

Norme per la sicurezza in lab:
http://www.uniroma1.it/sites/default/files/allegati/QI04_SicurezzaElettrica.pdf

Leggere e ne parliamo la prossima volta, molto brevemente, a lezione. In lab. Il 25 Marzo, dovrete firmare un foglio per la informazione sulla sicurezza. Il foglio sara' da me consegnato a lezione e, a chi non fosse presente a lezione, prima di entrare in lab.

Variazioni della portata dell' amperometro

- E' possibile misurare correnti maggiori di quella di fondo scala inserendo un resistore in parallelo all' amperometro: resistenza di shunt (derivatore di corrente).

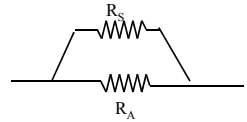
$$I = I_s + I_A$$

$$I_A R_A = I_s R_s \mapsto I_A = I - \frac{I_A R_A}{R_s}$$

$$\Rightarrow I_A \left(\frac{1 + R_A}{R_s} \right) = I$$

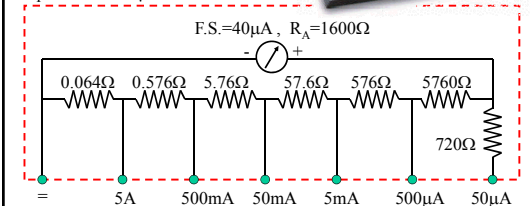
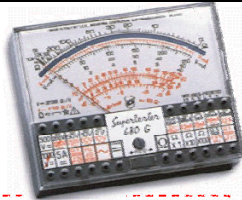
$$\Rightarrow I_A = \frac{R_s}{R_A + R_s} I$$

$$I_A = \frac{I}{n} \quad \text{se} \quad R_s = \frac{1}{n-1} R_A$$



Esercizio

- Perche' gli shunt del multimetro sono questi ?
- Il parallelo è tarato in modo che con I di f.s. nel μ amperometro I sia Sempre al max. $40\mu A$



L' amperometro dello strumento universale

- Per avere $40\mu A$ di f.s. con una corrente in ingresso di 5 A lo shunt in parallelo alla serie delle altre resistenze deve essere da 0.064 Ohm e cosi' via per le altre: infatti, facendo il conto:

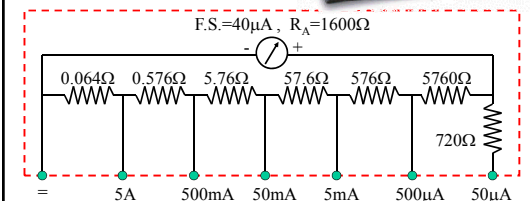
$$R_{serie} + R_A = 7999.936 \text{ Ohm}$$

$$I_A (R_A + R_{serie}) = I_s R_s \Rightarrow$$

$$I_A = \frac{I_s R_s}{(R_A + R_{serie})} = I_s \cdot 8 \cdot 10^{-6}$$

L' amperometro dello strumento universale

- Nello strumento universale l' amperometro e' gia' corredato da diversi shunt
- Si sceglie la corrente di fondo scala inserendo i puntali nelle bocche giuste.

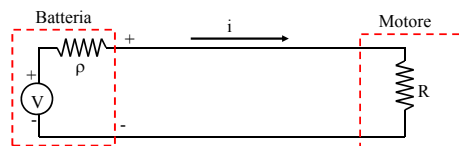


L' amperometro dello strumento universale

- Esempio: misurare una corrente i che scorre in un motorino elettrico:

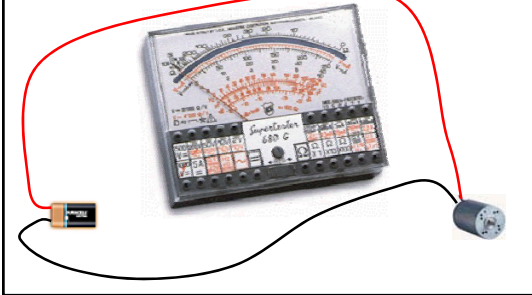


- Schema equivalente:



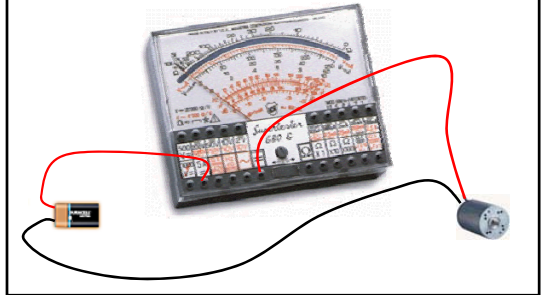
L' amperometro dello strumento universale

- Per misurare la corrente si deve interrompere il circuito ed inserirci lo strumento di misura **in serie** :



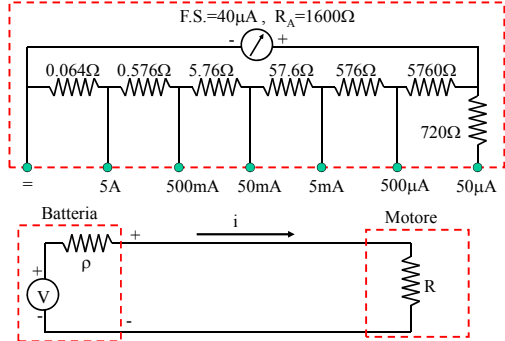
L' amperometro dello strumento universale

- Per misurare la corrente si deve interrompere il circuito ed inserirci lo strumento di misura **in serie** :



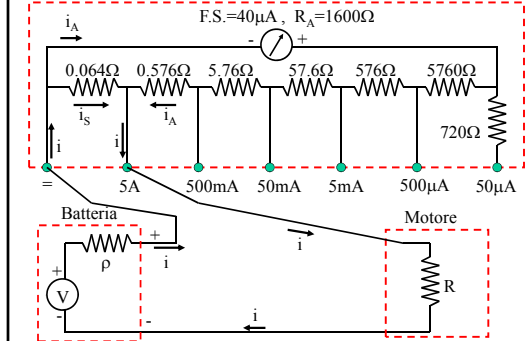
L' amperometro dello strumento universale

Strumento Universale



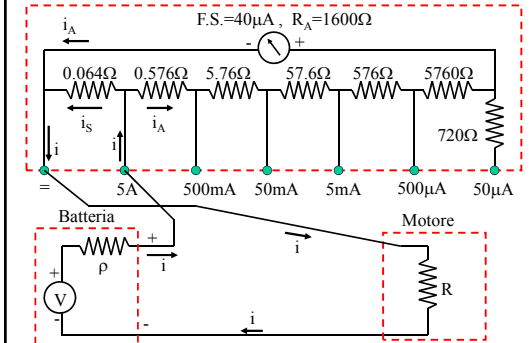
L' amperometro dello strumento universale

Strumento Universale



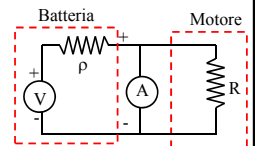
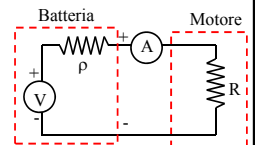
L' amperometro dello strumento universale

Strumento Universale



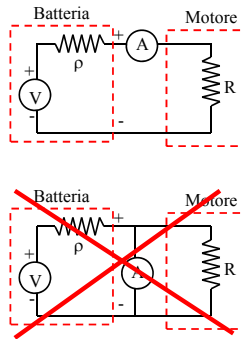
Concetto Importante

- L' amperometro si inserisce sempre **IN SERIE** al circuito di cui si vuole misurare la corrente.
- L' amperometro non si inserisce **MAI IN PARALLELO** al circuito di cui si deve misurare la corrente.



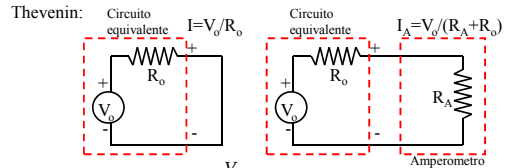
Concetto Importante

- L' amperometro si inserisce sempre IN SERIE al circuito di cui si vuole misurare la corrente.
- L' amperometro non si inserisce MAI IN PARALLELO al circuito di cui si deve misurare la corrente.
- (bassa R!)



Perturbazione introdotta dall' amperometro.

- L' inserimento dell' amperometro aumenta la resistenza totale del circuito in cui e' inserito, quindi la corrente misurata e' leggermente inferiore a quella imperturbata. Possiamo calcolare quanto.
- Tra i due punti del circuito in cui operiamo l' interruzione, il circuito in misura puo' essere rappresentato dal suo equivalente secondo



$$I_A = \frac{V_o}{R_o + R_A} = \frac{\frac{V_o}{R_o}}{1 + \frac{R_A}{R_o}} = \frac{I}{1 + \frac{R_A}{R_o}}$$

Perturbazione introdotta dall' amperometro.

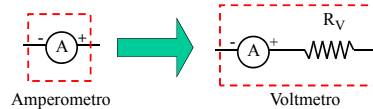
- L' entita' della correzione da apportare alla misura I_A per ottenere I dipende dal rapporto R_A/R_o . R_A e' scritto nelle specifiche dell' amperometro, R_o si puo' valutare o misurare.
- Vale la pena di apportare la correzione se l' errore

$$\frac{I - I_A}{I_A} = \frac{R_A}{R_o}$$

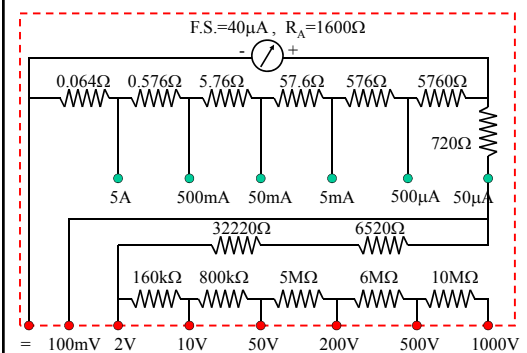
- E' maggiore dell' errore percentuale commesso nella lettura di I_A , sommato all' errore di calibrazione.
- Il valore di R_A dipende ovviamente dal particolare shunt utilizzato, e quindi dal fondo scala scelto.
- Questo fatto puo' essere utilizzato a nostro vantaggio per eliminare R_o dalla valutazione di I , eseguendo la misura con due fondo-scala diversi (con diverse R_A , ambedue note) ed ottenendo quindi un sistema con due equazioni e due incognite.

Il Voltmetro

- Il voltmetro e' uno strumento che misura la differenza di potenziale mediante la misura dell' intensita' di corrente che scorre in un resistore di resistenza nota.
- Il voltmetro e' quindi uno strumento a bobina mobile (come l' amperometro) con una ELEVATA resistenza interna R_V , in modo che perturbi poco la misura:



Il voltmetro dello strumento universale

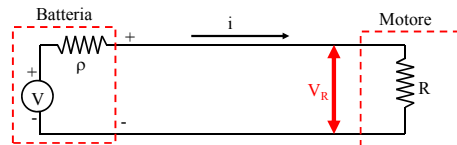


Il voltmetro dello strumento universale

- Esempio: misurare la tensione ai capi della batteria che alimenta un motorino elettrico (durante il funzionamento):



- Schema equivalente:



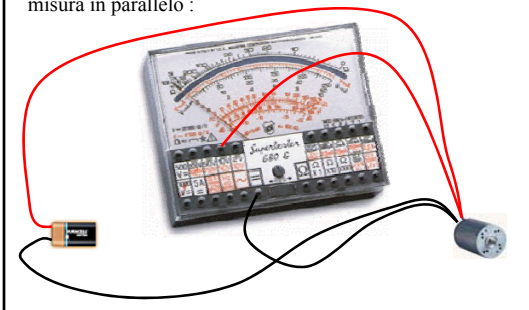
Il voltmetro dello strumento universale

- Per misurare la tensione si deve inserire lo strumento di misura in parallelo :



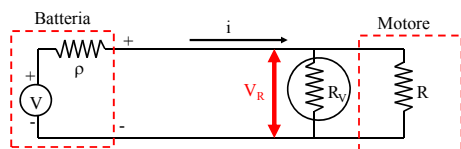
Il voltmetro dello strumento universale

- Per misurare la tensione si deve inserire lo strumento di misura in parallelo :



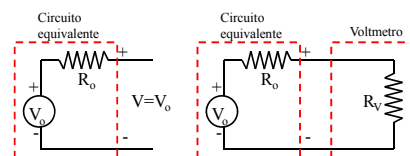
Perturbazione introdotta dal Voltmetro

- L' inserimento del Voltmetro riduce leggermente la tensione ai capi del motore, perché una piccola parte della corrente originale passa nel voltmetro.



Perturbazione introdotta dal Voltmetro

- Come al solito: si schematizza il circuito in misura con il suo equivalente secondo Thevenin.



$$I_V = \frac{V_o}{R_o + R_V}$$

$$V_V = I_V R_V = V_o \frac{R_V}{R_o + R_V} = V_o \frac{1}{\frac{R_o}{R_V} + 1} \Rightarrow V_o = V_V \left(1 + \frac{R_o}{R_V} \right)$$

Perturbazione introdotta dal Voltmetro

$$V_o = V_V \left(1 + \frac{R_o}{R_V} \right)$$

- L' entità della correzione dipende dal rapporto R_o/R_V . La correzione è trascurabile se $(V_V - V_o)/V_V$ è minore degli errori di lettura e di calibrazione.
- Il valore di R_V si valuta a partire dalla corrente di fondo scala dell' amperometro che c'è all' interno del voltmetro.
- Per lo strumento universale a nostra disposizione, la corrente di fondo scala della scala più sensibile è di 50μA. Per la legge di Ohm:

$$\frac{1}{I_{FS}} = \frac{R_V}{V_{FS}}$$

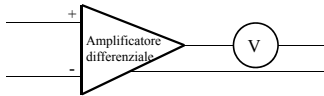
- Quindi abbiamo una resistenza interna del Voltmetro di $20000\Omega/V_{FS}$. Ad esempio
 - per il fondo scala di 50V, la resistenza R_V vale $20000\Omega/V_{FS} \times 50 V_{FS} = 1M\Omega$.
 - per il fondo scala di 100mV, la resistenza R_V vale $20000\Omega/V_{FS} \times 0.1 V_{FS} = 2k\Omega$.

Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- Si può migliorare lo strumento di misura di correnti e tensioni in due modi:
 - Diminuendo le perturbazioni che esso introduce nel circuito
 - Costruendo circuiti che convertono il risultato della misura in forma digitale, in modo da
 - Usare una visualizzazione numerica, eliminando l' errore di lettura sulla scala graduata
 - poterlo acquisire su un computer per una successiva elaborazione.

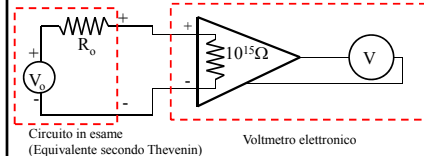
Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- Le perturbazioni introdotte dallo strumento analogico sono dovute alla resistenza relativamente bassa della bobina mobile (e' un avvolgimento di filo) ed alla corrente relativamente alta necessaria a produrre la coppia necessaria per muovere l' equipaggio mobile.
- Si possono utilizzare dei circuiti amplificatori, inserendoli tra il circuito sotto misura e l' amperometro, in modo da produrre una corrente nell' amperometro amplificata di un fattore $G > 1$ rispetto alla corrente estratta dal circuito in esame.
- All' interno di questi amplificatori si utilizzano Transistor a Effetto di Campo (FET, field effect transistor), che permettono di generare correnti rilevanti estraendo una corrente trascurabile ($i_A = 10^{-15} A$) dal circuito in esame.



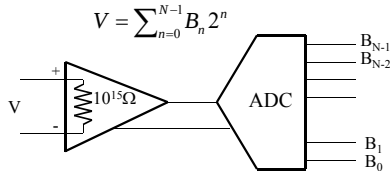
Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- Le perturbazioni introdotte dallo strumento analogico sono dovute alla resistenza relativamente bassa della bobina mobile (e' un avvolgimento di filo) ed alla corrente relativamente alta necessaria a produrre la coppia necessaria per muovere l' equipaggio mobile.
- Si possono utilizzare dei circuiti amplificatori, inserendoli tra il circuito sotto misura e l' amperometro, in modo da produrre una corrente nell' amperometro amplificata di un fattore $G > 1$ rispetto alla corrente estratta dal circuito in esame.
- All' interno di questi amplificatori si utilizzano Transistor a Effetto di Campo (FET, field effect transistor), che permettono di generare correnti rilevanti estraendo una corrente trascurabile ($i_A = 10^{-15} A$) dal circuito in esame.



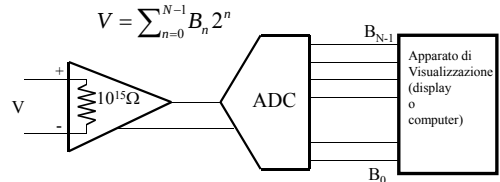
Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- La tensione in uscita dal voltmetro puo' essere convertita in un numero digitale utilizzando un apposito Convertitore Analogico Digitale (ADC = analog to digital converter).
- Si tratta di un circuito che converte una tensione in ingresso in un insieme di N livelli di tensione in uscita, ciascuno dei quali rappresenta un bit della rappresentazione binaria $\{B_n, n=0, N-1\}$ del valore della tensione ($B_n = 0$ o 1 a seconda che il livello di tensione sull' n-ma linea sia 0 o 5V).



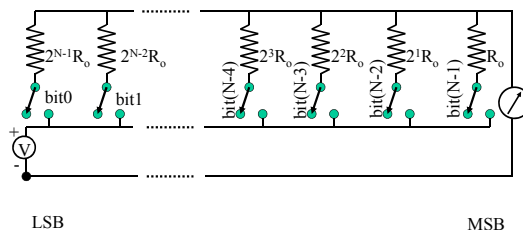
Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- La tensione in uscita dal voltmetro puo' essere convertita in un numero digitale utilizzando un apposito Convertitore Analogico Digitale (ADC = analog to digital converter).
- Si tratta di un circuito che converte una tensione in ingresso in un insieme di N livelli di tensione in uscita, ciascuno dei quali rappresenta un bit della rappresentazione binaria $\{B_n, n=0, N-1\}$ del valore della tensione ($B_n = 0$ o 1 a seconda che il livello di tensione sull' n-ma linea sia 0 o 5V).



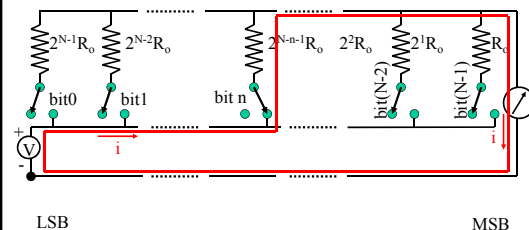
Convertitore Digitale Analogico - 1

- Consideriamo una rete fatta di N resistenze con valori che vanno da R_0 a $2^{N-1}R_0$.
- Usando i deviatori, ciascuna delle resistenze puo' essere connessa a V oppure no, a seconda che il relativo bit sia 1 o 0.



Convertitore Digitale Analogico - 1

- Quando si accende il bit n, nell' amperometro scorre una corrente $i = V / 2^{N-n-1}R_0$.



• Se si accendono i bit $n1, n2, n3$, nell' amperometro scorre una corrente $i = V(1/2^{N-n1-1}R_0 + 1/2^{N-n2-1}R_0 + 1/2^{N-n3-1}R_0)$
 • Ma la corrente di ciascun bit e' un multiplo della corrente del bit piu' piccolo $i_0 = V/2^{N-1}R_0$
 • Quindi l' LSB produce una corrente i_0 , il successivo $2i_0$, il successivo $4i_0$ e cosi' via fino a $2^{N-1}i_0$ per il MSB.
 • Si puo' approssimare una i qualsiasi con la combinazione binaria dei bit opportuni (quantizzando la i con passo i_0). $i = i_0 \sum_{n=0}^{N-1} B_n 2^n$

LSB=Least Significant Bit MSB=Most.

Convertitore Digitale- Analogico

- Un convertitore Digitale- Analogico (DAC, digital to analog converter) a N bit e' un circuito con N ingressi ed una uscita
- In ingresso ci sono le N tensioni che rappresentano il numero binario d' ingresso B_n : $V_i=0$ o V a seconda che $B_i=0$ o 1
- In uscita c' e' la corrente proporzionale al numero d' ingresso: $i = i_0 \sum_{n=0}^{N-1} B_n 2^n$

Convertitore Digitale- Analogico

Ingresso: sequenza di numeri binari (campionamento)

Uscita: corrente variabile nel tempo (campionamento)

Convertitore Digitale- Analogico

- L' applicazione tipica e' il riproduttore di musica digitale (CD):

Convertitore Digitale Analogico - 1

- Il difetto di questo circuito e' che R_0 deve essere molto maggiore della resistenza interna dell' amperometro (che gia' da sola puo' essere $1k\Omega$:.....relazione tra I_0 e I_n)!
- Allora per 16 bit ($2^{16}=65536$ livelli di corrente) la resistenza piu' grande deve essere $>>2^{15}k\Omega$, e contemporaneamente precisa entro $1k\Omega$. Non si fa !

LSB=Least Significant Bit MSB=Most.

Convertitore Digitale Analogico - 2

- Consideriamo invece una rete fatta di resistenze R e $2R$ come sotto.
- Usando i deviatori, ciascuna delle resistenze $2R$ puo' essere connessa a 0 oppure a V a seconda che il relativo bit sia 0 o 1 .

- Quando si connette a +V uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:

- Quando si connette a +V uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:

- Quando si connette a +V uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:

- Quando si connette a +V uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:

- Quando si connette a +V uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:

- Inoltre $i = V/3R$

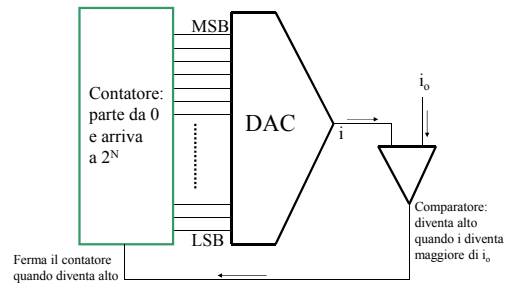
- Inoltre la corrente in ciascuna resistenza R e' meta' di quella nella resistenza R precedente. Quindi se si accende il bit n, nell' amperometro scorre una corrente $i/2^{N-n}$. Quindi le correnti sono tutte multiple della corrente minima (bit0) che vale $i/2^N$

LSB=Least Significant Bit MSB=Most Significant Bit

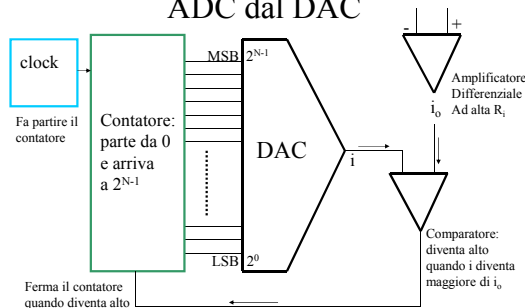
Perche' abbiamo studiato il DAC se ci serve un ADC ?

- L' ADC si costruisce dal DAC.
- Un contatore alterna all' ingresso dell' DAC tutti i numeri binari possibili (da 0 a 2^{N-1}). Dal DAC esce quindi una rampa di corrente crescente al crescere del numero.
- Un comparatore confronta la corrente in uscita dal DAC con la corrente da misurare: quando sono uguali il contatore viene fermato: il numero binario a cui e' arrivato e' la rappresentazione binaria della corrente in ingresso.
- Questo numero puo' essere trasferito al visualizzatore o al computer per immagazzinarlo.
- Nella scheda audio di un normale computer ci sono 2 ADC (e' stereo) che fanno questo lavoro di campionatura dei segnali musicali 44100 volte al secondo, con risoluzione di 16 bit.

ADC dal DAC



ADC dal DAC



Il multimetro digitale

- Contiene al suo interno tutta l' elettronica di cui sopra.
- Comunque non e' uno strumento perfetto !
- Leggere il manuale per capire sensibilita' e precisione.



Dal Manuale del multimetro digitale Fluke 77 (v. pag. web)

Specifications

Accuracy is specified for 1 year after calibration, at operating temperatures of 18 °C to 28 °C, with relative humidity at 0 % to 90 %. Accuracy specifications take the form of the following calculations:

$$\pm (\% \text{ of Reading}) + (\text{Counts})$$

Maximum voltage between any terminal and earth ground: 1000 V Surge Protection: 8 kV peak per IEC 61010 Power for mA inputs: 440 mA, 1000 V FAST Fuse Power for A input: 11 A, 1000 V FAST Fuse Display: Digital 6000 counts, updates 4/sec; Bar graph: 33 segments; updates 30/sec; Frequency: 10.00 counts; Capacitance: 1.000 counts; Operating: 2000 ms; Storage: 12,000 ms Altitude: Maximum: 10,000 m; Operating: 10 °C to +50 °C; Storage: -40 °C to +60 °C Temperature coefficient: 0.1 % (specified accuracy) / °C (-40 °C or +60 °C) Electromagnetic Compatibility (EN 61326-1:1997): In an RF field of 3 V/M, accuracy = specified accuracy. Relative Humidity: 5% to 95% RH; 25% to 40 °C; 45% to 50 °C Battery Life: Alkaline: 400 hrs typical; Size: 91 x 59 x 15 mm; Weight: 420 g Safety Compliance: ANSI/ISA S92.02-01, CSA C22.2-0101, IEC 61010 to 1000 V Measurement Category III, 600 V Measurement Category IV Certifications: CSA, TÜV (EN61010), UL, CE, RoHS (WEEE)	
--	--

manuale multimetro digitale Fluke 77 ...

Model 77 Series IV Users Manual

Function	Range	Resolution	Accuracy = $\pm (\% \text{ of Reading} + 1 \text{ Count})$
AC Volts (Average responding)	6000 V 600 V 60 V 1 V	0.001 V 0.01 V 0.1 V 1 V	2.0 % ± 2 (40 Hz to 1 kHz)
DC mV	600.0 mV 60.0 mV 6.0 mV 0.6 mV	0.1 mV 0.01 mV 0.001 mV 0.0001 mV	0.5 % ± 1 0.5 % ± 1 0.5 % ± 1 0.5 % ± 1
Continuity	600 Ω	1 Ω	Motor beeps at $\approx 25 \Omega$, beeper turns off at $\approx 500 \Omega$. Beeper opens on shorts of 250 μ s or longer.
Ohms	600.0 Ω 60.00 Ω 6.000 Ω 0.6000 Ω 0.06000 Ω 0.006000 Ω 0.0006000 Ω	0.1 Ω 0.001 Ω 0.0001 Ω 0.00001 Ω 0.000001 Ω 0.0000001 Ω 0.00000001 Ω	0.5 % ± 2 0.5 % ± 1 0.5 % ± 1 0.5 % ± 1 0.5 % ± 1 0.5 % ± 1 0.5 % ± 1
Diode test	2.400 V	0.001 V	1 % ± 2
Capacitance	1000 pF 10.00 nF 100.0 nF 1.000 μ F 10.00 μ F 100.0 μ F 1.000 mF 10.00 mF 100.0 mF 1.000 F	1 pF 10 pF 100 pF 1 nF 10 nF 100 nF 1 μ F 10 μ F 100 μ F 1 mF	1.2 % ± 2 1.2 % ± 2 1.2 % ± 2 1.2 % ± 2 1.2 % ± 2 1.2 % ± 2 1.2 % ± 2 1.2 % ± 2 1.2 % ± 2 1.2 % ± 2
AC Amps (Average responding)	400.0 mA 40.00 mA 4.000 mA 0.4000 mA 0.04000 mA 0.004000 mA 0.0004000 mA	0.001 mA 0.01 mA 0.1 mA 1 mA 10 mA 100 mA 1 A	2.5 % ± 2 (40 Hz to 1 kHz)

(1) In the 6000 of range for measurements to 1000 pF, the measurement accuracy is $\pm 2.5 \% \pm 2$.

(2) Amps input burden voltage (thermal): 400 mA input 2 mV max, 10 A input 37 mV max.

(3) 400.0 mA accuracy specified for 1000 mA max load.

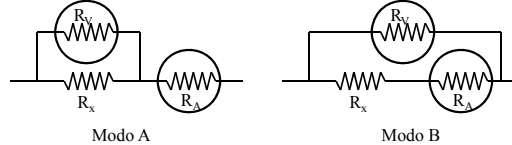
(4) ± 10 A compensated.

Manuale Fluke 77

Function	Range	Resolution	Accuracy ± ([% of Reading] + [Counts])
DC Amps ^[1]	60.00 mA 400.0 mA ^[2] 6.000 A 10.00 A ^[3]	0.01 mA 0.1 mA 0.001 A 0.01 A	1.5 % + 2
Hz ^[4] (ac voltage input)	99.99 Hz 999.9 Hz 9.999 kHz 99.99 kHz	0.01 Hz 0.1 Hz 0.001 kHz 0.01 kHz	0.1 % + 1
MIN MAX AVG	For dc functions, accuracy is the specified accuracy of the measurement function ±12 counts for changes longer than 275 ms in duration. For ac functions, accuracy is the specified accuracy of the measurement function ±40 counts for changes longer than 1.2 s in duration.		
^[1] Frequency is specified from 2 Hz to 99.99 kHz. ^[2] Below 2 Hz, the display shows zero Hz. ^[3] Amps input burden voltage (typical): 400 mA input 2 mV/mA, 10 A input 37 mV/A. ^[4] 400.0 mA accuracy specified up to 600 mA overload. ^[5] >10 A unspecified.			

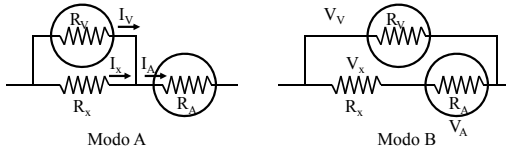
Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

- Il modo più banale di misurare una resistenza è quello di misurare la differenza di potenziale V ai suoi capi e la corrente I che ci scorre. Poi si usa la legge di Ohm: $R_x = V/I$.
- Avendo a disposizione due strumenti di misura, si può eseguire la misura in due modi:



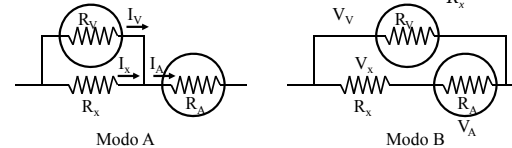
Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

- Nel modo A la ddp misurata è proprio quella ai capi di R_x , ma la corrente misurata è la somma di quella in R_x e di quella nel voltmetro.
- Nel modo B la corrente misurata è proprio quella attraverso R_x , ma la ddp è la somma di quella ai capi di R_x e della caduta sull' amperometro.



Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

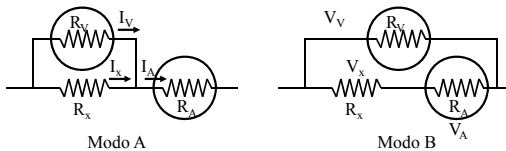
$$\begin{aligned}
 I_A &= I_V + I_x & I_A &= I_x \\
 R_V I_V &= R_x I_x & V_V &= I_x (R_x + R_A) \quad ; \quad V_x = I_x R_x \\
 \Rightarrow I_x &= I_A \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_V}} & \Rightarrow V_x &= V_V \frac{1}{1 + \frac{R_A}{R_x}} \\
 \Rightarrow R_x &= \frac{V_V}{I_A} \left[1 + \frac{R_x}{R_V} \right] & \Rightarrow R_x &= \frac{V_x}{I_x} = \frac{V_V}{I_A} \frac{1}{1 + \frac{R_A}{R_x}}
 \end{aligned}$$



Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

$$R_x = \frac{V_V}{I_A} \left[1 + \frac{R_x}{R_V} \right] \quad R_x = \frac{V_V}{I_A} \frac{1}{1 + \frac{R_A}{R_x}}$$

- Quindi in ambedue i casi il rapporto di tensione e corrente misurate è una prima approssimazione del valore della resistenza.
- Nel modo A la misura è tanto più precisa quanto più $R_V > R_x$.
- Nel modo B la misura è tanto più precisa quanto più $R_A < R_x$.

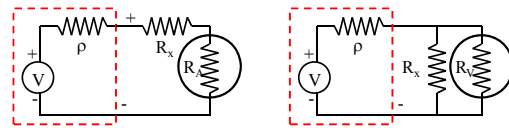


Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

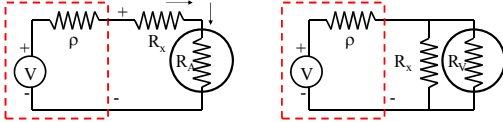
- Se si ha a disposizione un solo multimetro, si eseguono sequenzialmente la misura di corrente e quella di tensione.



- La resistenza sarà inserita in un circuito che ci fa scorrere corrente:

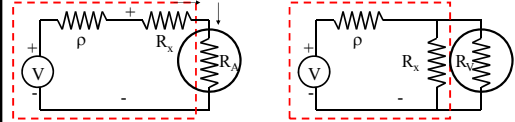


Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

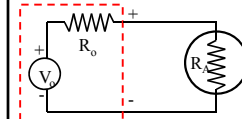


- Nella prima configurazione la corrente che scorre nell' amperometro e' uguale a quella che scorre nella resistenza; nel secondo caso la ddp misurata dal voltmetro e' uguale a quella ai capi della resistenza (ma la corrente nella Rx e' diversa da prima..)

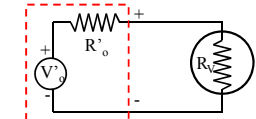
Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico



- Possiamo schematizzare il circuito esterno al multimetro secondo Thevenin: $V_o = V$, $R_o = \rho + R_x$; $R'_o = \rho // R_x$, $V'_o = VR_x / (\rho + R_x)$



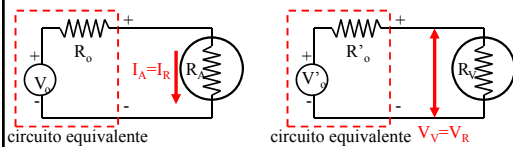
circuito equivalente



circuito equivalente

Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

- Possiamo schematizzare il circuito esterno al multimetro secondo Thevenin: $V_o = V$, $R_o = \rho + R_x$; $R'_o = \rho // R_x$, $V'_o = VR_x / (\rho + R_x)$



circuito equivalente

circuito equivalente $V_V = V_R$

- La tensione e la corrente misurate nei due casi sono quindi:

$$I_x = \frac{V_o}{R_o + R_A} = \frac{V}{\rho + R_x + R_A} = \frac{V}{R_x \left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}$$

$$V_x = V_o \cdot \frac{R_V}{R_V + R_o} = \left(\frac{VR_x}{\rho + R_x} \right) \left(\frac{R_V}{R_V + \rho // R_x} \right) = \dots$$

Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

$$I_x = \frac{V_o}{R_o + R_A} = \frac{V}{\rho + R_x + R_A} = \frac{V}{R_x \left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}$$

$$V_x = \left(\frac{VR_x}{\rho + R_x} \right) \left(\frac{R_V}{R_V + \rho // R_x} \right) = \dots$$

$$\frac{V_x}{I_x} = \frac{R_x \left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}{\left(\frac{R_x}{\rho + R_x} \right) \left(\frac{R_V}{R_V + \rho // R_x} \right)} = R_x \frac{\left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}{\left(1 + \frac{\rho}{R_x} \right) \left(1 + \frac{\rho}{R_V + \rho // R_x} \right)}$$

Quindi all' ordine 0: $R_x^{(0)} = \frac{V_x}{I_x}$

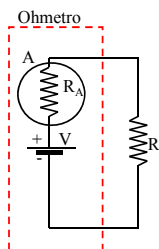
Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

$$\frac{V_x}{I_x} = \frac{R_x \left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}{\left(\frac{R_x}{\rho + R_x} \right) \left(\frac{R_V}{R_V + \rho // R_x} \right)} = R_x \frac{\left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}{\left(1 + \frac{\rho}{R_x} \right) \left(1 + \frac{\rho}{R_V + \rho // R_x} \right)}$$

Quindi all' ordine 0: $R_x^{(0)} = \frac{V_x}{I_x}$

E all' ordine 1: $R_x^{(1)} = R_x^{(0)} \frac{\left(1 + \frac{\rho}{R_x^{(0)}} \right)^{-1} \left(1 + \frac{\rho}{R_V + \rho // R_x^{(0)}} \right)}{\left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x^{(0)}} \right)}$

Misure di Resistenza: Ohmmetro



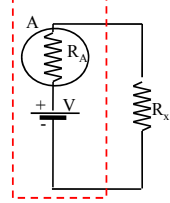
$$I = \frac{V}{R_A + R_x} \Rightarrow R_x = \frac{V}{I} - R_A$$

- E' uno strumento tarato con cui si eseguono misure di resistenza in modo semplice e rapido, anche se con sensibilita' e precisione modeste.
- E' costituito da una batteria con in serie un milliamperometro. Si misura la corrente che circola quando il circuito e' chiuso sulla resistenza incognita.
- La scala e' graduata in modo che ci si legga direttamente la resistenza Rx
- E' una scala fortemente non lineare.

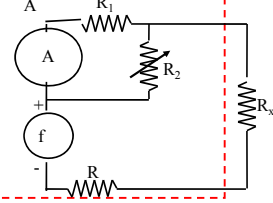
Misure di Resistenza: Ohmmetro

- Questo circuito non consente di variare la sensibilità dello strumento né di compensare variazioni di tensione della batteria.
 - R =resistenza che permette di variare la portata; f =f.e.m. batteria
 - R_1 =resistenza interna amperometro
 - R_2 =resistenza addizionale di shunt, variabile ($>>R_A$) per compensare la scarica della batteria

Ohmetro di base



Ohmetro reale



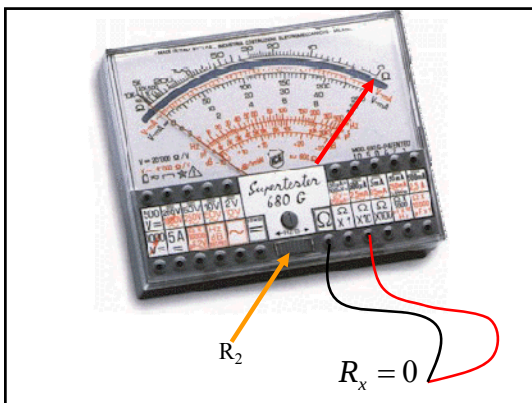
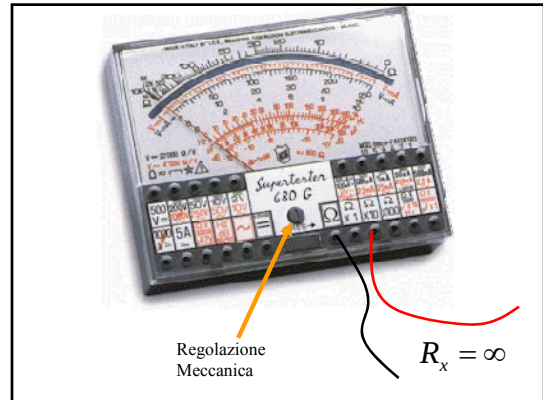
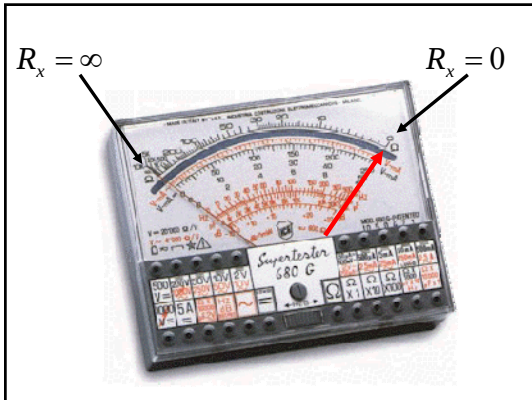
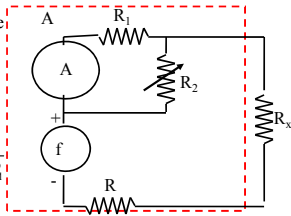
Misure di Resistenza: Ohmmetro

- La corrente I che passa nell'amperometro vale

$$I_A = I \frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{f}{R + R_x + \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1}} = \frac{f}{(R + R_x)(1 + R_1 / R_2) + R_1}$$

- Quindi l'andamento di $I_A(R_x)$ è iperbolico inverso: la corrente aumenta al diminuire della resistenza incognita.
- Si fissano f, R, R_1, R_2 in modo che $I(R_x = 0) = I_{FS}$.

$$I_A(R_x = 0) = I_{FS} = \frac{f}{R(1 + R_1 / R_2) + R_1}$$



Misure di Resistenza: Ohmmetro

- La natura non lineare dello strumento rende molto imprecisa la misura per R_x grande. Da:

$$I_A = \frac{f}{(R + R_x)(1 + R_1 / R_2) + R_1} \quad \text{usando} \quad I_{FS} = \frac{f}{R(1 + R_1 / R_2) + R_1}$$

si può ricavare R_x in funzione di I_A e poi differenziare rispetto a I_A : si ottiene:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\frac{\Delta I_A}{I_A}}{1 - \frac{I_A}{I_{FS}}} \rightarrow \infty \quad \text{se} \quad I_A \rightarrow 0 \quad \text{e} \quad \text{se} \quad I_A \rightarrow I_{FS}$$

- Si conclude che l'errore relativo diverge ai due estremi della scala. Si deve quindi scegliere sempre un fondo scala che porti l'indice entro $\pm 30\%$ della metà della scala.