



3. Măsurarea tensiunilor și a curenților electrici

3.2 Instrumente și aparate analogice pentru măsurarea tensiunilor și curenților electrici



Instrumente electromecanice

- magnetoelectrice:
 - cu magnet fix și bobină mobilă;
 - cu redresor;
 - cu termocuplu;
 - cu magnet mobil și bobină fixă;
- feromagnetice (tija metalică în bobină);
- electrodinamice (bobină fixă și mobilă);
- ferodinamice (electrodinamice cu piese feromagnetice);
- cu inducție;
- electrostatice (condensator cu o armatură fixă și una mobilă);
- cu lamă bimetalică (deformarea lamei din invar și alamă).



Instrumente electromecanice

Tipul mecanismului	Simbol grafic	Banda de frecvențe
1a. Magnetoelectric cu bobină mobilă		numai în c.c. (0 Hz)
1b. Magnetoelectric cu redresor		10Hz – 10 kHz
1c. Magnetoelectric cu termocuplu		0 – 100 MHz
1d. Magnetoelectric cu magnet mobil și bobină fixă		numai în c.c. (0 Hz)
2. Feromagnetic		0 – 1000 Hz
3. Electrodinamic		0 – 1000 Hz
4. Ferodinamic		0 – 100 kHz
5. Cu inducție		10 – 100 Hz
6. Electrostatic		0 – 10 MHz
7. Cu lamelă bimetalică		0 – 50 kHz



Instrumente electromecanice

- sunt formate din:
 - *circuitul de măsură*, care transformă mărimea de măsurat (X) într-o mărime intermediară (Y),
 - *mecanismul de măsură*, care convertește mărimea Y într-o deviație (α) a unui ac indicator care indică direct valoarea lui X .
 - eventual sursă de alimentare



Instrumente electromecanice

- părți fixe și mobile
- cuplu activ, M_a
- M_a determină deviația părții mobile (*echipajului mobil*) și a indicatorului
- la inițierea mișcării apare **cuplul rezistent M_r** care se opune mișcării
- la echilibru $M_a = M_r$



Instrumentul magnetoelectric

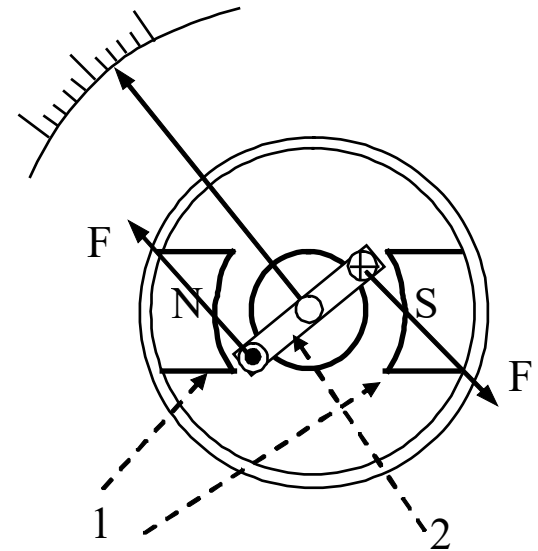
- simbol:
- echipaj mobil: bobină mobilă + ac indicator
- bobină mobilă: n spire, suprafață A
- magnet permanent: câmp de inducție magnetică constant, B
- asupra unei spire:

$$F = B \cdot I \cdot l$$

- cuplul activ ce acționează asupra bobinei:

$$M_a = 2r \cdot F_n = 2r \cdot n \cdot B \cdot I \cdot l = nA \cdot BI$$

→ mișcare de rotație a bobinei



- 1 – magneți permanenți
2 – bobina mobilă



Instrumentul magnetoelectric

- cuplul rezistent este dat de un arc spiralat:

$$M_r = -D\alpha$$

α - unghiul de deviație a echipajului mobil

D - cuplul rezistent specific

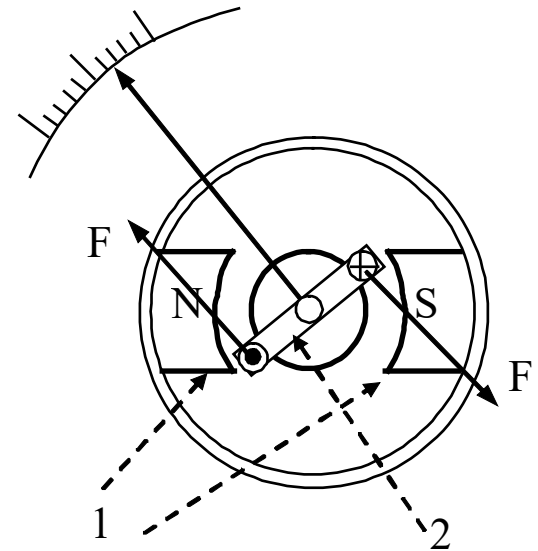
- la echilibru $M_a + M_r = 0$

$$nA \cdot BI = D\alpha$$

→ α proporțional cu I

- notînd S sensibilitatea instrumentului:

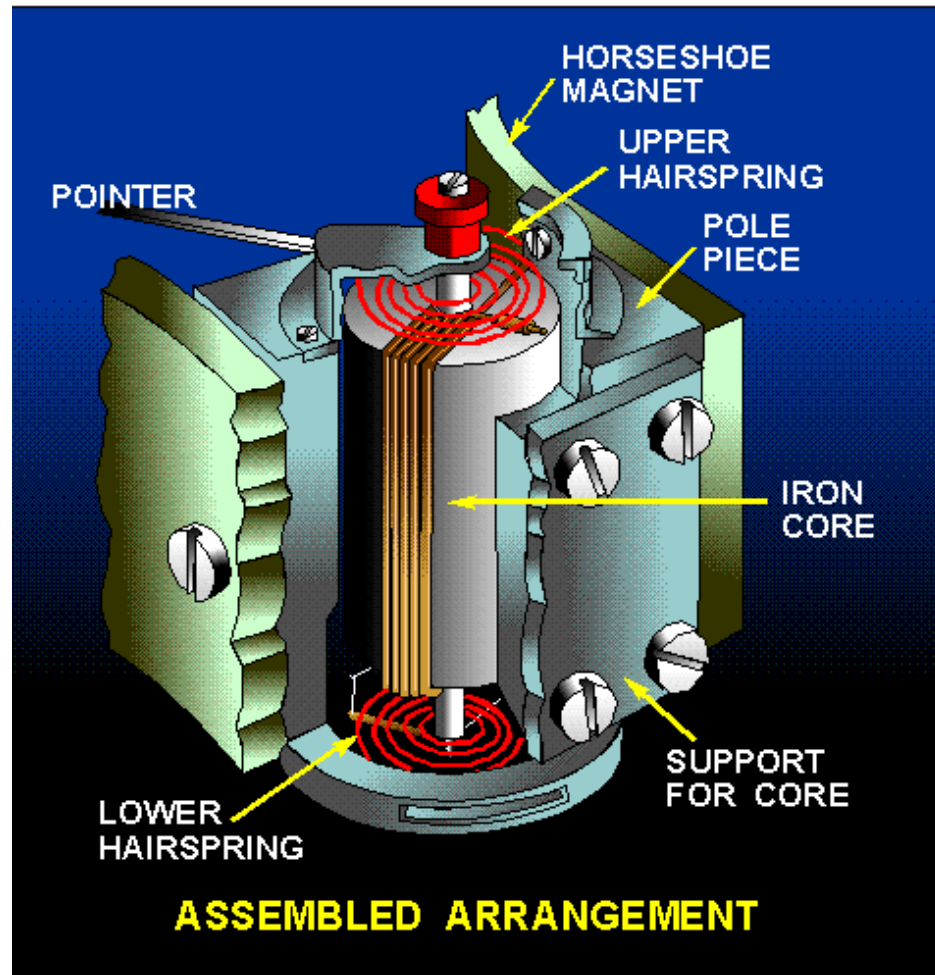
$$\alpha = SI$$



1 – magneți permanenți
2 – bobina mobilă



Instrumentul magnetoelectric - realizare





Instrumente magnetoelectrice

Concluzii:

- scară liniară pentru instrumentul magnetoelectric
- răspuns proporțional cu I nu U → Ampermetru și nu Voltmetru
- instrumentul are polaritate
- există cu 0 la stînga (de obicei gradate) sau cu 0 la mijloc (galvanometre, indicatoare de nul, uneori negradate)
- timp de răspuns: sute de ms... secunde



Instrumente magnetoelectrice

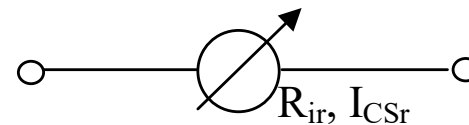
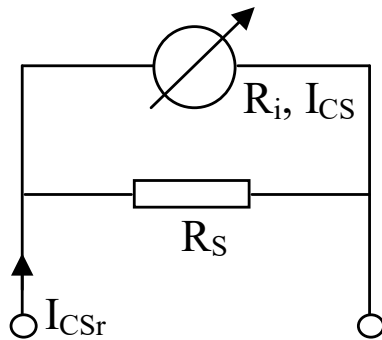
Concluzii:

- sârma foarte subțire → foarte sensibil → micro sau mili-ampermetru
- În c.a - oscilație în jurul valorii medii a curentului
- amplitudinea oscilației scade cu creșterea frecvenței cu 40 dB/decadă
→ **medierea** curentului variabil aplicat



Ampermetrul magnetoelectric de curent continuu cu mai multe scări

- Instrumentul magnetoelectric - micro sau miliampermetru
→ șunturi pentru mărirea domeniului





Ampermetrul magnetoelectric de curent continuu cu mai multe scări

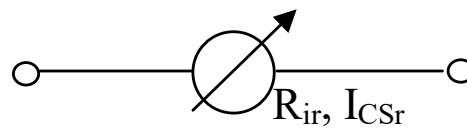
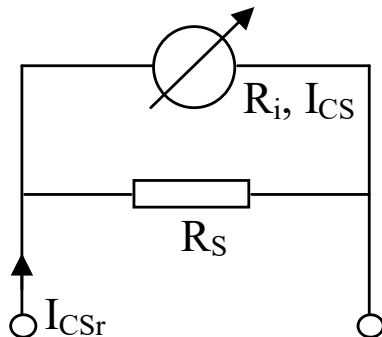
- Dorim ca:

$$I_{CSr} = nI_{CS}$$

$$I_{CS} = I_{CSr} \frac{R_S}{R_S + R_i}$$

$$\Rightarrow 1 = n \frac{R_S}{R_S + R_i} \Rightarrow R_S = \frac{R_i}{n-1}$$

$$R_{ir} = \frac{R_i R_S}{R_i + R_S} = \frac{R_i}{n}$$



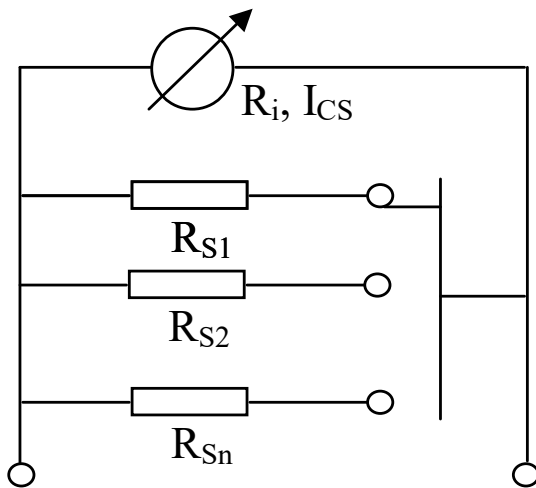


Instrumente cu mai multe scări cu șunturi individuale

- În acest caz căderea de tensiune la cap de scară este aceeași pentru toate scările:

$$U_{CS} = R_i \cdot I_{CS}$$

- ceea ce corespunde unor șunturi de rezistență:

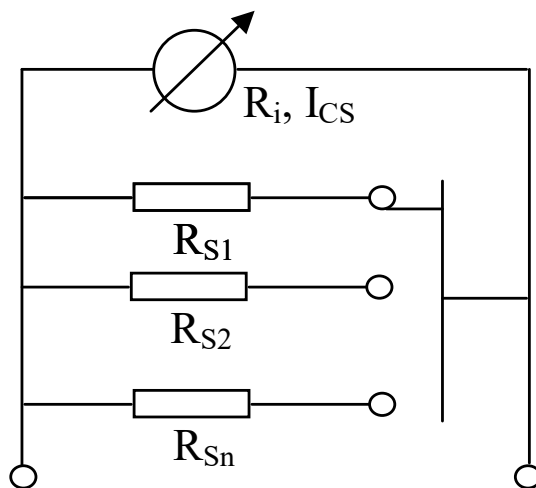


$$R_{Sk} = \frac{R_i}{n_k - 1}$$



Instrumente cu mai multe scări cu șunturi individuale

- Această soluție are un mare dezavantaj:
 - la comutare instrument fără șunt
 - instrumentul se poate arde
- precauții la construcția comutatorului:
 - cursorul trebuie să calce în permanență pe un contact.





Instrumente cu mai multe scări cu șunturi universale

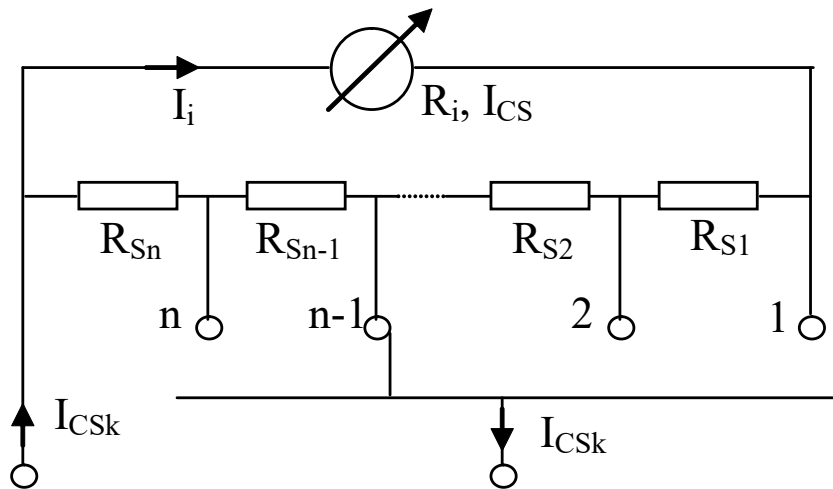
- Pentru $k=1$, comutatorul este pe poziția 1:

$$I_{CS} = \frac{\sum R_{Sk}}{R_i + \sum R_{Sk}} I_{CS1}$$

$$\frac{I_{CS1}}{I_{CS}} = \frac{R_{Tot}}{\sum R_{Sk}}$$

$$R_{Tot} = R_i + \sum R_{Sk}$$

$$\Rightarrow \sum R_{Sk} = R_{Tot} \frac{I_{CS}}{I_{CS1}}$$



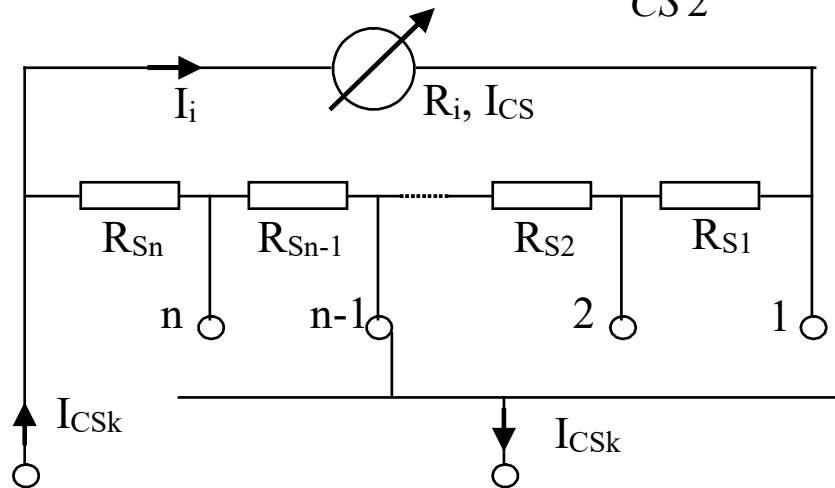


Instrumente cu mai multe scări cu șunturi universale

- Pentru $k=2$, rezultă

$$\frac{I_{CS2}}{I_{CS}} = \frac{R_{Tot}}{\sum R_{Sk} - R_{S1}} \Rightarrow \sum R_{Sk} - R_{S1} = R_{Tot} \frac{I_{CS}}{I_{CS2}}$$

$$R_{S1} = \sum R_{Sk} - R_{Tot} \frac{I_{CS}}{I_{CS2}} = R_{Tot} I_{CS} \left(\frac{1}{I_{CS1}} - \frac{1}{I_{CS2}} \right)$$





Instrumente cu mai multe scări cu șunturi universale

- Similar, pentru $k=3$, rezultă

$$\frac{I_{CS3}}{I_{CS}} = \frac{R_{Tot}}{\sum R_{Sk} - R_{S1} - R_{S2}} \Rightarrow \sum R_{Sk} - R_{S1} - R_{S2} = R_{Tot} \frac{I_{CS}}{I_{CS3}}$$

$$R_{S2} = R_{Tot} I_{CS} \left(\frac{1}{I_{CS2}} - \frac{1}{I_{CS3}} \right)$$

- și, din aproape în aproape

$$R_{Sk} = R_{Tot} I_{CS} \left(\frac{1}{I_{CSk}} - \frac{1}{I_{CS(k+1)}} \right) ; \quad k = 1, \dots, (n-1)$$



Instrumente cu mai multe scări cu șunturi universale

- Respectiv:

$$R_{Sn} = R_{Tot} I_{CS} \frac{1}{I_{CSn}}$$

- Alegem curenții de cap de scală în relația

$$I_{CSk} = \frac{1}{n_k} I_{CS(k+1)} \quad ; \quad k = 1, \dots, (n-1)$$

→ deducerea recursivă a rezistențelor de șunt R_{Sk} .



Instrumente cu mai multe scări cu șunturi universale

- Ampermetrele cu mai multe scări pe baza μA de mică sensibilitate ($I_{CS} = 200\text{--}1000 \mu\text{A}$)
- $I_{CS,k} = 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30 \text{ A}$
- Precizie:
 - clasa 0,2 și 0,5 în varianta de laborator
 - clasa 1; 1,5 (mai rar 2,5) în varianta de tablou (panourilor electrice, măsurători de curenți mari).



Voltmetrul magnetoelectric de curent continuu

- Aplicând legea lui Ohm:

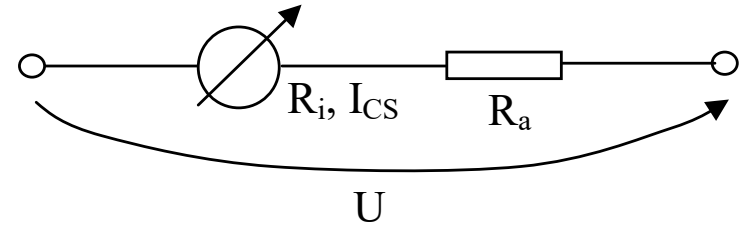
$$U = (R_a + R_i)I$$

- respectiv, pentru curentul de cap de scală:

$$U_{CS} = (R_a + R_i)I_{CS}$$

→ rezistența adițională serie

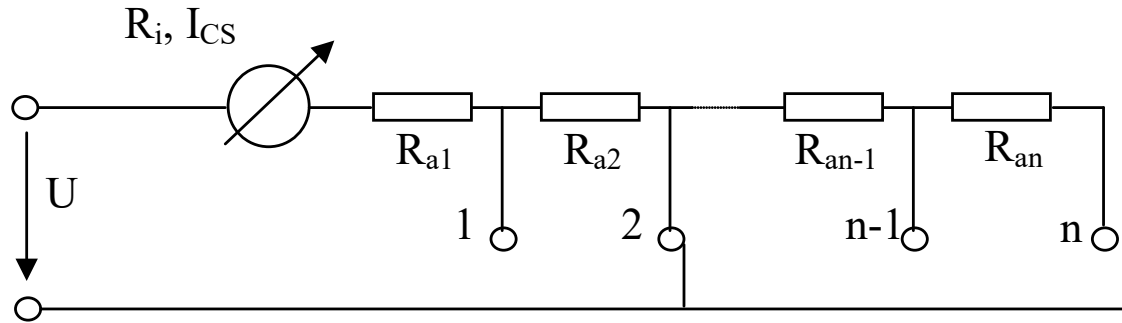
$$R_a = \frac{U_{CS}}{I_{CS}} - R_i$$





Voltmetrul magnetoelectric de curent continuu

- În cazul unui voltmetru cu mai multe scări



- rezultă pentru scara k:

$$\sum_{i=1}^k R_{ai} = \frac{U_{CSk}}{I_{CS}} - R_i$$

- iar pentru scara (k+1):

$$\sum_{i=1}^{k+1} R_{ai} = \frac{U_{CS(k+1)}}{I_{CS}} - R_i$$



Voltmetrul magnetoelectric de curent continuu

$$\rightarrow R_{a(k+1)} = \frac{U_{CS(k+1)} - U_{CSk}}{I_{CS}}$$

- notăm

$$U_{CS0} = R_i I_{CS}$$

- rezistența adițională serie de ordin (k+1) este

$$R_{a(k+1)} = R_i \frac{U_{CS(k+1)} - U_{CSk}}{U_{CS0}}$$



Voltmetrul magnetoelectric de curent continuu

- Observatii

$$R_{a(k+1)} \gg R_i$$

- Rezistența internă R_{int} a voltmetrului pe scara k este

$$R_{int,k} = R_i + \sum_{i=1}^k R_{ai} = \frac{U_{CSk}}{I_{CS}}$$

- deci variază de la o scară la alta.



Voltmetrul magnetoelectric de curent continuu

- valoare normată la tensiunea de cap de scală pentru toate scările

$$\frac{R_{\text{int},k}}{U_{CSk}} = \frac{1}{I_{CS}} \left[\frac{\Omega}{V} \right]$$

- **cât mai ridicată** → **mai puțină energie** din montajul de măsură
- Voltmetre de tablou: 0,5 – 3 kΩ/V,
- Voltmetre de laborator: 5 – 50 kΩ/V (voltmetrele electronice de c.c. asigură cel puțin 1 MΩ/V)



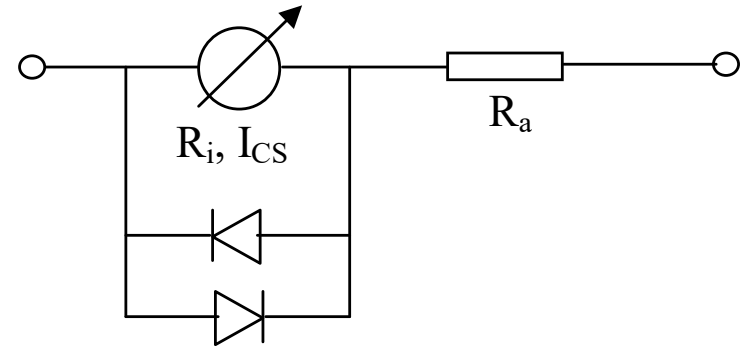
Voltmetrul magnetoelectric de curent continuu

- $U_{CS,k} = 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300 \text{ V.}$
- Aceeași precizie ca și la ampermetrele magnetoelectrice.



Voltmetrul magnetoelectric de curent continuu

■ Protecție



- La diode cu siliciu:
ptr. $U < U_{CS} = R_i I_{CS} \leq 0,3 V$
 $I_D < 1 \mu A$, deci nu se șuntează instrumentul
- Ptr. $U > 0,7 V$, dioda polarizată direct se deschide putând conduce un curent de 10 – 100 mA, șuntând instrumentul.