

UN AMPLIFICATORE CHE FA LA DIFFERENZA

Rassegna di trucchi circuitali ed altri accorgimenti dettati dall'esperienza per migliorare le già buone caratteristiche di un amplificatore differenziale per strumentazione.

Elio Pedranti *

* Elio Pedranti – consulente di progettazione per conto terzi e titolare dell'omonima società produttrice di strumenti e apparecchiature elettroniche.

L'amplificatore differenziale è indubbiamente uno dei pilastri analogici su cui si basano moltissimi strumenti e il modo per realizzarlo dipende dalle caratteristiche desiderate. In questo articolo saranno indicate alcune soluzioni adottate sull'amplificatore differenziale per strumentazione AMP01E della ANALOG DEVICE per migliorare alcune delle già buone caratteristiche o per mitigarne qualche pecca.

Questo componente è stato da noi utilizzato per la prima volta circa 10 anni or sono in un amplificatore a guadagno programmabile per rilevatori sismografici riducendo ad un sesto il costo di una scheda di produzione tedesca precedentemente adottata e che presentava, per altro, prestazioni inferiori. Da allora è stato impiegato in diversi altri progetti evidenziando però alcuni limiti. Sulla spinta dettate dalle necessità sono stati così via via pres+ti alcuni accorgimenti derivanti da esperimenti ed esperienze precedenti che non si trovano in nessun data book.

Ecco alcuni dei problemi riscontrati e le soluzioni adottate.

Riduzione della deriva

L'AMP01E, nella versione DIP a 18 pin, ha i segnali differenziali d'ingresso sui pin 3 e 18. Questa dissimmetria nella collocazione dei segnali è fonte di una deriva del segnale d'uscita causata dalla presenza di un gradiente di temperatura fra gli stessi pin, che si trovano a distanza diversa dal chip.

Se quante si desidera è la minimizzazione della deriva e non è richiesto un segnale d'uscita superiore a $\pm 3V$, il dispositivo può essere alimentato con $\pm 5V$, riducendo la dissipazione a circa 32mW tipici. Considerando la resistenza termica del contenitore si trova facilmente che l'incremento di temperatura del chip, fra l'accensione e la stabilizzazione termica, è di circa $3^{\circ}C$, ossia di circa $0,2 \div 0,3^{\circ}C$ fra i pin di segnale. Tale seppur lieve differenza di temperatura ha come conseguenza la generazione di una tensione per effetto termico mediamente di 1microV.

La soluzione è quella di dotare l'amplificatore di un buon dissipatore sul lato superiore e di una piastra di almeno 15 cm quadri e dello spessore di 1,5mm premuta fra amplificatore e circuito stampato, spalmata di grasso al silicone e dotata di opportune cave e fori per far passare i pin dell'amplificatore e dei componenti che gli stanno attorno. Il tutto permette di ridurre a meno della metà la deriva in fase di riscaldamento dello strumento in cui il dispositivo è inserito grazie sia al minor incremento termico dell'amplificatore che ad una migliore uniformità nella distribuzione della temperatura.

Certamente voi non noterete mai il riscaldamento del dissipatore, ma il vostro amplificatore differenziale si.

Ulteriore riduzione della deriva

Anche se non riguarda strettamente accorgimenti circuitali è comunque interessante considerare che la deriva, soprattutto se dovuta a variazioni termiche, può essere di molto ridotta con una tecnica software. In fase di burn-in, durante il test di temperatura, grazie ad un sensore di temperatura posto presso l'AMP01E, misurando il salto termico e la deriva, il software dello strumento stesso può essere in grado di calcolare e memorizzare, in una memoria non volatile, il coefficiente di deriva termico da applicare quale fattore di correzione delle misure.

Riduzione del rumore

Altro punto dolente di un'applicazione ove si trattano segnali a basso livello è il rumore, soprattutto se a generarlo contribuisce anche l'amplificatore differenziale.

L'AMP01E è dotato di una discreta banda passante, ma non dispone di pin appositi per limitarla, così da ridurre conseguentemente anche il rumore. Anzi, non tollera affatto delle capacità se non fra gli ingressi di segnale e, tramite resistenza, sull'uscita. Inoltre se il segnale da trattare comprende la continua, non c'è condensatore che tenga. Ma una soluzione esiste comunque.

Consideriamo sempre il caso di un'alimentazione di $\pm 5V$, o quantomeno di un'escursione del segnale d'uscita compresa fra $-5V$ e $+5V$. La stessa ANALOG DEVICE consiglia di ridurre a 5Kohm la resistenza R_g , pena l'instabilità dell'amplificatore se si tenta di ridurla ulteriormente. Dall'esperienza è risultato però che, avendo necessità di un segnale d'uscita di $\pm 3,2V$ massimi, la resistenza di guadagno può essere ridotta sino a 1500 ohm.

Tale riduzione della resistenza ha un benefico effetto sul rumore a bassissima frequenza riducendolo a circa la metà rispetto a quando R_g è posta a 5Kohm.

Piuttosto che niente...

Ulteriore riduzione del rumore

Se si è fortunati e si ha bisogno di un segnale d'uscita inferiore a $3 \div 3,5V$ è possibile ridurre ulteriormente il rumore grazie ad un trucco circuitale che sfrutta una caratteristica del dispositivo.

Dal data sheet è possibile rilevare che il rumore di tensione riferito all'ingresso vale:

13 microV	con $G = 1$
1,4 microV	con $G = 10$
0,16 microV	con $G = 100$
0,12 microV	con $G = 1000$

La cosa notevolmente interessante che scaturisce da questa tabella è che sino a guadagni di circa 100 il rumore riferito all'uscita è pressoché costante a $13 \div 16$ microV e questa constatazione a consentito di ridurre di ben 5 volte il livello di rumore in un caso reale che andremo a descrivere.

Si è reso necessario amplificare il segnale d'ingresso di 80mV di f.s. di uno strumento di 8 volte prima di essere digitalizzato da un convertitore DeltaSigma da 24 bits, che avrebbe convertito il segnale su ± 15 bits con risoluzione di 2,5 microV.

La medesima sequenza di dispositivi avrebbe anche dovuto trattare un segnale di f.s. di soli 3,2mV e risoluzioni di 0,1microV, usando i 15 bits meno significativi del convertitore DeltaSigma. Focalizzando l'attenzione su questo secondo caso si può immediatamente notare che i 0,1microV di sensibilità all'ingresso dello strumento sarebbero diventati 0,8microV all'ingresso del convertitore. Tale valore va comparato con il rumore d'uscita dell'amplificatore differenziale di circa 14microV. Ben 17,5 volte il segnale utile, e quindi inammissibile..

La soluzione è venuta impostando un guadagno dell'amplificatore a 40 seguito da un partitore per 5. Il segnale viene sempre amplificato per 8, quanto richiesto, ma... Rifacciamo i conti.

La risoluzione del segnale risulta questa volta di $40 * 0,1 = 4$ microV che, confrontati con un rumore d'uscita dell'amplificatore differenziale di circa 15microV, determinato un rapporto di $15/4 = 3,75$ volte il segnale utile. Sebbene il rumore sia ancora alto il rapporto segnale/rumore è decisamente migliorato rispetto alla situazione precedente, e l'azione di un filtro software ha ridotto ulteriormente l'effetto del rumore portato dall'amplificatore.

Per riportare il segnale alla amplificazione necessaria è stato aggiunto un partitore che ha ridotto di 5 volte il segnale in uscita dall'amplificatore, ma anche di cinque volte il rumore. Visto all'ingresso del convertitore ora vi è un segnale con una risoluzione di $0,1 * 40 / 5 = 0,8$ microV e un rumore di $15/5 = 3$ microV.

Si potrebbe pensare allora di proseguire su questa strada e porre il guadagno a 100 o 200. E in linea teorica può andare bene, ma se ritorniamo a considerare il massimo f.s. di segnale di 80mV si capisce che disponendo di una tensione di alimentazione di $\pm 5V$ e un'escursione del segnale d'uscita dell'AMP01E di non più di $\pm 3,5V$, la massima amplificazione ammessa è di 40: infatti $80mV * 40 = 3,2V$.

La presenza di un partitore resistivo fra l'uscita dell'amplificatore e l'ingresso del convertitore generalmente non da problemi poiché è quasi sempre richiesto un filtraggio prima della conversione, per cui la resistenza equivalente del partitore vista dal convertitore può essere parte integrante di quella necessaria alla realizzazione del filtro RC di tipo passa basso.

Il risultato rimane comunque più che soddisfacente poiché si è ottenuto, in modo assai semplice, un amplificatore con un rumore, riferito all'ingresso, di 400nV picco-picco.

Disponendo di una tensione di alimentazione di $\pm 6V$ e rifacendo i conti si scopre la deriva del segnale incrementa di circa il 20%, mentre il rumore scende a 300nV picco-picco, pari a -25%. Sta al progettista valutare quale parametro è maggiormente importante e se vale la pena sobbarcarsi l'onere di un'altra coppia di alimentazioni.

Miglioramento del CMRR

Esiste anche una soluzione per migliorare il CMRR che va, per il nostro componente, come minimo da 80 a 120dB, per guadagni da 1 a 1000.

La soluzione trovata è stata usata con successo sempre nello stesso strumento, dove la tensione in modo comune sull'ingresso può variare di circa 700mV, pari a 7 milioni di volte la risoluzione. Infatti un CMRR di circa 100dB in corrispondenza di un guadagno dell'amplificatore di 40, significa che è possibile avere una variazione in uscita dall'amplificatore, in corrispondenza della massima variazione in modo comune dell'ingresso, di 7microV, contro una risoluzione del segnale utile di $0,1 * 40 = 4$ microV.

Prima di descrivere la soluzione adottata va precisato che requisiti indispensabili per la sua implementazione, almeno in questa forma, sono la disponibilità di un ingresso differenziale per il convertitore AD che segue l'amplificatore e una tensione a bassa impedenza (non più di qualche Kohm) che sia proporzionale alla tensione in modo comune. Questa può essere, come entità di variazione, sia minore che maggiore della tensione in modo comune.

Il concetto di funzionamento è semplice e consiste nel sottrarre, tramite un partitore che monitorizza la tensione in modo comune, una certa quantità di segnale dall'uscita dell'amplificatore differenziale. Tale quantità va calibrata in modo che quanto sottratto corrisponda alla variazione dell'uscita dell'amplificatore.

Una simile messa a punto richiede di aggiustare il trimmer di taratura di Fig. 3 sino a che la conversione dell'ADC rimane costante, o che al suo ingresso differenziale vi siano tollerabili o non più apprezzabili variazioni di tensione, quando all'ingresso dell'amplificatore differenziale si applica/toglie una consistente tensione in modo comune.

Per semplicità si è immaginato di collegare, in Fig. 3, l'ingresso del partitore di "monitoraggio" con l'ingresso negativo del segnale: questo è possibile, fermo restando quanto detto precedentemente ed eventualmente modificando il valore della resistenza da 5Mohm.

Senza particolare difficoltà una simile procedura migliora il CMRR complessivo anche di 20dB, portandolo a valori tipici non lontano da 130dB e possibili sino a 140dB.

Conclusioni

Un amplificatore per strumentazione in cui sono stati adottate tutte queste tecniche può essere realizzato con un costo, per i soli componenti, non superiore a 70.000 lire e avere le seguenti caratteristiche:

CMRR	>120dB
Deriva	< 0,05microV/°C
Rumore	< 400nV picco-picco nell'arco di 10 minuti
Banda passante	> 50KHz

Prestazioni che sono paragonabili ai migliori amplificatori per strumentazione commerciali di tipo ibrido, ma ad un costo e ad una reperibilità decisamente migliori.

Ovviamente non va trascurato tutto quanto fa da contorno all'amplificatore: occorre curare l'alimentazione, gli anelli di massa, evitare la vicinanza fra segnali a basso livello e segnali digitali, minimizzare la lunghezza delle piste di segnale, utilizzare resistenze a strato metallico o a filo avvolto antiinduttive, proteggere l'intero amplificatore con uno schermo, ma queste sono tutti accorgimenti di routine per chi tratta comunemente segnali inferiori al microvolt.

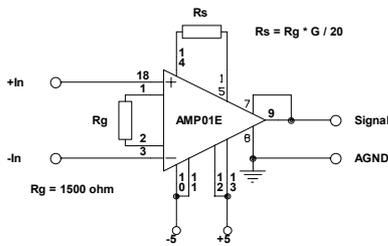


Fig. 1 Circuito base dell'amplificatore differenziale per strumentazione AMP01E di Analog Device.

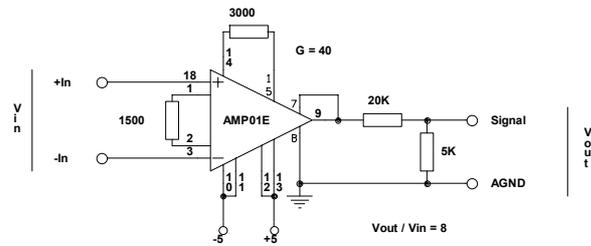


Fig. 2 Con l'aggiunta di un semplice partitore si migliora il rapporto segnale/rumore di tanto quanto e' il fattore di attenuazione del partitore.

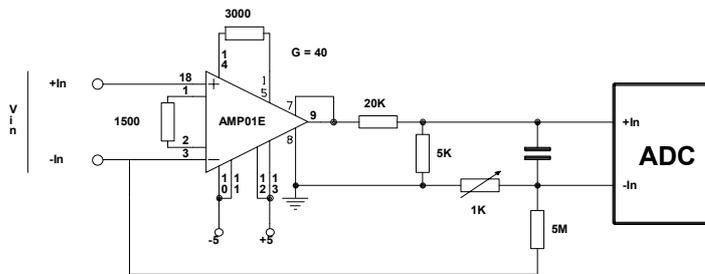


Fig. 3 Per migliorare il CMRR dell'amplificatore differenziale sono necessari una resistenza e un trimmer. Con essi e' possibile sottrarre, dall'ingresso differenziale negativo dell'ADC, un segnale corrispondente alla variazione dell'uscita dell'AMP01E per effetto della variazione della tensione in modo comune applicata agli ingressi.