

# I COMPROMESSI NELLE RETI DI INCROCIO A RESISTENZA E CAPACITA'

da "Audio" - Luglio 1957

a cura del Dott. Ing. G. SINIGAGLIA

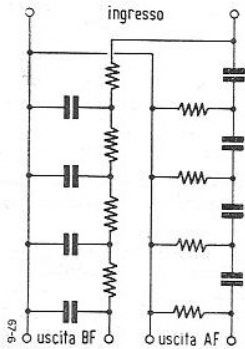


Fig. 1 - Disposizione generale di una rete di incrocio RC. Il numero degli elementi e il loro valore sono l'argomento di questo articolo.

che altrimenti richiederebbero una accurata schermatura per evitare ronzio indotto.

E' possibile, mediante reti RC e la reazione negativa, simulare le caratteristiche di una rete a resistenza costante. Tuttavia ciò richiede un circuito complicato, e si tende perciò a ritornare all'uso di reti di incrocio RC, senza reazione negativa, prima dell'amplificatore di potenza. E' scopo di questo articolo esaminare le proprietà di tali circuiti.

### Possibile scelta dei valori.

Ogni ramo della rete può consistere in un numero qualsiasi di resistenze e di capacità disposte come in fig. 1. Il valore delle resistenze e delle capacità può essere scelto tra infinite combinazioni. Tuttavia considerazioni sulla reciproca influenza tra i vari elementi della rete possono orientare nella scelta dei valori. Se tutte le resistenze e le capacità hanno lo stesso valore, l'influenza di una cellula sull'altra è massima. Tale influenza tende invece al minimo quando ogni cellula RC ha impedenza più alta della precedente, in modo da non caricarla apprezzabilmente. Si avrebbe una se-

Tutte le reti di incrocio (crossover) richiedono qualche compromesso nel loro progetto. A prima vista, l'esigenza di fornire ad un complesso solo le frequenze al di sotto della frequenza di incrocio e all'altro solo quelle al di sopra, farebbe sembrare auspicabile un taglio ripido il più possibile alla frequenza di incrocio. Ciò provocherebbe gli inconvenienti propri di un taglio ripido, ossia darebbe luogo ad una cattiva risposta ai transitori. D'altra parte l'uso di una rete a taglio graduale fa sì che le frequenze vicine all'incrocio sono fornite ad entrambi i complessi.

Sembrirebbe che i miglior risultati dovrebbero essere forniti da una rete a resistenza costante, con pendenza opportunamente scelta, poichè sarebbe assicurata una uniforme distribuzione dell'energia totale dei due complessi. La risposta complessiva dovrebbe perciò essere piana, una volta che siano state compensate le differenze di rendimento. Tale tipo di rete fornirebbe inoltre una differenza di fase costante tra i segnali forniti alle due unità, in modo che sarebbe possibile ottenere una perfetta integrazione dell'energia acustica fornita dai due complessi, mediante una appropriata correzione acustica di fase. Tuttavia una vera e propria rete di incrocio a resistenza costante implica l'uso di induttanze e capacità. L'uso di induttanze provoca problemi pratici nella scelta dei componenti adatti.

Alcuni preferiscono gli induttori con nucleo d'aria, perchè non possono introdurre distorsione di ampiezza. Essi sono però meno efficienti ed hanno una resistenza apprezzabile, per cui non permettono di realizzare reti a pendenza ripida, poichè la loro resistenza propria altera le caratteristiche di una rete a resistenza costante. Gli induttori con nucleo ferromagnetico hanno una maggiore efficienza, e se ben calcolati possono introdurre distorsione trascurabile. Tuttavia la possibilità che introducano distorsioni ne sconsiglia l'uso ai raffinati.

Vi è attualmente la tendenza a collocare la rete di incrocio in un punto del circuito precedente all'amplificazione di potenza, in modo che amplificatori separati alimentino separati altoparlanti. La rete di incrocio non è così sottoposta a potenza apprezzabile, ma funziona a livello piuttosto basso. Ciò costituisce una ulteriore ragione per evitare l'uso di induttanze,

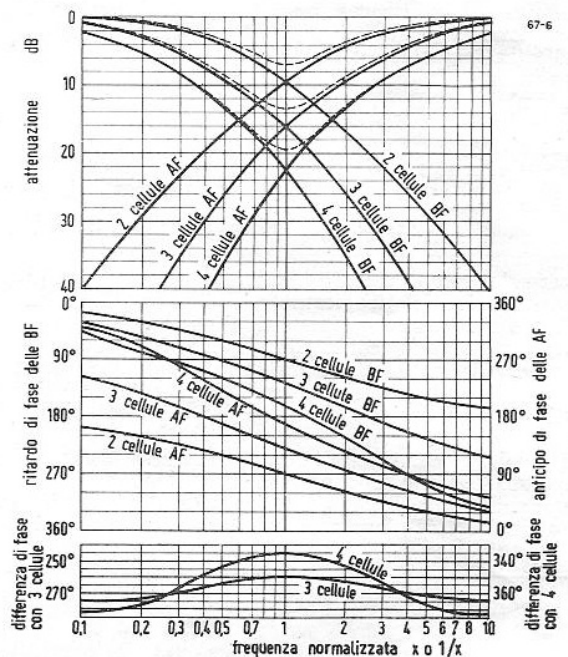


Fig. 2

Risposte ottenute quando nel circuito di figura 1 sono usati elementi di uguale valore, con 2, 3 e 4 coppie di elementi in ogni ramo. Le curve tratteggiate in alto mostrano la risposta dell'energia totale fornita ad entrambi i circuiti. Nella parte inferiore sono mostrati gli sfasamenti tra i due segnali di uscita per reti a 3 e 4 cellule; la rete a due cellule fornisce uno sfasamento costante di 180°.

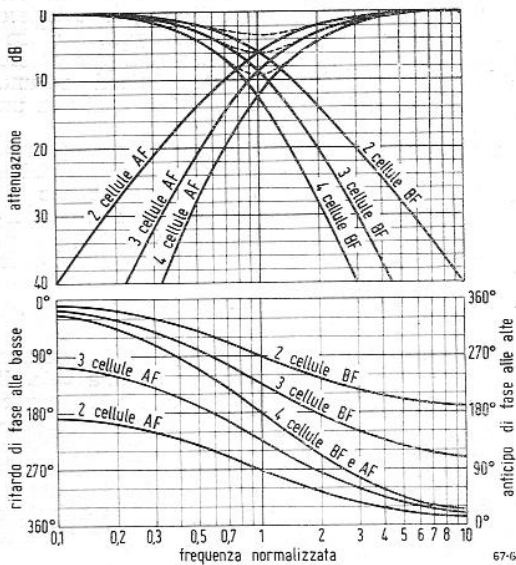


Fig. 3 - Risposta ottenuta in assenza di influenza reciproca tra le cellule. L'unico modo per ottenere ciò consiste nell'uso di stadi separatori. Tuttavia ci si può approssimare a questo caso limite usando cellule di impedenza crescente. Nel caso limite lo sfasamento è costante, di  $180^\circ$  con 2 cellule,  $270^\circ$  con 3 cellule e  $360^\circ$  con 4 cellule.

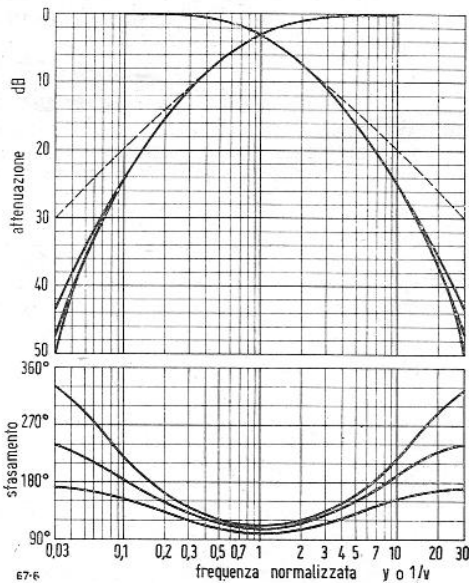


Fig. 4 Risultato dello spostamento delle curve di fig. 2, effettuato allo scopo di rendere costante la potenza totale. Per confronto, la linea tratteggiata mostra la risposta di una singola cellula.

parazione ideale, senza influenze reciproche, solo ponendo una valvola separatrice tra cellula e cellula. Allo scopo di analizzare il problema, considereremo questi due casi estremi, e vedremo quale costituisce il miglior compromesso nell'ottenere le varie caratteristiche di funzionamento richieste.

Ogni rete avente costanti di tempo uguali in ogni cellula, sia l'influenza reciproca massima, media o minima, avrà una caratteristica di fase pressoché simmetrica rispetto al punto in cui lo sfasamento è la metà del valore finale. Se non vi è influenza reciproca, tale simmetria è perfetta.

#### Differenza di fase costante.

Se tutte le costanti di tempo sono uguali e non vi è influenza reciproca, avviene che il punto in cui la pendenza ha valore metà del massimo, coincide col punto in cui lo sfasamento ha il valore metà di quello finale. Con componenti delle varie cellule identici, lo spostamento è piccolo. Sembra perciò logico porre la frequenza di incrocio in questo punto della caratteristica di attenuazione.

Nelle fig. 2 e 3 sono riportate le caratteristiche di reti a due, tre, e quattro cellule, rispettivamente nel caso in cui sono usati componenti identici e nel caso in cui non vi è influenza reciproca. Da esse si vede la ragione che sconsiglia la scelta di tale frequenza per l'incrocio. Benché in questo modo sia soddisfatta la condizione della costanza della differenza di fase, si avrebbe un minimo della curva potenza totale nel punto d'incrocio.

Usando componenti uguali in cascata l'avvallamento è di 6,5 dB con due cellule, 13 dB con tre cellule e quasi 20 dB con quattro cellule.

Nel caso in cui non vi è influenza reciproca, notevolmente più difficile da realizzare poiché richiede stadi separatori o almeno una grande varietà di valori delle resistenze e delle capacità, la perdita nel punto d'incrocio non è così forte. Con due cellule l'energia totale si abbassa di 3 dB, con tre stadi di 6 dB e con quattro stadi di 9 dB.

#### Potenza totale approssimativamente costante.

Vediamo ora se disponendo le due curve di risposta in modo che la potenza totale sia la stessa nel punto di

incrocio si ottiene con approssimazione ragionevole la costanza della potenza totale in tutte le frequenze intorno all'incrocio. Per far ciò dobbiamo trovare il punto in cui la potenza si riduce a metà e spostare le curve in modo da far cadere l'incrocio in tale punto.

Esaminando le caratteristiche così ottenute, riportate nelle fig. 4 e 5, si vede che con qualsiasi numero di cellule e qualunque serie di valori sia scelta, il funzionamento del circuito è simile a quello di una rete ad una sola cellula. In una rete ad una sola cellula i punti in cui lo sfasamento e la potenza hanno valore metà del massimo coincidono alla frequenza in cui la reattanza è uguale alla resistenza. Questa semplice disposizione fornisce una differenza di fase costante di 90 gradi e soddisfa alla condizione della costanza della potenza totale.

#### Componenti identici in cascata.

Usando componenti identici in cascata, la rete a due cellule dà nel punto di incrocio uno sfasamento minimo di 105 gradi che sale sino a un massimo di 180 gradi. Con tre cellule lo sfasamento minimo è di 110,7 gradi e il massimo di 270 gradi. Con quattro cellule lo sfasamento minimo è di 112 gradi e il massimo di 360.

Questi circuiti si comportano molto bene per quel che riguarda la potenza totale, poiché la costanza della potenza totale si ottiene con l'approssimazione di 0,1 dB in tutti i punti.

L'inconveniente di una maggiore variazione dello sfasamento che si ha con l'uso di molti stadi è compensato dalla maggiore pendenza finale della curva al di là della frequenza di incrocio. Tuttavia il punto in cui la pendenza è la metà di quella finale si raggiunge solo a una frequenza 2,7 volte maggiore di quella di incrocio usando due cellule, 5,1 volte maggiore con tre cellule e 8,5 volte con quattro cellule.

Ciò significa che, usando ad esempio quattro cellule, non si raggiunge una pendenza di 21 dB per ottava, rispetto al massimo di 24 per ottava, finché la frequenza non è 72 volte maggiore di quella di incrocio. Una pendenza di 12 dB per ottava si raggiunge a una

frequenza 8,5 volte superiore a quella di incrocio, ma con una attenuazione di 23,78 dB. In questo punto non vi è molta differenza tra le attenuazioni fornite da ogni rete.

Si vede da ciò che l'uso di componenti identici in cascata, regolando opportunamente la frequenza di incrocio in modo da mantenere approssimativamente costante la potenza totale, permette di ottenere una risposta simile a quella di un circuito a singola cellula (tratteggiata nella figura) sinché l'attenuazione diviene molto grande.

La differenza di fase è sempre leggermente più grande di quella costante di 90 gradi, propria di un circuito ad una sola cellula, ma non diviene effettivamente grande finché l'attenuazione di uno dei due rami non è notevole.

#### Riduzione dell'influenza reciproca.

L'uso di reti con influenza reciproca minore di quella che si ha con componenti identici darà luogo a una risposta un po' meno costante, e lo sfasamento non rimarrà così vicino ai 90 gradi. Usando reti senza influenza reciproca si avrà con due cellule una differenza di fase minima di 131 gradi e una massima di 180 gradi, ma la caduta della risposta dopo la frequenza di incrocio sarà più rapida. Tuttavia l'allontanamento dalla potenza totale costante sarà un po' maggiore raggiungendo il massimo di 0,1 dB, come è mostrato in fig. 5. Con tre cellule la minima differenza di fase è di 162 gradi e la variazione di potenza ancora un po' maggiore. Con quattro cellule la minima differenza di fase è di 188 gradi e la variazione di potenza ancora maggiore.

#### Compromesso pratico.

Tutte queste disposizioni soddisfano con buona approssimazione la condizione della costanza della potenza totale, e probabilmente il principale inconveniente rimarrà la variazione di sfasamento, cioè il fatto che lo sfasamento tra l'energia fornita dai due complessi varia rapidamente alle frequenze intorno all'incrocio. Questa considerazione rende preferibili le reti con un piccolo numero di cellule, e probabilmente il circuito ad una sola cellula è il migliore, purché non fornisca troppa energia al complesso sbagliato a

frequenze troppo al di là dell'incrocio. Se accade ciò si devono impiegare due o più cellule per ottenere una maggiore pendenza al di là della frequenza di incrocio, ma questo aumento di pendenza non può essere ottenuto alla frequenza di incrocio senza introdurre una caduta nella risposta della potenza totale, se si usa un circuito a resistenza e capacità.

Il solo modo di ottenere un taglio ripido alla frequenza di incrocio e alle frequenze immediatamente successive consiste nell'impiego di una disposizione capace di fornire la caratteristica dei circuiti a resistenza costante, mediante l'uso di reti a resistenza e capacità e di una adatta reazione regolata in modo da fornire la risposta complessiva richiesta.

#### Calcolo di progetto.

Per chi desidera utilizzare questi risultati per ottenere un semplice compromesso nel progetto di una rete di incrocio RC, il procedimento da seguire è il seguente. Dapprima la frequenza di incrocio desiderata va moltiplicata per il fattore fornito dalla tabella seguente a seconda del numero di cellule, allo scopo di ottenere la frequenza di calcolo per il filtro a bassa frequenza. La frequenza di incrocio va divisa per lo stesso fattore per ottenere la frequenza di calcolo del filtro ad alta frequenza. I fattori sono:

| Numero di cellule | Fattore |
|-------------------|---------|
| 2                 | 2,68    |
| 3                 | 5,1     |
| 4                 | 8,5     |

Per esempio se si progetta un filtro a tre cellule, il fattore è 5,1; se si fissa la frequenza di incrocio a 800 Hz, per il filtro a bassa frequenza la frequenza di calcolo è 4080 Hz, per il filtro ad alta frequenza 157 Hz. Supponiamo che le resistenze debbano essere tutte da 0,1 megohm: usando il diagramma delle reattanze si ha che per il filtro a bassa frequenza i condensatori saranno da 390 picofarad e per il filtro ad alta frequenza saranno da 10.000 picofarad. Si potrebbe anche calcolare la rete fissando il valore dei condensatori ad esempio a 1000 picofarad e variando le resistenze. Si otterrebbero 39.000 ohm per il filtro a bassa frequenza e 1 megohm per il filtro ad alta frequenza. Entrambe le disposizioni sono mostrate in fig. 6.

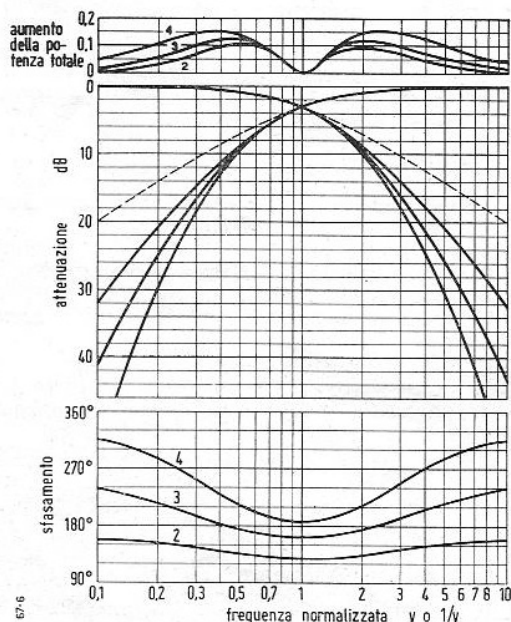


Fig. 5 - Risultato dello spostamento delle curve di fig. 3, effettuato allo scopo di rendere costante la potenza. La variazione della potenza totale, ancora sensibile in questo caso, è mostrata nella parte superiore.

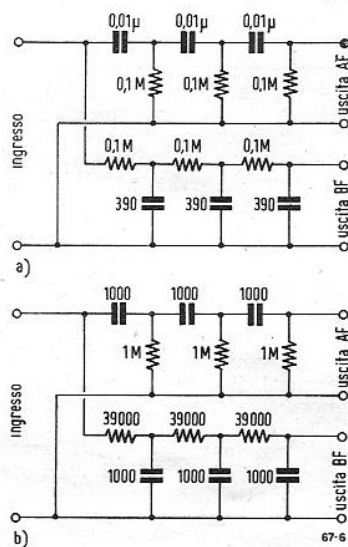


Fig. 6 - Due tipi di filtri a tre stadi, con i valori calcolati nel testo.