

Voltmetri e multimetri digitali

I voltmetri digitali (DVM) ed i multimetri digitali (DMM) presentano all'uscita, sotto forma numerica, il risultato di misure rispettivamente di tensione (DVM) ed anche, di altre grandezze elettriche (DMM), quali tensioni e correnti alternate, resistenza, temperatura, ecc. In quest'ultimo caso, gli stadi di condizionamento del segnale all'ingresso degli strumenti producono all'uscita una tensione continua proporzionale al valore della grandezza da misurare. Questa tensione viene quindi convertita in forma digitale attraverso un processo di discretizzazione in un certo numero di livelli. Il risultato viene codificato e infine presentato sotto forma decimale su un visualizzatore (*display*), oppure inviato a una uscita digitale di tipo elettrico

L'impiego dei DVM e DMM è andato via via crescendo in questi ultimi anni in parallelo all'estensione dell'uso della strumentazione automatica, programmabile e con uscita numerica, perché quest'ultima può essere trasferita facilmente a sistemi di acquisizione dati per successive elaborazioni delle varie informazioni di misura fornite da molti e differenti strumenti. I risultati dell'elaborazione possono anche essere utilizzati per il controllo dei processi di produzione. Infatti DVM e DMM offrono una felice combinazione di velocità e accuratezza di misura. A seconda delle necessità sono richiesti DMM con elevata accuratezza e quindi con moderata velocità di misura, oppure con elevate o addirittura elevatissime velocità di lettura e di conseguenza con ridotte accuratezze. Differenti combinazioni si possono trovare anche in un solo strumento, naturalmente del tipo più sofisticato, lasciando la scelta della combinazione migliore all'utilizzatore.

I voltmetri digitali in commercio differiscono per numero di campi di misura, numero di cifre, accuratezza, velocità di lettura, reiezione del rumore di modo differenziale (normale) e comune, uscite digitali di vario tipo. Il campo di misura di base della maggior parte dei DVM è di $1V$ o di $10V$ ma con un opportuno preamplificatore possono anche essere effettuate misure nell'intorno di $0.1 \mu V$. I voltmetri digitali di miglior qualità sono in grado di misurare tensioni continue comprese tra $10 nV$ e $1000 V$. L'accuratezza è proporzionata alla risoluzione (uno strumento a tre cifre difficilmente può offrire una precisione migliore di $\pm 0.1\%$ essendo questa la risoluzione base dello strumento stesso). La velocità massima di lettura è correlata al periodo di digitalizzazione: un DVM in grado di digitalizzare in $1 ms$ permette circa 1000 letture al secondo.

Schema di multimetro

La Fig. 1 mostra lo schema dei collegamenti per un multimetro. L'ingresso del multimetro dispone di una serie di morsetti che un commutatore collega, secondo la misura desiderata, con i blocchi di condizionamento del segnale (nei multimetri di basso costo si collegano direttamente al circuito esterno i morsetti interessati). Il tipo di impedenza presente ai morsetti interessati è tale da ridurre al minimo l'influenza sul circuito esterno quando lo strumento viene inserito

Per questo esempio di multimetro sono disponibili in totale 4 morsetti di ingresso. Il morsetto numero 2, indicato con lettera *L* (*low*) costituisce un riferimento (terra) per misure di tensione e corrente. Se si desidera utilizzare lo strumento come voltmetro, la tensione incognita deve essere applicata fra i morsetti *H* e *L* (1 e 2 di figura 1), dove il morsetto *L* viene preso come riferimento. Per le misure di corrente in continua e in alternata sono previsti i morsetti 2 (*L*) e 3 (10 A) o 3' (100mA). Per le misure di resistenza il resistore incognito viene connesso ai morsetti *H* e *L*.

Tanto i voltmetri quanto i multimetri digitali posseggono una serie di automatismi sia di funzionamento sia di indicazioni.

- indicazione di polarità (+,-),
- cambio di scala e indicazione con corrispondente posizionamento della virgola e dell'unità di misura in funzione di un conveniente fondo scala,
- azzeramento con determinazione e/o compensazione delle tensioni di *offset*.

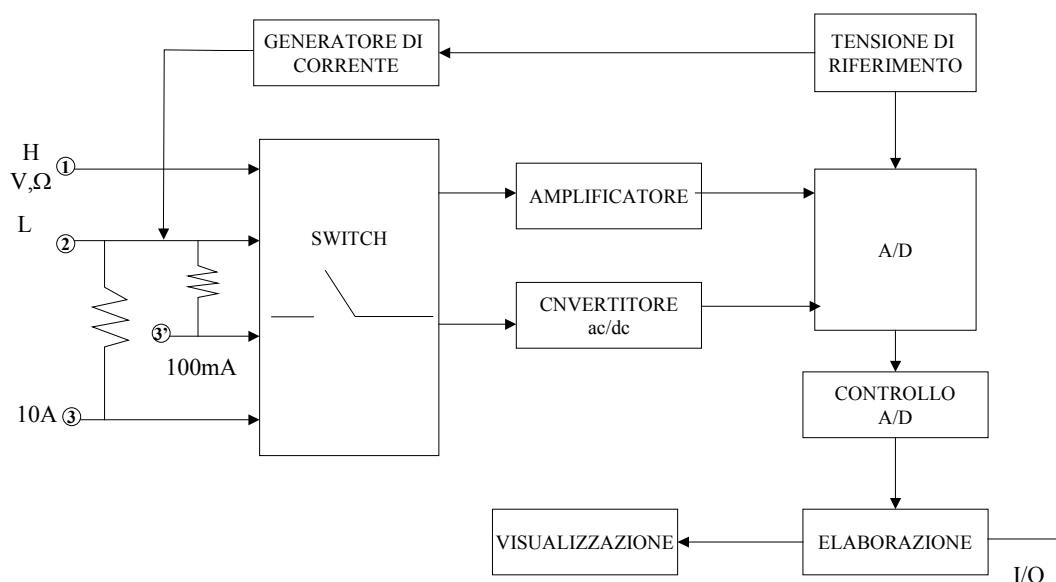


Fig. 1: Schema a blocchi di un multimetro

Misure di tensioni continue ed alternate

Se la grandezza da misurare è una tensione continua, i circuiti di condizionamento da premettere al convertitore hanno solo lo scopo di rendere il valore incognito adatto a essere applicato al successivo blocco di conversione. Si tratta quindi di attenuatori e di amplificatori selezionabili manualmente dall'operatore o automaticamente dallo strumento. Usualmente il campo di tensioni misurabili si estende, a seconda del tipo di strumento, da parecchie centinaia di volt ad alcuni millivolt o microvolt. Inoltre, tale campo è generalmente suddiviso in sottoinsiemi parzialmente sovrapposti, ognuno dei quali è individuato da un valore numerico corrispondente approssimativamente al valore massimo relativo a quel sottoinsieme e spesso indicato con il nome convenzionale di *portata*.

Per i segnali in a.c. lo schema prevede l'impiego di un convertitore analogico (AC/DC) prima della conversione A/D. In alternativa al convertitore analogico si può avere un sistema con campionatore e quantizzatore.

Misurazione di correnti continue e alternate

Un multimetro è in grado di misurare anche correnti, sia continue, sia alternate. In questo caso lo strumento va inserito nel circuito utilizzando i morsetti uno dei due indicati con A e considerando L come morsetto di uscita per la corrente. Per eseguire una misurazione di corrente è necessario predisporre lo strumento agendo sugli opportuni tasti posti sul pannello frontale. La corrente incognita viene fatta passare per una resistenza nota, interna allo strumento ai capi della quale si manifesta una differenza di potenziale che viene misurata:

$$V=RI$$

Per poter avere portate di corrente significativamente diverse è necessario avere differenti morsetti caratterizzati da resistenze differenti (R23 o R23').

Grazie alla resistenza nota si è ottenuta una trasduzione della corrente in una tensione e quindi le misure in continua ed in alternata vengono eseguite come visto al paragrafo precedente.

Misurazione di resistenze

Un multimetro consente anche la misurazione di resistenze. A tale scopo, nella resistenza incognita viene fatta circolare una corrente nota e viene quindi misurata la c.d.t. così prodotta. La conoscenza della corrente è spesso ottenuta valutando la c.d.t. che si genera quando tale corrente circola in una resistenza nota. La misurazione di una resistenza si traduce quindi nella misurazione di due tensioni e nella successiva elaborazione dei risultati. Normalmente la resistenza incognita viene posta tra gli stessi morsetti *H* ed *L* utilizzati per la misurazione di tensione; lo strumento viene poi predisposto agendo sui tasti posti sul pannello frontale, o mediante programmazione.

Negli strumenti con capacità di *autorange*, una prima misurazione consente di valutare il valore più opportuno dell'intensità di corrente da erogare al fine di eseguire la misurazione successiva nelle migliori condizioni strumentali. Particolari cautele devono essere prese quando la resistenza incognita assume valori prossimi agli estremi del campo di misura dello strumento, il quale si può estendere dai $\mu\Omega$ ai $G\Omega$. Quando vengono misurate resistenze molto piccole, oppure si richiedono risoluzioni elevate, la misurazione avviene in due fasi distinte. In una prima fase viene valutata la c.d.t. causata dalla corrente fornita dallo strumento ai capi della resistenza incognita; nella seconda fase, invece, la stessa c.d.t. viene misurata in assenza di corrente fornita dallo strumento; tale valore viene sottratto da quello ottenuto nella prima fase prima di valutare il valore della resistenza in esame. Questo procedimento si rende necessario quando eventuali sorgenti di tensione di disturbo che si generano, ad esempio, nel contatto tra metalli diversi posti a temperatura diversa, assumono valori non trascurabili. La necessità di questi accorgimenti dipende sia dal valore della resistenza incognita, sia dal numero di cifre, e quindi dalla risoluzione, con cui essa deve essere misurata.

Per estendere superiormente il campo dei valori massimi misurabili, invece, lo strumento pone in parallelo alla resistenza incognita una resistenza nota. In tal modo la c.d.t. assume valori accettabili anche utilizzando correnti non troppo piccole, e quindi valutabili in modo accurato. Il valore misurato viene poi corretto secondo la relazione:

$$R_x = \frac{R_N * R_M}{R_N - R_M}$$

dove R_N rappresenta la resistenza nota posta in parallelo e R_M il risultato della misurazione. Questa correzione viene eseguita sfruttando la capacità elaborativa sempre presente negli

attuali DMM ; il risultato visualizzato fornisce pertanto direttamente il valore di R_x . Questo metodo permette di misurare resistenze fino a valori dell'ordine del $G\Omega$.

Alcuni multimetri prevedono anche la possibilità di eseguire semplici elaborazioni sui risultati della misurazione; le potenzialità di elaborazione offerte sono ovviamente molto influenzate dal tipo di strumento. Ad esempio è possibile eseguire la differenza tra due valori misurati; questa operazione è utile quando interessa lo scostamento di una grandezza rispetto a un opportuno valore di riferimento. E' anche possibile eseguire la media di un numero di misure prefissato dall'operatore; può essere inoltre fornito anche lo scarto quadratico medio, o altri parametri utili per la descrizione statistica dei risultati. Quando è utilizzata correttamente, questa procedura può aumentare notevolmente l'accuratezza del risultato. E' possibile anche fissare il campo di valori entro cui deve essere contenuto il risultato; con questa modalità di funzionamento, lo strumento segnala automaticamente quando il valore misurato esce da tale campo. Questa funzione può risultare molto utile in sistemi di misurazione automatici. In qualche caso il valore misurato viene espresso con modalità diverse da quelle convenzionali, ad esempio in dB rispetto a un valore di riferimento. L'unità di misura può comunque essere scelta dall'operatore.

La risoluzione negli strumenti digitali

La risoluzione di un metodo di misura o di uno strumento è in generale la capacità di distinguere o separare stati diversi del misurando. Nella strumentazione digitale la risoluzione della singola misura trova pertanto la sua definizione limite nella separazione dei livelli discreti.

Con riferimento alla singola misura e alla strumentazione digitale si può parlare di una risoluzione dimensionale (Δ) e di una risoluzione adimensionale (δ).

La risoluzione dimensionale (Δ) è la minima variazione della grandezza incognita che può essere rilevata in definite condizioni di lavoro ed è quindi funzione della modalità di impiego dello strumento. In pratica, la risoluzione dimensionale è direttamente legata al peso dell'ultima cifra della lettura visualizzabile dallo strumento nelle particolari modalità di funzionamento e nelle condizioni operative fissate. Ad esempio, se la lettura è 12.432 V, la risoluzione con cui è stata ottenuta la misura è 1 mV, dato che l'ultima cifra della lettura (il 2) occupa la posizione riservata ai 10^{-3} V. Normalmente, i manuali degli strumenti riportano, per le diverse modalità e condizioni di funzionamento, il valore della risoluzione.

Un altro parametro per caratterizzare la risoluzione dello strumento è la *risoluzione adimensionale* δ esprimibile esclusivamente attraverso N_{max} , e più precisamente tramite il numero di cifre utilizzato specificando la base numerica impiegata B . Pertanto avremo

$$\delta = \log_B N_{max}$$

δ in generale non è un intero; è intero soltanto se $N_{max} = B^{N_c}$ dove N_c è il numero massimo di cifre disponibili ed N_{max} coincide col numero massimo rappresentabile.

Quando δ non è un intero il valore utilizzato è quello approssimato al quarto di unità. In questo caso evidentemente il valore di δ è puramente indicativo: ad esempio $\delta = 4 \frac{1}{2}$ significa che si hanno a disposizione 5 cifre decimali, ma non sono rappresentabili tutti i valori compresi tra 0 e 99999, in particolare il valore massimo di tensione in questo caso potrebbe essere 1.9999V o un altro valore ancora. Si noti che la risoluzione dimensionale, invece, non è ambigua, essendo determinabile dal peso della cifra meno significativa, e nell'esempio (per una lettura minore di 1.9999V, ad esempio 1.2275V) vale 100 μ V.

Valutazione dell'accuratezza della misura fornita da un multimetro digitale

Non esiste una normativa precisa per specificare l'accuratezza di un multimetro; in generale, quindi, il confronto tra dati forniti da costruttori diversi non è semplice.

Ma di solito l'accuratezza assoluta di un multimetro viene fornita mediante una relazione del tipo:

$$\Delta_x = K_1 * |X| + K_2 * \Delta$$

dove K_1 rappresenta la componente dell'incertezza dipendente dal valore misurato X , mentre K_2 esprime la componente che dipende solamente dalla portata scelta. I valori di K_1 e di K_2 sono riportati in apposite tabelle fornite dal costruttore.

E' bene inoltre notare fin d'ora che, nella precedente relazione, il misurando può essere una qualsiasi delle grandezze misurabili dallo strumento, ossia, una tensione o una corrente continua o alternata, oppure una resistenza.

La risoluzione relativa vale:

$$\Gamma_x = \frac{\Delta_x}{|X|} = K_1 + K_2 * \Delta$$

la quale e' costituita dalla somma di un termine non dipendente dal valore misurato e di un termine che può diventare prevalente quando X e' prossimo al valore minimo del campo di ingresso selezionato (downrange). L'effetto di queste due componenti sull'incertezza relativa è illustrato in Fig.2. Quindi é preferibile, quando possibile, eseguire le misurazioni in prossimità del fondo scala. Un uso corretto dello strumento richiede quindi di utilizzare la minima portata compatibile con il valore assunto dal misurando; negli strumenti provvisti di capacità di autorange, in particolare, la selezione della portata più conveniente viene eseguita in modo automatico.

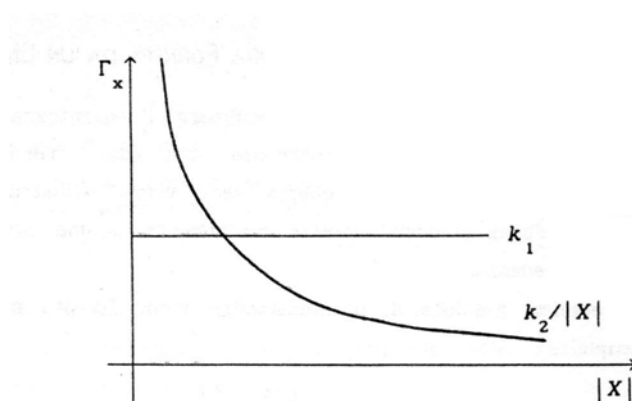


Fig.2 – Schematizzazione dell'incertezza relativa.-

Dalla figura si evidenzia l'influenza delle due componenti dell'incertezza sul valore dell'incertezza relativa. E' importante notare che, affinché i valori delle due componenti dell'incertezza riportati sulle tabelle fornite dal costruttore siano validi, devono essere verificate alcune condizioni; in caso contrario, infatti, l'entità dell'incertezza deve essere sicuramente aumentata, talvolta anche in modo notevole. In particolare, poiché la validità dei dati forniti dallo strumento si degrada nel tempo, un voltmetro digitale deve essere messo a punto periodicamente seguendo una procedura specificata dettagliatamente dal costruttore; la messa a punto deve inoltre essere eseguita in un certo campo di valori della temperatura ambiente. Assieme ai valori K_1 e K_2 delle due componenti dell'incertezza vengono quindi forniti sia lo scostamento ammissibile tra la temperatura ambiente e quella alla quale è stata eseguita la messa a punto, sia la durata della validità di tale operazione. Se la temperatura ambiente non rientra nel campo previsto, i valori dei parametri K_1 e K_2 possono essere corretti utilizzando dei coefficienti forniti dal costruttore. Si deve inoltre ricordare che, a causa delle inevitabili tensioni di offset, lo strumento può fornire una indicazione non nulla anche quando il valore del misurando è nullo; l'effetto di tali tensioni sul valore della misura può però essere valutato, e quindi successivamente corretto, eseguendo una misurazione con ingresso nullo. Poiché tale modo di procedere riduce la velocità della misurazione, l'operatore può generalmente scegliere se eseguire o meno questa procedura; tale scelta avviene mediante un comando spesso denominato *autozero* ($\frac{on}{off}$). E' da sottolineare che il valore del parametro k corrispondente all'opzione *autozero off* è maggiore di quello corrispondente all'opzione *autozero on*, come si può dedurre dalle tabelle fornite dal costruttore. Un altro parametro molto utile fornito nelle specifiche è il tempo di misurazione. Normalmente tale tempo è funzione della frequenza della tensione di alimentazione e del numero di cifre utilizzate. Questo consente, come in precedenza dimostrato, di ridurre l'influenza del ripple sovrapposto alla tensione con cui vengono alimentati i vari blocchi che compongono lo strumento.