

Appunti di Misure Elettriche

Appendice 6 - Multimetri digitali

Introduzione	1
Risoluzione adimensionale	1
<i>Esempio</i>	2
Risoluzione dimensionale	2
<i>Esempio</i>	2
Struttura generale di un DMM	3
Funzionamento da voltmetro	3
Funzionamento da amperometro	3
Funzionamento da ohmetro	4
<i>Misura di piccole resistenze</i>	4
Esempio	5
<i>Misura di grandi resistenze</i>	5
Valutazione dell'accuratezza	5
<i>Esempio</i>	5
<i>Esempio</i>	6

INTRODUZIONE

Sono strumenti numerici che consentono la misurazione di resistenze, tensioni, correnti continue e alternate. Sono basati essenzialmente su un ADC, mediante il quale viene eseguita la misurazione di una tensione continua, realizzando un voltmetro digitale.

Hanno accuratezza elevata, tempo di misurazione ridotto, possibilità di utilizzazione diretta del risultato da parte di un PC.

RISOLUZIONE ADIMENSIONALE

Ci sono almeno due modalità per esprimere la risoluzione in uno strumento numerico:

- N_{\max} : valore numerico massimo con cui il risultato può essere rappresentato (non prevedibile)
- C : cifre adottate per rappresentare N_{\max}

Poiché un DMM (Digital MultiMeter) presenta più portate, è utile caratterizzare la sua risoluzione indipendentemente dalla portata utilizzata. Si definisce **risoluzione adimensionale** δ :

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

dove B è base di numerazione utilizzata

La risoluzione coincide con il numero C di cifre usate per rappresentare N_{\max} solo se $N_{\max}=B^C$, ossia se N_{\max} corrisponde al numero massimo rappresentabile con C cifre: infatti

$$\delta = \log_B N_{\max} = \log_B B^C = C$$

La risoluzione viene normalmente approssimata alla mezza unità (ad esempio $\delta=5 \frac{1}{2}$ cifre), ma in questo modo si indica che il conteggio massimo non può assumere tutti i valori rappresentabili con C cifre in base B.

Esempio

Consideriamo un DMM con visualizzatore decimale (B=10) a C=6 cifre; se sul display non sono previsti tutti i valori, allora convenzionalmente si scrive che $\delta=5 \frac{1}{2}$ cifre.

Questo indica solo che non sono rappresentabili tutti i valori compresi tra 0 e 99999, senza però specificare il valore massimo, che va letto sul manuale.

RISOLUZIONE DIMENSIONALE

Una volta fissato il fondo scala (FS) dello strumento è possibile valutare la cosiddetta **risoluzione dimensionale** Δ , espressa come *la minima variazione del misurando che provoca una modifica del risultato della misurazione*. Essa, per un passo di quantizzazione costante, è definita nel modo seguente:

$$\Delta = \frac{FS}{N_{\max}}$$

Si tratta semplicemente del peso della cifra meno significativa del risultato, come mostrato nell'esempio che segue.

Esempio

Consideriamo un DMM con B=10, C=6, $\delta=5 \frac{1}{2}$ cifre, $N_{\max}=303099$.

Si abbiano i seguenti valori di FS:

1.99999 V

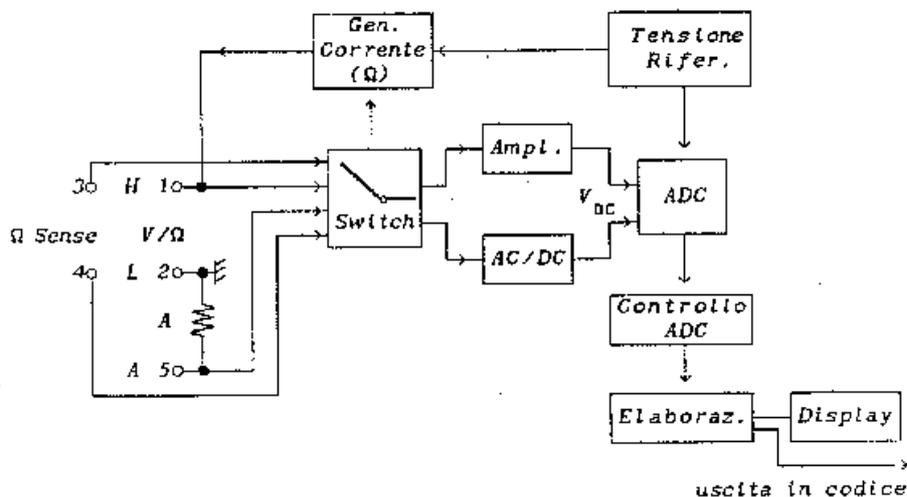
2.99999 V

3.03099 V

Questi valori, pur essendo tutti diversi, hanno la caratteristica di avere, come ultima cifra significativa (a destra) quella corrispondente a $10 \mu\text{V}$; di conseguenza, in tutti e tre i casi risulta $\Delta=10\mu\text{V}$ (=peso assunto dalla cifra meno significativa).

STRUTTURA GENERALE DI UN DMM

Lo schema a blocchi di un DMM con 2 o 4 morsetti di collegamento (per misure di V, I, AC o DC) è il seguente:



Come si vede osservando la parte sinistra di questo schema, sono disponibili 5 morsetti di ingresso, numerati da 1 a 5. Di questi morsetti, il morsetto 2 funziona da riferimento ed è quindi indicato con il simbolo **L** (Low).

Il blocco di ingresso minimizza l'effetto di carico che lo strumento provoca nel circuito sotto misura e condiziona, al solito, il segnale di ingresso per eseguire la misurazione nelle condizioni migliori.

FUNZIONAMENTO DA VOLTMETRO

In questo caso, la tensione di misura va applicata tra i morsetti **H** e **L** (1 e 2) e può variare dalle centinaia di V ad alcuni mV o μV .

Nel caso di misure di tensione in corrente alternata, un DMM fornisce in generale il *vero valore efficace* (*True RMS Value*) ottenibile tramite elaborazione *analogica* oppure *digitale*:

- elaborazione analogica: tramite circuiti integrati si realizza l'espressione analitica che rappresenta l'espressione stessa di valore efficace (quadrato+media+sqrt)
- elaborazione digitale: si converte ogni campione del segnale di ingresso in forma numerica e lo si elabora tramite microprocessore

FUNZIONAMENTO DA AMPEROMETRO

In questo caso, i morsetti di ingresso sono **A** e **L** (5 e 2); le correnti tollerabili vanno dai nA a qualche A.

La corrente incognita viene fatta passare per una resistenza nota, interna allo strumento e dell'ordine di 0.1Ω , ai capi della quale si manifesta una d.d.p., misurata dal dispositivo ADC.

Analogamente, valori efficaci di correnti alternate vengono valutate, con elaborazione analogica o digitale, misurando il valore efficace delle cadute di tensione ai capi del resistore interno noto

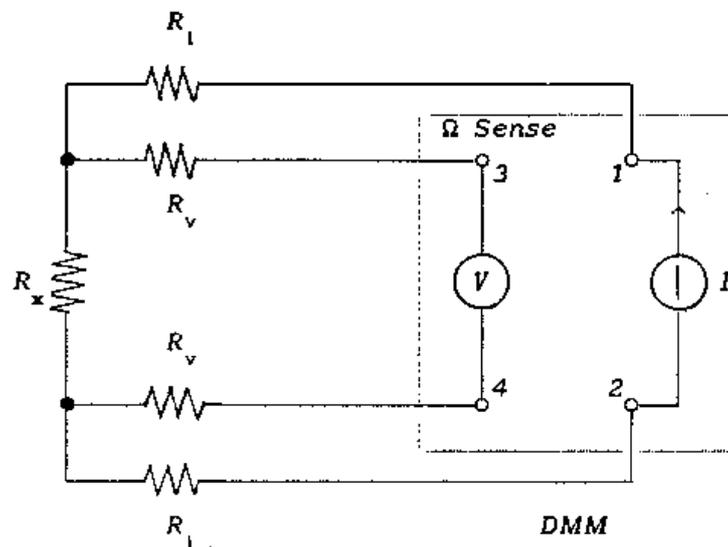
FUNZIONAMENTO DA OHMETRO

I morsetti coinvolti sono nuovamente H e L (come nel caso del voltmetro). I valori misurabili vanno dai $\mu\Omega$ ai $G\Omega$. Particolari cautele bisogna però usare per misure agli estremi del campo appena specificato.

Per quanto riguarda il metodi di misura, nella resistenza incognita viene fatta circolare una corrente nota e viene quindi misurata la caduta di tensione (c.d.t.) prodotta. La conoscenza della corrente è dedotta valutando la c.d.t. ai capi di una resistenza nota.

Deduciamo dunque che questa misura si traduce nella misura di due tensioni e nell'elaborazione dei risultati successivi.

Per ridurre l'influenza delle resistenze di contatto e dei conduttori di collegamento, sono disponibili 4 morsetti: con 1 e 2 si fornisce la corrente di misurazione, mentre da 3 e 4 (*W sense*) preleviamo la tensione ai capi di R_X , secondo lo schema seguente:



La figura mostra la presenza di **resistenze di contatto e collegamento (R_l)** e di **resistenze parassite** del circuito voltmetrico (R_v). Tuttavia, le c.d.t. sulle resistenze R_l non influenzano la misura della tensione ai capi di 3 e 4 e, inoltre, dato che la resistenza di ingresso ai capi di 3 e 4 è molto elevata, le resistenze R_v hanno anch'esse effetto trascurabile.

Alcuni strumenti presentano la funzione cosiddetta di **Autorange**:

- *prima misurazione*: valore più opportuno della corrente da erogare
- *seconda misurazione*: effettiva valutazione di R_X (aumento di T_{mis})

Misura di piccole resistenze

Per misurare resistenze *molto piccole* o con *elevate risoluzioni* si fanno due misurazioni:

- *prima misurazione*: Si valuta la c.d.t. su R_X causata dalla corrente fornita dallo strumento. Tiene conto di eventuali sorgenti di disturbo dovute ad esempio a differenze di temperature nei contatti tra metalli diversi
- *seconda misurazione*: Si valuta la stessa c.d.t. in assenza di corrente per tenere conto delle eventuali sorgenti di tensione di disturbo. Si sottrae tale valore da quello ottenuto nella prima fase.

Esempio

$R_I = 5\Omega$, $\delta = 5 \frac{1}{2}$ cifre. In tal caso è necessario valutare resistenze con una risoluzione dimensionale dell'ordine dei $10\mu\Omega$. Con una corrente di 10mA ciò richiede la misura di tensioni con risoluzione 100nV, inferiore o paragonabile ai fenomeni di disturbo

Misura di grandi resistenze

Per estendere superiormente il campo dei valori massimi misurabili lo strumento pone in parallelo a R_X una resistenza nota R_N . E avremo:

$$R_X = \frac{R_N R_M}{R_N - R_M}$$

dove R_M è risultato della misurazione.

La c.d.t. assume valori accettabili anche utilizzando correnti non troppo piccole, e quindi valutabili in modo accurato

Sono possibili elaborazioni sui risultati della misurazione (ad esempio la differenza tra due valori misurati, μ e σ di n misure) per aumentare l'accuratezza del risultato

E' possibile fissare il campo dei valori entro cui deve essere contenuto il risultato (SAM)

E' possibile esprimere il valore misurato in dB rispetto a un valore di riferimento

VALUTAZIONE DELL'ACCURATEZZA

Non esiste una normativa precisa per specificare l'accuratezza di un DMM.

Di solito, essa viene fornita mediante la seguente espressione dell'incertezza:

$$\Delta_X = k_1 |X| + k_2 \Delta$$

dove

- k_1 = componente dell'incertezza dipendente dal valore misurato X (tabelle di k_1)
- k_2 = componente dell'incertezza dipendente solo dalla portata scelta (tabelle di k_2)

Esempio

Consideriamo un DMM con portata $P=30 \text{ V}$, con risoluzione $\delta=5 \frac{1}{2}$ cifre e con $X_{\max}=30.3099\text{V}$.

La risoluzione dimensionale $\Delta=100 \mu\text{V}$.

Dalle tabelle fornite dal costruttore si deduce:

$$k_1=0.005\%$$

$$k_2=4$$

Deduciamo allora che l'incertezza vale

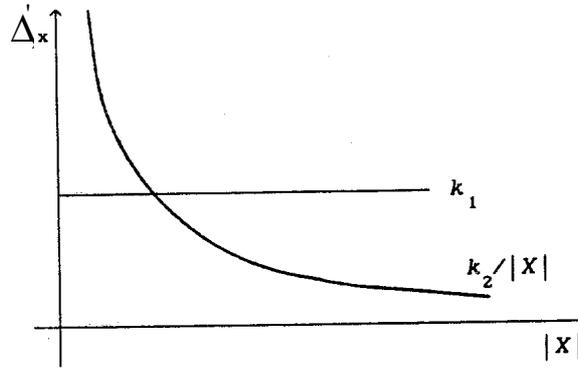
$$\Delta_X = 5 \cdot 10^{-5} |V_X| + 4 \cdot 10^{-4} \text{ V}$$

Dividendo per il valore assoluto del misurando, otteniamo l'incertezza relativa:

$$\Delta'_X = \frac{\Delta_X}{|X|} = k_1 + k_2 \frac{\Delta}{|X|}$$

Questa incertezza relativa risulta dunque costituita da un termine non dipendente dal valore misurato e da uno che può diventare prevalente quando X è prossimo al **downrange**

L'effetto delle componenti sull'incertezza relativa è mostrato in figura seguente:



Come noto, anche per il DMM sarà conveniente usare lo strumento in FS, ossia impostando la minima portata compatibile con il valore assunto dal misurando.

Un DMM deve essere messo a punto periodicamente, seguendo una procedura specificata dettagliatamente dal costruttore e svolta in un certo campo di valori della temperatura ambiente (T_{amb}). Anche per k_1 e k_2 vengono forniti dei *range* validi di T_{amb} e la durata della loro validità. Se T_{amb} è differente da quella prevista possono essere adottati coefficienti correttivi opportuni.

A causa delle inevitabili **tensioni di offset** lo strumento può fornire un'indicazione non nulla anche a circuito aperto: questo valore può essere valutato e la misura corretta. Esiste un comando denominato **Autozero** (on/off) che permette di eseguire questa procedura di valutazione dell'offset

Nella misura di grandezze variabili, l'accuratezza del risultato si degrada in funzione della frequenza del segnale di ingresso (f_{IN}), come illustrato nel prossimo esempio.

Esempio

Consideriamo un DMM con portata $P=30\text{ V}$, con risoluzione $\delta=5\frac{1}{2}$ cifre e con $X_{max}=30.3099\text{V}$.

Dalle tabelle fornite dal costruttore si deduce che, per una $100\text{Hz} \leq f_{in} \leq 20\text{kHz}$, risulta $k_1=0.20\%$ e $k_2=70$. Al contrario, per $20\text{kHz} \leq f_{in} \leq 50\text{kHz}$ risulta $k_1=0.26\%$ e $k_2=140$. L'aumento di valori dei coefficienti indica evidentemente un peggioramento dell'accuratezza all'aumentare della frequenza.

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**

e-mail: sandry@iol.it

sito personale: <http://users.iol.it/sandry>

succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>