

Disturbi nelle misure elettroniche

1 - Collegamenti a massa

Generalità

Il problema dei collegamenti a massa è uno dei più critici nell'interconnessione di componenti e sistemi di misura. Quello che in teoria viene assunto come punto comune, a cui riferire i potenziali di un circuito o sistema, in realtà non esiste. Esistono più punti che, per il fatto di essere collegati tramite conduttori, vengono ritenuti equipotenziali, ma che in pratica non lo sono, poiché le correnti che fluiscono in tali conduttori stabiliscono delle differenze di potenziale fra essi.

Nei riguardi del segnale di misura, la differenza di potenziale fra due punti di massa si manifesta come un disturbo, che agisce in modo diverso sul segnale utile a seconda della configurazione del circuito.

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 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.

Per quanto riguarda l'ingresso degli strumenti di misura, con riferimento ai collegamenti a massa le configurazioni principali sono quelle *single-ended*, nelle quali uno dei terminali di ingresso è collegato alla massa, e differenziali, nelle quali nessuno dei due terminali di ingresso è collegato direttamente a massa.

Per quanto riguarda il segnale da misurare, il generatore equivalente può essere riferito a massa, quando uno dei suoi morsetti assume il potenziale di riferimento, oppure essere di tipo flottante, quando nessuno dei due punti tra i quali è presente la tensione del segnale di interesse è riferito al punto comune.

Nel seguito si analizzeranno gli effetti del disturbo derivante dalla differenza di potenziale fra due punti di massa in presenza di diverse combinazioni tra le citate configurazioni possibili per il generatore del segnale e l'ingresso dello strumento.

Configurazioni *single-ended*

Si consideri lo schema di Fig.1.1A, dove il segnale utile V_s , riferito alla massa, viene applicato allo strumento di misura, il cui stadio di ingresso è rappresentato da un amplificatore *single-ended* con impedenza di ingresso Z_{in} , attraverso un unico conduttore, di impedenza Z_a , e impiegando la massa come riferimento per le tensioni.

Il fatto che le masse per il segnale e per il dispositivo di misura possano essere a potenziali diversi è posto in evidenza utilizzando per esse simboli differenti. Si indicheranno pertanto con V_g e Z_g i parametri del generatore equivalente di disturbo presente fra i due punti di

massa.

Nelle configurazioni *single-ended* con un solo conduttore (Fig.1.1A) il disturbo dovuto alla tensione V_g fra le masse è particolarmente insidioso in quanto si presenta in serie con il segnale utile.

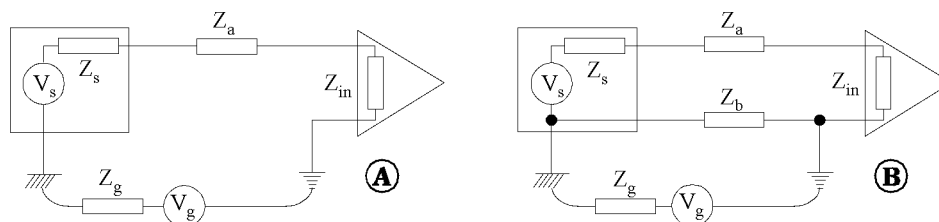


Fig.1.1 - Configurazioni *single-ended*.

Per ridurre l'effetto di tale disturbo risulta benefico creare un collegamento diretto, con impedenza Z_b , fra la massa del segnale e quella dello strumento (Fig.1.1B). In tal modo, la tensione di disturbo che si somma al segnale utile all'ingresso dello strumento non è tutta la V_g , ma soltanto la caduta di tensione ai capi di Z_b . Se si applica il principio di sovrapposizione degli effetti e si ipotizza per semplicità infinita l'impedenza di ingresso Z_{in} , il valore della tensione di disturbo può essere ricavato tramite il partitore di tensione determinato dalle impedenze Z_g e Z_b rispetto alla tensione V_g ,

Bisogna tuttavia tener presente che, anche in presenza del secondo collegamento, il disturbo introdotto dalla presenza di questo anello di terra (*ground loop*) può in molti casi essere significativo e che il collegamento di impedenza Z_b , benché a bassa resistenza, presenta anche delle induttanze parassite, la cui importanza cresce con la frequenza.

Pertanto, anche la configurazione di Fig.1.1B dovrebbe essere, laddove possibile, evitata. Per l'acquisizione di segnali riferiti alla massa sono infatti da preferire configurazioni di ingresso di tipo differenziale.

Configurazioni differenziali

In Fig.1.2 è rappresentato il circuito equivalente relativo alla situazione in cui il generatore di segnale è ancora riferito a massa, ma lo stadio di ingresso del sistema di acquisizione è di tipo differenziale.

In questo caso l'effetto della tensione di disturbo fra le masse verrebbe totalmente eliminato se si considerassero i due terminali ingresso (H e L) perfettamente isolati dalla massa, ossia se si ipotizzassero infinite le impedenze Z_c in Fig.1.2.

Nel caso, più realistico, in cui le impedenze Z_c che ciascun ingresso presenta verso massa non possano essere considerate infinite, l'effetto della tensione V_g sull'impedenza differenziale d'ingresso Z_{in} viene comunque significativamente ridotto rispetto alle situazioni presentate in Fig.1.1, al punto da risultare praticamente trascurabile se si cura la simmetria delle impedenze in serie su ciascun ingresso ($Z_s + Z_a = Z_b$).

Infatti, poiché le impedenze Z_c sono praticamente uguali (e particolarmente elevate), il circuito è riconducibile a un ponte in equilibrio e pertanto risulta nulla la tensione fra i punti H ed L per effetto della tensione di modo comune V_g . In ogni caso, anche quando non sia verificata la condizione di equilibrio del ponte, in virtù dell'elevatissimo valore delle impedenze Z_c (valori tipici dell'ordine di $10^9 \Omega$), le tensioni ai capi delle impedenze dei collegamenti di ingresso risultano di norma particolarmente basse.

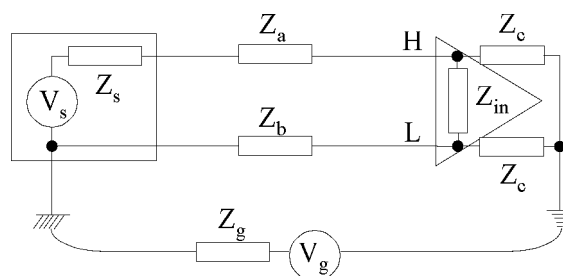


Fig.1.2 - Configurazione differenziale.

Per applicazioni particolarmente delicate (segnali utili di intensità molto debole) gli effetti delle tensioni di modo comune possono essere efficacemente contrastati anche con tecniche di *guard*. Con riferimento alla Fig.1.3, l'amplificatore vero e proprio è racchiuso in un involucro metallico di schermo (quello più interno), al quale vengono collegati i *common* di funzionamento. L'involucro più esterno, il telaio dello strumento, è poi connesso alla presa di terra. L'impedenza Z_0 fra schermo e telaio ha un valore particolarmente elevato, essendo costituita essenzialmente da un'impedenza di dispersione.

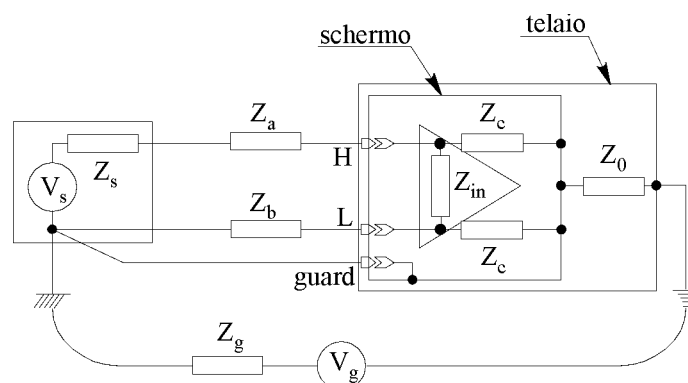


Fig.1.3 - Schema per la funzione di *guard*.

L'ingresso dello strumento, oltre ai morsetti *H* ed *L*, dispone anche di un morsetto di *guard*, che permette di collegare lo schermo di guardia a un morsetto del generatore di segnale, come mostrato in figura, tramite un conduttore di bassissima resistenza. In tal modo la corrente dovuta al disturbo di modo comune V_g viene cortocircuitata dal conduttore di guardia e tutta la tensione di modo comune cade ai capi dell'impedenza di isolamento Z_0 senza interessare la maglia del circuito di segnale.

2 - Accoppiamenti induttivi

La circolazione di correnti in circuiti prossimi al sistema di misura può determinare l'insorgere di disturbi dovuti ad accoppiamenti induttivi.

Per comprendere il fenomeno si consideri lo schema di Fig.2.1, nel quale il segnale da misurare, V_s , è trasferito all'ingresso dello strumento, rappresentato da uno stadio di ingresso con elevata resistenza R_{in} , tramite il conduttore "2", che costituisce il circuito disturbato.

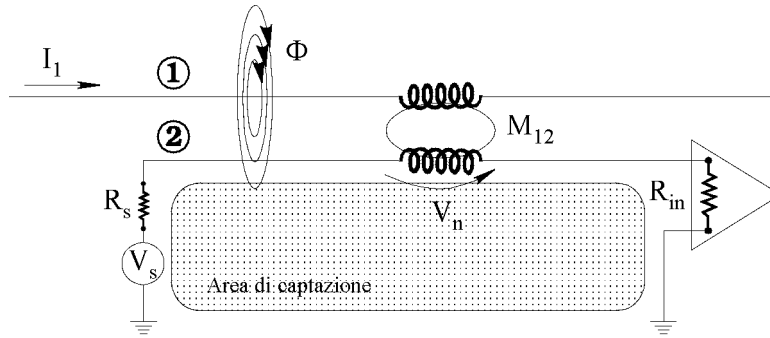


Fig.2.1 - Schema per l'accoppiamento induttivo.

Il conduttore “1”, detto circuito disturbante, è percorso dalla corrente I_1 , la quale determina un flusso Φ che si concatena anche con il conduttore “2”. La mutua induttanza M_{12} presente fra i due conduttori è responsabile dell'accoppiamento induttivo. La tensione di disturbo V_n , che risulta in serie con il segnale utile V_s , è data da:

$$V_n = j\omega M_{12} I_1 \tag{2.1}$$

Per ridurre l'entità del disturbo dovuto all'accoppiamento induttivo bisogna ridurre la mutua induzione. Questo si può ottenere ponendo i due circuiti (1 e 2) il più possibile distanti e perpendicolari. Inoltre, è opportuno disporre il conduttore attivo del circuito disturbato il più possibile vicino al suo ritorno (sia esso il piano di massa o la pista di un circuito stampato, oppure un semplice cavo, purché siano uguali le correnti di andata e ritorno): in tal modo si riduce l'area della spira con la quale si concatena il flusso magnetico prodotto dalla corrente I_1 . Tali considerazioni trovano applicazione con l'impiego di doppini avvolti (*twisted*) e di cavi coassiali, rappresentati in Fig.2.2.

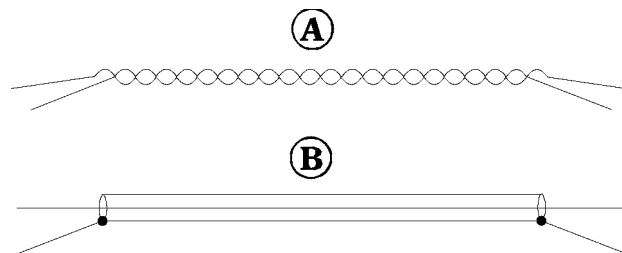


Fig.2.2 - Doppino avvolto A) e cavo coassiale B).

Come già evidenziato nel paragrafo 1, per evitare il formarsi di maglie chiuse nei percorsi di massa occorre, quando possibile, lasciare flottante o il generatore di segnale o l'amplificatore dello strumento (Fig.2.3).

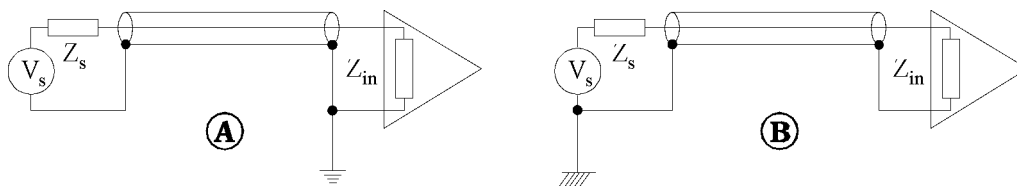


Fig.2.3 - Connessioni per evitare i ground loop.

3 - Accoppiamenti capacitivi

La presenza di parti in tensione vicine al sistema di misura può determinare l'insorgere di disturbi dovuti ad accoppiamenti capacitivi.

Per comprendere il fenomeno si consideri lo schema di Fig.3.1, nel quale il segnale da misurare, V_s , è trasferito all'ingresso dello strumento, rappresentato da uno stadio di ingresso con elevata resistenza R_{in} , tramite il conduttore "2", che costituisce il circuito disturbato.

Il conduttore "1" si trova alla tensione V_1 rispetto a massa e costituisce il circuito disturbante.

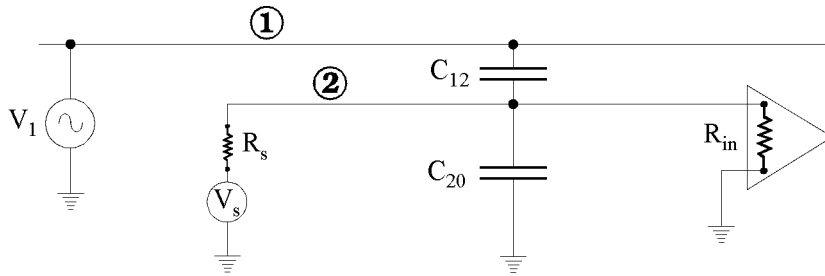


Fig.3.1 - Schema per l'accoppiamento capacitivo.

L'accoppiamento capacitivo è caratterizzato dalla capacità C_{12} presente fra i due conduttori (1 e 2) e dalla capacità C_{20} presente fra il circuito disturbato e la massa.

Per valutare l'azione del disturbo si consideri assente il generatore di segnale V_s e si indichi con R la resistenza complessiva verso massa del circuito "2" (data dal parallelo fra R_s e R_{in}). Si può quindi disegnare lo schema di Fig.3.2A, dove la tensione V_n rappresenta il disturbo in ingresso allo strumento di misura, dovuto all'accoppiamento capacitivo.

A tale schema può essere associato un circuito equivalente secondo Thevenin, come riportato in Fig.3.2B, i cui parametri risultano:

$$C_{eq} = C_{12} + C_{20} \quad V_{eq} = V_1 \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}} = V_1 \frac{C_{12}}{C_{eq}} \quad (3.1)$$

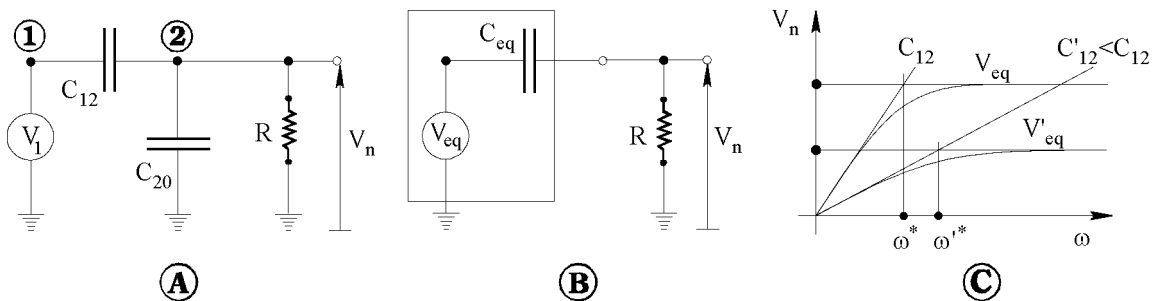


Fig.3.2 - Circuiti equivalenti per l'accoppiamento capacitivo.

La tensione di disturbo V_n , che si manifesta ai capi della resistenza R e quindi sul circuito di ingresso dello strumento, risulta infine:

$$V_n = V_{eq} \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C_{eq}}} = V_{eq} \frac{j\omega/\omega^*}{1 + j\omega/\omega^*} \quad \left(\text{posto } \omega^* = \frac{1}{RC_{eq}} \right) \quad (3.2)$$

Si osserva che l'andamento della tensione di disturbo V_n dipende dalla frequenza, come rappresentato nella Fig.3.2C. Nella stessa figura tali andamenti sono stati riportati con riferimento a due differenti valori della capacità (C_{12} e $C'_{12} < C_{12}$).

La tensione V_n varia linearmente con la pulsazione ω , approssimativamente fino al valore $\omega^* = 1/RC_{eq}$. Per valori superiori della pulsazione la tensione di disturbo rimane praticamente costante, con valore pari a V_{eq} .

A titolo di esempio si può considerare il caso seguente:

$$V_1 = 10 \text{ V} \quad f = 100 \text{ kHz} \quad C_{12} = 50 \text{ pF} \quad C_{20} = 150 \text{ pF} \quad R = 50 \text{ } \Omega$$

La capacità e la tensione equivalenti sono rispettivamente: $C_{eq} = 200 \text{ pF}$ e $V_{eq} = 2,5 \text{ V}$.

La pulsazione del punto di rottura è: $\omega^* = 1/(50 \cdot 200 \cdot 10^{-12}) = 10^8 \text{ rad/s}$.

Poiché: $\omega = 2\pi 10^5 \text{ rad/s} \ll \omega^*$ risulta, in definitiva: $|V_n| \approx V_{eq} \omega/\omega^* = 15,7 \text{ mV}$.

Effetto dello schermo

La tensione di disturbo V_n può essere minimizzata disponendo uno schermo di materiale conduttore attorno al circuito disturbato. Tale provvedimento può essere rappresentato come in Fig.3.3.

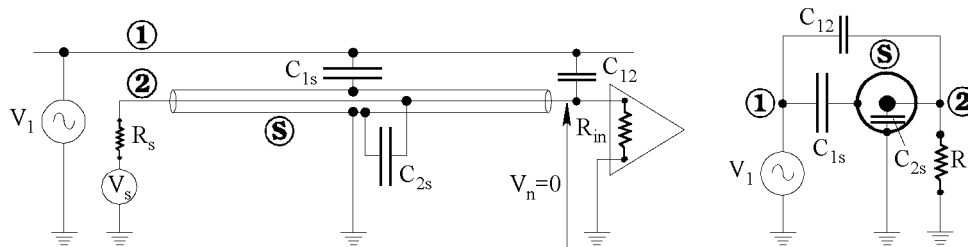


Fig.3.3 - Rappresentazione per il circuito schermato.

Fra il conduttore disturbante "1" e quello disturbato "2" rimane solo la capacità C_{12} riguardante la porzione di cavo "2" non coperta dallo schermo S . Tale capacità è in pratica molto piccola e può spesso essere trascurata. Allora, se lo schermo S viene posto a massa, la corrente dovuta alla tensione V_1 e che attraversa la capacità C_{1s} viene condotta direttamente a massa dallo schermo, senza interessare la capacità C_{2s} e pertanto senza determinare tensioni disturbanti sul conduttore "2". In tal caso quindi $V_n=0$.

Se è possibile ritenere che il piano di massa sia effettivamente equipotenziale per il generatore di segnale e per il dispositivo di misura, è irrilevante il punto di collegamento a massa dello schermo. In pratica è necessario che lo schermo venga posto a massa da un solo lato, in modo da evitare il formarsi di *ground loop* e i conseguenti disturbi dovuti sia alle tensioni sulle masse sia ad accoppiamenti induttivi. Quando lo schermo costituisce anche il conduttore di ritorno per il circuito di segnale è quindi opportuno, come evidenziato nei paragrafi precedenti, mantenere flottante o il generatore di segnale o l'ingresso dello strumento.