un tweeter da 2 cm di diametro, adatto ad emettere il resto della gamma audio fino ai 20 kHz.

Paradossalmente, a diminuire l'entità del brusco salto di dispersione che si avrebbe a 2 kHz viene in aiuto un «difetto» del funzionamento delle membrane reali. Perché la dispersione fosse costante su tutta la banda di frequenze audio, basterebbe che il diametro dei vari altoparlanti interessati diminuisse all'aumentare della frequenza emessa: questo è esattamente ciò che avviene in pratica in molti casi. Infatti, all'aumentare della frequenza, le sezioni esterne del cono non riescono più a seguire il mo-

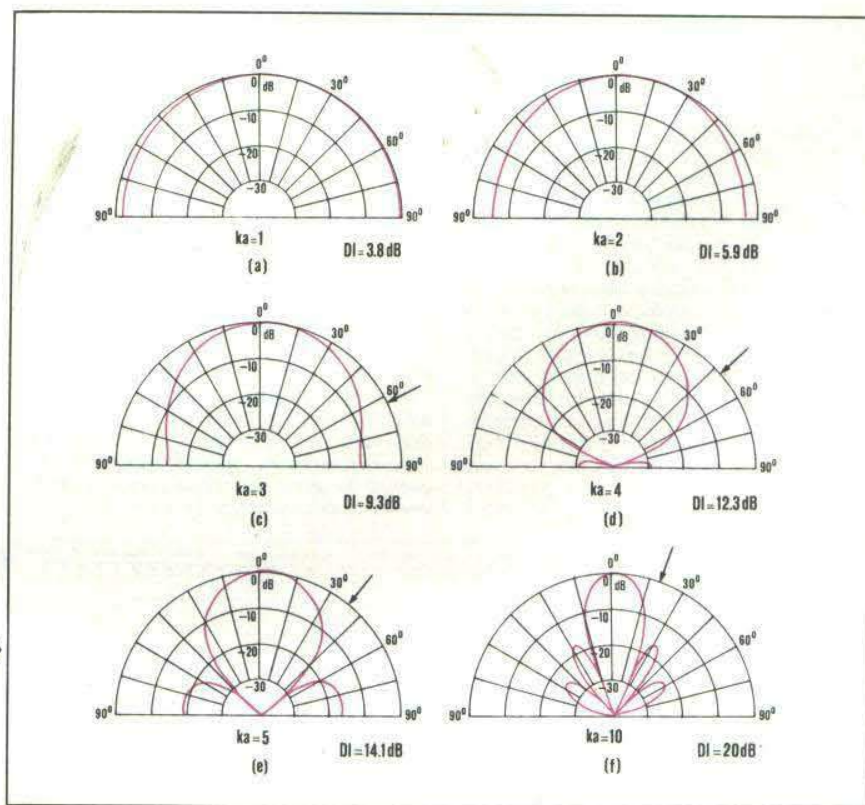


Figura 4a - La dispersione degli altoparlanti dipende dal loro diametro. I diagrammi polari in figura sono calcolati per un pistone rigido circolare montato su un piano infinito (dopo Beranek); i sei diagrammi polari sono relativi a diversi valori di $Ka = 2 \times \text{pigreco} \times a / \lambda$, dove «a» è il raggio del pistone e $\lambda = 344/f$.

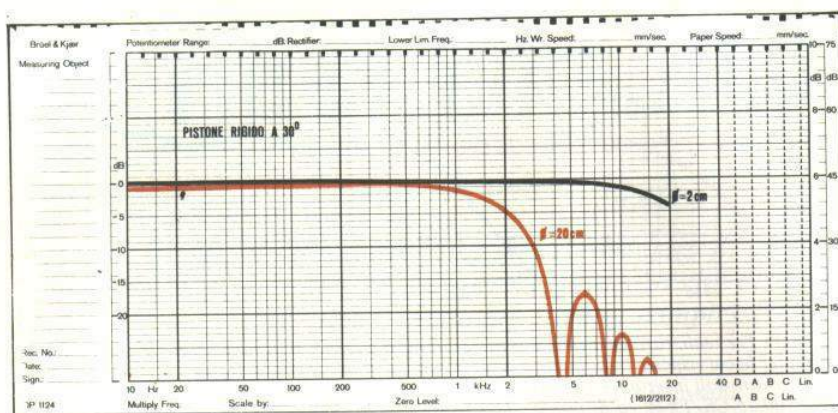


Figura 4b - Stesse condizioni della fig. 4a. Calcolando il livello della pressione acustica per un unico valore dell'angolo e diverse frequenze è possibile tracciare la risposta in frequenza del pistone fuori asse. Nel grafico in figura sono riportate le risposte in frequenza a 30° per due pistoni, da 20 cm e da 2 cm di diametro.

vimento impresso dalla bobina mobile all'apice, ed il diametro del cono effettivamente emittente tende a diminuire. Costruendo il cono dell'altoparlante con la forma ed il materiale giusti è possibile ottenere un disaccoppiamento graduale al crescere della frequenza a livello dei diametri adatti a mantenere la dispersione costante (fig. 5).

Questo stesso fenomeno ha influenza anche sulla risposta in frequenza: la risposta di un cono pesante, oltre una certa frequenza tenderebbe via via ad attenuarsi; dato che il diametro effettivo del cono, all'aumentare della frequenza riprodotta diminuisce, ne diminuisce anche il peso e quindi la efficienza può essere mantenuta sui valori desiderati. La stessa causa può però avere anche un effetto negativo se la riduzione percentuale della massa interessata, all'aumentare delle frequenze è superiore alla diminuzione percentuale di superficie emittente, il livello di emissione può tendere ad aumentare. Molti woofer hi-fi hanno una risposta crescente al ritmo di 1, 2 o anche 3 dB/ottava; per ottenere un andamento orizzontale, questo aumento deve essere equalizzato e ciò complica non poco il progetto delle reti di crossover (fig. 6).

Nonostante il particolare funzionamento degli altoparlanti a cono, in alcuni casi sia ottimizzato per ottenere una risposta ed una dispersione costanti su tutta la banda riprodotta, nella maggior parte dei casi si deve comunque convivere con una dispersione decrescente. Uno dei metodi per diminuire la udibilità di qualsiasi discontinuità nella risposta complessiva percepita, indotte dalla presenza di transizioni di funzionamento fra due altoparlanti, consiste nell'adottare reti di crossover a pendenza meno spinta; per quanto già visto ciò è più

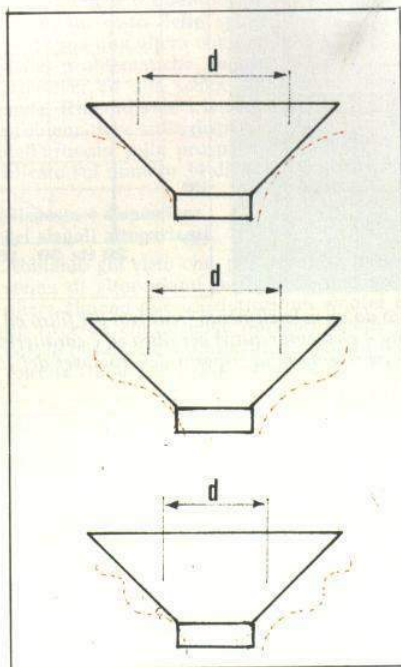
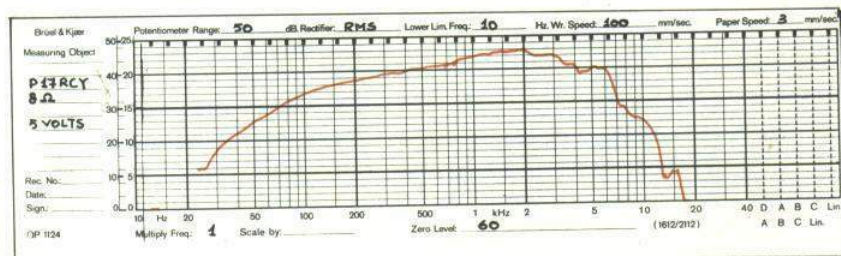


Figura 5 - La dispersione di un altoparlante a cono, diminuisce all'aumentare della frequenza meno di quella di un pistone rigido di pari diametro. Il motivo va ricercato negli effetti della propagazione delle onde acustiche lungo il cono dal vertice al bordo. A causa della variazione di rigidità del cono con la distanza dal vertice, all'aumentare della frequenza la parte del cono prevalentemente emittente diventa sempre più piccola.



facilmente realizzabile in sistemi a tre o più vie che in sistemi a due vie.

La potenza

Una corretta scelta dei componenti e della frequenza di incrocio può realizzare la migliore risposta in frequenza ed una dispersione caratterizzata da discontinuità minime.

La ottimizzazione delle prestazioni timbriche di un sistema passa necessariamente attraverso queste condizioni e questa fase di progetto. Ciononostante, nell'effettuare la scelta dell'incrocio, non si può tendere esclusivamente alla ottimizzazione della timbrica, dato che così facendo si potrebbe ottenere alla fine del progetto un sistema incapace di sostenere la potenza od emettere il livello acustico desiderati.

Ogni altoparlante, comunque sia fatto, a parte particolari comportamenti anomali a volte indesiderati a volte attentamente previsti, più si sposta più distorce. Dato che, a parità di livello acustico, a qualsiasi membrana è richiesta una escursione maggiore quanto più bassa è la frequenza del suono che deve emettere; è logico aspettarsi una distorsione più alta alle più basse frequenze riproducibili che non alle più alte (fig. 7). Un progetto tendente a minimizzare la distorsione su tutta la banda audio, dovrebbe quindi prevedere delle frequenze di incrocio più alte possibili.

D'altro canto, il particolare regime di «disaccoppiamento del cono» causa dei picchi di distorsione difficilmente controllabili; nell'incrocio fra un woofer a cono ed un tweeter è necessario scegliere il migliore compromesso fra la necessità di limitare la escursione del tweeter con una frequenza di incrocio più alta possibile e la cautela nell'utilizzare il cono in zona di break-up spinto.

In questo caso una precisa indicazione del costruttore degli altoparlanti potrebbe risolvere molti dubbi, ma anche un grafico della distorsione dei componenti o del loro livello massimo di emissione (MOL) potrebbe essere di grande aiuto. Il grafico di MOL misurato e pubblicato da AUDIOREVIEW è ottenuto rilevando il livello acustico emesso dalla cassa quando la potenza ha raggiunto il livello tale da causare il 5% di distorsione di intermodulazione totale di un segnale bitonale (fig. 8).

La distorsione è sempre collegata, direttamente o indirettamente, alla escursione, ed il suo aumento eccessivo, oltre a causare un degrado della qualità della riproduzione, può essere un indice di pericolo di rotture meccaniche da sovrappotenza.

Quando la escursione dell'altoparlante raggiunge livelli eccessivi, si devono poi fare i conti anche con un maggiore pericolo di rotture per bruciatura della bobina mobile. Esaminando la struttura interna di un woo-

Figura 6 - A causa del particolare funzionamento delle membrane coniche, a seconda dell'equilibrio fra dispersione e sensibilità al variare della frequenza, la risposta dell'altoparlante può avere un andamento decrescente, orizzontale o crescente. Il caso più comune è proprio quest'ultimo ed in figura ne è riportato un esempio con andamento approssimativamente a + 3 dB/ottava. Tale andamento richiede che il crossover, oltre a filtrare i componenti, ne effettui anche una corretta equalizzazione.

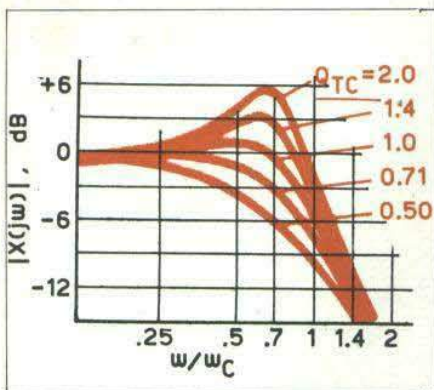


Figura 7 - La escursione degli altoparlanti aumenta al diminuire della frequenza. In figura è riportato l'andamento della escursione della membrana mobile nell'intorno della risonanza fondamentale per diversi valori del Q_{tc} . In corrispondenza all'aumento della escursione, al diminuire della frequenza l'altoparlante finisce spesso col funzionare in regime di non linearità e si assiste ad un notevole aumento della distorsione.

fer (fig. 9) si vede che, quando la bobina mobile si scalda per effetto della corrente elettrica da cui è attraversata, può trasmettere il calore generato all'aria contenuta nel traferro e da questa alla piastra frontale ed al polo centrale del complesso magnetico. Questa trasmissione di energia permette una generazione continua di calore da parte della bobina senza che la sua temperatura raggiunga rapidamente livelli proibitivi, il calore raccolto dal complesso magnetico viene poi disperso all'interno ed all'esterno della cassa, anche attraverso il cestello. L'aria interposta fra la bobina mobile ed il metallo della piastra e del polo centrale ha una resistenza termica molto alta, ma il suo esiguo spessore può essere attraversato anche con un salto termico non eccessivo ed il flusso di energia può essere reso sufficiente per un corretto funzionamento dell'altoparlante ai livelli di potenza desiderati. Quando il cono si muove molto, la bobina fuoriesce periodicamente dal traferro; per tutto il tempo in cui è esterna, il calore generato non può abbandonarla velocemente, dato che l'aria ha una conducibilità molto bassa e non viene raffreddata da nessun altro elemento nelle immediate vicinanze. La bobina mobile si raffredda significativamente solo mentre passa all'interno del traferro e così la sua temperatura cresce molto di più (e più rapidamente) con pericolo di bruciature. Una riduzione della banda di frequenze affidata ad un altoparlante equivale a diminuire la energia che gli viene consegnata. A parità di segnale riprodotto e di potenza applicata al sistema, quanto più ristretta è la banda affidata ad un altoparlante, tanto minore sarà la sua escursione; ciò è più evidente quando la banda viene ristretta aumentando la frequenza di taglio inferiore, ovvero quella del filtro passa-alto del componente in oggetto. Nel caso di woofer in sospensione pneumatica, si può quindi diminuire la potenza che lo raggiunge (ovvero aumentare la potenza elettrica applicabile al sistema), sia elevando la frequenza di risonanza del diffusore (a parità di Q_{tc}), sia abbassando la frequenza di taglio passa-basso del crossover.

Immaginiamo ora di consegnare alla cassa un segnale di rumore bianco, caratterizzato da uno spettro di energia costante. In queste condizioni, un altoparlante avente impedenza costante a cui venga consegnata la

banda di frequenza da 1.000 a 5.000 Hz (banda di 4 kHz) dovrà fare i conti con una energia doppia rispetto ad un filtraggio 1.000-3.000 Hz (banda di 2 kHz). Il segnale musicale non è a spettro di energia costante, per cui la valutazione della potenza applicata ai singoli altoparlanti in funzione della frequenza di incrocio diventa molto più difficile. Un valido aiuto può essere dato da diagrammi come quello in fig. 10, che rappresenta con ottima approssimazione la maggior parte dei casi reali. Si vede come il contenuto energetico dei segnali di alta frequenza è molto inferiore a quello delle frequenze medie e basse. Ciò rende ragione del fatto che è possibile progettare e fare funzionare sistemi di altoparlanti in cui al woofer e al tweeter viene affidato un uguale numero di «Hz» nonostante tipicamente la potenza di un woofer hi-fi sia dalle 3 alle 10 volte quella sopportabile da un tweeter. Resta il fatto che in un sistema da specificarsi per una potenza di 100 watt continui (in assenza di attenuazione o elementi di protezione), non sarebbe consigliabile utilizzare un tweeter da 10 watt nominali con una frequenza di incrocio che comporti

una potenza trasmessa superiore al 10% della potenza totale; dalla figura 10 se ne trae una frequenza passa-alto «minima» di 3.000 Hz. Per poter decidere quale sarà la potenza continua applicata al sistema, si devono fare alcune ipotesi sul fattore di cresta (rapporto fra valore di picco e valore efficace) del segnale utilizzato. Un metodo abbastanza rapido e che fornisce un margine di sicurezza adeguato anche ad utilizzazioni «spinte», consiste nel calcolare la potenza continua applicata alla cassa con l'amplificatore «al massimo» come pari alla metà della potenza RMS dell'amplificatore installato. Ciascuna cella di filtro del crossover, congenerà al carico collegato alla sua uscita, una percentuale di questa potenza come indicato dalla figura 10.

Sul prossimo numero

La scelta della frequenza di incrocio fra due altoparlanti va condotta in modo che:

— La risposta in frequenza del sistema sia piatta ed ad andamento orizzontale o al più con una pendenza compresa entro l'angolo massimo di ± 1 dB/ottava.

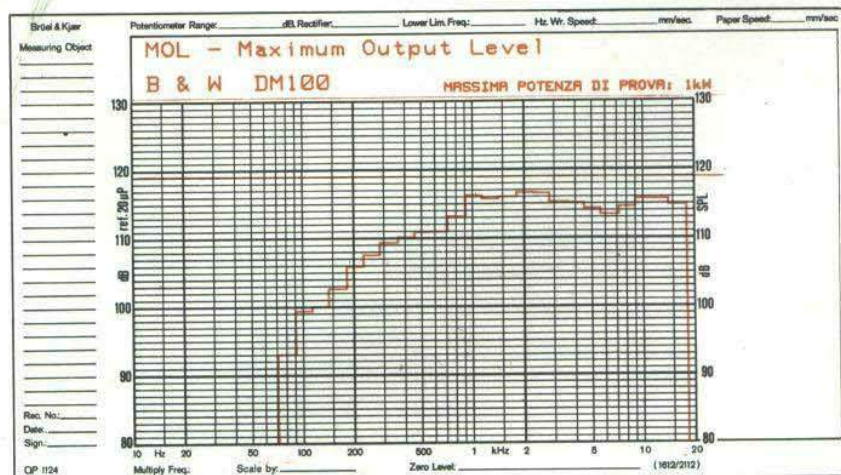


Figura 8 - La misura di MOL (livello massimo di emissione) viene effettuata da AUDIOREVIEW per rilevare il massimo livello di emissione degli altoparlanti in funzione della frequenza. Come si vede dal grafico in figura (relativo ad un sistema a due vie), il MOL del woofer diminuisce al diminuire della frequenza.

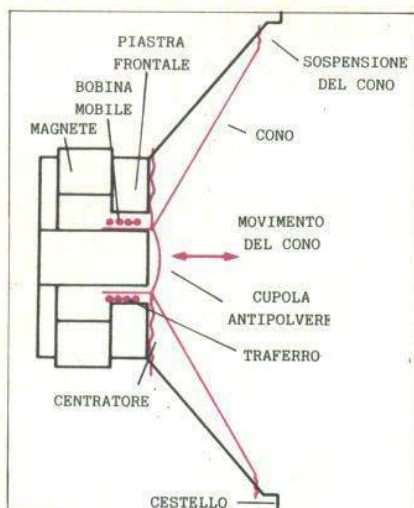


Figura 9 - Struttura interna di un altoparlante magnetodinamico. La bobina mobile è collegata rigidamente al cono, a sua volta sospeso al cestello per tramite della sospensione esterna (bordo) e del centratore. L'unico movimento consentito da questa configurazione è quello assiale.

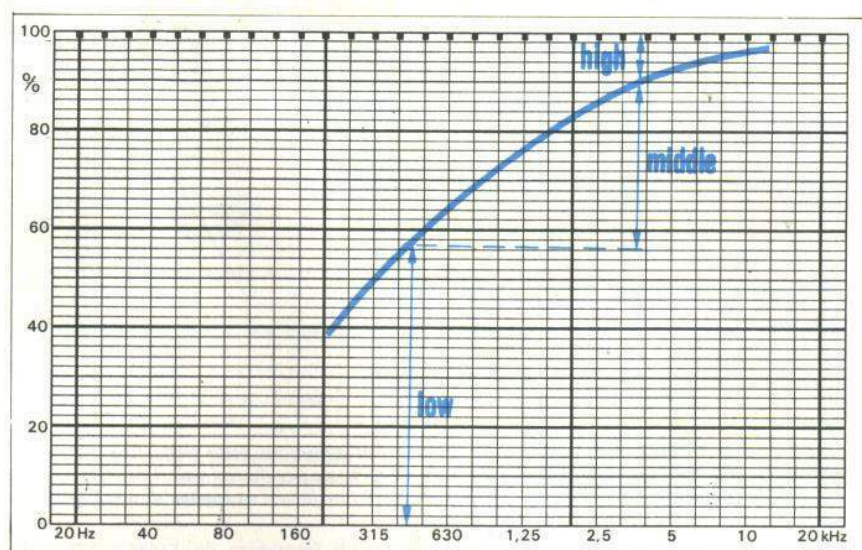


Figura 10 - Tipica distribuzione della potenza del segnale musicale in funzione della frequenza. Il grafico in figura è ricavato da un documento Philips, ma la curva indicata è in buon accordo con quella ricavabile dal segnale di rumore IEC per la simulazione del segnale musicale, normalmente utilizzato per misure di potenza. L'esempio indicato dalle linee tratteggiate è per un sistema a tre vie con frequenze di incrocio a circa 450 e 3500 Hz; al woofer sarà applicato circa il 55% della potenza totale, al midrange il 35% ed al tweeter il 10%.

— La dispersione del sistema abbia un andamento in funzione della frequenza privo di discontinuità.

— La escursione richiesta ai singoli componenti con l'amplificazione prevista sia congruente con i limiti di funzionamento lineare del componente.

— La potenza continua consegnata a ciascun altoparlante sia inferiore al dato nominale garantito dal costruttore.

Se la scelta della frequenza di incrocio ha una notevolissima influenza sulle caratteristiche timbriche e dinamiche del sistema, altrettanto importante è la scelta del filtro più adatto a realizzarla. Abbiamo già accennato ad un motivo di preferenza di filtri a bassa pendenza per sistemi a più vie e componenti a dispersione molto diversa fra loro, come alla convenienza di una alta pendenza per sistemi a due vie dotati di componenti di bassa potenza e dalla risposta non molto sovrapposta. La configura-

zione della rete di crossover ha poi una influenza enorme sull'andamento della dispersione sul piano che contiene i due altoparlanti interessati all'incrocio (fig. 11).

La scelta del tipo di filtro più adatto ad ottimizzare l'incrocio fra due componenti deve tenere conto di numerosi fattori, fra i quali:

— La potenza sopportabile dai singoli componenti.

— La configurazione geometrica della cassa e la disposizione degli altoparlanti.

— La presenza o assenza di reti di equalizzazione della impedenza.

— La necessità di equalizzazione della risposta in frequenza dei singoli componenti. Il prossimo mese esamineremo più da vicino i diversi tipi di filtro fra cui può essere effettuata la scelta, le reti elettriche corrispondenti e le prime formule di calcolo utilizzabili per il progetto.

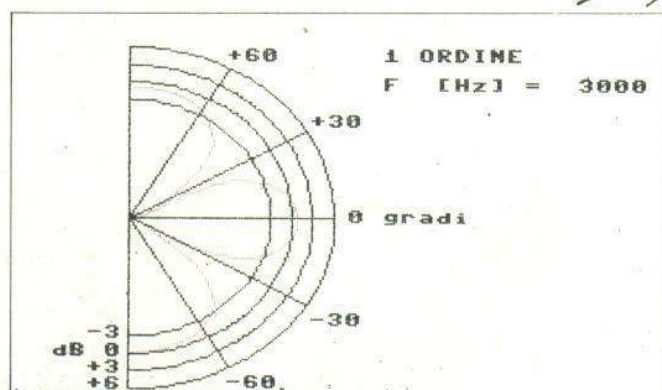
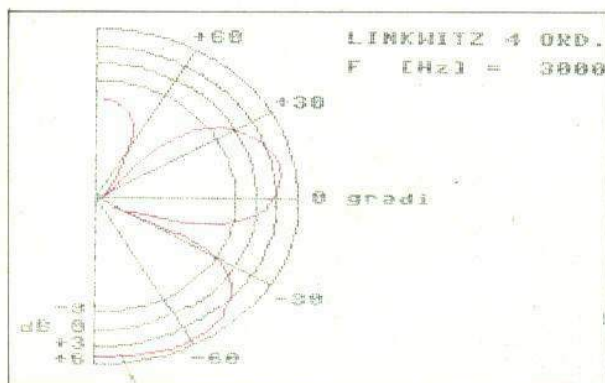


Figura 11 - Il tipo di filtro adottato comporta un diverso andamento della dispersione sul piano contenente gli altoparlanti. I diagrammi polari in figura sono stati calcolati con il programma CROSS 64 di prossima pubblicazione e sono da intendersi sul piano verticale di fronte ad un sistema a due vie. In questo caso, per la simulazione abbiamo previsto che il woofer ed il tweeter avessero dispersione costante di 2 pigreco radianti, le bobine mobili allineate in verticale sullo stesso piano e che fossero distanti in verticale 10 cm fra loro. Il diagramma polare «Linkwitz 4 ord.» è quello che si otterrebbe con un filtro a 24 dB/ottava avente caratteristica di trasmissione all-pass (ampiezza costante), quello «1 ordine» è per la stessa cassa, ma filtro a 6 dB/ottava.

LE RETI DI CROSSOVER

Parte terza

Le prestazioni elettriche dei crossover dipendono dall'ordine del filtro e possono essere calcolate. Ogni crossover richiede una specifica fase di collegamento degli altoparlanti e da esso dipendono le caratteristiche di dispersione del sistema.

di Renato Giussani

Nelle due puntate precedenti abbiamo esaminato alcune problematiche relative alla scelta della più adatta frequenza di incrocio fra due altoparlanti.

Riassumendo brevemente:

— Allo stato attuale della tecnica non è possibile costruire un altoparlante a «gamma estesa» capace di riprodurre tutta la banda di frequenze audio (da 20 a 20000 Hz) con caratteristiche veramente «hi-fi».

— Un sistema di altoparlanti hi-fi è quindi costituito sempre (a meno di casi estremamente particolari) da due o più componenti ciascuno dei quali è preposto alla riproduzione di una parte dello spettro audio.

— Un sistema a «due vie» è dotato di un altoparlante preposto alla riproduzione delle note basse (woofer) ed uno per quelle alte (tweeter). Sistemi a più vie possiedono anche altoparlanti «midrange», che riproducono le note medie. Un sistema a tre vie è dotato normalmente di un woofer, un tweeter ed un midrange. È possibile che a ciascuna via sia collegato più di un altoparlante.

— Perché un sistema multivia possa esprimere la migliore risposta in frequenza, la migliore dispersione, le migliori caratteristiche di carico per l'amplificatore, la massima dinamica e quindi in definitiva offra le massime prestazioni possibili con gli altoparlanti che ne fanno parte, deve essere dotato di una rete di crossover. I filtri di crossover possono essere realizzati sia in versione attiva che passiva. Un crossover attivo è un apparecchio che si collega fra il preamplificatore ed un numero di amplificatori finali pari al numero di vie, che alimentano direttamente gli altoparlanti. Un crossover passivo è costituito da una rete elettrica di induttanze, capacità e resistenze (più eventuali componenti accessori), il cui

ingresso è collegato all'uscita dell'amplificatore finale e le cui uscite sono collegate agli altoparlanti.

— La funzione principale del crossover consiste nella partizione dello spettro audio in bande di frequenza la cui somma possa ricostituire l'intero spettro originale. Ciascuna banda viene poi inviata ad un altoparlante specificamente progettato per riprodurla.

Un'altra importante funzione del crossover, sia in versione attiva che passiva, è la compensazione delle sensibilità dei diversi altoparlanti utilizzati. Un crossover attivo è normalmente dotato di controlli del guadagno separati per le singole vie e può compensare anche eventuali deficienze di sensibilità di un componente rispetto agli altri; in questo caso la necessità di potenza impegnata sulla via a più alto guadagno aumenta. Un filtro passivo può solo attenuare gli altoparlanti più efficienti (con resistenze opportunamente collegate) per portarne il livello di emissione allo stesso livello del meno sensibile; se l'altoparlante da attenuare è il woofer si deve utilizzare un autotrasformatore. Una ulteriore funzione normalmente incorporata nei compiti del crossover è la equalizzazione della risposta in frequenza degli altoparlanti. Dato che nessun altoparlante ha una risposta perfettamente piatta, i progettisti sfruttano la presenza della rete di filtro per fargliela correggere (almeno per quanto possibile).

La stessa rete di crossover può poi incorporare degli elementi aventi la funzione di compensare l'impedenza vista dall'amplificatore. Con opportune celle di rifasamento è possibile variare l'impedenza totale crossover-altoparlanti fino a renderla, se desiderato, resistiva. Questa possibilità non è ovviamente utilizzabile con i filtri attivi, mentre è sempre possibile aggiungere delle reti

passive di compensazione dell'impedenza dei singoli altoparlanti in parallelo a ciascun componente.

I filtri passivi

Le reti di crossover a due vie comprendono una cella di filtro che effettua un taglio passa-basso, a cui va collegato il woofer, ed una passa-alto a cui va collegato il tweeter. Nei filtri a tre vie si aggiunge una rete passa-banda, che serve il midrange, ed è caratterizzata sia da una frequenza di taglio passa-alto sia da una passa-basso.

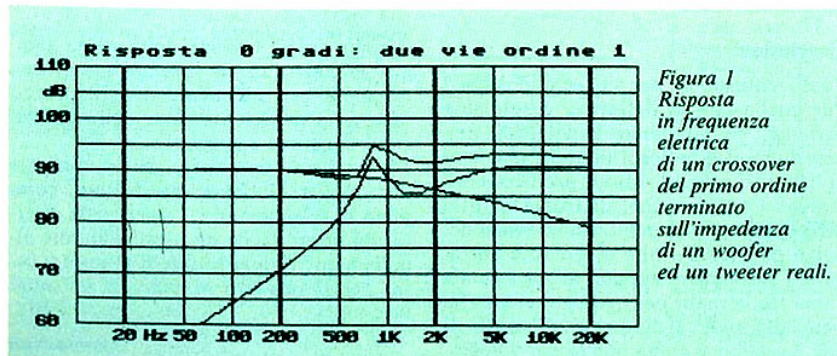
Entro la banda passante, i filtri passa basso e passa alto non devono presentare attenuazione; alla frequenza di incrocio il segnale consegnato all'altoparlante deve essere attenuato di 3 o 6 dB a seconda del tipo di filtro e al di là della frequenza di incrocio il livello deve attenuarsi gradualmente. Ad esempio, un filtro passa-basso del primo ordine attenua la emissione del woofer di 3 dB alla frequenza di incrocio, per poi tendere ad una attenuazione asintotica di 6 dB/ottava delle frequenze via via più alte.

Le reti passa banda devono invece attenuare il segnale, di una quantità opportuna, anche entro la banda passante.

L'ordine del filtro dipende dal numero di componenti reattivi che lo compongono e da esso deriva la pendenza di attenuazione. Un filtro del secondo ordine conta due elementi per taglio ed ha una pendenza di attenuazione di 12 dB/ottava, uno del terzo ordine ha tre elementi ed una pendenza di 18 dB/ottava, il quarto ordine ha quattro elementi ed attenua di 24 dB/ottava. La somma acustica dei segnali emessi dagli altoparlanti, dipende sia dalle caratteristiche del filtro che da quelle degli altoparlanti, dalla loro fase di collegamento e dalla posizione rispetto al punto di ascolto.

La risposta acustica è identica a quella elettrica dei filtri solo nell'ipotesi che il microfono di misura sia equidistante dagli altoparlanti, che questi abbiano la stessa sensibilità, che siano orientati verso il microfono e che la loro risposta in frequenza sia piatta da 0 Hz all'infinito.

Tutti gli effetti introdotti dalle condizioni reali, vanno comunque a sovrapporsi alle ideali: prima di procedere verso l'applicazione delle formule di calcolo a casi reali è quindi indispensabile avere ben chiare le caratteristiche intrinseche dei crossover ideali dei vari ordini. Nelle pagine che seguono pubblichiamo la risposta in frequenza, il modulo e l'argomento dell'impedenza, il diagramma polare verticale e la corretta fase di collegamento di otto reti base.



I valori riportati per i componenti delle reti sono calcolati dal programma Cross-64 assumendo per tutti gli altoparlanti una impedenza resistiva di 6 ohm.

Per le reti di ordine dispari la fase di collegamento degli altoparlanti non è critica, dato che invertendola non si altera l'andamento della risposta; cambia invece la risposta impulsiva ed il diagramma polare viene «specchiato» rispetto all'asse orizzontale; l'andamento polare riportato è calcolato per la fase indicata, che consegue la risposta impulsiva migliore.

Il calcolo è effettuato sotto l'ipotesi che la dispersione orizzontale e verticale di tutti gli altoparlanti sia costante su 180 gradi e la distanza di rilevazione sia molto grande rispetto a quella che separa gli altoparlanti

(condizione già verificata nelle normali condizioni di ascolto, ma non alla distanza di misura di 1 metro utilizzata tradizionalmente in camera anecoica).

Per i filtri di ordine pari è possibile scegliere fra la caratteristica APC («All Pass Crossover»), CPC (Costant Power Crossover), ed una di compromesso fra le due.

La caratteristica APC prevede l'incrocio delle risposte delle vie contigue a -6 dB e garantisce una risposta in frequenza sull'asse piatto. Peraltro la potenza acustica immessa in ambiente alla frequenza di incrocio ha un calo di tre dB, e ciò può influire sullo spettro del campo riverberato.

La caratteristica CPC prevede l'incrocio a -3 dB e garantisce una risposta in potenza piatta, mentre la risposta in frequenza ha

una esaltazione di 3 dB all'incrocio.

La caratteristica di compromesso è intermedia fra le due appena viste; il prossimo mese vedremo meglio di quali proprietà gode. In attesa di presentare il programma di progetto e verifica dei filtri di Cross-64, pubblichiamo intanto, riservandoci di chiarirne l'uso, le formule di progetto utilizzate. Per non dare l'impressione che l'uso delle formule e la scelta del tipo di filtro esaurisca le problematiche di progetto dei crossover pubblichiamo anche (Fig. 1) la risposta sull'asse di un sistema due vie, utilizzando due altoparlanti ideali (risposta piatta 20-20000 Hz) ed una rete di filtro del primo ordine progettata per resistenze di carico di 6 ohm, ma caricata dall'impedenza degli altoparlanti reali.

FORMULE DI PROGETTO DI FILTRI PASSIVI A DUE VIE DI ORDINE 1/2/3/4 E A TRE VIE DI ORDINE 1/2 (DOPO BULLOCK).

Crossover a due vie di ordine 1

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{R_T} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times R_W \times 10^3 \quad [mH]$$

Crossover a due vie di ordine 2

$$L_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times AR_W \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{AR_W} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{AR_T} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times AR_T \times 10^3 \quad [mH]$$

$$\begin{aligned} APC: A=2 \\ CPC: A=\sqrt{2} \\ Comp.: A=2K \\ K = \frac{1}{10^{(P/20)}} \end{aligned}$$

$$0 < P < 3$$

Crossover a due vie di ordine 3

$$L_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{3R_W}{2} \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{4}{3R_W} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_3 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{R_W}{2} \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{2}{3R_T} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{3R_T}{4} \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{2}{R_T} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

Crossover a due vie di ordine 4

$$L_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times ER_W \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{D}{ER_W} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_3 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{AR_W}{D} \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_4 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{AR_W} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{ER_T} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{ER_T}{D} \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{D}{AR_T} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_4 = \frac{1}{2\pi f_c} \times AR_T \times 10^3 \quad [mH]$$

$$D=B-1$$

$$E=A(1-1/B)$$

$$APC: A=2\sqrt{2} \quad B=4$$

$$CPC: A=\sqrt{4+2\sqrt{2}} \quad B=2+2\sqrt{2}$$

$$Comp.: A=2\sqrt{1+K} \quad B=2(1+K)$$

$$K = \frac{1}{10^{(P/20)}}$$

$$0 < P < 3$$

Crossover a tre vie di ordine 1

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{R_T} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times R_W \times 10^3 \quad [mH]$$

$$R_5 = R_M \times (A/H-1) \quad [\Omega]$$

$$R_0 = R_5 + R_M \quad [\Omega]$$

$$L_3 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{R_0}{A} \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{A}{R_0} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$f_M = \sqrt{f_W \times f_T} \quad [Hz]$$

$$S = \frac{f_T}{f_W}$$

$$R = \sqrt{S}$$

$$A = \frac{S+1}{R}$$

$$H = \frac{S-1}{R}$$

$$S = \frac{f_T}{f_W}$$

$$R = \sqrt{S}$$

$$a = \frac{2(S-1)}{\sqrt{S^2-2S}}$$

$$A = a \frac{S+1}{R}$$

Crossover a tre vie di ordine 2

$$L_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times aR_W \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{aR_W} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{aR_T} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times aR_T \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{K}{ER_0} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_2 = \frac{1}{2\pi f_c} \times ER_0 \times 10^3 \quad [mH]$$

$$L_3 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{AR_0}{K} \times 10^3 \quad [mH]$$

$$C_4 = \frac{1}{2\pi f_c} \times \frac{1}{AR_0} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$f_M = \sqrt{f_W \times f_T} \quad [Hz]$$

$$R_5 = R_M (K/H-1) \quad [\Omega]$$

$$R_0 = R_5 + R_M \quad [\Omega]$$

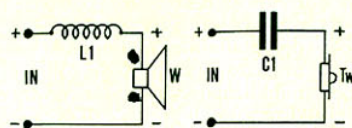
$$S = \frac{f_T}{f_W} \quad B = S + a^2 + 1/S$$

$$R = \sqrt{S} \quad K = B-1$$

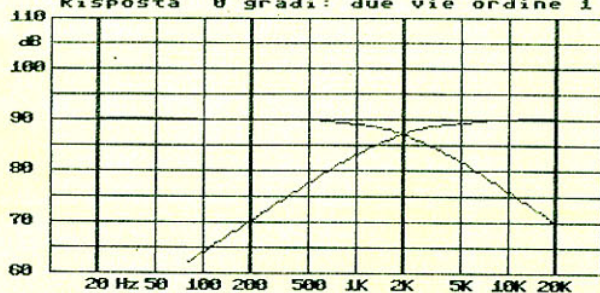
$$a = \frac{2(S-1)}{\sqrt{S^2-2S}} \quad E = A(1-1/K)$$

$$A = a \frac{S+1}{R} \quad H = S + a^2 - 4 + 3/S$$

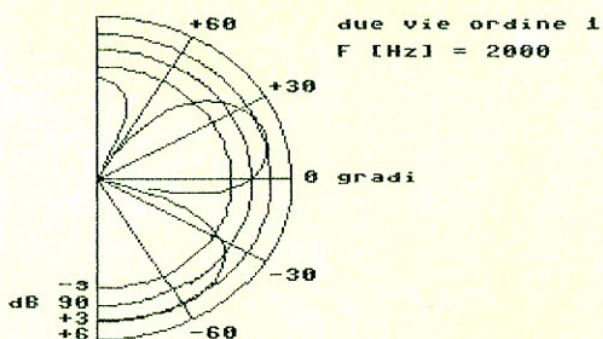
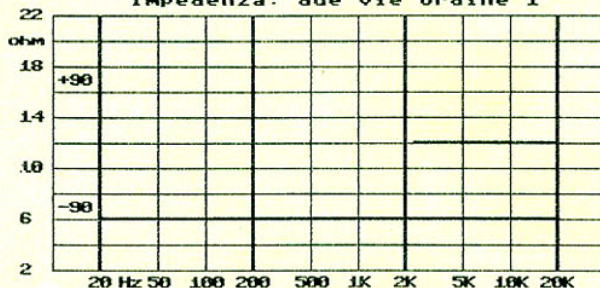
Crossover a due vie di ordine 1



Risposta 0 gradi: due vie ordine 1



Impedenza: due vie ordine 1

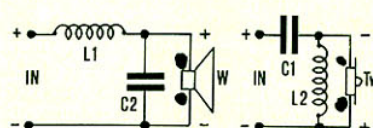


Filtro Passa-BASSO		Filtro Passa-ALTO	
L1 [mH] = .48	R1 [ohm] = 0	C1 [uF] = 13.26	R1 [ohm] = 0
C2 [uF] = 0	R2 [ohm] = 0	L2 [mH] = 0	R2 [ohm] = 0
L3 [mH] = 0	R3 [ohm] = 0	C3 [uF] = 0	R3 [ohm] = 0
C4 [uF] = 0	R4 [ohm] = 0	L4 [mH] = 0	R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6	R5 [ohm] = 0	Re [ohm] = 6	R5 [ohm] = 0

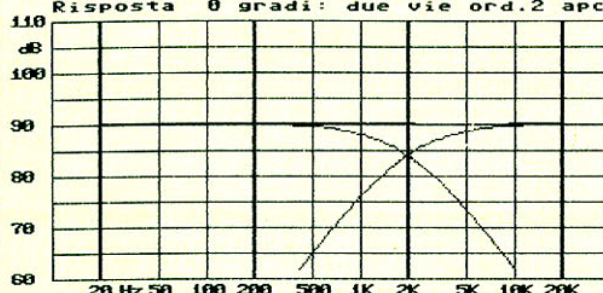
Dati sistema: due vie ordine 1

Distanza woof./tu [cm] = 15
 Distanza midr./tu [cm] = 0
 Offset woof./tu [cm] = 0
 Offset midr./tu [cm] = 0
 Fase tu./woofer (+/-) = +
 Fase tu./midr. (+/-) = +

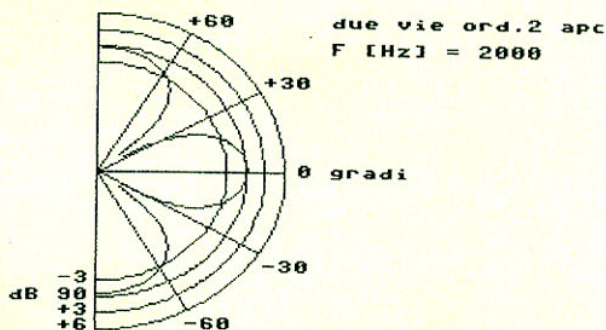
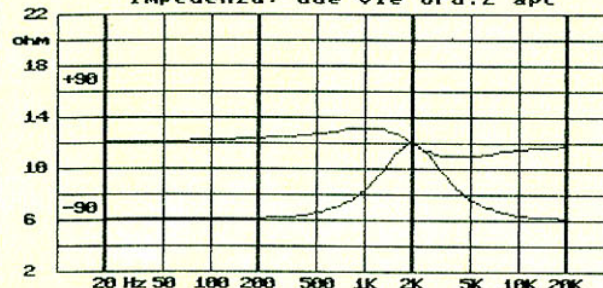
Crossover a due vie di ordine 2, apc



Risposta 0 gradi: due vie ord.2 apc



Impedenza: due vie ord.2 apc

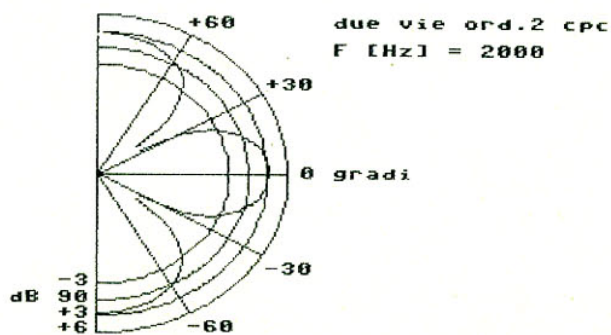
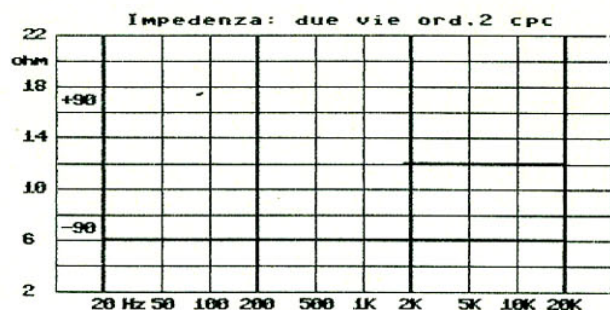
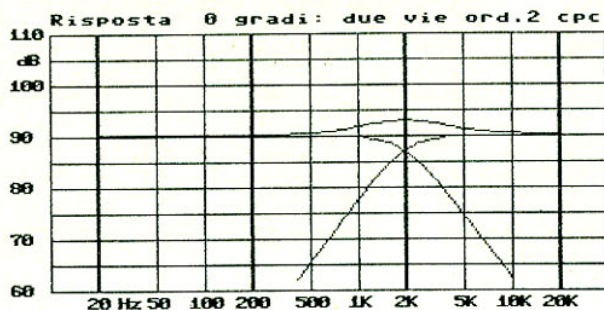
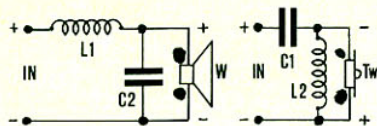


Filtro Passa-BASSO		Filtro Passa-ALTO	
L1 [mH] = .95	R1 [ohm] = 0	C1 [uF] = 6.63	R1 [ohm] = 0
C2 [uF] = 6.63	R2 [ohm] = 0	L2 [mH] = .95	R2 [ohm] = 0
L3 [mH] = 0	R3 [ohm] = 0	C3 [uF] = 0	R3 [ohm] = 0
C4 [uF] = 0	R4 [ohm] = 0	L4 [mH] = 0	R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6	R5 [ohm] = 0	Re [ohm] = 6	R5 [ohm] = 0

Dati sistema: due vie ord.2 apc

Distanza woof./tu [cm] = 15
 Distanza midr./tu [cm] = 0
 Offset woof./tu [cm] = 0
 Offset midr./tu [cm] = 0
 Fase tu./woofer (+/-) = -
 Fase tu./midr. (+/-) = +

Crossover a due vie di ordine 2, cpc

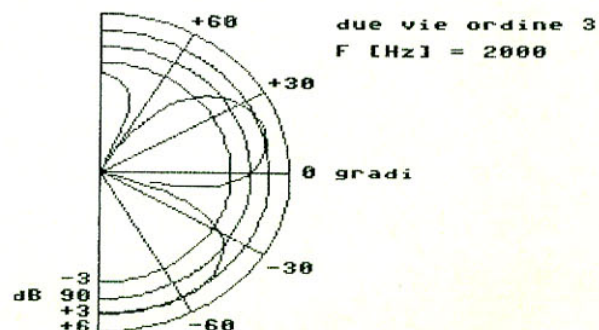
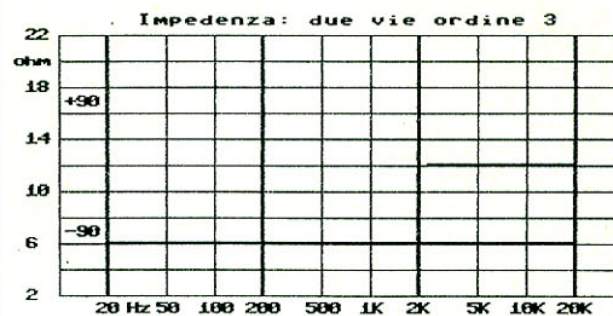
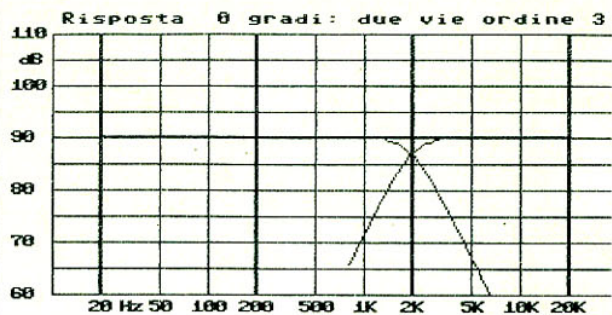
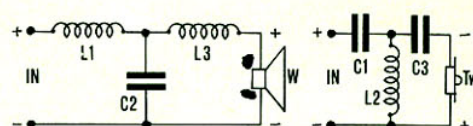


Filtro Passa-BASSO					Filtro Passa-ALTO				
L1 [mH]= .68	R1 [ohm]= 0	C1 [uF]= 9.38	R2 [ohm]= 0		C1 [uF]= 9.38	R1 [ohm]= 0			
C2 [uF]= 9.38	R2 [ohm]= 0	L2 [mH]= .68	R3 [ohm]= 0		L2 [mH]= .68	R2 [ohm]= 0			
L3 [mH]= 0	R3 [ohm]= 0	C3 [uF]= 0	R4 [ohm]= 0		C3 [uF]= 0	R3 [ohm]= 0			
C4 [uF]= 0	R4 [ohm]= 0	L4 [mH]= 0	R5 [ohm]= 0		L4 [mH]= 0	R4 [ohm]= 0			
Re [ohm]= 6					Re [ohm]= 6				

Dati sistema: due vie ord.2 cpc

Distanza woof./tw [cm] = 15
 Distanza midr./tw [cm] = 0
 Offset woof./tw [cm] = 0
 Offset midr./tw [cm] = 0
 Fase tw./woofer (+/-) = -
 Fase tw./midran. (+/-) = +

Crossover a due vie di ordine 3

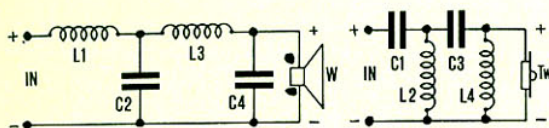


Filtro Passa-BASSO					Filtro Passa-ALTO				
L1 [mH]= .72	R1 [ohm]= 0	C1 [uF]= 8.84	R2 [ohm]= 0		C1 [uF]= 8.84	R1 [ohm]= 0			
C2 [uF]= 17.68	R2 [ohm]= 0	L2 [mH]= .36	R3 [ohm]= 0		L2 [mH]= .36	R2 [ohm]= 0			
L3 [mH]= .24	R3 [ohm]= 0	C3 [uF]= 26.53	R4 [ohm]= 0		C3 [uF]= 26.53	R3 [ohm]= 0			
C4 [uF]= 0	R4 [ohm]= 0	L4 [mH]= 0	R5 [ohm]= 0		L4 [mH]= 0	R4 [ohm]= 0			
Re [ohm]= 6					Re [ohm]= 6				

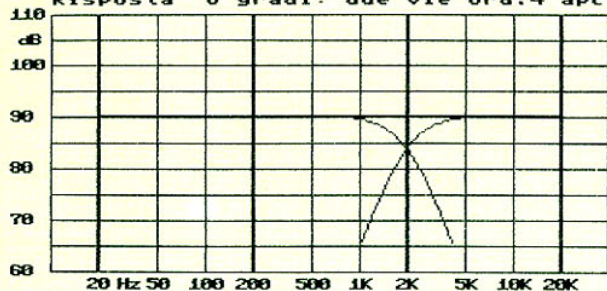
Dati sistema: due vie ordine 3

Distanza woof./tw [cm] = 15
 Distanza midr./tw [cm] = 0
 Offset woof./tw [cm] = 0
 Offset midr./tw [cm] = 0
 Fase tw./woofer (+/-) = -
 Fase tw./midran. (+/-) = +

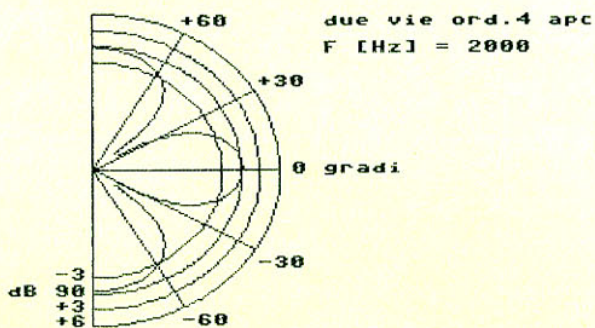
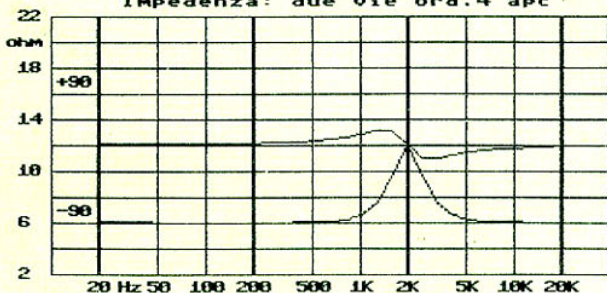
Crossover a due vie di ordine 4, apc



Risposta 0 gradi: due vie ord.4 apc



Impedenza: due vie ord.4 apc

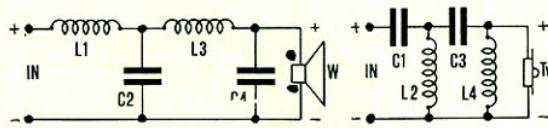


Filtro Passa-BASSO		Filtro Passa-ALTO	
L1 [mH] = .9	R1 [ohm] = 0	C1 [uF] = 7.03	R1 [ohm] = 0
C2 [uF] = 21.1	R2 [ohm] = 0	L2 [mH] = .3	R2 [ohm] = 0
L3 [mH] = .45	R3 [ohm] = 0	C3 [uF] = 14.07	R3 [ohm] = 0
C4 [uF] = 4.69	R4 [ohm] = 0	L4 [mH] = 1.25	R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6	R5 [ohm] = 0	Re [ohm] = 6	R5 [ohm] = 0

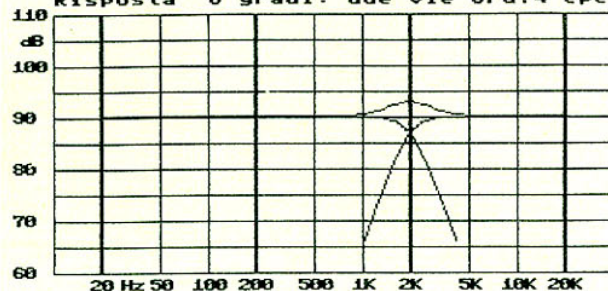
Dati sistema: due vie ord.4 apc

Distanza woof./tu [cm] = 15
 Distanza midr./tu [cm] = 0
 Offset woof./tu [cm] = 0
 Offset midr./tu [cm] = 0
 Fase tu./woof. (+/-) = +
 Fase tu./midr. (+/-) = +

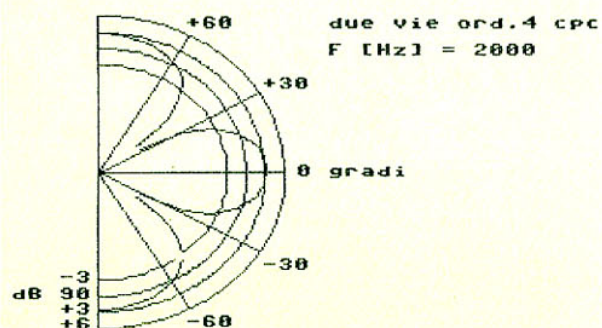
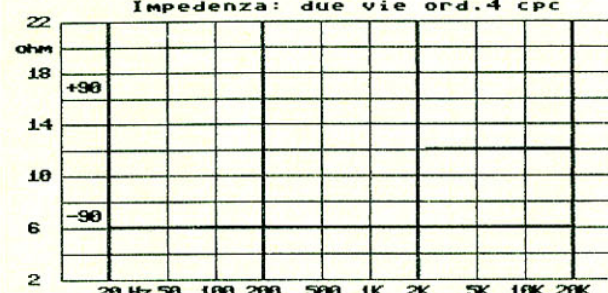
Crossover a due vie di ordine 4, cpc



Risposta 0 gradi: due vie ord.4 cpc



Impedenza: due vie ord.4 cpc

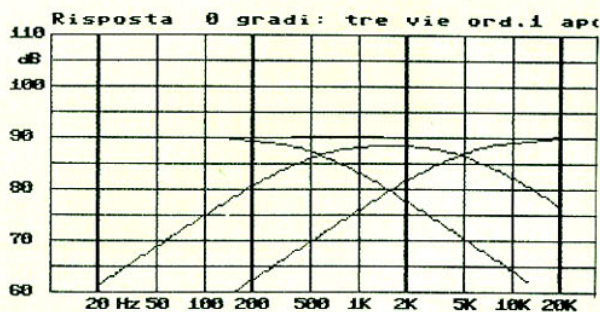
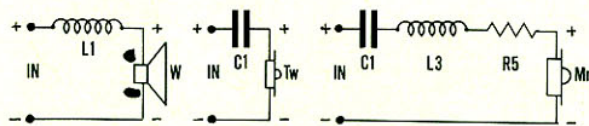
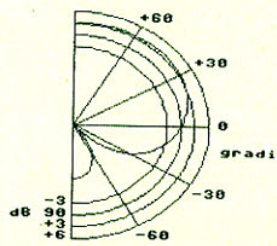


Filtro Passa-BASSO		Filtro Passa-ALTO	
L1 [mH] = .73	R1 [ohm] = 0	C1 [uF] = 8.66	R1 [ohm] = 0
C2 [uF] = 20.92	R2 [ohm] = 0	L2 [mH] = .3	R2 [ohm] = 0
L3 [mH] = .52	R3 [ohm] = 0	C3 [uF] = 12.25	R3 [ohm] = 0
C4 [uF] = 5.08	R4 [ohm] = 0	L4 [mH] = 1.25	R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6	R5 [ohm] = 0	Re [ohm] = 6	R5 [ohm] = 0

Dati sistema: due vie ord.4 cpc

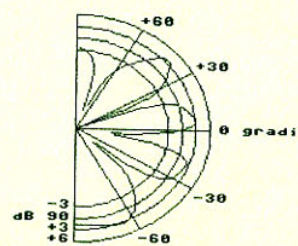
Distanza woof./tu [cm] = 15
 Distanza midr./tu [cm] = 0
 Offset woof./tu [cm] = 0
 Offset midr./tu [cm] = 0
 Fase tu./woof. (+/-) = +
 Fase tu./midr. (+/-) = +

Crossover a tre vie di ordine 1, apc

tre vie ord.1 apc
F [Hz] = 500

Filtro Passa-BASSO

L1 [mH] = 1.91 R1 [ohm] = 0
C2 [uF] = 0 R2 [ohm] = 0
L3 [mH] = 0 R3 [ohm] = 0
C4 [uF] = 0 R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6 R5 [ohm] = 0

tre vie ord.1 apc
F [Hz] = 5000

Filtro Passa-ALTO

C1 [uF] = 5.31 R1 [ohm] = 0
L2 [mH] = 0 R2 [ohm] = 0
C3 [uF] = 0 R3 [ohm] = 0
L4 [mH] = 0 R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6 R5 [ohm] = 0

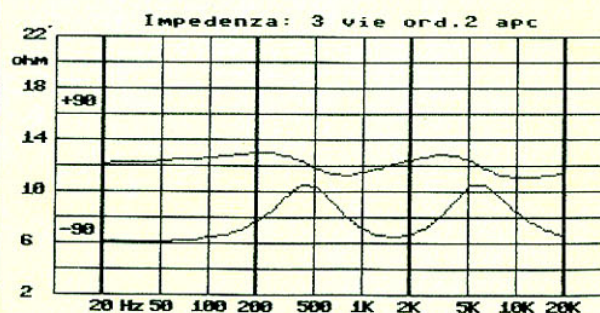
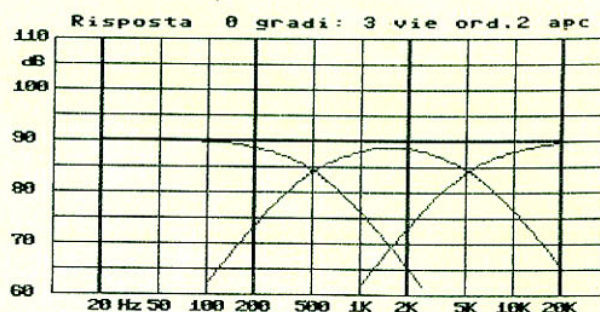
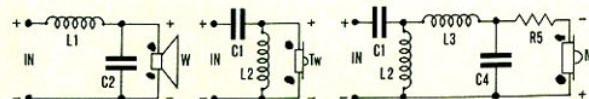
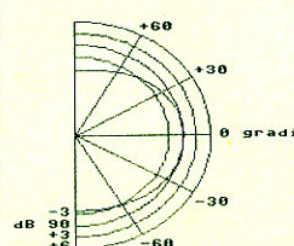
Filtro Passa-BANDA

C1 [uF] = 47.75 R1 [ohm] = 0
L2 [mH] = 0 R2 [ohm] = 0
L3 [mH] = .21 R3 [ohm] = 0
C4 [uF] = 0 R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6 R5 [ohm] = 1.33

Dati sistema: tre vie ord.1 apc

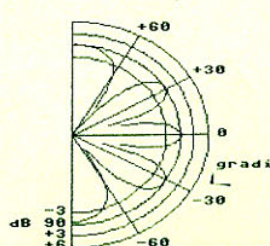
Distanza woof./tu [cm] = 35
Distanza midr./tu [cm] = 13
Offset woof./tu [cm] = 0
Offset midr./tu [cm] = 0
Fase tu./woofer (+/-) = +
Fase tu./midran. (+/-) = +

Crossover a tre vie di ordine 2, apc

tre vie ord.2 apc
F [Hz] = 500

Filtro Passa-BASSO

L1 [mH] = 3.84 R1 [ohm] = 0
C2 [uF] = 26.36 R2 [ohm] = 0
L3 [mH] = 0 R3 [ohm] = 0
C4 [uF] = 0 R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6 R5 [ohm] = 0

3 vie ord.2 apc
F [Hz] = 5000

Filtro Passa-ALTO

C1 [uF] = 2.64 R1 [ohm] = 0
L2 [mH] = .38 R2 [ohm] = 0
C3 [uF] = 0 R3 [ohm] = 0
L4 [mH] = 0 R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6 R5 [ohm] = 0

Filtro Passa-BANDA

C1 [uF] = 26.85 R1 [ohm] = 0
L2 [mH] = 4.96 R2 [ohm] = 0
L3 [mH] = .41 R3 [ohm] = 0
C4 [uF] = 1.89 R4 [ohm] = 0
Re [ohm] = 6 R5 [ohm] = 1.62

Dati sistema: tre vie ord.2 apc

Distanza woof./tu [cm] = 35
Distanza midr./tu [cm] = 13
Offset woof./tu [cm] = 0
Offset midr./tu [cm] = 0
Fase tu./woofer (+/-) = +
Fase tu./midran. (+/-) = -

LE RETI DI CROSSOVER

Parte quarta

La risposta dei crossover passivi è influenzata dalla impedenza degli altoparlanti; quella del sistema completo dipende anche dalla risposta acustica dei singoli componenti. Equalizzando l'impedenza degli altoparlanti e scegliendo con cura la frequenza di incrocio è tuttavia possibile raggiungere prestazioni ottimali anche con filtri calcolati per condizioni ideali.

di Renato Giussani

Il mese scorso abbiamo pubblicato le formule di progetto di filtri di crossover a 2 vie di ordine 1/2/3/4 sia di tipo Apc che Cpc e Compromise (dopo Bullock), e a 3 vie di ordine 1 e 2 Apc. Ricordiamo che per Apc si intende «All pass crossover», ovvero un filtro che fornisce una risposta in frequenza piatta sull'asse, a prezzo di una attenuazione di 3 dB all'incrocio nella risposta in potenza (fig. 1; per le definizioni di «risposta in frequenza» e «risposta in potenza» e le loro implicazioni vedi le parti I, II e III su AUDIO-REVIEW nn. 45, 46 e 47). Viceversa, un crossover Cpc garantisce una risposta in potenza piatta, ma presenta una esaltazione di 3 dB all'incrocio nella risposta in frequenza sull'asse (fig. 2).

Il crossover Compromise è dimensionato per fornire prestazioni intermedie fra l'Apc ed il Cpc; per calcolarlo è necessario decidere come spartire fra la risposta in frequenza e quella in potenza i tre dB di «errore». Optando per un «picco» di 1 dB nella risposta in frequenza si avrà un «buco» di 2 dB in quella in potenza; ad un picco di 1,2 dB della risposta in frequenza corrisponderà un buco di 1,8 dB della risposta in potenza, ecc. ecc. Ricordando tutto quello che abbiamo detto negli articoli precedenti a proposito di campo diretto, campo riverberato, timbrica e sorgenti acustiche virtuali, si può decidere di volta in volta che tipo di filtro o di compromesso scegliere a seconda delle caratteristiche degli altoparlanti e dell'installazione; in pratica il tipo Apc è quasi sempre preferibile, tranne che per incroci a frequenza media e bassa in ambienti riverberanti.

Un esame delle quattro pagine di grafici pubblicati sul n. 47 mette in evidenza alcune caratteristiche dei crossover ideali che è bene avere presenti anche quando si ha a che fare con casi reali.

— Le risposte in frequenza delle celle dei filtri a due vie di ordine «pari» di tipo Apc si incrociano ad un livello inferiore di 6 dB a quello di riferimento.

— Le risposte in frequenza delle celle dei filtri a due vie di ordine «pari» di tipo Cpc si incrociano ad un livello inferiore di 3 dB a quello di riferimento.

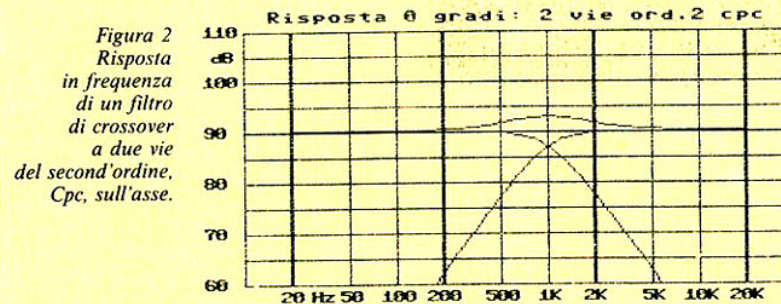
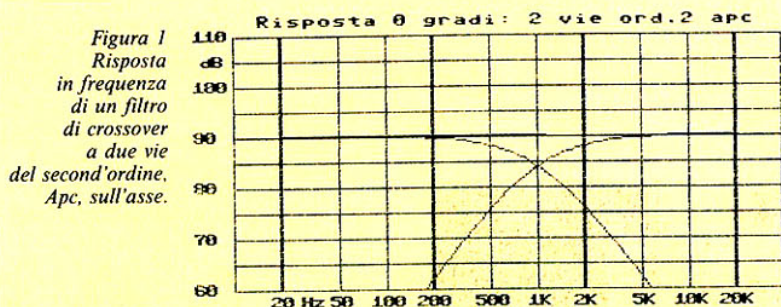
— Le risposte dei filtri a due vie di ordine «dispari» si incrociano ad un livello inferiore di 3 dB a quello di riferimento. In questo caso i filtri sono contemporaneamente sia Apc che Cpc, dato che sia la risposta in frequenza sull'asse che quella in potenza sono piatte. Si noti però che la risposta in frequenza presenta un picco di tre dB fuori asse; i filtri Cpc di ordine «pari» forniscono un diagramma polare alla frequenza di incrocio che scende al livello di riferimento per due angoli ai lati dello zero, ma la risposta in frequenza in corrispondenza di tali angoli non è piatta (fig. 3).

— I diagrammi polari verticali dei filtri di ordine pari sono simmetrici e presentano il livello massimo di emissione sull'asse.

— I filtri ideali Cpc sia di ordine pari che dispari sono anche «constant resi-

stance», ovvero al loro ingresso si misura una resistenza costante.

Le stesse considerazioni valgono anche per i crossover a tre vie, con la differenza che la rete di filtro del midrange deve prevedere una attenuazione supplementare, realizzabile con una resistenza in serie all'altoparlante; le formule pubblicate il mese scorso forniscono sia i valori degli elementi reattivi della rete (Induttanze e condensatori) che quello della resistenza R5 di attenuazione (fig. 4). Durante l'esame dei grafici del numero scorso, tenete presente che quando le curve sono orizzontali e vengono tracciate alla stessa ordinata di una delle linee del grafico, si sovrappongono a queste e diventano invisibili. Alcune linee «scattano» di ordinata a causa delle approssimazioni introdotte dai numerosi calcoli effettuati e quindi si vedono delle linee orizzontali che da una certa frequenza in



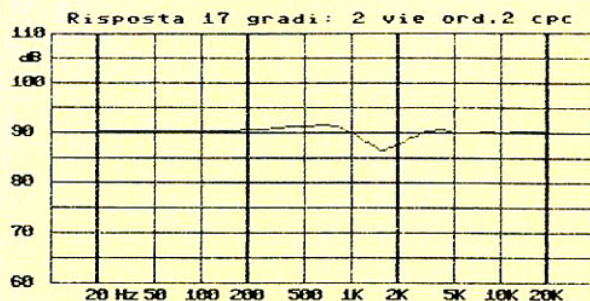


Figura 3
Risposta
in frequenza
di un filtro
di crossover
a due vie
del second'ordine.
Cpc, nella direzione
in cui la somma
dei livelli
delle due vie
alla frequenza
di incrocio è 0 dB.

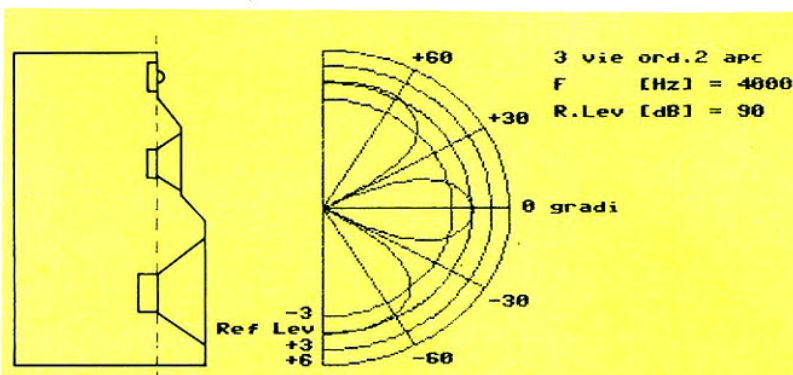


Figura 5 - I grafici di dispersione verticale pubblicati sono calcolati per allineamento verticale degli altoparlanti (dall'alto in basso: tweeter, midrange, woofer) e, se non diversamente specificato, nell'ipotesi di centri acustici sullo stesso piano verticale.

poi si «ingrossano» o si «assottigliano»; è evidente che la curva calcolata è presente, sovrapposta a quella della scala del grafico, anche nei tratti in cui la linea è sottile. Con l'occasione avvertiamo che le curve rosse dei due grafici a pag. 50 di AUDIOREVIEW n. 46 sono state invertite fra loro in tipografia durante il montaggio delle pellicole.

I grafici di dispersione pubblicati, come detto più volte, sono relativi al piano verticale; si intende che il sistema di altoparlanti sia alla sinistra del foglio con gli altoparlanti rivolti verso destra, allineati in verticale e con i centri acustici di emissione giacenti sullo stesso piano verticale. Questo equivale a dire che i grafici di dispersione pubblicati finora sono relativi a casse con il pannello frontale

conformato in modo tale da porre (in prima approssimazione) le bobine mobili degli altoparlanti tutte sullo stesso piano (fig. 5).

Nei calcoli relativi alla dispersione si assume che gli altoparlanti emettano un livello costante in tutte le direzioni; ciò equivale a dire che i diagrammi polari verticali calcolati da Cross-64 sono molto simili a quelli reali solo entro angoli tali che la dispersione dell'altoparlante reale possa essere considerata costante. Per quanto detto nella seconda parte a proposito della dispersione degli altoparlanti ed andando a controllare i grafici della dispersione del pistone rigido pubblicati in quell'occasione, si può assumere che il modello adottato sia valido fino al limite dei $\pm 15^\circ$ per «ka» infe-

riore a 5 (fig. 6; a = raggio dell'altoparlante; $k = 2 \times 3,14 \times f / 344$). Ad esempio, un altoparlante da 20 cm di diametro che avesse la stessa dispersione di un pistone rigido, potrebbe essere considerato a dispersione costante (e quindi equivalente al modello utilizzato nei calcoli da Cross-64), fino alla frequenza $f = 344 \times 4 / (2 \times 3,14 \times 0,20) = 1096$ [Hz]. In realtà gli altoparlanti a cono reali, come già visto, hanno generalmente una dispersione migliore del pistone rigido ideale per cui la frequenza appena calcolata può essere ragionevolmente moltiplicata per 1,5, conducendo ad una frequenza limite di dispersione costante di circa 1600 Hz.

Rimanendo entro i limiti appena considerati, la dispersione sul piano su cui giacciono i centri acustici degli altoparlanti sarà quindi molto simile a quella calcolata da Cross-64, con punti di massimo e di minimo dipendenti dalla geometria del sistema (distanza verticale ed offset orizzontale degli altoparlanti), dalla rete di crossover e dalla risposta in frequenza degli altoparlanti. Quanto alla dispersione orizzontale, nel modello è considerata in ogni caso costante, perciò tutti i diagrammi polari orizzontali avranno un andamento semicircolare di livello pari a quello del diagramma polare verticale alla frequenza ed alla quota considerate (quota che corrisponde ad un certo angolo verticale rispetto alla perpendicolare al pannello della cassa).

Crossover ed altoparlanti reali

Le formule di progetto pubblicate (come tutte le formule da chiunque pubblicate a tutt'oggi) forniscono il dimensionamento dei componenti per reti di crossover funzionanti su carico resistivo. I grafici di risposta in frequenza ed impedenza riportati sono relativi alla stessa situazione di carico, e dimostrano che le formule sono corrette. Gli altoparlanti reali però non sono resistenze, ma dispositivi magnetodinamici in cui gli elementi elettrici, magnetici e meccanici interagiscono fra loro in modo complesso. La conseguenza è che l'impedenza di un altoparlante non può essere confusa con quella di una resistenza se non accettando una degradazione delle prestazioni del filtro veramente notevole. In fig. 7 possiamo vedere come la risposta di un filtro passa-banda progettato per funzionare su carico resistivo viene alterata dal

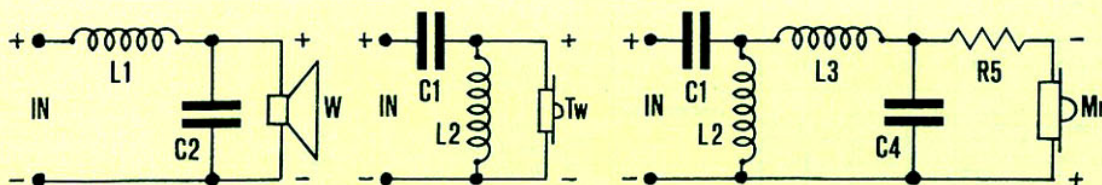


Figura 4 - Rete di crossover a tre vie del second'ordine, Apc.

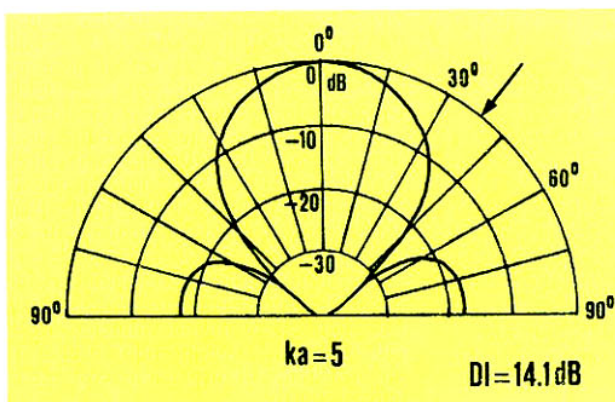


Figura 6
Dispersione
di un pistone
rigido
nella ipotesi
di $ka=5$
(vedi testo)

è riportato lo schema del circuito elettrico equivalente di un generico altoparlante magnetodinamico, che è poi lo stesso anche per un altoparlante montato in un volume chiuso. La resistenza R_e è la resistenza della bobina mobile, L_e è l'induttanza della stessa bobina e gli altri componenti possono essere calcolati come segue: $C_{mec} = Q_{es} / (R_{ex} \times 3,14 \times f_s)$
 $L_{ces} = R_e / (Q_{es} \times 2 \times 3,14 \times f_s)$
 $R_{es} = R_e \times Q_{ms} / Q_{es}$
 L'impedenza del circuito equivalente è la stessa dell'altoparlante che rappresenta. Per calcolare la risposta di un crossover collegato ad un altoparlante si può quindi calcolare la risposta della rete terminata sul circuito di fig. 9. Questo è ap-

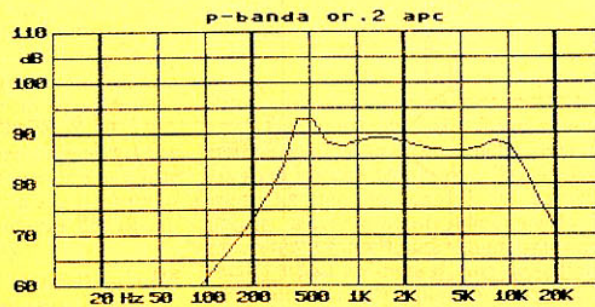
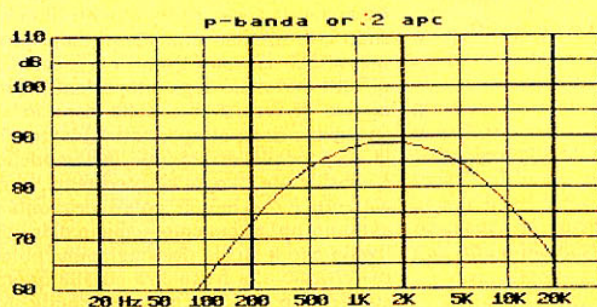


Figura 7 - Risposta in frequenza di un filtro passa-banda progettato per carico resistivo ai morsetti di una resistenza e di un midrange.

fatto di essere viceversa terminato sull'impedenza di un altoparlante. Alla risonanza fondamentale del midrange il filtro vede una impedenza più alta e filtra di meno, così come alle frequenze più alte dove l'induttanza propria della bobina mobile eleva il valore dell'impedenza di carico della rete; a ciò si aggiungono poi altre alterazioni della risposta dovute al fatto che l'impedenza dell'altoparlante varia con la frequenza sia in modulo che in fase, determinando interazioni complesse con la rete di filtro ad esso collegata.

In fig. 8 sono rappresentate a confronto la resistenza di 7 ohm per la quale era

stato calcolato il filtro passa-banda di fig. 7 e l'impedenza del midrange che gli abbiamo collegato.

Il circuito elettrico equivalente all'altoparlante

Il grafico di impedenza di un midrange rappresentato in fig. 8, non è il risultato di una misura diretta sull'altoparlante, bensì di una serie di calcoli effettuati da Cross-64 a partire dai parametri comunicati.

Il funzionamento di un altoparlante può essere infatti studiato risolvendone il «circuito elettrico equivalente»; in fig. 9

punto ciò che fa Cross-64 quando gli viene comunicato che l'impedenza degli altoparlanti non è «compensata».

La rete di compensazione dell'impedenza

È sempre possibile collegare in parallelo all'altoparlante una rete che ne «compensa» l'impedenza in modo che l'impedenza totale altoparlante più rete di compensazione sia equivalente ad una resistenza.

Un filtro di crossover collegato ad un altoparlante dotato di rete di compensazione «vede» a tutti gli effetti una resistenza. Se la rete di crossover è stata calcolata, con le formule pubblicate, per una resistenza di carico uguale alla resistenza (in corrente continua) della bobina mobile (R_e), la sua risposta elettrica ai morsetti dell'altoparlante sarà la stessa già vista il mese scorso. Lo schema di una rete di compensazione completa è riportato in fig. 10 ed i suoi componenti possono essere calcolati con le formule riportate a lato. I valori dei vari parametri possono essere ricavati sia misurandoli direttamente sul componente, ad esempio utilizzando le varie routine di rilevazione offerte dal programma BASS-64 V3.11, oppure possono essere desunti dai dati dichiarati.

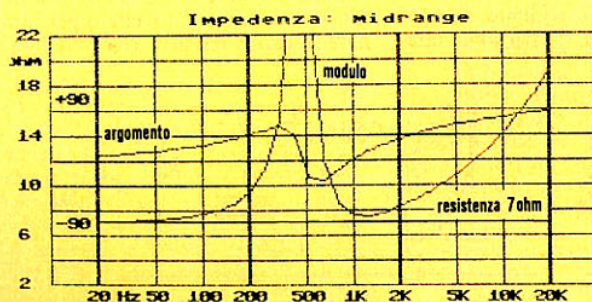


Figura 8
Confronto
fra l'impedenza
di una resistenza
di 7 ohm
e quella
del midrange
utilizzato
come carico
per il filtro
di fig. 7.

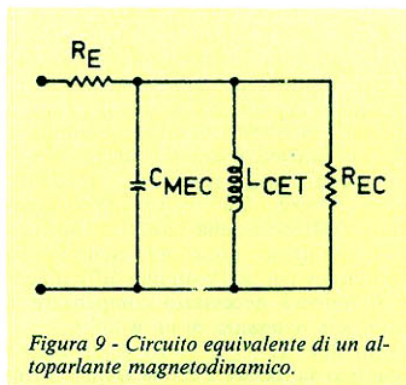


Figura 9 - Circuito equivalente di un altoparlante magnetodinamico.

Quando vorrete compensare l'impedenza di un altoparlante, scoprirete però che spesso i dati dichiarati di midrange e tweeter sono veramente pochi. Il primo problema da affrontare è quello di conoscere la resistenza R_e . Se il costruttore dell'altoparlante che vi interessa non la comunica potete fare almeno tre cose:

- Telefonare al costruttore.
- Misurarla direttamente con un ohmetro in d.c.
- Assumerla uguale a quella di un altoparlante somigliante di un altro costruttore, avente la stessa impedenza nominale.

Ora vi servono la f_s , il Q_{es} , il Q_{ms} e la L_e . Qui i guai sono molto più seri e la sola alternativa ai dati dichiarati ed alla telefonata al costruttore è la rilevazione diretta con il metodo descritto sui numeri 33 (procedura) e 36 (formule) di AUDIOREVIEW. Volendo rischiare (molto) è possibile decidere che il Q_m valga ad esempio «3» (numero che, come è noto, è perfetto e quindi ci sta sempre bene) e stabilire i valori di Q_{ts} e f_s dall'esame della risposta in frequenza dell'altoparlante pubblicata dal costruttore (ad

esempio negli inserti di AUDIOREVIEW) per confronto con le curve di fig. 11. Se avete anche la curva di impedenza il vostro compito è facilitato, dato che la f_s è indicata senza possibilità di equivoci dal picco di risonanza.

Il Q_{es} sarà quindi pari a:

$$Q_{es} = 1 / (1/Q_{ts} - 1/Q_{ms})$$

Rimane in ogni caso il problema di stabilire un valore per l'induttanza L_e . Anche per questo parametro è possibile effettuare una misura diretta sul componente, che però non è facilissima. Se disponete di un ponte di misura RCL potete provare a misurare L_e direttamente, ma ATTENZIONE, la frequenza del segnale utilizzato dallo strumento deve essere di 1000 Hz per la misura dei woofer e di 10.000 Hz per i midrange ed i tweeter.

Se non disponete di un ponte di misura adatto, potete sempre misurare la L_e con il metodo seguente:

- 1) Misurate l'impedenza «Z» dell'altoparlante alla frequenza adatta ($f=1000$ woofer, $f=10.000$ Hz midrange e tweeter).
- 2) Calcolate L_e dalla formula:

$$L_e = \text{SQR}(Z^2 - R_e^2) / (2 \times 3,14 \times f) \times 10^3 \text{ [mH]}$$

Il programma Cross-64 è però in grado di calcolare anche l'impedenza dell'altoparlante nell'ipotesi di un aumento con la frequenza, causato dalla presenza di

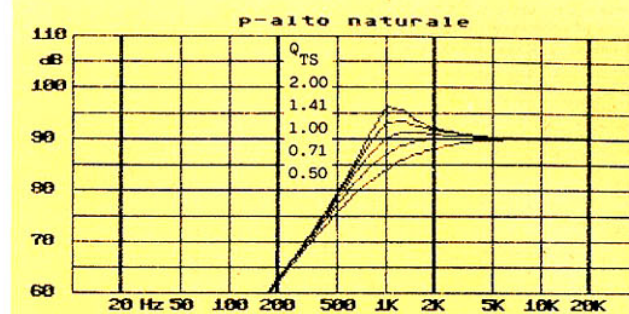
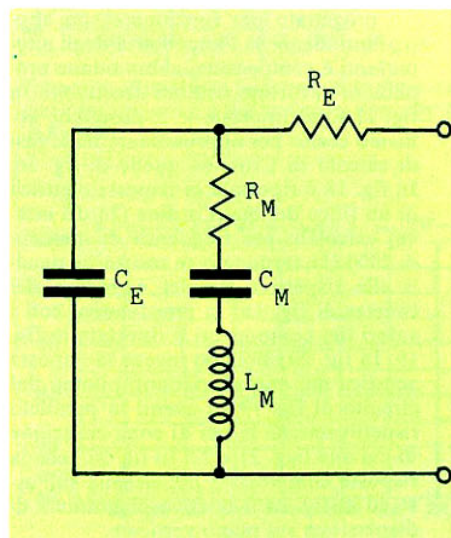


Figura 11 Andamento della risposta in frequenza di altoparlanti magnetodinamici non filtrati, nell'intorno della risonanza fondamentale, per diversi valori di Q_{ts} . La risposta naturale di un qualsiasi altoparlante può essere ottenuta sostituendo alla frequenza di 1000 Hz la f_s dell'altoparlante.

(Per il metodo di misura del valore dell'impedenza dell'altoparlante alla frequenza «f» vedi sempre gli articoli riguardanti il programma BASS-64 dei numeri 33 e 36 di AUDIOREVIEW).

La presenza dell'induttanza L_e in serie agli altri elementi del circuito equivalente dell'altoparlante ha l'effetto di farne aumentare l'impedenza (da una certa frequenza in su) al ritmo di 6 dB/ottava; per nostra sfortuna, negli altoparlanti reali l'impedenza aumenta invece di soli 3 dB/ottava. Ciò significa che il modello che si affida ad una semplice induttanza L_e non è rigoroso. In fig. 12 è riportato l'andamento dell'impedenza per un tipico woofer, i cui parametri sono riportati accanto alla figura, calcolato a partire dal circuito equivalente di fig. 9. In fig. 13 è riportato l'andamento dell'impedenza ottenuta collegando in parallelo all'altoparlante di fig. 12 la rete di compensazione costituita da $R_e=6$ ohm, $C_e=22$ μ F, $R_m=1,14$ ohm, $C_m=557,04$ μ F, $L_m=18,19$ mH; come si vede la compensazione è perfetta.

Il programma Cross-64 è però in grado di calcolare anche l'impedenza dell'altoparlante nell'ipotesi di un aumento con la frequenza, causato dalla presenza di



$$R_e \quad [\Omega]$$

$$C_e = \frac{L_e}{2 R_e} \times 10^3 \quad [\mu F]$$

$$C_m = \frac{1}{2\pi f_s} \times \frac{1}{R_e Q_{es}} \times 10^6 \quad [\mu F]$$

$$L_m = \frac{1}{2\pi f_s} \times R_e' Q_{es} \times 10^3 \quad [\text{mH}]$$

$$R_m = R_e \frac{Q_{es}}{Q_{ms}} \quad [\Omega]$$

Figura 10 Rete di compensazione dell'impedenza di un altoparlante magnetodinamico e relative formule di calcolo (la rete va collegata in parallelo all'altoparlante).

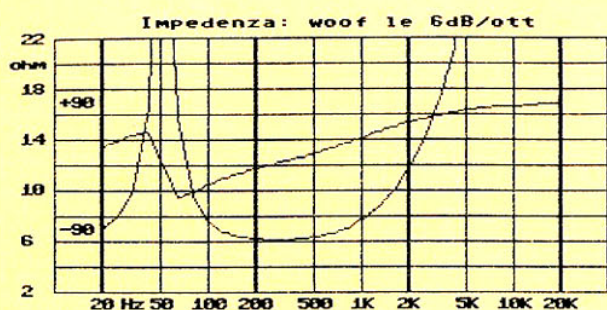


Figura 12 - Andamento dell'impedenza di un woofer e suoi parametri caratteristici utilizzati per il calcolo, ottenuto a partire dal circuito equivalente di fig. 9.

Woofer

dB	90
fs	50
Qt	.8
Qm	5
fa	2000
Qa	1
Re	6
Le	.8

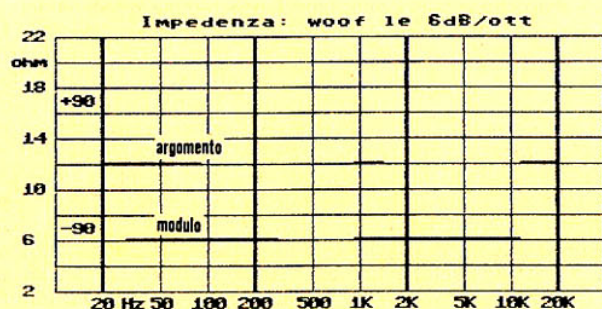


Figura 13 Impedenza del circuito costituito dal parallelo dell'altoparlante di fig. 9 e della sua rete di compensazione dell'impedenza.

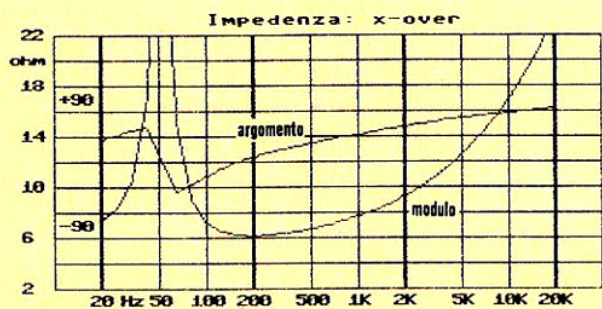


Figura 14 Impedenza dello stesso woofer di fig. 12 calcolato da Cross-64 nell'ipotesi di aumento dell'impedenza a 3 dB/ottava.

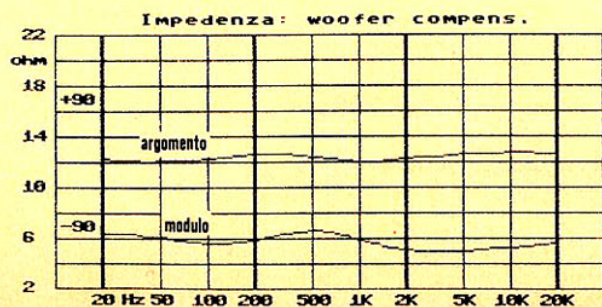


Figura 15 Impedenza ottenuta dal parallelo del woofer di fig. 14 e della stessa rete di compensazione utilizzata per i calcoli di fig. 13.

Le, pari al ritmo reale di 3 dB/ottava; in questo caso l'impedenza dello stesso woofer diventa quella di fig. 14 e con la rete di compensazione il calcolo conduce agli andamenti di fig. 15. Il risultato ottenuto in questo caso è più simile a quello reale ed è ancora adeguato per poter considerare resistiva l'impedenza totale di carico del crossover. Per dimostrare l'efficacia della rete di compensazione abbiamo preso ad esempio un woofer, ma nei casi reali ben difficilmente si renderà necessario compensare il picco alla risonanza di un woofer.

Normalmente, se il filtro è di ordine uguale o superiore a 2 e la frequenza di incrocio è distante almeno tre ottave da quella di risonanza dell'altoparlante, non è necessario compensare il picco che l'impedenza presenta ad f_s (o f_c se si tratta di un woofer in cassa chiusa); ciò equivale ad eliminare dalla rete di compensazione tutti gli elementi tranne R_e e C_e .

Le risposte acustiche degli altoparlanti reali

Ora che conosciamo le formule di progetto di reti di crossover di vario tipo ed ordine terminate su resistenze, e la rete di compensazione in grado di «trasformare gli altoparlanti in resistenze», potremmo credere di essere quasi alla fine del lavoro. In effetti, armati degli strumenti acquisiti potremmo già progettare e costruire sistemi di altoparlanti in grado di funzionare discretamente e di non rompersi, ma solo se siamo molto attenti nella scelta dei singoli trasduttori e della relativa frequenza di incrocio.

Come già detto nella parte II sul n. 46 di AUDIOREVIEW, un corretto presupposto di progetto di un buon sistema a due vie è quello di scegliere due altoparlanti che abbiano le rispettive risposte in frequenza sovrapposte per un buon tratto ai lati della frequenza di incrocio (fig. 16). In questo caso è possibile che anche un filtro progettato per funzionare con altoparlanti ideali, se l'impedenza degli altoparlanti è compensata, abbia buone probabilità di fornire risultati accettabili. In fig. 17 sono riportate le risposte che abbiamo scelto per approssimare nelle fasi di calcolo di Cross-64 quelle di fig. 16. In fig. 18 è riportata la risposta elettrica di un filtro del quart'ordine (24 dB ottava) calcolato per frequenza di incrocio di 2000 Hz, terminato su resistenze uguali alle rispettive R_e del woofer e del tweeter di fig. 16; la rete relativa con i valori dei componenti è riportata in fig. 19. In fig. 20 abbiamo invece la risposta acustica dei due altoparlanti pilotati dal circuito di fig. 19 ed aventi in parallelo rispettivamente le reti di compensazione di cui alle figg. 21 e 22. In fig. 23 ecco la risposta complessiva del sistema sull'asse ed in fig. 24 il relativo diagramma di dispersione sul piano verticale.

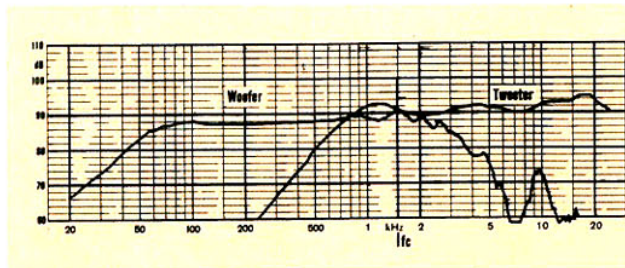


Figura 16 - Risposte in frequenza di un tipico woofer ed un tipico tweeter, utilizzabili per un sistema a due vie (Ciare M. 200.25 CS/Fx-W; MD.26 C/Fx-TW).

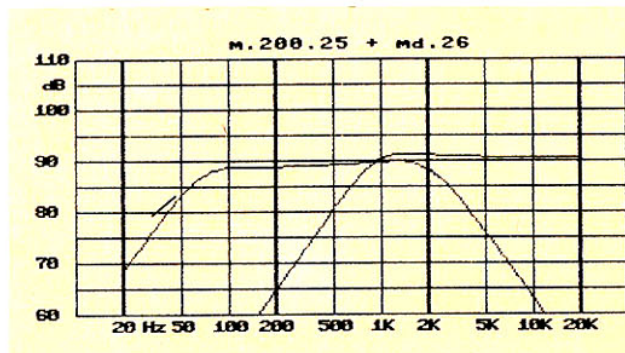


Figura 17 Risposte in frequenza utilizzate da Cross-64 per simulare gli altoparlanti di fig. 16.

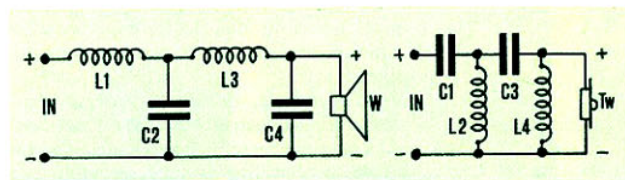


Figura 19 - Rete di crossover a due vie del quart'ordine, Apc, utilizzata per i calcoli relativi alle figg. 18, 20, 23, 24, 25, 26, 27.

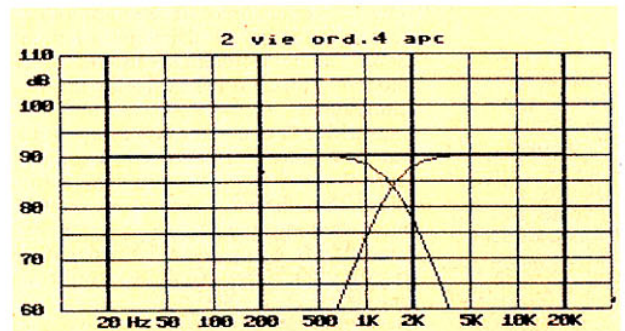


Figura 18 - Risposta in frequenza di un filtro a due vie del quart'ordine, Apc, collegato a due resistenze pari alle Re degli altoparlanti di fig. 16.

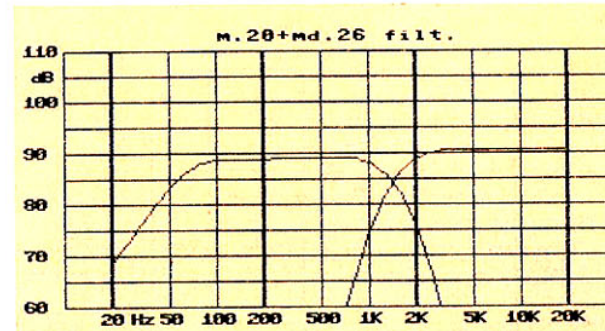
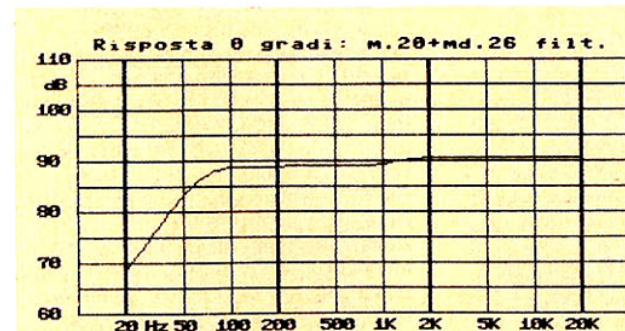


Figura 20 - Risposta acustica dei due altoparlanti di fig. 17 pilotati dallo stesso filtro del quart'ordine di fig. 18, impedenza compensata.



Dati sistema: m.20+md.26 filt.

Distanza woof./tw [cm] = 18
Distanza midr./tw [cm] = 0
Offset woof./tw [cm] = 5
Offset midr./tw [cm] = 0
Fase tw./woofer (+/-) = +
Fase mid/woofer (+/-) = +

Figura 23 Somma acustica delle due risposte di fig. 20 per la configurazione geometrica indicata.

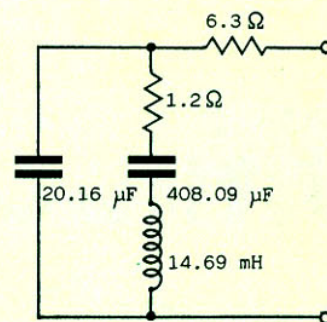


Figura 21 - Rete di compensazione del woofer di fig. 20.

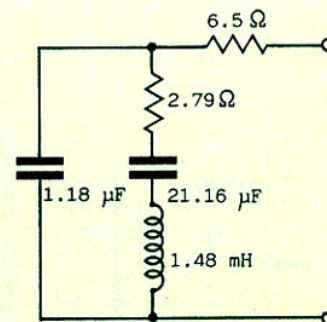


Figura 22 - Rete di compensazione del tweeter di fig. 20.

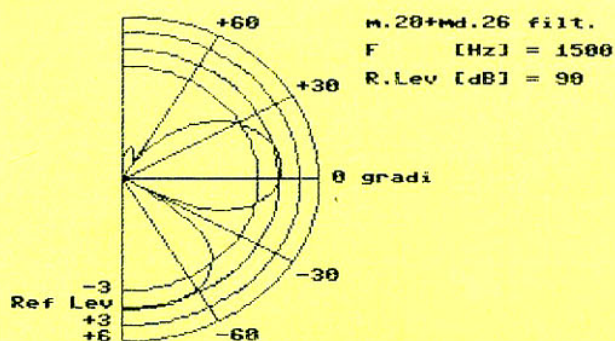


Figura 24
Diagramma polare
verticale
relativo
allo stesso
sistema
di fig. 23.



Figura 25
Modulo e fase
dell'impedenza
del sistema
di figg. 20, 23, 24.

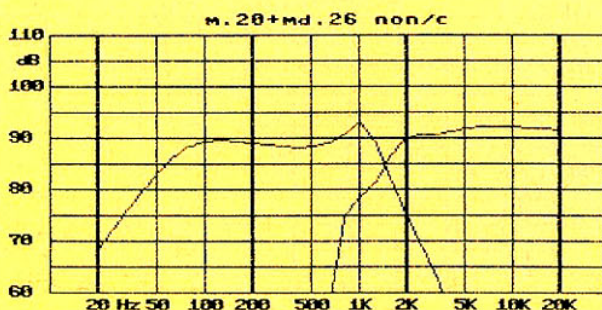


Figura 26
Risposta acustica
ottenibile
nelle stesse
condizioni
di fig. 20
ma senza reti
di compensazione
dell'impedenza.

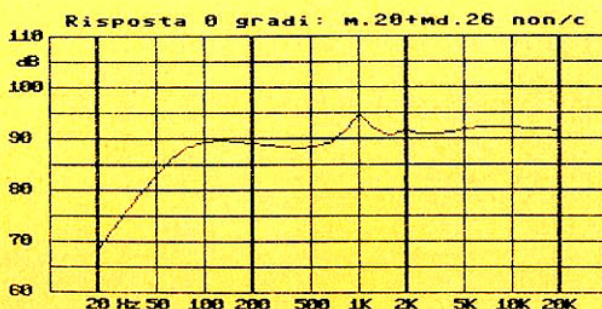


Figura 27
Risposta
complessiva,
somma
delle due risposte
di fig. 26,
per la stessa
configurazione
geometrica
di fig. 23.

Finalmente, in fig. 25, l'impedenza: modulo e fase.

In figg. 26 e 27 sono riportate invece le risposte acustiche degli altoparlanti filtrati e la risposta complessiva che si sarebbero ottenute non compensando l'impedenza dei componenti.

Il mese prossimo

È ormai abbastanza chiaro che, se è ancora possibile progettare e costruire sistemi di altoparlanti affidandosi ad un certo numero di formule di progetto di filtri ideali, caricati da resistenze, e a successive verifiche di ascolto (sempre che poi si sappia dove andare a mettere le mani), il potente strumento di verifica offerto da un adatto programma ed un computer può abbreviare i tempi di progetto e di impiego dei costosissimi strumenti di misura e della camera anecoica in misura determinante.

Il programma che abbiamo scritto per Commodore 64 non può certo essere considerato adatto ad un serio uso professionale, ma è tuttavia dotato di buona parte delle routine di calcolo che formano il nocciolo dei pochi programmi a tutt'oggi esistenti per macchine ben più potenti.

Riteniamo che, dotato di questo strumento, l'autocostruttore possa finalmente progettare sistemi di altoparlanti con ottime probabilità di successo; alla sua eventuale dotazione di strumenti di misura ed alle sue orecchie il compito di effettuare tutti quegli affinamenti resi necessari dalle differenze esistenti fra il modello utilizzato per i calcoli e la situazione reale.

La verifica al computer può essere utilizzata fra l'altro per prevedere il comportamento di sistemi di altoparlanti forniti da circuiti di crossover che in qualche modo attuino una compensazione dell'impedenza ed una equalizzazione della risposta senza fare uso delle reti di compensazione.

Basta una rapida scorsa alle prove pubblicate da AUDIOREVIEW, per accorgersi che la maggior parte dei diffusori commerciali sono privi di reti di compensazione ed adottano per i crossover un dimensionamento dei componenti diverso da quello calcolabile con le formule adatte al caso ideale.

Sul prossimo numero presenteremo estesamente Cross-64 con una serie di esempi che ne chiariscano le potenzialità ed i limiti, e in questa occasione vi faremo toccare con mano come sia possibile prevedere con buona approssimazione la risposta in frequenza e l'impedenza di alcune casse già provate, avendo a disposizione non già un laboratorio ed una camera anecoica per un totale ben superiore, nel migliore dei casi, ai 200 milioni di lire, bensì solo un Commodore 64.

LE RETI DI CROSSOVER

Parte quinta

I costruttori specializzati che utilizzano programmi di simulazione al computer riducono notevolmente i costi derivanti dai tempi di impiego della costosa strumentazione e della camera anecoica. Per la prima volta disponibile anche per l'autocostruttore un sofisticato programma di simulazione per sistemi di altoparlanti che consente una verifica accurata delle prestazioni acustiche ottenibili con reti passive fino al quart'ordine.

di Renato Giussani





In chiusura della parte quarta, pubblicata il mese scorso, abbiamo promesso che questo mese avremmo finalmente presentato estesamente il Programma Cross-64 con una serie di esempi indicativi delle sue possibilità. Chi non ritiene di essere interessato all'uso di un computer per il progetto dei suoi filtri di crossover potrebbe quindi concludere che questa puntata non è per lui. Vorremmo invece insistere, e a maggior ragione proprio con gli autocostruttori che pensano di utilizzare Cross-64, perché «tutti» gli interessati alla autocostruzione di filtri di crossover leggano attentamente anche questo articolo. La conoscenza di alcune delle problematiche affrontate dal programma di progetto sarà di aiuto anche nel caso vogliate affidare il risultato dei vostri sforzi solo alla sperimentazione ed alle prove di ascolto.

Correzioni e precisazioni

Prima di entrare nel vivo degli argomenti di questo mese è d'obbligo raccogliere un poco le idee e correggere alcuni errori ed inesattezze apparsi nelle precedenti puntate.

Come abbiamo detto nella parte terza (AUDIOREVIEW n. 47):

— Ogni crossover richiede una specifica fase di collegamento degli altoparlanti e da esso dipendono le caratteristiche di dispersione del sistema.

In particolare, da quanto scritto nell'articolo ed osservando gli schemi pubblicati alle pagine 78, 79, 80 e 81, si evince che l'unico crossover a richiedere tassativamente un collegamento degli altoparlanti «in fase» fra di loro è il due-vie del quart'ordine (in tutte le sue versioni).

Infatti, mentre il due-vie ed il tre-vie del second'ordine esigono che la fase di collegamento degli altoparlanti delle vie contigue sia rovesciata, per i filtri di ordine dispari la scelta è libera. Alcuni autori consigliano il collegamento «in fase» per i filtri di ordine 1 (6 dB/ottava) e in controfase per quelli di ordine 3 (18 dB/ottava), dato che questo collegamento migliora (nel caso teorico ideale) la risposta ai transienti. Effettuando i collegamenti con fase invertita rispetto a quanto appena detto, il risultato più evidente (e probabilmente l'unico a generare effetti udibili) è il ribaltamento del diagramma polare verticale rispetto all'asse orizzontale contrassegnato «0 gradi».

Fin qui tutto bene, ma attenzione.

— I grafici di dispersione relativi ai filtri di ordine dispari pubblicati a pag. 78,

79 e 81 (AUDIOREVIEW n. 47) si ottengono con una fase di collegamento inversa rispetto a quella indicata negli schemi e nelle tabelline «dati sistema».

A pag. 77, fra le formule del crossover a due vie di ordine 4, la $E=A(1-1/B)$ va corretta in $E=A(1-1/D)$ e la $B=2+2\sqrt{2}$ va corretta in $B=2+\sqrt{2}$.

Un lettore ha telefonato per avvertirci che sul numero scorso i dati della rete di compensazione di fig. 21 non corrispondono con i risultati del calcolo da lui effettuato utilizzando i dati dichiarati dalla Ciare per il woofer M.200.25 CS/Fx-W. Abbiamo ricontrollato i calcoli e a noi risulta tutto corretto, anche se una colpa possiamo senz'altro attribuircelo, ed è quella di non avere precisato con chiarezza che i valori dei parametri da utilizzare per i calcoli, nel caso di un altoparlante dal cestello aperto (come ad esempio un woofer), sono da intendersi «montato in cassa». Ciò equivale a sostituire in fig. 10 (AUDIOREVIEW 48, pag. 95) i termini f_s , Q_{es} , Q_{ms} con i parametri relativi all'altoparlante montato in cassa, cioè f_{ec} , Q_{ec} e Q_{mc} , calcolabili con le formule utilizzate per il programma BASS-64 V3.11 e pubblicate in altre occasioni. Ricordate però che, come già detto il mese scorso, quando il filtro è di ordine uguale o superiore a 2 e la frequenza di incrocio dista almeno tre ottave da f_s (o « f_c »), la compensazione della risonanza può essere considerata superflua. Come è facile verificare, quasi tutti i woofer rientrano in questi limiti e quindi la loro rete di compensazione dell'im-

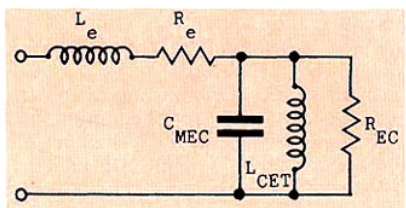


Figura 1 - Circuito equivalente di un altoparlante magnetodinamico.

pedenza potrà essere ridotta ai due elementi R_e e C_e .

A proposito di C_e , per calcolarne il valore è necessario conoscere l'induttanza della bobina mobile. Qualcuno ci ha chiesto se questa doveva essere misurata ad altoparlante montato o a pezzi (sic!); la risposta è semplice: montato. L'uso della formula indicata a pag. 95 del numero scorso è il metodo migliore in assoluto ed è preferibile anche all'uso di ponti RCL di alta qualità, che in questo caso possono fornire valori errati. Attenzione però all'esponente di 10, indicato come -3, mentre doveva essere +3; per chiarezza riportiamo tutta la formula qui di seguito:

$L_e = \text{SQR}(Z^2 - R_e^2) / (2 \times 3,14 \times f) \times 1.0 \cdot 10^{-3} \text{ [mH]}$

nella quale Z è l'impedenza che l'altoparlante assume alla frequenza f , pari a 1.000 Hz per i woofer e 10.000 Hz per i midrange ed i tweeter.

La parte quarta (AUDIOREVIEW n. 48), necessita ancora delle seguenti precisazioni:

— pag. 95, nel circuito equivalente dell'altoparlante in fig. 9, come d'uso presso quasi tutti gli autori, non è stata inserita la induttanza L_e in serie ad R_e . Per chiarezza, in fig. 1 ripubblichiamo l'intero schema completo anche di L_e .

— Pag. 96, la frequenza di incrocio del filtro di fig. 18 non è di 2.000 Hz come scritto nel testo, bensì di 1.500 Hz, come verificabile dai numerosi grafici pubblicati, fra cui il polare di pag. 98 sul quale il dato è scritto in chiaro.

— Pag. 97, in fig. 19 non sono riportati i valori dei componenti, viceversa promessi nel testo. A nostra e vostra consolazione, sappiate che non vi sarebbero stati di alcun aiuto, dato che quell'esempio di filtraggio del quart'ordine è stato riportato esclusivamente per cominciare ad impegnare la vostra e nostra attenzione sulle problematiche che avremmo affrontato questo mese. Infatti le prestazioni riportate sono relative ai altoparlanti simulati dal grafico di fig. 17, ma tutti gli elementi del filtro erano tuttora ideali (privi di qualsiasi resistenza serie).

Per finire (ed era ora!), la fase di collegamento del tweeter indicata in fig. 19 e 23 è quella teoricamente corretta per un filtro del quart'ordine, ma è opposta a quella necessaria per ottenere i risultati riportati in tutti i grafici relativi allo stesso sistema. La necessità di questa inversione è da ricercarsi negli sfasamenti introdotti dalle risposte acustiche dei due altoparlanti e dall'offset di 5 cm supposto per il centro di emissione del woofer (woofer arretrato rispetto al tweeter). Nonostante tutto, tenete presente che la rete che ha conseguito gli ottimi risultati riportati è comunque quella calcolata da Cross-64 per carico resistivo e le uniche operazioni di «adattamento» al pilotaggio di altoparlanti reali, offset compreso, sono consistite nel dotare questi ultimi di reti di compensazione della impedenza ed invertire la fase del tweeter. Resta quindi confermato che in certi casi il calcolo teorico della rete può fornire risultati di tutto rispetto, ma... sarebbe stato altrettanto facile senza Cross-64?

Cross-64 e Cross-Pc

La scrittura del programma Cross-64 ha comportato non poche difficoltà sia per la definizione di tutte le relazioni matematiche necessarie che per la estrema compattazione resasi necessaria per farlo «entrare» nei circa 31 Kbyte di ram utente del C-64 con Simon's Basic. Tale difficoltà è stata aumentata dall'aver voluto a tutti i costi utilizzare una utility di pubblico dominio e di sicuro affidamen-



Figura 2 - Opzioni del menu di apertura di CROSS-PC (Cross-64).



Figura 3 - Opzioni del menu di verifica di CROSS-PC (Cross-64).



Figura 4 - Opzioni del menu di stampa dati di CROSS-PC (Cross-64).

to, ma di notevole lunghezza (il Simon's appunto) e dall'aver rigettato con decisione qualsiasi ipotesi di spezzare il programma in più parti, per facilitare i possessori del solo registratore. Inoltre la stesura in puro Basic era desideratissima per consentire una immediata possibilità di trascrizione per altre macchine, fra cui il PC. La completa dotazione di valori di default per tutti i parametri utilizzati e le numerosissime verifiche sui valori immessi hanno fatto il resto conducendo Cross-64 fino alla rispettabile lunghezza di 25,6 Kbyte. Il programma è strutturato in un notevole numero di procedure e subroutine e si presta quindi abbastanza bene anche alla trascrizione in altri linguaggi, come ad esempio il Turbo-Pascal. La nostra versione per IBM e compatibili è stata ottenuta peraltro trasferendo direttamente il file del 64 dentro un PC ed apportando poi, prima con l'uso del Wordstar (grazie Bo!) e poi a mano, tutte le varianti rese necessarie dalle differenze fra i Basic delle due macchine. Ad operazione ultimata il Cross-PC si presenta con un funzionamento del

tutto simile a quello del Cross-64, ma la possibilità di essere compilato e la buona quantità di memoria ancora a disposizione ne fanno un giocattolo senz'altro molto più appetibile. Ad esempio, mentre Cross-64 per tracciare le tre curve di risposta di un sistema a tre vie e farne la somma nel punto di ascolto impiega circa 4 minuti (e ne sa qualcosa Mauro Neri che ha condotto stoicamente numerosissime ed utilissime verifiche d'uso), Cross-PC compilato (con lo stesso numero di punti di calcolo) quasi non vi dà il tempo di iniziare ad aspettare: 13 secondi!

Come funziona Cross-64?

Quando ho cominciato a pensare seriamente alla possibilità di infilare nel C-64 un programma per il progetto dei crossover (memore del quasi-BASS nella mia HP-97), in realtà non avevo in mente molto di più di una raccolta di formule e di routine di calcolo più o meno note. Procedendo nel lavoro però mi sono convinto sempre più di una verità sacrosanta, che in passato mi aveva sempre dissuaso dal presentare qualsiasi metodo semplificato di progetto di filtri:

— calcolare un crossover per carichi resistivi, collegarvi degli altoparlanti e sperare che il tutto possa funzionare, è e sempre sarà una pura follia. Il più delle volte la frase precedente non perde affatto di validità anche se si procede con cura alla compensazione della impedenza degli altoparlanti, per renderla resistiva, il che è come dire che anche i crossover elettronici, tanto osannati da tante orecchie d'oro soffrono degli stessi problemi (e in più non possono offrire nessun tipo di equalizzazione).

Un programma di progetto che avesse una qualche probabilità di essere veramente utile, avrebbe dovuto essere integrato da una sezione di verifica più completa possibile ed estesa fino a tenere conto delle risposte acustiche dei componenti e del loro posizionamento geometrico.

Ma, procediamo con ordine: la descrizione di Cross-64 e del suo modo di operare chiarirà molti dubbi.

In fig. 2 è presentato il menu d'apertura, al quale si può tornare dagli altri punti del programma da cui è consentito scegliendo l'opzione «Inizio», corrispondente alla pressione del tasto «↑». Lo stesso tasto permette il passaggio immediato dal menu di apertura a quello di «Verifica» (fig. 3).

Fra le opzioni offerte dal primo menu vi è la possibilità di vedere o stampare i dati del progetto in corso, di presentare su video la directory del disco presente nel 1541, di caricare dati da supporto magnetico o di salvarli. Se il programma è stato appena avviato la opzione di salvataggio dati è inibita; la selezione di visualizzazione/stampa dati è invece op-

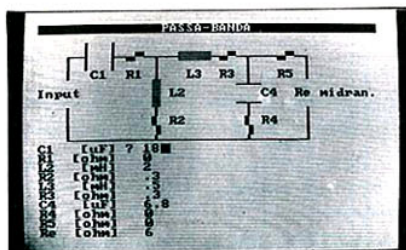


Figura 5d - Presentazione della rete passa-banda da parte di CROSS-PC durante la fase finale di immissione dei valori dei componenti (Cross-64).

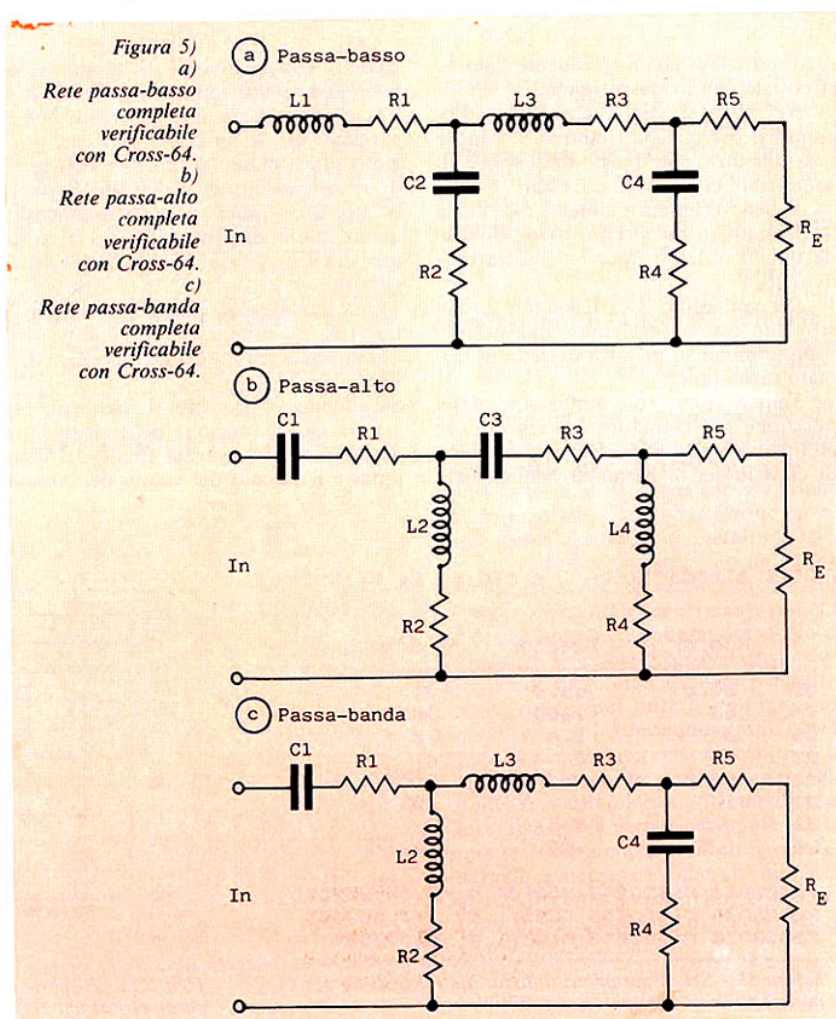
rante, selezionandola (con il tasto «←») viene presentato il menu di stampa, riportato in fig. 4. Fra le opzioni offerte, a programma appena avviato sono inibite quelle di stampa dei parametri degli altoparlanti, della rete di compensazione dell'impedenza e del grafico; è viceversa possibile stampare i dati della rete e del sistema, ma tutti i dati saranno uguali a zero. È importante notare che tutte le opzioni di stampa, se la stampante è spenta o non è collegata possono essere utilizza-

te per visualizzare i dati che interessano sullo schermo; alla successiva pressione di un tasto, tempo pochi secondi (un po' di più per la opzione di stampa grafico, comunque visualizzabile direttamente dal menu di Verifica) verrà ripresentato il menu di stampa e da questo si potrà ritornare a quello iniziale.

Immaginiamo ora di non avere ancora effettuato nessun progetto e quindi di non avere nessun set di dati da caricare dal disco (o dal nastro); la funzione di Carica dati potrà essere comunque utilizzata per una operazione molto importante, ovvero la intestazione dei grafici e delle stampe che il programma fornirà durante il progetto. Per comunicare a Cross-64 il nome del progetto in corso basta richiedere il caricamento dati, scrivere il nome desiderato, selezionare disco o nastro e poi rispondere «no» alla richiesta di conferma; in questo modo non viene caricato niente, ma il nome scelto rimane memorizzato.

Ricordate che:

- Non è possibile caricare set di dati inesistenti.
- Ogni successiva registrazione di dati



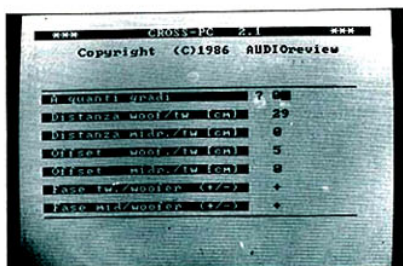


Figura 6 - Maschera di immissione dei dati relativi alla risposta complessiva del sistema.

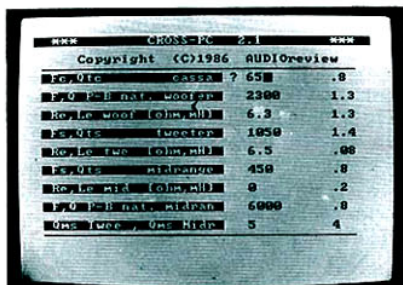


Figura 8 - Maschera di immissione dei parametri degli altoparlanti.

su disco cancella la precedente solo se effettuata con lo stesso nome.

— Nel caso si voglia uscire dal programma, per qualsiasi motivo, è sempre possibile farlo con il tasto di stop e ricominciare con un semplice run.

— È bene effettuare almeno una copia di back-up su un disco a parte, diverso da quello utilizzato per la registrazione dei dati.

— Per comodità, il caricamento da nastro può essere accelerato reregistrando il programma su un'altra cassetta in formato turbo-tape.

— Tenete conto con molta cura della posizione del contatore del registratore all'inizio ed alla fine della registrazione di ciascun set di parametri sulla vostra

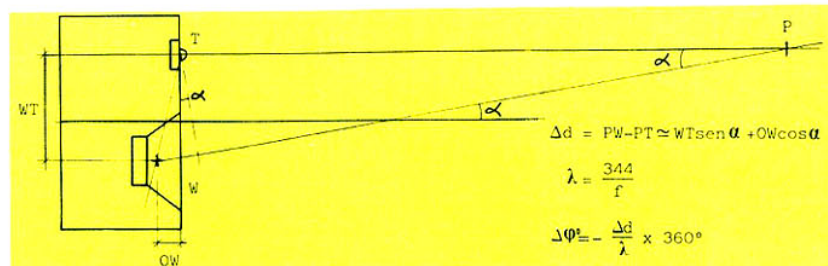


Figura 7 - Geometria del sistema di altoparlanti e formule utilizzate da CROSS-64 per il calcolo degli sfasamenti.

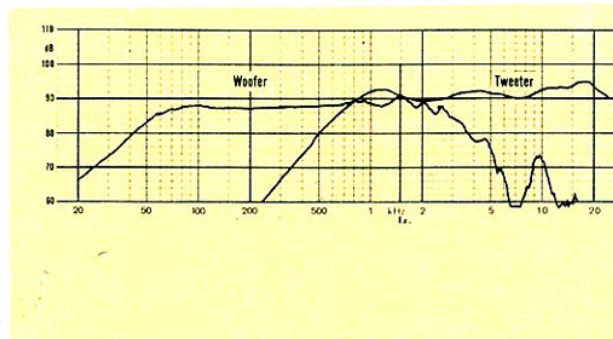


Figura 9 - Risposte in frequenza dichiarate degli altoparlanti Ciare M. 200.25 CS/Fx-W e MD.26 C/Fx-TW.

cassetta dati, ma in special modo segnatevi i nomi esatti con cui li avete registrati; ciò potrà essere utile durante le fasi di caricamento. Ricordate infatti che, posizionando il nastro all'inizio e richiedendo il caricamento di un set successivo al primo, il computer scaricherà automaticamente i nomi diversi ed inizierà il caricamento solo quando avrà trovato il set richiesto.

Tornando ad esaminare il menu di apertura (fig. 2), si nota che vi è una possibilità di scelta fra il «Progetto» e la «Verifica».

Scegliendo il progetto si viene guidati via via alla definizione del tipo di filtro desiderato e la risposta finale del computer è il calcolo del valore dei compo-

nenti necessari per realizzarlo. Il risultato sono reti ideali capaci di prestazioni del tipo di quelle pubblicate nella parte terza, sul n. 47 di AUDIOREVIEW; le formule utilizzate sono quelle di pag. 77 dello stesso numero.

La via della Verifica è invece molto più articolata e complessa. In questo caso, invece di seguire passo passo l'uso di video e tastiera, vediamo di non scontentare troppo gli amici che il computer ancora pensano di non usarlo, chiarendo invece i principi in base ai quali tale fase deve essere utilizzata.

La verifica

Immaginiamo di avere già a disposizione i dati di una rete di crossover, vuoi per-

Dati altoparlanti: m.200/md.26 filt

	Woofer	Tweeter	Midrange
dB	86.8	88.5	90
f _s	68	1000	450
Q _t	1	1.4	.8
Q _m	5	5	4
f _a	2050		6000
Q _a	1		.8
R _e	6.0	6.5	0
L _e	1.3	.08	.2

Pendenza risposta woofer = 0.65 dB/ott
 Pendenza risposta twee. = 1.7 dB/ott
 Pendenza risposta midr. = 0 dB/ott

Figura 10 - Set di parametri utilizzati da CROSS-64 per simulare i due altoparlanti di fig. 9.

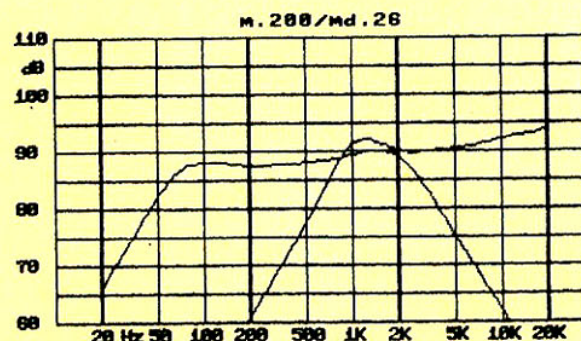


Figura 11 - Risposte in frequenza calcolate da CROSS-64 con il set di parametri di fig. 10.

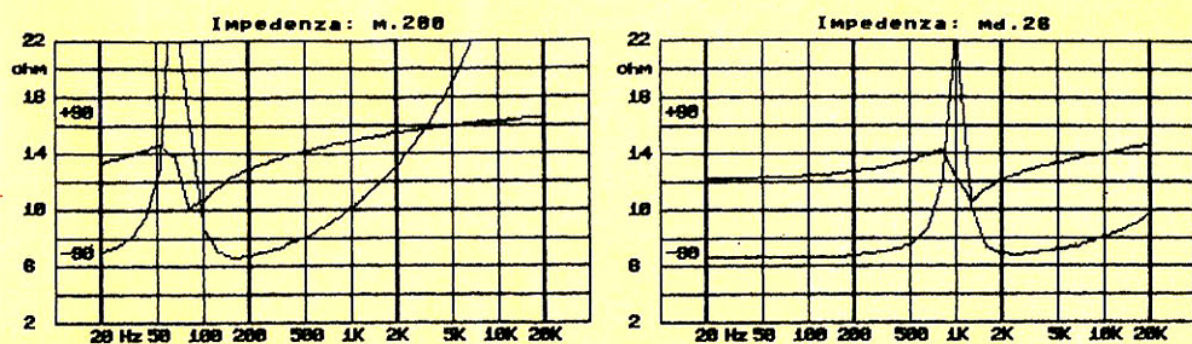


Figura 12 - Impedenza dell'M.200 e dell'MD.26 calcolate da CROSS-64 con i parametri di fig. 10.

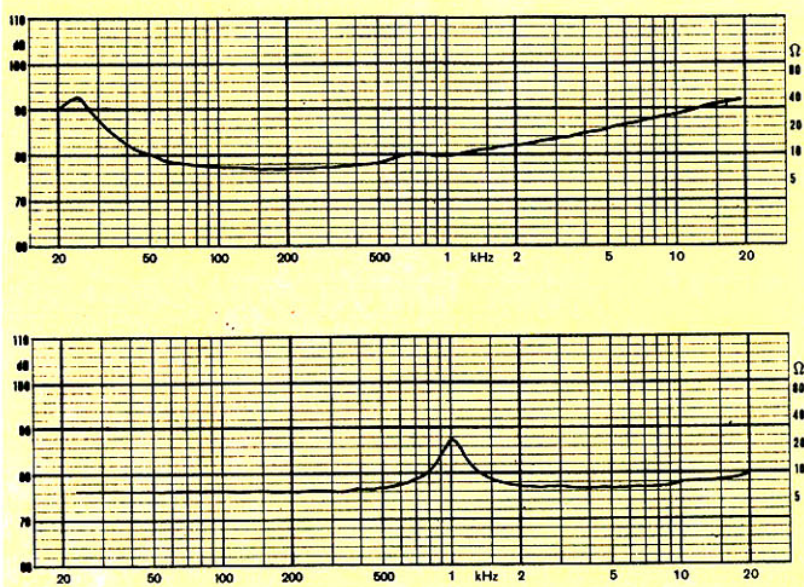


Figura 13 - Grafici delle impedenze dichiarate degli altoparlanti M.200 e MD.26.

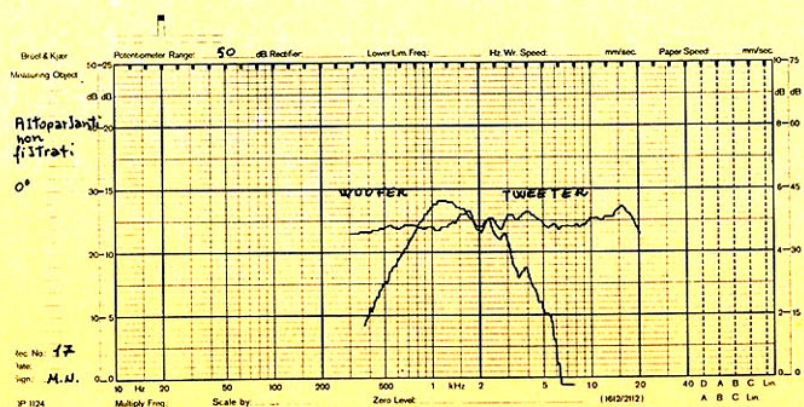


Figura 17 - Risposta in frequenza misurata in campo libero degli altoparlanti M.200 e MD.26 utilizzati per la verifica reale.

ché la abbiamo appena calcolata, oppure perché vogliamo verificare le prestazioni di un filtro esistente. Se la abbiamo calcolata mediante Cross-64 o, che è lo stesso, con le formule del n. 47 di AUDIOREVIEW, non avremo problemi. Nel caso di un filtro già esistente, potremo verificarlo con minore o maggiore precisione quanti più sono i dati di cui siamo a conoscenza, e vedremo via via quali sono quelli richiesti. Resta il fatto che, se la rete non può essere considerata un sottoinsieme della rete generale prevista da Cross-64, una verifica esatta non sarà possibile. In fig. 5 sono riportate le tre reti previste dal programma: in (a) la passa-basso, in (b) la passa-alto ed in (c) la passa-banda; come si può vedere, è previsto un massimo di dieci elementi per ciascuna rete, comprendendo nel numero gli elementi resistivi in serie ai condensatori ed alle induttanze e la impedenza di carico. È possibile attribuire un valore a piacere a ciascuno degli elementi delle reti per costituire il filtro desiderato.

Gli elementi reattivi (condensatori ed induttanze) posti uguali a zero vengono considerati dal programma come «in corto» se in serie al segnale e «assenti» se in parallelo. Fanno eccezione tutte le resistenze, che, se poste uguali a zero saranno sempre equivalenti ad un collegamento diretto (un pezzo di filo). In realtà il funzionamento è leggermente più complesso, dato che la routine di calcolo che risolve la rete e ne fornisce la risposta in frequenza (etc. etc.) è unica per tutte e tre le celle e per tutte le configurazioni previste. A voi comunque questo aspetto potrebbe non interessare, mentre è importante sapere che per inserire un componente reattivo basta attribuirgli un valore diverso da zero e per rendere attiva una resistenza che si trovi in parallelo al segnale è necessario che sia non nullo anche il componente reattivo che le si trova in serie, anche se di valore piccolissimo (o grandissimo).

Qualsiasi valore sia stato attribuito ai componenti della rete, se si desidera che

Cross-64 la consideri scollegata basta porre a zero la resistenza di carico, ovvero la R_e dell'altoparlante relativo. Una volta nota e comunicata al computer la rete di cui si vogliono verificare le prestazioni, sarà già possibile richiedere di calcolarne la impedenza, la risposta in frequenza ai capi del carico ed il diagramma di dispersione verticale, nelle ipotesi ideali già descritte il mese scorso. Questa fase ha scarso interesse pratico, ma un grandissimo valore didattico. Non vi esorteremo mai abbastanza, specie se non siete troppo tecnici o avvezzi alla sperimentazione con le circuitazioni

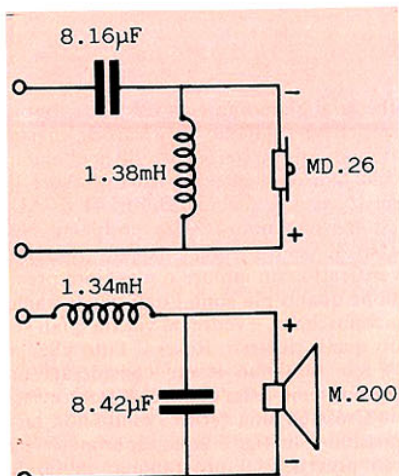


Figura 14 - Filtro del second'ordine apc (12 dB/ottava) calcolato da CROSS-64 per resistenze di carico pari alle R_e dei due altoparlanti di fig. 9.

analogiche, a cominciare a fare esperienza con l'uso del programma iniziando dai casi più semplici, per salire via via di grado e difficoltà solo quando sarete in grado di comprendere il senso e le conseguenze delle vostre scelte. In effetti, la completa padronanza di Cross-64 vi darà la possibilità di modellare la vostra rete di filtro e la vostra cassa acustica con una simulazione talmente realistica che alla fine potrete chie-

dervi perché non suoni. E questo è il punto qualificante del programma, la vostra cassa suonerà e funzionerà proprio come avrete previsto! Per ottenere il «miracolo» basterà abbandonare il computer e costruirla, esattamente come voi stessi avrete deciso. Uno dei segreti per garantirsi il successo della operazione consiste nella capacità di comunicare al computer tutti i dati necessari per simulare al meglio la risposta in frequenza e

la impedenza degli altoparlanti scelti; vedremo poi come si fa.

Dunque, abbiamo detto che Cross-64 (ed ovviamente anche Cross-PC) è in grado di calcolare la risposta in frequenza della rete che voi (o la sezione di progetto) gli avrete comunicato. Questa risposta può essere calcolata sia con il filtro caricato da una resistenza, sia prevedendo come carico un ulteriore circuito, equivalente all'altoparlante che avrete scelto. La risposta viene calcolata per punti, 31 in tutto, ovvero uno per ogni terzo di ottava (in Cross-PC, il doppio); per ciascun punto viene calcolato sia il modulo del segnale che la sua fase ed i due valori vengono opportunamente memorizzati. Dopo avere calcolato ad esempio le risposte delle due reti di un crossover a due vie, è possibile chiedere a Cross-64 di effettuarne la somma; in questa fase (calcolo della risposta «complessiva») il computer sommerà i segnali delle due vie tenendo conto sia dei moduli che delle fasi relative.

Se alle domande della maschera di input della risposta complessiva (fig. 6) si sarà risposto richiedendo la somma acustica delle emissioni per una certa angolazio-

Figura 16a
Risposta
calcolata degli
altoparlanti di
fig. 10 filtrati.

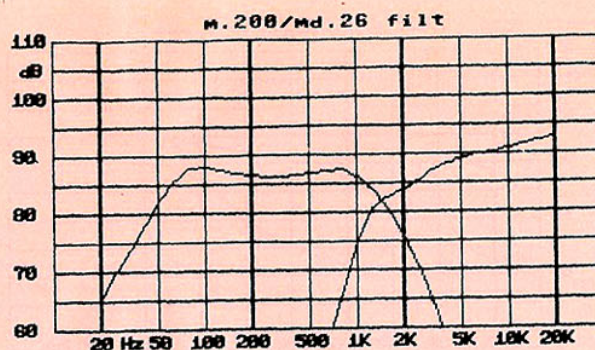


Figura 16b
Risposta
complessiva
calcolata per
collegamento in
fase (corretta) e
in controfase
(buco).

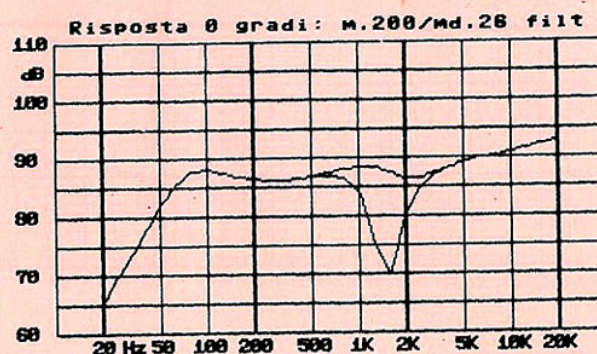
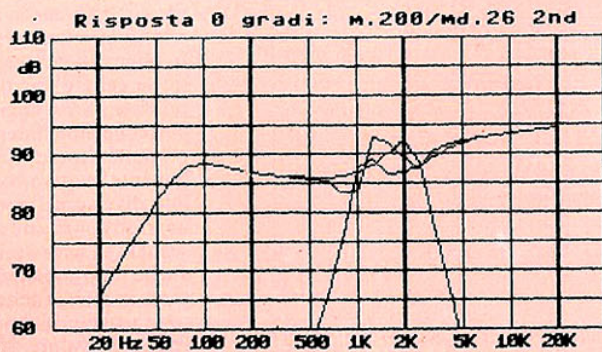


Figura 15
Risposta in
frequenza
calcolata da
CROSS-64 per il
filtro di fig. 14
che alimenta i
due altoparlanti
di fig. 10;
impedenze non
compensate; dati
sistema come da
fig. 16d.



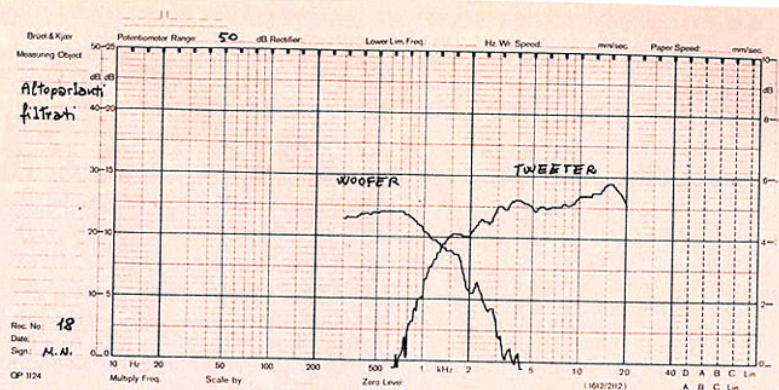


Figura 18 - Risposta degli stessi altoparlanti della fig. 17, filtrati con la rete di fig. 16.

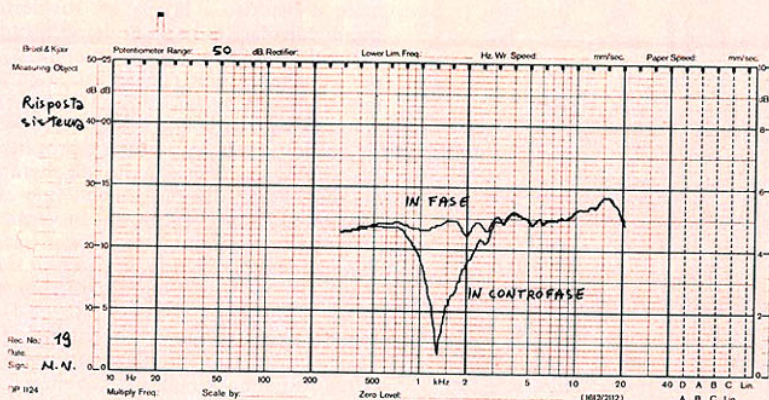


Figura 19 - Risposta complessiva degli altoparlanti di fig. 18 per collegamento in fase e in controfase.

ne verticale rispetto al pannello frontale, oppure si sarà attribuito un offset al woofer rispetto al tweeter (o anche al midrange in un sistema a tre vie), Cross-64 durante la fase di somma attribuirà via via ai segnali gli ulteriori sfasamenti reciproci derivanti dalla geometria indicata. In fig. 7 è spiegata la nascita di questi sfasamenti e come possono essere calcolati.

È possibile sovrapporre più curve di risposta complessiva per diverse angolazioni verticali, o diverse distanze fra gli altoparlanti, o diversi offset, o diverse fasi di collegamento senza dover ricalcolare ogni volta tutta la rete, a beneficio della velocità di esecuzione.

Gli altoparlanti reali

Se tutte le operazioni di verifica fin qui viste sono di notevole interesse nella fase di «allenamento» all'uso del programma e possono essere utilizzate con profitto anche a scopo didattico per comprendere il modo di funzionare di una rete di filtro caricata da resistenze, la sua vera utilità pratica Cross-64 la acquisisce con la attivazione della opzione «Altoparlanti». Viene presentata una maschera di

immissione dati piuttosto complessa (fig. 8) che richiede la conoscenza di tutti i parametri riportati nella tabella di fig. 10. I dati richiesti possono essere noti, ovvero possono essere desunti per tentativi dalla conoscenza delle curve di risposta in frequenza e di impedenza; la risposta degli altoparlanti deve essere stata rilevata in condizioni anecoiche e, possibilmente, su un pannello di dimensioni non troppo dissimili da quello che si prevede di utilizzare. Vedremo nel prossimo paragrafo un esempio che dovrebbe essere abbastanza illuminante in merito. Alla immissione dei dati dei parametri principali degli altoparlanti (ovviamente nel caso di un due vie i parametri del midrange non saranno di nessun peso) segue quella delle sensibilità (livello acustico a 1 metro per 2,83 volt) e la «pendenza della risposta». Questo è un parametro che, unitamente ai dati di f_s , Q_t , f_a e Q_a (questi ultimi relativi al filtraggio naturale passa-basso di woofer e midrange) consente di «modellare» la risposta in frequenza acustica attribuita agli altoparlanti in modo da farla somigliare il più possibile a quella reale. La attribuzione dei giusti valori a f_s , Q_t ,

Q_m , Re ed Le dovrebbe condurre ad una curva di impedenza estremamente simile a quella dichiarata dal costruttore dell'altoparlante; tenete presente comunque che, se siete in possesso di una curva di impedenza attendibile, la sua corrispondenza con quella calcolata da Cross-64 è più importante della corrispondenza dei parametri immessi ai valori dichiarati, ovvero: se per ottenere una curva di impedenza corretta dovete utilizzare dei parametri diversi (si spera non di molto) da quelli dichiarati, questa è comunque la via da preferire.

Una volta comunicati al computer i dati degli altoparlanti e verificate risposta ed impedenza con i dati dichiarati (saranno avvantaggiati i costruttori che le forniscono entrambe), diventa possibile tornare al menu iniziale, passare alla stampa e chiedere i valori dei componenti necessari per compensare la impedenza. Durante le fasi di calcolo della risposta in frequenza, della dispersione e della impedenza sarà sempre possibile richiedere i risultati sia per impedenza compensata che non.

Un esempio

Rispetto al mese scorso, Cross-64 ha subito una ulteriore evoluzione, che gli consente di attribuire una pendenza della risposta anche a midrange e tweeter. Ci è sembrato perciò interessante riprendere in considerazione gli stessi altoparlanti già utilizzati negli ultimi esempi per una verifica un po' più approfondita. Per fissare le idee, sul numero 44 (novembre) di AUDIOREVIEW, abbiamo pubblicato il primo della serie di inserti contenenti i dati tecnici di altoparlanti disponibili per gli autocostruttori, cioè quello riguardante la produzione Ciare. Sui numeri successivi abbiamo poi pubblicato in sequenza i dati di: Sipe, Peerless, Audax, Coral, Kef e proseguiamo in futuro con altre interessanti serie. Per tornare ai Ciare, la nostra attenzione era stata attratta, al tempo del n. 46 di AUDIOREVIEW (Le reti di crossover, parte II) dal woofer M.200.25 CS/Fx-W e dal tweeter MD.26 C/Fx-TW; il motivo del nostro interesse era semplice, le curve apparivano regolari e, come evidenziato anche dalla fig. 16 del mese scorso, ad altoparlanti non filtrati si sovrapponevano per un buon tratto, circa due ottave. Evitati con cura sia il fido Hewlett Packard 9816 che i vari 150 ed IBM sparsi per l'ufficio ed armati di tanta pazienza abbiamo via via comunicato al piccolo Commodore (a proposito, chi di voi crede ancora che sia solo una consolle per videogiochi?) i parametri che ci sembravano più adatti a simulare le risposte in frequenza di fig. 9. Il risultato è riportato nella tabella di fig. 10, nella quale potete constatare che la frequenza di risonanza ed il Q_t del woofer sono evidentemente per l'altoparlante montato in cassa; esercizio: utilizzando BASS-

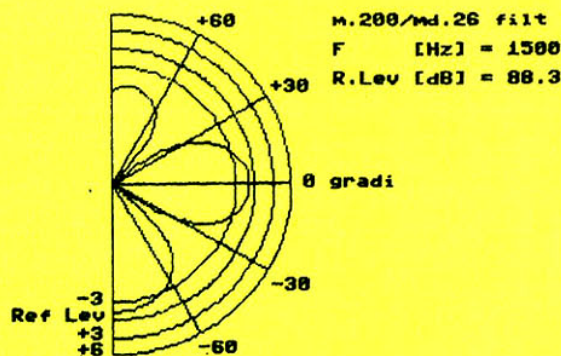


Figura 16c - Dispersione verticale dello stesso sistema delle fig. 16a e 16b, configurato come da fig. 16d.

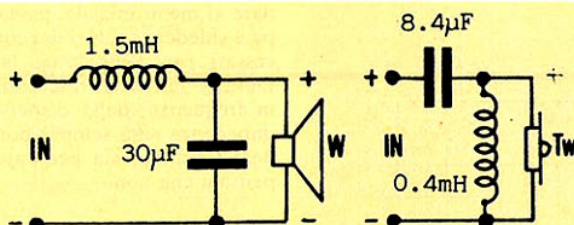


Figura 16 - Schema del filtro del second'ordine utilizzato per le simulazioni e le misure delle fig. 16a, 16b, 16c, 18, 19.

Dati sistema: M.200/MD.26 filt

Distanza woof./tw [cm] = 18
Distanza midr./tw [cm] = 0
Offset woof./tw [cm] = 3.5
Offset midr./tw [cm] = 0
Fase tw./woof. (+/-) = +
Fase mid/woof. (+/-) = +

Figura 16d
Configurazione
geometrica e
fasatura degli
altoparlanti del
sistema di cui
alla fig. 16a, 16b,
16c.

64 V3.11 dite in che volume è stato previsto il montaggio dell'M.200, e con quanta lana di vetro.

OK, in fig. 11 sono riportate le risposte in frequenza dei due altoparlanti, tracciate dal computer con i dati di fig. 10, che come vedete sono abbastanza diverse da quelle del mese scorso. Notate, che per ottenere questo risultato è importante non basarsi esclusivamente sulla osservazione dell'andamento delle curve, ma è necessario rilevare i livelli in dB spl per diverse frequenze (soprattutto nell'intorno della frequenza di incrocio) e fare passare le curve calcolate per gli stessi punti. Notate anche che i grafici Ciare sono tracciati su carta bassa, nella quale ad ogni divisione corrispondono 2 dB. Per costringere Cross-64 a tracciare le curve di risposta degli altoparlanti senza filtro basta porre a zero tutti gli elementi delle reti escluse le resistenze degli altoparlanti stessi, ovvero: gli altoparlanti ci sono, i filtri no. Semplice no?

Con lo stesso metodo è possibile (e, quando possibile, altamente raccomandabile) verificare anche la impedenza degli altoparlanti senza filtro. In questo caso però non sarà mai possibile rappresentare le impedenze su uno stesso grafico. Cross-64 infatti, quando richiesto di calcolare la impedenza, prima la presenta su scala logaritmica per le diverse vie separatamente, e poi passa al calcolo del parallelo di tutte le vie attive (cioè con altoparlanti non a zero). Per ottenere i grafici di fig. 12 abbiamo quindi prima posto a zero la resistenza Re del tweeter e poi quella del woofer, ed il gioco è fatto. Per decidere il valore delle Le riportate in fig. 10 abbiamo utilizzato la formula di calcolo di cui sopra, immettendo i valori di Z a 1.000 e 10.000 Hz desunti dai grafici di impedenza dichiarata (fig. 13); fate attenzione che le curve di impedenza pubblicate nell'inserto del n. 44 (ed anche quelle di fig. 13) sono tracciate su scala logaritmica, con la consueta sca-

la che scatta di 2 dB a divisione. Per conoscere il valore dell'impedenza ad una certa frequenza, dopo aver verificato che questa è un certo numero «n» di dB più in alto rispetto ad un valore della scala contrassegnato in chiaro, basta moltiplicare questo valore per $10^{(n/20)}$. Ad esempio, la impedenza dell'MD.26 a 10 kHz è circa 4 dB superiore al valore di 5 ohm, da cui $Z(10 \text{ kHz}) = 5 \times 10^{(4/20)} = 7,92 \text{ ohm}$.

Un filtro del second'ordine

A conclusione dell'esempio, proviamo a dotare i due soliti altoparlanti di un filtro facilmente riproducibile. Dapprima abbiamo chiesto a Cross-64 di fornirci i valori di un filtro del second'ordine con frequenza di incrocio 1.500 Hz, caricato da resistenze pari alle Re degli altoparlanti, il risultato è in fig. 14. Richiesto poi di calcolare la risposta dei due altoparlanti filtrati e la risposta complessiva, per impedenza non compensata, abbiamo ottenuto la magnifica fig. 15. Qui si è valsa un poco della mia nobilitate, (ovvero: le notti insonni passate a progettare casse!) che mi ha suggerito di alterare via via i valori dei componenti fino ad arrivare ai risultati di fig. 16. In verità i valori previsti erano un poco diversi, ma i componenti che Mauro Neri ed io siamo riusciti a reperire in ufficio nel poco tempo a disposizione per verificare l'esempio avevano valori leggermente diversi e così ci siamo accontentati; i valori indicati sono dunque sia quelli usati per i calcoli che quelli dei componenti che abbiamo poi collegato agli altoparlanti reali.

E questo è il momento più emozionante di tutto il progetto, quando la cassa «esce» dal video per diventare un oggetto vero, che deve essere collegato con veri fili ad un vero filtro e che infine «suona». Avendo a disposizione un laboratorio dotato di strumentazione Bruel & Kjaer, Gating System e via discorrendo, siamo passati alla misura acustica del sistema; posto il microfono ad 1 metro di fronte alla cassa, ecco quindi in fig. 17 la risposta in frequenza dell'M200 e dell'M.26 usati per la verifica reale; in fig. 18 la risposta degli stessi filtrati, ed in fig. 19 finalmente la risposta complessiva sull'asse, in fase (somma corretta) ed in controfase (buco). La curva del woofer non è stata rilevata al di sotto dei 300 Hz perché le misure sono state effettuate con il Gating System in una stanza piuttosto piccola.

In chiusura dell'articolo scorso avevamo promesso di pubblicare anche alcuni confronti fra curve di risposta calcolate e misurate di alcune casse provate, purtroppo lo spazio è tiranno e, finiti gli argomenti più importanti rimane ancora moltissimo da dire. Arriverci quindi alla prossima puntata con nuovi interessanti e realizzabili esempi.

www.renatogiussani.it