

Električna merenja 1

9. Merni instrumenti

9. MERNI INSTRUMENTI

9.1 Uvod

- ❖ Merni instrumenti služe za direktno merenje električnih parametara i veličina.
- ❖ Najčešće se koriste za merenje:

Parametri

- otpornost
- kapacitivnost
- induktivnost (sopstvena ili međusobna)

Veličine

- struja
- napon
- snaga
- energija
- fluks
- frekvencija
- indukcija

Podela mernih instrumenata

❖ Danas je teško dati savršenu podelu mernih instrumenata.

Podela prema principu rada na:

- električne merne instrumente i
- elektronske merne instrumente
 - Kod njih se korišćenjem elektronskih sklopova i podsklopova (delitelji napona, množači, diferencijatori, usmerači, pojačavači itd.) dobija izlazni signal koji je u svakom trenutku proporcionalan ulaznom signalu.

Podela mernih instrumenata

Podela prema načinu kako se obrađuje ulazni signal i kako se određuje brojna vrednost merene veličine na:

- analogne i
- digitalne

- **Analogni** - pokazivanje ili izlazni signal je kontinualna funkcija ulaznog signala, odnosno merene veličine.
- **Digitalni** - kod njih se kontinualni ulazni signal digitalizuje - pretvara u niz numeričkih vrednosti, potom se obrađuje u mikroprocesoru i na kraju se i izlazni signal dobija u digitalnom obliku.
- **Analogni** - indikator vrednosti merene veličine je skala sa kazaljkom.
- **Digitalni** - indikator merene veličine je cifarski displej na kome je vrednost merene veličine data u brojčanom obliku.

Podela mernih instrumenata

- ❖ Ova podela nije idelana jer postoji niz preklapanja.
- ❖ Podele treba shvatati uslovno.

Preklapanja:

- ❖ Većina elektronskih mernih instrumenata su **hibridnog karaktera** pošto koriste i analogne signale (prilagođenje ulaza elementu za digitalizaciju) i digitalne signale (izlazni stepeni, displeji).
- ❖ Posebna kategorija su **programabilni digitalni instrumenti** koji se mogu programirati - ceo merni postupak se programira u napred, može da radi sam.
- ❖ Danas postoje **digitalni instrumenti sa analognom kazaljkom.**
- ❖ Razvoj mikroprocesora je omogućio **povezivanje** više pojedinačnih uređaja (instrumenata) **preko interfejsa** i **upravljanje njihovim radom sa jednog mesta**, čak i bez prisustva čoveka, i na daljinu.

Podela mernih instrumenata

- ❖ Razvoj mikroprocesora omogućio je i da sam instrument pre upotrebe proverava svoju ispravnost, vrši podešavanje (**self tuning**), kao i eventualno dijagnostiku kvarova.
- ❖ Danas su popularni '**virtuelni instrumenti**' - vrši se samo digitalizacija ulaznih veličina, a kompletna obrada rezultata vrši se na personalnom računaru.
Tako da **računar preuzima ulogu mernog instrumenta.**

9. 2. ELEKTRIČNI MERNI INSTRUMENTI

- ❖ Električni merni instrumenti služe za **direktno merenje niza električnih** veličina (napon, struja, snaga, energija, frekvencija).
- ❖ Konstrukcija ovih instrumenata je relativno jednostavna, pa su vrlo pouzdani u radu.
Ne zahtevaju posebno napajanje.

Klase tačnosti: preciznijih instrumenata su 0.1 .
Ređe, kod specijalnih konstrukcija 0.05.

9. 2. ELEKTRIČNI MERNI INSTRUMENTI

9.2.1 Princip rada

- ❖ **Pokazivanje instrumenta** je posledica dejstva same merene električne veličine na pokretni deo instrumenta - kretni sistem.
- ❖ Kretanje kretnog sistema - linearno ili kružno.

- ❖ Kazaljka je povezana sa kretnim sistemom tako da se i ona pomera zajedno sa njim.
- ❖ Otklon kazaljke jednoznačno određuje vrednost merene veličine.

- ❖ Kod električnih mernih instrumenata koriste se dva dejstva električne veličine:
 1. **elektromehaničko** - kao posledica dejstva elektromagnetne ili elektrostaticke sile.
 2. **termičko** - kao posledica zagrevanja.
Termičko dejstvo se može određenim sklopovima pretvoriti u mehaničko dejstvo ili primenom određenih elemenata (termoparovi) u čisto električno.

9.2.1 Princip rada

- ❖ Dejstvo merene veličine na kretni organ stvara kretni momenat (spreg).
- ❖ Uobičajeno je da se ovaj momenat naziva **aktivni momenat**.

- ❖ **Aktivni momenat** je posledica promene elektromagnetne ili elektrostatičke energije sistema W_e usled dejstva merne veličine i otklona kretnog sistema:

$$M_a = \frac{dW_e}{d\alpha}, \text{ odnosno } M_a = \frac{dW_e}{dx}$$

gde su:

W_e - elektromagnetna ili elektrostatička energija sistema,

α - otklon kretnog sistema,

x - merena veličina.

9.2.1 Princip rada

- ❖ Pod dejstvom aktivnog momenta, kretni sistem bi se neprestano kretao dokle god postoji dejstvo merene veličine.
- ❖ Da bi se sistem zaustavio u nekom položaju, koji odgovara vrednosti merene veličine, na njega mora delovati još jedan momenat koji ima suprotno dejstvo, odnosno momenat koji će se suprotstaviti kretanju mernog sistema.
- ❖ Taj momenat se naziva **otporni moment** M_o i on mora biti funkcija otklona kretnog sistema α .

$$M_o = f(\alpha)$$

- ❖ On ima funkciju da vraća kretni sistem u prvobitni položaj po prestanku dejstva merene veličine.

9.2.1 Princip rada

❖ Položaj kretnog sistema za koji je aktivni momenat M_a jednak otpornom momentu M_o :

$$M_a = M_o$$

određuje vrednost otklona kretnog sistema koji odgovara vrednosti merne veličine.

Tada je:

$$\alpha = f(x)$$

gde su: α - otklon, x - merena veličina.

9.2.1 Princip rada

❖ Zavisno od mernog instrumenta, postoje dva tipa aktivnog momenta:

$$M_a = f(x) \quad - \text{ Funkcija samo merene veličine.}$$

$$M_a = f(x, \alpha) \quad - \text{ Funkcija merene veličine i otklona.}$$

❖ Postoje dva tipa otpornog momenta:

$$M_o = f(\alpha) \quad - \text{ Funkcija samo otklona.}$$

$$M_o = f(\alpha, x) \quad - \text{ Funkcija otklona i merene veličine.}$$

❖ U praksi se teži, da se koristi prvi tip otpornog momenta, a kao **dodatni zahtev se postavlja uslov da on bude linearan:**

$$M_o = c \cdot \alpha$$

gde je c - konstanta.

9.2.1 Princip rada

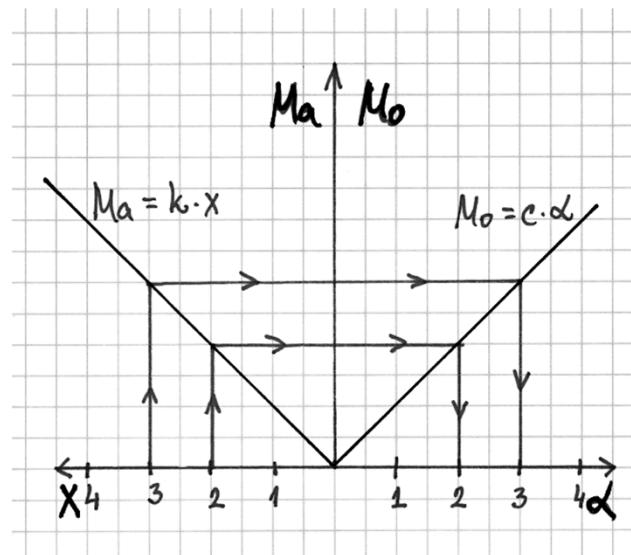
❖ Kod postojećih vrsta električnih instrumenata, zavisno od njihovog principa rada, javljaju se tri kombinacije tipova aktivnog i otpornog momenta.

- $M_a = f(x)$
 $M_o = f(\alpha)$
 - magnetoelektrični instrumenti
 - indukcioni instrumenti
 - ferodinamički instrumenti
- $M_a = f(x, \alpha)$
 $M_o = f(\alpha)$
 - instrumenti sa kretnim gvožđem
 - elektrostatički instrumenti
 - elektrodinamički instrumenti
- $M_a = f(x, \alpha)$
 $M_o = f(\alpha, x)$
 - logometarski instrumenti

9.2.1 Princip rada

❖ Ako su poznate zavisnosti aktivnog i otpornog momenta od merene veličine x i otklona kretnog sistema α , moguće je odrediti **karakter podele na skali instrumenta**.

❖ Podela na skali, odnosno skala, može biti:
linearna, kvadratna, logaritamska ili neka druga.



9.2.2. Konstruktivni elementi električnih mernih instrumenata

- ❖ Električni merni instrumenti se sastoje od niza elemenata koji omogućavaju njihov ispravan i pouzdan rad.
- ❖ Kvalitet i preciznost ovih elemenata bitno utiče na tačnost instrumenta.
- ❖ Ti elementi su:
 - osovine
 - ležišta
 - elementi za stvaranje aktivnog momenta
 - elementi za stvaranje otpornog momenta
 - elementi za prigušenje
 - skale
 - kazaljke

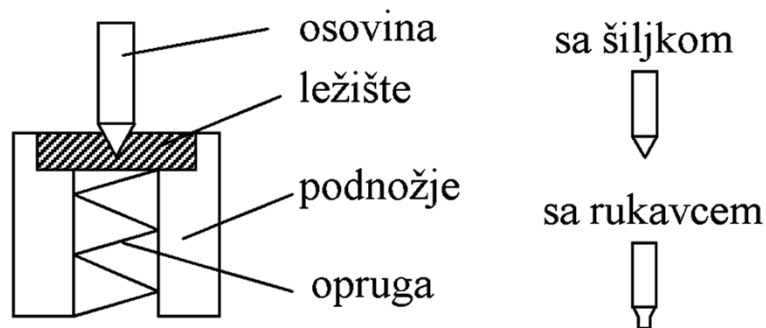
Osovine

- ❖ Nose na sebi kretni sistem i omogućavaju njegovo zakretanje.
- ❖ Moraju biti mehanički čvrste.
- ❖ Izrađuju se od neferomagnetnog materijala.

Ležišta

- ❖ Omogućavaju zakretanje (pomeranje) kretnog sistema, pošto se u njima oslanjaju osovine.
- ❖ Ležišta moraju biti:
 - mehanički i temperaturno stabilna,
 - sa malim koeficijentom trenja,
 - sa malim zazorom,
 - od neferomagnetnog materijala,
 - otporna na hemijske uticaje.
- ❖ Konstruktivno, najčešće se prave ležišta za osovine sa šiljkom ili rukavcem.

Izgled ležišta instrumenata



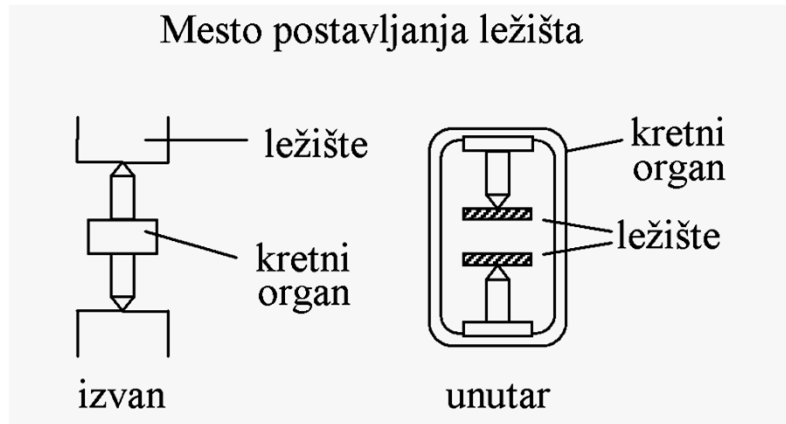
-Kao materijal za ležišta se koristi bronza ili tvrdi kamen (rubin, safir).

-Ležišta izrađena od kamena su osetljivija na mehaničke udare i vibracije od bronzanih.

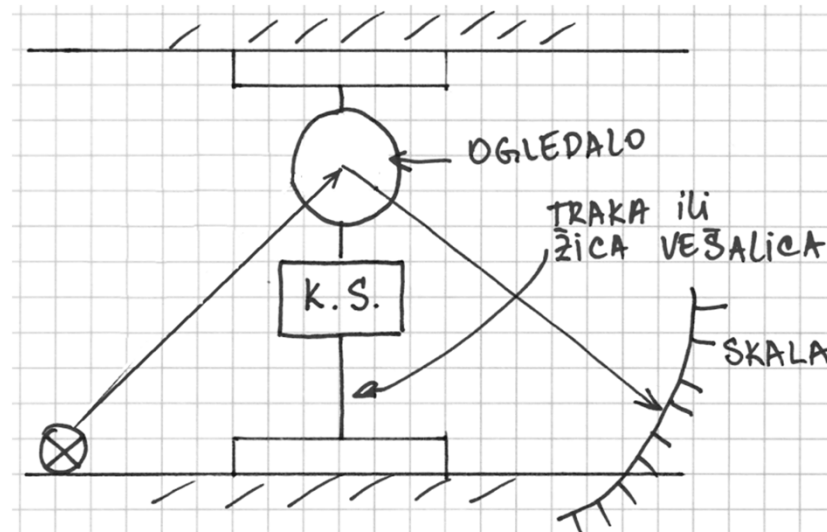
-Kod konstrukcije ležišta koristi se i **dodatna opruga** koja održava stalni pritisak, odnosno trenje i eliminiše mehaničke vibracije.

Ležišta

- ❖ Mesto postavljanja –
Ležišta mogu da se nalaze izvan ili unutar kretnog organa.



- ❖ Postoje i posebne konstrukcije gde je **kretni sistem sa trakama ili sa žicom vešalicom i ogledalom**.
- ❖ Kod takvih konstrukcija kazaljka je svetlosna.



Elementi za stvaranje aktivnog momenta

- zavise od vrste instrumenta,
- mogu da budu: kalem, pločica od feromagnetnog materijala, bimetal, stalni magnet itd.

Elementi za stvaranje otpornog momenta

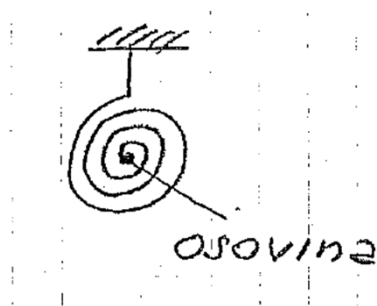
- omogućavaju stvaranje otpornog momenta koji je srazmeran otklonu kretnog sistema,
- obezbeđuju vraćanje kretnog organa u početni položaj nakon prestanka dejstva merene veličine,
- kod nekih instrumenata omogućavaju dovodenje struje na kretni organ.

Konstrukcija ovih elemenata - najčešće u obliku spiralnih opruga.

Obično se koriste dve opruge ako se preko njih dovodi struja.

➤ Elementi za stvaranje otpornog momenta moraju da ispune određene zahteve:

- da su mehanička naprezanja u oblasti elastičnih deformacija,
- mala temperaturna osetljivost,
- materijal ne sme biti magnetičan,
- materijal mora imati dobru električnu provodnost i
- uticaj starenja materijala treba da je zanemariv.

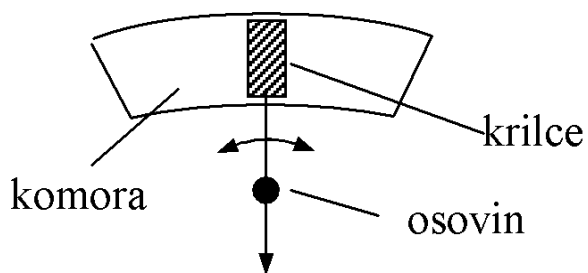


$$M_o = c \cdot \alpha$$

Elementi za prigušenje

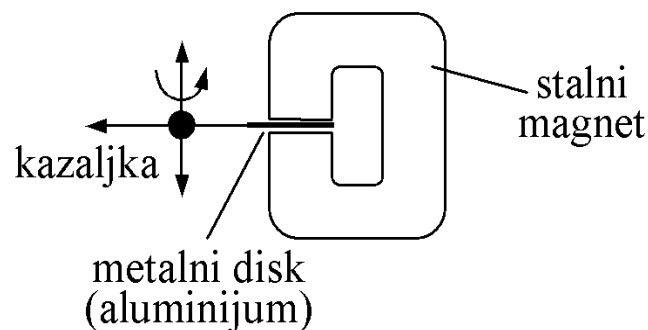
- ❖ Služe da priguše oscilovanje kretnog sistema oko novog ravnotežnog položaja i pri vraćanju organa u početni položaj.
- ❖ Osnovni konstruktivni zahtev je brzo umirenje kretnog organa. Vreme umirenja treba da je ≤ 4 sec.

Konstrukcija : Postoji nekoliko različitih konstrukcija elemenata za prigušenje.



a) prigušenje vazduhom

b) prigušenje tečnošću



c) elektromagnento prigušenje

c) Kretanjem diska u polju stalnog magneta indukuju se vrtložne struje (u njemu) i koči se kretanje

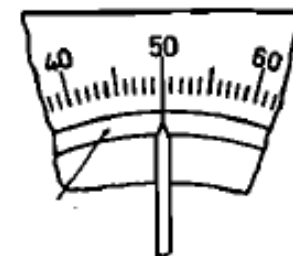
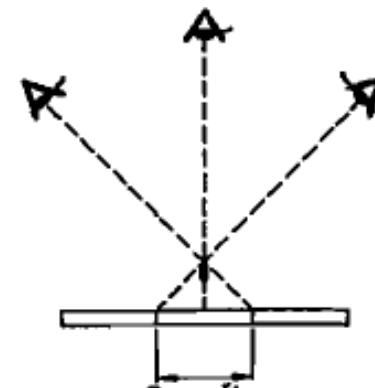
Kazaljke

- ❖ Služe za jasno prikazivanje vrednosti merene veličine.
- ❖ Treba da omoguće tačno očitavanje na skali instrumenta, na najlakši mogući način.

Konstruktivski gledano postoje dva osnovna tipa:

1. mehanička kazaljka

- Ona je kruto vezana na kretni sistem instrumenta i kreće se zajedno sa njim. Najčešće je uzdignuta iznad skale radi slobodnog kretanja.
- Može doći do greške prilikom očitavanja zbog paralakse, ukoliko se očitavanje ne obavlja pod pravim uglom u odnosu na skalu.
- Da bi se ovo izbeglo ispod kazaljke, a pored skale postavlja se ogledalo. Prilikom očitavanja vodi se računa da se kazaljka poklopi sa svojim likom u ogledalu.
- Kod instrumenata sa većom klasom tačnosti (0.5 i većom) kazaljke imaju uobičajeni kopljasti oblik.
- Kod preciznijih instrumenata koriste se kazaljke u obliku niti.



Kazaljke

Konstruktivski gledano postoje dva osnovna tipa:

1. mehanička kazaljka

2. svetlosna kazaljka

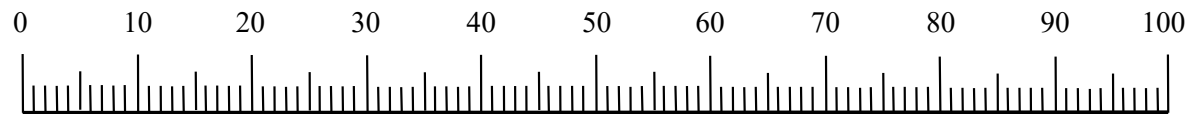
➤ Svetlosna kazaljka se primenjuje kod električnih mernih instrumenata gde se zahteva **povećana osetljivost** (na primer kod galvanometra).

➤ Na taj način izbegava dodatno opterećenje pokretnog dela upotrebom mehaničke kazaljke.

Skala

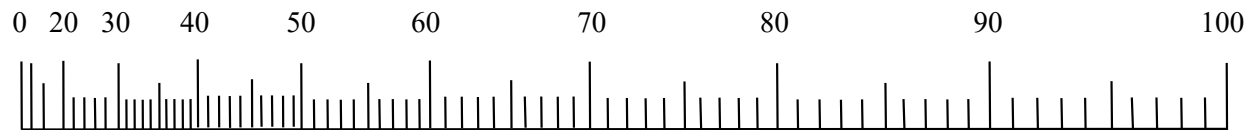
- treba jasno da pokaže vrednost merene veličine,
 - mora biti jasno i pregledno obeležena,
 - nula može biti na početku ili na sredini,
 - mora biti označen pokazni i merni opseg, ako nema tih oznaka cela skala je merni opseg,
 - zbog veće preglednosti svaka peta ili deseta crta razlikuju se po debljini ili dužini od ostalih.
- Kod digitalnih instrumenata - dekadni cifarski displej.

- U praksi se najčešće sreću **linearne, kvadratne i logaritamske skale**.
- Kod **linearne skale** veličina podeoka je konstanta duž skale kao što je prikazano na slici.

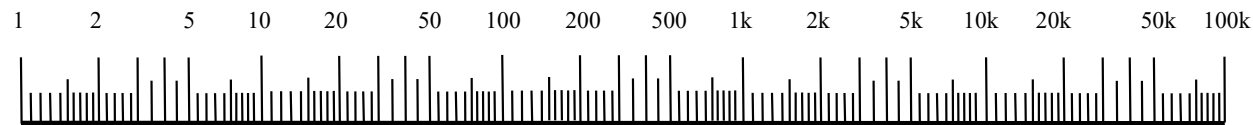


- Većina laboratorijskih mernih instrumenata ima linearnu skalu.

- Kod **kvadratne skale** podeoci su umanjeni u prvoj trećini skale, a uvećani u poslednjoj trećini skale kao što je prikazano na slici.



- Kod **logaritamske skale** je obrnuta situacija. Podeoci su uvećani u prvoj trećini skale, a umanjeni u poslednjoj trećini kao što je dato na slici.



- Na osnovu toga može se reći da kvadratna skala ima veću tačnost očitavanja na poslednjoj trećini skale, a kod logaritamske veća je tačnost očitavanja na prvoj trećini skale.
- O tome treba voditi računa prilikom merenja i birati prave opsege kod merenja kako bi se postigla veća tačnost.

9.2.3 KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA

- ❖ Propisima SRPS EN 60051-2 i SRPS EN 60051-8 su instrumenti svrstani u klase tačnosti.
- ❖ Ovi propisi određuju:
 1. definisanje opštih pojmova,
 2. klase tačnosti instrumenata,
 3. način ispitivanja instrumenata i pribora,
 4. referentne uslove i uticajne veličine i
 5. oznake instrumenata.

Tačke od 1 do 4 su određene ranije.

- ❖ Oznake instrumenata date su u standardu SRPS EN 60051-2.
- ❖ One moraju biti na instrumentu na vidljivom mestu. Obično su date na skali.

9.2.3 KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA

- ❖ Na instrumentima se nalaze sledeće oznake:
 - oznaka principa rada instrumenta
 - oznaka ispitnog napona
 - oznaka položaja instrumenta
 - oznaka klase tačnosti

9.2.3 KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA

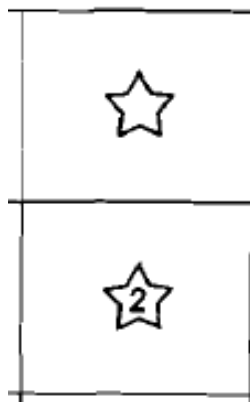
❖ Na instrumentima se nalaze sledeće oznake:

– oznaka principa rada instrumenta

Ona se obično daje u vidu simbola koji opisuje princip rada tog instrumenta.

– oznaka ispitnog napona

Ona označava maksimalnu vrednost trajno podnosivog napona prema masi (zemlji).



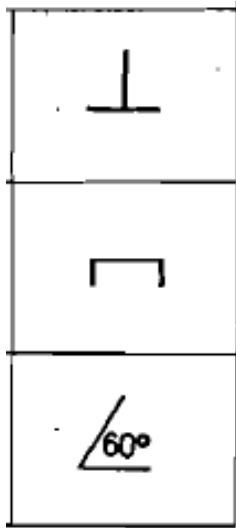
- ako ništa ne piše unutar simbola zvezde, onda je podnosivi napon 500 V

- ako je upisan broj, onda taj broj označava podnosivi napon u kV

9.2.3 KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA

–oznaka položaja instrumenta

Označava u kom položaju treba da bude instrument u toku rada.



- vertikalno

- horizontalno

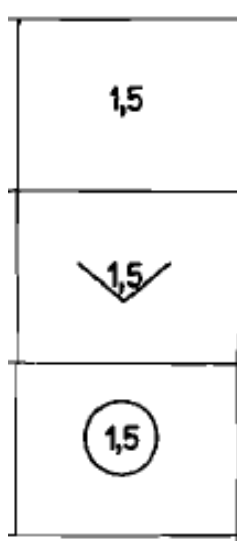
- pod uglom - broj daje vrednost ugla

-instrument za vreme upotrebe stoji koso prema horizontali (npr 60°).

9.2.3 KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA

–oznaka klase tačnosti

Broj označava klasu tačnosti.



9.2.3 KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA

❖ Propisi određuju još neke dodatne karakteristike

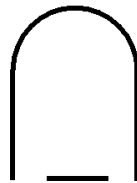
Dozvoljeno opterećenje

- Ampermetri, strujna kola vatmetra i varmetra moraju izdržati 120% naznačene struje u vremenu 2h ili trajno.
- Naponska kola vatmetra i varmetra, voltmetri moraju izdržati 120% naznačenog napona u vremenu od 2 h bez oštećenja.

Ove karakteristike ne pišu na instrumentima, one se podrazumevaju.

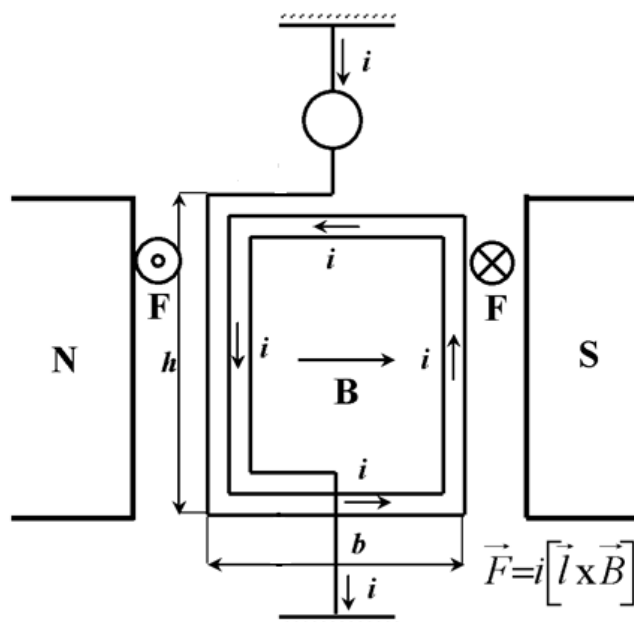
9.3. MAGNETOELEKTRIČNI INSTRUMENTI SA KRETNIM KALEMOM

- ❖ Osnovna konstrukcija ovog tipa instrumenta služi za merenje jednosmerne struje.
- ❖ Sa dodatnim elementima kao što su usmerača ili termopar ovi instrumenti mogu da se koristi za merenje naizmeničnih struja.
- ❖ Princip rada je postavio Kelvin 1870. godine.
- ❖ Praktičnu realizaciju izveli su D'Arsonval i Dipre.
- ❖ Magnetoelektrični instrumenti koji služe za merenje jednosmernih struja i napona označeni su na kućištu simbolom prikazanim na slici.



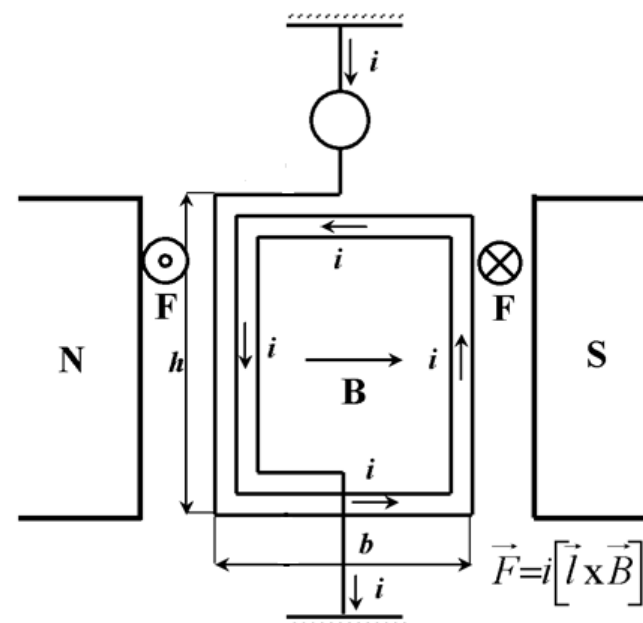
Princip rada

- ❖ Glavni elementi ovog instrumenata su stalni magnet i kalem kroz koji protiče struja.
- ❖ U polju stalnog magneta nalazi se kalem kroz koji protiče struja.
- ❖ Posledica proticanja struje kroz kalem je da se javlja sila na provodnike i javlja se elektromagnetni momenat usled koga se kalem zakreće za neki ugao.
- ❖ Na slici je ilustrovan princip rada ovih instrumenata.



Princip rada

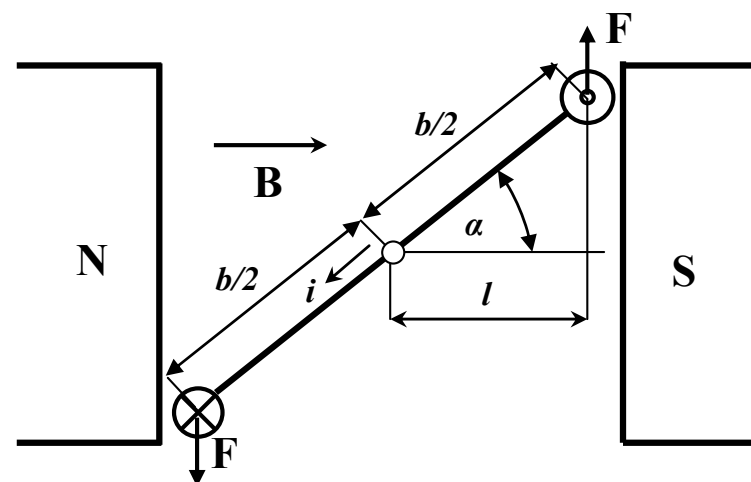
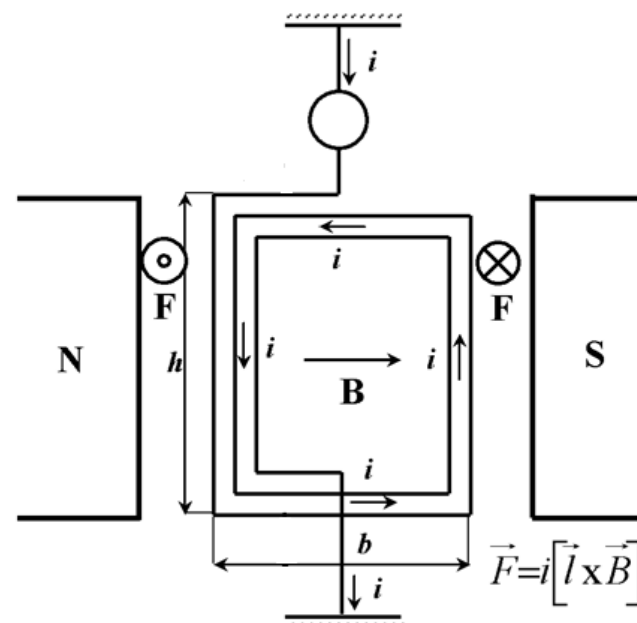
- ❖ Konstruktivno, postoje dva osnovna rešenja.
- ❖ Kod **prvog** kalem se nalazi na osovini, a struja se dovodi preko dve spiralne opruge koje ujedno daju otporni momenat.
- ❖ Kod **drugog** rešenja kalem je obešen na nit visilicu preko koje se dovodi struja na kalem. Na niti se nalazi ogledalce koje stvara svetlosni lik (svetlosna kazaljka).
- ❖ Kalem je obično pravougaoni, u obliku rama sa N navojaka.
- ❖ Navojci se međusobno lepe kako se ne bi deformisali usled dejstva sile.
- ❖ Polovi stalnog magneta se tako oblikuju da polje unutar njih bude homogeno.



Princip rada

Sile koje deluju na provodnike

- ❖ Sila F deluje na vertikalne delove kalema dužine h i stvara kretni momenat.
- ❖ Sila koja deluje na horizontalne delove dužine b ne stvara kretni momenat. Dejstvo ove sile je u pravcu osovine i i ona se ne računa.
- ❖ U cilju određivanja kretnog momenta na drugoj slici su date sve veličine od interesa i geometrija problema.
- ❖ Veličina B predstavlja indukciju stalnog magneta, a i je struja koja protiče kroz kalem.
- ❖ Druga slika prikazuje presek na kome se vidi horizontalni deo kalema.



- ❖ U opštem slučaju, sila na provodnik beskonačno male dužine dl koji se nalazi u magnetnom polju B i kroz koji protiče struja i jednaka je:

$$dF = i \cdot [\vec{dl} \times \vec{B}]$$

odnosno

$$dF = i \cdot B \cdot dl \cdot \sin \beta$$

gde je β ugao između pravca provodnika i indukcije.

- ❖ Konstrukcija ovih instrumenata je takva da je ugao između provodnika od interesa (vertikalni delovi namotaja) i indukcije B jednak $\pi/2$ pa je $\sin \beta = 1$.
- ❖ Prema tome sila dF sada je jednaka:

$$dF = i \cdot B \cdot dl$$

- ❖ Ukupna sila na jedan vertikalni deo namotaja dužine h jednaka je:

$$F = \int_h dF = i \cdot B \cdot h$$

- ❖ Momenat zakretanja usled sile F na jedan vertikalni provodnik je:

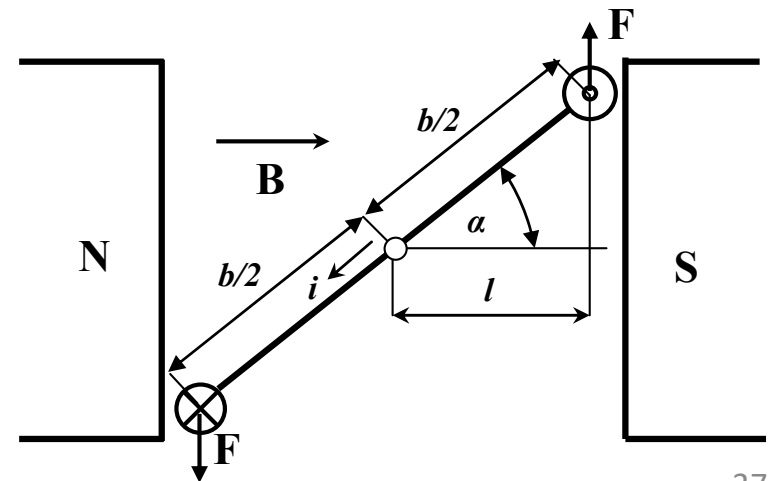
$$M = F \cdot l$$

gde je l krak sile koji se, na osnovu oznaka sa slike, može izračunati pomoću izraza:

$$l = \frac{b}{2} \cos \alpha$$

- ❖ Sada je momenat na jedan vertikalni provodnik jednak:

$$M = F \cdot \frac{b}{2} \cos \alpha = i \cdot B \cdot h \cdot \frac{b}{2} \cdot \cos \alpha$$



- ❖ Momenat na jednu celu konturu (namotaj) je dvostruko veći:

$$M_1 = 2M = F \cdot \frac{b}{2} \cos \alpha = i \cdot B \cdot h \cdot b \cdot \cos \alpha$$

- ❖ Površina jednog namotaja jednaka je:

$$S = b \cdot h$$

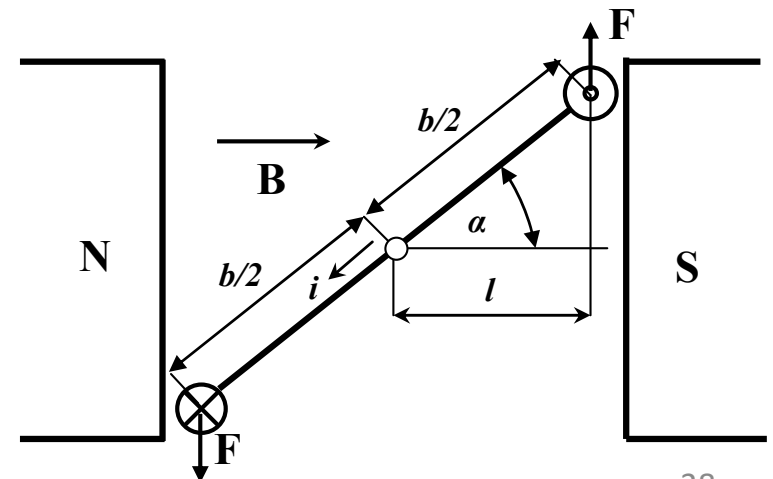
dok je maksimalni fluks kroz jedan namotaj:

$$\Phi_1 = B \cdot S = B \cdot b \cdot h$$

i odgovara položaju kada je $\alpha = \pi/2$.

- ❖ Ukupan maksimalni fluks kroz ceo kalem sa N namotaja jednak je:

$$\Phi_0 = N \cdot \Phi_1 = N \cdot B \cdot b \cdot h = N \cdot B \cdot S$$



- ❖ Ukupan momenat koji deluje na kalem, odnosno **aktivni momenat koji deluje na kretni sistem instrumenta**, je:

$$\begin{aligned}M_a &= N \cdot M_1 = N \cdot i \cdot B \cdot b \cdot h \cdot \cos \alpha = \\&= N \cdot \Phi_1 \cdot i \cdot \cos \alpha = \\&= \Phi_0 \cdot i \cdot \cos \alpha\end{aligned}$$

- ❖ Otporni momenat, u zavisnosti od konstrukcije, stvara torzija niti visilice ili torzionih opruga.

$$M_o = c \cdot \alpha$$

gde je c torziona konstanta.

- ❖ Za ravnotežni položaj važi da je:

$$M_a = M_o$$

odnosno:

$$\Phi_0 \cdot i \cdot \cos \alpha = c \cdot \alpha$$

- ❖ Vidi da je ugao zakretanja složena funkcija merene struje zbog $\cos \alpha$.

❖ Za male uglove zakretanja ($\ll (5-6^\circ)$) koji se imaju kod instrumenata sa svetlosnom kazaljkom, važi:

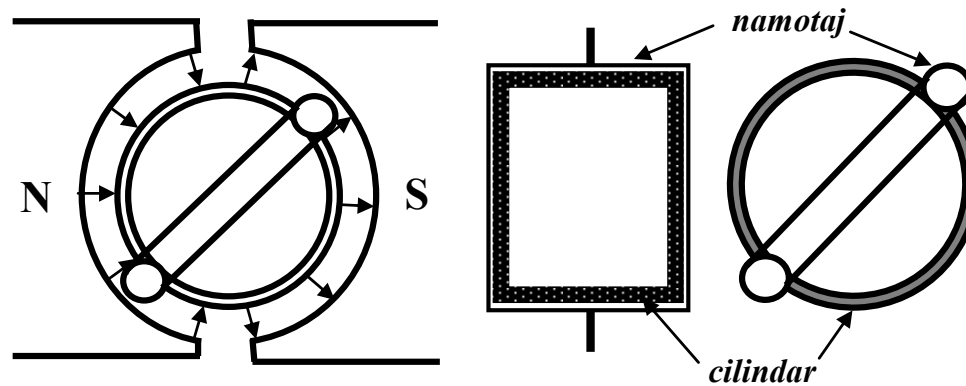
$$\cos \alpha \cong 1$$

$$\Phi_0 \cdot i \cong c \cdot \alpha$$

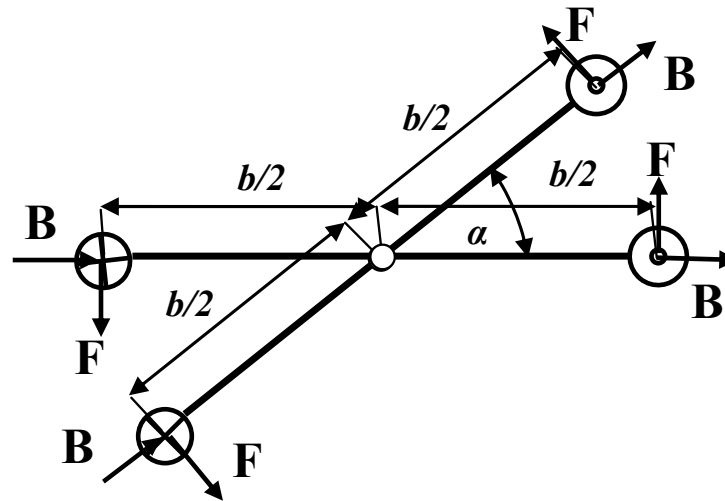
$$\alpha = \frac{\Phi_0}{c} \cdot i$$

❖ Vidi se da je za male uglove skretanja zavisnost praktično linearna.

- ❖ Cilj je da se postigne linearna veza ugla zakretanja instrumenta i merene struje.
- ❖ Linearnost se postiže konstruktivno.
- ❖ **Oblikovanjem polnih nastavaka stalnog magneta** i dodavanjem tankog cilindra od mekog gvožđa na sam kretni sistem kao što je prikazano na slici.



- ❖ Kod ovakve konstrukcije **kalem je uvek u istom relativnom položaju u odnosu na vektor indukcije** kao što je prikazano na slici.
- ❖ Fluks kroz kalem je uvek isti, nezavisno od ugla α . To je upravo fluks Φ_0 .



- ❖ U ovom slučaju krak sile je konstantan, odnosno:

$$l = \frac{b}{2}$$

- ❖ Aktivni momenat je jednak:

$$M_a = N \cdot M_1 = \Phi_0 \cdot i$$

- ❖ Tako da sada važi:

$$M_a = M_o$$

$$\Phi_0 \cdot i = c \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{\Phi_0}{c} i = S \cdot i.$$

- ❖ Veličina S je **konstruktivna konstanta** i naziva se **osetljivost instrumenta**.
- ❖ Prethodni izraz se može napisati i u obliku:

$$i = \frac{c}{\Phi_0} \cdot \alpha = K_i \cdot \alpha$$

- ❖ Veličina K_i naziva se **strujna konstanta instrumenta**. Jasno je da važi:

$$S = \frac{1}{K_i}$$

- ❖ U praktičnoj primeni strujna konstanta je važniji podatak i određuje se kao količnik struje i skretanja instrumenta:

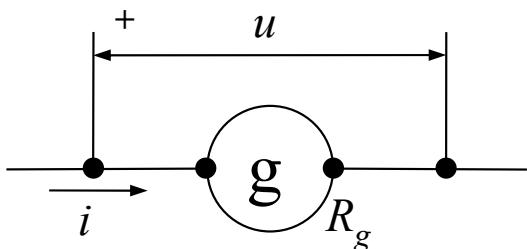
$$K_i = \frac{i}{\alpha}$$

- ❖ Za instrument se može definisati i **naponska konstanta** kao:

$$K_u = \frac{u}{\alpha}$$

gde su: u napon na instrumentu, a α skretanje koje odgovara tom naponu.

- ❖ **Veza između naponske i strujne konstante** može se odrediti na osnovu šeme sa slike.



- Sa slike važi da je:

$$u = R_g \cdot i$$

gde je R_g unutrašnji otpor instrumenta.

- Sada se za naponsku konstantu dobija:

$$K_u = \frac{u}{\alpha} = \frac{R_g \cdot i}{\alpha} = R_g \cdot K_i$$

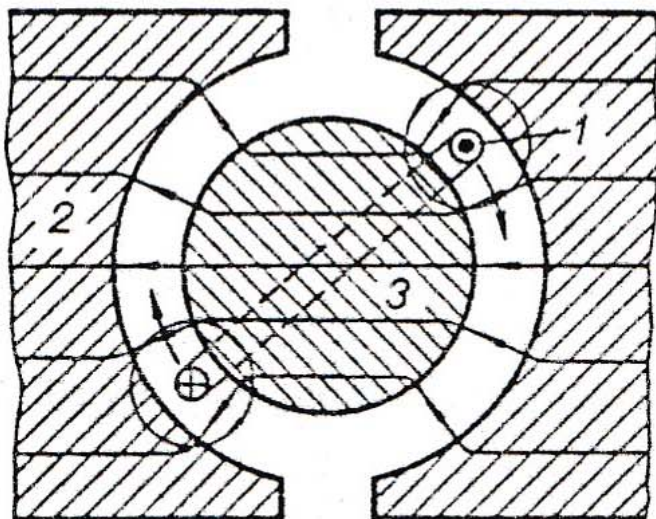
- ❖ Prema tome, naponska konstanta jednaka je proizvodu strujne konstante i unutrašnjeg otpora instrumenta.
- ❖ Za instrument se mogu definisati i strujna osetljivost:

$$S_i = \frac{1}{K_i}$$

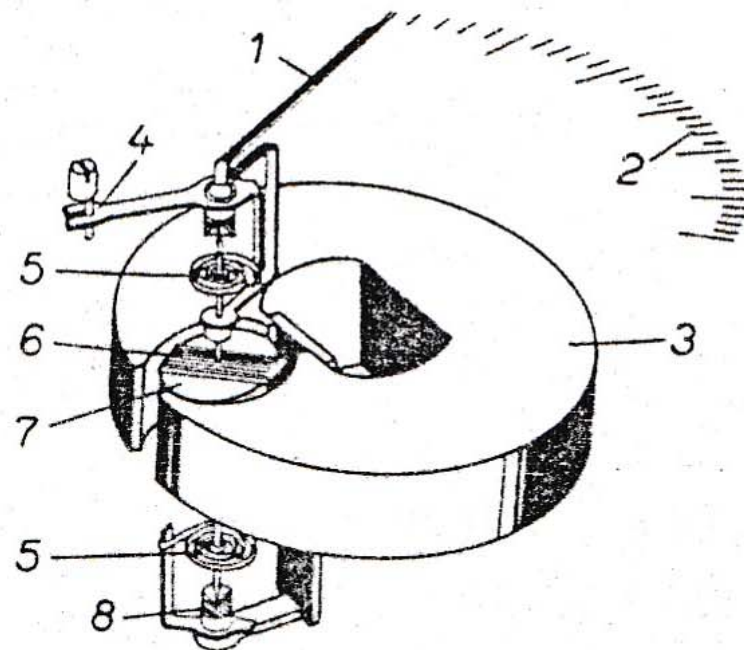
kao i naponska osetljivost:

$$S_u = \frac{1}{K_u}$$

9.3. MAGNETOELEKTRIČNI INSTRUMENTI SA KRETNIM KALEMOM



1-pokretni kalem;
2-polovi stalnog magneta; 3-jezgro od mekog gvožđa



1-kazaljka; 2-skala; 3-stalni magnet; 4-podešavanje nultog položaja kazaljke; 5-spiralne opruge; 6-pokretni kalem; 7-jezgro od mekog gvožđa; 8-ležaj osovine pokretnog kalema

9.3. MAGNETOELEKTRIČNI INSTRUMENTI SA KRETNIM KALEMOM

- ❖ Kao što je ranije rečeno, osnovna namena magnetoelektričnih instrumenta je **merenje jednosmernih napona i struja**, pa se u praksi najčešće mogu sresti kao voltmetri ili ampermetri.
- ❖ Posebne konstrukcije ovih instrumenta su galvanometri.
- ❖ Galvanometri su izuzetno osetljivi instrumenti koji služe za merenje jako malih jednosmernih struja i napona.
- ❖ Oni se koriste kod metoda direktnog poređenja jednosmernih napona i struja (kompenzacione metode) ili kao osetljivi indikatori ravnoteže (nul-indikatori).
- ❖ Magnetoelektrični instrumenti se mogu realizovati i kao ommetri.

9.3.1. Proširenje mernog opsega

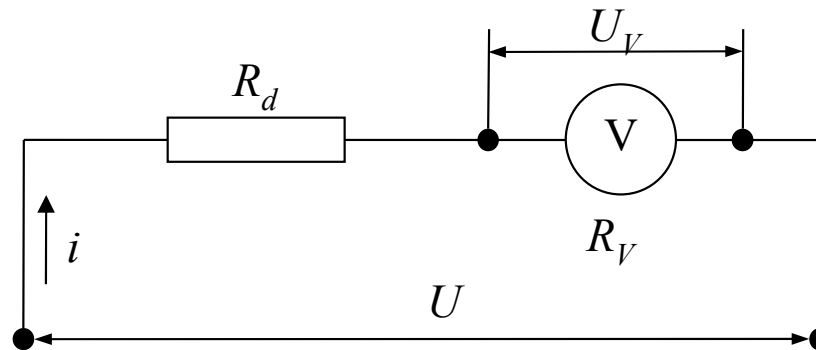
- ❖ Zbog velike osetljivosti magnetoelektrični instrumenti se nikada ne priključuju direktno u kolo jer mogu da se oštete.
- ❖ Zato se vrši proširivanje (šantiranje) mernog opsega:
 - naponskog dodavanjem rednih otpora,
 - strujnog dodavanjem paralelnih otpora.
- ❖ Pri proširenju bilo kog opsega, mora se voditi računa da **struja kroz kretni sistem ne sme da pređe maksimalno dozvoljenu vrednost.**

9.3.2. Voltmetar sa pokretnim kalemom

- ❖ Instrument sa pokretnim kalemom može se iskoristiti za realizaciju voltmetra za merenje jednosmernog napona, ali je **potrebno povećati unutrašnju otpornost instrumenta**.
- ❖ Pošto se voltmetar priključuje paralelno potrošaču, čiji napon meri, neophodno je da njegov unutrašnji otpor bude što veći od otpora potrošača kako bi se priključenjem voltmetra struja kroz potrošač što manje promenila.
- ❖ U osnovnoj konstrukciji voltmetar sa kretnim kalemom može da meri samo napone manjih vrednosti pa je neophodno proširiti opseg merenja.

9.3.2. Voltmetar sa pokretnim kalemom

- ❖ Proširivanje mernog opsega se vrši dodavanjem preciznih otpora na red sa instrumentom kao što je to prikazano na slici.
- ❖ Na slici je sa R_d označen dodatni otpor (šant), dok je sa R_V označen otpor samog instrumenta.



- ❖ Proširivanje se vrši prema maksimalnoj dozvoljenoj vrednosti struje kroz kretni sistem.
- ❖ Za sam instrument važi da je:

$$U_V = R_V \cdot i$$

- ❖ Maksimalno dovoljenom skretanju α_{max} odgovara maksimalno dovoljena struja i_{max} , a samim tim i maksimalno dovoljeni napon U_{Vmax} .
- ❖ Prema tome važi da je:

$$U_{Vmax} = R_V \cdot i_{max}$$

- ❖ Pošto otpori R_d i R_V predstavljaju otporničko delilo napona važi relacija:

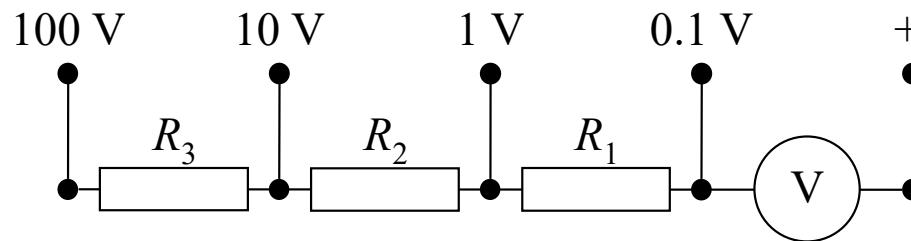
$$\frac{U}{U_{Vmax}} = \frac{R_d + R_V}{R_V}$$

gde je U novi veći meri opseg, a U_{Vmax} maksimalni napon koji može da meri sam instrument bez šantiranja.

- ❖ Odavde se za potrebni dodatni otpor R_d dobija vrednost:

$$R_d = \frac{U}{U_{Vmax}} R_V - R_V = R_V \left(\frac{U}{U_{Vmax}} - 1 \right)$$

- ❖ Jasno je da se dodavanjem više predotpora može realizovati instrument sa više mernih opsega kao što je prikazano na slici.



- ❖ Za voltmetre se može definisati odnos:

$$R_1 = \frac{R_{opsega}}{U_{opsega}} \left[\frac{\Omega}{V} \right]$$

gde je R_{opsega} unutrašnji otpor odgovarajućeg opsega voltmetra, a U_{opsega} napon pri punom skretanju instrumenta za dati opseg.

- ❖ Ovaj odnos se naziva **karakteristični otpor voltmetra ili samo jedinični otpor**.
- ❖ Proizvođač uvek daje ovaj podatak za svaki merni opseg.
- ❖ On služi za određivanje unutrašnjeg otpora instrumenta.

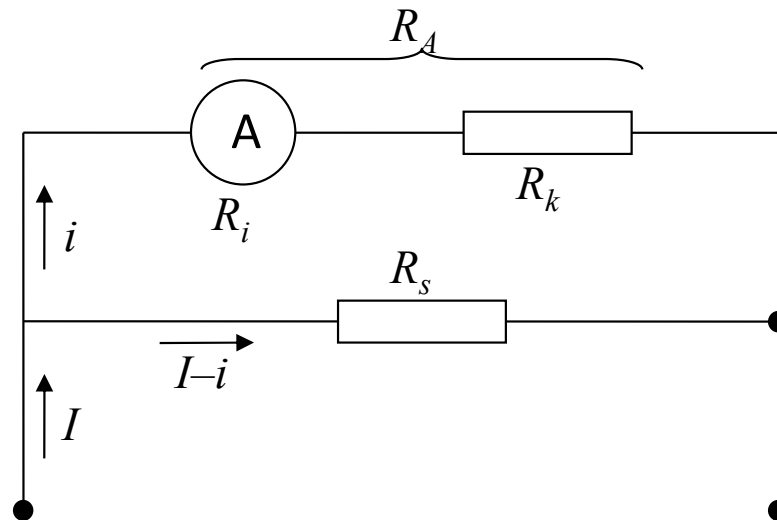
- ❖ Da bi se dobio **unutrašnji otpor instrumenta**, za dati opseg, vrednost jediničnog otpora za taj opseg se množi za vrednošću mernog opsega, odnosno:

$$R_u = R_1 \cdot U_{opsega}$$

- ❖ Potrebno je naglasiti da je, **unutrašnji otpor konstruktivna konstanta instrumenta i ne zavisi od trenutnog skretanja.**

9.3.3. Ampermetar sa pokretnim kalemom

- ❖ Proširenje strujnog mernog opsega kod ampermetara vrši se dodavanjem paralelnog otpornika (šanta) kao što je prikazano na slici.
- ❖ Kod konstruktivnih rešenja uvek se na red sa instrumentom dodaje kompenzacioni otpornik R_k .
- ❖ Na taj način se eliminiše uticaj promene otpora koji je posledica zagrevanja namotaja usled prolaska struje kroz njega.
- ❖ Tada je: $R_A = R_i + R_k = const$



9.3.3. Ampermetar sa pokretnim kalemom

- Na osnovu šeme sa prethodne slike dobija se:

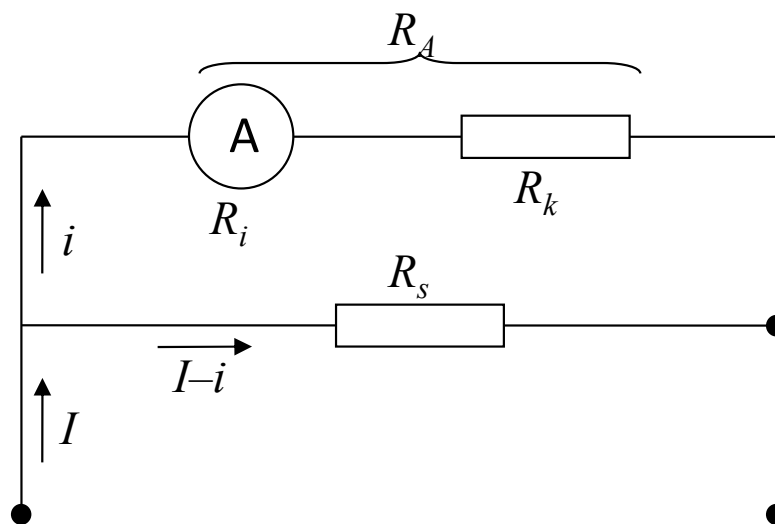
$$(I - i)R_s = i \cdot R_A$$

gde su: I željeni strujni opseg, a

i maksimalna dozvoljena struja kroz instrument.

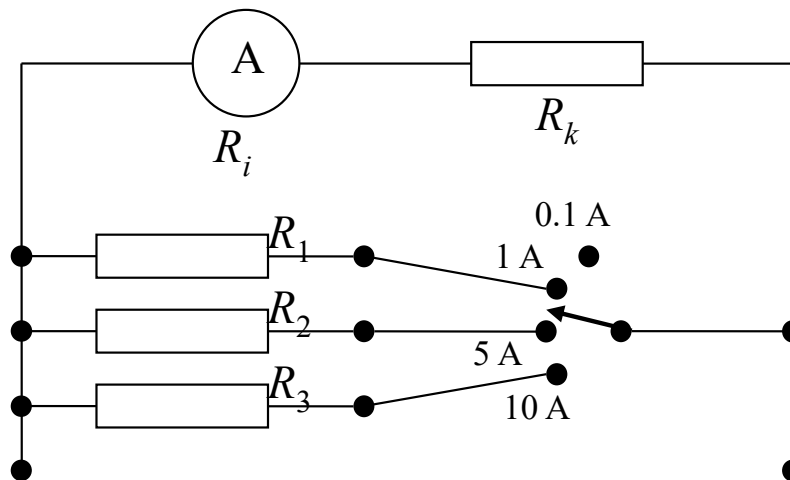
- Iz prethodnog izraza lako se dobija potrebna vrednost dodatnog otpora za željeni opseg I .

$$R_s = \frac{i}{I - i} \cdot R_A = \frac{1}{\frac{I}{i} - 1} \cdot R_A$$



9.3.3. Ampermetar sa pokretnim kalemom

- ❖ Sa više dodatnih otpornika može se realizovati instrument sa više mernih opsega kao što je prikazano na slici.



9.3.3. Ampermetar sa pokretnim kalemom

- ❖ Pri merenju struje važno je poštovati sledeća pravila:
 - ampermetar je potrebno vezati redno u kolo,
 - potrebno je poštovati polaritet priključaka,
 - na početku merenja treba odabrati najveći opseg pa ga kasnije po potrebi smanjiti,
 - merenje po mogućnosti obaviti u poslednjoj trećini skale.

- ❖ Ampermetri se prave za različite opsege merenja, od $0.1 \mu\text{A}$ do 20 A .
- ❖ Za posebne potrebe prave se i za veće opsege.
- ❖ Za merenje većih struja šant otpornik postavlja se van kućišta, dok je za manje struje u kućištu.

Hvala Vam na pažnji