

Mérések

5. Előadás

Villamos mérőműszerek

A mérőműszereket fizikai működési elvük szerint a következőképpen csoportosíthatjuk:

- Elektromechanikus mérőműszerek
- Elektronikus analóg műszerek és
- Elektronikus digitális műszerek.

Elektromechanikus mérőműszerek

- A mérőmű lengő részének kitérését a mérendő villamos mennyiség közvetlenül létesíti. Az ehhez szükséges energia a mérendő körből származik, itt nincs szükség segédáramforrásra. Ez nagy előny, de hátrány is mivel a felvett áram befolyásolja a mérés tárgyát és a műszer érzékenysége korlátozott.

Elektronikus analóg műszerek

- Elektronikus alapáramkörökből épülnek fel, ezek működtetéséhez külső energiára, segédáramforrásra van szükség. Az elektronikus műszerek alig vesznek fel energiát a mérendő mennyiségből, ezért azt alig befolyásolják.
- Az analóg elektronikus műszerek kijelzője gyakran egy mutatós elektromechanikus mérőmű, de találkozunk katódsugárcsőves megjelenítésekkel is.

Elektronikus digitális műszerek

- A mérendő jelet digitális áramkörök segítségével digitális formában dolgozzák fel. Működtetésükhöz külső energiára van szükség, a mérendő mennyiségből felvett energia általában elhanyagolható nagyságú. Vannak műszerek amelyek a mérés folyamatában végig csak digitális mérési elvek alapján mérnek. Más műszerekben elektronikus analóg áramköröket is találunk.

Elektromechanikus mérőműszerek

- Az elektromechanikus mérőműszerek az energiát, amely a mérendő elektromos erőtől származik mechanikai vagy elektromos hatássá alakítják. Leginkább a villamos áram elektromechanikus hatását alkalmazzák, melynél a villmos áram és a mágneses mező mechanikus erőt gerjeszt, amely a mutatót a mérőskála előtt mozgatja, miáltal a skálán leolvasható az elektromos nagyság értéke.

Az elektromechanikus mérőműszerek néhány fajtája

Magneto-elektromos

Alkalmazás:

- Egyenáram mérése

Hatás

- Az áram és az állandó mágnes között

Példák

- Lengőtekerceses műszer
- Hányadosmérők (kereszttekerceses műszer)
- Lengőmágneses műszer

Feromágneses

Alkalmazás:

- Egyenáram és váltóáram mérése

Hatás

- Az áram és lágymas között

Példák

- Lágymasas műszer

Elektrodinamikus

Alkalmazás:

- Egyenáram és váltóáram mérése

Hatás

- Két áram között

Példák

- Elektrodinamikus műszer
- Ferrodinamikus műszer

Termoelektromos

Alkalmazás:

- Egyenáram és váltóáram mérése

Hatás

- Az áram hőhatása

Példák

- Hőhuzalos műszer
- Bimetálos (ikerfémes) műszer
- Hőátalakítós műszer

Elektrosztatikus

Alkalmazás:

- Egyenáram és váltóáram mérése

Hatás

- Elektrosztatikus mező

Példák

- Multicelularis voltméter

Indukciós

Alkalmazás:

- Egyenáram és váltóáram mérése

Hatás

- Váltakozó elektromágneses tér

Példák

- Indukciós műszer

Ezen előadás keretében:


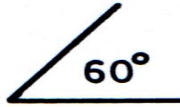




- a lengőtekerceses,
 - a lágyvasas és
 - az elektrodinamikus műszerekkel
- fogunk főként foglalkozni.

Az elektromechanikus műszerek skálalapján általában felvannak tüntetve a műszer legfontosabb adatai: pontossági osztály, váltó- illetve egyenáram amelyet a műszer mér, vizsgálati feszültség, a műszer helyzete mérés közben (vizzintes, függőleges, ferde) és hasonlók:

~ 1.5 L ☆



<p>Állandómágneseű, lengőtekerccses mérőmű</p>	
<p>Állandómágneseű, kereszttekerccses mérőmű</p>	
<p>Lengőmágneseű mérőmű</p>	
<p>Lágyvasas mérőmű</p>	

Vízszintes skálalappal használandó műszer	
Vízszinteshez képest dőlt skálalappal hasz- nálandó műszer (pl. 60°)	
Egyenáramú kör	
Váltakozó áramú kör	
Egyenáramú és váltako- zó áramú kör	
Háromfázisú váltakozó áramú kör	
Pontossági osztály jel. A konvencionális érték %-a (pl. 1.5 %)	1,5

Működési elv

A működés alapelve azon alapul hogy a mérendő elektromos nagyság mechanikai erővel hat a műszer mozgó részére. Ezen erő hatása azt eredményezi hogy a műszer mozgó része a hozzá erősített mutatóval az álló részhez viszonyítva elmozdul. A mutató kitérése a mért nagyságtól függ. A mutató stabil helyzetét mechanikai úton kell biztosítani, azaz biztosítani az egyensúlyi helyzetet akkor is ha elektromos erő hat a mozgórészre. Ez úgy érhető el ha beépítünk egy szerkezetet, amely a mutatót visszatéríti az alaphelyzetbe, ha a bemenetek nyitottak, ha műszer bemenetére nem csatlakoztatunk villamos nagyságot.

A műszerbe lengéscsillapítót kell beépíteni, hogy a fellépő oszcilációkat elfojtsa. Ezen rendszer hatását csillapító nyomatékknak hívjuk.

A klasszikus mutatók helyett néhány speciális műszerben fénysugarat használunk, mert így csökkentjük a mozgórész tehetetlenségi nyomatékát, ami kedvező a nagyon kicsi villamos nagyságok mérésénél.

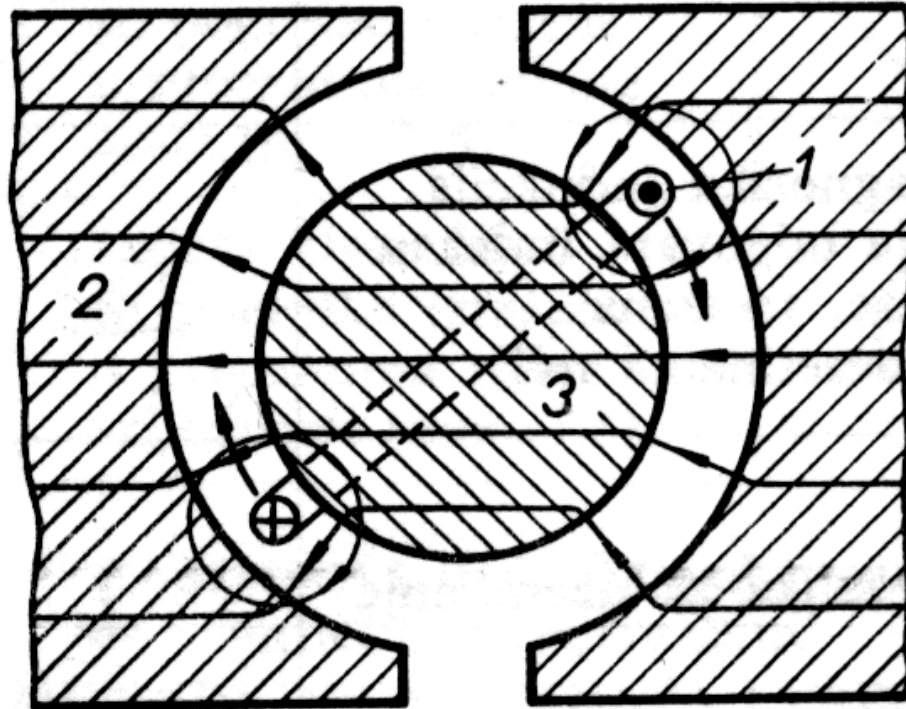
Nagy pontosságú műszerkbe mindig nagyon vékony mutatókat építenek (fénymutatós rendszer)

A mérőskálák igénytől függően különböző beosztásúak lehetnek (lineáris, exponenciális, logaritmikus, négyzetes stb.) A lineáris skálabeosztásnak előnyei vannak, a leolvasást mindig a skála második és harmadik harmadán kell végezni. Kis értékek mérésénél előnyös a logaritmikus skála, míg a harmadik harmadani leolvasásoknál a négyzetes skála felbontása jobb a lineárisnál.

Állandó mágnesű, lengőtekerccses (Deprez) mérőmű

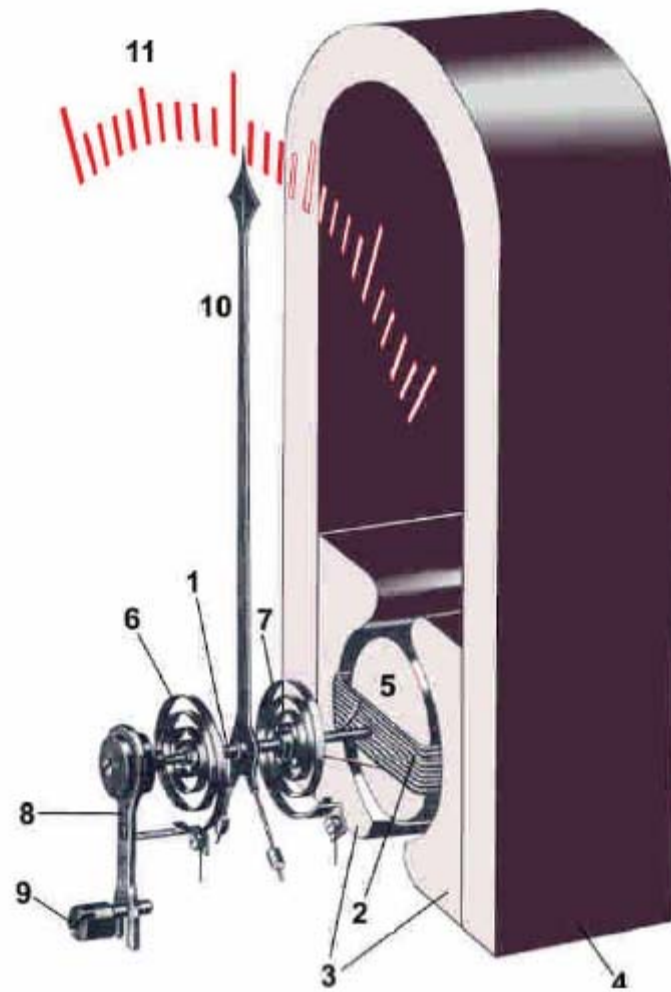
A lengőtekerccs, amelynek vezetőiben a mérendő áram folyik állandó mágnes által létesített mágneses térben helyezkedik el. Ha egy l hosszúságú vezetőben, B indukciójú mágneses térben, I áram folyik, akkor B -re és I -re merőlegesen elektromechanikai erőhatás lép fel.

Az ábrán (3) jelölt rész mágneses anyagból van, és a mágneses indukció erővonalait is ábrázoltuk. A mutató a mozgórészsel együtt mozog.



A lengőtekerccses műszer vázlatos rajza

1. A lengőtekerccs
2. Az állandó mágnes pólusai
3. A lágyvasból készült vasmag



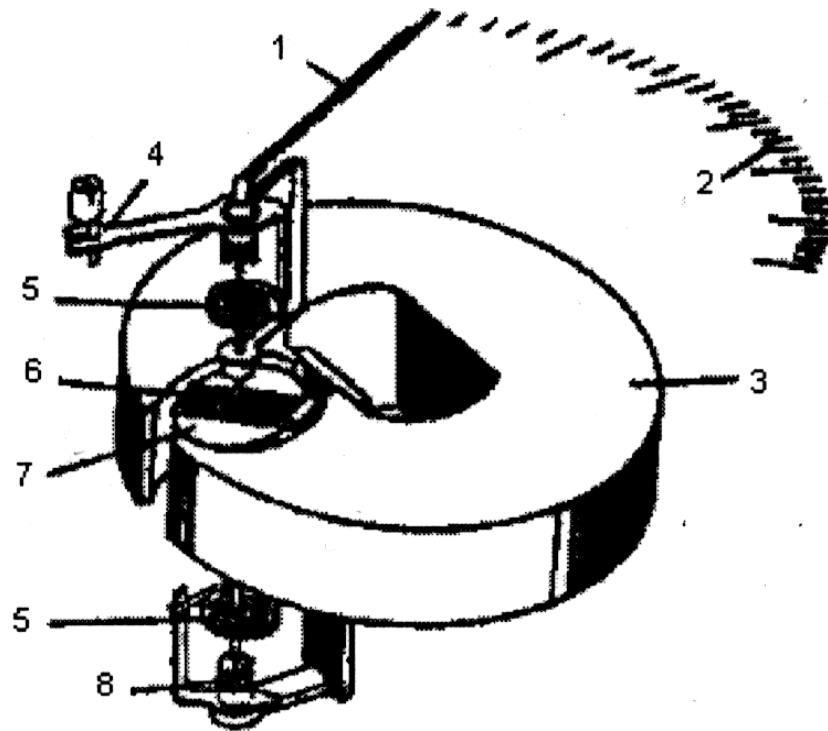
Deprez műszer felépítése

Az N menetszámú tekercsre ható erő:

$$F = NIBl$$

ahol:

- N -menetszám,
- B -az állandó mágnestől eredő tér indukciója,
- I -a tekercsen átfolyó áram és
- l -a tekercs azon részének a hossza amely merőleges a mágneses térre.



- 1 – mutató, 2 – skála, 3 – állandó mágnes,
4 – a mutató nulhekyzetbe állítása, 5 – spirálrugó,
6 – lengőtekerecs, 7 – lágyvasból készült vasmag,
8 – a lengőtekerecs tengelyének csapágyazása

A lengőrészre ható mágneses nyomaték

$$M_1 = \Phi_0 I$$

arányos a tekercsen átfolyó egyenárammal.

A mágneses nyomatékot egy rugó ellensúlyozza, amelyet úgy választanak meg, hogy nyomatéka lineárisan függ az elfordulás szögétől. Ezzel összhangban a nyomaték:

$$M_2 = -D\alpha$$

ahol:

- D -rugóállandó,
- α -a tekercs elfordulásszöge

Egyensúlyi helyzetben a forgástengelyre ható nyomatékok összege

$$M_1 + M_2 = 0$$

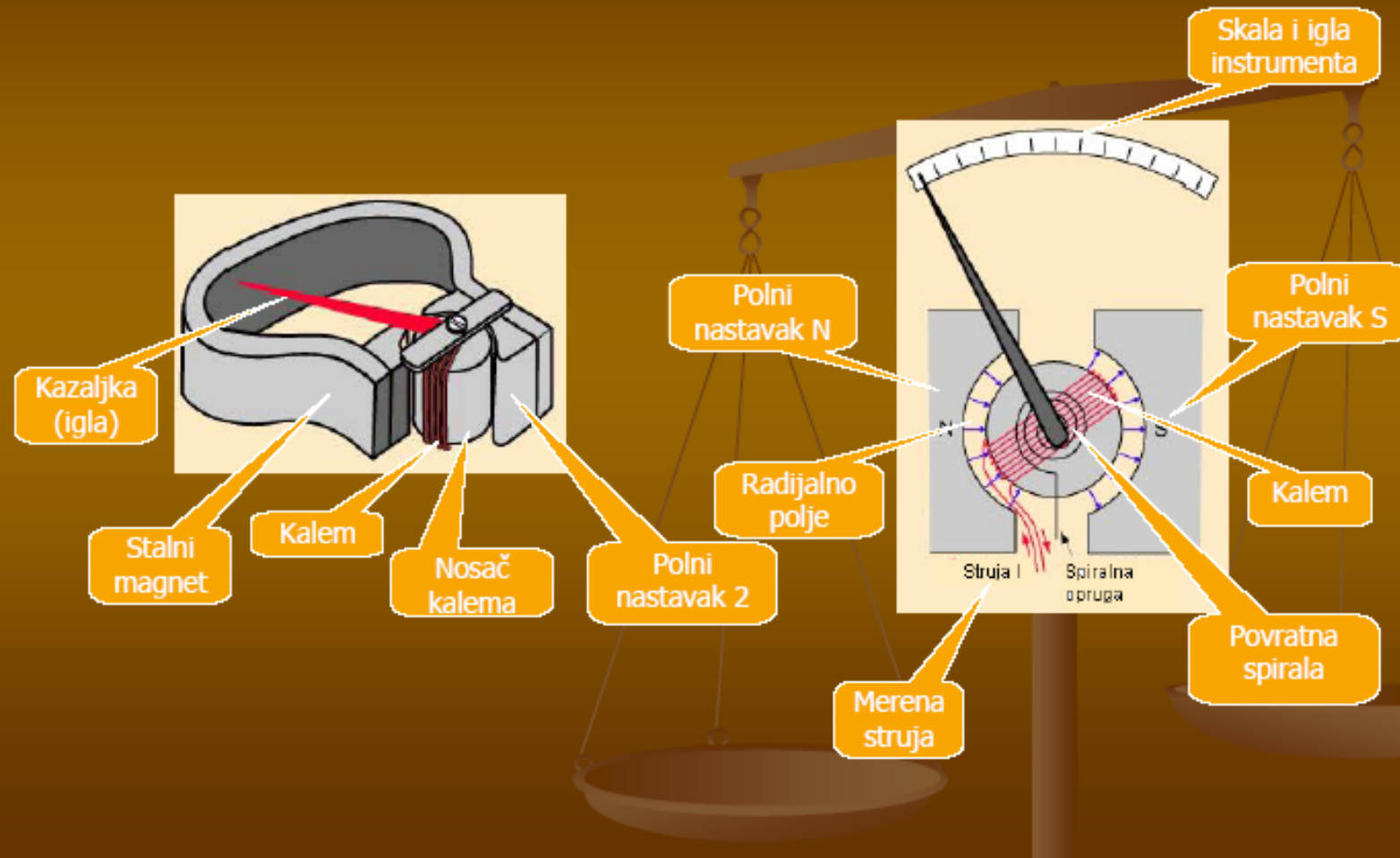
ebből kifejezve a mutató elfordulásának szöge α arányos az I árammal:

$$I = \frac{D}{\Phi_0} \alpha = C_i \alpha$$

A $C_i = D/\Phi_0$ arányt áramállandónak hívjuk, és A/rad-ban fejezzük ki.

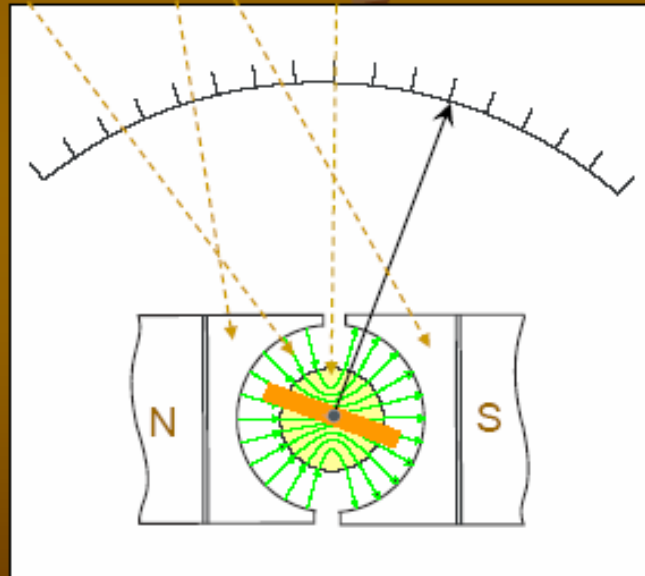
Instrument sa kretnim kalemom u stalnom magnetnom polju

- Konstruktivni izgled i princip rada ampermetra:

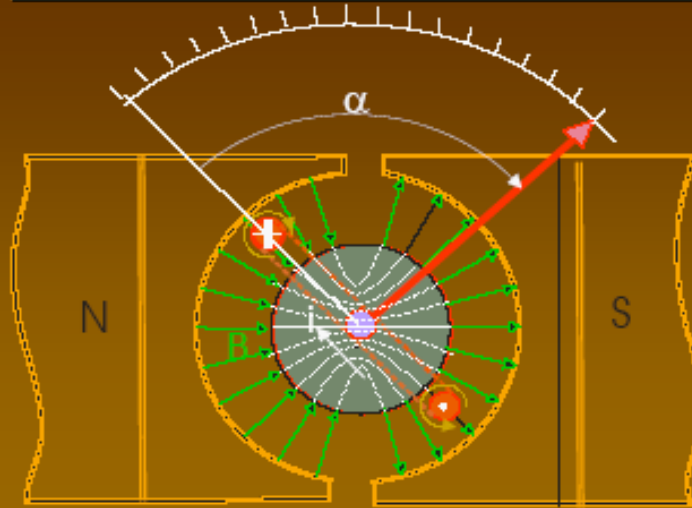


Radijalno magnetno polje

- Radijalno magnetno polje formira se u prostoru između polnih nastavaka magneta (N-S) i nosača obrtnog kalema.



Instrument sa kretnim kalemom u stalnom magnetnom polju

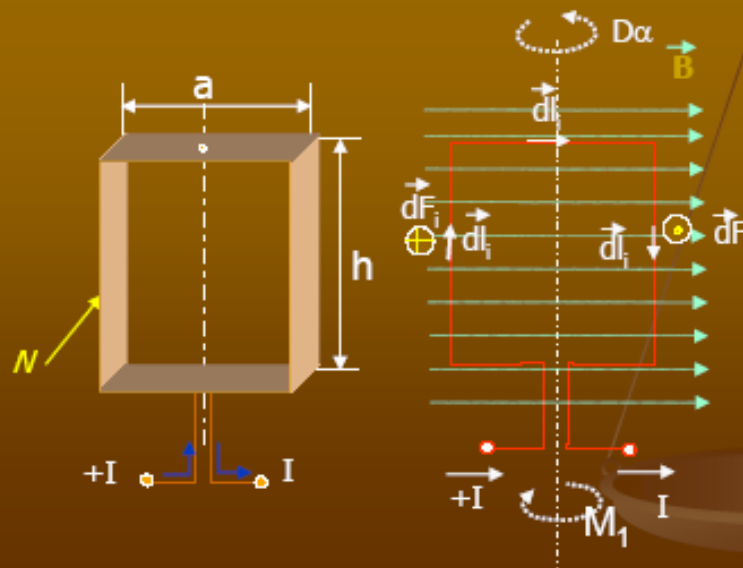


$$\vec{dF}_i = I \left(\vec{dl}_i \times \vec{B} \right)$$

$$d\vec{M}_i = a \vec{dF}_i$$

$$M_1 = ahBI = SBI$$

$$M_N = NahBI = NSBI = D\alpha$$



$$\alpha = \frac{NSB}{D} I$$

$$\alpha = kI$$

$$k = \frac{NSB}{D}$$

Egyenáram mérésére lengőtekerceses állandómágneseű, kereszt tekerceses, valamint lengőmágnesees műszereket alkalmazunk. A lengőmágnesees műszerek a lengőtekerceses műszerekhez hasonlóan viselkednek azzal a különbséggel, hogy a mozgó részük állandó mágnes, az állórészük pedig tekerces.

Ha az ilyen műszert váltakozó áram mérésére használjuk, a mutató csak a lassú változásokat tudja követni. A műszer csak a nagyon lassú változásoknál képes követni a pozitív félperiódus változásait, a tehetetlenségből eredő hibával, ami a mérőmű dinamikus jellemzői közé tartozik. Amennyiben a változások gyorsak, a műszer az áram középértékét fogja mutatni. Ha ilyen mérőművel váltakozó (szinuszos) áramot mérünk, melynek a középértéke egyenlő nullával, a műszer nullát fog mutatni, és a nulla körüli kisebb vagy nagyobb mértékben oszcillálni fog.

Galvanométerek

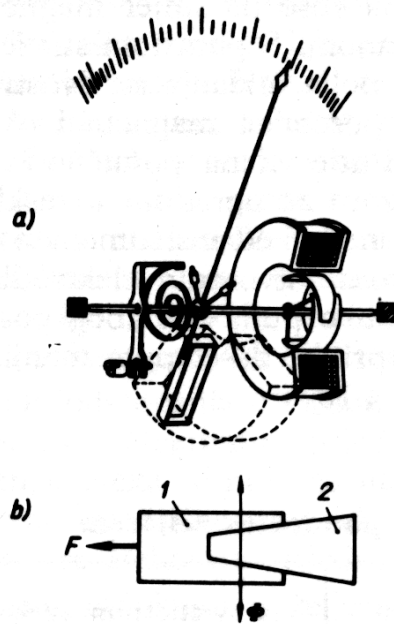
A **galvanométerek** rendkívül érzékeny villamos műszerek, melyek alkalmasak nagyon kicsiny áramok (10^{-12} A) és nagyon kicsiny egyenfeszültségek (10^{-9} V) mérésére. Emellett a műszer fogyasztása is igen alacsony, elérheti a 10^{-11} W. Egyenáramok és egyenfeszültségek közvetlen összehasonlító mérőmódszereinél használjuk (kompenzációs módszerek) vagy mint érzékeny egyensúly indikátorokat (nulla-detektorok).

A **legőtekerceses galvanométerek** felépítésüket tekintve nem különböznek a többi állandómágneseű lengőtekerceses műszertől. Elemezve a műszerek érzékenységet leíró kifejezést belátható hogy a B indukció növelésével, az N menetszám növelésével és a D rugóállandó csökkentésével növelhető az érzékenység.

A menetszám növelésén kívül a másik feltételek nehezen megvalósíthatóak, így a megoldás a mechanikai konstrukcióban rejlik. A mutatót kell meghosszabbítani hogy nőjön a felbontás, de úgy hogy a tehetetlenség ne növekedjen. A megoldás: fénymutató alkalmazása.

Ballisztikus galvanométer olyan különleges kialakítású lengőtekerceses galvanométer, amely rövid ideig tartó áramimpulzusok esetén a műszeren áthaladó töltés mennyiségét méri. Mivel a mérendő mennyiségre jellemző kitérést a lengőrész nyugalomba jutása előtt kell leolvasni, a leolvasás pontossága miatt a lengőrész mozgásának lassúnak kell lenni, azaz az önlengési ideje az impulzushoz képest nagy kell hogy legyen. Az első maximális kitérés arányos az áthaladó töltésmennyiséggel. Ezt a kitérést ballisztikus kitérésnek nevezzük.

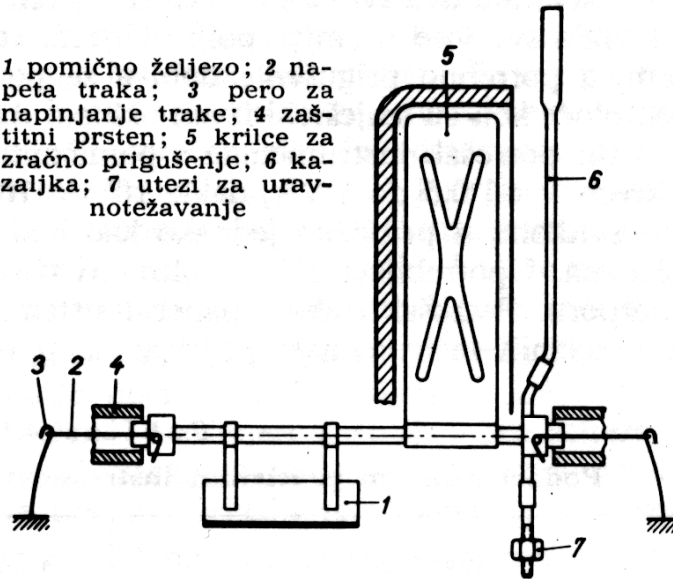
Lágyvasas műszerek



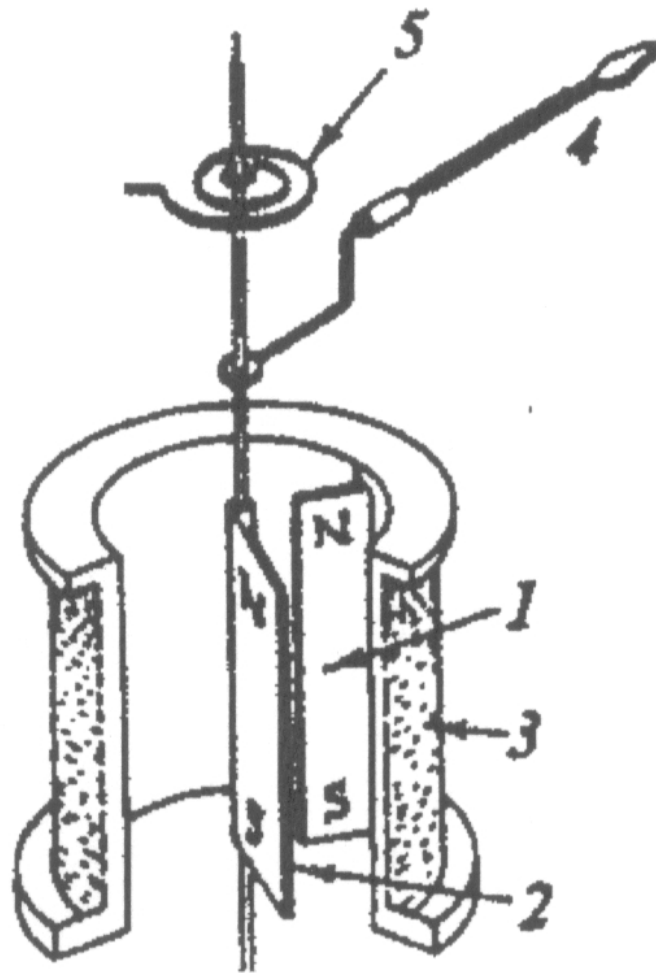
Slika 4.100. Instrument s pomičnim željezom i okruglim svitkom: a) osnovni raspored mjernog sistema; b) međusobno djelovanje željeznih listića

1 pomični željezni listić; 2 nepomični željezni listić; F sila na pomični listić; Φ magnetski tok svitka

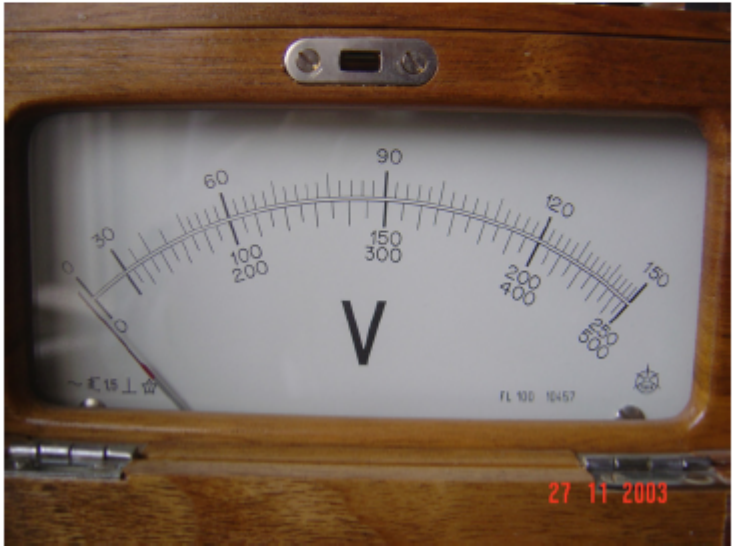
1 pomično željezo; 2 napeta traka; 3 pero za napinjanje trake; 4 zaštitni prsten; 5 krilce za zračno prigušenje; 6 kazaljka; 7 utezi za uravnotežavanje



Slika 4.101. Pogonski instrument s pomičnim željezom s trakom napetim sistemom



Instrument sa pokretnim gvoždem



A lágyvasas műszerek állórésze egy tekercs, a lengőrésze pedig lágyvas darab. A mérendő villamos mennyiséggel arányos áramot a tekercsbe vezetjük, amelynek hatására a tekercs körül mágneses tér alakul ki. A tekercs közelében elhelyezett lágyvasdarabot a tekercs felmágnesezi, és a tekercs belseje felé húzza, vagy a tekercsben lévő lágyvasak azonos pólusai taszítják egymást. A visszatérítő nyomatékot itt is rugó biztosítja.

I egyenáram mérésekor a mágneses tér energiája

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2$$

ahol L a tekercs induktivitása. A lágyvas elmozdulása (elfordulása) hatására változik a tekercs induktivitása így a mágneses nyomaték:

$$M_1 = \frac{dW_m}{d\alpha} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

Egyidejűleg a tengely elfordulása miatt megváltozik a rugó által létrehozott nyomaték

$$M_2 = -D\alpha$$

A nyomatékegyensúlyból közvetlenül megkapjuk az elfordulás szögét:

$$\alpha = \frac{1}{2D} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

A mutató elfordulásszöge arányos a mért egyenáram négyzetével, így négyzetes skálabeosztást kell alkalmazni. Mivel a műszer elemeinek megszerkesztésével kihathatunk a lágvas tekercshez viszonyított relatív helyzetére lineáris skálát is kaphatunk a teljes kitérés 20% és 100%-a között.

$i(t)$ váltakozó áram mérése esetén, a tekercsen átfolyó áram nyomatékának pillanatnyi értéke:

$$m_1(t) = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

és a nyomatékváltozás sebessége megfelel az $i(t)$ áramváltozás sebességének. A műszer mozgórésze a tehetetlenség miatt nem tudja követni változásokat hanem a pillanatnyi nyomatékok középértéke által meghatározott helyet foglalja el.

A mágneses nyomaték középértéke:

$$M_1 = \frac{1}{T} \int_0^T m_1(t) dt = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

figyelembe véve a váltakozó áram I effektív értékének definícióját. Egyensúlyi helyzetben a kitérés

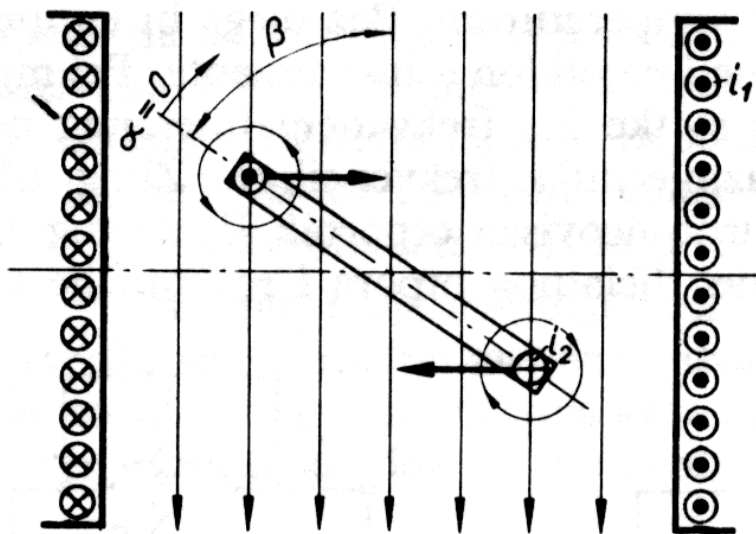
$$\alpha = \frac{1}{2D} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

Az előző egyenlet szerint a műszer kitérése arányos az effektív érték négyzetével függetlenül a periodusos jel alakjától. Ez a típusú műszer a “true RMS” jelzést viseli azaz pontos effektív érték mérő.

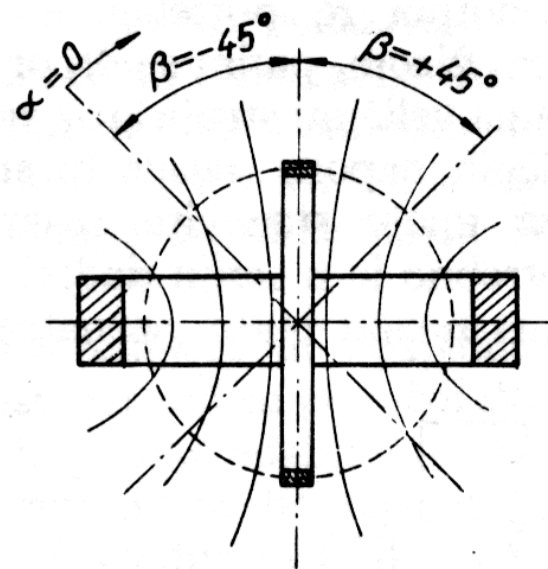
Ezeket a műszereket alacsonyabb frekvenciájú váltakozó áramok és feszültségek mérésére használjuk, a hiszterézis és örvényáramos veszteségek miatt. Egyenáramon való méréseknél jelentkezik az un. hiszterézis vagy egyenáramú hiba. Oka az alkalmazott lágyvas hiszterézis görbéje. Ez a hiba úgy jelentkezik, hogy a műszer más-más kitérést mutat ha ugyanazt az egyenáramot alulról vagy felükről közelítjük meg.

Elektrodinamikus műszerek

A Deprez-műszerek lengőtekercse állandó mágnes által létrehozott mágneses térben mozdul el. Ha ezt a mágneses teret nem állandó mágnes, hanem egy gerjesztett tekercs hozza létre, elektrodinamikus műszerről beszélünk. A kitérítőnyomaték az álló- és a lengőtekercs kölcsönhatásából jön létre, amelynek nagysága a tekercsekben folyó áramoktól függ. A tekercsekben folyó áramok függetlenek egymástól. A mozgó tekercs egyensúlyi állapotát a rászerezelt spirálrugó biztosítja a visszatérítő nyomaték létrehozásával.



Slika 4.80. Osnovni raspored elektrodinamskog instrumenta bez željeza



Slika 4.81. Magnetsko polje elektrodinamskog instrumenta bez željeza, s kratkim nepomičnim svitkom

A tekercsekben folyó áramoktól származó energia:

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2$$

ahol L_1 , L_2 és M az álló és mozgó tekercs öninduktivitása és kölcsönös induktivitása, az i_1 és i_2 a tekercsekben folyó áramok. A mágneses nyomaték pillanatnyi értéke:

$$m_1(t) = \frac{dW_m}{d\alpha} = i_1 i_2 \frac{dM}{d\alpha}$$

mivel a tekercsek öninduktivitása a mozgótekercs elfordulásakor gyakorlatilag változatlan. A mechanikai elemek megfelelő kialakításával elérhető hogy a kölcsönös indukció változása a mozgótekercs elfordulásának függvényében állandó maradjon (korlátos intervallumban) ezáltal a mágneses nyomaték pillanatnyi értéke arányos a tekercsekben folyó áramok pillanatnyi értékének szorzatával.

$$m_1(t) = k i_1 i_2, \quad k = \frac{dM}{d\alpha} = \text{Const.}$$

A lengőrész tehetetlensége miatt nem tudja követni az áram pillanatnyi értékének gyors ingadozását (változását) így a kitérés a forgatónyomaték átlagának fog megfelelni, ami:

$$M_1 = \frac{1}{T} \int_0^T m_1(t) dt = \frac{k}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt$$

Kapcsoljunk a tekercsekre azonos frekvenciájú, szinuszosan váltakozó áramokat melyek effektív értéke I_1 , I_2 valamint az egymáshoz viszonyított fáziseltolás ϕ a nyomatékot a következő képlet alapján számítjuk:

$$M_1 = k I_1 I_2 \cos \phi$$

Az elektrodinamikus műszer mutatójának kitérését a visszatérítő nyomaték határozza meg:

$$M_2 = -D\alpha \quad \text{így}$$

$$\alpha = \frac{k}{D} I_1 I_2 \cos \phi$$

Az egyenáramok közötti fázistolás nulla, így a kitérés

$$\alpha = \frac{k}{D} I_1 I_2$$