

Stadi di ingresso

Stadi single-ended e differenziali

I segnali elettrici prodotti dai trasduttori oppure presenti in un circuito o apparato elettrico sono normalmente applicati agli stadi di ingresso di strumenti elettronici per poterne effettuare la misura. La connessione fisica allo strumento richiede tuttavia di considerare la modalità di riferimento per i potenziali, sia per quanto riguarda gli stadi di ingresso dello strumento sia per quanto riguarda il generatore equivalente del segnale da misurare.

Nei circuiti elettronici attivi (per esempio gli amplificatori) è sempre presente un punto comune (common) al quale riferire i potenziali di molti altri punti. Tipicamente a questo punto comune sono riferite le tensioni di polarizzazione, le tensioni d'uscita e spesso le tensioni 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. A titolo di esempio, 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, sia il generatore di segnale (V_s R_s), sia l'ingresso (H L) dell'amplificatore, sia l'uscita (v_{out}), sono tutti riferiti allo stesso punto comune. Questa configurazione è detta single-ended (cioè con le 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 a un punto comune. In tali casi, gli stadi amplificatori di tipo single-ended non sono utilizzabili e si realizzano pertanto configurazioni apposite (vedi Fig.1.1B) il cui schema base è rappresentato dall'amplificatore differenziale.

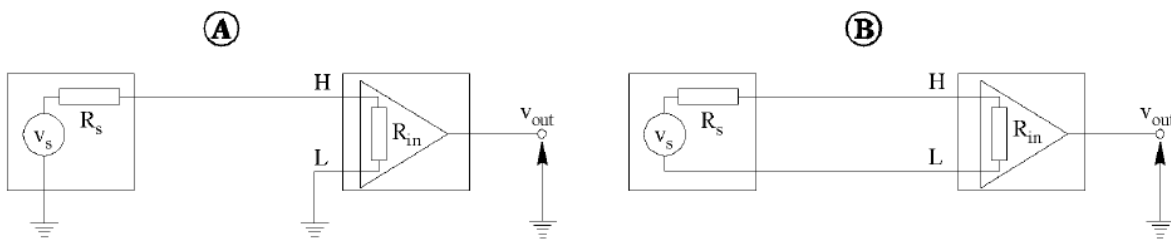


Fig.1.1 - Modalità per applicare un segnale a uno strumento di misura: A) single-ended, B) differenziale.

Amplificatore differenziale

Lo scopo di un amplificatore differenziale è quello di amplificare, con guadagno A_d , solo la differenza fra i due segnali v_1 e v_2 applicati ai suoi due ingressi (H L):

$$v_{out} = A_d(v_1 - v_2) \quad (1)$$

Nell'espressione precedente le tensioni v_1 e v_2 sono considerate riferite a un punto comune. In pratica, può essere difficile amplificare solo la tensione differenziale, a causa della tensione di modo comune, ossia di quella componente di v_1 e v_2 che può ritenersi applicata contemporaneamente e in ugual misura ai due ingressi (Fig.1.2 A e B).

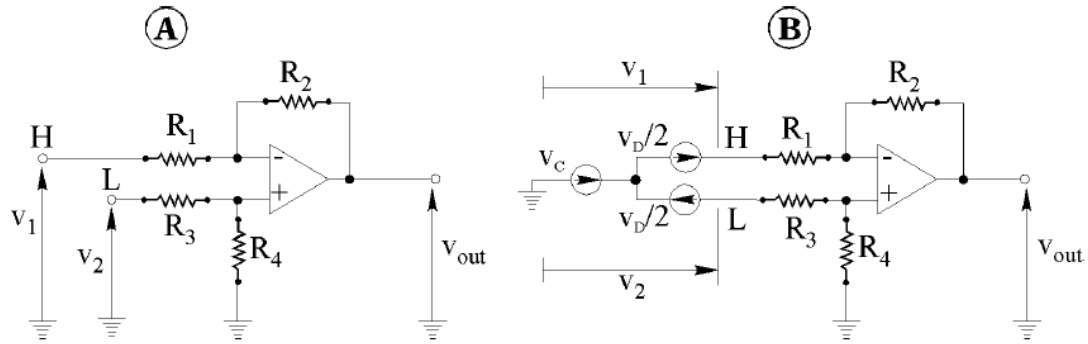


Fig.1.2 - Amplificatore differenziale: tensione differenziale e di modo comune.

Per chiarire questo fatto, definiamo le tensioni di modo comune e di modo differenziale rispettivamente come:

$$v_d = v_1 - v_2 \quad (2)$$

$$v_{cm} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (3)$$

Allora i due segnali in ingresso possono esprimersi nella forma:

$$v_1 = v_{cm} + \frac{v_d}{2} \quad (4)$$

$$v_2 = v_{cm} - \frac{v_d}{2} \quad (5)$$

Questa scomposizione è utile per analizzare il comportamento dell'amplificatore differenziale. In particolare, si può 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.1.3 A e B).

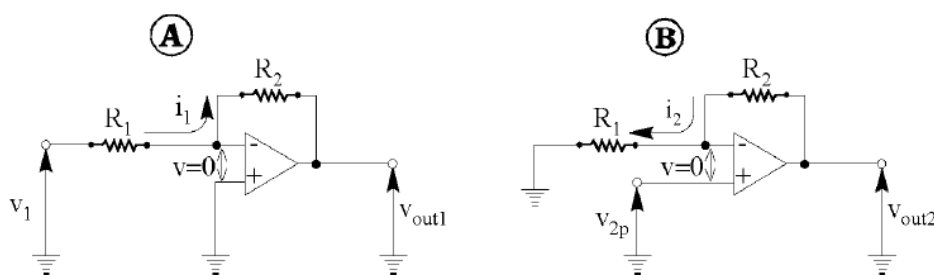


Fig.1.3 - Schema per la sovrapposizione degli effetti di v_1 e v_2 .

Caso A) - Considero solo la presenza di v_1 (Fig.1.3A):

$$v_{out}^{(1)} = -\frac{R_2}{R_1} v_1 \quad (6)$$

Caso B) - Considero solo la presenza di v_2 (Fig.1.3B):

$$v_{out}^{(2)} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} v_2 \quad (7)$$

In definitiva, la tensione complessiva è:

$$v_{out} = v_{out}^{(21)} + v_{out}^{(2)} = -\frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} v_2 \quad (8)$$

Se ora si esprimono le tensioni in ingresso v_1 e v_2 in funzione delle componenti di modo comune v_{cm} e differenziale v_d si ottiene:

$$v_{out} = v_{out}^{(21)} + v_{out}^{(2)} = A_d v_d + A_{cm} v_{cm} \quad (9)$$

Dove i guadagni di modo differenziale A_d e di modo comune A_{cm} risultano:

$$A_d = -\frac{R_2}{2R_1} \left(1 + \frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \right) \quad (10)$$

$$A_{cm} = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 - \frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \right) \quad (11)$$

Da tali espressioni si può dedurre la condizione tipica per un comportamento rigorosamente differenziale, caratterizzato da un guadagno nullo per il modo comune ($A_{cm}=0$). Tale condizione risulta evidentemente:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (12)$$

Se viene realizzata la condizione precedente sui rapporti fra le diverse resistenze, viene amplificata (e invertita) solo la differenza v_d fra i segnali in ingresso, mentre nessun contributo della tensione di modo comune v_{cm} è presente sull'uscita.

In molte applicazioni può accadere che, a fronte di una piccola tensione differenziale v_d , sia presente un elevato valore della tensione di modo comune v_{cm} . In questi casi è necessario garantire una completa reiezione del modo comune e quindi tendere ad annullare il guadagno A_{cm} . In pratica può risultare difficile soddisfare esattamente la condizione precedente sui rapporti fra le resistenze, a causa delle inevitabili tolleranze sui valori delle resistenze. Per ovviare all'inconveniente, spesso può bastare la sostituzione di una delle quattro resistenze, per esempio R_4 , con un potenziometro multigiri: in tal modo, variando la resistenza R_4 , si possono compensare entro certi limiti le tolleranze sui valori delle resistenze commerciali.

La reiezione del modo comune

La reiezione del modo comune viene espressa di solito mediante il CMRR (Common Mode Rejection Ratio). Questo è definito come il rapporto fra i moduli dei guadagni differenziale e di modo comune; spesso viene dato anche in dB (Common Mode Rejection, CMR):

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{cm}} \quad (13)$$

$$CMR = 20 \log_{10} \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| \quad (14)$$

In pratica bisognerà tener presente che, oltre al disadattamento delle resistenze esterne, lo stesso amplificatore operazionale, nel suo funzionamento reale, determina la comparsa di componenti di modo comune sull'uscita. Gli elementi per una caratterizzazione al riguardo sono forniti dai costruttori nei data-sheet.

Per concludere osserviamo alcuni limiti dell'amplificatore differenziale. Lo schema di Fig.1.2 richiede di variare due resistenze (R_2 e R_1) per la regolazione del guadagno differenziale; contemporaneamente, al fine di soddisfare sempre la reiezione del modo comune, è necessario controllare anche le altre due resistenze (R_3 e R_4).

Un ulteriore vincolo, nella definizione delle resistenze, è rappresentato dalle resistenze d'ingresso, che dovrebbero risultare sempre sufficientemente elevate. Per esempio, la resistenza di ingresso al segnale differenziale v_d è costituita dalla somma delle resistenze R_1 e R_3 . Assumere troppo elevati questi valori, potrebbe creare difficoltà nella scelta di R_2 e R_4 , soprattutto se è richiesto un alto guadagno. In pratica, questi inconvenienti possono essere efficacemente superati con l'amplificatore per strumentazione.