

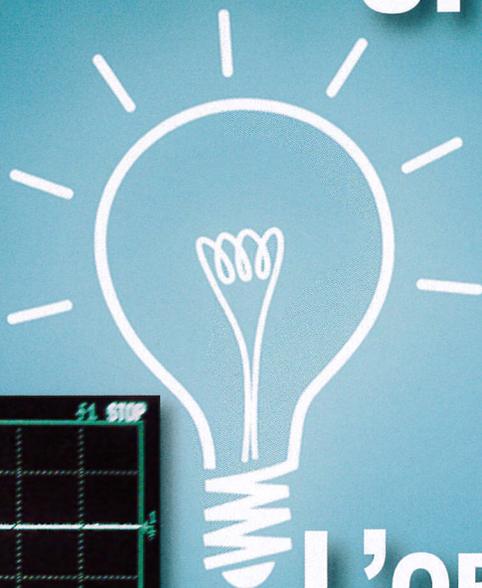
COSTRUIRE

C RIVISTA PER AUTOCOSTRUTTORI
DI SISTEMI AUDIO DI ALTA QUALITÀ
www.costruirehifi.net

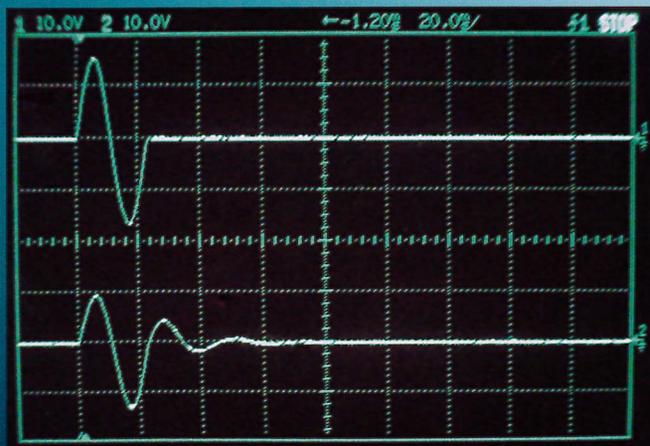
HIFI

N.192

CONTROREAZIONE... SI O NO?!?



L'OPINIONE DI MARZULLO



TEORIA: LA SCELTA DELLE RESISTENZE E DEI CONDENSATORI MIGLIORI NELLA PROGETTAZIONE AUDIO ▲ IL PASS ZEN AMPLIFIER: 10 WATT SINGLE-STAGE SINGLE-ENDED IN CLASSE A

PRATICA: STUDI SU AMPLIFICATORI VALVOLARI SINGLE ENDED A POLARIZZAZIONE DI GRIGLIA POSITIVA (CLASSE A2) ▲ SILOE 2015-2

disponibile su
Pc & Mac

disponibile su
Android

disponibile su
App Store

CHF - #04 - ISSN 1123-8402
50.192 >

BLU PRESS
MENSILE
ANNO 25
APR 2015
6,00 €

9 771123 840002

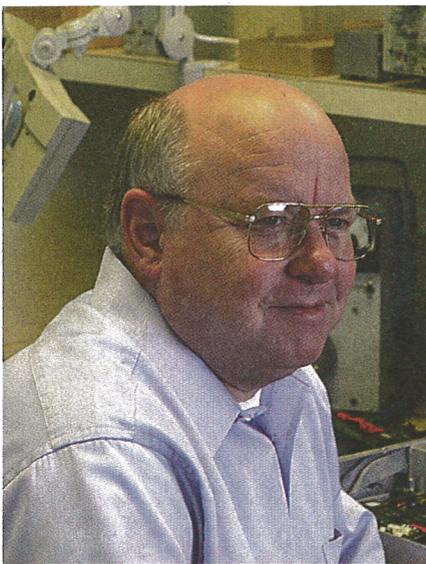
La scelta delle resistenze e dei condensatori migliori nella progettazione audio

Tutti i progettisti audio conoscono il marchio Audio Precision: quest'azienda costruisce eccellenti analizzatori audio, che in molti ritengono essere i migliori in commercio...

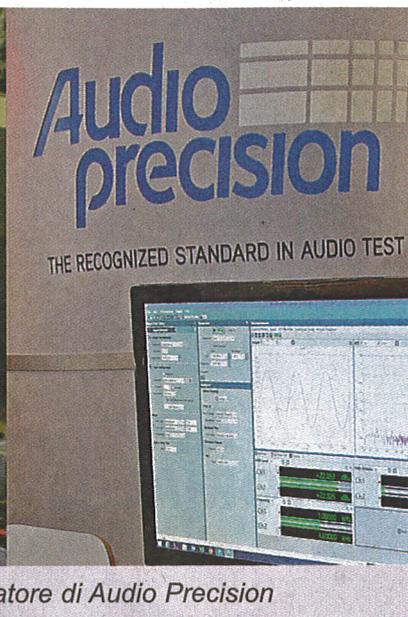
E' sempre stato il sogno segreto di ogni progettista poter disporre di un analizzatore Audio Precision con cui verificare e certificare le prestazioni dei circuiti che si realizzano.

Alla riunione dell'AES (Audio Engineering Society) che si è tenuta a Roma nel maggio 2013 ho assistito ad un'interessantissima presentazione di Bruce Hofer, presidente e co-fondatore di Audio Precision, intitolata "Designing for Ultra-Low THD+N in Analog Circuits" (Progettare circuiti analogici con l'obiettivo di ottenere livelli ultra-bassi di distorsione e rumore). I concetti espressi in quell'occasione sono poi stati ampliati in alcuni interessanti articoli pubblicati dalla rivista online "audioxpress.com" nei mesi seguenti.

Dall'alto della sua esperienza di oltre quarant'anni nella progettazione delle circuitazioni analogiche, Mr. Hofer ha fornito ai presenti alcuni interessanti consigli su come evitare gli errori più comuni durante la realizzazione dei circuiti analogici e ha discusso ampiamente la scelta dei componenti passivi nei circuiti audio, spiegando come selezionare le tipologie più opportune di resistenze e di condensatori in vista della loro funzione circuitale e soprattutto basandosi su alcune caratteristiche elettriche poco conosciute di questi componenti, che si evidenziano soprattutto in regime dinamico;



Bruce Hofer, presidente e co-fondatore di Audio Precision



informazioni queste che non è possibile trovare nei data-sheet e si apprendono solo con l'esperienza e con i test pratici di laboratorio.

Infine sono stati forniti molti interessanti spunti sulla riduzione della distorsione negli amplificatori operazionali, sia ottimizzando il tipo ed il valore dei componenti passivi utilizzati che dedicando la massima attenzione a tutto ciò che "circonda" l'operazionale (alimentazione, percorsi di massa, effetti capacitivi ed induttivi indesiderati del layout del PCB, etc.).

Naturalmente le considerazioni espresse da Mr. Hofer sono soprattutto indirizzate a chiunque progetti circuiti analogici a

bassissimo rumore e bassissima distorsione (prestazioni indispensabili per qualsiasi strumento di misura ed analizzatore audio), non necessariamente all'ottenimento del miglior "suono" come lo possono intendere gli audiofili; tuttavia gli argomenti trattati sono universali nel campo dell'elettronica e devono sempre essere presi in considerazione da chiunque progetti circuiti audio, per cui ho ritenuto interessante riportarvi un riassunto dei principali punti esposti da Mr. Hofer, avendo ricevuto da Audio Precision la gentile autorizzazione per farlo.

RESISTENZE

Le resistenze utilizzate nei circui-

ti audio possono appartenere alle seguenti tipologie:

- composto di carbone;
- film spesso;
- film sottile o film metallico;
- foglio metallico;
- filo avvolto.

In un modo o nell'altro tutte queste tipologie costruttive esibiscono due tipi fondamentali di non linearità, sia statica che dinamica: il coefficiente di temperatura ed il coefficiente di tensione.

Il **coefficiente di temperatura** indica quanto varia il valore nominale della resistenza al variare della sua temperatura interna ed è espresso in "parti per milione per grado" (ppm/°C).

Oltre al valore misurato in condizioni statiche, cioè in corrente continua, esiste anche una componente dinamica che è direttamente correlata alla potenza dissipata nel componente ed alle variazioni di temperatura che si propagano attraverso di esso quando questo viene percorso dal segnale audio.

Il **coefficiente di tensione** indica quanto varia il valore nominale della resistenza al variare della tensione applicata ai suoi capi ed è espresso in "parti per milione per Volt" (ppm/V).

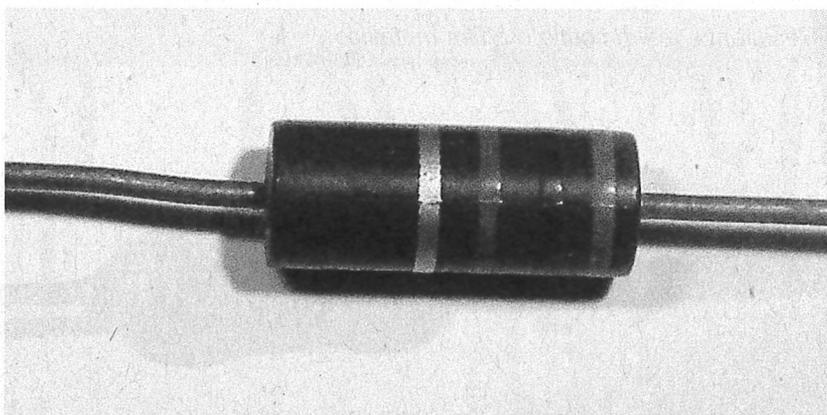
Normalmente questo parametro non è molto importante per i normali usi audio, ma lo può diventare nei circuiti alimentati a tensioni elevate.

Vediamo ora in dettaglio le differenti tipologie di resistenze.

Resistenze a composto di carbone

L'elemento resistivo è una miscela compatta di carbone e ceramica, tenuti insieme da una base di resina. Queste resistenze erano molto popolari prima del 1970, ma ormai sono praticamente cadute in disuso.

Hanno tolleranze elevate (dal 20% fino al 5%); il coefficiente di temperatura varia da 150 a 1000



Resistenze a composto di carbone

ppm/°C e peggiora al diminuire del valore ohmico. In confronto agli altri tipi di resistenze, il rumore di modulazione ed il coefficiente di tensione sono elevati.

Questo tipo di resistenza non deve essere usata nei circuiti audio: fanno eccezione certe applicazioni particolari, come ad esempio amplificatori valvolari ed effetti per strumenti musicali, dove viene espressamente ricercato un certo tipo di distorsione "vintage" o di alterazione del suono.

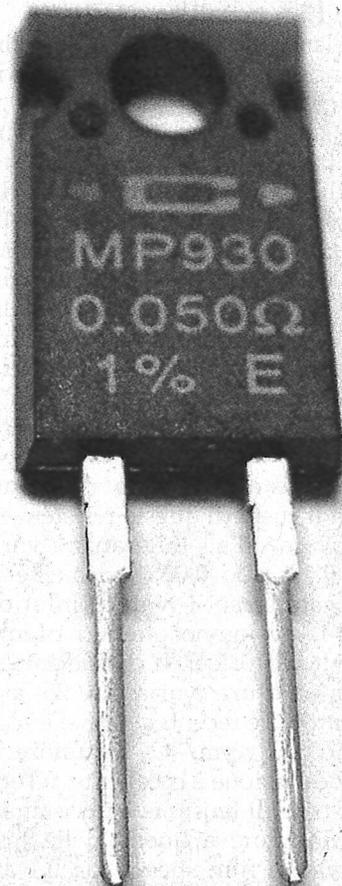
Resistenze a film spesso

L'elemento resistivo è un film conduttivo applicato alla superficie di un substrato cilindrico o rettangolare ed il valore resistivo è determinato dal composto del film e dalla sua disposizione sul supporto.

Queste resistenze sono disponibili in diverse dimensioni e valori di dissipazione e vengono utilizzate in una grande varietà di applicazioni. La tolleranza varia dal 2% allo 0,1%; quella sotto l'1% viene normalmente ottenuta tramite taglio con laser. Il coefficiente di temperatura varia da 100 a 250 ppm/°C.

Il rumore di modulazione è elevato in confronto alle resistenze a film sottile, a foglio ed a filo avvolto, ma molto migliore di

quelle a composto di carbone. Il coefficiente di tensione è specificato raramente e varia considerevolmente da marca a marca ed anche in funzione del valore



Resistenze a film spesso

Resistenze a film sottile o a film metallico



ohmico; non è raro trovare valori fino a 10 ppm/V.

Resistenze a film sottile o a film metallico

L'elemento resistivo è un film conduttivo, tipicamente in Nichrome (una lega nickel/cromo) o in Ta-N (nitruro di tantalio), più stabile dei materiali descritti in precedenza. La lega viene depositata sulla superficie di un substrato cilindrico o rettangolare ed il valore resistivo viene determinato dallo spessore e dalla forma del film. La disponibilità di dimensioni e valori di dissipazioni è inferiore a quella delle resistenze a film spesso.

Le prestazioni sono eccellenti, ma il costo di queste resistenze è elevato. La tolleranza varia dall'1% allo 0,02% ed anche in questo caso i valori inferiori all'1% vengono ottenuti tramite taglio con laser. Il coefficiente di temperatura varia da 25 a 5 ppm/°C e recentemente si è scesi fino a 2 ppm/°C. Il rumore di modulazione è eccellente; il coefficiente di tensione è decisamente inferiore a quello delle resistenze a film spesso (da 0,1 a 1 ppm/V), ma è specificato raramente e varia anche qui considerevolmente da marca a marca ed

in funzione del valore ohmico.

Resistenze a foglio metallico

L'elemento resistivo è un foglio metallico in lega speciale che viene cementato ad un substrato inerte. Il valore resistivo viene determinato dalle caratteristiche e dalla forma del foglio; inoltre in questo vengono inseriti dei "ponticelli" che possono essere interrotti nella fase finale della costruzione, per ottenere con estrema precisione il valore ohmico desiderato. La tolleranza infatti raggiunge lo 0,001%, il coefficiente di temperatura arriva fino a 0,05 ppm/°C ed il coefficiente di tensione fino a 0,1 ppm/V. Anche il rumore di modulazione è estremamente ridotto.

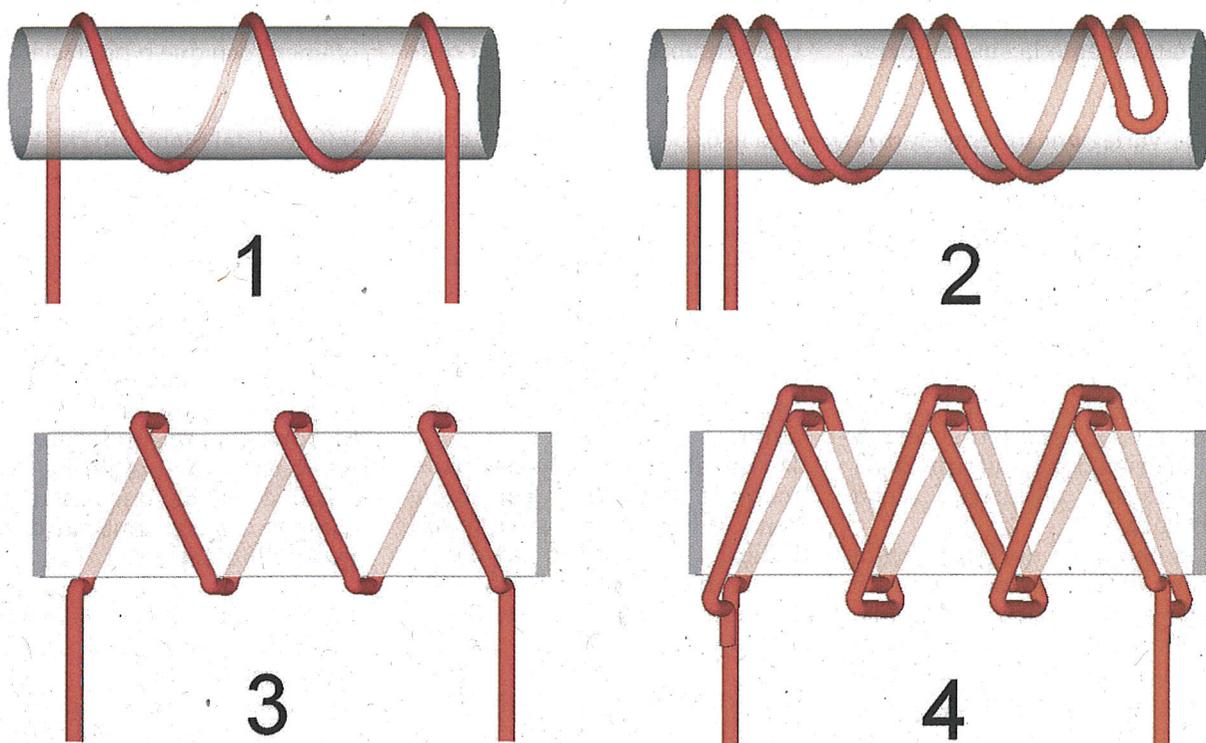
Sono le resistenze che offrono la migliore prestazione in corrente continua ed anche le più costose in assoluto tra le varie tecnologie disponibili; tuttavia le loro prestazioni non sono altrettanto valide con segnali audio per cui non sono in genere consigliabili per utilizzi high-end, a causa del valore di distorsione di modulazione a bassa frequenza, che è molto più elevato di quanto ci si aspetterebbe. Questa è una caratteristica che non si trova nei data sheet, i quali in genere riportano

solo i valori in corrente continua. In alcuni esperimenti effettuati in Audio Precision è stato riscontrato ad esempio che alcune resistenze a foglio metallico, che avevano un coefficiente di temperatura estremamente ridotto, esibivano una distorsione di modulazione superiore a quella di alcune resistenze a film sottile che invece, nelle stesse condizioni, avevano un coefficiente di temperatura decisamente più elevato delle prime.

Resistenze a filo avvolto

L'elemento resistivo è un filo con un basso coefficiente di temperatura, avvolto con precisione su di un substrato. Il valore ottenuto dipende dal materiale, dalla lunghezza e dallo spessore del filo. È una tecnica realizzativa che si usa principalmente per i valori resistivi più bassi e permette di dissipare potenze medie e di picco molto elevate.

Il coefficiente di tensione è quasi inesistente, ma a causa della combinazione di valori ridotti, induttanza parassita ed altri effetti collaterali, non vengono comunemente utilizzate nei circuiti audio. Per realizzarle si possono utilizzare varie configurazioni di avvolgimento delle spire, tra cui quella a induttore



Schema dei diversi resistori a filo

(la più comune) oppure in configurazione bifilare, di Ayrton-Perry etc. che riducono o minimizzano gli effetti parassiti.

Schema dei diversi resistori a filo:

- 1) comune
- 2) bifilare
- 3) comune su forma sottile
- 4) Ayrton-Perry

Ci sono applicazioni dove le reti di resistenze sono molto utili, in particolare quelle dove il rapporto tra i valori è particolarmente importante. In questi casi le reti con resistenze a film sottile garantiscono un'accuratezza fino allo 0,01% e quelle a foglio metallico raggiungono lo 0,001%. In corrente continua offrono un coefficiente di temperatura differenziale bassissimo, ma quelle a foglio metallico possono incorrere in effetti di modulazione termica elevati.

Si consiglia di evitare elevati rapporti tra i valori (10:1 o superiori), perché le migliori prestazioni si ottengono quando tutte le resistenze sono di valore identico. Comunque, i package di ridotte dimensioni con cui sono comunemente disponibili le reti di resistenze (SOIC-8 /-16) tendono ad avere un'impedenza termica

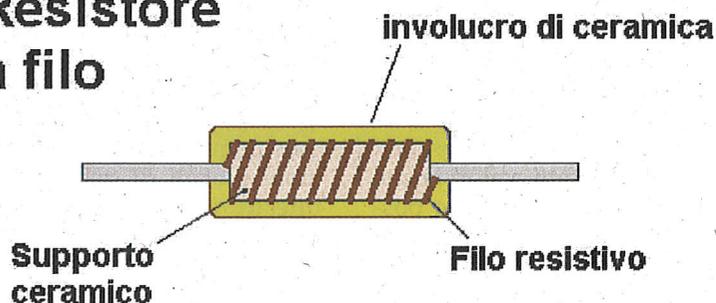
elevata e generano quindi una distorsione di modulazione termica superiore a quella ottenibile con resistenze discrete.

EFFETTI NEGATIVI DEL COEFFICIENTE DI TEMPERATURA

Come detto in precedenza, il comportamento termodinamico

Struttura di un resistore a filo

Resistore a filo



degli elementi resistivi fa sì che una resistenza non possa variare istantaneamente la sua temperatura interna al variare del segnale che la attraversa; in pratica, con le variazioni di temperatura la resistenza si comporta come un filtro passa-basso.

In corrente continua il problema virtualmente non esiste, in quanto il componente rimane in equilibrio termico. Similmente, alle frequenze molto elevate ogni variazione avviene così rapidamente che l'effetto del "filtro passa-basso" suddetto genera una distribuzione uniforme della temperatura all'interno della resistenza.

Il problema, avviene nella gamma di frequenze che va da 5 a 200 Hz circa: in questa gamma, la temperatura dell'elemento resistivo nel suo insieme può variare col tempo in funzione del segnale ma può anche variare internamente al componente nelle zone in cui, per vari motivi costruttivi, gli effetti termici si evidenziano maggiormente. Ciò può causare un aumento misurabile (e spesso udibile) della distorsione a queste frequenze.

Inoltre, a peggiorare le cose da una prospettiva audio, gli effetti del coefficiente di temperatura sono direttamente proporzionali al valore assoluto del segnale applicato al componente; la distorsione risultante sarà principalmente di terza armonica, decisamente più udibile di altri tipi di distorsione.

EFFETTI NEGATIVI DEL COEFFICIENTE DI TENSIONE

Non si devono nemmeno trascurare gli effetti del coefficiente di tensione, anche se in molti casi questi possono essere tralasciati: in alcuni casi infatti, valori anche ridotti di questo parametro possono introdurre distorsioni misurabili. Consideriamo ad esempio una singola resistenza di controeazione in un amplifi-

catore che fornisce 50 Volt di uscita (valore non raro in certi finali di potenza). Se questa resistenza possiede un coefficiente di 10 ppm/V, può generare da sola lo 0,05% di distorsione, che è un valore non certo trascurabile; considerando che ci sono molte resistenze in un circuito di amplificazione, ognuna di esse contribuisce in misura ridotta od elevata al risultato finale. E' necessario quindi selezionarle con accuratezza per migliorare la prestazione complessiva del circuito.

Per quanto riguarda questo parametro le resistenze a film sottile sono in linea di massima le più indicate, possedendo un coefficiente di tensione da 5 a 10 volte inferiore a quello delle resistenze a film spesso.

IL RUMORE INTRINSECO DELLE RESISTENZE

Le resistenze generano inevitabilmente "rumore di modulazione" a causa delle imperfezioni del materiale utilizzato per fabbricarle. Questo tipo di rumore si manifesta con bande laterali modulate in ampiezza ai fianchi di un tono puro inviato alla resistenza e la sua entità dipende dal materiale resistivo: le resistenze a carbone sono le peggiori, quelle a film spesso vanno meglio, ma le migliori sono quelle a foglio metallico e quelle a filo avvolto.

L'entità del rumore intrinseco generato è anche direttamente proporzionale al valore della resistenza. Progettando un circuito audio si deve cercare di utilizzare i valori resistivi più bassi possibile, compatibilmente con le necessità di dissipazione dei vari componenti e delle prestazioni globali di distorsione; per questo è preferibile scegliere quelle tipologie circuitali che permettono di minimizzare i valori resistivi sul percorso del segnale.

Se si devono utilizzare valori resistivi elevati, è preferibile ottenerli con due o più resistenze in serie; il rumore generato non diminuirà, ma la distorsione sarà inferiore dal momento che la tensione applicata ai capi di ogni resistenza sarà inferiore e quindi gli effetti collaterali generati dal coefficiente di tensione saranno anch'essi minori.

Il rumore generato dipende anche dalla temperatura del componente (maggiore la temperatura, maggiore il rumore).

Si consiglia di utilizzare solo resistenze a film sottile o a foglio metallico, se devono essere percorse da correnti continue di bias non indifferenti.

CONSIDERAZIONI GENERALI SULLA SCELTA DELLE RESISTENZE

Considerando tutti i fattori in gioco, le resistenze più indicate per le applicazioni audio di alta qualità sono quelle a film sottile con un basso valore di coefficiente di temperatura. Si consiglia di evitare i componenti con valore di 25 ppm/°C nei percorsi critici del segnale, preferendo quelle da 10 o anche da 5 ppm/°C (da alcuni produttori sono disponibili anche con valore di 2 ppm/°C, decisamente più costose).

Per il montaggio SMD si consiglia di usare solo le resistenze di tipo/dimensione "1206" (valore standardizzato JEDEC, che corrisponde a 3,2 x 1,6 mm), perché quelle di dimensioni inferiori hanno una caratteristica di potenza minore e quindi una maggiore resistenza termica, che genera una maggiore distorsione di modulazione termica con i segnali audio. Sfortunatamente resistenze SMD con dimensione superiore al tipo 1206 non sono facilmente reperibili in commercio.

Per contenere le distorsioni delle resistenze SMD entro limiti mini-

mi, mantenere la loro dissipazione entro 20 mW di picco o 3 Vrms circa (+12 dbu). Se circuitualmente non è possibile evitarlo, usare combinazioni di resistenze in serie/parallelo per distribuire la potenza dissipata e la tensione ai capi di ognuna, minimizzando così anche gli effetti collaterali causati dal coefficiente di tensione.

UN ANEDDOTO...

Mr. Hofer ha raccontato un aneddoto sulle caratteristiche costruttive di questa tipologia di componenti. Circa quindici anni fa un fabbricante decise di modificare il materiale di cui era fatto il substrato di una rete di resistenze sostituendo il materiale ceramico con uno in silicio passivato senza informare preventivamente i suoi clienti. Questo fu fatto al fine di risparmiare sul processo di produzione, dal momento che la lavorazione del substrato ceramico è più complessa e costosa di quella del silicio passivato, in quanto la ceramica è più fragile. Tuttavia, sebbene i parametri DC delle resistenze contenute nella rete erano rimasti immutati, le loro prestazioni in AC erano diventate un vero disastro: le capacità parassite tra ogni resistenza ed il substrato erano

molto aumentate e soprattutto erano diventate di tipo non lineare, probabilmente perché tra ogni resistenza ed il substrato semiconduttore si erano venuti a formare dei diodi parassiti, che quando provocavano una caduta di tensione in una resistenza generavano prodotti di distorsione nelle altre resistenze...

CONDENSATORI

I condensatori utilizzati nei circuiti audio possono appartenere alle seguenti tipologie: **film polimerico; ceramico; mica; vetro.**

Condensatori a film polimerico

Questo è un termine generico che include molti differenti tipi di film. Ad esempio:

- Poliestere (PE) o Mylar®
- Polietilene naftalato (PEN)
- Policarbonato (PC). È un materiale molto igroscopico (sensibile all'umidità) per cui deve essere sigillato ermeticamente perché rimanga stabile in modo accettabile. Al giorno d'oggi è virtualmente obsoleto.
- Polifenilene-solfuro (PPS). Un tipo di film relativamente nuovo che sta diventando una valida alternativa al poliestere, avendo migliori caratteristiche.
- Polistirene (PS). Un materiale molto valido, ma che ha un coef-

ficiente di temperatura di circa -100 ppm/°C e che può danneggiarsi facilmente con la saldatura, dal momento che il film fonde a +85°C.

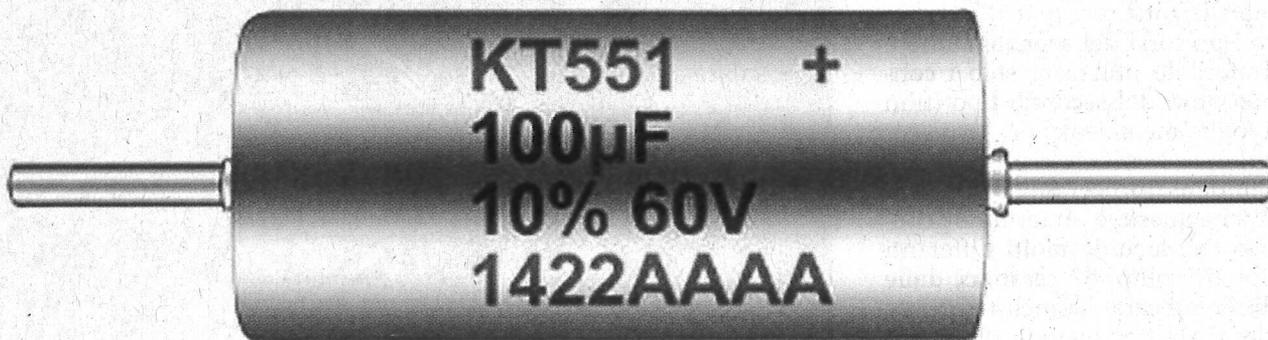
- Polipropilene (PP). Un'alternativa più economica del polistirene, con un fattore di dissipazione molto basso ed un punto di fusione più elevato (+105 °C), ma con un coefficiente di temperatura ben più elevato (fino a -250 ppm/°C).

- Politetrafluoroetilene (PTFE o Teflon®). La sua porosità può rendere questo materiale problematico; per superare questa limitazione, normalmente i condensatori vengono fabbricati sovrapponendo molti strati. Parecchi audiofili ritengono che questi condensatori "suonino" bene.

Questo tipo di condensatori può essere costruito con un film metallizzato o con un film a foglio metallico. Nel primo caso (film metallizzato), il film dielettrico viene pre-rivestito con una superficie conduttiva collegata ad uno dei terminali del condensatore. Questa tipologia ha una resistenza in serie equivalente più elevata, da cui un fattore di dissipazione più alto.

Nel secondo caso (film a foglio metallico), il film dielettrico si alterna a veri fogli metallici che

Condensatori a film polimerico



Condensatori ceramici



sono collegati ai terminali del condensatore. Questa tipologia ha una resistenza in serie equivalente inferiore a quella del film metallizzato.

Nei percorsi del segnale audio è preferibile utilizzare solo i condensatori del secondo tipo (film a foglio metallico).

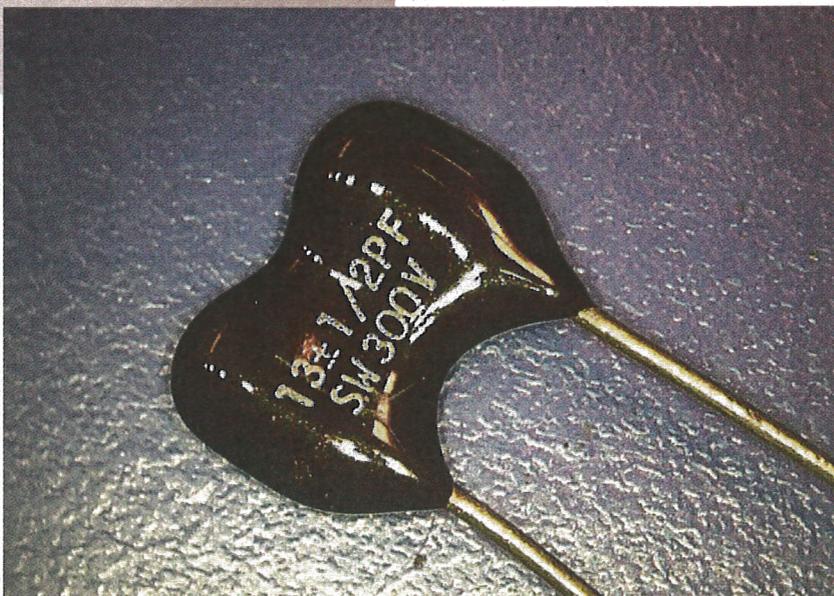
Condensatori ceramici

Anche questo è un termine generico che include molti differenti tipi di composti ceramici dalle differenti caratteristiche e prestazioni, caratterizzati da altrettante sigle ("Z5U", "X7R", "NPO" e "Hi-K").

L'unico composto ceramico che dovrebbe essere utilizzato nei circuiti audio di qualità è il "NPO" (conosciuto anche come "COG"), che ora è disponibile anche per valori superiori a 100 nF, con tolleranza fino all'1% e tensioni fino a 500V. Se servono valori più elevati, è preferibile metterne diversi in parallelo.

Il fattore di dissipazione è molto basso, così come le variazioni in funzione della frequenza. Il coefficiente di temperatura dichiarato è di ± 30 ppm/ $^{\circ}\text{C}$, che diventa tipicamente ± 15 ppm/ $^{\circ}\text{C}$; la stabilità è eccellente ed è virtualmente immune all'umidità.

Nei circuiti audio critici è meglio evitare la versione con una tensione di lavoro di 25V, perché le versioni a 50V e 100V offrono migliori prestazioni di distorsione senza essere molto più grandi. E' necessario evitare l'uso di condensatori ceramici di scarsa qualità, perché questi possiedono spesso un forte effetto piezoelettrico che genera tensioni parassite all'interno del condensatore. Ciò avviene ad esempio quando il costruttore inserisce del titanato di bario (BaTiO_3) per aumenta-



Condensatori in mica

re la costante dielettrica del dielettrico ceramico, riducendo così la dimensione delle armature; purtroppo questa sostanza è fortemente piezoelettrica.

Spesso questi condensatori appartengono alle categorie "Z5U", "Y5Y" e "Hi-K": non utilizzarli mai nei filtri che generano riferimenti di tensione, o da qualsiasi altra parte lungo il percorso del segnale.

Condensatori in mica

Sono comunemente disponibili con tolleranze dall'1 al 5% e con valori fino a circa 3 nF; il coefficiente di temperatura è tipicamente di 90 ppm/°C. Hanno una buona stabilità, ma la fragilità della mica può talvolta portare ad improvvise ed inaspettate variazioni del valore di capacità in seguito a stress fisici del componente.

Trent'anni fa i condensatori in mica erano altamente considerati nella comunità dei progettisti audio, ma i tempi sono cambiati. La mica è un prodotto naturale ed alcuni dei più importanti giacimenti sono ormai esauriti; inoltre, i condensatori ceramici di tipo NP0 (COG) hanno un coeffi-

ciente di temperatura migliore, perciò non sussistono ragioni oggettive per consigliare ulteriormente l'uso di questi condensatori.

Condensatori in vetro

Sono disponibili in valori fino a circa 2 nF. Dal momento che il vetro è tra i dielettrici più stabili ed inerti, il componente ha un invecchiamento lentissimo ed il valore di capacità rimane estremamente stabile nel tempo; il coefficiente di tensione è quasi zero. Sfortunatamente il vetro fuso non è così facile da plasmare con dimensioni precise, per cui la tolleranza tipica è del 5%. Valori dell'1-2% sono disponibili, ma costosissimi.

Il coefficiente di temperatura non è valido come in altri casi (tipicamente +140 ppm/°C), ma i condensatori in vetro possono funzionare con temperature fino a +200°C. Il comportamento in funzione della frequenza è molto simile a quello dei condensatori ceramici "NP0" ed in polipropilene (PP), forse solo lievemente inferiore; sono necessari ulteriori dati d'utilizzo su larga scala per confermarlo con certezza.

EFFETTI MICROFONICI NEI CONDENSATORI

Qualunque condensatore può esibire un effetto microfonico, che si verifica quando le sue armature vengono sottoposte a vibrazioni e stress meccanici. Per minimizzarlo è indispensabile evitare che i condensatori lungo il percorso del segnale vengano polarizzati con tensioni continue sulle armature.

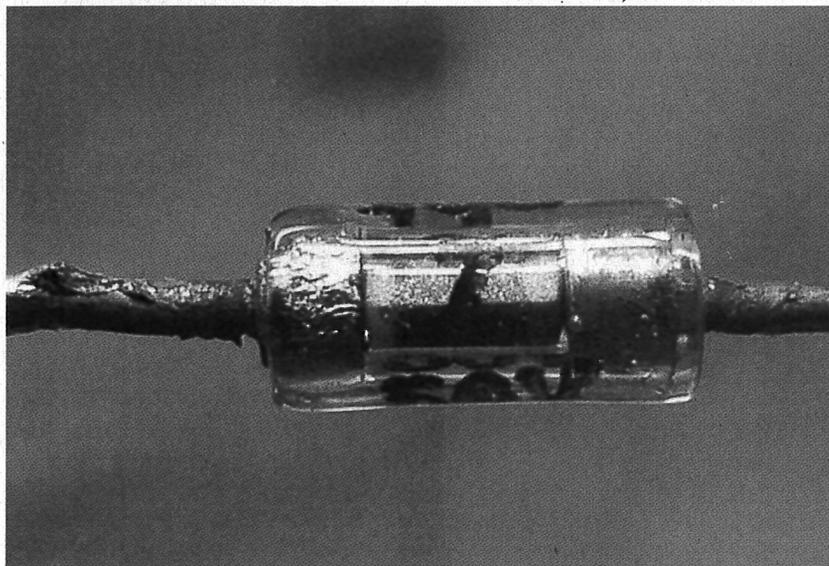
Ad esempio, i condensatori di disaccoppiamento della tensione di alimentazione "phantom" sugli ingressi microfonici da studio sono particolarmente critici: questi dovrebbero avere il minor valore possibile di capacità ed i loro valori devono essere strettamente accoppiati.

NON-LINEARITÀ DINAMICHE NEI CONDENSATORI

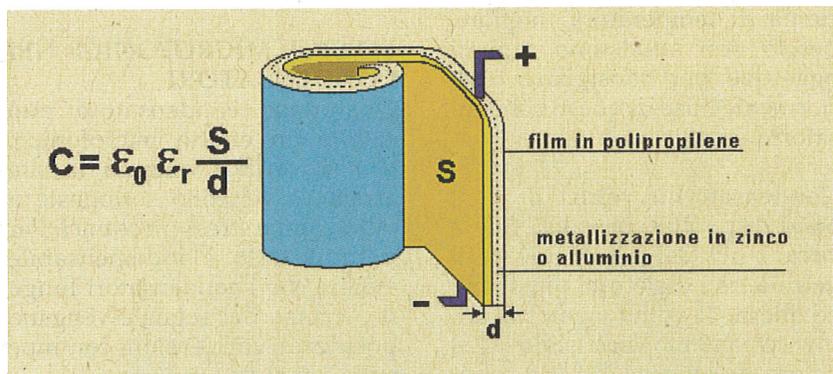
L'argomento è particolarmente complesso. Si può dire che anche i condensatori esibiscono non-linearità dinamiche dovute al coefficiente di tensione (come avviene con le resistenze), che possono generare distorsioni indesiderate. Tuttavia questi effetti dipendono anche dalla frequenza di lavoro e sono quindi molto difficili da analizzare compiutamente.

I condensatori a film, in particolare, possono esibire anche un tipo specifico di non-linearità che dipende dalla corrente del segnale che li attraversa. Questo perché le superfici metallizzate delle armature, o i film, devono essere connessi elettricamente ai terminali esterni del componente e queste connessioni sono differenti nei vari condensatori (ad es. sono crimpate), perciò spesso si genera una resistenza equivalente di contatto in serie (ESR) che è non-lineare e variabile da componente a componente.

ALCUNE CONSIDERAZIONI SU COME RIDURRE LA



Condensatori in vetro



DISTORSIONE NEGLI AMPLIFICATORI OPERAZIONALI

Le non-linearità dello stadio di uscita possono spesso essere significativamente ridotte "forzando" l'uscita a comportarsi come uno stadio in classe A, aggiungendo una resistenza o un generatore di corrente ad uno dei rami di alimentazione (fare attenzione all'aumento della potenza dissipata dall'operazionale).

Gli operazionali che necessitano di un condensatore esterno di compensazione possono in genere beneficiare di una compensazione a "due poli" o di una feed-forward. Invece di utilizzare il

classico condensatore da 22 pF tra i pin 5 e 8 di un NE5534, mettetevi in serie due condensatori da 47 pF ed inserite una resistenza da 560 a 1k Ohm tra il loro punto centrale ed il ramo positivo di alimentazione; per le configurazioni invertenti dell'NE5534, si può collegare un condensatore di circa 6,8 ~ 12 pF tra il pin 8 ed il segnale audio di ingresso.

Se possibile, utilizzate le configurazioni invertenti: negli operazionali JFET, la capacità di ingresso è normalmente più elevata e maggiormente non-lineare con i segnali di modo comune.

La maggioranza degli operazionali avrà una distorsione molto inferiore (in particolare di seconda armonica sopra i 5 kHz) se il guadagno unitario è negativo (-1) piuttosto che positivo (+1).

Se un operazionale deve essere utilizzato in tipologia non-invertente (ad es. nei filtri attivi passabasso Sallen-Key), fate in modo che entrambi gli ingressi "vedano" la stessa impedenza della sorgente: ciò di norma si ottiene aggiungendo una rete RC in serie all'ingresso positivo, affinché questo veda la stessa impedenza dell'ingresso negativo.

NOTA CONCLUSIVA

Quando si progetta il circuito stampato dove montare un'operazionale, non è detto che dedicare un intero piano di massa ad una o entrambe le facce del PCB sia la cosa migliore: lo è solo se

questo serve come piano schermante statico, dove non circolano correnti (cioè dove il collegamento alla massa generale avviene in un solo punto e sul piano di rame non è collegato nessun componente attivo o passivo). Se invece il piano viene attraversato da correnti, le cose possono cambiare anche sostanzialmente. Questo è naturalmente anche il caso delle grandi aree di rame usate per distribuire le alimentazioni (singole o duali).

Infatti, anche in un piano conduttivo grande quanto l'intero PCB, le correnti (contrariamente a quanto si può immaginare) non si distribuiscono in modo omogeneo sulla superficie ma seguono uno specifico percorso, che è ovviamente quello dove incontrano la minore resistenza, imprevedibile a priori (in quanto non è necessariamente quello della distanza minore tra due punti ma può dipendere da vari fattori come ad esempio l'omogeneità dello spessore del rame, la presenza di saldature etc.).

Per effetto della legge di Lenz, il flusso di queste correnti indurrà un segnale non nullo nei componenti più prossimi al loro percorso, senza possibilità da parte nostra di impedirlo; questo segnale indotto può interferire con gli anelli di reazione locale o con l'anello di controreazione complessiva e peggiorerà quindi le prestazioni ed il suono globale. Un'accurata progettazione dei percorsi del segnale sul PCB potrebbe quindi essere compromessa anche sostanzialmente da questo fattore.

È quindi preferibile dedicare ai collegamenti di alimentazione e di massa piste specifiche sul PCB, facendo attenzione al loro percorso (che dovrà preferibilmente non trovarsi in parallelo ai componenti "sensibili") e riservando come detto le grandi aree di rame alla sola schermatura statica. ▲

