

Alcuni semplici metodi per espandere alle applicazioni audio gli intervalli di frequenza e di guadagno degli integrati ispPAC10 e ispPAC20

I componenti IspPAC per applicazioni audio

Tristan Lucy
Field Application Engineer, WBC

La famiglia di dispositivi analogici programmabili ispPAC di Lattice Semiconductor garantisce la massima flessibilità nella realizzazione di applicazioni di tipo general-purpose che prevedono l'elaborazione dei segnali analogici grazie all'utilizzo delle risorse ISP (In-system-programmability). I progetti vengono sviluppati e messi a punto con il software PAC Designer per essere quindi scaricati nei dispositivi nel giro di pochi millisecondi, rendendo possibile l'immediata valutazione dei circuiti realizzati. I parametri di configurazione sono immagazzinati in una memoria non volatile di tipo E²CMOS che permette al dispositivo di mantenere le caratteristiche del circuito anche in assenza di alimentazione.

L'integrato ispPAC garantisce al progettista una reale programmabilità in-system. I blocchi analogici con caratteristiche di programmabilità contenuti nell'integrato sostituiscono i tradizionali componenti analogici come amplificatori operazionali, filtri attivi e comparatori, eliminando quasi completamente il ricorso a resistenze e a condensatori esterni.

Aggiungendo soltanto due resistenze esterne al circuito, l'intervallo di filtraggio degli integrati ispPAC10/20 può essere abbassato fino alle frequenze audio. L'intervallo di frequenza è proporzionale al rapporto tra le due resistenze esterne. La stessa tecnica può essere utilizzata anche per aumentare l'intervallo di guadagno dei moduli PACblock: i risultati dei test dimostrano

che la frequenza può essere facilmente abbassata fino a 10 Hz, mentre il guadagno di ogni singolo PACblock può superare i 6000 V/V.

Questa tecnica permette di ottenere anche altri benefici quali una minore rumore e minor offset d'ingresso, un miglior rapporto segnale/rumore e un'oscillazione del segnale in uscita veramente rail-to-rail.

Uno sguardo alla soluzione

Gli integrati ispPAC10 e ispPAC20 contengono diversi moduli PACblock come quello riportato in figura 1. Ogni modulo è costituito da due amplificatori per strumentazione (IA) con guadagno regolabile in passi da 1 a 10 e un amplificatore d'uscita (OA) con integrato un filtro passa basso regolabile da 10 kHz a 550 kHz. La rete di retroazione dell'amplificatore d'uscita è composta da un condensatore programmabile (CF) e da una resistenza di valore fisso (RF) che

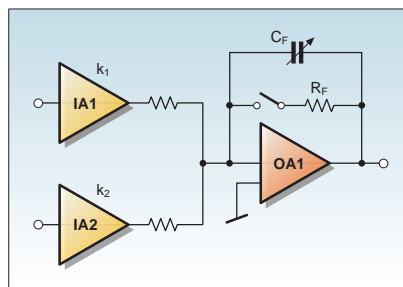


Fig. 1 - Gli integrati ispPAC10 e ispPAC20 di Lattice Semiconductor contengono diversi moduli PACblock



può essere inserita o disinserita mediante un interruttore. Il prodotto $RF \cdot CF$ determina l'ampiezza della banda passante di questo amplificatore. Variando la capacità di CF è possibile modificare la frequenza di taglio del filtro passa basso in un intervallo che spazia dai 10 kHz (massima capacità di CF) ai 550 kHz (minima capacità di CF). Tuttavia, aggiungendo due sole resistenze esterne al modulo PACblock, è possibile ampliare gli intervalli di guadagno e di frequenza di diversi ordini di grandezza, pur continuando a utilizzare tutte le caratteristiche di programmabilità del modulo stesso. Quindi sarà ancora possibile modificare e regolare sia il guadagno sia la banda passante del dispositivo potenzialmente senza perdite di precisione. La programmazione dei parametri di guadagno, della rete di retroazione col suo condensatore e dell'ARP (Analogue Routing Pool) interna tra i moduli e tutte le altre caratteristiche resta completamente configurabile attra-

verso la memoria non volatile E²C²MOS presente nell'integrato.

Retroazione esterna

La figura 2 mostra l'utilizzo di una resistenza esterna per ottenere la scalabilità della frequenza e del guadagno in un circuito a ingresso differenziale. Per meglio comprendere il funzionamento, si noti che la resistenza di retroazione interna R_F è stata disabilitata (l'interruttore è aperto) e che l'amplificatore IA2 è stato inserito nella rete di retroazione esterna. Questa tecnica viene utilizzata per ottenere guadagni dell'ordine di 3/4, 8/3 e simili determinati dal rapporto k₁/k₂.

Utilizzando questo metodo, il segnale di retroazione viene attenuato in base al rapporto R₂/R₁.

Ne consegue che la retroazione risultante non è più così "forte" e che l'amplificatore OA1 deve fornire una maggior tensione in uscita per compensare l'attenuazione. Pertanto, maggiore sarà l'attenuazione, maggiore sarà il guadagno tra ingresso e uscita. Anche quando viene utilizzata una resistenza di retroazione esterna, la programmazione dei guadagni degli amplificatori IA1 e IA2 e della capacità del condensatore CF risulta comunque possibile.

L'equazione per il calcolo del nuovo guadagno è:

$$|A_{dcl}| = |V_{out} / V_{in}| = \left| \frac{k_1}{k_2} \right| \left| \frac{R_2}{R_1} \right|$$

Se per esempio il fattore di attenuazione R₂/R₁ fosse uguale a 9, il risultante intervallo di programmabilità del guadagno salirebbe di 10 volte, ovvero passerebbe da 1x-10x a 10x-100x.

L'introduzione di una resistenza esterna per attenuare la retroazione e aumentare il guadagno dell'amplificatore influisce anche sull'intervallo delle frequenze del filtro passa basso. Nell'esempio proposto, infatti, le frequenze di taglio del filtro vengono diminuite di un fattore 10 e l'intervallo di programmabilità passa da 10 kHz-550 kHz a 1 kHz-55 kHz. Si

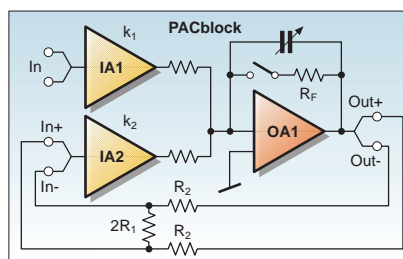


Fig. 2 - Utilizzo di una resistenza esterna per ottenere la scalabilità della frequenza e del guadagno in un circuito a ingresso differenziale

noti che per la funzionalità del circuito, la polarità del guadagno di IA2 deve essere negativa.

La natura differenziale del segnale richiede inoltre che il valore di R₁ sia raddoppiato (si veda 2R₁ nello schema).

Oscillazione di uscita rail-to-rail

L'utilizzo di una retroazione esterna contribuisce ad aumentare l'intervallo di ampiezza del segnale in uscita. Quando la resistenza di retroazione interna R_F è inserita, gli ingressi non possono garantire un'oscillazione rail-to-rail e l'oscillazione in uscita è limitata all'intervallo 1-4 V (= 6 Vpp).

Inserendo una resistenza esterna questa limitazione può essere superata dal momento che il segnale attenuato che ritorna in IA2 è minore di 1-4 V.

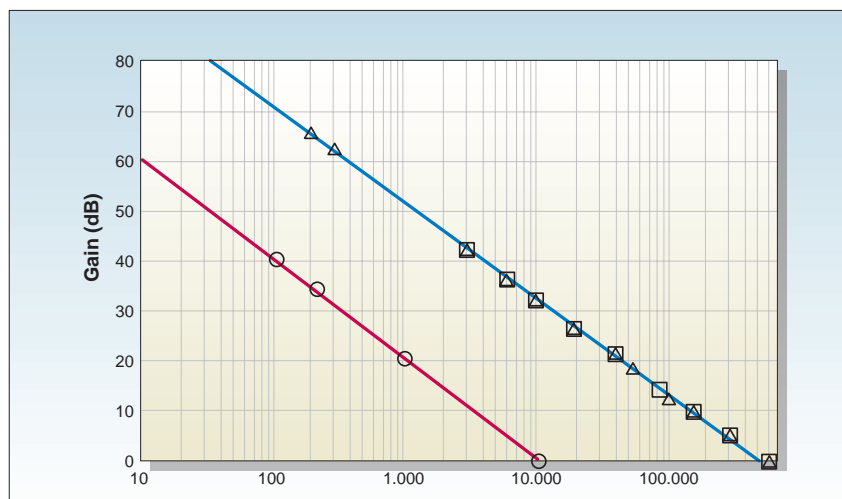
Nella maggior parte delle applicazioni pratiche il rapporto tra le resistenze esterne sarà superiore a 1.7:1, perciò i segnali in uscita potranno oscillare molto vicino ai valori di alimentazione senza incidere sulla distorsione.

I dati rilevati durante le prove mostrano che la distorsione dei moduli PACblock può essere mantenuta bassissima, entro 200mV per ogni terminale di alimentazione; il che equivale a un'ampiezza dell'uscita differenziale superiore ai 9.6 V picco picco!

Fig. 3 - Risultati delle prove per le misure dei guadagni e delle frequenze

Un esempio di design

Si supponga di voler realizzare un amplificatore con ampiezza di banda pro-



grammabile nell'intervallo da 100 a 1 kHz. Poiché normalmente la frequenza inferiore è pari a 10 kHz, è necessario un fattore di scala uguale a 100. In base all'equazione data, questo significa che $R2/R1 = 99$. I più vicini valori standard che potranno avere le resistenze per soddisfare tale rapporto saranno

$$R2 = 100 \text{ k}\Omega, 2R1 = 2 \text{ k}\Omega, k2 = -1.$$

Con i valori di capacità disponibili per il condensatore CF, il nuovo intervallo di frequenza per il filtro diventa 100 Hz - 1.06 kHz programmabile in 122 passi. Anche il nuovo intervallo di guadagno è aumentato dello stesso fattore 100 ed è ora pari a 100 -1000, programmabile in 10 passi. Il guadagno può essere aumentato, diminuito o regolato utilizzando altri moduli PACblock.

Alcuni suggerimenti

Le linee guida per la scelta dei valori corretti delle resistenze esterne sono piuttosto semplici. Occorre considerare che il carico resistivo visto dall'amplificatore d'uscita (OA) è circa equivalente alla somma $R1 + R2$ a cui va aggiunto il valore del carico che l'amplificatore dovrà pilotare. Per non caricare eccessivamente l'uscita dell'amplificatore si dovrebbero scegliere per le resistenze esterne valori di almeno 10 K o superiori. Tuttavia, scegliendo per $R1$ valori troppo elevati si rischia di rendere instabile il circuito a causa dello slittamento di fase introdotto da $R1$ e dalle capacità parassite presenti sull'ingresso di IA2. Nella pratica comunque questo non rappresenta un vero problema e il valore da scegliere non è critico. In generale si consiglia di utilizzare per $R1$ valori compresi tra 1K e 100K.

La possibilità di programmare sia il guadagno diretto ($k1$ in figura 2) sia il guadagno in retroazione ($k2$) permette di modificare l'intervallo di guadagno e l'intervallo di frequenza di 10 ulteriori passi. Impostando per esempio un fattore di attenuazione esterno di 9:1, è possibile sfasare gli intervalli di frequenza e di guadagno programmando $k1$ e $k2$ da 1-10, ottenendo i valori 1 kHz - 550 kHz

come estremi dell'intervallo di frequenza (1.270 passi) e i valori 1-100x per l'intervallo di guadagno (100 passi), senza bisogno di cambiare alcun componente esterno. Nel momento in cui vengono spinti al limite i valori di guadagno e di frequenza si deve tener conto che ciò comporta alcune limitazioni. Il massimo guadagno raggiungibile da ogni PACblock è costituito dal guadagno ad anello aperto dell'amplificatore d'uscita OA che può superare i 10.000 V/V, o 80 dB. Con un guadagno così elevato bisogna tenere in considerazione che qualunque disturbo o sfasamento di tensione sarà amplificato a livelli percepibili nel segnale d'uscita. Per esempio, uno sfasamento d'ingresso pari a 50µV, una volta amplificato di 10.000 volte produrrà in uscita uno sfasamento di 500mV. Per ottenere un guadagno di 10.000, il fattore di attenuazione deve essere pari a 1000:1 (o 999:1 per l'esattezza), e l'ampiezza di banda minore di un modulo verrebbe ridotta a soli 10 Hz. Poiché il livello di rumore interno di ogni PACblock non varia in funzione della retroazione esterna, il rapporto S/N risulterebbe molto elevato, considerata l'irrisoria ampiezza di banda dell'amplificatore risultante. Per il caso descritto ci si può aspettare di ottenere un rapporto Segnale/Rumore pari a 110 dB.

Misura degli intervalli di guadagno e di frequenza

Sono state effettuate prove di laboratorio per la misurazione dei guadagni e delle frequenze risultanti dall'applicazione di diversi valori di resistenze esterne. I risultati sono riportati nella figura 3. La linea più in basso rappresenta la minore ampiezza di banda corrispondente al massimo valore del condensatore CF e i guadagni ottenuti alle frequenze di taglio corrispondenti. Si può notare che spostando la frequenza inferiore dai normali 10 kHz al valore di 1kHz (ossia di un fattore 10) si ottiene un aumento del guadagno del PACblock pari a 10x, ovvero 20 dB. Diminuendo ulteriormente la frequenza a 100 Hz, il guadagno sale a 100x, pari a 40 dB, e così via. La linea superiore mostra la più elevata

ampiezza di banda ottenibile facendo assumere a CF il suo valore più piccolo. Programmando CF per il suo valore minimo si ottiene un aumento dell'ampiezza di banda. Tracciando una linea orizzontale partendo dal punto 20 dB/1 kHz sulla linea di sinistra fino a intersecare la linea di destra, si trova che anche l'ampiezza di banda massima ha subito la stessa riduzione di 10 volte ed è diventata pari a 55 kHz. In altre parole, per ogni valore del guadagno è possibile programmare potenzialmente qualunque ampiezza di banda nell'intervallo compreso tra le due linee nel grafico. Il fatto che i punti corrispondenti alle misurazioni cadano esattamente sulle linee di interpolazione teoriche, mostra come il dispositivo risponda linearmente in un ampio intervallo di guadagni e di frequenze.

L'utilizzo di un modulo PACblock con una rete di retroazione esterna può aumentare notevolmente la versatilità che i prodotti ispPAC offrono normalmente. È possibile regolare con precisione la configurazione delle bande passanti senza la necessità di utilizzare ingombranti condensatori esterni e l'ampiezza di banda può essere programmata in un intervallo ampio più di 100 volte con 1.270 incrementi senza dover modificare la circuiteria esterna. Si possono raggiungere guadagni elevati oltre i 1000 V/V per ogni PACblock. L'intervallo di guadagno viene impostato mediante le resistenze esterne, mentre la programmabilità del modulo PACblock permette di variare i guadagni di +/-100 volte in 100 incrementi. L'attenuazione della retroazione mediante le resistenze esterne permette anche di ottenere segnali in uscita di tipo veramente rail-to-rail. Inoltre il rapporto segnale/rumore aumenta grazie alla minor ampiezza di banda, e soprattutto l'utilizzo di resistenze esterne di valore fisso amplia notevolmente gli intervalli di guadagno e di filtro dei circuiti ispPAC10 e ispPAC20 senza alcuna riduzione delle loro performance in campo audio.

**WBC****Reader Service n° 23**