

Appunti di Misure Elettriche

Amperometri analogici passivi

INTRODUZIONE

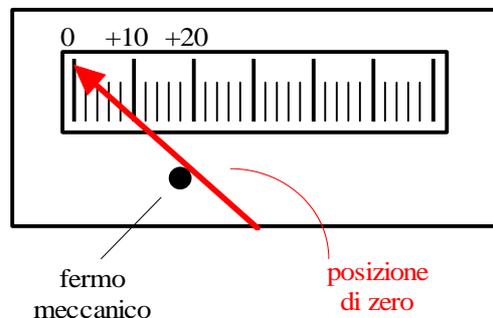
L'**amperometro** è, in generale, lo strumento atto a misurare una corrente elettrica. Parliamo invece di *galvanometro* quando tale corrente è di intensità particolarmente bassa (dell'ordine dei μA e anche meno).

Il principio di funzionamento è grossomodo lo stesso per un amperometro e per un galvanometro: per misurare una corrente elettrica, è evidentemente necessario collegare lo strumento di misura in serie al carico elettrico in cui circola la corrente stessa; tale corrente dà luogo ad una **coppia motrice** che fa ruotare l'**equipaggio mobile** dello strumento e quindi l'**indice** (solidale all'equipaggio mobile) sulla **scala graduata**. Ad ogni valore di corrente (ovviamente compreso nella **portata** dello strumento) corrisponde una **posizione di equilibrio** dell'equipaggio mobile e quindi una corrispondente posizione dell'indice sulla scala graduata.

Dato che un qualsiasi strumento di misura non dovrebbe alterare in alcun modo le condizioni del circuito in cui viene inserito, *la resistenza interna dell'amperometro dovrebbe essere molto più piccola di quella del carico*. D'altra parte, non potendo essere nulla tale resistenza, avremo sempre una corrente nel carico più piccola di quella che sarebbe circolata in assenza dell'amperometro. Questo è il cosiddetto **effetto di carico** dell'amperometro, che è una delle principali cause di incertezza sulla misura fornita da tale strumento.

Proprio per il fatto di possedere una bassissima resistenza interna, un amperometro non va mai connesso in parallelo ad una forza elettromotrice o comunque ad un carico in tensione: infatti, questo potrebbe determinare una corrente interna allo strumento di intensità tale da danneggiare l'equipaggio mobile. Ovviamente, per analoghi motivi, lo strumento va connesso in serie a carichi che assorbano correnti comunque inferiori alla portata massima dello strumento stesso.

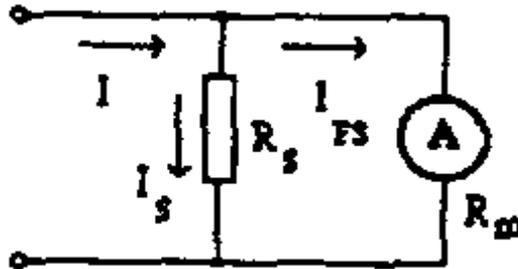
Ci sono ulteriori accorgimenti da prendere a seconda del tipo di scala graduata che viene usata. Consideriamo ad esempio una **scala a zero laterale**:



In questo caso, bisogna porre attenzione al corretto collegamento delle polarità dello strumento, per evitare che la coppia motrice tenda a far premere l'indice contro il fermo meccanico, causando danneggiamenti. Per questo motivo, i morsetti esterni dell'amperometro in corrente continua sono generalmente contrassegnati da un **+** e da un **-**.

USO DI DERIVATORI

Talvolta capita di dover misurare correnti elettriche di intensità superiore a quella sopportabile dalla bobina interna (cioè superiori alla portata dello strumento). In questi casi, è necessario ricorrere a resistori posti in parallelo alla bobina stessa, chiamati **derivatori** (o **shunt**). Lo schema da usare è cioè il seguente:



Abbiamo indicato con I la corrente da misurare e con I_s e I_{FS} le sue ripartizioni, rispettivamente, nella resistenza R_s e nell'ampmetro (con resistenza interna R_m). In particolare, si suppone che nell'ampmetro scorra la massima corrente possibile, per cui I_{FS} è la **corrente di fondo scala** (o *portata*) dello strumento.

Applicando la semplice LKT, ricaviamo che

$$R_m I_{FS} = R_s (I - I_{FS})$$

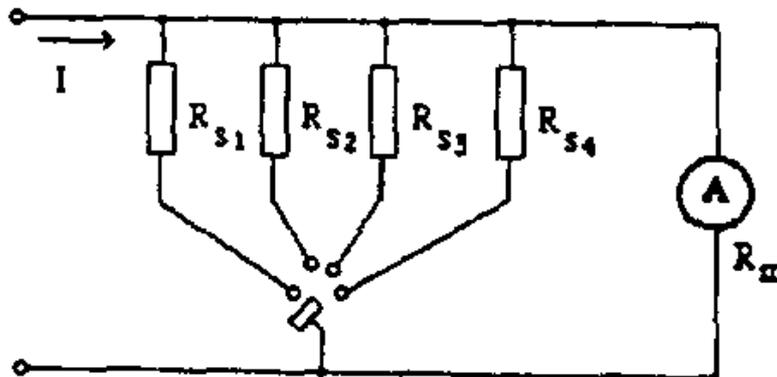
da cui risulta che

$$I = \frac{R_m}{R_s} I_{FS} + I_{FS}$$

In base a questa espressione, noti i parametri I_{FS} e R_m dell'ampmetro, conosceremo il valore di I a partire dal valore di R_s .

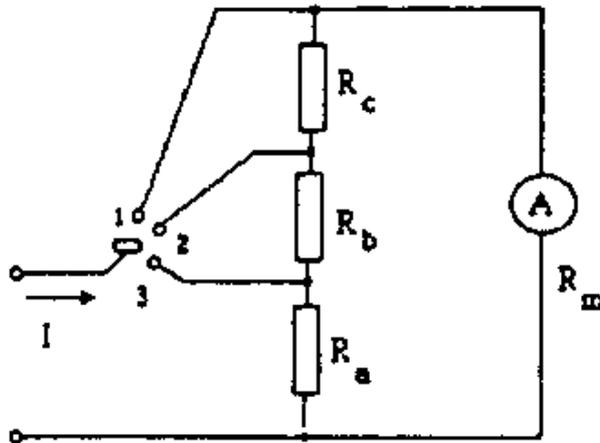
La resistenza R_s , costituita da un resistore poco influenzabile dalle variazioni termiche, può essere sia già predisposta all'interno dello strumento sia posta all'esterno di esso ove necessario.

Se si vuole perfezionare lo strumento, consentendo **portate multiple**, allora si possono usare più shunt esterni, secondo una configurazione del tipo seguente:



La posizione del **commutatore** determina quale shunt inserire e il passaggio da una portata all'altra avviene senza che ci sia interruzione del circuito elettrico, in modo da evitare danneggiamenti all'equipaggio mobile.

Un'ulteriore possibilità, per realizzare un amperometro a portate multiple, è quello di usare il **derivatore universale** (detto anche *derivatore di Ayrton*), fatto nel modo seguente (nel caso semplice di 3 sole portate):



Sia I_{FS} la portata dell'amperometro senza resistenze in parallelo. Il nostro scopo è aumentare la portata dello strumento, aggiungendo appunto le resistenze in parallelo.

Supponiamo allora che la corrente da misurare, indicata in figura con I , sia la nuova portata che vogliamo ottenere. Supponiamo che il commutatore sia in posizione 1, per cui tutte e tre le resistenze sono coinvolte dal passaggio di corrente; applicando la LKT, si ha (analogamente a prima) che

$$R_m I_{FS} = (R_A + R_B + R_C)(I - I_{FS})$$

Da qui possiamo solo ricavare che

$$R_{S,1} = R_A + R_B + R_C = R_m \frac{I_{FS}}{I - I_{FS}} = R_m \frac{1}{\frac{I}{I_{FS}} - 1}$$

Il termine I/I_{FS} si indica generalmente con m , per cui scriviamo

$$R_{S,1} = R_m \frac{1}{m - 1}$$

Quindi, in base a questa relazione, sappiamo quanto deve valere $R_{S,1}$ per ottenere il desiderato valore di m , ossia sostanzialmente la portata desiderata (in particolare, avendo incluso tutte e tre le resistenze, abbiamo la portata minima). Il problema è che $R_{S,1}$ è somma di 3 resistenze, per cui abbiamo ancora 2 gradi di libertà.

Allora, supponiamo di portare il commutatore in posizione 2 (per cui la resistenza R_C va a porsi in serie all'amperometro); supponendo che la corrente in ingresso (cioè la nuova portata sia I_1), scriviamo che

$$(R_m + R_C)I_{FS} = (R_A + R_B)(I_1 - I_{FS})$$

da cui

$$R_{S,2} = R_A + R_B = (R_m + R_C) \frac{I_{FS}}{I_1 - I_{FS}} = (R_m + R_C) \frac{1}{m_1 - 1}$$

Quest'ultima relazione consente di calcolare il valore di R_C necessario ad avere il rapporto m_1 desiderato:

$$R_C = R_{S,2} \left(\frac{I_1}{I_{FS}} - 1 \right) - R_m = R_{S,2} (m_1 - 1) - R_m = \dots = R_{S,1} \left(1 - \frac{m}{m_1} \right)$$

Resta ancora 1 grado di libertà. Allora, ponendo il commutatore in posizione 3, si ha che

$$(R_m + R_C + R_B) I_{FS} = R_A (I_2 - I_{FS})$$

da cui

$$R_{S,3} = R_A = (R_m + R_C + R_B) \frac{I_{FS}}{I_2 - I_{FS}} = (R_m + R_C + R_B) \frac{1}{m_2 - 1}$$

dove I_2 è la nuova portata dello strumento.

Abbiamo dunque ricavato il valore da dare ad R_A per ottenere una data portata con il commutatore in posizione 2. Possiamo ora *procedere a ritroso*. Combinando infatti l'ultima equazione con

$R_C = R_{S,1} \left(1 - \frac{m}{m_1} \right)$ e tenendo conto che $R_A = R_{S,1} - R_B - R_C$, si ottiene

$$R_B = R_{S,1} \left(\frac{m}{m_1} - \frac{m}{m_2} \right)$$

Questa equazione consente dunque di calcolare il valore di R_B per avere le portate richieste. Resta da calcolare il valore di R_A , ottenibile banalmente imponendo la condizione $R_A = R_{S,1} - R_B - R_C$: si ricava

$$R_A = R_{S,1} \frac{m}{m_2}$$

Quindi, le relazioni da applicare per il dimensionamento del derivatore universale sono le seguenti:

$$R_{S,1} = R_m \frac{1}{m - 1}$$

$$R_A = R_{S,1} \frac{m}{m_2}$$

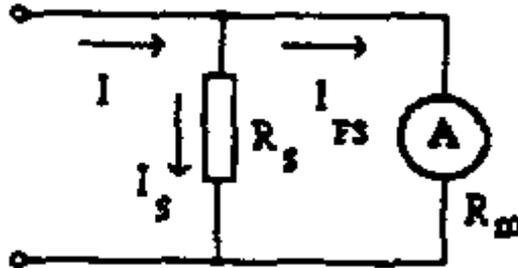
$$R_B = R_{S,1} \left(\frac{m}{m_1} - \frac{m}{m_2} \right)$$

$$R_C = R_{S,1} \left(1 - \frac{m}{m_1} \right)$$

Il derivatore universale ha il vantaggio di consentire una protezione dell'amperometro, data la presenza costante di una resistenza ad esso in parallelo; lo svantaggio è ovviamente che questa resistenza limita la sensibilità dello strumento.

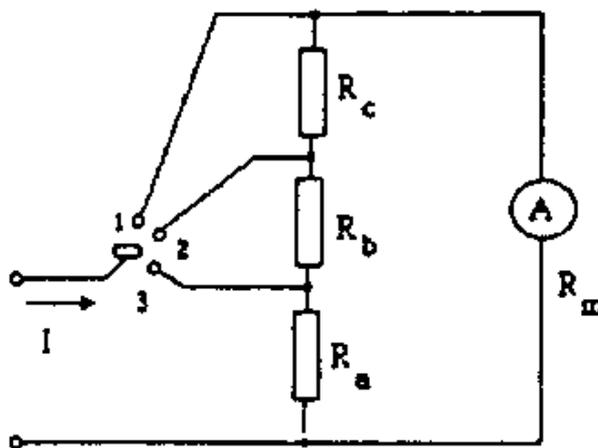
Esempio

Vediamo un esempio di applicazione dei concetti appena visti. Supponiamo di avere a disposizione un amperometro con corrente di fondo scala $I_{FS}=1A$ e resistenza interna $R_m=50\Omega$. Supponiamo di voler aumentare la portata dello strumento, passando a 2A. Dobbiamo necessariamente disporre una resistenza R_S in parallelo:



Sappiamo che la relazione tra le correnti è $R_m I_A = R_S (I - I_A)$: imponendo che l'amperometro sia attraversato dalla massima corrente tollerabile ($I_A = I_{FS}$) e che anche la corrente in ingresso sia massima ($I = 2A$), si trova evidentemente che deve essere $R_S = R_m$.

Supponiamo adesso invece che, dopo aver fatto questo dimensionamento, la corrente in ingresso risulti essere di 3A, cioè superiore alla portata massima da noi prevista: in base all'equazione $R_m I_A = R_S (I - I_A)$, in cui $R_S = R_m$, si ottiene che la corrente nell'amperometro è $I_A = \frac{I}{2} = 1.5A$, cioè superiore alla portata dello strumento. Per evitare questo problema, dobbiamo utilizzare ulteriori shunt al fine di aumentare la portata. Usiamo allora il derivatore universale:



Il primo passo è quello di dimensionare la **portata minima** (quindi con il commutatore in posizione 1) al valore 2A. Abbiamo visto che, a tal fine, la relazione da applicare è

$$R_S = R_A + R_B + R_C = R_m \frac{1}{\frac{I}{I_{FS}} - 1}$$

Sostituendo $I=2A$ (da cui $m=2$), $I_{FS}=1A$ e $R_m=50\Omega$, si ottiene ovviamente $R_S=R_m=50\Omega$.

Adesso supponiamo di voler aumentare la portata a 3A, portando il commutatore in posizione 2 (e cioè escludendo la resistenza R_C). La relazione da applicare è

$$R_A + R_B = (R_m + R_C) \frac{I_{FS}}{I_1 - I_{FS}}$$

da cui scaturisce che $R_C = R_S \left(1 - \frac{m}{m_1}\right)$. Sostituendo $I_1=3A$ (da cui consegue che $m_1=3$), $I_{FS}=1A$ e $R_S=50\Omega$, si ottiene $R_C = \frac{50}{3}\Omega$.

Se vogliamo ulteriormente innalzare la portata, ad esempio al valore $I_2=6A$, dobbiamo escludere anche la resistenza R_B , cioè portare il commutatore in posizione 3. Le relazioni da usare sono allora le seguenti:

$$R_A = R_S \frac{m}{m_2}$$

$$R_B = R_S \left(\frac{m}{m_1} - \frac{m}{m_2} \right)$$

Sostituendo i valori numerici (in particolare $I_2=6A$, da cui $m_2=6$), si trova $R_A = R_B = R_C = \frac{50}{3}\Omega$.

Quindi, usando 3 resistenze uguali a $50/3 \Omega$, otteniamo uno strumento con portate 2A, 3A e 6A.

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**
e-mail: sandry@iol.it
sito personale: <http://users.iol.it/sandry>
succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>