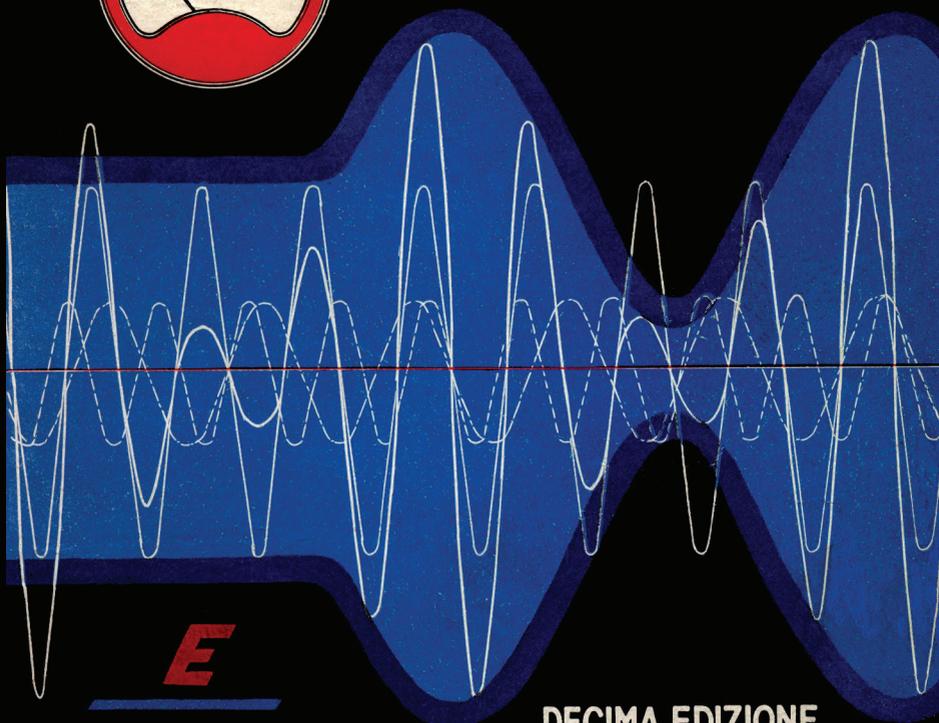
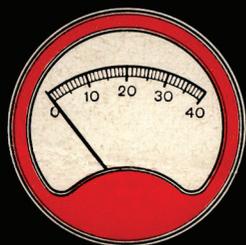


D. E. RAVALICO

STRUMENTI PER RADIOTECNICI

SERVIZIO RADIOTECNICO
VOLUME PRIMO



E

I x R

DECIMA EDIZIONE
RINNOVATA ED AMPLIATA

SERVIZIO RADIOTECNICO

VOLUME PRIMO

STRUMENTI PER RADIOTECNICI

RISTAMPA ANASTATICA DA ORIGINALE

Progetto di pre stampa a cura dello studio editoriale
xedizioni.it per conto de “Le Radio di Sophie”

“Le Radio di Sophie” è *disponibile ad assolvere i propri impegni nei confronti dei titolari di eventuali diritti sui testi pubblicati*

© 2017 leradiodisophie.it

D. E. RAVALICO

SERVIZIO RADIOTECNICO

V O L U M E P R I M O

STRUMENTI

PER

RADIOTECNICI

VERIFICHE E MISURE PER LA MESSA A PUNTO
E RIPARAZIONE DEGLI APPARECCHI RADIO

MISURE DI TENSIONE, DI CORRENTE, DI RESISTENZA, DI
CAPACITÀ, DI INDUTTANZA, DI IMPEDENZA, DI FRE-
QUENZA, DI LUNGHEZZA D'ONDA, DI POTENZA E DI LI-
VELLO SONORO - DATI COSTRUTTIVI E SCHEMI DI VOLT-
METRI, DI MULTIMETRI, DI ANALIZZATORI, DI CAPACI-
METRI, DI FREQUENZIOMETRI, DI ONDAMETRI, DI OSCIL-
LATORI MODULATI, DI CERCATORI DI SEGNALE, ECC.

DECIMA EDIZIONE RINNOVATA ED AMPLIATA

257 fig. di cui 120 schemi
di strumenti di misura e
di collaudo per il servizio
radiotecnico

EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

1955

INDICE DEI CAPITOLI

CAPITOLO PRIMO

MISURE DI TENSIONE E DI CORRENTE

L'AMPEROMETRO, IL MILLIAMPEROMETRO E IL VOLTMETRO

	Pag.
Strumenti e unità di misura	1
Fondo scala	2
Sensibilità	3
Esattezza	3
Il voltmetro	3
Legge di Ohm	3
Portata voltmetrica	5
Resistenza Interna del voltmetro	6
Ohm per volt	6
Come possono risultare falsate le misure di tensione Quando è utile il voltmetro ad elevatissima resistenza interna	9 10
Classi di precisione	12
Come si trova la resistenza interna del voltmetro	13
Portate multiple	14
Come si estende la portata del voltmetro	17
Strumenti per misure di tensione e corrente	20
Esempio di voltmilliamperometro a morsetti	24
Calcolo dei resistori derivati	27
Calcolo dei resistori per un voltmilliamperometro	28

INDICE DEI CAPITOLI

CAPITOLO SECONDO

MISURE DI RESISTENZA

I°

L'OHMMETRO

	Pag.
Misure di resistenza	31
L'ohmmetro.	36
Messa a zero dell'ohmmetro	38
Principio dell'ohmmetro a due portate	41
Principio dell'ohmmetro per resistenze di basso valore	43
Esempi di ohmmetri a due portate	44
Secondo esempio di ohmmetro a due portate	45
Altri esempi di ohmmetri	47
Weston mod. 654	47
Ohmmetro di facile costruzione	49
Esempio di ohmmetro per radoriparatori	52
Esempio di ohmmetro alimentato in alternata	56

II°

IL PONTE DI WEATSTONE

Principio del Ponte	57
Ponti a rapporto variabile	61
Esempi di ponti di misura a filo	63
Semplici indicatori di zero	67

CAPITOLO TERZO

STRUMENTI MULTIPLI PER MISURE DI TENSIONE, CORRENTE E RESISTENZA

Semplice strumento per prove di continuità e misure di tensioni e correnti	68
Multimetro di facile costruzione	69
Strumento multiplo per dilettanti e riparatori	71

INDICE DEI CAPITOLI

	Pag.
Strumento multiplo senza inseritore	73
Multimetro ad interruttori	75
Volt-ohmmetro per dilettanti e riparatori	78
Semplice ohmmetro per misure di resistenze di basso valore	82
Praticissimo strumento multiplo per radiotecnici ri- paratori	83
Un tester tascabile	86
Un checker per radioriparatori	89

CAPITOLO QUARTO

STRUMENTI PER MISURE A CORRENTE CONTINUA E ALTERNATA

I°

MISURA DELLE TENSIONI E DELLE CORRENTI ALTERNATE

Voltmetri per corrente alternata	92
Raddrizzatori ad ossido	92
Strumenti con raddrizzatore	94
Resistenze addizionali	96
Volt-milliamperometro per corrente continua e al- ternata	98
Voltmetro con valvola rettificatrice	100

II°

MULTIMETRI ED ANALIZZATORI UNIVERSALI

Multimetro per corrente continua e alternata	101
Ohmmetro-voltmetro-milliamperometro per corrente continua e alternata	104
Analizzatore universale Weston mod. 772	106
Analizzatore universale Chinaglia mod. PT-3	109
Multimetro per CC-CA con microamperometro	111
Tre esempi di realizzazione pratica di strumento ana- lizzatore	113

INDICE DE CAPITOLI

	Pag.
Portate voltmetriche	116
Portate ohmmetriche	119
Analizzatori universali LAEL mod. 450 e 542 . . .	120

CAPITOLO QUINTO

MISURA DELLE CAPACITÀ

IL CAPACIMETRO

Tipi di capacimetri	124
Prova dei condensatori	124

IL CAPACIMETRO A REATTANZA

Reattanza capacitativa	127
Tipi di capacimetri a reattanza	127
Capacimetri a reattanza a misura di corrente . . .	128
Capacimetri a reattanza a misura di tensione . . .	130
Capacimetri per condensatori elettrolitici	133

IL CAPACIMETRO A PONTE

Principio del capacimetro a ponte	137
Tipi di capacimetri a ponte	140
Scala dei rapporti	141
Capacimetri a ponte a più portate	144
Estremi della scala	146
Perdite del condensatore in esame	146
Fattore di potenza	148
Capacimetro a ponte con indicatore elettronico di equilibrio	149
Capacimetro a ponte con oscillatore a bassa frequenza	151
Capacimetro a ponte con amplificatore e indicatore di equilibrio	153

INDICE DEI CAPITOLI

	Pag.
Strumento a ponte per la misura di resistenze e condensatori	156
Ponte RC con scala a graduazione lineare	161
Ponte di misura per resistenze e condensatori compresi gli elettrolitici	169
Ponte di misura per condensatori elettrolitici	170
Circuito per la verifica della dispersione	170
Misura delle capacità elevate	172
Costruzione e messa a punto	172

CAPITOLO SESTO

L'OSCILLATORE MODULATO

Caratteristiche generali	174
Tipi di oscillatori modulati	176
Elementi dell'oscillatore modulato	176
Principio dell'oscillatore ad alta frequenza	178
Accoppiamento reattivo Hartley	179
Accoppiamento reattivo Meissner	180
Accoppiamento reattivo Colpitts	181
Oscillatore ad uscita indipendente	182
L'oscillatore ad audiofrequenza	182
Schemi di principio	183
La modulazione	186
L'oscillatore ad automodulazione	188
Produzione d'armoniche	190
L'attenuazione del segnale	191

ESEMPI COSTRUTTIVI

Oscillatore modulato di tipo portatile	196
Taratura	197
Bobine	197
Oscillatore modulato con 6BE6 oscillatrice ad alta e bassa frequenza	198

INDICE DEI CAPITOLI

	Pag.
Oscillatore modulato con valvola triodo-esodo a cinque gamme di frequenza	202
Oscillatore modulato a tre gamme d'onda e generatore BF separato	206
Esempio di oscillatore a tre gamme d'onda . . .	209
Generatore di segnali a sei gamme d'onda con generatore BF a doppio triodo	212
Stadio oscillatore e amplificatore AF	212
Oscillatore a bassa frequenza	214
Attenuatore	214
Regolatore della percentuale di modulazione . . .	214
Commutatore AF-BF	216
Alimentatore stabilizzato	216
Bobine	216
Costruzione e taratura	216
Oscillatore modulato con doppio triodo	218
Piccolo generatore di armoniche	221
Taratura dell'oscillatore	225

ESEMPI DI OSCILLATORI MODULATI DI PRODUZIONE COMMERCIALE

Oscillatore modulato MIAL mod. 540 A	228
Oscillatore modulato C.G.E. mod. 906	230
Oscillatore Allocchio Bacchini e Co. mod. 1633 .	230
Oscillatore modulato LAEL mod. 145	234
Generatore di segnali LAEL mod. 748	236
Generatore di segnali Philips mod. GM 2883/02 .	239

CAPITOLO SETTIMO

IL CERCATORE DI SEGNALE

Caratteristiche generali	241
Piccolo indicatore di segnale	242
Cercatore di segnale ad indicazione ottica ed acustica	243
Esempio pratico di tracer	245
Un tracer portatile	248

INDICE DEI CAPITOLI

	Pag.
Un tracer con milliamperometro	249
Tracer con probe a valvola	251
Tracer con voltmetro a valvola e amplificatore audio	255
Cercatore di segnali Philips mod. GM 7628	259

CAPITOLO OTTAVO

IL MISURATORE D'USCITA

Indicatori e misuratori d'uscita	261
Misura della tensione di uscita con voltmetro CA	262
Esempio di semplice indicatore di uscita	264
Indicatore d'uscita al neon	265
Principio del misuratore di uscita a impedenza costante	266
Calcolo di un misuratore di uscita a impedenza costante	268
Misuratori di uscita con microamperometro	273
Misuratore d'uscita di produzione commerciale	277
Graduazione della scala in watt	278
Misure di potenza in decibel	279
Portate in decibel	282
Il misuratore di livello	284
Strumento per misure di tensione e di livello	288

CAPITOLO NONO

IL VOLTMETRO A VALVOLA

Principio basilare	290
Utilità del voltmetro a valvola	290
Tipi di voltmetri a valvola	294
Calibrazione del voltmetro a valvola	294
Il voltmetro a valvola semplice	295
Voltmetro a valvola rivelatrice	295
Voltmetro a valvola amplificatrice	297

INDICE DEI CAPITOLI

	Pag.
Principio del voltmetro a valvola a ponte	298
Principio del voltmetro a valvola a ponte con doppio triodo	300
Voltmetro a valvola con due triodi in parallelo	302
Voltmetro a valvola a ponte a due valvole separate	303
Rivelatori a diodo per voltmetri a valvola	305
Rivelatore con diodo a vuoto	305
Tensione di contatto	306
Rivelatore a cristallo di germanio	307
Determinazione delle resistenze del partitore e del ponte di un voltmetro a valvola	307

ATTUAZIONE PRATICA DI VOLTMETRI A VALVOLA

Voltmetro a valvola di tipo semplice per misure di tensioni continue e alternative	310
Taratura	312
Voltmetro a valvola per tensioni continue e alternative con portate sino a 5, 15 e 50 volt	315
Caratteristiche principali	316
Voltmetro a valvola di tipo a ponte per tensioni continue e alternate	321
Messa a zero	323
Calibrazione del voltmetro a valvola	323
Esempio di voltmetro a valvola a ponte con doppio triodo	324
Taratura dello strumento	327
Voltmetro a valvola a ponte a due valvole, Philips mod. GM6004	328

CAPITOLO DECIMO

MISURA DI FREQUENZA E DI LUNGHEZZA D'ONDA

L'ondametro	331
Ondametro ad assorbimento	331
Formula della frequenza	333

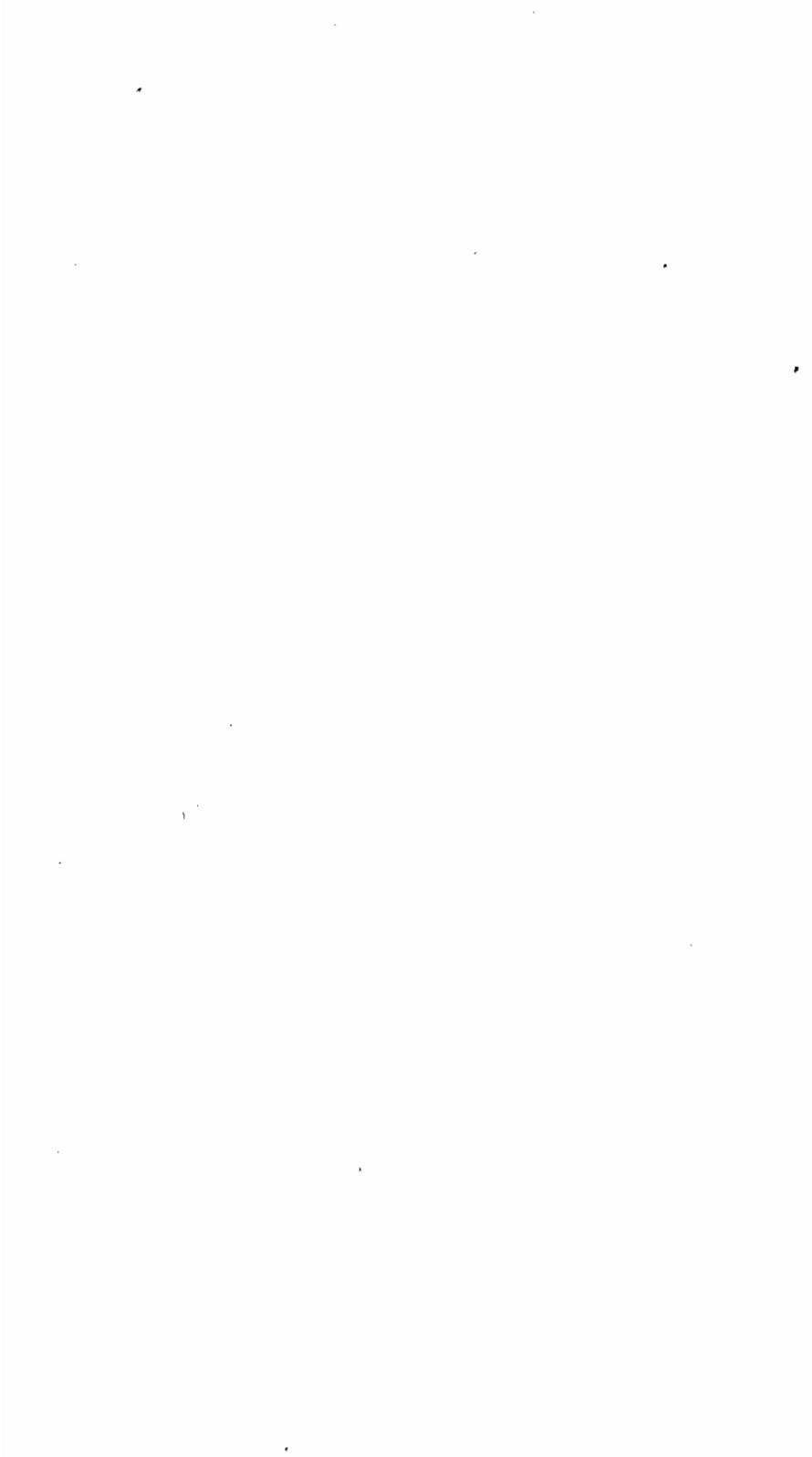
INDICE DEI CAPITOLI

	Pag.
Formula della lunghezza d'onda	333
Formula della conversione	334
Scala dell'ondametro	334
Estensione delle gamme di frequenza	334
Ondametri ad assorbimento con rivelatore a cristallo	334
Ondametro eterodina. Il grid dip meter	338
Misure di frequenza con il grid dip meter	339
Misura di frequenza ad assorbimento	339
Misura di frequenza a battimenti	339
Misure di piccole capacità con il grid dip meter	340
Esempio di ondametro eterodina a dip di griglia	340
Semplice ondametro eterodina con occhio magico.	342
Ondametro eterodina a dip di placca	343
Dati costruttivi per le bobine	346

CAPITOLO UNDICESIMO

MISURA DI INDUTTANZA E DEL FATTORE DI MERITO DELLE BOBINE

Induttanza, reattanza induttiva e impedenza	347
Misura d'induttanza delle bobine a nucleo di ferro	347
Misura di piccole induttanze con il grid dip meter	349
Misura di induttanza delle bobine AF con oscillatore modulato e voltmetro a valvola	351
Misura dell'induttanza con l'oscillatore modulato e il cercatore di segnali	352
Fattore di merito delle bobine	352
Fattore di merito delle bobine BF	353
Misuratore del fattore di merito delle bobine AF	353
Strumento per la misura del fattore di merito	354
Principio del ponte di induttanza	359
Esempio pratico di induttanzimetro a ponte	364
Ponte per la misura di capacità, resistenza ed in- duttanza Philips GM 4144	367
INDICE ALFABETICO	371



CAPITOLO PRIMO

MISURE DI TENSIONE E DI CORRENTE

I L'AMPEROMETRO, IL MILLIAMPEROMETRO E IL VOLTMETRO

Strumenti e unità di misura.

L'INTENSITÀ DI CORRENTE viene rappresentata con la lettera I che ne costituisce il simbolo. Si misura con un apposito strumento, l'*amperometro*, e si adopera per unità di misura l'*ampere* (A). Sono in uso due sottomultipli: il millesimo di A, ossia il *milliampere* (mA) e il milionesimo di A, ossia il *microampere* (μ A). A questi due sottomultipli corrispondono due strumenti di misura — il *milliamperometro* e il *microamperometro*.

IL POTENZIALE ELETTRICO ossia, con termine corrente, la *tensione*, ha per simbolo la lettera E . Si misura con il *voltmetro* e si adopera quale unità di misura, per convenzione internazionale, il *volt* (V). Sono in uso: il multiplo corrispondente a 1000 V — il *chilovolt* (kV) ed i sottomultipli *millivolt* (mV) millesimo di V, e *microvolt* (μ V) milionesimo di V.

L'amperometro può venir realizzato sfruttando uno degli effetti della corrente elettrica; in radiotecnica sono però usati soltanto *amperometri ad effetto magnetico* per corrente continua o corrente alternata. Gli amperometri ad effetto magnetico possiedono una piccola bobina di filo conduttore, nella quale fluisce la corrente da misurare. Esistono due categorie di amperometri di questo tipo. La bobina può essere

fissa e attirare nel suo interno un nucleo di ferro; in tal caso lo strumento è detto a *ferro mobile*; ha scarsa sensibilità, per cui nei laboratori radiotecnici viene utilizzato solo per la misura di corrente alternata di alimentazione, per la quale è bene adatto.

La bobina può essere mobile tra le espansioni polari di un magnete permanente; in tal caso è leggerissima e provvista di due molle a spirulina, il cui compito è di fornire la coppia antagonista e di far pervenire la corrente alla bobina. Strumenti di questo tipo sono detti a *bobina mobile*, possono essere di elevata sensibilità, ma sono adatti solo per corrente continua. L'indice è solidale con la bobina e ne indica lo spostamento sopra una scala graduata, in corrente, in quanto lo spostamento angolare della bobina è proporzionale alla intensità di corrente che fluisce in essa.

La bobina mobile degli amperometri è costituita da poche spire di filo grosso, a seconda dell'intensità massima prevista. La bobina dei milliamperometri e dei microamperometri è invece formato da molte spire di filo sottilissimo.

Una variante costruttiva è costituita da strumenti di elevatissima sensibilità, i *galvanometri*, la cui utilizzazione è limitata ai laboratori di ricerca. I tipi più noti sono quello a *riflessione* nel quale la bobina è sostenuta da un cappio teso portante un minuscolo e leggerissimo specchietto, che devia un raggio di luce; e quello a *corda*, nel quale gli spostamenti di un filo teso vengono osservati con un microscopio.

Tutti gli strumenti per la misura dell'intensità di corrente vanno sempre collegati IN SERIE con il circuito. Se, per es., esso è costituito da una batteria di pile e da un resistore, fig. 1.1, lo strumento va collegato tra il resistore e la batteria.

FONDO SCALA. — Con il termine *fondo scala* (abbrev. f. s.) si intende la massima lettura consentita dallo strumento; il fondo scala è raggiunto quando l'indice è arrivato all'ultima indicazione della scala graduata sul quadrante dello strumento.

Ad es., con un milliamperometro della portata di 10 mA f. s. il fondo scala è raggiunto quando l'indice segna 10 mA;

in tal caso la scala è graduata da 1 a 10 mA, ed è possibile la lettura da 0,1 mA a 10 mA. Qualora lo strumento venga percorso da corrente superiore ai 10 mA, l'indice va *oltre fondo scala*, ossia giunge più o meno bruscamente al punto estremo di arresto.

SENSIBILITÀ. — Con il termine *sensibilità dello strumento* s'intende la portata massima dello strumento stesso, ossia la massima intensità di corrente misurabile; nell'esempio precedente tale intensità massima è appunto di 10 mA.

Uno strumento con portata massima di 50 microampere è di elevatissima sensibilità. Nella pratica radiotecnica non sono generalmente usati strumenti di sensibilità maggiore.

Uno strumento con portata massima di 1 mA è di sensibilità media; uno strumento con tale sensibilità è largamente impiegato. Infine, uno strumento con portata massima di 10 ampere è di bassissima sensibilità.

ESATTEZZA. — La sensibilità è un'indice dell'esattezza dello strumento; i due termini non sono però equivalenti, in quanto uno strumento può essere molto sensibile ma poco esatto. L'esattezza di uno strumento dipende dalle sue caratteristiche costruttive. Strumenti di alta sensibilità e di grande esattezza sono molto costosi.

Il voltmetro.

Per la misura di tensioni elettriche si adopera il *voltmetro*, il quale consiste in uno strumento per la misura di corrente; può essere un microamperometro, un milliamperometro o un amperometro, con una adeguata resistenza in serie.

Il voltmetro va sempre collegato in PARALLELO al circuito, come indicato in fig. 1.1. In tale figura, la corrente fornita da alcune pile percorre una resistenza (ad es. di una lampadina). La corrente è misurata da un milliamperometro posto in SERIE; la tensione è misurata da un voltmetro posto in PARALLELO.

LEGGE DI OHM. — Il voltmetro funziona in base alla legge di Ohm, la quale si può enunciare nel modo seguente:

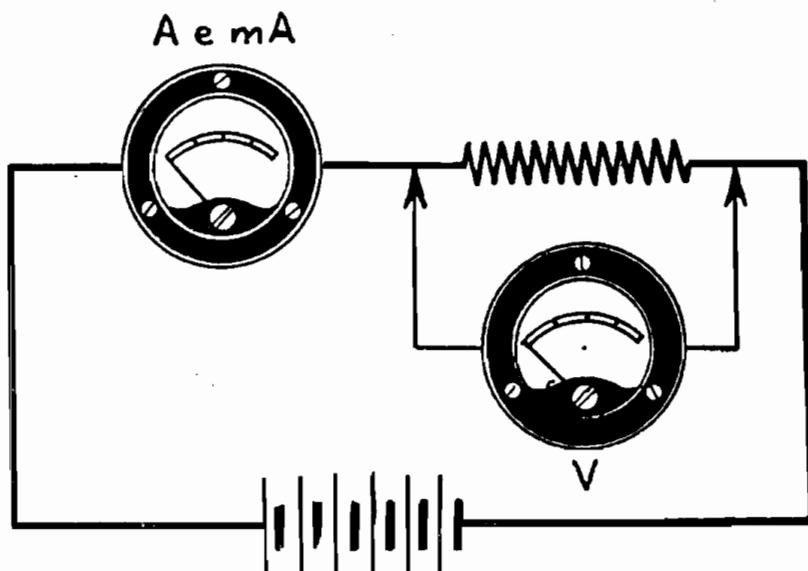


Fig. 1.1. - Come si adopera il voltmetro (V) e come si usa l'amperometro (A) o il milliamperometro (mA).

La tensione elettrica in volt è eguale alla intensità di corrente in ampere che percorre una resistenza, moltiplicato il valore della stessa in ohm. Qualora l'intensità di corrente venga indicata in milliampere il prodotto intensità per resistenza va diviso per mille.

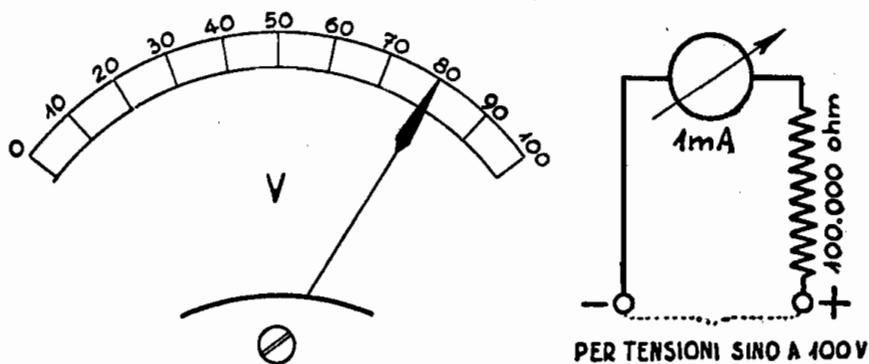


Fig. 1.2. - Il milliamperometro con una resistenza in serie consente la misura di tensioni elettriche.

Se, ad es., come in fig. 1.2, un milliamperometro della portata di 1 mA, indica il passaggio di una corrente di 0,8 mA, ed è in serie con una resistenza di 100 000 ohm, la tensione elettrica è data da:

$$\begin{aligned} \text{Tensione elettrica in V} &= \frac{\text{Corrente in mA} \times \text{Resistenza in } \Omega}{1000} = \\ &= \frac{0,8 \text{ mA} \times 100\,000 \text{ } \Omega}{1000} = 80 \text{ volt.} \end{aligned}$$

Il milliamperometro da 1 mA f. s. con in serie una resistenza di 100 000 ohm forma un voltmetro della portata di 100 volt fondo scala. Con esso si possono misurare tensioni da qualche volt a 100 volt.

Lo stesso voltmetro può venir realizzato anche utilizzando un microamperometro della portata di 50 microampere, in tal caso però la resistenza in serie deve essere di valore più elevato, e precisamente di:

$$\begin{aligned} \text{Resistenza in } \Omega &= \frac{\text{Tensione in V}}{\text{Corrente in } \mu\text{A}} \times 1\,000\,000 = \\ &= \frac{100 \text{ V}}{50 \text{ } \mu\text{A}} \times 1\,000\,000 = 2\,000\,000 \text{ ohm.} \end{aligned}$$

Lo stesso voltmetro, con portata di 100 volt f. s. può venir realizzato anche con un amperometro da 1 A, collegando in serie ad esso una resistenza di valore adeguato. Il valore di tale resistenza risulta da:

$$\begin{aligned} \text{Resistenza in ohm} &= \frac{\text{Tensione in volt}}{\text{Corrente in ampere}} = \\ &= \frac{100 \text{ volt}}{1 \text{ ampere}} = 100 \text{ ohm.} \end{aligned}$$

PORTATA VOLTMETRICA. — Con tale termine si intende la massima portata consentita dal voltmetro. Le portate volt-

metriche più in uso sono le seguenti: 5 V, 50 V, 250 V, 500 V e 1000 V.

Nei tre esempi precedentemente fatti la portata era di 100 volt.

Supponendo di voler utilizzare un milliamperometro da 1 mA per la misura di tensioni sino a 5 volt, la resistenza in serie dovrà essere di:

$$\text{Resistenza in ohm} = \frac{5 \text{ V}}{1 \text{ mA}} \times 1000 = 5000 \text{ ohm};$$

anzichè 100 000 dell'esempio precedente.

Le basse portate voltmetriche, ad es. quella di 5 V, sono utili per misure di frazioni di volt o qualche volt, non essendo tali tensioni apprezzabili con voltmetri a portata elevata.

Per letture precise non basta che la portata dello strumento sia adeguata alla tensione da misurare, ma è anche necessario che la sua scala graduata sia molto estesa, ossia che il quadrante sia sufficientemente ampio.

RESISTENZA INTERNA DEL VOLTMETRO. — Con il termine resistenza interna del voltmetro si intende il valore della resistenza posta in serie allo strumento. Nel caso ad es. di un voltmetro della portata di 100 volt f. s. realizzato con un milliamperometro da 1 mA ed una resistenza in serie di 100 000 ohm, la sua resistenza interna è di 100 000 ohm. Qualora la portata del voltmetro fosse molto bassa, occorre tener conto anche della resistenza della bobina, in tal caso per resistenza interna si intende la resistenza complessiva, ossia quella della bobina più quella della resistenza in serie. Se ad es. il voltmetro fosse della portata di 5 volt, e fosse utilizzato un milliamperometro da 1 mA, la resistenza complessiva dovrebbe essere di 5000 ohm; supponendo che la resistenza della bobina sia di 100 ohm, quella in serie dovrebbe essere di 4900 ohm. La resistenza interna di tale strumento sarebbe di 5000 ohm.

OHM PER VOLT. — I voltmetri vengono distinti dalla indicazione della resistenza per ciascun volt misurabile; tale

indicazione è detta ohm per volt. Nel caso ad es. di un voltmetro della portata di 5 volt realizzato con un milliamperometro da 1 mA, con resistenza interna di 5000 ohm, l'indicazione in ohm per volt è data dalla resistenza interna in ohm diviso per la portata in volt, ossia: $5000 : 5 = 1000$ ohm per volt. Qualora si voglia conoscere la sensibilità di un dato voltmetro basta dividere uno per la resistenza indicata. Se, ad es., il valore ohm per volt è di 1000, la sensibilità dello strumento risulta di: $1 : 1000 = 0,001 \text{ A} = 1 \text{ mA}$ (come in fig. 1.3).

Tutti i voltmetri, qualunque sia la loro portata, realizzati con un milliamperometro da 1 mA f. s. sono del tipo da 1000 ohm per volt. Tutti i voltmetri, qualunque sia la loro portata, realizzati con un microamperometro da 100 μA sono del tipo da 10 000 ohm per volt. Infine, tutti i voltmetri realizzati con microamperometri da 50 μA sono del tipo da 20 000 ohm per volt.

All'opposto, tutti i voltmetri con milliamperometro da 100 mA sono del tipo da 10 ohm per volt.

Per alcune misure sono indispensabili voltmetri ad elevata resistenza interna, ossia di migliaia di ohm per volt; per altre misure sono invece adatti anche voltmetri a bassa resistenza interna di decine o centinaia di ohm per volt.

Strumento indicatore	Portata del voltmetro	Valore del resistore	Resistenza per volt
Microamper, 100 μA	10 V	100 000	10 000
Microamper. 500 μA	10 V	20 000	2 000
Milliamper. 1 mA	100 V	100 000	1 000
Milliamper. 1 mA	500 V	500 000	1 000
Milliamper. 5 mA	500 V	100 000	200
Milliamper. 10 mA	500 V	5 000	100
Amperometro 1 A	500 V	500	1

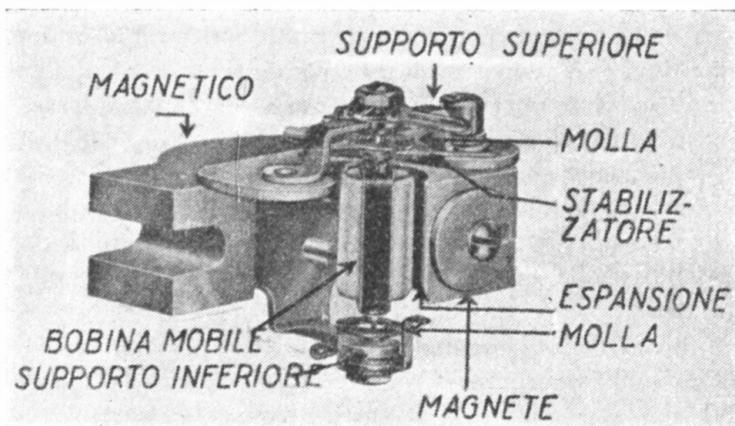


Fig. 1.2 bis. — Equipaggio di uno strumento di misura a bobina mobile.

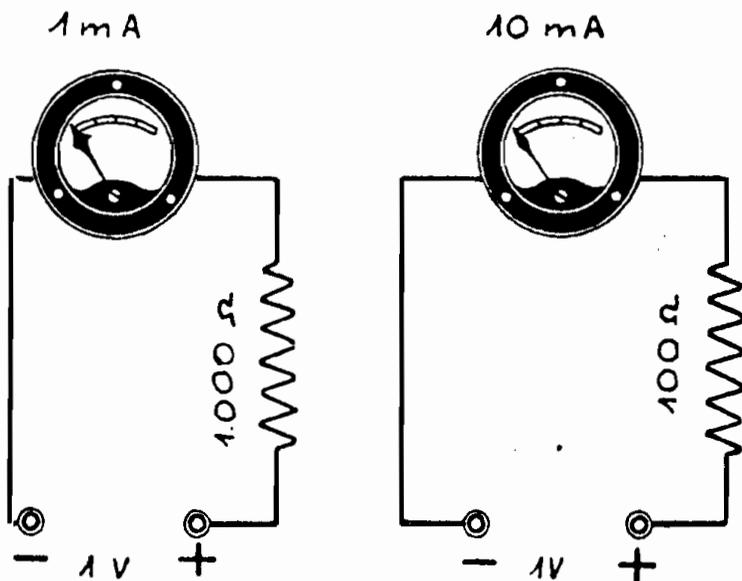


Fig. 1.3. — Il valore «ohm per volt» è determinato dal valore della resistenza in serie necessario per ottenere la misura di 1 volt.

Come possono risultare falsate le misure di tensione.

Il fatto che nei voltmetri vi è un resistore in serie alla bobina può determinare forti errori nelle letture.

La fig. 1.4 indica due resistori di 10 000 ohm ciascuno, posti in serie, ed ai quali è applicata la tensione di 300 V. Ai capi di ciascun resistore vi è la tensione di 150 V. Si supponga di disporre di un voltmetro del tipo a 100 ohm per volt, della portata di 150 V. Se lo si utilizza per misurare la tensione ai capi di un resistore si ottiene l'indicazione di 112,5 V ossia una lettura assai lontana dal vero.

Ciò avviene poichè la resistenza interna del voltmetro è di 15 000 ohm, ed essa viene posta in parallelo al resistore di 10 000 ohm, ciò che altera completamente tutto il circuito. Il valore di 10 000 ohm scende a 6 000 ohm poichè:

$$\frac{15\,000 \times 10\,000}{15\,000 + 10\,000} = \frac{150\,000\,000}{25\,000} = 6\,000 \text{ ohm.}$$

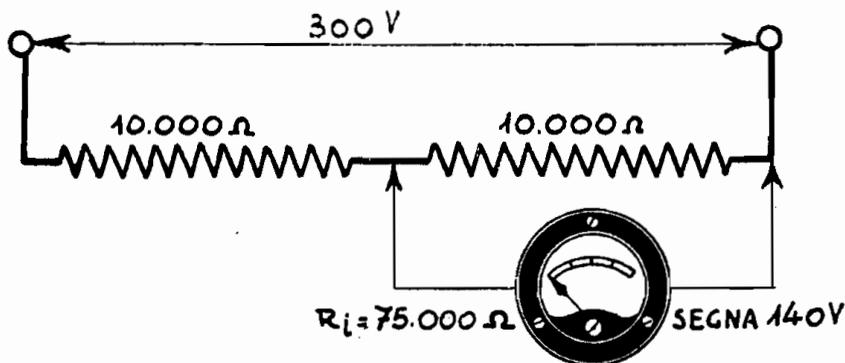


Fig. 1.4. - Con un voltmetro a resistenza interna più elevata si ottiene una misura più precisa.

La resistenza complessiva del circuito è, per la presenza del voltmetro, di 16 000 ohm e l'intensità di corrente è di 300 volt: 16 000 ohm = 0,01875 ampere. Ai capi della resi-

stenza *equivalente* di 6 000 ohm (ossia di uno dei resistori più il voltmetro) è presente la tensione di $0,01875 \times 60\,000 = 112,5$ volt.

Se si fosse usato un voltmetro dello stesso tipo, da 100 ohm per volt, ma con portata maggiore, la lettura sarebbe risultata meno falsa. Infatti, se fosse stata usata la portata di 1000 V, sulla scala da 0 a 1000 V l'indicazione sarebbe stata di 142,5 volt, quindi già molto più vicina al vero. Però su scala così ampia la lettura sarebbe risultata più incerta, data la minore deviazione dell'indice.

Si supponga di disporre di un voltmetro del tipo da 500 ohm per volt, portata 150 volt, come in figura. In tal caso la resistenza interna dello strumento è di 75 000 ohm, e la lettura che esso può fornire è di 140 volt circa.

Infine, se la stessa misura viene effettuata con un voltmetro del tipo da 1000 ohm per volt, portata 150 V, resistenza interna 150 000 ohm, la lettura può considerarsi esatta, poichè indica una tensione solo leggermente inferiore ai 150 volt esistenti.

Quando è utile il voltmetro ad elevatissima resistenza interna.

Il voltmetro ad elevatissima resistenza interna, di 10 000 o 20 000 ohm per volt, è necessario quando si tratti di effettuare misure di tensione ai capi di resistori di valore

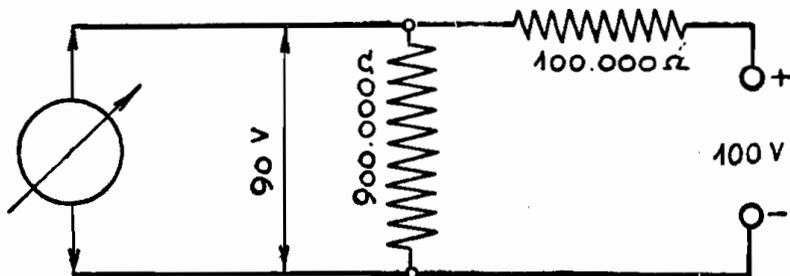


Fig. 1.5. — Ai capi della resistenza di 900 000 ohm sono applicati 90 V. Per misurare tale tensione è opportuno usare un voltmetro con portata sino a 1000 volt ad alta resistenza interna.

assai elevato, per misure di tensione di griglia controllo e spesso anche per quelle di griglia schermo.

La fig. 1.5 indica un esempio. La tensione di 100 volt è applicata a due resistori, uno del valore di 900 000 ohm e l'altro di 100 000 ohm. Si può facilmente calcolare la tensione ai capi del resistore di 900 000 ohm:

$$1) \text{ Resistenza complessiva} = 900\,000 + 100\,000 = \\ = 1 \text{ milione di ohm.}$$

$$2) \text{ Intensità di corrente} = 100 \text{ V} : 1\,000\,000 \, \Omega = \\ = 0,0001 \text{ A.}$$

3) Tensione ai capi dei resistori:

$$0,0001 \times 100\,000 = 10 \text{ volt}$$

$$0,0001 \times 900\,000 = 90 \text{ volt.}$$

Se si effettua la misura di tensione ai capi del resistore di 900 000 ohm con un voltmetro da 1000 ohm per volt, portata 100 volt, si ottiene l'indicazione di 47,4 volt invece di 90 volt.

La resistenza interna dello strumento è di 100 000 ohm; ma in parallelo a quella di 900 000 ohm si riduce a:

$$\frac{900\,000 \times 100\,000}{900\,000 + 100\,000} = \frac{90\,000\,000\,000}{1\,000\,000} = 90\,000 \text{ ohm.}$$

In seguito a ciò l'intensità della corrente nel circuito è di 0,000526 A, per cui ai capi del resistore di 900 000 ohm risulta presente la tensione di $0,000526 \times 90\,000 = 47,4 \text{ V}$ circa. La lettura risulta completamente falsata.

Per evitare un errore così enorme è necessario usare una portata maggiore, per es. quella di 1000 volt, oppure adoperare uno strumento di elevatissimo valore ohm per volt, per es. uno da 20 000 ohm per volt, portata 100 volt, costituito da un microamperometro da 50 μA , con un resistore in serie di 2 000 000 di ohm. Si tratta di strumento assai delicato e costoso, poco adatto per lavoro pesante. Però anche con uno strumento simile la lettura non sarebbe stata esatta, poichè lo strumento avrebbe indicato 87 volt

circa al posto dei 90 volt esistenti. Usando la portata di 500 volt dello stesso strumento, l'indicazione sarebbe stata praticamente esatta.

Classi di precisione.

Nella tecnica delle correnti forti sono in uso normale voltmetri da 100 ohm per volt; in quella delle correnti deboli invece sono normali i voltmetri da 1000 ohm per volt. Il valore ohm per volt indica l'impiego dello strumento ma non indica la classe di precisione alla quale appartiene. Un voltmetro da 100 ohm per volt può indicare 140 V invece dei 200 V esistenti, ed essere nello stesso tempo di elevatissima precisione, mentre un voltmetro da 1000 ohm per volt può indicare 195 V al posto dei 200 V effettivi, ed essere di scarsa precisione.

Le classi di precisione sono sei, si riferiscono alla costruzione dello strumento; sono vevoli tanto per gli amperometri, milliamperometri e microamperometri quanto per i voltmetri. Sono le seguenti:

CLASSE 0,1. — Percentuale d'errore $\pm 0,1\%$. Strumenti campione; lunghezza della scala graduata oltre i 200 mm; divisione della scala, oltre 500 parti.

CLASSE 0,2. — Percentuale d'errore $\pm 0,2\%$. Strumenti di elevatissima precisione; lunghezza scala da 130 a 200 mm; divisioni da 100 a 300.

CLASSE 0,5. — Percentuale d'errore $\pm 0,5\%$. Strumenti di alta precisione; lunghezza scala da 100 a 130 mm; divisioni da 100 a 150.

CLASSE 1. — Percentuale d'errore 1% . Strumenti di precisione normale; lunghezza scala da 70 a 100 mm; divisioni da 60 a 100.

CLASSE 1,5. — Percentuale d'errore $\pm 1,5\%$. Strumenti per controlli rapidi; lunghezza scala da 50 a 70 mm; divisioni da 30 a 60.

CLASSE 2,5. — Percentuale d'errore $\pm 2,5\%$. Strumenti per controlli rapidi; lunghezza scala da 30 a 50 mm; divisioni da 10 a 30.

Gli strumenti di maggior precisione possiedono tutti la scala a specchio, per evitare l'errore di parallasse, dovuto alla posizione dell'osservatore; l'indice a coltello e la compensazione per le variazioni della temperatura ambiente. Questi strumenti, e quasi tutti gli altri possiedono la correzione dello zero che consente di far coincidere l'indice con l'inizio della scala.

Come si trova la resistenza interna del voltmetro.

Per poter interpretare esattamente le indicazioni fornite dal voltmetro è necessario conoscerne la resistenza interna. Come detto un voltmetro a bassa resistenza interna può essere di alta precisione, ma non adatto per misure di tensione in apparecchi radio, dove la maggior parte di esse è presente ai capi di elementi di alto valore ohmico.

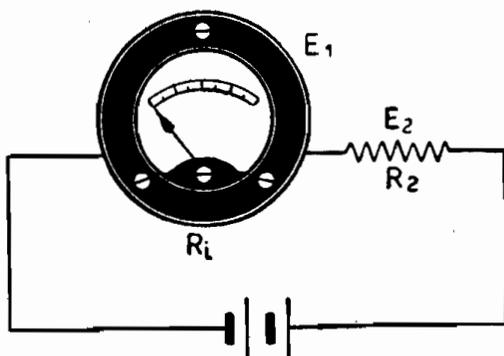


Fig. 1.6. — Circuito per trovare la resistenza interna di un voltmetro.

PER CONOSCERE IL VALORE DELLA RESISTENZA INTERNA R_i del voltmetro (fig. 1.6) occorre metterlo in serie con un resistore R_2 di valore noto e con una sorgente di

corrente continua, per es. una batteria di pile o una presa dell'alimentatore anodico di un apparecchio radio.

Va letta l'indicazione fornita dal voltmetro (E_1) e da essa va dedotta quella esistente ai capi del resistore (E_2), essa risulta dalla tensione disponibile meno l'indicazione fornita dal voltmetro. Il valore di R_i risulta allora da:

$$R_i = R_2 \frac{\text{Tensione indicata } E_1}{\text{Tensione dedotta } E_2} = R_2 \frac{E_1}{E_2}.$$

Si supponga che si tratti di un voltmetro da 10 V e che sia disponibile una batteria di pile da 9 V; il resistore di valore noto sia di 10 000 ohm. Collegando in serie il voltmetro, il resistore e la batteria si supponga che il voltmetro indichi 6 V. La tensione ai capi del resistore di 10 000 ohm non può essere che $9 - 6 = 3$ V, allora:

$$\text{Resistenza interna del voltmetro} = 10\,000 \frac{6}{3} = 20\,000 \text{ ohm.}$$

In tal caso la resistenza interna è di 20 000 ohm e il valore ohm per volt è di 2000. Se l'indicazione del voltmetro fosse stata invece di circa 0,85 V, ai capi del resistore vi sarebbe stata una tensione di circa 8,15 V; in tal caso il rapporto $E_1 : E_2$ sarebbe stato di 0,85 : 8,15 ossia circa 0,1, e la resistenza interna sarebbe stata di $10\,000 \times 0,1 = 1000$ ohm. Il valore ohm per volt sarebbe stato di 100

Portate multiple.

Per le misure di tensione negli apparecchi radio si fa uso di voltmetro a portate multiple. La scala graduata è generalmente una sola che va moltiplicata o divisa. Può essere graduata da 0 a 100, mentre le portate possono essere di 10, 100, 500 e 1000 V; oppure può essere graduata da 0 a 75 e le portate essere da 7,5 75, 750 e 1500 volt.

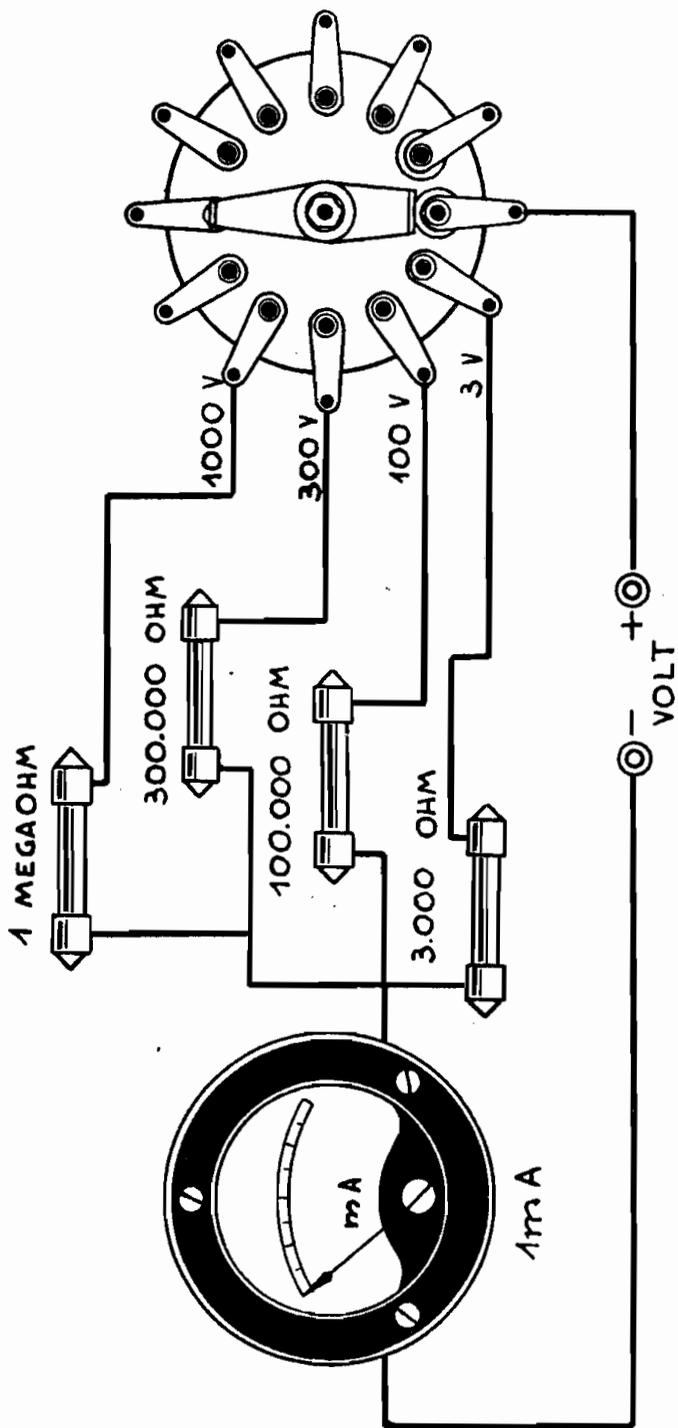


Fig. 1.7. - Schema di voltmetro a quattro portate, ottenuto mediante milliamperometro da 1 mA.

A ciascuna portata voltmetrica corrisponde un resistore, che può essere interno, contenuto nella custodia dello strumento, oppure esterno (*resistore addizionale*). Se i resistori sono interni, essi possono venir inseriti mediante un *inseritore rotante*, con manopola esterna. La disposizione può essere quella di fig. 1.7, in cui le quattro portate voltmetriche sono ottenute con altrettanti resistori.

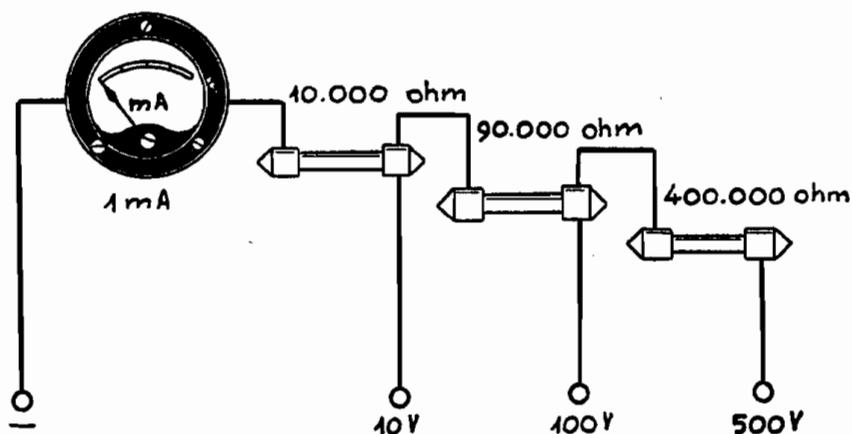


Fig. 1.8. — Schema di voltmetro a 3 portate, con resistenze in serie.

Al posto dell'inseritore rotante vi può essere un certo numero di *morsetti* oppure di *boccole*, un morsetto o una boccola per ciascuna portata, più un morsetto o una boccola in comune. La disposizione circuitale può essere quella di fig. 1.8.

Se i resistori sono esterni, lo strumento possiede due appositi morsetti per la loro inserzione, e la scala corrisponde alla portata più bassa, quella senza resistore addizionale. Il resistore addizionale esterno viene a trovarsi in serie con il resistore interno.

Come si estende la portata del voltmetro.

Mediante un resistore in serie di valore adeguato, il voltmetro può venir utilizzato per misure superiori a quelle consentite dalla sua portata normale.

Il VALORE DEL RESISTORE IN SERIE può venir calcolato solo se si conosce la resistenza interna dello strumento, oppure, ed è lo stesso, il valore ohm per volt. Si può procedere in due modi, uno dei quali consiste nel tener conto della resistenza interna, allora:

$$\begin{aligned} & \text{Resistore in serie} = \\ & = \text{Resistenza interna} \times \left(\frac{\text{Portata maggiore}}{\text{Portata minore}} - 1 \right). \end{aligned}$$

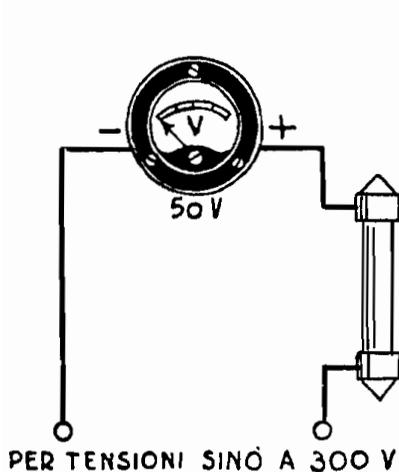


Fig. 1.9. - Come aumentare la portata dei voltmetri.

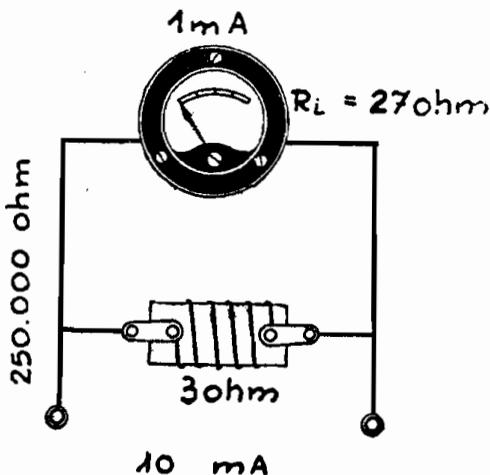


Fig. 1.10. - La portata dei milliamperometri può venir aumentata con una adeguata resistenza in parallelo.

Se si tratta di voltmetro sino a 50 V, della resistenza interna di 50 000 ohm, e si vuol estenderne la portata a 300 V (v. fig. 1.9), occorre un resistore in serie di

$$\begin{aligned} \text{Resistore in serie} &= 50\,000 \times \left(\frac{300}{50} - 1 \right) = \\ &= 50\,000 \times (6 - 1) = 250\,000 \text{ ohm.} \end{aligned}$$

Se si adopera per il calcolo il valore ohm per volt, allora il valore del resistore in serie risulta da

$$\begin{aligned} \text{Resistore in serie} &= \\ &= (\text{Portata maggiore} \times \text{Ohm per volt}) - \\ &\quad - (\text{Portata minore} \times \text{Ohm per volt}). \end{aligned}$$

Nel caso dell'esempio fatto risulta:

$$\begin{aligned} \text{Resistore in serie} &= (300 \times 1000) - (50 \times 1000) = \\ &= 300\,000 - 50\,000 = 250\,000 \text{ ohm.} \end{aligned}$$

Come si estende la portata del milliamperometro.

La portata del milliamperometro può venir estesa mediante un RESISTORE IN PARALLELO (detto resistore derivato o *shunt*) di valore proporzionato. Tale valore si può calcolare se si conosce la resistenza interna del milliamperometro, ossia la resistenza della bobina mobile.

È dato da:

$$\begin{aligned} \text{Resistore derivato} &= \\ &= \text{Resistenza interna} : \left(\frac{\text{Portata maggiore}}{\text{Portata minore}} - 1 \right). \end{aligned}$$

Se si tratta di un milliamperometro da 1 mA, e se la resistenza interna è, per es., di 27 ohm, e se si vuol estenderne la portata a 10 mA (fig. 1.10), occorre utilizzarlo con un resistore derivato di

$$\text{Resistore derivato} = 27 : \left(\frac{10}{1} - 1 \right) = 27 : 9 = 3 \text{ ohm.}$$

Così, se si tratta di un milliamperometro da 5 mA da estendere a 100 mA, supponendo che la resistenza interna

sia di 19 ohm, occorre un resistore derivato di $19 : (20 - 1) = 1$ ohm.

(Alcuni valori di resistenza di filo nichelcromo per metro e per spessore in mm: 0,1 = 144 ohm, 0,15 = 50,8 ohm, 0,18 = 35,4 ohm, 0,2 = 28,7 ohm, 0,3 = 12,7 ohm,

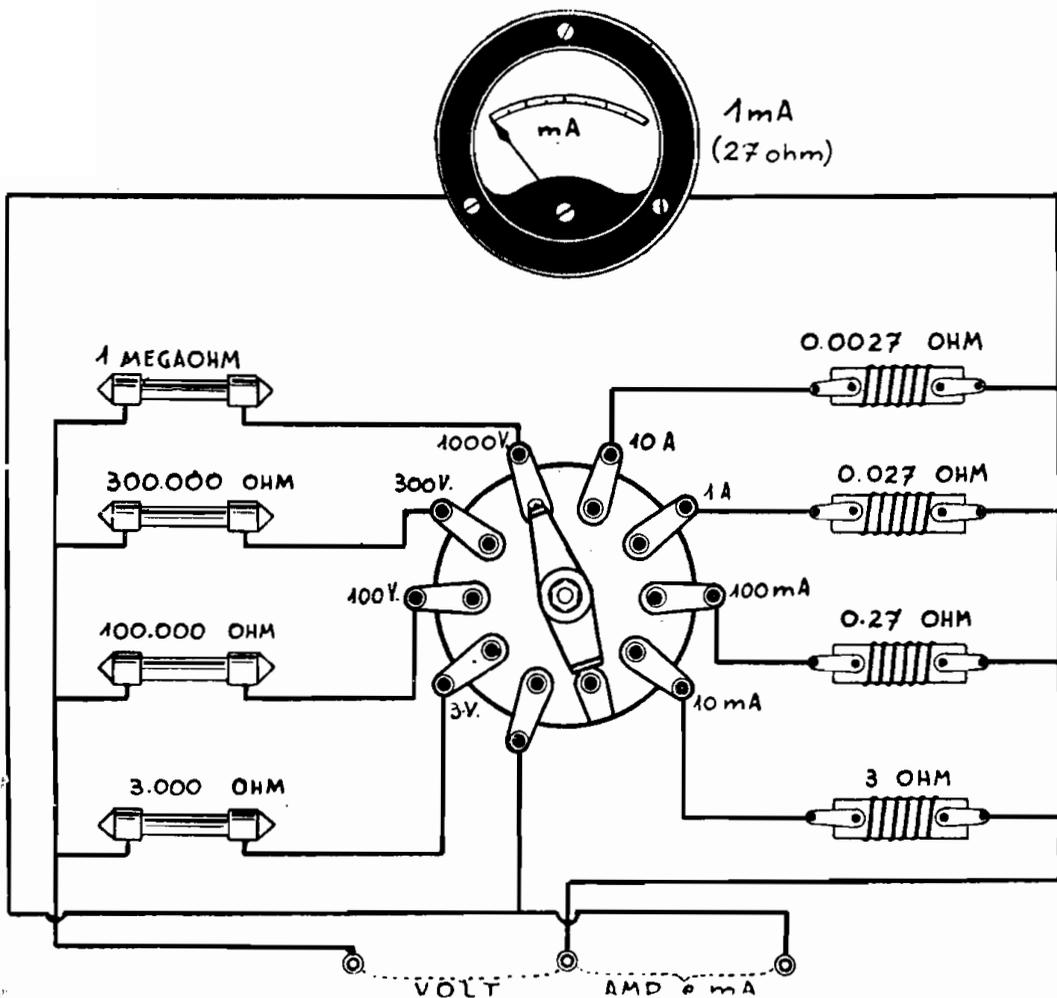


Fig. 1.11. - Schema di strumento per la misura di tensioni e di correnti continue.

0,4 = 7,65 ohm. Per la costantana: 0,1 = 62 ohm, 0,15 = 27,7 ohm, 0,18 = 19,2 ohm, 0,2 = 15,6 ohm, 0,3 = 6,95 ohm, 0,4 = 3,89 ohm. Il filo va avvolto su rocchetto o striscia di bachelite, porcellana o legno laccato).

Strumenti per misure di tensione e corrente.

Poichè un solo strumento può venir usato sia quale voltmetro con più portate voltmetriche, che come milliamperometro con più portate milliamperometriche, esso risulta di notevole utilità nella pratica delle radoriparazioni e in genere nei laboratori radiotecnici.

La fig. 1.7 indica un voltmetro a 4 portate; la fig. 1.11 mostra lo stesso strumento con aggiunte anche 4 portate milliamperometriche, inseribili con lo stesso inseritore rotante. È provvisto di tre morsetti, o boccole, uno in comune per le misure di tensione e di corrente, gli altri due uno per misure di tensione e l'altro per quelle di corrente. In tal modo i resistori si trovano in serie per le misure di tensione e in parallelo per quelle di corrente.

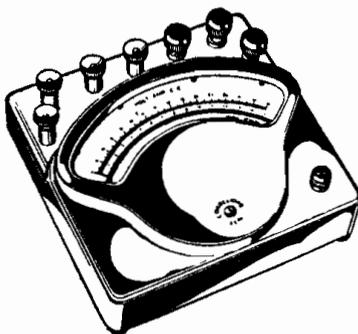


Fig. 1.12. — Esempio di strumento multiplo a morsetti.

Presenta l'inconveniente della possibilità che l'inseritore si trovi in posizione non corrispondente alla misura in corso, ciò che può determinare la rovina dello strumento; presenta pure l'inconveniente di richiedere un perfetto contatto tra

le mollette dell'inseritore durante le misure di corrente, poiché un cattivo contatto può aumentare sensibilmente il valore degli shunt.

È possibile provvedere lo strumento di un certo numero di morsetti, o boccole, al posto dell'inseritore. Uno strumento multiplo di questo tipo, di alta precisione, è indicato dalla fig. 1.12. I morsetti sono 7, tre per le portate voltmetriche (a destra) e tre per quelle amperometriche (a sinistra). Al centro vi è in morsetto comune.

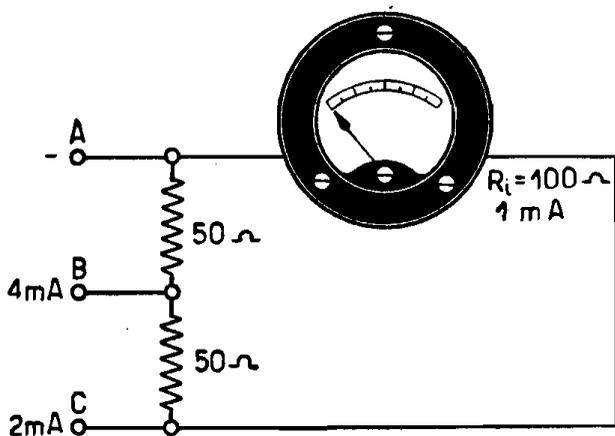


Fig. 1.13. - Milliamperometro a due portate.

Principio degli strumenti a più portate milliamperometriche, senza inseritore.

Con l'impiego di boccole o morsetti, senza inseritore, sorge una difficoltà: i vari resistori derivati (shunt) devono essere tutti e sempre collegati. Collegarli tutti insieme, in parallelo, è assurdo; non rimane che ricorrere al sistema di MODIFICARE LA RESISTENZA INTERNA dello strumento ad ogni diversa portata milliamperometrica; i resistori derivati vengono posti in serie tra di loro; quelli non utilizzati vengono a trovarsi in serie alla resistenza interna, si sommano cioè alla resistenza interna.

La fig. 1.13 indica un esempio pratico. Un milliampero-

metro da 1 mA, la cui resistenza interna è di 100 ohm, è provvisto di tre morsetti A, B e C. Se vengono usati i morsetti A e C, la portata è di 2 mA; se vengono usati i morsetti A e B la portata è di 4 mA.

Quando viene usata la portata di 2 mA, la resistenza interna dello strumento (100 ohm) è eguale a quella dei due resistori derivati in serie (100 ohm) perciò l'intensità di corrente si divide in due parti eguali, una corrente derivata di 1 mA fluisce nello strumento e un'altra, pure di 1 mA, attraversa i resistori.

Quando viene usata la portata di 4 mA, uno dei due resistori di 50 ohm è in serie alla bobina mobile, ossia in

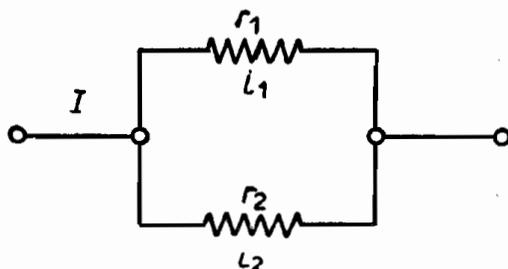


Fig. 1.14. - Misure di basse resistenze con l'ohmetro di fig. 2.13.

tal caso la resistenza dello strumento è di 150 ohm. Anche in questo caso l'intensità di corrente I si divide in due parti (i_1 e i_2) non eguali però, dato che le due resistenze in parallelo r_1 e r_2 (v. fig. 1.14) sono rispettivamente di 50 e di 150 ohm. Il valore di queste due correnti si può calcolare facilmente:

$$\begin{aligned}
 & \text{a) Corrente derivata } i_1 = \\
 & = I \times \frac{r_2}{r_1 + r_2} = 4 \times \frac{50}{150 + 50} = 4 \times 0,25 = 1 \text{ mA} \\
 & \text{b) Corrente derivata } i_2 = \\
 & = I \times \frac{r_1}{r_1 + r_2} = 4 \times \frac{150}{150 + 50} = 4 \times 0,75 = 3 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

MISURE DI TENSIONE E DI CORRENTE

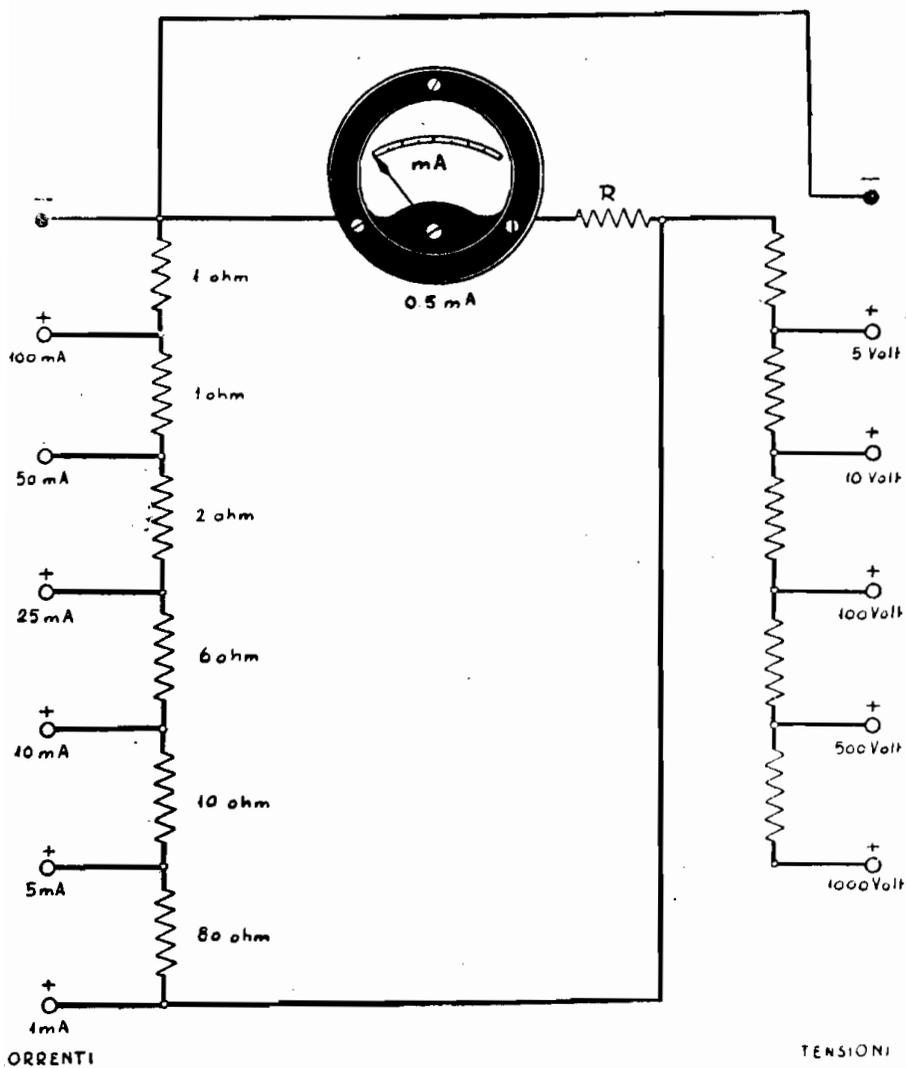


Fig. 1.15. - Schema di strumento multiplo senza commutatore.

Se tra i morsetti A e C è presente una corrente di 2 mA, lo strumento segna 1 mA, e basta moltiplicare la scala per 2; quando tra i morsetti A e B è presente una corrente di 4 mA, lo strumento segna egualmente 1 mA, e basta moltiplicare la scala per 4. Invece di 2 sole portate, lo strumento potrebbe averne 6, come nell'esempio di fig. 1.15, senza che il principio risulti diverso.

Esempio di voltmilliamperometro a morsetti.

In fig. 1.15 è indicato come si possa adoperare uno strumento, per es. un microamperometro da 500 μ A, per sei diverse portate milliamperometriche: 1 mA, 5 mA, 10 mA, 25 mA, 50 mA e 100 mA, SENZA INSERITORE, con l'uso di 7 morsetti.

In serie allo strumento vi è un resistore che serve ad elevarne la resistenza al valore di 100 ohm, più comodo per stabilire i valori delle resistenze derivate. È detto *resistore di compensazione* (R). Qualunque possa essere lo strumento, il suo valore è dunque dato da 100 ohm meno il valore della resistenza interna. Nel caso del microamperometro indicato essa è di 60 ohm, quindi $R = 40$ ohm.

Vi sono sei resistori derivati (uno per portata) in serie tra loro, ed il cui valore complessivo è di 100 ohm. Tra il morsetto comune (—) e quello corrispondente alla portata di 1 mA sono presenti tutti i 6 resistori. Quando tra questi due morsetti è presente l'intensità di 1 mA, essa si divide in due parti eguali, di 0,5 mA ciascuna, quindi l'indice dello strumento fornisce la massima indicazione: 1 mA.

Tra il morsetto comune e quello segnato « 5 mA » sono presenti 5 resistori, del valore complessivo di 20 ohm; il resistore escluso, quello di 80 ohm viene a trovarsi in serie con la resistenza interna dello strumento, la quale da 100 ohm passa a 180 ohm. Utilizzando le note formule risulta che la corrente di 5 mA si dovrà dividere in due della seguente intensità:

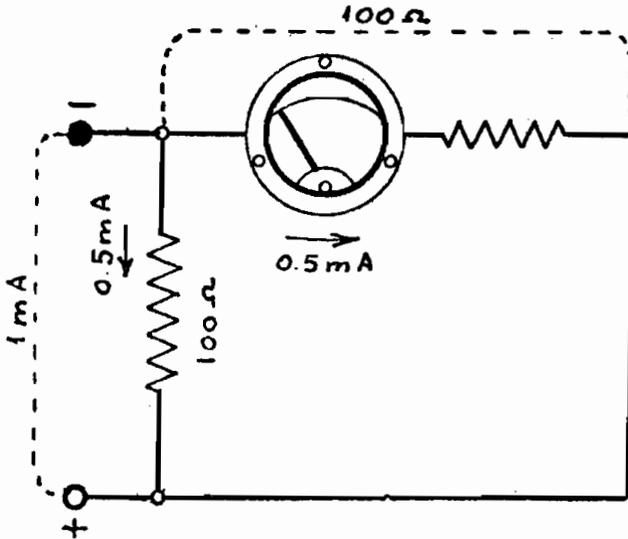


Fig. 1.16. - Misura di correnti sino a 1 mA con lo strumento di fig. 1.15.

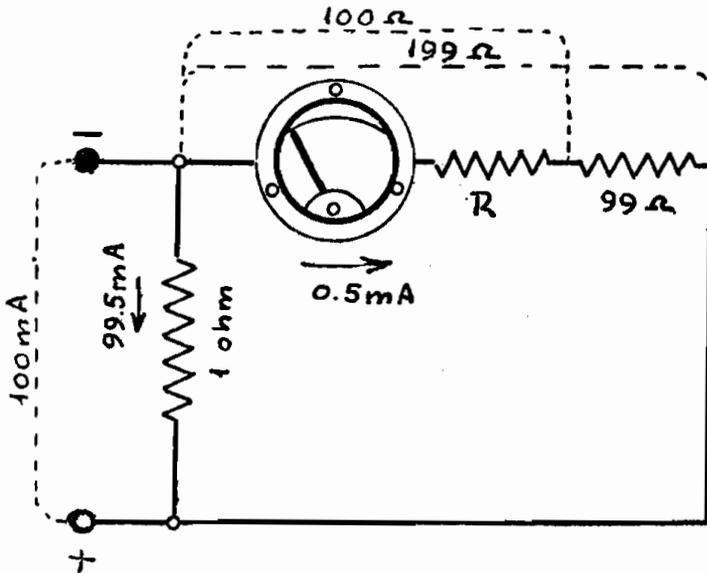


Fig. 1.17. - Principio del milliamperometro sino a 100 mA di fig. 1.15.

$$\begin{aligned} \text{a) Corrente nella resistenza di } 20 \text{ ohm} &= \\ &= 5 \frac{180}{180 + 20} = 5 \times 0,9 = 4,5 \text{ mA.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Corrente nella resistenza di } 180 \text{ ohm} &= \\ &= 5 \frac{20}{180 + 20} = 5 \times 0,1 = 0,5 \text{ mA.} \end{aligned}$$

Quando è presente l'intensità di 5 mA, lo strumento è percorso da 0,5 mA, e l'indice è a fondo scala.

Così per tutte le altre portate. Per quella di 10 mA, le resistenze sono di 10 ohm (ossia 1 + 1 + 2 + 6 ohm) e di 190 ohm (ossia 100 + 80 + 10 ohm); l'intensità di 10 mA si divide nelle due parti seguenti:

$$\begin{aligned} \text{a) Corrente nella resistenza di } 10 \text{ ohm} &= \\ &= 10 \frac{190}{200} = 9,5 \text{ mA.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Corrente nella resistenza di } 190 \text{ ohm} &= \\ &= 10 \frac{10}{200} = 0,5 \text{ mA.} \end{aligned}$$

La corrente che percorre lo strumento è sempre di 0,5 mA quando l'intensità di corrente misurata è la massima corrispondente a ciascuna portata.

Per le PORTATE VOLTMETRICHE sono necessari i seguenti resistori:

Portata voltmetrica	Valore del resistore
5 volt	4 950 ohm
10 volt	5 000 ohm
100 volt	90 000 ohm
500 volt	400 000 ohm
1000 volt	500 000 ohm

Poichè la sensibilità dello strumento è di 0,5 mA, e poichè a tale sensibilità corrisponde, come si è visto, il valore di 2000 ohm per volt, può sembrare che i valori indicati siano metà di quelli necessari; ciò sarebbe vero se ai capi dello strumento non fossero sempre presenti i resistori derivati.

Calcolo dei resistori derivati.

Si calcola anzitutto il resistore derivato per la PORTATA MINORE, come se fosse la sola esistente, poi si calcolano le prese necessarie per le altre portate, con il metodo della proporzione. Se, come in fig. 1.15, la sensibilità dello strumento è di 0,5 mA, la resistenza interna è di 100 ohm (compresa la resist. di compens.) il resistore derivato totale per la portata minore di 1 mA, quale dovrebbe essere se questa fosse la sola portata, è dato da:

$$\text{Resistore derivato totale} = \frac{\text{Resistenza interna}}{\text{Rapporto di moltiplic.} - 1}$$

Il rapporto di moltiplicazione è dato da portata minore : portata dello strumento, ossia 1 : 0,5 = 2, sicchè

$$\text{Resistore derivato per 1 mA} = \frac{100}{2 - 1} = 100 \text{ ohm.}$$

Se oltre a questa portata di 1 mA (i_1) vi è un'altra portata qualsiasi, il resistore (R_1) di 100 ohm dovrà venir diviso in due parti. Se la seconda portata è di 5 mA (i_2) il valore del resistore (R_2) risulta dalla proporzione seguente:

$$R_2 : R_1 = i_1 : i_2$$

ossia:

$$R_2 = \frac{R_1 \times i_1}{i_2} = \frac{100 \times 1}{5} = 20 \text{ ohm.}$$

Il resistore di 100 ohm dovrà essere costituito da due parti, una di 20 e l'altra di 80 ohm. Se è necessaria una terza portata, per es. per 10 mA (i_3) saranno necessarie tre resistenze in serie del valore complessivo di 100 ohm, e il valore del terzo resistore (R_3) risulterà dalla solita proporzione:

$$R_3 = \frac{R_1 \times i_1}{i_3} = \frac{100 \times 1}{10} = 10 \text{ ohm.}$$

In tal caso il resistore di 100 ohm dovrà essere costituito da un resistore di 10 ohm, da un altro di 10 ohm e da un terzo di 80 ohm.

Se è necessaria una quarta portata a 25 mA (i_4) è necessario un quarto resistore (R_4)

$$R_4 = \frac{R_1 \times i_1}{i_4} = \frac{100 \times 1}{25} = 4 \text{ ohm.}$$

Sarà necessario un resistore costituito da quattro parti: 4, 6, 10 e 80 ohm.

Se sono necessarie altre due portate, una a 50 mA (i_5) e l'altra a 100 mA (i_6) saranno necessari altri due resistori, R_5 e R_6

$$R_5 = \frac{100 \times 1}{50} = 2 \text{ ohm} \qquad R_6 = \frac{100 \times 1}{100} = 1 \text{ ohm.}$$

In tal caso il resistore dovrà essere costituito da sei parti, le seguenti: 1 + 1 + 2 + 6 + 10 + 80 ohm, appunto come in fig. 1.15.

Calcolo dei resistori per un voltmilliamperometro.

Si supponga di avere un milliamperometro di 1 mA, della resistenza interna di 50 ohm, e di voler realizzare un voltmilliamperometro con le seguenti portate: (v. fig. 1.18).

MISURE DI CORRENTE: 2 mA, 10 mA, 100 mA e 500 mA;
 MISURE DI TENSIONE: 10 V, 50 V, 100 V e 500 V.

La resistenza di compensazione dovrà essere di 50 ohm, per elevare la resistenza interna a 100 ohm. Il valore del resistore totale R_1 per le portate milliamperometriche va calcolato, come detto, tenendo conto della portata minore, di 2 mA, ossia è dato da:

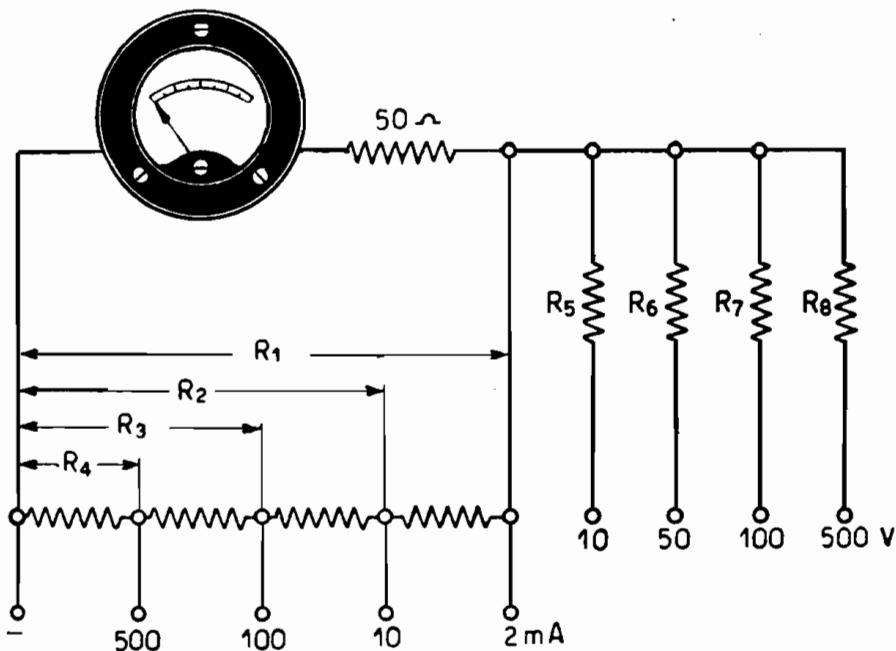


Fig. 1.18. - Voltmetro e milliamperometro senza inseritore.

$$R_1 = \frac{R_i}{n - 1} = \frac{100}{2 - 1} = 100 \text{ ohm.}$$

Gli altri resistori, che costituiranno quello totale di 100 ohm, risultano come segue:

$$R_2 = \frac{100 \times 2}{10} = 20 \text{ ohm}$$

$$R_3 = \frac{100 \times 2}{100} = 2 \text{ ohm}$$

$$R_4 = \frac{100 \times 2}{500} = 0,4 \text{ ohm.}$$

Il resistore complessivo, di 100 ohm, dovrà dunque essere costituito dalle seguenti parti: $0,4 + 1,6 + 18 + 80$ ohm.

Per le portate voltmetriche sono necessari altri 4 resistori. Essi possono venir disposti in serie tra di loro, come in fig. 1.15, oppure in parallelo, come in fig. 1.18, in quest'ultimo caso si calcolano come segue. Anzitutto va tenuto conto che il valore ohm per volt è di 500; ciò poichè è utilizzata la portata di 2 mA, non essendo possibile utilizzare quella di 1 mA, dato che i resistori derivati sono sempre presenti. Sicchè alla portata di 10 volt dovrà corrispondere un resistore di $500 \times 10 = 5000$ ohm, meno i 50 ohm corrispondenti alle due resistenze in parallelo di 100 ohm ciascuna, quella dello strumento e quella derivata per le portate milliamperometriche.

Per le altre portate voltmetriche si può trascurare di tener conto dei 50 ohm in meno, quindi i resistori risultano i seguenti: 4 950, 25 000, 50 000 e 250 000 ohm.