

Alcune linee guida per individuare, tra le varie opzioni possibili, il multimetro digitale più adatto per la particolare applicazione considerata

Kevin Cawley
Keithley Instruments

Criteri di scelta di un multimetro digitale

I multimetri digitali sono disponibili in differenti versioni ciascuna delle quali caratterizzata da specifiche diverse tra loro. Vi sono i dispositivi tradizionali, con una risoluzione pari a 6 1/2 digit e le versioni a elevate prestazioni, con livelli di risoluzione che arrivano a 8 1/2 digit. Oltre a ciò, essi vengono indicati con nomi diversi: elettrometri, picoamperometri e nanovoltmetri. Di fronte a una scelta così ampia, risulta difficile individuare il tipo di strumento più idoneo a soddisfare le esigenze di una particolare applicazione. Senza dimenticare il fatto che molto spesso alcune specifiche dei DMM non aiutano a fare chiarezza. In questo articolo verranno discussi i differenti tipi di DMM unitamente alle loro caratteristiche, oltre a fornire una spiegazione del reale significato della specifiche.

Limiti di misura teorici

A livello teorico il limite della sensibilità in ogni misura è determinato dal rumore generato dalle resistenze presenti nel circuito. Il rumore di tensione è propor-



Il DMM mod. 2002 di Keithley con risoluzione di 8 1/2 digit può essere impiegato per misure ai limiti teorici della sensibilità

zionale alla radice quadrata della resistenza, dell'ampiezza di banda e della temperatura assoluta, ovvero:

$$V = \sqrt{kTR\Delta f}$$

Dove K è la costante di Boltzman ($1,3807 \times 10^{-23}$ J/K), T è la temperatura assoluta in gradi Kelvin, R è la resistenza espressa in Ohm e Δf è l'ampiezza di banda in Hz.

Nella figura 1 vengono riportati i limiti di

misura della tensione teorici a temperatura ambiente con un tempo di risposta compreso tra 0,1 e 10 s. Si può notare che l'elevata resistenza della sorgente limita la sensibilità teorica della misura di tensione. Mentre è certamente consentito misurare un segnale di 1 (V che ha una resistenza della sorgente di 1 Ohm, non è possibile misurare lo stesso segnale con una resistenza di sorgente di 1 TOhm. Anche con resistenze di sorgente molto minori di questo valore, la

misura di una tensione di 1 V è molto prossima ai limiti teorici (area grigia della figura) e potrebbe quindi risultare un'operazione di difficile esecuzione con un DMM standard.

Le alternative al DMM

Al posto di un DMM tradizionale è possibile utilizzare altri strumenti quali nanovoltmetri, elettrometri e picoampereometri. Di solito un DMM è in grado di effettuare misure di segnali superiori a $1 \mu\text{V}$ o $1 \mu\text{A}$, oppure inferiori a $1 \text{ G}\Omega$, valori che si discostano nettamente dai limiti teorici della sensibilità. Nel caso sia richiesta una maggiore sensibilità nella misura di una tensione e la resistenza della sorgente è bassa (come in effetti deve essere a causa delle limitazioni di natura teorica) un nanovoltmetro rappresenta una soluzione idonea per effettuare una misura molto prossima ai limiti teorici.

Quando si misurano tensioni con valori di resistenza molto elevati (ad esempio $1 \text{ T}\Omega$), un DMM non è adatto poiché la sua resistenza di ingresso - compresa tra $10 \text{ M}\Omega$ e $10 \text{ G}\Omega$ - è di parecchi ordini di grandezza inferiori rispetto alla resistenza della sorgente, il che si traduce in significativi errori di carico di ingresso. Inoltre le correnti di ingresso di un DMM sono dell'ordine di parecchi picoampere, il che dà origine a offset di tensioni di notevole entità. In presenza

di situazioni di questo genere, la soluzione più idonea è rappresentata da un elettrometro. Una situazione del tutto analoga si verifica nel caso di misure di corrente di basso livello.

I DMM in genere sono caratterizzati da un elevato valore della caduta di tensione in ingresso che influenza le misure di corrente di basso livello; inoltre la risoluzione di un DMM in genere non è migliore di 1 nA.

Un elettrometro o un picoampereometro, grazie a valore inferiore della caduta di tensione in ingresso e a una migliore sensibilità potrebbero rappresentare una soluzione migliore.

Le specifiche dei DMM

Precisione

Andando a leggere le specifiche relative a un DMM con risoluzione di $5 \frac{1}{2}$ digit, l'accuratezza è espressa come $\pm (0,016\% \text{ rdg} + 3 \text{ conteggi})$. Tale specifica è da interpretarsi come segue. La prima parte, ovvero $0,016\% \text{ rdg}$, è la misura dell'errore di guadagno, ovvero l'errore proporzionale al valore misurato. In questo caso specifico significa che il valore visualizzato sarà compreso entro lo $0,016\%$ del valore effettivo.

Nel caso la lettura dello strumento sia pari a $1,00000$, il valore effettivo sarà un numero qualsiasi compreso tra $0,99984 \text{ V}$ e $1,00016 \text{ V}$. La seconda parte, $+3 \text{ con-$

teggi del digit meno significativo è una misura dell'errore di offset, ovvero l'errore che è indipendente dal valore misurato. Nel caso preso in considerazione, l'errore di offset non sarà superiore $0,00003 \text{ V}$. La combinazione tra i due errori - guadagno e offset - fornisce la banda di errore effettiva, compresa tra $0,99981$ e $1,00019 \text{ V}$.

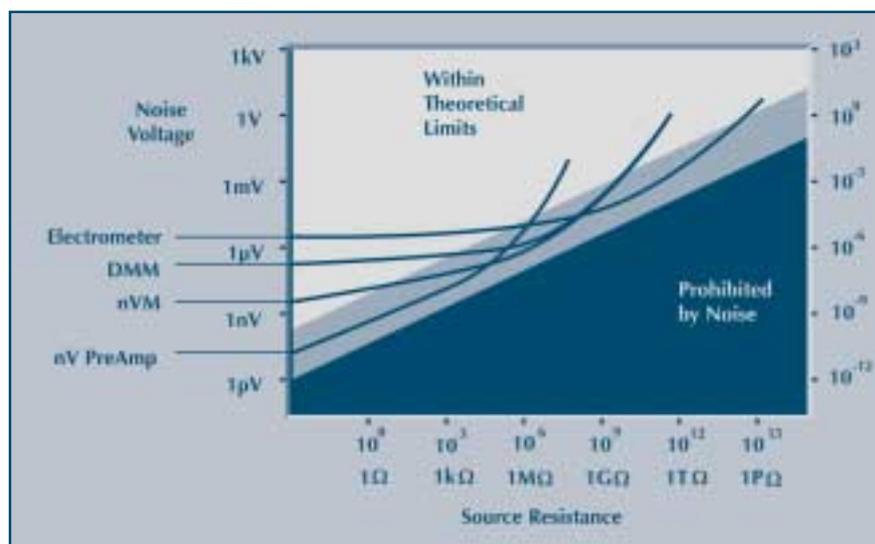
L'effetto della temperatura

Poiché la temperatura influenza la precisione, le specifiche dello strumento di solito definiscono un intervallo di temperatura entro il quale viene assicurato il livello di precisione dichiarato. Per temperature all'esterno di questo intervallo, alcuni produttori definiscono un intervallo di temperatura come ad esempio $\pm (0,005\% + 0,1 \text{ conteggio})$ o $\pm (5 \text{ ppm della lettura} + 1 \text{ ppm dell'intervallo})/^{\circ}\text{C}$.

Ciclo di calibrazione

Il trascorrere del tempo influenza le prestazioni degli strumenti elettronici per cui le specifiche di solito indicano il limite temporale al di là del quale la precisione non può più essere garantita. Il periodo temporale viene di solito indicato in termini di incrementi specifici, come ad esempio 90 giorni o 1 anno. Ovviamente le specifiche della stabilità di trasferimento sono definite per periodi di tempo di gran lunga più brevi, come ad esempio cinque o 10 minuti.

Fig. 1 - Limiti di misura tipici per multimetri digitali (DMM), nanovoltmetri (nVM) ed elettrometri a diversi valori di resistenza della sorgente



Rumore e reiezione al rumore

Il rumore deve essere tenuto in considerazione in ogni misura, in special modo in quelle di segnali a basso livello. Risulta dunque di basilare importanza un'esatta comprensione dei termini e delle specifiche relative al rumore nel corso della valutazione delle prestazioni di uno strumento.

Il rapporto di reiezione in modo normale (NMRR - Normal Mode Rejection Ratio) definisce la capacità dello strumento di annullare o attenuare il rumore che appare tra i terminali di ingresso HI (alto) e LO (basso). Il rumore di modo normale è un segnale di errore che si aggiunge al segnale di ingresso desiderato e viene rilevato come rumore di picco o deviazione nel segnale in continua. Il rapporto NMRR viene calcolato come:

$$\text{NMRR} = 20 \log \frac{\text{Rumore di modo normale di picco}}{\text{Deviazione della misura di picco}}$$

Questo rapporto viene fornito per frequenze specifiche e intervalli di frequenza e per tipologia di rumore annullato (50 Hz, 60 Hz, rumore ad alta frequenza) mentre non sta annullando i segnali a bassa frequenza o i segnali di modo normale in continua. Gli effetti del rumore di modo normale possono essere minimizzate mediante l'adozione di opportune schermature e tecniche di filtraggio.

Il rapporto di reiezione di modo comune (CMRR - Common Mode Rejection Ratio) è un indice della capacità di uno strumento di annullare i segnali di rumore che appaiono tra entrambi gli ingressi (alto e basso) e la massa dello chassis. Questo rapporto viene di solito misurato con un resistore da 1 kOhm collegato a uno dei terminali di ingresso.

Sebbene gli effetti del rumore di modo comune danno meno problemi rispetto a quelli del rumore di modo normale, esso può causare problemi nel caso di misure sensibili. Per minimizzare il rumore di modo comune è necessario collegare le schermature a un singolo punto nel sistema di test.

I due rapporti - NMRR e CMRR - sono di solito specificati a frequenze di 50 e 60 Hz, mentre per il CMRR viene anche indicato il valore in continua. Valori tipici di NMRR e CMRR sono superiori rispettivamente a 80 e 120 dB.

Velocità

Quando viene specificata, la velocità di misura è indicata sotto forma di un numero specifico di letture al secondo in funzione di determinate condizioni operative dello strumento. Alcuni fattori, come ad esempio il periodo di integrazione e il filtraggio, potrebbero influenzare la velocità di misura complessiva dello strumento.

Poiché il variare delle modalità operative può comportare un'alterazione della risoluzione e della prestazione, spesso si arriva a un compromesso tra velocità di misura e precisione. Per esempio, le specifiche di accuratezza dello strumento possono essere indicate per tempi di misura espressi come

funzione della frequenza della linea di alimentazione per il più elevato valore di reiezione al rumore. Una tipica specifica potrebbe fornire un'accuratezza per 1, 0,1 e 0,01 PLC (Power Line Cycle - ciclo della linea elettrica, pari a 16,7 ms in Nord America e a 20 ms dove la frequenza utilizzata è 50 Hz).

Molto spesso la velocità dello strumento deve essere presa in considerazione quando si fanno misure a bassa impedenza. In presenza di impedenze di valore più elevato, i tempi di assestamento del circuito divengono più importanti e di solito rappresentano il fattore più critico per determinare la velocità di misura complessiva.

Nel momento in cui si valuta la possibilità di impiegare un DMM standard a 4 1/2 digit, un'unità ad alte prestazioni da 8 1/2 o qualche altro strumento compreso in questa fascia, è bene tener presente che la scelta dello strumento idoneo ha un'influenza diretta sull'integrità e sulla ripetibilità delle misure che si vogliono effettuare. La piena comprensione delle differenze tra le varie categorie di strumenti, delle relative specifiche e dell'applicazione sono fattori che aiutano nella scelta dello strumento più appropriato.

Keithley Instruments
readerservice.it n. 34