

Questa rubrica, che riprendiamo dopo un lungo periodo di assenza, è dedicata alla soluzione di tutti i problemi che i nostri lettori incontrano sia di ordine pratico, per la costruzione dei kit da noi proposti, sia di carattere teorico (perplexità sui parametri di progetto, idee, nuovi argomenti di dibattito) in relazione al tema «diffusori acustici». La rubrica è curata da Giancarlo Gandolfi, e darà la precedenza a temi di carattere più generale, secondo il giudizio della redazione. Indirizzare le lettere a «Posta Diffusori», SUONO, via del Casaleto 380, 00151 Roma.

I PROBLEMI DELLE IMPEDENZE DINAMICHE

Spettabile redazione di SUONO, vorrei aggiungere alcune considerazioni all'articolo di G. Gandolfi «Il problema dell'impedenza dinamica nei diffusori acustici» (SUONO N. 119). Non vorrei che fosse attribuita ai soli diffusori acustici una caratteristica di comportamento generale delle impedenze di natura complessa (cioè non puramente resistive). Mi servirò di un esempio: consideriamo l'impedenza Z (rappresentata in fig. 1) alla quale viene applicata, attraverso un generatore ideale, la tensione

$$v(t) = V_p \sin \omega t + V_{psen} \sin(\omega t + \varnothing_2)$$

dove le pulsazioni e la fase \varnothing_2 sono scelte in modo che:

$\omega_2 = n\omega_1$ (con n intero opportuno);

$Z(j\omega_1) = R_1 + R_2$ e fase nulla;

$Z(j\omega_2) = R_1$ e fase nulla;

\varnothing_2 tale che $v(t)$ massimo sia uguale a $2V_p$.

Queste scelte, arbitrarie, rendono più spediti i calcoli successivi. La corrente erogata dal generatore sul carico Z si calcola applicando il principio di sovrapposizione degli effetti come schematizzato qui di seguito:

$$i_1(t) + i_2(t) = \frac{V_1(t)}{R_1 + R_2} + \frac{V_2(t)}{R_1} = i(t) \text{ totale}$$

Considerando ora i valori istantanei di picco di tensione e corrente, definiamo, impropriamente, un'impedenza istantanea apparente Z' che, in questo caso particolare, risulta essere:

$$i_{totale p} = \frac{V_{1p}}{R_1 + R_2} + \frac{V_{2p}}{R_1} = \frac{V_p}{R_1 + R_2} +$$

$$+ \frac{V_p}{R_1} = V_p \left(\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_1} \right)$$

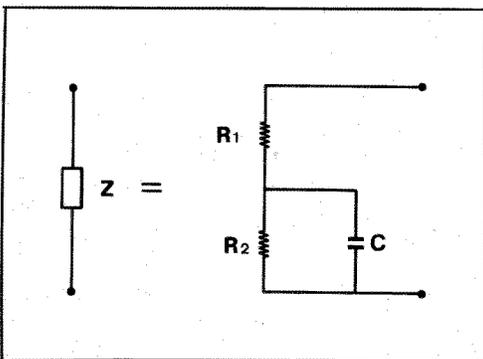
Z' istantanea =

$$\frac{V_p}{i_{totale p}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_1}}$$

$$= R_1 \quad (R_1 + R_2) < R_1 < R_1 + R_2$$

(il pedice «p» indica i valori di picco).

Notiamo che, se Z fosse stata puramente resistiva sarebbe risultato:



$$\text{per } Z = R_1 + R_2 \quad i_1(t) + i_2(t) = \frac{V_1(t)}{R_1 + R_2} + \frac{V_2(t)}{R_1 + R_2}$$

$$Z' \text{ ist} = \frac{2V_p}{2I_p} = R_1 + R_2$$

$$\text{per } Z = R_1 \quad i_1(t) + i_2(t) = \frac{V_1(t)}{R_1} + \frac{V_2(t)}{R_1}$$

$$Z' \text{ ist} = \frac{2V_p}{2I_p} = R_1$$

Quindi, analizzando la situazione in termini di variazioni di impedenza, tutto avviene come se il generatore di tensione vedesse ai suoi capi un'impedenza «dinamica» Z' che assume il valore minimo (inferiore al minimo modulo di Z) in coincidenza del picco istantaneo di tensione. Questo però non è dovuto ad una reale variazione di impedenza ma è la conseguenza della natura complessa del carico (che resta sempre la stessa per qualsiasi tensione applicata purché quest'ultimo sia lineare) e della particolare scelta della forma (nel dominio del tempo) della tensione. È veramente utile introdurre questo nuovo concetto di impedenza «dinamica»? Nel caso pratico di un diffusore acustico, caratterizzato da un'impedenza Z_d , la corrente erogata dall'amplificatore cui è collegato si calcola in generale (ammessa la linearità di Z_d) come:

$$i(t) = F^{-1} \{ Z_d(j\omega) \cdot V_{out}(j\omega) \}$$

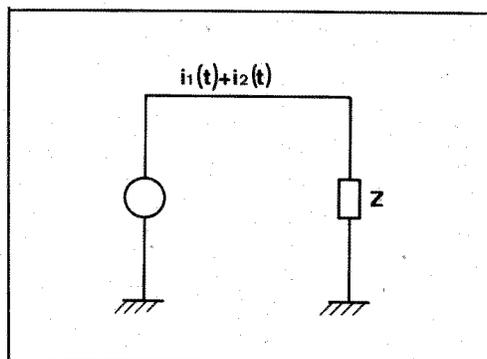
dove:

$F^{-1} \{ \cdot \}$ - trasformazione inversa di Fourier

$Z_d(j\omega)$ - impedenza generalizzata (lineare) del diffusore

$V_{out}(j\omega)$ - trasformata di Fourier della tensione di uscita dell'amplificatore

$V_{in}(t)$; $V_{out}(t)$; $i(t)$ - tensioni e correnti nel dominio del tempo.



La massima corrente richiesta dal carico è fornita dal massimo modulo dell'espressione (1) e, per un ottimo interfacciamento, deve essere resa disponibile dall'amplificatore prima dell'intervento delle protezioni e senza limitazioni di slew rate. Non è di grande aiuto, a mio avviso, definire un'impedenza istantanea

$$Z' \text{ istantanea} = \frac{V_{out}(t)}{i(t)}$$

in quanto, non essendo vera in generale l'espressione

$$Z' \text{ istantanea} = F^{-1} \{ Z(j\omega) \}$$

si definirebbe una quantità non riconducibile all'impedenza effettivamente misurata in regime sinusoidale.

La corrente $i(t)$ (fig. 2) invece è una quantità direttamente misurabile. Per caratterizzare il diffusore dal punto di vista dell'interfacciamento con l'amplificatore si potrebbe selezionare un segnale in tensione standardizzato (per esempio un impulso sen^2 o una serie di burst centrati su diverse frequenze) e misurare il massimo modulo di $i(t)$ che risulterebbe, per ogni singolo diffusore, funzione di $Z_d(j\omega)$.

Anche in questo modo, tuttavia, non sarebbe possibile confrontare tra loro misure relative a diffusori diversi e sarebbe necessario escogitare qualche sistema per «normalizzare» i risultati e renderli così confrontabili. Credo che quest'ultimo sia il vero problema da risolvere e probabilmente lo IAF è l'unico che dispone dei mezzi idonei allo scopo.

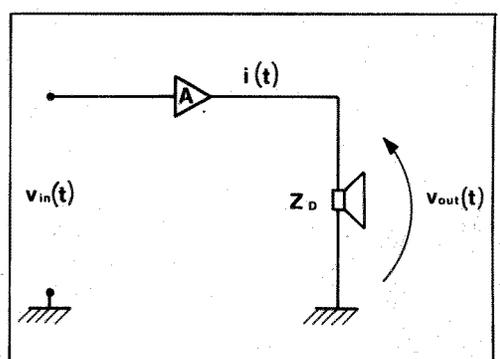
Mario Bon - Padova

Una lettera importante

Lettere come questa Signor MARIO BON di Padova, anche se di parziale critica, servono enormemente da stimolo nella ricerca e nel perfezionamento delle misure. Avevamo intenzione di ritornare in autunno sull'argomento dell'impedenza dinamica dei diffusori, ma l'interesse sollecitato dal breve articolo e dai risultati dei primi esperimenti comparsi sul numero 119 di SUONO, ci impongono una immediata chiarificazione.

Correnti elevate

Non è mai stata nostra intenzione quella di tentare di dimostrare che i circuiti equivalenti degli altoparlanti (espressi da complesse combinazioni di R, L e C) siano diversi dai più tradizionali circuiti elettrici. Anzi è proprio la combinazione di tanti altoparlanti e di filtri passivi passa alto, passa basso e passa banda che provoca elevatissimi valori istantanei di assorbimento di corrente. Cosa che regolarmente accade in qualsiasi rete elettrica non puramente resistiva. È infatti noto che soltanto le resistenze possono dissipare energia, mentre gli elementi reattivi la immagazzinano e la cedono, creando pericolose oscillazioni con massimi e minimi notevoli. Ma torniamo all'inizio, se vogliamo far chiarezza. I costruttori di amplificatori audio



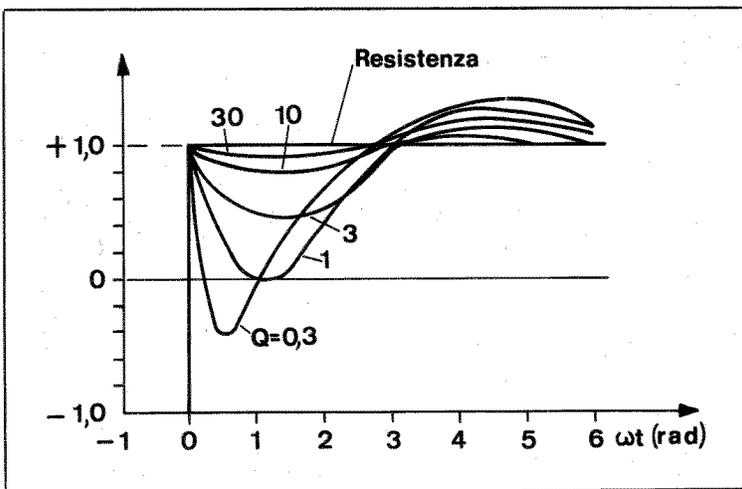


Fig. A - In primissima approssimazione il circuito equivalente di un altoparlante può essere assunto con tre soli elementi: resistenza R, induttanza L per la massa mobile e capacità C per la cedevolezza.

forniscono le specifiche di potenza massima su carichi resistivi, normalmente 8 ohm, qualche volta 4 ohm e rarissimamente, solo in ampli speciali e professionali, su 2 ohm. Solo qualche volta viene provata la stabilità degli stessi inserendo un condensatore in parallelo al carico resistivo. Il che francamente è un po' poco per giudicare il loro funzionamento se collegati a reti complesse. Gli altoparlanti a loro volta vengono classificati per la loro impedenza nominale, anche qui di solito 8 ohm. Questa impedenza dovrebbe essere il valore minimo raggiunto dal diffusore su tutto lo spettro audio. Si traccia la curva dell'impedenza, in regime sinusoidale, si va a vedere qual è il minimo assoluto, non importa a quale frequenza: quella è l'impedenza nominale. Le norme consentono agli altoparlanti di raggiungere un minimo dell'80% del valore nominale. Una cassa da 8 ohm potrebbe avere quindi uno o più minimi fino a 6,4 ohm. Ed eccoci al nocciolo del problema.

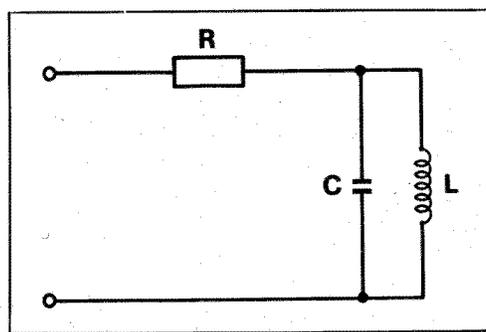
Se l'amplificatore è da 100 W su 8 ohm, vuol dire che può erogare una corrente di picco di 5A (3,54 Irms x 1,41). Collegando allo stesso un diffusore da 8 ohm dovremmo essere tranquilli che anche al massimo della potenza non vi sarà assorbimento superiore ai 5A visti prima. Ebbene già le prove brevemente illustrate nel numero citato e condotte sulle 6 casse acustiche ad alta efficienza, hanno dimostrato come le correnti istantanee possono essere più che doppie.

Una ricerca del finlandese ILPO MARTIKAINEN, condotta con l'ausilio di un analizzatore di spettro bicanale, FFT, ha portato il coefficiente moltiplicativo addirittura a 2.86. Ovviamente si tratta ancora di esempi limitati. Non è ancora disponibile né una casistica sufficiente, né una trattazione teorica completa, né un tipo di segnale standardizzato col quale confrontare i risultati. Secondo l'illustre MATTI OTALA, sempre in collaborazione con il finlandese di prima, si potrebbe arrivare a prospettare una richiesta di corrente da 3 a 6 volte superiore a quella che fluisce sul carico resistivo. L'amplificatore da 100 W dovrebbe dunque poter fornire ben 30A di corrente di picco, con segnali musicali e collegato a diffusori normalmente in commercio.

Circuiti equivalenti complessi

L'amplificatore vede un carico estremamente complesso costituito da diversi (2,3 o più) altoparlanti dinamici e dalle reti di crossover. La cedevolezza dell'equipaggio mobile e la sua massa formano la prima frequenza di risonanza fondamentale, che per il woofer è situata molto in basso, ma che midrange e tweeter hanno a frequenza molto

Fig. B - Il rapporto tra la corrente che passa nel circuito di fig. a, per effetto della tensione a gradino, e quella di un circuito puramente resistivo è una funzione oscillante con un minimo negativo evidentissimo ed un massimo positivo.



superiore.

Anche le reti di incrocio passive formano altri sistemi reattivi complessi, soprattutto in prossimità delle frequenze di incrocio. Seguiamo il ragionamento di OTALA-MARTIKAINEN, per capire attraverso quale meccanismo le correnti possono assumere valori tanto alti. È una conferma di quanto intuito è dimostrato dal signor BON nella sua lettera e che condividiamo pienamente: non è che gli altoparlanti siano oggetti misteriosi, la cui impedenza si comporta in maniera strana. È solo che la complessa rete che simula il comportamento elettrico del trasduttore è di regola piena di trappole (risonatori, reattanze) disposte, in regime transitorio (segnali transienti artificiali o segnali musicali), ad assorbire spaventose correnti. Si consideri un circuito estremamente semplice (fig. a) che simula parzialmente il comportamento dell'altoparlante con una resistenza R per la bobina mobile, l'induttanza L per la massa mobile e la capacità C per la cedevolezza. In realtà il circuito equivalente vero di un altoparlante è molto più complesso, ma la semplificazione serve a chiarire il meccanismo.

Si dia una tensione a gradino (da -1 a +1) all'ingresso del circuito. L'impedenza di quest'ultimo vale:

$$Z_L = R (S^2LC + SL/R + 1) / (S^2LC + 1)$$

il che comporta nel dominio del tempo (vedi lettera del BON) ad una corrente

$$i(t) = [1 - \frac{2}{Q} e^{-\frac{wt}{2Q}} \sin wt] V_1/R$$

w = frequenza di risonanza dell'altoparlante

Q = fattore di merito alla risonanza

V₁ = ampiezza della funzione a gradino.

Se dividiamo questa funzione per la corrente che passa in un carico puramente resistivo, pari al valore nominale R_n, otteniamo una funzione oscil-

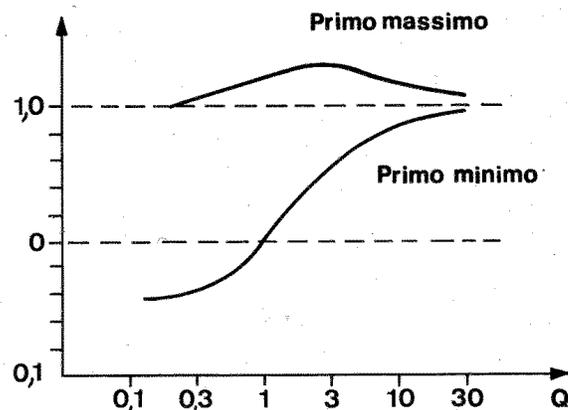


Fig. C - L'entità dei due massimi di fig. b è funzione del fattore di merito del circuito R-L-C: $Q = \omega RC$. Diminuendo la R di bobina mobile il primo minimo assume valori notevoli.

lante nel tempo

$$K(T) = \frac{i(t) \text{ circuito equivalente}}{i(1) \text{ carico nominale}} =$$

$$\frac{R_r}{R} [1 - \frac{2}{Q} e^{-\frac{wt}{2Q}} \sin wt]$$

valori massimi e minimi della funzione sono

$$K_{\max \min} = \frac{R_r}{R} [1 - \frac{4}{[1 + 4Q^2]^{1/2}} e^{-\frac{\arcs 2Q + N\pi}{2Q}}$$

Si ha un primo importante minimo di corrente, subito dopo l'applicazione del gradino di tensione, seguito da un massimo che però si discosta meno dal valore di corrente nella pura resistenza. Minimi e massimi variano in funzione del fattore di merito Q. Il minimo di corrente è inversamente proporzionale a Q. Diminuendo la R di bobina mobile cresce l'ampiezza di corrente. Resta dimostrato che in particolari istanti e con certe funzioni V(t) transitorie, si hanno correnti che superano di valore quelle che fluiscono in carichi puramente resistivi, pari al valore nominale.

Conclusione

I progettisti ed i costruttori di amplificatori hanno sempre cercato di inculcare il concetto che i loro prodotti siano dei generatori di tensione costante. La corrente dipende solo dal carico. In realtà i numerosi e sempre più sofisticati circuiti di protezione pongono limiti molto ristretti alla corrente stessa. Quanto fin qui dimostrato fa sì che un amplificatore da 100 W non sempre sarà in grado di fornire i 28 V teorici massimi, ma con certe casse acustiche in commercio si fermerà a valori sensibilmente inferiori.

In futuro a nostro parere si dovrà:

- progettare amplificatori con superiori capacità di fornire picchi elevati di corrente;
- stabilire un nuovo modo di fornire le specifiche degli amplificatori;
- studiare nuovi criteri per dare un'idea più chiara della difficoltà di pilotaggio delle casse acustiche. Purtroppo per il momento vi è troppa dipendenza dal tipo di segnale impiegato.

Contiamo di aver un po' chiarito i concetti di base di queste ricerche sull'interfacciamento ampli-diffusori e di aver stimolato persone impegnate come il sig. BON ad approfondire il discorso tecnico ed aprire un dibattito interessante.