

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Strumenti elettromeccanici

- Principi di funzionamento
 - Amperometri in c.c.
 - Voltmetri in c.c.
 - Strumenti universali.
 - Strumenti in a.c.

Torino, 28-May-02

1

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Testo consigliato:

GIUSEPPE ZINGALES

MISURE ELETTRICHE
METODI E STRUMENTI

UTET TORINO 1992

Torino, 28-May-02

2

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Strumenti elettromeccanici

- Enormemente diffusi in passato
- Progressivamente soppiantati da strumenti digitali
 - Più accurati
 - Meno costosi
- Hanno una componente 'soggettiva' di incertezza

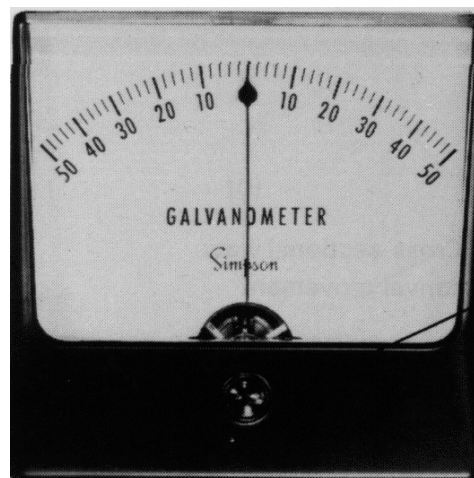
Torino, 28-May-02

3

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Strumenti indicatori



regolazione di zero

Torino, 28-May-02

4

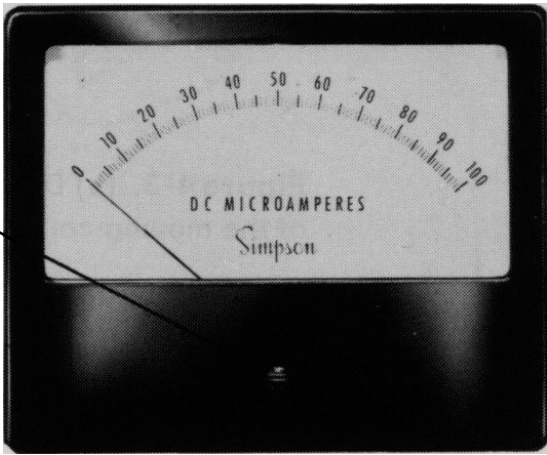
STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Strumenti indicatori

regolazione di zero



DC MICROAMPERES
Simpson

Torino, 28-May-02

5

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

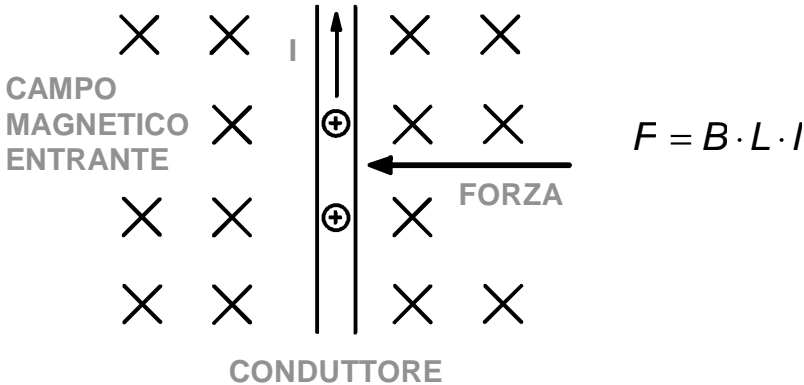
Forza esercitata su un conduttore

CAMPO MAGNETICO ENTRANTE

CONDUTTORE

FORZA

$F = B \cdot L \cdot I$



Torino, 28-May-02

6

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
 Andrea Taroni
 Marco Parvis

Strumenti elettromeccanici

ESPANSIONI POLARI

$$C_{motrice} = F \cdot D \cdot \cos(\delta) =$$

$$= I \cdot B \cdot L \cdot D \cdot \cos(\delta)$$

Torino, 28-May-02
7

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
 Andrea Taroni
 Marco Parvis

Galvanometro D'Arsonval (1)

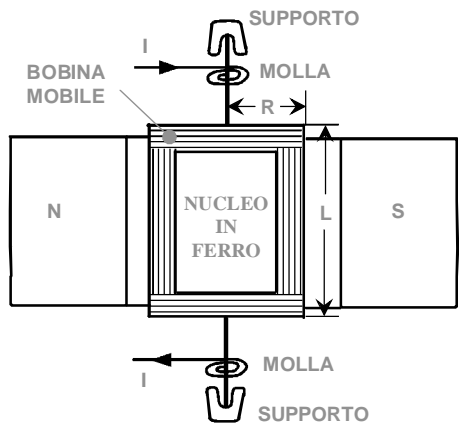
Torino, 28-May-02
8

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
 Andrea Taroni
 Marco Parvis

Galvanometro D'Arsonval (2)



$$C_{motrice} = B \cdot L \cdot N \cdot I \cdot 2R =$$

$$= B \cdot S \cdot N \cdot I = K_E \cdot I$$

$$C_{resistente}(\delta) = K_M \cdot \delta$$

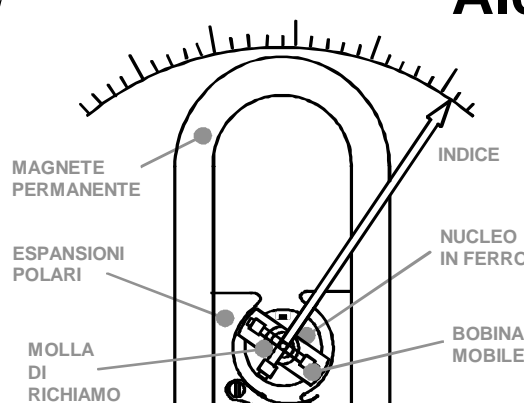
$$\delta = \frac{K_E}{K_M} \cdot I = K \cdot I$$

Torino, 28-May-02
9

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
 Andrea Taroni
 Marco Parvis

Alcuni valori tipici



- $B = 0.15 - 0.5 \text{ Wb/m}^2$
- $N = 20 - 100 \text{ giri}$

•risoluzione:

- strumenti commerciali $1\mu\text{A}$
- strumenti di laboratorio fino a 10^{-13} A

Torino, 28-May-02
10

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Equipaggi a magnete mobile

$$C_m(I) = B(i) \cdot r \approx K_E \cdot i$$

$$C_r(\delta) = K_M \cdot \delta$$

$\Rightarrow \delta = \frac{K_E}{K_M} \cdot i = K \cdot i$

Torino, 28-May-02
11

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Equipaggi elettrodinamici

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 \cdot I_1^2 +$$

$$+ \frac{1}{2} L_2 \cdot I_2^2 +$$

$$+ M_{12} \cdot I_1 \cdot I_2$$

$$C_m = \frac{dW_m}{d\delta} = \frac{dM}{d\delta} I_1 \cdot I_2 = K(\delta) \cdot I_1 \cdot I_2$$

$$C_r(\delta) = K_M \cdot \delta$$

Torino, 28-May-02
12

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Equipaggi elettrodinamici

BOBINA MOBILE

BOBINA FISSA

$$C_m = K \cdot I \cdot I = K \cdot I^2$$

Torino, 28-May-02

13

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Strumenti a ferro mobile (1)

S

N

N

Torino, 28-May-02

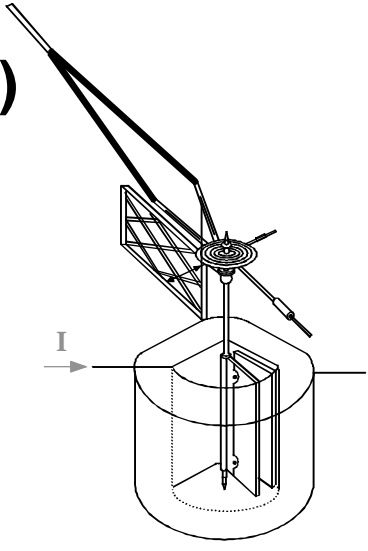
14

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Strumenti a ferro mobile (2)

$$W_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$
$$C_m = \frac{dW_m}{d\delta} = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\delta} \cdot I^2$$


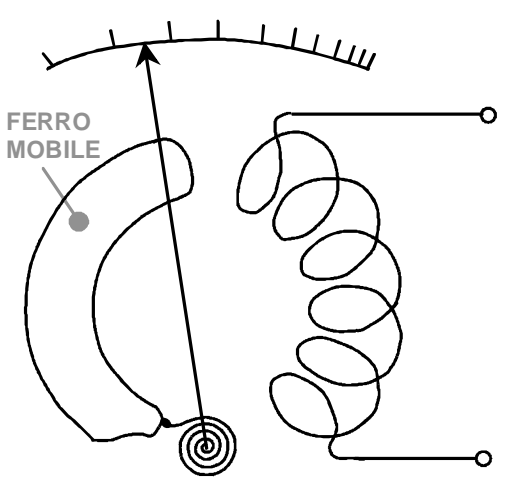
Torino, 28-May-02

15

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

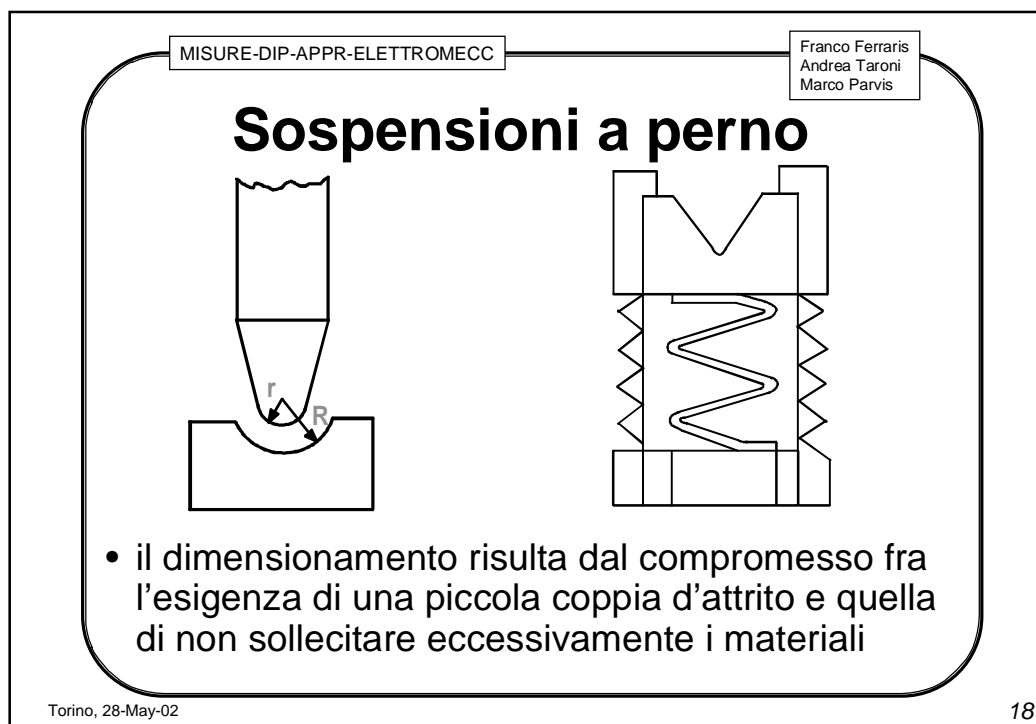
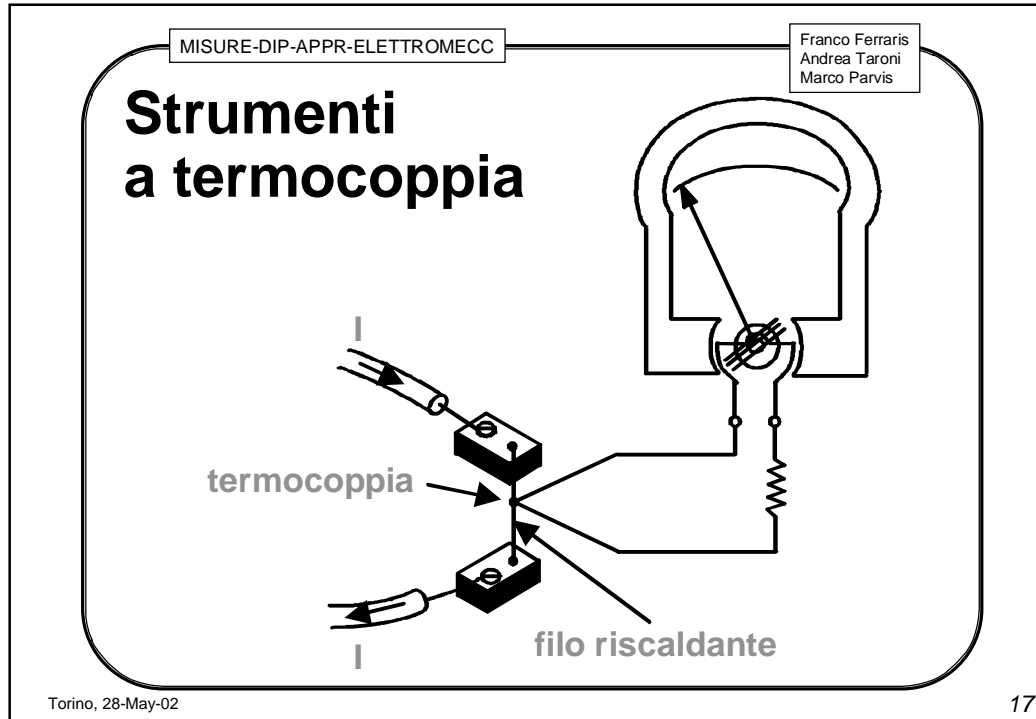
Strumenti a ferro mobile (3)



Torino, 28-May-02

16

STRUMENTI ELETTROMECCANICI



Molle di richiamo

- Negli strumenti con sospensione a perno le molle sono a spirale piatta, un estremo è collegato al telaio dello strumento, l'altro estremo è fissato al perno rotante
- Le molle di richiamo hanno anche il compito di portare la corrente all'organo mobile
- La corrente che percorre le molle deve essere limitata per evitare un riscaldamento eccessivo con conseguente deviazione dell'indice dovuta alla dilatazione

Comportamento dinamico (1)

$$J \frac{d^2 \delta}{dt^2} + K_v \frac{d\delta}{dt} + K_M \delta = C_m$$

J = momento d'inerzia

K_v = coefficiente di sorzamento viscoso

K_M = costante elastica molla di richiamo

C_m = coppia motrice

Comportamento dinamico (2)

- la funzione di trasferimento fra la coppia motrice e la posizione dell'indice vale:

$$T(s) = \frac{\delta(s)}{C_m(s)} = \frac{1}{Js^2 + K_V s + K_M}$$

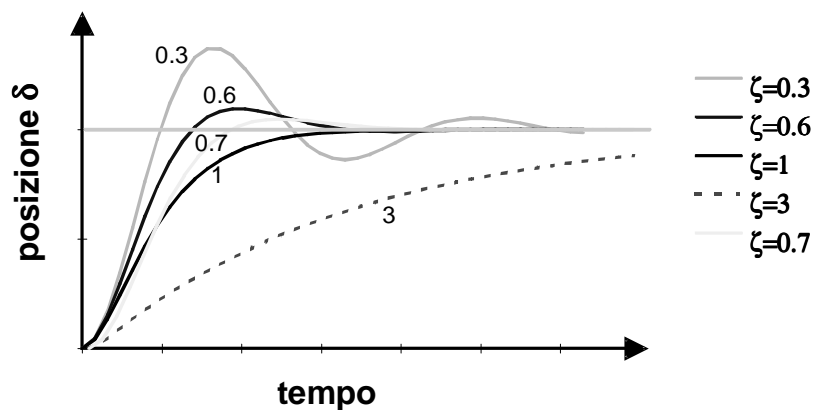
$$G = \frac{1}{K_M}$$

$$T(s) = \frac{G}{1 + 2\zeta \frac{s}{\omega_n} + \left(\frac{s}{\omega_n}\right)^2}$$

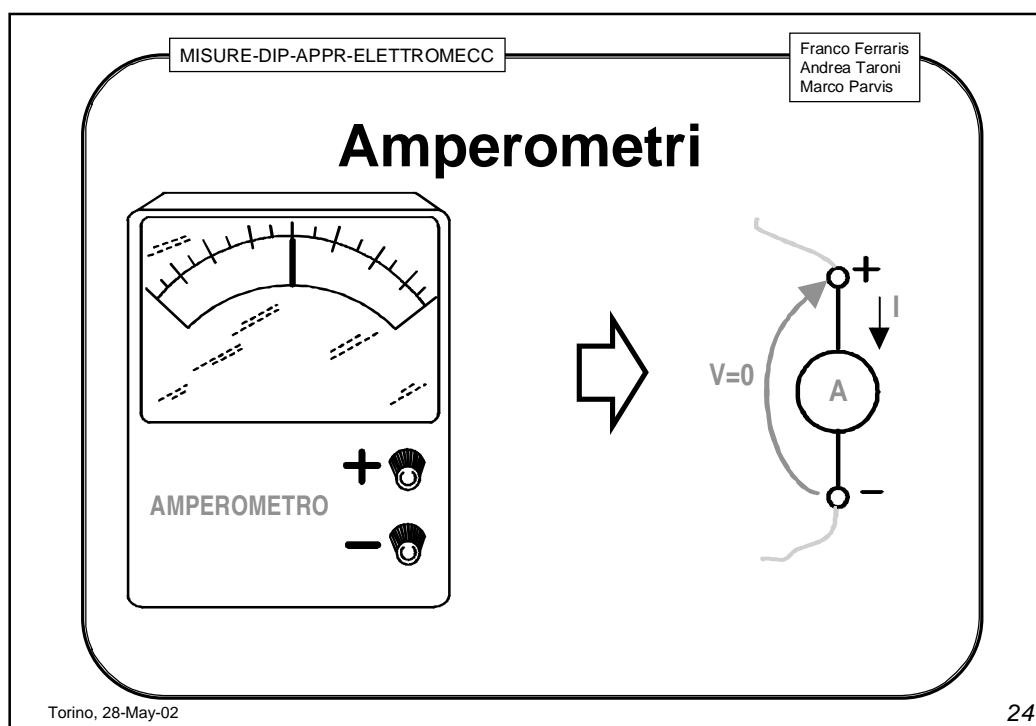
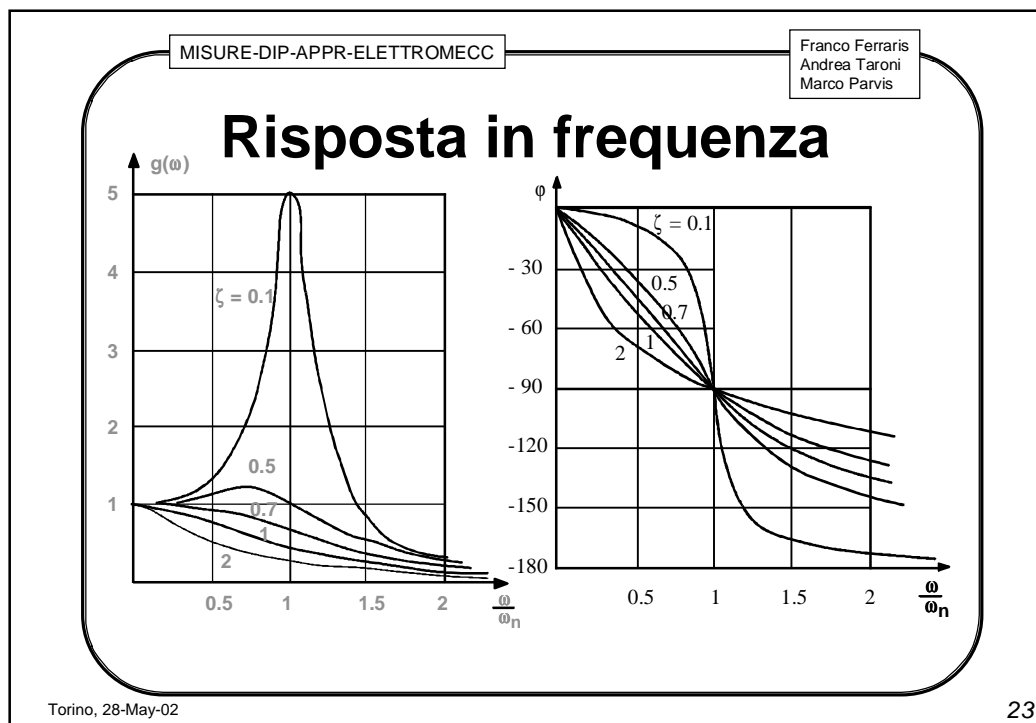
$$\zeta = \frac{K_V}{2\sqrt{K_M J}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_M}{J}}$$

Risposta al gradino



STRUMENTI ELETTROMECCANICI

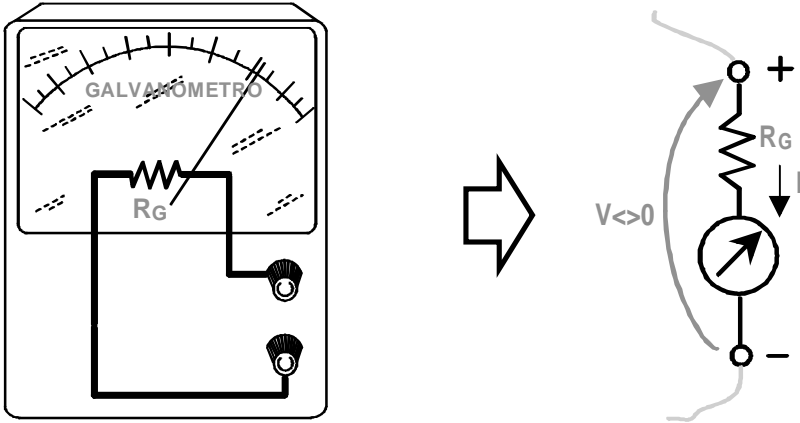


STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Milliamperometro per cc



Torino, 28-May-02

25

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Milliamperometri

Valori tipici		
portata		resistenza interna
50 μA		1000-5000 Ω
500 μA		100-1000 Ω
1 mA		30-120 Ω
10 mA		1-4 Ω

Torino, 28-May-02

26

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

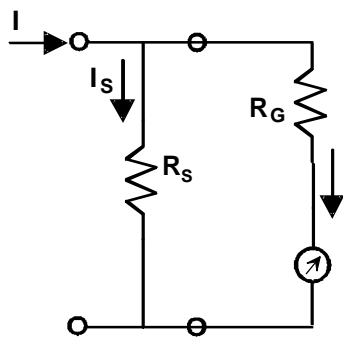
Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Amperometro in cc

$$I = \frac{R_S + R_G}{R_S} I_G$$

$$R_S = \frac{R_G I_{GFS}}{I_{FS} - I_{GFS}}$$

Generalmente $R_S \ll R_G$



$$I_G = \frac{R_S}{R_S + R_G} I$$

Torino, 28-May-02

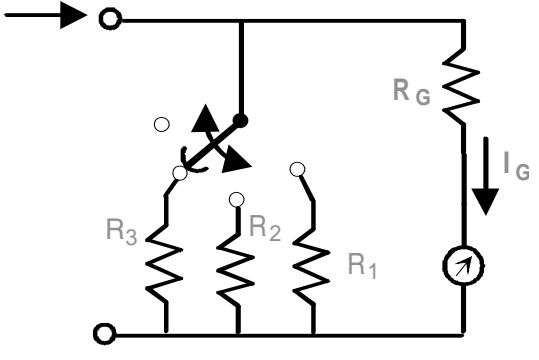
27

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Amperometro a più portate

$$I = \frac{R_i + R_G}{R_i} I_G$$



Torino, 28-May-02

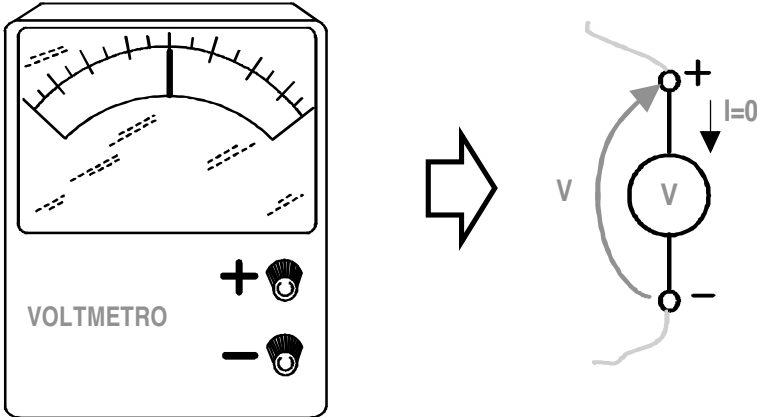
28

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Voltmetri



The diagram shows a physical voltmeter on the left with a semi-circular scale and two terminals labeled '+' and '-'. An arrow points to the right, where an equivalent circuit model is shown. This model consists of a circle with a 'V' inside, representing the internal resistance of the meter. It is connected in parallel with the terminals, and the current through it is labeled $I=0$. The voltage across the meter is labeled V .

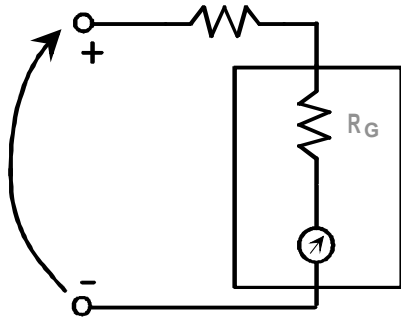
Torino, 28-May-02

29

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Voltmetro in cc

$$R_{serie} = \frac{V_{FS}}{I_{FS}} - R_G$$
$$V = (R_{serie} + R_G) \cdot I_G$$


The circuit diagram shows a series combination of a resistor (representing R_{serie}) and a galvanometer (represented by a circle with a diagonal arrow and labeled R_G). The terminals are labeled '+' and '-'.

- il valore di R_{serie} si calcola in funzione della portata voluta V_{FS} e della corrente di fondo scala del galvanometro I_{GFS}

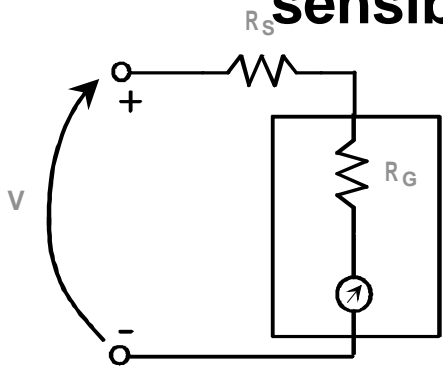
Torino, 28-May-02

30

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
 Andrea Taroni
 Marco Parvis

Voltmetri per cc: sensibilità



$$V_{FS} = (R_S + R_G) \cdot I_{FS}$$

$$\frac{(R_S + R_G)}{V_{FS}} = \frac{1}{I_{FS}} = K_{\Omega/V}$$

- Resistenza di ingresso data come:

$$R_{ingresso} = K_{\Omega/V} \cdot V_{FS} = V_{FS} / I_{FS}$$

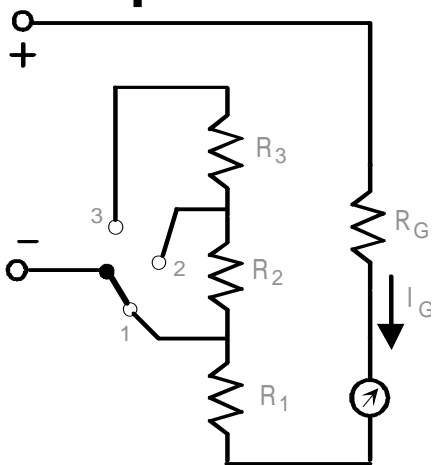
Torino, 28-May-02

31

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
 Andrea Taroni
 Marco Parvis

Voltmetro a più portate per cc



Torino, 28-May-02

32

STRUMENTI ELETTROMECCANICI

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Strumenti “universali”

Torino, 28-May-02

33

MISURE-DIP-APPR-ELETTROMECC

Franco Ferraris
Andrea Taroni
Marco Parvis

Misuratori AC elettromeccanici

- ferro mobile
 - semplici e robusti, adatti per applicazioni industriali
 - portate 10mA-50A, 1V-750V accuratezza 0.5-2%
 - frequenze tipiche fino a 150 Hz (2.5 kHz)
- elettrodinamici
 - strumenti quadratici
 - portate 1A-50A, 1V-300V accuratezza 0.1%
 - frequenze sotto i 200 Hz
- a raddrizzatore
 - sensibili al valore medio raddrizzato, tarati in valore efficace
 - portate <1mA-5A, 1V-750V accuratezza 1%
 - frequenze alcune decine di kHz

Torino, 28-May-02

34

Incertezze

- Incertezza 'strumentale'
- Incertezza 'di lettura'
- Effetti di carico strumentale (producono errori ma NON sono incertezze dello strumento)

Incertezza strumentale

- Convenzionalmente data in forma 'ridotta', riferita al fondo scala ed in percentuale: CLASSE dello strumento

$$Cl = \frac{\Delta}{FS} \cdot 100$$

- L'incertezza relativa cresce allontanandosi dal fondo scala

$$\Delta = \frac{Cl}{100} \cdot FS \Rightarrow \varepsilon\% = Cl \frac{FS}{L}$$

Classi di precisione

- $0,05 \div 0,1$ strumenti campione da laboratorio
- $0,2 \div 0,5$ strumenti da laboratorio
- 1; 1,5; 2,5; 5 strumenti industriali e da quadro

Incertezza di lettura

- Dipende dall'operatore e dalla conformazione della scala
- Numero divisioni
- Specchio per evitare gli errori di parallasse
- Se la scala è lineare, è una incertezza assoluta costante (stesso comportamento dell'incertezza di classe)

Carico strumentale

- Gli strumenti (elettromeccanici) usano energia del sistema misurato per lavorare ('consumo')
- Non si tratta di un errore, ma di un fenomeno che altera il sistema misurato o influenza le letture di altri strumenti