

Circuiti di ingresso differenziali

1 - Il riferimento per i potenziali

Gli stadi *single-ended* e differenziali

I segnali elettrici prodotti dai trasduttori, oppure prelevati da un circuito o da un apparato elettrico, vengono applicati a un sistema di misura sotto forma di una tensione, dunque una differenza di potenziale fra due punti.

L'applicazione del segnale al sistema elettronico di misura richiede di considerare la modalità di riferimento per i potenziali, sia per quanto riguarda gli stadi di ingresso del sistema di misura sia per quanto riguarda il generatore equivalente del segnale da misurare.

Normalmente i circuiti d'ingresso dei sistemi elettronici di misura presentano un amplificatore (cioè un circuito attivo) per il quale è necessario stabilire e individuare un punto comune (*common*) al quale riferire i potenziali di molti altri punti: tipicamente a questo punto comune sono riferite le tensioni di polarizzazione dell'amplificatore, la tensione d'uscita e spesso la tensione in ingresso.

Per quanto riguarda invece il segnale da misurare, non sempre è possibile portare uno dei suoi morsetti al potenziale di riferimento (*common*) degli stadi di ingresso del sistema di misura.

Per chiarire questo punto, in Fig.1.1A è riportato il caso di un generatore equivalente di segnale (v_s , R_s) applicato a uno stadio amplificatore sui morsetti H ed L (*High* e *Low*), fra i quali è presente la resistenza d'ingresso R_{in} .

In questo schema il generatore di segnale, l'ingresso dell'amplificatore e l'uscita (v_{out}) dell'amplificatore sono riferiti allo stesso punto comune. Questa configurazione è detta *single-ended* (tensioni riferite a un unico punto).

D'altra parte, in molti casi pratici il segnale di misura risulta flottante, cioè la tensione del segnale di interesse non è riferita al punto comune, e inoltre nessuno dei due morsetti del generatore di segnale può essere collegato al common dell'amplificatore, per motivi di funzionamento del circuito.

In tali casi, gli stadi amplificatori di tipo *single-ended* non sono utilizzabili e bisogna ricorrere a configurazioni apposite (vedi la Fig.1.1B) di tipo differenziale.

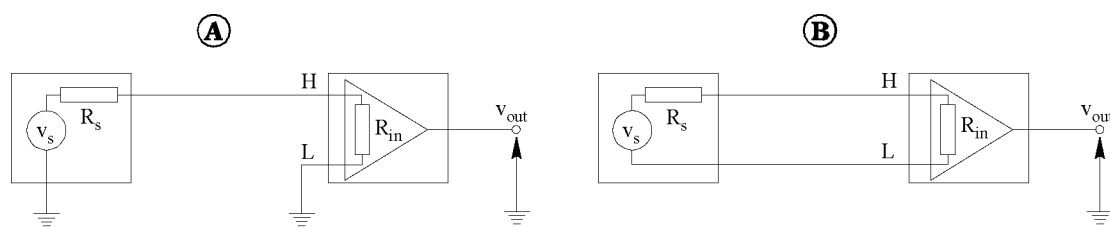


Fig.1.1 - Modalità per applicare un segnale a uno strumento di misura.
A) *single-ended*. B) differenziale.

2 - L'amplificatore per strumentazione

Amplificatore differenziale

Lo scopo di un amplificatore differenziale è quello di accettare in ingresso segnali flottanti e di amplificare soltanto la differenza di potenziale fra due punti, anche se nessuno di essi è il punto comune del sistema.

Da un punto di vista generale (vedi la Fig.2.1A) si possono considerare i due morsetti di un generatore flottante come portatori rispettivamente della tensione v_1 e della tensione v_2 , riferite al punto comune.

Da questo schema, attraverso le tensioni v_1 e v_2 si possono definire la tensione differenziale e la tensione di modo comune nel seguente modo (Fig.2.1B):

$$\begin{aligned} \text{tensione differenziale: } v_D &= v_1 - v_2 \\ \text{tensione di modo comune: } v_C &= \frac{v_1 + v_2}{2} \end{aligned} \quad (2.1)$$

La tensione differenziale v_D è quella che si intende amplificare, con un certo guadagno A_D . La tensione di modo comune v_C è quella presente su entrambi gli ingressi dell'amplificatore, che si vorrebbe non desse alcun contributo sull'uscita. In pratica spesso si può trovare in uscita una traccia della tensione di modo comune v_C , con guadagno A_C .

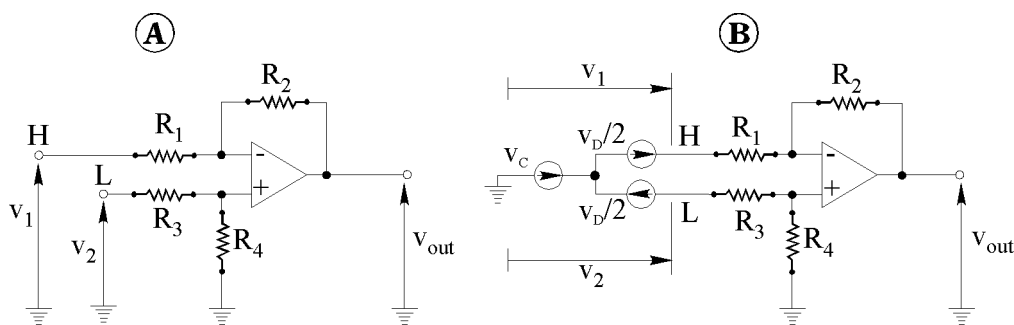


Fig.2.1 - Amplificatore differenziale: tensione differenziale e di modo comune.

Per chiarire questo fatto i due segnali in ingresso possono esprimersi nella forma:

$$v_1 = v_C + \frac{v_D}{2} \quad v_2 = v_C - \frac{v_D}{2} \quad (2.2)$$

Questa scomposizione è utile per applicare il principio di sovrapposizione degli effetti, considerando i contributi sull'uscita v_{out} dovuti separatamente agli ingressi v_1 e v_2 e tenendo conto del noto funzionamento degli operazionali ideali (vedi Fig.2.2).

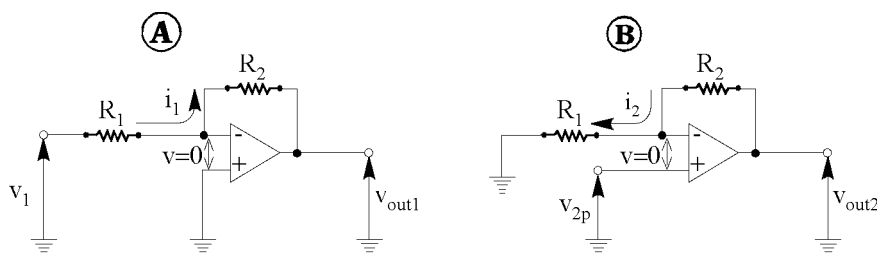


Fig.2.2 - Schema per la sovrapposizione degli effetti di v_1 e v_2 .

Nel caso di Fig.2.2A, considerando solo la presenza di v_1 , si ha:

$$i_1 = \frac{v_1}{R_1} = -\frac{v_{out1}}{R_2} \Rightarrow v_{out1} = -\frac{R_2}{R_1} v_1 = A_1 v_1 \quad (2.3)$$

Nel caso di Fig.2.2B, considerando solo la presenza di v_2 , la tensione sul morsetto non invertente (+) risulta $v_{2p} = v_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4}$ e quindi si ha:

$$i_2 = \frac{v_{2p}}{R_1} = \frac{v_{out2}}{R_1 + R_2} \Rightarrow v_{out2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot v_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} = A_2 v_2 \quad (2.4)$$

In definitiva, introducendo i guadagni A_1 e A_2 con cui le tensioni in ingresso v_1 e v_2 si presentano sull'uscita v_{out} , la tensione complessiva in uscita è:

$$v_{out} = v_{out1} + v_{out2} = A_1 v_1 + A_2 v_2 \quad \text{posto: } A_1 = -\frac{R_2}{R_1} \text{ e } A_2 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (2.5)$$

Se ora si esprimono le tensioni in ingresso v_1 e v_2 in funzione delle componenti di modo comune v_C e differenziale v_D si ottiene:

$$v_{out} = (A_1 + A_2)v_C + (A_1 - A_2)\frac{v_D}{2} = A_C v_C + A_D v_D \quad (2.6)$$

I guadagni di modo comune A_C e differenziale A_D risultano allora:

$$\begin{aligned} A_C &= \left. \frac{v_{out}}{v_C} \right|_{v_D=0} = A_1 + A_2 = -\frac{R_2}{R_1} \left[1 - \frac{1 + R_1/R_2}{1 + R_3/R_4} \right] \\ A_D &= \left. \frac{v_{out}}{v_D} \right|_{v_C=0} = \frac{A_1 - A_2}{2} = -\frac{1}{2} \frac{R_2}{R_1} \left[1 + \frac{1 + R_1/R_2}{1 + R_3/R_4} \right] \end{aligned} \quad (2.7)$$

Da tali espressioni si deduce che la condizione per un comportamento rigorosamente differenziale, caratterizzato da un guadagno nullo per il modo comune ($A_C=0$), è:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow v_{out} = A_D v_D = -\frac{R_2}{R_1} (v_1 - v_2) \quad (2.8)$$

Se viene realizzata la condizione precedente sui rapporti fra le diverse resistenze, viene amplificata solo la differenza v_D fra i segnali in ingresso, mentre nessun contributo della tensione di modo comune v_C è presente sull'uscita. In pratica può risultare difficile soddisfare esattamente la condizione precedente sui rapporti fra le resistenze, a causa delle inevitabili tolleranze sui valori delle resistenze e di numerosi altri fattori.

La caratteristica di amplificare il modo differenziale e di escludere il modo comune è detta reiezione del modo comune ed è quantificata mediante il rapporto fra i moduli del guadagno differenziale e di quello di modo comune (*Common Mode Rejection Ratio*, *CMRR*), spesso espresso in dB (*Common Mode Rejection*, *CMR*):

$$CMRR = \frac{|A_D|}{|A_C|} = \frac{|A_1 - A_2|}{2 \cdot |A_1 + A_2|} \quad CMR_{dB} = 20 \log \frac{|A_D|}{|A_C|} \quad (2.9)$$

Amplificatore per strumentazione

L'amplificatore per strumentazione è essenzialmente costituito da due stadi non invertenti ($OP1$ e $OP2$), montati secondo una struttura bilanciata (Fig.2.3), seguiti da un amplificatore differenziale ($OP3$).

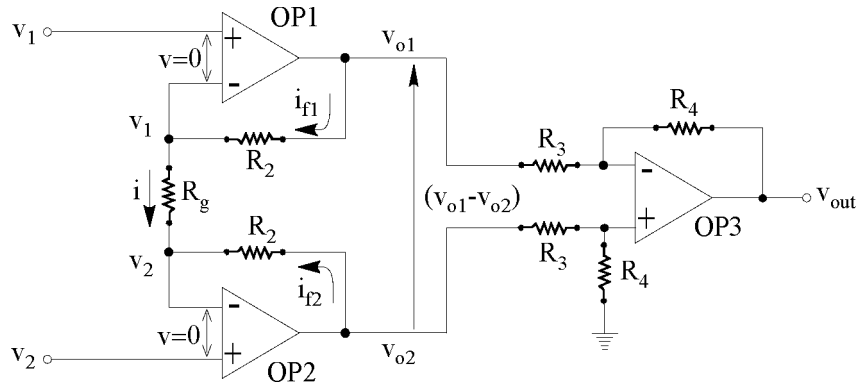


Fig.2.3 - Amplificatore per strumentazione.

Per l'analisi del dispositivo si osservi che, se gli amplificatori operazionali $OP1$ e $OP2$ hanno un comportamento ideale, esiste un corto circuito virtuale ai loro ingressi. Pertanto la corrente nella resistenza R_g risulta:

$$i = \frac{v_1 - v_2}{R_g} = i_{f1} = -i_{f2} \quad (2.10)$$

Le tensioni in uscita da $OP1$ e $OP2$ sono applicate allo stadio differenziale successivo, contenente l'amplificatore $OP3$:

$$v_{o1} - v_{o2} = (R_g + 2R_2)i = \frac{R_g + 2R_2}{R_g}(v_1 - v_2) = \left(1 + 2\frac{R_2}{R_g}\right)(v_1 - v_2) \quad (2.11)$$

La tensione in uscita da $OP3$, se le resistenze R_3 ed R_4 sono perfettamente bilanciate, in modo da rispettare la condizione (2.8), risulta in definitiva:

$$v_{out} = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + 2\frac{R_2}{R_g}\right)(v_1 - v_2) = A_D v_D \quad (2.12)$$

Il guadagno differenziale A_D può così essere stabilito agendo su una sola resistenza (R_g). In molti casi tale resistenza può essere variata in modo programmabile (PGIA, *Programmable Gain Instrumentation Amplifier*).

La resistenza di ingresso per entrambi i canali v_1 e v_2 è particolarmente elevata (in teoria infinitamente grande).

Il dispositivo è di norma disponibile su circuito integrato e ciò limita notevolmente le derive dovute a fenomeni termici e consente di ottenere, con opportune tecnologie costruttive, un accurato valore degli elementi resistivi interni.

Riguardo al funzionamento dell'amplificatore per strumentazione, si noti ancora che, se consideriamo una tensione di modo comune v_C in ingresso, cioè se risulta $v_1 = v_2 = v_C$, allora, per effetto del corto circuito virtuale in ingresso, dovuto alla presenza della controreazione, anche il morsetto non invertente di entrambi gli operazionali $OP1$ e $OP2$, che costituiscono lo

stadio di ingresso simmetrico, presenta la tensione v_C di modo comune.

Allora non circola corrente nella resistenza R_g e quindi neppure nelle resistenze di reazione R_2 . Pertanto le uscite degli operazionali $OP1$ e $OP2$ risultano $v_{o1} = v_C$ e $v_{o2} = v_C$, e questi si comportano, nei riguardi del modo comune, come degli inseguitori di tensione.

Da queste considerazioni consegue che la facoltà di reiezione del modo comune è completamente affidata al successivo stadio differenziale e alla sua corretta realizzazione.