

Amplificatori classe D con uscita "single ended": come minimizzare l'effetto "pumping"/ elevazione dell'alimentazione

Marshall Chiu
Strategic Applications Engineer
MM BU - Maxim Integrated
Products Inc.
Sunnyvale, CA

a cura di
Massimo Caprioli
Senior FAE Maxim Italy
Maxim Integrated Products Inc.
Milano - Italia

Gli amplificatori classe D con uscita "single ended" (sbilanciata) possono presentare uno strano fenomeno che determina una crescita dell'alimentazione all'aumentare della potenza distribuita al carico; chiamato "pumping", se sconosciuto esso può generare nel progettista grandi perplessità e interrogativi.

La conseguente crescita dell'alimentazione, se non controllata adeguatamente, potrebbe eccedere i valori massimi operativi dei vari dispositivi del circuito così come delle capacità di filtro dell'alimentazione e causare guasti permanenti al sistema di amplificazione audio.

Capire il fenomeno di "pumping"/ elevazione dell'alimentazione

Questo fenomeno normalmente accade quando viene usato un alimentatore lineare per alimentare un amplificatore che pilota segnali a bassa frequenza in carichi a bassa impedenza quali gli altoparlanti audio.

Questo articolo illustra le cause che inducono il fenomeno di "pumping" e descrive le modalità per risolverlo

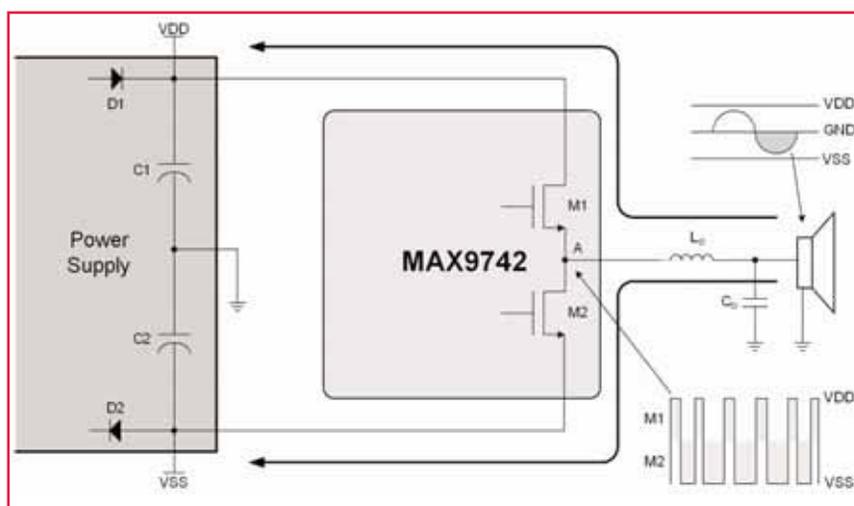


Fig. 1 - Le frecce mostrano il fluire della corrente dal carico nello stadio d'uscita dell'amplificatore in classe D durante il semiciclo negativo del segnale sinusoidale in uscita

Siccome le uscite di tali alimentatori sono rettificata da diodi, esse non sono in grado di ricevere corrente all'uscita positiva e fornirne da quella negativa.

La figura 1 mostra un alimentatore lineare collegato a un amplificatore classe D avente ingressi differenziali (il MAX9742 o altri dispositivi simili). Durante il semiciclo negativo, il segnale di uscita all'altoparlante muove sotto massa e la corrente fluisce verso le uscite dell'alimentatore seguendo il percorso illustrato.

Seguendo le commutazioni dei due mosfet M1 e M2, al nodo "A" dell'amplificatore classe D, il segnale si muove tra Vdd e Vss e quindi la corrente indicata

dalle frecce muoverà in funzione dell'alternativo stato di accesso dei mosfet. Quando M2 è acceso la corrente che vi fluisce, ritorna verso l'alimentazione Vss per mezzo di D2, mentre quando è M1 a essere acceso la corrente che vi fluisce provoca la carica di C1 essendo D1 polarizzato inversamente; ne consegue che Vdd tenderà a crescere.

La figura 2 mostra la misura all'oscilloscopio dell'effetto "pumping" visualizzando le forme d'onda di segnali relativi al circuito di figura 1. Esso è alimentato con Vdd = +15V e Vss = -15V filtrate con condensatori da 1000µF; a tale circuito viene quindi applicato un segnale sinusoidale con oscillazione a 20Hz e all'uscita è presente un carico resistivo di 40hm.

L'intervallo di tempo t1 ⇔ t2 rappresenta il semiciclo negativo del segnale sinusoidale di uscita che impone alla corrente di fluire nella direzione indicata in figura 1; durante tale intervallo Vdd (traccia 1) tende a salire a un valore maggiormente positivo ma non appena si supera t2 e l'uscita diviene positiva la corrente incomincerà a fluire nel senso opposto scaricando C1. Nello stesso momento Vss (traccia 2) diviene più negativa e si otterrà la carica di C2 e un innalzamento (negativo) di Vss; non appena la tensione sull'altoparlante diviene negativa C2 scarica e Vss torna al valore nominale. Quindi il ciclo si ripete.

L'effetto di "pumping" è particolarmente rilevante quando si devono amplificare segnali a bassa frequenza perchè a bassa frequenza si avrà un tempo di carica - del condensatore d'alimentazione - più lungo prima che la fase opposta possa scaricare l'eccesso di carica accumulato durante il precedentemente semiciclo. Il conseguente aumento della tensione di alimentazione può causare - superando i relativi limiti operativi massimi - il danneggiamento dei componenti del circuito quali le condensatori C1 e C2, i mosfet M1 e M2, e così via.

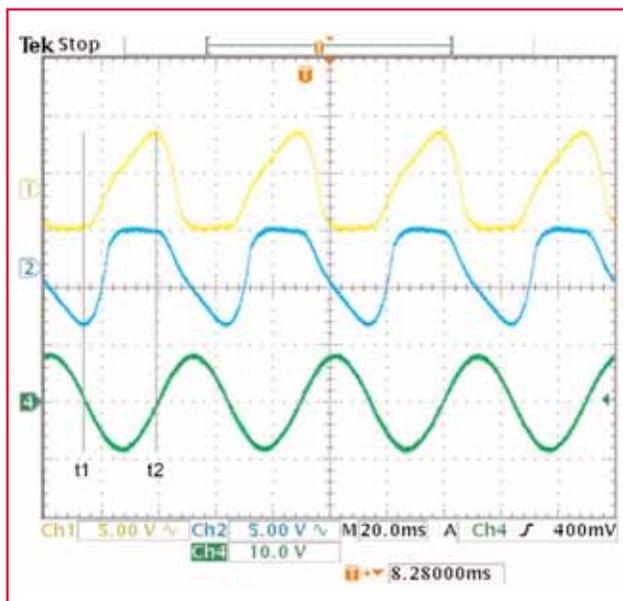


Fig. 2 - Le forme d'onda illustrano l'effetto del "pumping" sull'alimentazione. La traccia gialla-1 il segnale Vdd, la traccia blu-2 il segnale Vss e la traccia verde-4 mostra il segnale di uscita

Soluzioni al fenomeno/ problema del pumping/ elevazione dell'alimentazione

Tre semplici metodi possono essere usati per ridurre il problema discusso:

1) il dispositivo illustrato in figura 1 ha due uscite "sbilanciate" (di cui una sola mostrata) che possono essere collegate a ponte così da realizzare un solo canale differenziale (Fig. 3); così facendo i segnali di uscita sono tra loro sfasati di 180° e l'effetto di pumping sull'alimen-

tazione di un canale cancellerà quello dovuto all'altro canale;

2) nella maggior parte delle tracce audio stereofoniche l'energia musicale a bassa frequenza è in realtà monoaurale ovvero i canali producono lo stesso contenuto.

Sarà quindi possibile invertire la polarità del canale R rispetto al canale L. Come mostrato in figura 4, il segnale audio del canale L viene iniettato nell'ingresso invertente mentre quello del

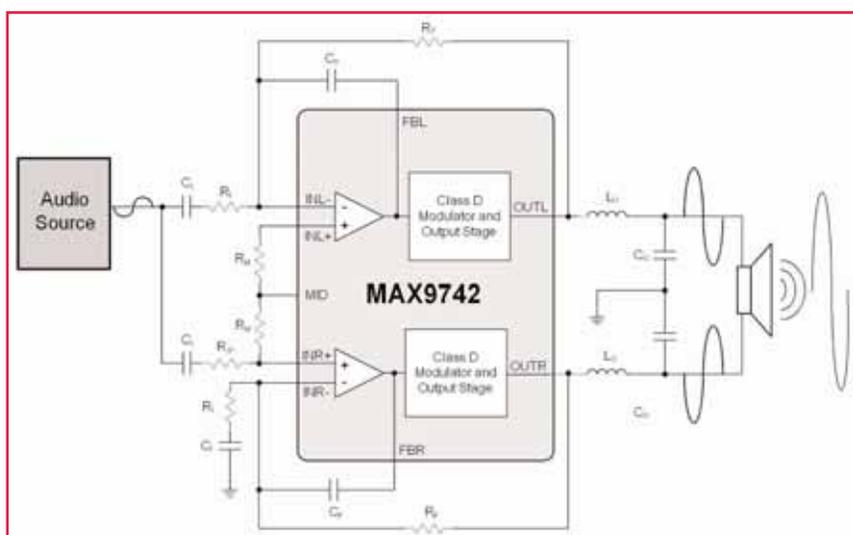


Fig. 3 - Amplificatore classe D in configurazione con uscita carico a ponte

canale R all'altro ingresso non-invertente; si avrà così in uscita uno sfasamento di 180° tra le due sorgenti e, per assicurare la corretta fase dei segnali riprodotti dalle due uscite, si dovrà invertire la polarità di un altoparlante (in questo caso quello del canale R). Così facendo l'effetto di "pumping" presente su un canale cancellerà quello sull'altro canale (ottenendo una sorta di mutua cancellazione del disturbo);

3) anche l'uso di capacità di filtro alimentazione più grandi (>1000µF) aiuta a ridurre l'effetto di "pumping" sull'alimentazione in quanto - durante il semiciclo negativo - essi saranno in grado di accettare più corrente prima che l'alimentazione possa alzarsi e - mentre ricevono corrente - permetteranno un maggior tempo di scarica durante il semiciclo opposto.

Modello matematico

Assumendo per semplicità che V_{DD} sia uguale a V_{SS} e $R_{DS(ON)}$ sia uguale a 0 per entrambi i mosfet M1 e M2 si otterrà, con buona approssimazione, la rappresentazione matematica del fenomeno di "pumping per mezzo dell'equazione "1":

Eq."1"

$$\Delta V_{DD} = 1 / C \Leftrightarrow A / R_{LOAD} \times [1 / (2 \times \pi) - A / 8V_{DD}] \times T_{sine}$$

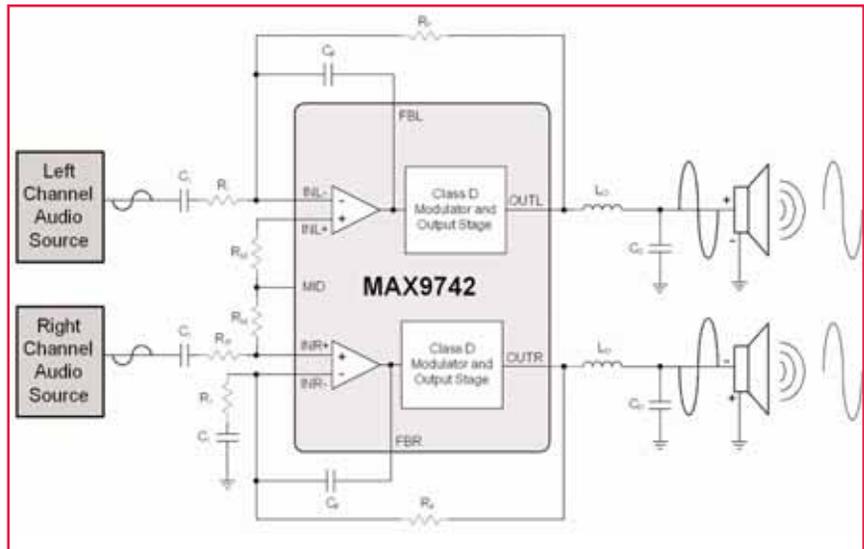
Dove

C'è la capacità di filtro applicata a V_{DD} (C1); A è l'ampiezza del segnale sinusoidale d'uscita; R_{load} è l'impedenza dell'altoparlante; V_{DD} è il valore nominale della tensione d'alimentazione positiva; T_{sine} è il periodo del segnale sinusoidale d'uscita.

Tale equazione descrive una parabola il cui picco è raggiunto quando l'ampiezza

$$A = (2 / \pi) \times V_{DD}$$

sostituendo tale espressione nell'equazione "1" si otterrà il valore massimo di "pumping" del progetto:



$$\Delta V_{DD}(\max) = [V_{DD} / (2 \times \pi \times \pi)] \times [T_{sine} / (R_{LOAD} \times C)]$$

Fig. 4 - Configurazione stereo, cancellazione del fenomeno di "pumping" preservando il contenuto audio

da cui, in un circuito alimentato a $\pm 15V$ con condensatori di filtro da $220\mu F$, che deve pilotare un altoparlante da 8Ω con un segnale sinusoidale a $20Hz$, la V_{DD} salirà di $6,6V$ rispetto al valore nominale arrivando così a $21,6V$.

Aumentando il valore dei condensatori si otterrà una diminuzione dell'effetto "pumping"; se, ad esempio, si sostituissero quei condensatori di filtro con una coppia avente capacità di $1000\mu F$ l'effetto di "pumping" sarebbe al massimo di $4,7V$.

Analisi delle soluzioni

Al fine di prevenire l'effetto "pumping", il metodo "1)" usa un aggiuntivo stadio di inversione fornendo una soluzione poco costosa in quanto richiede un solo amplificatore operazionale per ottenere il risultato voluto. Qualora si usasse il MAX9742 - che è un dispositivo stereo - non sarebbe richiesto alcun amplificatore esterno aggiuntivo perchè, come illustrato in figura 3, si potrà optare per l'uso combinato del suo secondo stadio come elemento invertente e del collegamento a ponte delle relative uscite.

Tuttavia, qualora la riproduzione fosse stereofonica questo approccio non è

praticabile in quanto riduce i due amplificatori a un unico elemento e di conseguenza sarebbe necessario un secondo MAX9742.

La metodologia più efficiente per ridurre l'effetto "pumping" in riproduzioni stereofoniche risulta quindi quella illustrata dal metodo "2)" / figura 4 ove il segnale audio del canale L viene iniettato nell'ingresso invertente e quello del canale R all'altro ingresso non-invertente ottenendo così l'attenuazione/cancellazione dell' indesiderato effetto di "pumping".

L'uso di un dispositivo come il MAX9742 permetterà - con questo metodo - di ottimizzare i costi dell'intero sistema (evitando componenti aggiuntivi e riducendo lo spazio su PCB). L'approccio più comune però è quello descritto in "3)" perchè, essendo i progettisti sovente pressati dalla consegna del prodotto, risulta immediata e senza modifiche del PCB la sostituzione di condensatori da

100 μ F-330 μ F, normalmente previsti in circuiti amplificatori di potenza, con altri da 1000 μ F; tuttavia, esso risulta essere anche il più costoso.

Analisi dei costi in applicazioni stereofoniche

Il metodo "2" richiede che si aggiungano un amplificatore operazionale e i relativi componenti passivi che costano da 0,1 a 0,2 Euro mentre il solo condensatore da 330 μ F circa 0,1 Euro; avendo due condensatori (Vdd e Vss) il costo totale della soluzione sarà di 0,3-0,4 Euro.

Il metodo "3" richiede l'uso di un condensatore da 1000 μ F costa circa 0,25-0,3 Euro che comporterà una spesa di circa 0,5-0,6 Euro.

Quando gli amplificatori classe D non sono configurati in modo corretto, essi possono essere soggetti all'effetto "pumping" e la conseguente elevazio-

ne delle tensioni di alimentazione potrebbe superare i valori operativi massimi dei dispositivi usati e determinarne un guasto irreparabile.

La conoscenza del fenomeno permette di gestire il problema riducendolo a livelli di sicurezza operativa dell'intero circuito.

Il fenomeno del "pumping" è un problema che è maggiormente presente ed evidente mentre l'amplificatore classe D (avente uscita single-ended/sbilanciata) riproduce le basse frequenze del segnale audio pilotando un carico a bassa impedenza.

Sebbene l'effetto "pumping" e le relative soluzioni siano note e comprese, i progettisti di circuiti integrati non hanno ancora integrato nei dispositivi "amplificatori audio classe D" alcun circuito che risolva il problema.

Ad oggi le soluzioni sono quelle discusse, ove si usano due amplificato-

ri - o il singolo MAX9742 - i cui ingressi differenziali possono essere configurati per cancellare l' indesiderato effetto sia in applicazioni monofoniche (metodo 1 - Fig. 3) che in quelle stereofoniche (metodo 2 - Fig. 4). Il problema può essere anche risolto usando grandi capacità di filtro esterne (metodo 3) ma ciò comporterà un aggravio di costo sebbene permetta di evitare la ri-progettazione del PCB.

Questo articolo ha analizzato le cause del fenomeno "pumping" / elevazione dell'alimentazione in applicazioni con amplificatori classe D e illustrando alcuni metodi per risolverlo, semplici o articolati, ha fornito al progettista elementi per prevenire possibili malfunzionamenti distruttivi del sistema disegnato.

readerservice@fieramilanoeditore.it
Maxim Integrated Products n.17

Nuovi Alimentatori Medicali e Industriali da XP Power



ECS & ECP

- Da 25 a 150 W open frame
- Dimensioni da 2 X 3 e 2 X 4 pollici.
- Elevata densità di potenza
- Certificazioni Medicali & Industriali
- Assorbimento senza carico minore < 0,5 W
- 3 anni di garanzia



25 Watts
2" x 3"



40/45 Watts
2" x 3"



65 Watts
2" x 4"



100 Watts
2" x 4"



150 Watts
2" x 4"



Visita il nostro sito e richiedi una copia del nostro catalogo 2009/10.

Il catalogo XP comprende più di 270 pagine dettagliate della più vasta e completa gamma di alimentatori standard per applicazioni Medicali, Industriali, Avionico Militari e Telecom.



XP Power
www.xppower.com

XP Power s.r.l.
Via Volturmo, 37
20147 Brugherio (MI)
tel.: 039-2876027
e.mail: info@xppower.com