

La gamma di frequenze percepite dall'orecchio umano si estende mediamente da 20 a 20.000 Hertz; la maggior parte degli altoparlanti elettrodinamici convenzionali non è però in grado di riprodurre con linearità l'intero spettro dell'udibile, ed è pertanto

necessario suddividere la banda audio in porzioni di minore ampiezza, affidandone la riproduzione a trasduttori specializzati ad operare in un determinato intervallo di frequenze. Per effettuare tale partizione vengono solitamente utilizzati dei circuiti di crossover passivi, che filtrano il segnale in arrivo dall'amplificatore di potenza inviandone la giusta frazione ai vari altoparlanti del sistema. I circuiti di crossover possono essere composti di varie sezioni (Fig. 1), a seconda delle caratteristiche del sistema di altoparlanti cui vengono applicati: i filtri passa basso limitano lo scorrimento delle alte frequenze, e si utilizzano con altoparlanti progettati espressamente per la produzione della gamma bassa o mediobassa (woofer, midwoofer). I filtri passa banda effettuano un taglio della risposta sia in bassa che in alta frequenza, e sono dedicati ad altoparlanti sviluppati per la riproduzione della gamma media (midrange). I filtri passa alto, infine, si oppongono al passaggio delle frequenze inferiori, per un impiego con altoparlanti atti a riprodurre esclusivamente la gamma alta (tweeter). I filtri di crossover utilizzano componenti reattivi detti induttori e condensatori, che hanno la caratteristica di offrire un valore di resistenza variabile a seconda della frequenza: negli induttori la resistenza allo scorrimento di corrente continua è nullo, mentre al crescere della frequenza aumenta progressivamente, opponendosi dunque al passaggio del segnale. Viceversa i condensatori si comportano in maniera diametralmente opposta: la resistenza offerta allo scorrere di corrente continua è altissima, per diminuire gradualmente al salire della frequenza. Nei filtri crossover spesso vengono utilizzate anche delle resistenze, che permettono di attenuare altoparlanti troppo sensibili o, se poste in serie a componenti reattivi, di smorzarne l'intervento, per ottenere risposte acustiche dall'andamento più dolce. Le tre caratteristiche fondamentali che descrivono i filtri passivi sono la pendenza di attenuazione, la frequenza di taglio ed il fattore di merito. La pendenza di attenuazione definisce la ripidezza con cui

Human ear can hear frequencies from 20 to 20000 Hertz. Most conventional loudspeakers, however, cannot reproduce the whole audible spectrum with linearity; it is therefore necessary to divide the audio band in smaller

ranges, having specialised speakers that work in a particular frequency spacing reproduce them. Passive crossover circuits are usually employed in order to make this division; they filter the signal they receive by power amplifiers and send the right part to various speakers in the system. Crossover circuits can consist of several sections (Pict. 1), according to the features of the speakers system they are used with; low pass filters choke off high frequencies and are employed with speakers which reproduce low or mid frequencies (woofers and midwoofers). Bandpass filters choke off the lows and highs and are dedicated to those drivers that reproduce mid frequencies (midranges). High-pass filters oppose the lows and are therefore employed with those speakers that exclusively reproduce highs (tweeters). Crossovers use reactive components called inductors and capacitors, whose resistance varies according to frequency. Inductors don't oppose to direct current flow; however, their resistance increases proportionally to frequency, blocking signal passage. Capacitors act in the opposite way: they oppose direct current flow and their resistance gradually decreases when frequency increases. Crossovers often employ also resistors, that permit to attenuate too efficient speakers or, when wired in series with reactive components, to damp the latter in order to get smoother response. Filters fundamental features are slope,

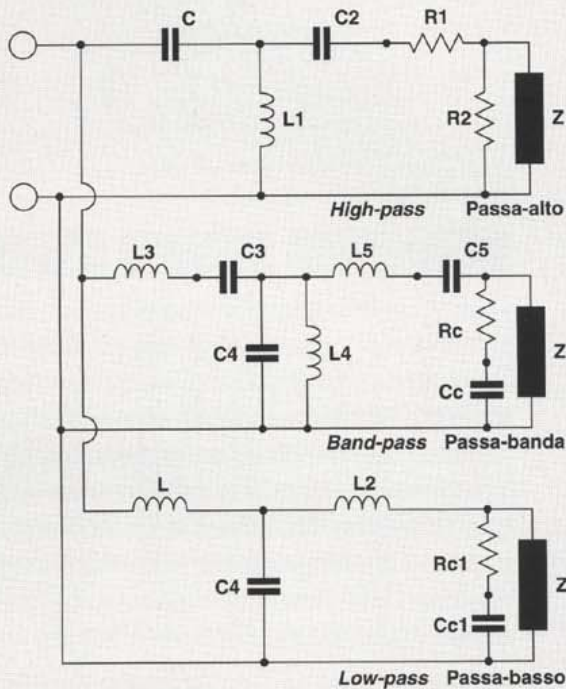


Fig. 1: Schema di un filtro a tre vie con passa-alto, passa-banda e passa-basso, simulato su impedenza virtuale, completo di partitore resistivo per passa-alto e celle di compensazione dell'impedenza per passa-banda e passa-basso.

Pict. 1: Diagram of a three-way filter with high pass, bandpass and low pass, simulated on virtual impedance and provided with resistive divider for the high pass and with impedance resonant notches for bandpass and low pass.

- Condensatore = = Capacitor
- Induttore = = Inductor
- Resistore = = Resistor
- Impedenza dell'altoparlante = = Speaker impedance
- Frequenza di taglio =  $f_c$  = Cut-off frequency

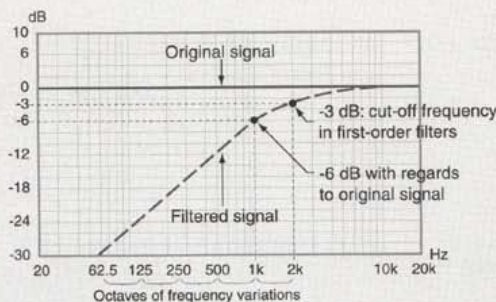


Fig. 2: In filtri del 1° ordine, ogni ottava di variazione in frequenza, il segnale filtrato cala di 6 dB rispetto al segnale originale: 6 dB/Oct. Ottava: multipli e sottomultipli di una frequenza data.

Pict. 2: In first-order filters, filtered signal decreases of 6dB with regards to original signal every frequency octave: 6dB/Oct. Octave: multiples and submultiples of a given frequency.

cut-off frequency and Q.

Slope represents the steepness with which filter opposes to signal flow; it indicates how many decibels are rolled off per octave beyond the cut-off point (dB/Oct.). A single reactive component in series with signal produces 6dB/Oct. slope attenuation; if circuitry is more complex and you use more components, you can get higher slopes



un filtro limita lo scorrimento del segnale, e viene descritta mediante la quantità di decibel di attenuazione per ogni ottava di variazione di frequenza (dB/oct).

Un solo componente reattivo in serie al segnale produce una attenuazione con pendenza di 6 dB/oct, mentre aumentando la complessità della struttura elettrica ed il numero di componenti utilizzati si può arrivare a pendenze anche superiori ai 24 dB/oct. La pendenza di attenuazione viene inoltre definita come "ordine" del filtro: 6 dB/oct corrispondono ad un filtro del primo ordine, 12 dB/oct ad un secondo ordine, 18 dB/oct ad un terzo ordine, 24 dB/oct ad un quarto ordine (Fig. 3).

La frequenza di taglio di un filtro del primo ordine corrisponde al valore di frequenza in cui si verifica una attenuazione di 3 dB rispetto al segnale originale, mentre per filtri di ordine superiore individua la frequenza in cui la reattanza di tutti i componenti è identica e si verifica la risonanza del filtro (vedi fig. 2).

Questa risonanza è inoltre descritta dal valore Q: il Q o "fattore di merito" di un filtro di ordine superiore al primo (un filtro a 6 dB/oct non ha risonanze e dunque non può essere identificato da un particolare valore di Q) dipende dal rapporto ponderale dei vari componenti del filtro ed indica lo smorzamento elettrico del sistema, vale a dire il rapporto tra la quantità di energia immagazzinata alla frequenza di risonanza e la quantità di energia dissipata sempre alla stessa frequenza. Variare i valori dei componenti di un filtro, mantenendone

invariata la frequenza di taglio, modifica l'andamento del ginocchio della curva di attenuazione, esaltandone od attenuandone la risposta nei dintorni della frequenza di risonanza. Nel corso degli anni diversi studiosi hanno conferito il proprio nome a differenti Q dei filtri, cosicché si parla di filtri del tipo Butterworth (Q= 0.707), Bessel (Q= 0.58) o Linkwitz-Riley (Q= 0.49) (Fig. 4).

L'allineamento utilizzato più frequentemente è il Butterworth, grazie alle ottime caratteristiche di smorzamento elettrico, ed a questo fanno riferimento le tabelle riportate in fondo al catalogo (Pag. III); è possibile comunque utilizzare filtri con fattori di merito differenti da quelli suggeriti, per adattare al meglio le caratteristiche degli altoparlanti utilizzati o risolvere dei problemi particolari, legati ad esempio alle risonanze che si verificano in abitacolo o alle riflessioni interne di una cassa acustica.

In queste situazioni la modifica del Q permette di adattare la risposta in frequenza alle specifiche desiderate: un filtro dal Q basso permette di minimizzare delle risonanze fastidiose in gamma di incrocio, tipiche di alcuni tweeter poco smorzati o collocati in posizioni anguste, mentre un Q più alto del solito conferisce un maggior brio in una ristretta fascia di frequenze (ad esempio nel filtro passa basso di un sistema a due vie con midwoofer di diametro pari o superiore a sedici centimetri nominali dove a volte si può avvertire una carenza di energia in gamma media). Ogni filtro di crossover (Fig. 5) introduce inoltre degli sfasamenti elettrici del segnale in uscita rispetto a quello di entrata; in pratica la tensione presente ai capi dell'uscita del circuito risulta in ritardo o in anticipo la seconda del

than 24dB/Oct. Slope is also defined as filter "order"; 6dB/Oct. corresponds to a first-order filter, 12dB/Oct. corresponds to a second-order filter, 18dB/Oct. corresponds to a third-order

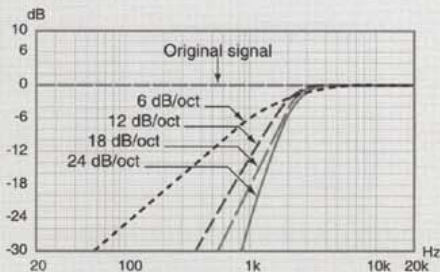


Fig. 3: Si noti come, a parità di frequenza di taglio, la pendenza risultante in filtri di ordine superiore al primo è sempre più limitata.

Pict. 3: With the same cut-off frequency, frequency response of filters whose order is higher than the first is always more limited.

filter, 24dB/Oct. to a fourth-order one (Pict. 3). First-order filter cut-off frequency is where there is a 3dB attenuation of the original signal; second-order, third-order, fourth-order filters cut-off frequency is where all components have the same reactance and where filter resonance occurs (see Pict. 2). This resonance is expressed by Q. A first-order filter (6dB/Oct.) doesn't have resonance and, therefore, cannot be identified by any Q value. For higher-order filters, Q depends on the proportional ratio among the filter components and indicates the system electric damping; thus, it depends on the ratio between stored energy and dissipated energy at resonance frequency.

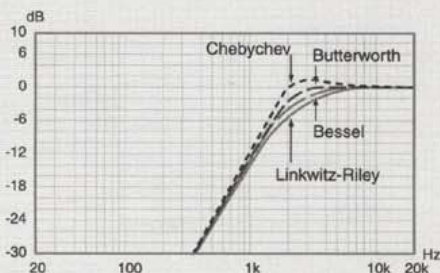


Fig. 4: Nei pressi del ginocchio della curva, a parità di frequenza di taglio, differenti Q producono differenti risposte

Pict. 4: Around the curve knee, with the same cut-off frequency, different Qs provide different responses.

If you vary the values of the filter components without changing cut-off frequency, you modify the attenuation curve knee, changing response around resonance frequency (see Pict. 4). Several researchers have given their names to different filters Q; that's why you speak of Butterworth (Q = 0.707), Bessel (Q = 0.58) or Linkwitz-Riley (Q = 0.49) filters (Pict. 4). Thanks to its very good electric damping, the

most used Q is Butterworth; the tables at the end of this catalogue refer to it (see Page III). In order to better fit the features of the speakers you employ or to solve special problems, depending for instance on car compartment resonance or enclosures internal reflections, you can even use filters with different Q from those mentioned above. In these cases you can make frequency response suitable to the results you like to get by modifying Q: a low Q filter minimises troublesome resonance in the crossover point, typical of some efficient tweeters or of tweeters placed in narrow locations; a higher Q usually makes a specific frequency range brighter (for instance, in case of a low-pass filter of a two-way system with 16cm DIN size or bigger diameter midwoofer where you can sometimes hear energy shortage in the mids). Every crossover makes output signal be out-of-phase with regards to input one; this means that voltage at the output circuit ends is delayed or anticipated (it depends on filter type) with regards to input voltage according to frequency (Pict. 6). An inductor wired in series with a driver (first-order low pass filter) generates -90° phase shift; vice versa, a capacitor in series (first-order high pass filter) generates +90° phase shift. Every speaker connected to a crossover is, therefore, shifted according to filter type (low pass or high pass). You can need to shift the electric phase of one or more drivers in a system in order to make its response more coherent.



tipo di filtro) rispetto alla tensione applicata in ingresso, in modo variabile a seconda della frequenza (Fig. 6). Una induttanza posta in serie ad un altoparlante (filtro passa basso del primo ordine) produce ad esempio una rotazione di fase di  $-90$  gradi, viceversa un condensatore in serie (filtro passa alto del primo ordine) produce una rotazione di fase di  $+90$  gradi; ogni altoparlante connesso ad un filtro crossover viene dunque sfasato temporalmente in modo dipendente dalla tipologia del filtro, ed in alcuni sistemi può essere necessario invertire la fase elettrica di uno o più trasduttori per rendere maggiormente coerente la risposta acustica complessiva.

E' da sottolineare che tutti gli esempi precedentemente riportati fanno riferimento ad un carico ideale, rappresentato da una resistenza di  $4$  ohm. Ogni sistema di altoparlanti presenta però caratteristiche elettriche del tutto differenti e una emissione acustica variabile nello spazio, in funzione del tipo e del numero di altoparlanti che lo costituiscono e della reciproca posizione rispetto al punto di ascolto. Ogni circuito crossover deve essere dunque dedicato ad un particolare sistema di altoparlanti, con un risultato acustico strettamente dipendente dalla sinergia che si crea tra filtro e trasduttori.

A differenza di una resistenza, il carico offerto da un altoparlante elettrodinamico ad un filtro è fortemente reattivo, con componenti induttive e capacitive (vedi schema di riferimento a pag. 48): nei dintorni delle frequenze di risonanza si verifica un picco della resistenza, seguito da una rapida discesa verso valori prossimi a quelli della resistenza in continua (Fig. 7). Salendo verso le alte frequenze diviene rilevante la componente induttiva ed il modulo dell'impedenza (la resistenza che offre la bobina allo scorrere di corrente, al variare della frequenza) aumenta progressivamente di valore: il filtro vede dunque una resistenza variabile con la frequenza ed attenua alcune frequenze più di altre. Per questo motivo considerare esclusivamente le formule riportate per la frequenza di taglio non assicura un risultato coerente con le aspettative ed in alcuni casi sarà

necessario compensare l'impedenza del trasduttore per renderla simile ad una resistenza. In fig. 8 è visibile l'effetto di un filtro del primo ordine terminato su un tweeter convenzionale: il picco dell'impedenza che si verifica alla frequenza di risonanza raggiunge il valore di  $7.5$  ohm, ed a questa frequenza l'azione di filtraggio risulta particolarmente blanda; la risposta in frequenza del trasduttore filtrato non corrisponde a quella desiderata, con uno scalino in

Please note that all previous examples refer to an ideal load, represented by a  $4$  ohm resistance. Every system has, however, proper electric features and variable acoustic response in space according to the type and number of speakers that form it and to their mutual location with regards to the listening point. Thus, every crossover circuit has to be exclusively designed for one speakers system; the acoustic results of the latter closely depend on the synergy between filter and drivers. Differently from a resistor, the load that a speaker provides the filter with is reactive and has inductive and capacitive components (see reference chart, page 48). A resistance peak occurs around resonance frequency, followed by quick droop to values that are close to direct current resistance (Pict. 7). Inductive component gets more important the higher frequency is and impedance (i.e. the opposition of the voice coil to current flow at any frequency) increases accordingly: the filter sees resistance that changes according to frequency and it attenuates some frequencies more than others. That's why results not meet your expectations although you will have followed all formulas; in some cases, you will even need to compensate for the driver impedance in order to make it similar to resistance.

Pict. 8 shows the effects of a first-order filter connected to a standard tweeter: the impedance peak that occurs at resonance frequency reaches  $7.5$  Ohms; filtering is quite weak at this frequency. Filtered speaker frequency response is not the desired one and shows a ripple close to resonance which depends on weak attenuation. The driver might be excessively stressed in this situation and break down. If you wanted to maintain a first-order filter slope, you'd have to compensate for resonance frequency impedance peak by using a resonant notch. RCL notches are electric resonant devices

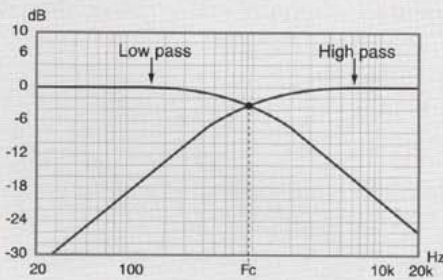


Fig. 5: Risposta elettrica in ampiezza di filtri a due vie del 1° ordine  
Pict. 5: Electric response of two-way, first-order filters.

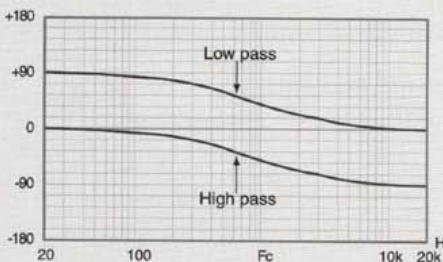


Fig. 6: Sfasamento introdotto dai componenti sul segnale in uscita dal filtro.  
Pict. 6: Phase shift that components cause on the filter output signal.

Alignment Type	Order Type	Attenuation dB/Oct	Cut-off Frequency	Q Factor	Crossover acoustic level	Shift Degrees
Butterworth	1°	-6	-3 dB	...	+3 dB	90°
	2°	-12	-3 dB	0,707	+3 dB	180°
	3°	-18	-3 dB	0,707	0 dB	90°
Linkwitz-Riley	2°	-12	-6 dB	0,49	0 dB	180°
Bessel	2°	-6	-3 dB	0,58	+1 dB	180°
Chebyshev	2°	-12	-0 dB	1,00	+6 dB	180°

consisting of an inductance, a capacitor and a resistor that absorb energy in a limited frequency range and flatten impedance. Setting up this type of circuit is, however, very difficult; the smallest mistakes in calculating resonance frequency can make its intervention useless or harmful. A high-order filter, that is less affected by impedance quick variations, permits to minimise this problem: as you can see in pict. 10, 12dB/Oct.



corrispondenza della risonanza dovuto alla scarsa attenuazione. E' da sottolineare che in questa situazione il componente potrebbe risultare eccessivamente sollecitato, con rischi di rottura. Se si volesse comunque mantenere un filtro con pendenza del primo ordine diverrebbe indispensabile compensare il picco dell'impedenza alla frequenza di risonanza mediante l'utilizzo di una cella risonante: le celle RCL (Fig. 9) sono dei risuonatori elettrici composti da una induttanza, un condensatore e una resistenza che assorbono energia in un ristretto intervallo di frequenze, linearizzando l'andamento dell'impedenza. Questo tipo di circuito risulta però piuttosto delicato nella messa a punto, anche piccoli errori nel calcolo della frequenza di risonanza possono vanificarne l'intervento e renderne controproducente l'impiego. Un filtro di ordine superiore, meno sensibile alle repentine variazioni del modulo dell'impedenza, permette di minimizzare questo problema: come visibile in fig. 10 la pendenza di 12 dB/oct riesce a modellare con maggiore decisione la risposta del tweeter, proteggendolo inoltre con maggiore efficacia da rischi di sovraccarico. La crescita dell'impedenza in gamma alta, dovuta alla componente induttiva della bobina mobile, influenza il comportamento dei circuiti di crossover; il filtro vede una resistenza sempre maggiore con il crescere della frequenza, di conseguenza l'attenuazione prodotta sulla risposta acustica dell'altoparlante tende a diminuire. Ancora una volta sono i filtri del primo ordine ad essere molto sensibili a questo effetto e può essere utile compensare la crescita dell'impedenza con una cella RC posta in parallelo al trasduttore (Fig. 11) a linearizzarne l'andamento dell'impedenza ad alta frequenza. In fig. 12 è riportata la risposta in frequenza di un altoparlante da 16 cm filtrato con una bobina in serie (6 dB/oct) che pone la frequenza di taglio a 2000Hz, con e senza cella di compensazione: l'utilizzo della cella RC permette alla bobina in serie di imporre al componente una attenuazione maggiore in gamma alta, e di raggiungere dunque maggiore coerenza con quanto atteso dal calcolo per il dimensionamento dei componenti. La stessa risposta in frequenza di un comune altoparlante è assimilabile a quella di un

slope limits tweeter response more, protecting it from overload risks.

The increase of impedance at high frequency, due to voice coil inductive component, affects crossover circuit performances. Filter sees a higher and higher resistance when frequency increases; thus, the speaker response attenuation tends to decrease. First-order filters are affected by this; that's why you'd better compensate for impedance increase with a RC notch (impedance equaliser) in parallel with the speaker (Pict. 11), in order to flatten impedance at high frequency. Picture 12 shows frequency response of a 16cm speaker (6dB/Oct.) filtered through an inductor in series that sets cut-off frequency at 2000Hz, with and without impedance equaliser. When you use impedance equaliser, the inductor provides the driver with higher attenuation in the highs and results are more coherent with formulas. Frequency response of an ordinary speaker is similar to bandpass filter one (Pict. 13). If you start from the lows, you usually have: a roll-on point, where response rises (like a 12dB/Oct. high pass); a linearity area, whose size depends on the driver features; a roll-off point, where response slopes droop according to driver diameter and its electro-acoustic parameters (thus, like a low pass with slopes between 6dB/Oct. and 24dB/Oct.). Speakers response changes a lot according to emission axis. Max emission occurs on the membrane axis; it decreases off-axis at high frequencies. This phenomenon depends on the driver emitting surface (i.e. membrane): emission gets directive at frequencies whose wavelength is the same as the cone diameter; its axis decreases according to frequency increase. The axis chart in page 44 shows linear emission maximum frequency according to membrane diameter: when this value is exceeded, acoustic response decreases and the driver concentrates emission on its axis. We recommend not to exceed

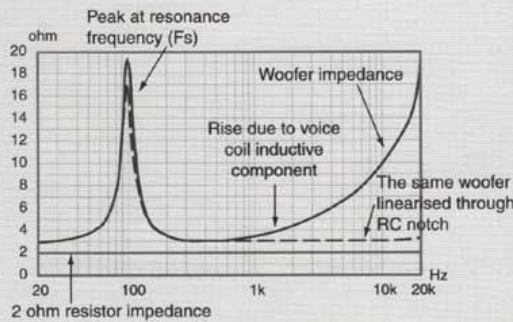


Fig. 7: Modulo di impedenza di un woofer confrontato con una resistenza pura e con lo stesso woofer linearizzato con cella RC.

Pict. 7: Impedance of a woofer compared with a resistor and with the same woofer equalised through RC notch.

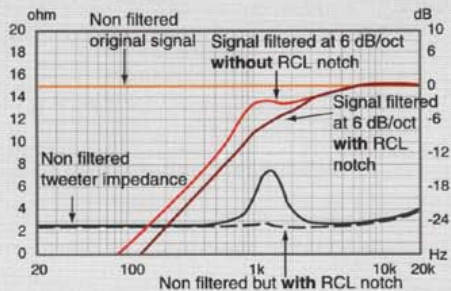


Fig. 8: Modulo di impedenza e risposta elettrica di un tweeter filtrato a 6 dB/oct con e senza cella RCL.

Pict. 8: Impedance and electric response of a tweeter filtered at 6dB/Oct. with and without RCL notch.

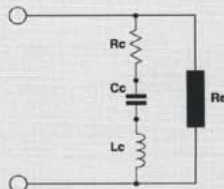


Fig. 9: Schema elettrico di una cella RCL, per le formule fare riferimento a pag. III

Pict. 9: Electric diagram of a RCL notch. Please refer to page III for electric formulas.

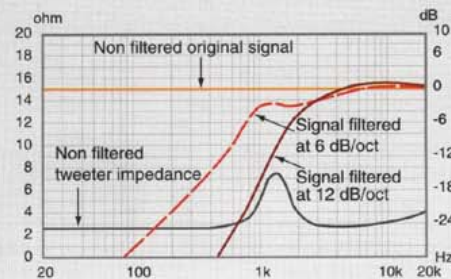


Fig. 10: Modulo di impedenza e risposta elettrica in ampiezza di un tweeter filtrato a 6 dB/oct e a 12 dB/oct.

Pict. 10: Impedance and electric response of a tweeter filtered at 6dB/Oct. and at 12dB/Oct.



filtro passa banda (Fig. 13). Partendo dalla gamma bassa si osserva solitamente una zona detta di roll-on, dove la risposta è in salita (simile ad un passa alto con pendenza di 12 dB/oct), una zona di linearità la cui estensione dipende fortemente dalle caratteristiche del trasduttore, e la zona di roll-off, dove la risposta acustica cala con pendenze fortemente dipendenti dal diametro dell'altoparlante e dalle sue caratteristiche elettroacustiche (dunque un passa basso con pendenze solitamente comprese tra 6 dB/oct e 24 dB/oct).

E' inoltre da sottolineare come la risposta acustica di ogni altoparlante cambia sensibilmente a seconda dell'angolo di emissione, presentando forti caratteristiche di direttività. L'emissione raggiunge la massima intensità sull'asse della membrana, mentre alle alte frequenze e ad angolazioni accentuate diminuisce di livello, similmente a quanto succede alla luce irradiata dal faro di una macchina.

L'intensità di questo fenomeno è in stretta relazione con la superficie di emissione dell'altoparlante: la radiazione inizia a diventare direttiva a frequenze la cui lunghezza d'onda eguaglia il diametro del cono, restringendosi sempre di più in asse con l'aumentare della frequenza. La tabella di dispersione indica la massima frequenza di emissione lineare in rapporto al diametro effettivo della membrana: superando tale valore la risposta in potenza diminuisce e l'altoparlante tende a concentrare l'emissione acustica sull'asse. Non è dunque conveniente superare di troppo tale limite e pretendere ad esempio di utilizzare un woofer da 30 centimetri nominali in un sistema a due vie con frequenza di incrocio di 3000Hz. Lo stesso componente potrebbe essere invece utilizzato con successo in un sistema a tre vie, sino a frequenze intorno ai 6-700Hz. Nell'accingersi alla progettazione di un sistema di altoparlanti e del relativo filtro crossover è dunque necessario tenere nella giusta considerazione alcuni fondamentali requisiti. Ogni altoparlante dovrebbe essere utilizzato all'interno della propria gamma lineare di emissione, evitando eccessive sollecitazioni di midrange e tweeter in prossimità della frequenza di risonanza. E' poi particolarmente importante sottolineare che la risposta acustica di un altoparlante filtrato corrisponde alla somma della risposta dell'altoparlante stesso con quella propria del filtro. Per raggiungere maggiore corrispondenza tra la teoria e la pratica, in assenza di uno strumento di misura che permetta di osservare l'effettivo comportamento dei vari altoparlanti del sistema, è allora conveniente scegliere delle frequenze di incrocio ampiamente comprese entro il limite di

that limit too much and not to use, for instance, a 30cm DIN woofer in a two way system with 3000Hz crossover frequency. This driver might be successfully employed in a three-way system, up to 6-700Hz frequencies.

When you design a speakers system and its crossover, please mind some important features. Every speaker should be employed inside its linear emission, avoiding to excessively stress midranges and tweeters around resonance frequency. Please note that the filtered speaker response sums up the driver response and the filter one. When you don't have any equipment that allows you to observe the speakers actual performances, you should choose crossover frequencies at which these speakers work in the linearity area. Picture 14 shows frequency responses of HERTZ HV 165 midwoofer and HT 25 tweeter, measured in axis and at 30° off-axis on IEC panel. The response you get in this case is not reliable below 150Hz; the holes at 80 and 400Hz depend on typical resonance of measures taken in free air panel. The two components frequency responses overlap for almost three octaves, both in axis and off-axis. Thus, you can choose whatever crossover frequencies between 2000 and 4500Hz without dispersion problems. In order to provide tweeter with linearity and the best power handling, we set acoustic crossover frequency at 3500/4000Hz.

Pict. 15: frequency response of a filtered tweeter with different slopes at the same frequency. With a 6db/Oct. filter there is a ripple at 1500Hz, around resonance frequency, that tends to disappear when slope increases to 12dB/Oct. There is an attenuation resistor in the final filter; it makes tweeter emission suit the woofer one (red line). Pict. 16: woofer frequency response with different slopes at the same frequency. The blue line (12dB/Oct. filter) shows a ripple around 2700Hz. If you attenuate filter resonance through a resistor wired in series with the capacitor, you get smoother attenuation knee and cleaner midrange response. Although frequency response difference in the graph seems little, please note it strongly affects sound. A smoother acoustic response insures better transients.

Pict. 17 shows the diagram of the filter we

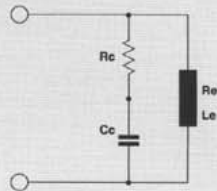


Fig. 11: Schema elettrico di una cella RC, per le formule fare riferimento a pag. III. Pict. 11: Electric diagram of a RCL notch. Please refer to page III for electric formulas.

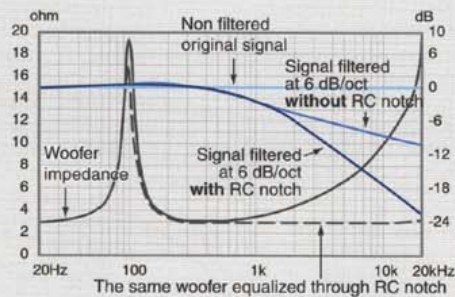


Fig. 12: Modulo di impedenza e risposta elettrica in ampiezza di un woofer filtrato a 6 dB/oct con e senza cella RC. Pict. 12: Impedance and electric response of a woofer filtered at 6dB/Oct. with and without RCL notch.

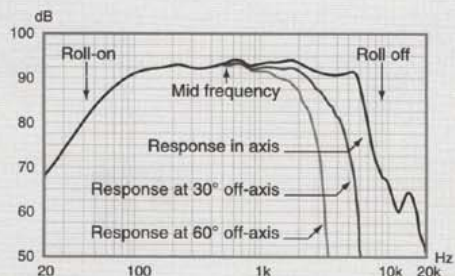


Fig. 13: Risposta acustica di un woofer da 16 cm analizzata sul suo asse di emissione, a 30° e a 60°. Pict. 13: 16cm woofer acoustic response analysed on its emission axis, at 30° and 60° off-axis.

Tabella di dispersione / Off-axis response table								
nominal ø (cm)	2,5	10	13	16	20	25	30	38
Frequency (Hz)	6900	2156	1725	1326	1045	820	650	540

Indica il limite di frequenza superato il quale un altoparlante inizia a manifestare fenomeni di direttività. It indicates the limit above which a speaker starts to show directivity.

attenuation resistor in the final filter; it makes tweeter emission suit the woofer one (red line). Pict. 16: woofer frequency response with different slopes at the same frequency. The blue line (12dB/Oct. filter) shows a ripple around 2700Hz. If you attenuate filter resonance through a resistor wired in series with the capacitor, you get smoother attenuation knee and cleaner midrange response. Although frequency response difference in the graph seems little, please note it strongly affects sound. A smoother acoustic response insures better transients. Picture 17 shows the diagram of the filter we



grafico precedente si nota una buona simmetria delle risposte nella zona di incrocio; la risposta complessiva appare lineare e pulita, anche ad angolazioni accentuate, a testimonianza di una buona coerenza di fase. Le pendenze di attenuazione e le frequenze di incrocio acustiche sono totalmente differenti da quelle elettriche, e considerare esclusivamente il comportamento elettrico del filtro senza aggiungervi quello degli altoparlanti avrebbe condotto ad un risultato falsato e non completo. In questa fase della progettazione del filtro sarebbe auspicabile l'utilizzo di uno strumento di misura che permetta di visualizzare il comportamento degli altoparlanti e individuare eventuali alterazioni introdotte dal sistema di caricamento, dalla geometria del diffusore o dalla

reciproca posizione dei centri di emissione. Gli stessi altoparlanti montati all'interno di una autovettura, con il mediobasso installato in portiera, il tweeter nel supporto triangolare dello specchietto retrovisore e il microfono posizionato in corrispondenza delle orecchie del guidatore, risentono pesantemente delle riflessioni causate dall'abitacolo e dall'angolazione a cui viene effettuata la misura. In fig. 20 è visualizzata la risposta dei due tweeter (con e senza filtro). L'effetto delle riflessioni dell'abitacolo è molto evidente, e soprattutto in gamma alta si nota un forte calo dovuto alla angolazione accentuata rispetto al punto di misura e all'assorbimento dei vari materiali.

Fig. 21: la risposta dei due woofer. Il carico offerto dall'abitacolo e le vibrazioni meccaniche raccolte dal microfono, estendono la risposta sino a 20Hz, e sono molto chiare le colorazioni introdotte dalle riflessioni dell'abitacolo e dall'interazione distruttiva tra i due componenti (il microfono infatti non è posto al centro dei due altoparlanti, e alcune frequenze risultano in perfetta opposizione di fase). La linea azzurra (altoparlanti non filtrati) mette in evidenza l'estensione in gamma media, e ancora si nota la necessità di smorzare il ginocchio della curva di attenuazione. Senza la resistenza di smorzamento si produce infatti un ripple evidente, fonte di colorazione all'ascolto.

Fig. 22: ecco la risposta totale, con sovrapposte le risposte singole dei due componenti: l'andamento appare regolare e pulito, malgrado le colorazioni introdotte dall'abitacolo. E'

da sottolineare che questo filtro è stato messo a punto per offrire un comportamento quanto più possibile omogeneo in tutte le situazioni in cui verranno installati questi componenti; sia il comportamento in regime anecoico (misura su pannello IEC) che quello in ambiente (abitacolo di autovettura) sono infatti equilibrati e privi di asperità, e presentano un suono naturale, equilibrato e dinamico.

Pict. 22: Here is the total response, the single responses of the two components are overlapped. Curve is even and clean despite car compartment resonance. Please note that this filter was designed in order to behave as homogeneously as possible in whatever installations; results both in anechoic

functioning (measurement on IEC panel) and in environment (car compartment) are balanced and linear and insure natural, dynamic sound. It is extremely difficult to predict the functioning of a speaker installed into car doors or onto posts; that's why it's important to use measurement equipment. If you don't have such instruments, you must be aware of the difference that exists between

formulas for calculating crossovers and the real acoustic results of a speakers system that work together with a filter. In most cases you'd better

widen electric cut-off frequencies (from half an octave difference on) by varying filters Q or by attenuating the resonance of filters which have high Q through damping resistors. Make also sure that the speakers acoustic phase (resulting from the sum between the phase shift caused by the filter and the one caused by the speaker) is right. In two-way systems, for instance, try to shift the phase of the two

tweeters; you will have attained the best solution when you can feel tweeter and woofer are one "fused" with the other.

You need to follow some rules in order to build crossovers electric circuits in the right way. First of all, carefully select the proper components. Resistors must be at least 5W RMS because they experience high thermal stress especially when used in car with high power amplifiers. Concerning

capacitors, please check their maximum voltage, that should not be less than 100V, and always use non polarised components. When choosing inductors, winding resistance is the most important value you have to consider: it must be as low as possible and it is inversely proportional to the diameter of the wire you use. For this reason components with higher inductance usually have a ferrite core that

increases inductance without changing the number of turns and keeping resistance low. This core must be made of high quality material in order for saturation at high levels to be as low as possible. High inductance audiocoil inductors use high permeability ferrite cores and copper with suitable section.

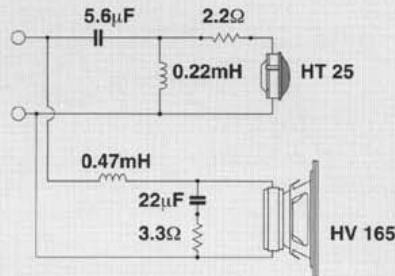


Fig. 17  
Pict. 17

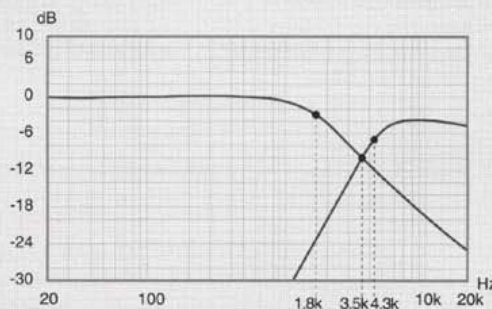


Fig. 18:  
Pict. 18

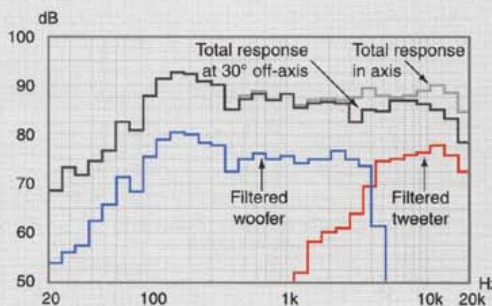


Fig. 19  
Pict. 19



Prevedere il comportamento di un altoparlante installato nella portiera o su un montante di un autoveicolo è estremamente difficile; è necessario in ogni caso condurre delle rilevazioni strumentali che possano indicare la corretta strada da seguire.

Nel caso non si disponga di strumenti di misura è comunque utile essere consapevoli della differenza che intercorre tra le formule di calcolo dei filtri crossover e l'effettiva risultante acustica del sistema in condizioni di funzionamento più filtro. Nella maggior parte dei casi è comunque indicato procedere allargando le frequenze di taglio elettriche (da mezza ottava di differenza in su) variando il coefficiente del Q di filtri di ordine superiore al primo, attenuando le risonanze di filtri dal Q elevato mediante l'utilizzo di resistenze di smorzamento.

Infine è sempre conveniente verificare che la fase acustica dei vari altoparlanti (sempre risultante dalla somma dello sfasamento introdotto dal filtro con quello introdotto dall'altoparlante) sia corretta; in sistemi a due vie, ad esempio, provare ad invertire la fase elettrica dei due tweeter e scegliere ad orecchio la situazione migliore che dovrebbe portare ad una sensazione di maggior coerenza e fusione delle due vie.

Per realizzare fisicamente in maniera corretta i circuiti elettrici di crossover è necessario seguire alcune regole. Innanzitutto è necessario selezionare le caratteristiche dei vari componenti: le resistenze devono avere una tenuta in potenza di almeno 5 watt continui, poiché soprattutto nell'utilizzo in auto con amplificatori di elevata potenza, sono sottoposte ad elevati stress termici. Per quanto riguarda i condensatori è necessario valutare con attenzione la tensione massima sopportabile, che non dovrebbe mai essere inferiore ai 100 V, ed utilizzare sempre componenti non polarizzati. Il parametro più importante nella scelta delle induttanze è il valore della resistenza dell'avvolgimento, che deve essere il più basso possibile, ed è inversamente proporzionale al diametro del conduttore utilizzato; per tale motivo i componenti di maggior valore induttivo vengono solitamente realizzati con un nucleo interno di ferrite, che ne aumenta l'induttanza mantenendo pari il numero di spire e basso il valore di resistenza. Tale nucleo deve però essere realizzato con materiale di alta qualità, al fine di mantenere il più basso possibile il tasso di saturazione ad alti livelli. Gli **audiocoil** di alto valore induttivo utilizzano nuclei in ferrite ad alta permeabilità e rame conduttore di adeguata sezione. Il risultato migliore, per sistemi no-compromise, si ottiene mediante l'utilizzo di componenti di qualità assoluta, come i condensatori in carta e olio OL, le resistenze anti

The best result, for no-compromise systems, is insured by absolute quality components like OL paper and oil capacitors, **sonus** anti-inductive resistors and low resistance inductors. Filters can be assembled onto wires and onto standard or customised printed circuit boards. The latter insure more reliable, cleaner realisations, although they are slightly more difficult to build. If you use **AZ audiocomp** printed circuit boards, components must be located on the opposite side to the one where tracks are; circuit is created in the bottom side, through some jumpers when necessary. When you use different inductors, you'd better orient their axis towards different directions, in order to avoid possible self-induction that might alter their value. Components must be fixed onto the printed circuit board in order to prevent dangerous vibrations and to insure reliability.

Soldering must be carried out carefully and precisely: use good quality welders (working temperature around 350°) and silver tin (by Audison Cable for instance) if possible. Conduction between rheophores should be insured by direct contact first of all; then, tin keeps conductors one soldered to the other and protects them from oxidation.

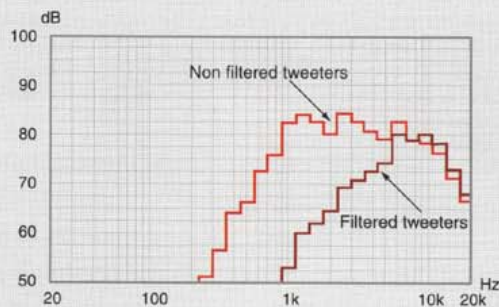


Fig. 20  
Pict. 20

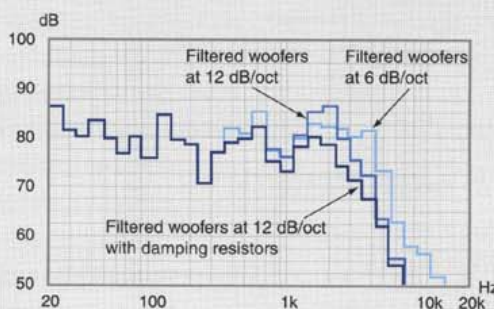


Fig. 21  
Pict. 21

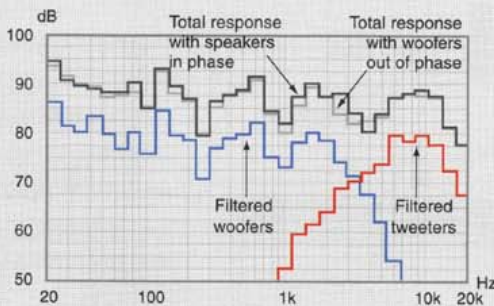


Fig. 22  
Pict. 22