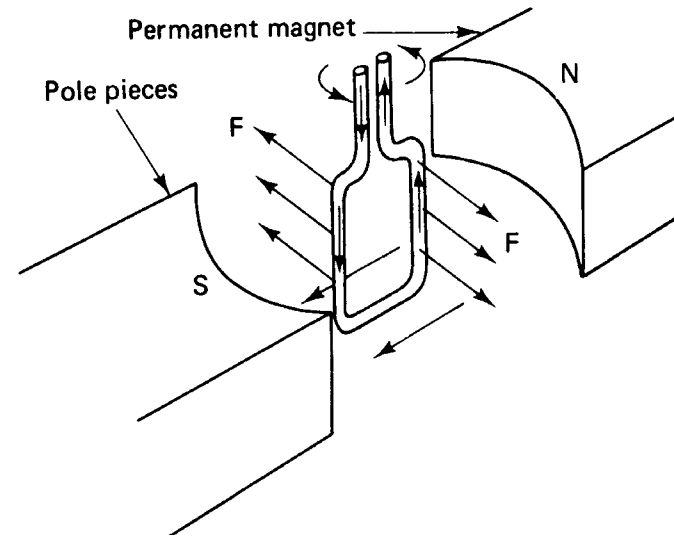
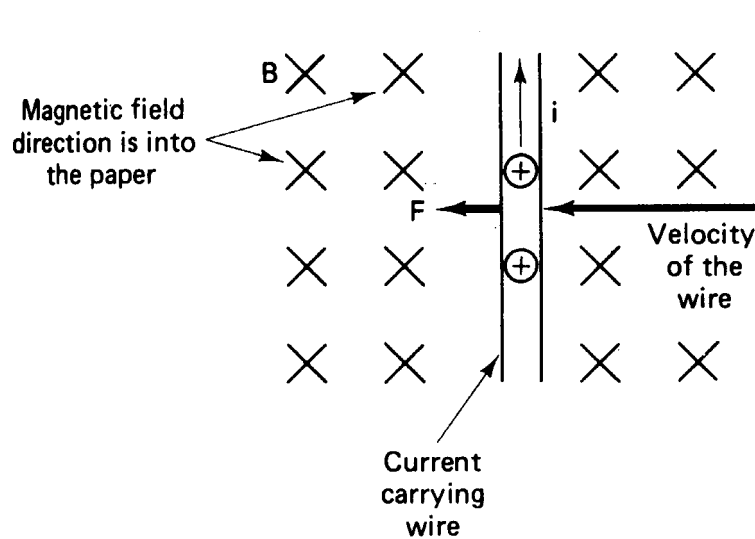


Strumenti elettromeccanici (1)



□ forza esercitata su un tratto di filo di lunghezza elementare:

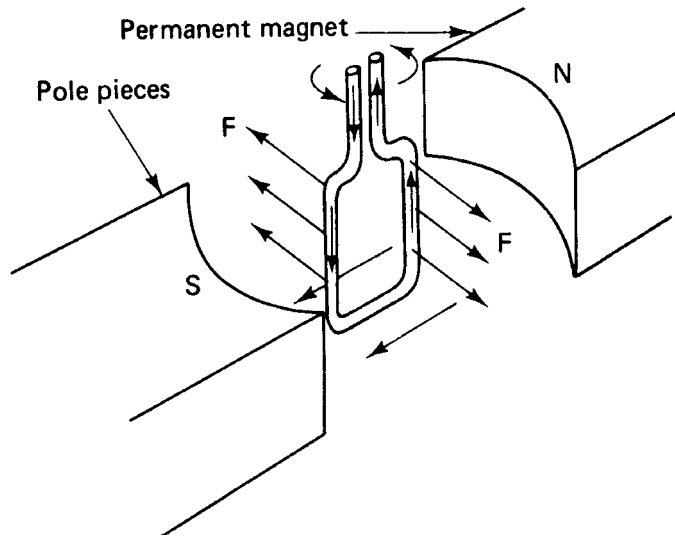
$$d\vec{F} = i \cdot (d\vec{l} \times \vec{B}) \quad \Rightarrow \quad dF = i \cdot dl \cdot B \cdot \sin(\varphi)$$

□ per l'intero conduttore:

$$F = L \cdot i \cdot B \cdot \sin(\varphi)$$

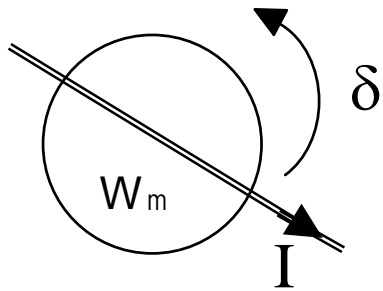
continua ...

□ se r è il raggio della spira e θ l'angolo fra la normale alla spira e B , la coppia motrice vale (per $\varphi = 90^\circ$):



$$\begin{aligned} C_m &= 2 \cdot r \cdot F \cdot \sin(\theta) = \\ &= i \cdot 2 \cdot r \cdot L \cdot B \cdot \sin(\theta) = \\ &= i \cdot S \cdot B \cdot \sin(\theta) \end{aligned}$$

Equipaggi elettromagnetici (2)



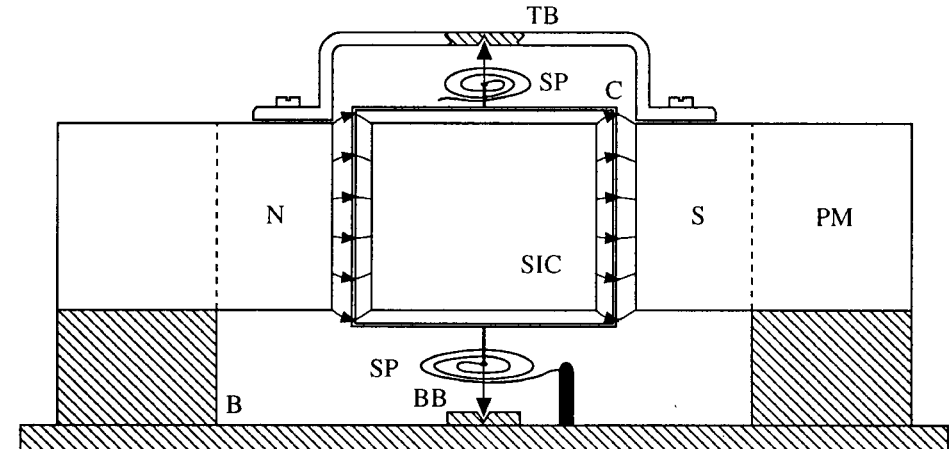
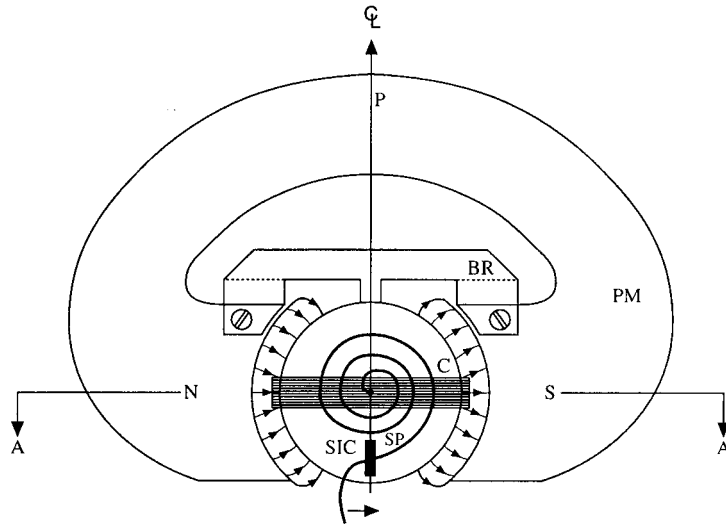
□ sono sistemi che immagazzinano energia magnetica W_{mag} che in parte cedono sotto forma di energia meccanica W_{mec} muovendo un equipaggio

□ senza dissipazioni abbiamo:

$$-dW_{mag} = dW_{mec} = C_m \cdot d\delta$$

$$\Rightarrow C_m = \frac{dW_{mec}}{d\delta} = -\frac{dW_{mag}}{d\delta}$$

Galvanometro D'Arsonval



□ il campo magnetico è tale da avere $\theta = 90^\circ$ per qualsiasi δ ,
quindi:

$$C_m(i) = N \cdot B \cdot S \cdot i$$

□ una molla fornisce la coppia antagonista: $C_r(\delta) = k_m \cdot (\delta - \delta_0)$

□ all'equilibrio: $C_m(i) = C_r(\delta)$ $\Rightarrow \delta = \delta_0 + \frac{B \cdot S \cdot N}{K_m} \cdot i = \delta_0 + k \cdot i$
(statico)

continua ...

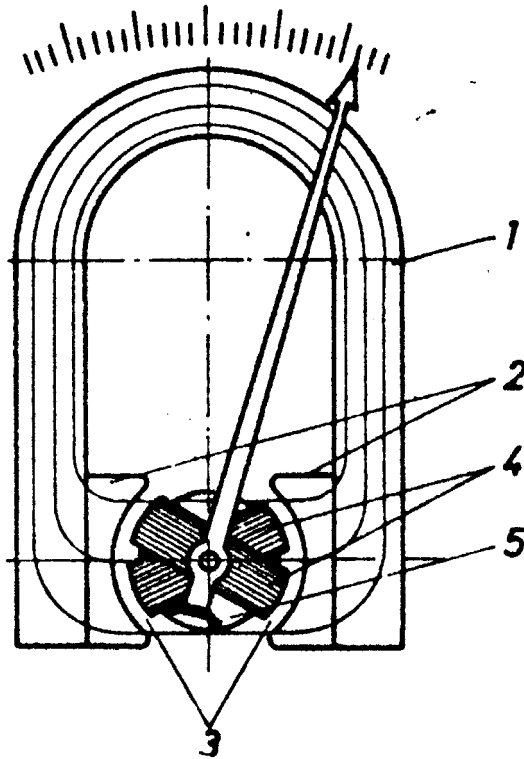
□ valori tipici

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

□ risoluzione:

- ♦ **strumenti commerciali $1\mu\text{A}$**
- ♦ **strumenti di laboratorio fino a 10^{-13} A**
- ♦ **assorbimento di potenza $10^{-4}\div 10^{-6} \text{ W}$**

Strumenti a bobine incrociate (logometro)



- ❑ 1 magnete permanente
- ❑ 2 espansioni in acciaio dolce
- ❑ 3 traferro variabile
- ❑ 4 bobine incrociate
- ❑ 5 nucleo di ferro
- ❑ non esiste la molla, l'equilibrio è fra le coppie generate dalle due bobine

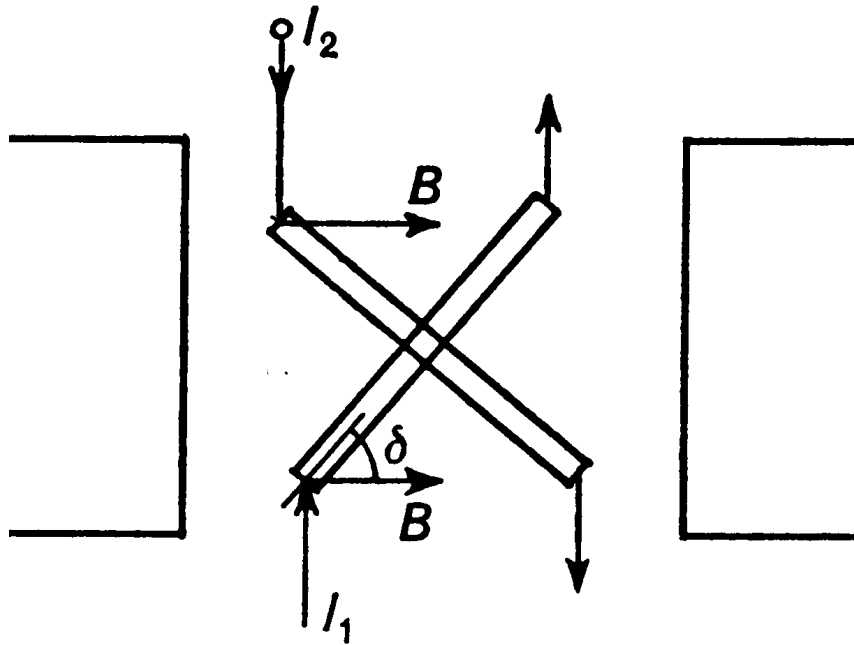
$$C_{m1}(i_1) = f_1(\delta) \cdot i_1$$

$$C_{m2}(i_2) = f_2(\delta) \cdot i_2$$

$$C_{m1}(i_1) = C_{m2}(i_2)$$

$$\Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = -\frac{f_2(\delta)}{f_1(\delta)} = f(\delta)$$

Esempio

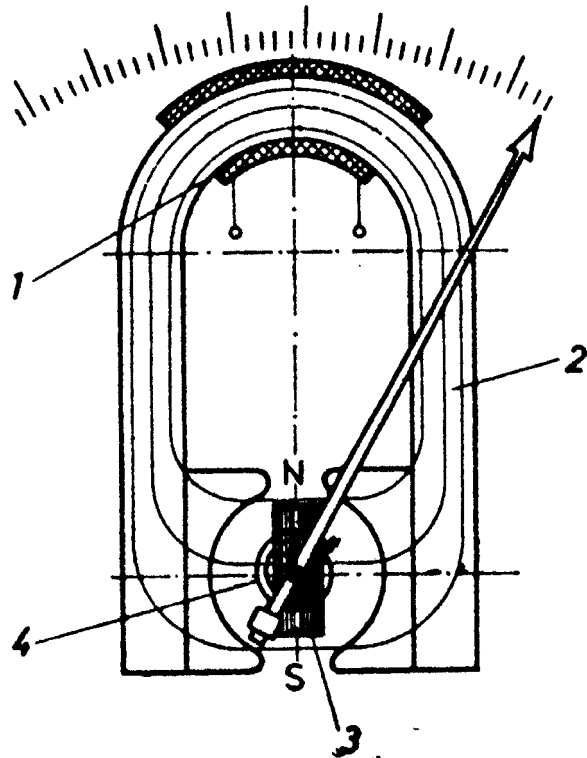


$$C_1 = B(\cos \delta) N_1 S i_1$$

$$C_2 = B(\sin \delta) N_2 S i_2$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \tan(\delta)$$

Strumenti a magnete mobile



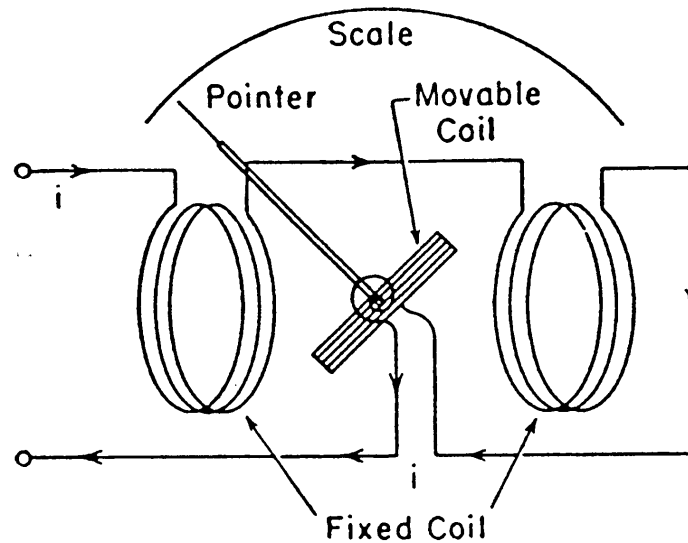
- ☐ 1 bobina
- ☐ 2 espansioni magnetiche
- ☐ 3 magnete permanente mobile
- ☐ 4 molla di richiamo

$$C_m(i) = B(i) \cdot k \approx k_E \cdot i$$

$$C_r(\delta) = k_m \cdot (\delta - \delta_0)$$

$$\Rightarrow \delta = \delta_0 + \frac{k_E}{k_m} \cdot i = \delta_0 + k \cdot i$$

Strumenti elettrodinamici

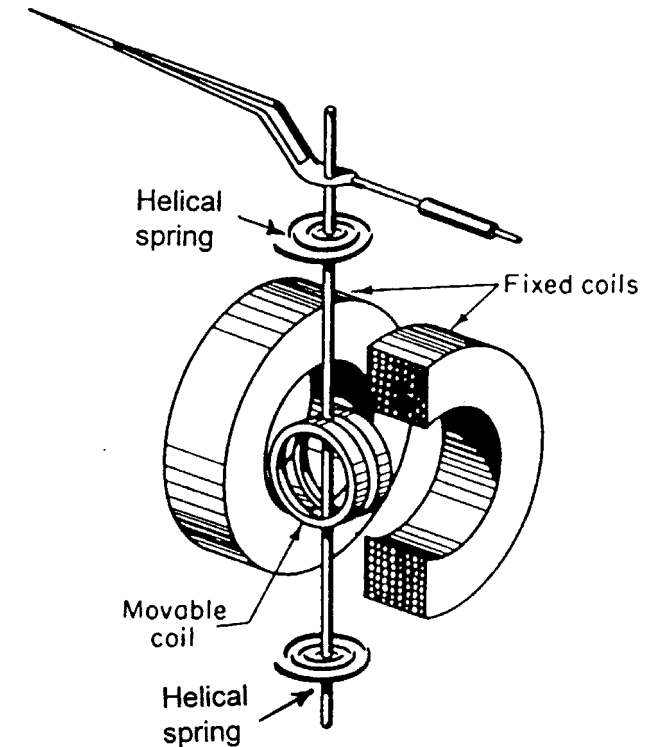


$$W_m = \frac{1}{2} L_1 \cdot i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 \cdot i_2^2 + M_{12} i_1 \cdot i_2$$

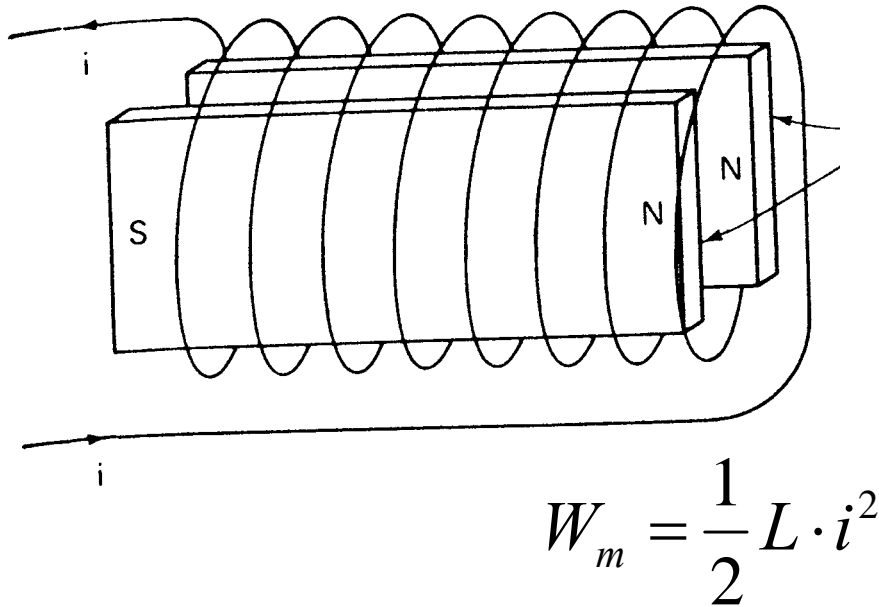
$$C_m(i_1, i_2) = \frac{dW_m}{d\delta} = \frac{dM}{d\delta} i_1 \cdot i_2 = f(\delta) \cdot i_1 \cdot i_2 \approx k \cdot i_1 \cdot i_2$$

$$C_r(\delta) = k_m \cdot (\delta - \delta_0)$$

$$\Rightarrow \delta = \delta_0 + k \cdot i_1 \cdot i_2$$

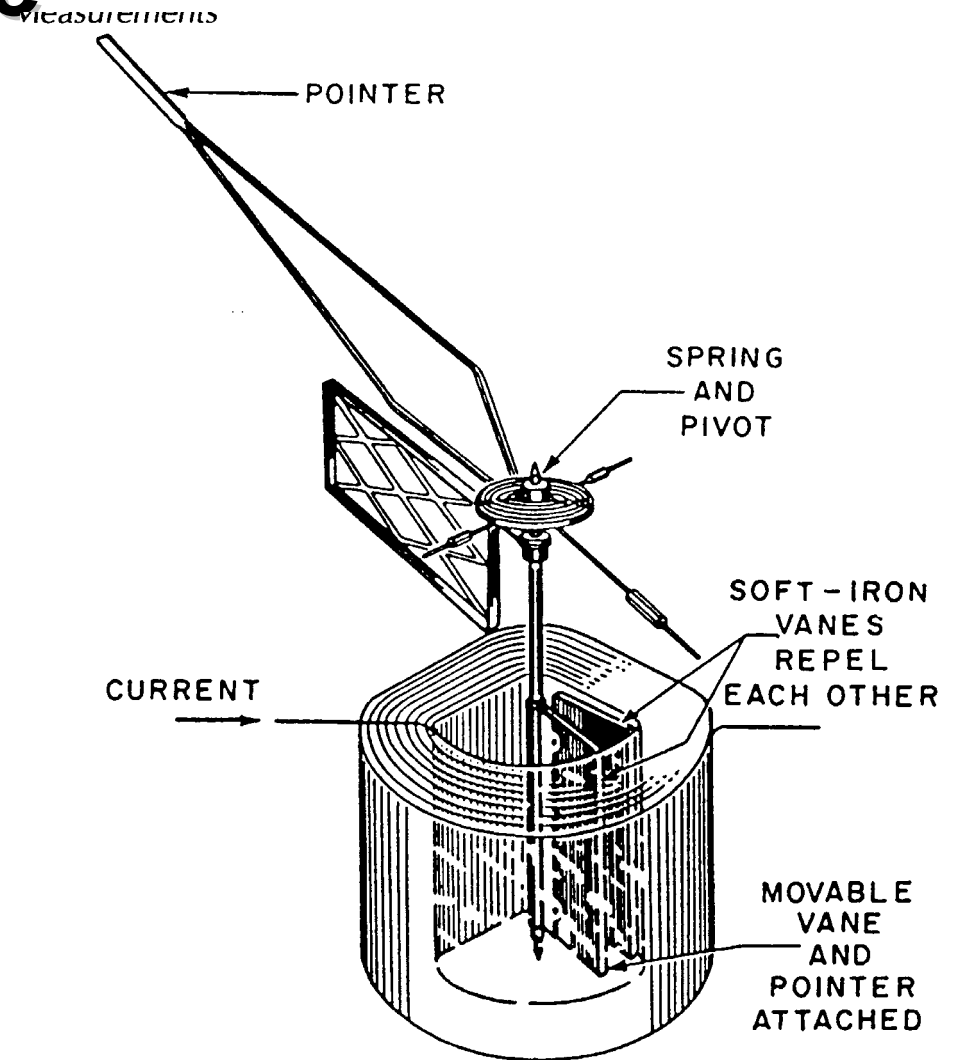


Strumenti a ferro mobile



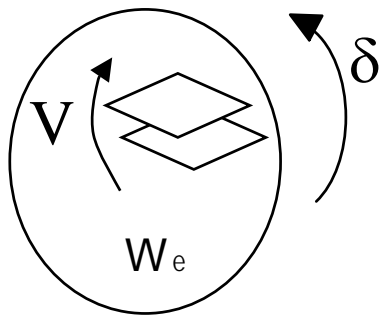
$$C_m(i) = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\delta} \cdot i^2 \cong k_E \cdot i^2$$

$$C_r(\delta) = k_m \cdot (\delta - \delta_0) \quad \Rightarrow \quad \delta = \delta_0 + k \cdot i^2$$



Equipaggi elettrostatici

□ sono sistemi che immagazzinano energia elettrostatica che in parte cedono sotto forma di energia meccanica muovendo un equipaggio

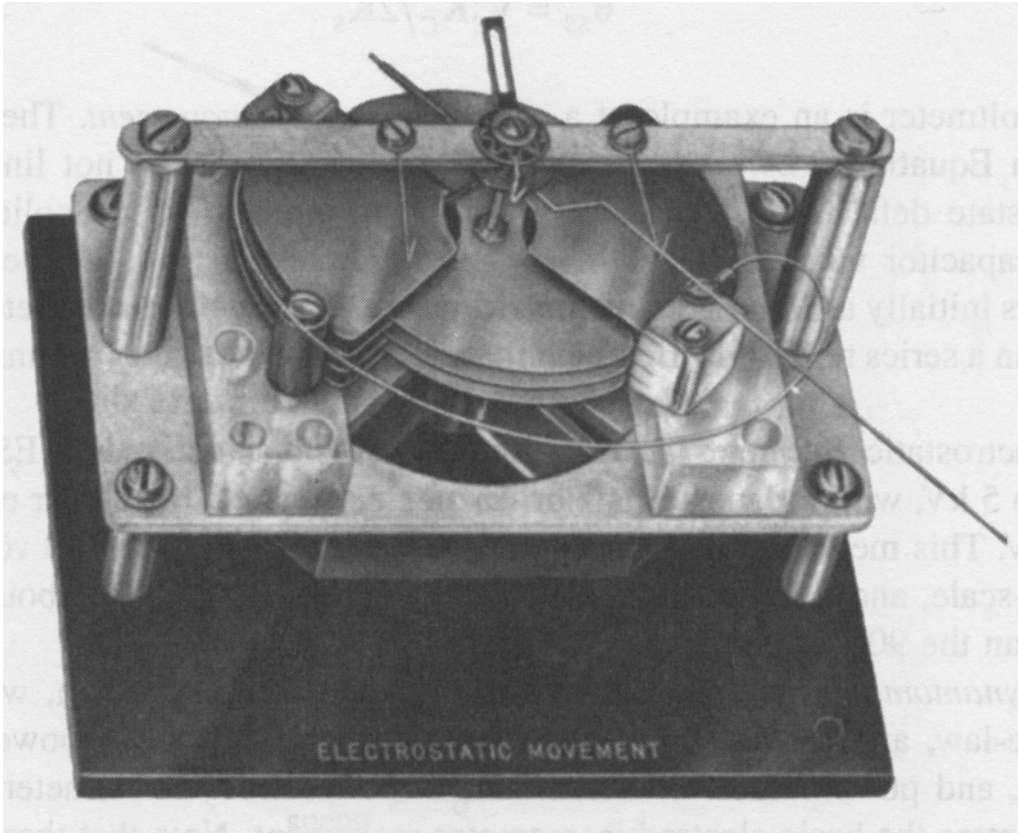


□ senza dissipazioni abbiamo:

$$-dW_{ele} = dW_{mec} = C_m \cdot d\delta$$

$$\Rightarrow C_m = -\frac{dW_{mec}}{d\delta} = -\frac{dW_{ele}}{d\delta}$$

Strumenti elettrostatici



□ energia elettrostatica:

$$W_{ele} = \frac{1}{2} C \cdot V^2$$

□ coppia motrice

$$C_m(V) = \frac{dW_{ele}}{d\delta} = \frac{1}{2} \frac{dC}{d\delta} \cdot V^2 = k_E \cdot V^2$$

□ coppia resistente

$$C_r(\delta) = k_m \cdot (\delta - \delta_0)$$

$$\Rightarrow \delta = \delta_0 + k \cdot V^2$$

Criteri costruttivi

□ **classe di precisione: fascia di incertezza in % del fondo scala**

- ♦ 0,05; 0,1 strumenti campione da laboratorio
- ♦ 0,2; 0,5 strumenti da laboratorio
- ♦ 1; 1,5; 2,5; 5 strumenti industriali e da quadro

□ **coppia d'attrito: determina una variazione della posizione di equilibrio:** $C_m = C_r \pm C_a$

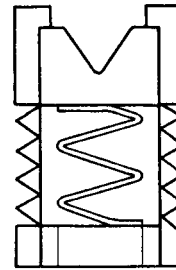
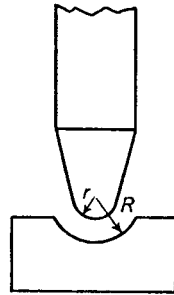
- ♦ un indice di qualità può essere il rapporto: C_m/m

- ♦ **indice (empirico) di Keinath:** $\Gamma = \frac{C_m}{m^{1,5}}$

- ♦ con C_m in $mN.m$ e m in g, Γ raggiunge il valore 1 per gli strumenti migliori

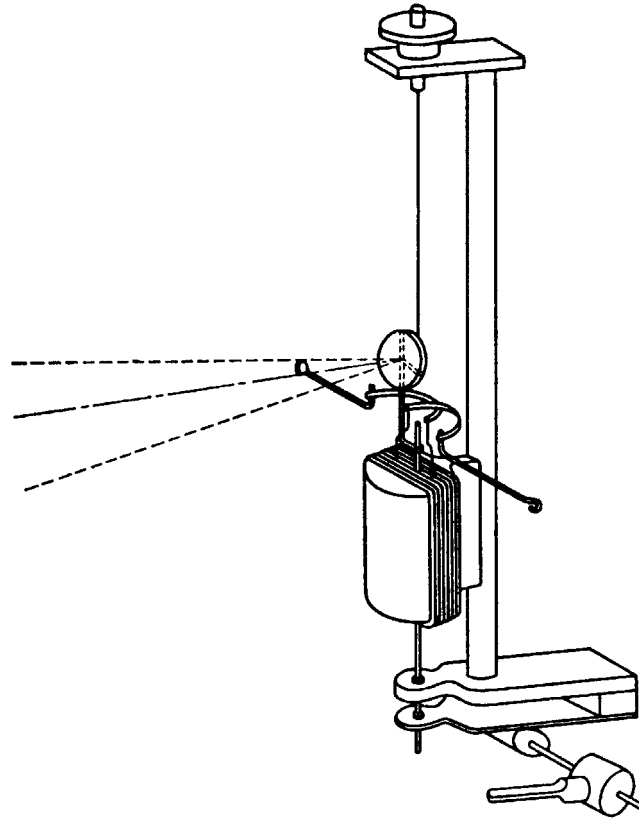
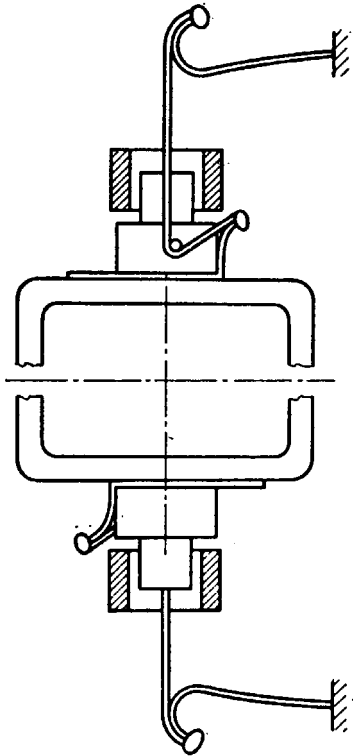
Sospensioni dell'equipaggio

□ sospensioni a perno:



- ♦ il dimensionamento risulta dal compromesso fra l'esigenza di una piccola coppia d'attrito e quella di non sollecitare eccessivamente i materiali

Equipaggio ad elevata sensibilità



- ❑ un filo teso funge da sospensione, molla torsionale e conduttore
- ❑ l'attrito si riduce al solo "attrito interno" al filo
- ❑ l'indice è sostituito da un fascio luminoso

Registratori galvanometrici

- ❑ l'indice del galvanometro è sostituito da un pennino che disegna una traccia su un nastro di carta messo in movimento da un motore

