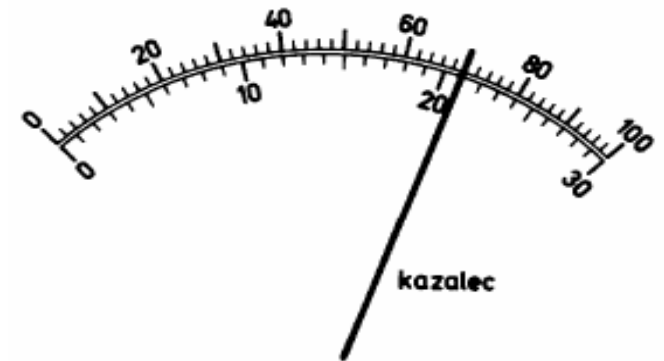


# Uvod v električne merilne instrumente

## Analogni merilniki (elektromehanski)

Osnovni merilni instrumenti za merjenje električnih veličin (toka, napetosti, moči, frekvence, upornosti itd.), imajo premični kazalec, ki na izrisani skali (graduacija z oštevilčenjem) prikazuje izmerjeno vrednost merjene veličine.



Velikost merjene veličine nam pokaže **kazalec** nad **skalo** merilnika!

Skalo predstavljajo črtice (**graduacija**), nad katerimi so številke (**oštevilčenje**). Razdalja med eno in drugo črtico imenujemo **razdelek skale**!

Področje velikosti, v katerem lahko merimo električne veličine, imenujemo **merilno območje** merilnika!

Vrednost razdelka skale imenujemo **konstanta skale**!

Konstanto skale (**k**) izračunamo tako, da merilno območje (**MO**) delimo s številom razdelkov skale (**n**):

$$k = \frac{MO}{n}$$



## Karakteristike merilnikov

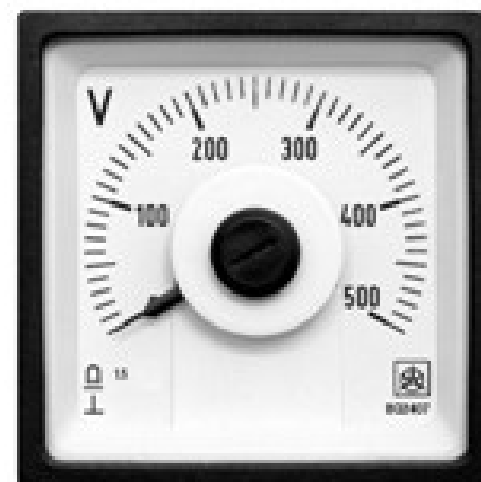
Osnovne karakteristike merilnikov so:

- dinamična karakteristika - odziv na skočne spremembe vhodne vrednosti (kako hitro se umiri kazalec ob določenem odklonu),  
odvisnost merila od frekvence – enosmerni (merijo le enosmerne napetosti ali tokove), NF (merijo le izmenične napetosti nizkih frekvenc), VF (merijo izmenične napetosti visokih frekvenc),  
selektivni (merijo le napetosti določenih frekvenc ali v določenem frekvenčnem pasu itd.).
- statična karakteristika - linearna, kvadratična ali logaritemska razdelitev merila skale.  
Odklon je od vrste merilnega sistema.
- razred točnosti - v kateri razred točnosti ga razvrščamo in temu primerno je tudi uporaba in cena instrumenta.
- Občutljivost - je definirana z velikostjo spremembe kota odklona  $d\alpha$ , za katerega se kazalec odkloni, če se merjena veličina spremeni za enoto spremembe  $dX$ . Ločimo lahko tokovno ali napetostno občutljivost.
- obseg merjenja- primer: mV, V, kV,...

Pomembne so še naslednje lastnosti in podatki : preciznost, zanesljivost, vztrajnost, dimenzije in masa, konstrukcija, servis in pogostost umerjanja, notranja upornost.

**Pri uporabi vsake naprave ali merilnika pa moramo predhodno pazljivo prebrati navodila in tehnične podatke!**

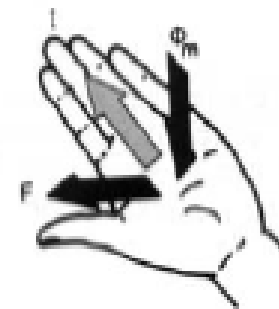
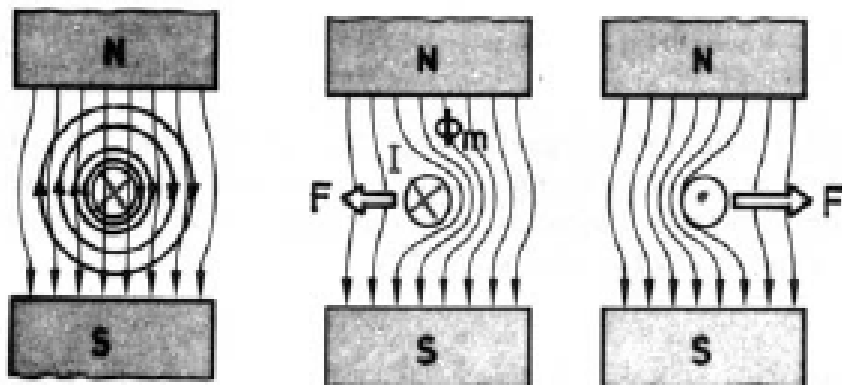
# Instrument z vrtljivo tuljavico



# Instrument z vrtljivo tuljavico

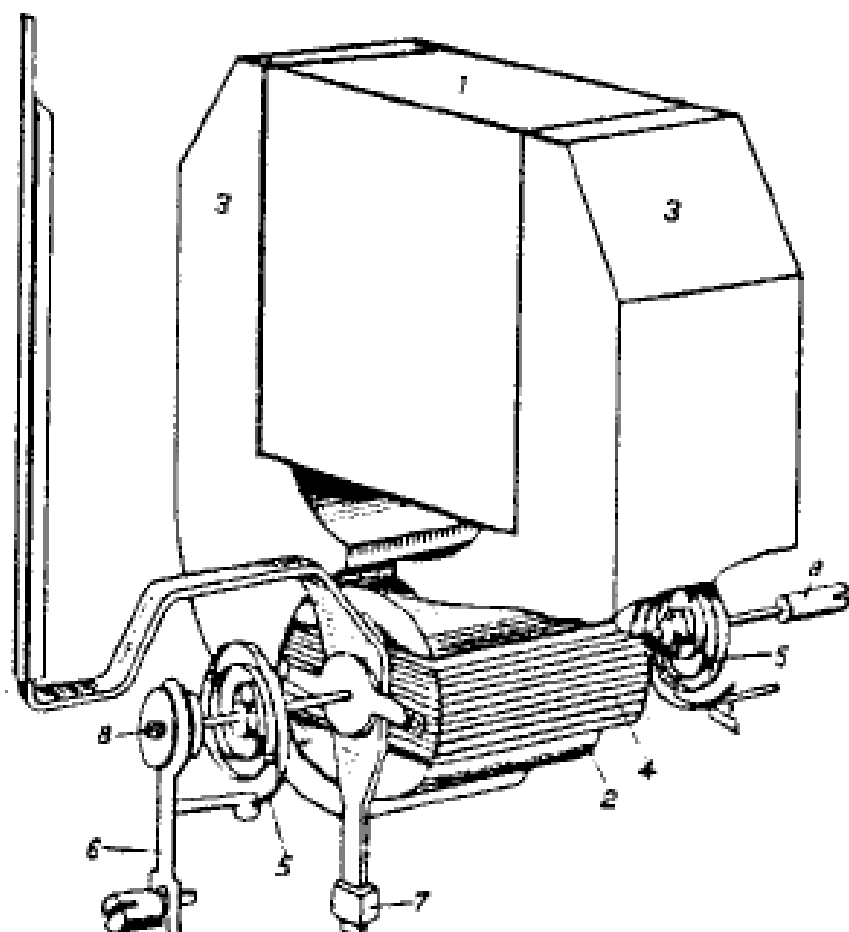
Osnovni princip tega instrumenta izvira iz delovanja magnetne sile na tokovodnik (osnove elektrotehnike).

Na vodnik (dolžine  $l$ ) skozi katerega teče električni tok ( $i$ ) in se nahaja v magnetnem polju ( $B$ ), deluje sila ( $F$ ), ki ga želi izriniti iz magnetnega polja.



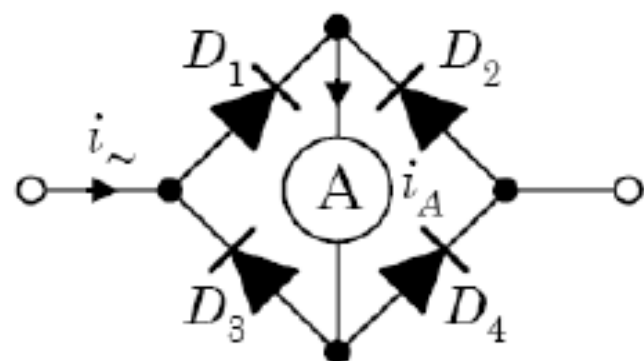
## Opis delovanja instrumenta z vrtljivo tuljavico

Na polih trajnega magneta (1) sta pritrjena polova čevlja iz mehkega železa (3). V sredini je krožna izvrtina s centrično nameščenim mehkoželeznim jedrom (2). Med polovima čevlja in jedrom je ozka zračna reža, v kateri je močno radialno homogeno magnetno polje. V tem polju se vrti tuljava (4), ki je navita na Al okvirček (se uporablja za dušenje nihanja kazalca). Tok v tuljavico dovajata spiralni vzmeti (5). Sprednja spiralna vzmet je povezana z mehanizmom za nastavitev kazalca v začetno (ničto) lego (6), masa kazalca je balansirana s protiutežjo (7). Os se vrti v safirnih ležajih (8).

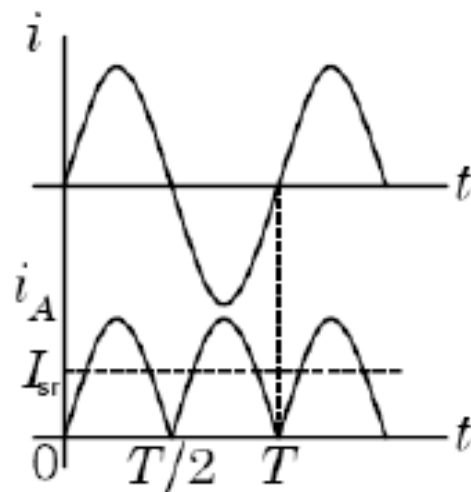


Instrument meri le enosmerne tokove in napetosti. Za izmenične tokove in napetosti moramo merjeno veličino usmeriti.

Ker je usmerjeni tok enak srednji vrednosti polnovalnega usmernika, moramo izpis na skali instrumenta korigirati za faktor oblike  $F_0 = 1,11$ , da dobimo efektivno vrednost izmeničnega toka. Zaradi tega instrument z vrtljivo tuljavico in usmernikom **meri pravilno le izmenične napetosti sinusne oblike**.



Polnovalno usmerjanje



$$I = I_{\text{eff}}$$

$$I_{\text{sr}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I$$

$$F_0 = \frac{I}{I_{\text{sr}}} \sim 1,11$$

$F_0$  - faktor oblike

Slika prikazuje usmernik instrumenta z vrtljivo tuljavo.



Simbol instrumenta z vrtljivo tuljavico in usmernikom.

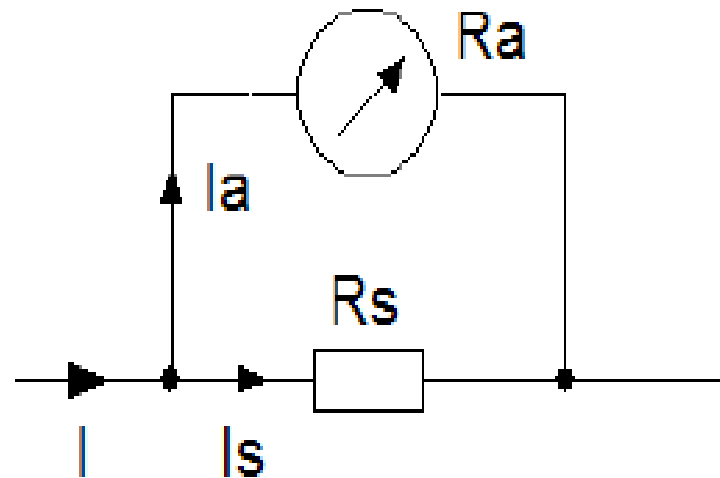
# Razširjanje merilnega območja ampermetra

Ampermetru razširimo merilno območje tako, da vežemo vzporedno k instrumentu soupor  $R_s$ .

$$I = I_a + I_s ; U_a = U_s$$

$$R_a I_a = R_s I_s = R_s (I - I_a)$$

$$R_s = R_a I_a / (I - I_a)$$



Tok  $I$ , ki priteka, se razdeli na večinski tok skozi soupor (shunt) in manjši tok skozi instrument. Tok skozi instrument je sorazmeren merjenemu toku  $I$ .

# Razširjanje merilnega območja voltmetra

Voltmetru razširimo merilno območje z zaporedno vezanim preduporom  $R_p$ .

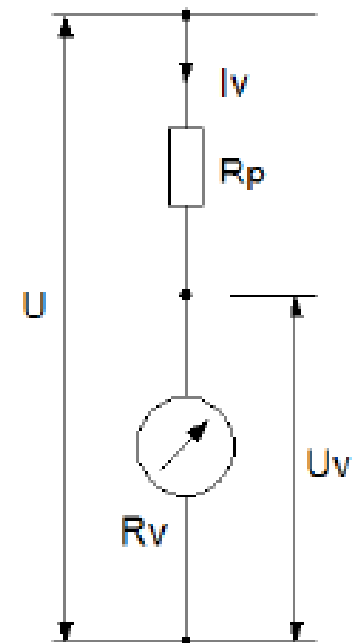
$$U = U_p + U_v \Rightarrow U_p = U - U_v$$

$$I_v R_p = U - U_v \quad : I_v$$

$$R_p = (U - U_v) / I_v \quad I_v = U_v / R_v$$

$$R_p = R_v (U - U_v) / U_v$$

Voltmeter meri le do napetosti  $U_v$ , višje napetosti  $(U - U_v)$  mora prevzeti dodatni upor  $R_p$ .





# Instrument z vrtljivim železom



Simbol instrumenta

Instrument z vrtljivim železom deluje na principu magnetnih učinkov električnega toka. Izkorišča pojav odboja istoimensko namagnetnenih železnih lističev, od katerih je en listič nepremičen, drugi pa vrtljiv na osi kazalca. Lističa sta nameščena v magnetnem polju tuljave, v kateri teče merjeni tok.

Vrtilni moment na osi kazalca je definiran s spremembo energije magnetnega polja  $W_m$  instrumenta v odvisnosti od kota odklona  $\alpha$ :

$$M_e = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}; \quad \text{Vrtilni moment}$$

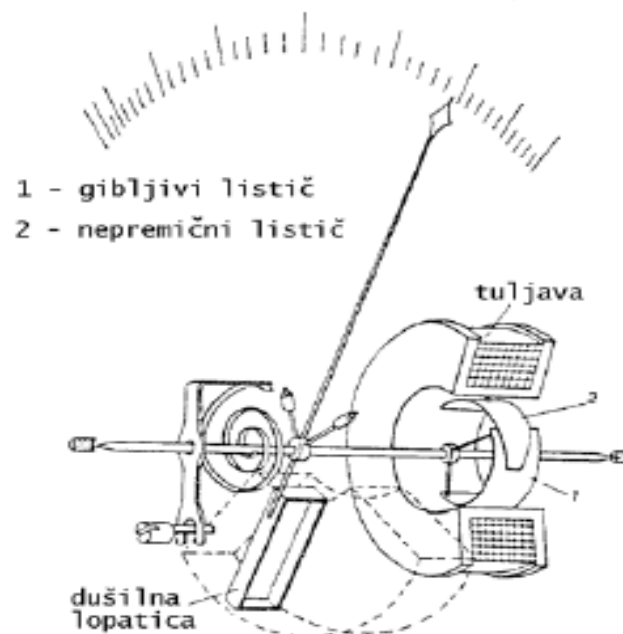
instrumenta narašča s kvadratom toka.

Električnemu momentu nasprotuje moment spiralne vzmeti  $M_m = k \cdot \alpha$ , tako da se ob ravnovesju kazalec ustavi na odklonu:

$$\alpha = k \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha};$$

Odklon kazalca je kvadratičen.

Smer toka v tuljavi ni pomembna, zato ga lahko uporabljamo tudi za merjenje izmeničnih tokov, ker se lističa hkrati premagnetita in zato se smer odbojne sile ne spremeni. Pri izmeničnih tokovih merimo efektivno vrednost toka.



# Elektrodinamični instrument

Elektrodinamični instrumenti delujejo na principu magnetne sile med vodnikoma, skozi katera teče električni tok. Podoben je instrumentu z vrtljivo tuljavico, le da ima namesto trajnega magneta elektromagnet. Merilni sistem sestavljata dve tuljavici, od katerih je ena nepremično nameščena, druga pa vrtljiva. Če hkrati zamenjamo smer toka v obeh tuljavicah, se smer magnetne sile ne spremeni in kazalec se odkloni v smeri skale. Zato lahko elektrodinamične instrumente uporabljamo za merjenje enosmernih in izmeničnih veličin.

Električni vrtilni moment:

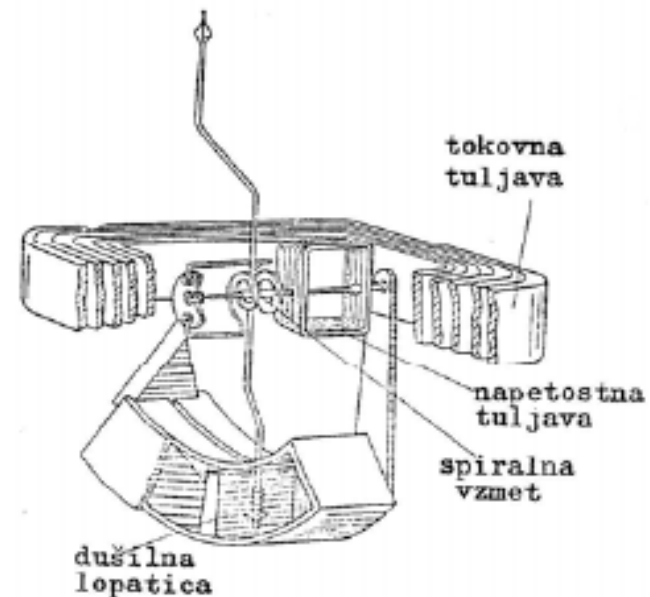
$$M_e = k_1 \cdot I_1 \cdot I_2$$

V ravnovesju električnega in mehanskega momenta je odklon:

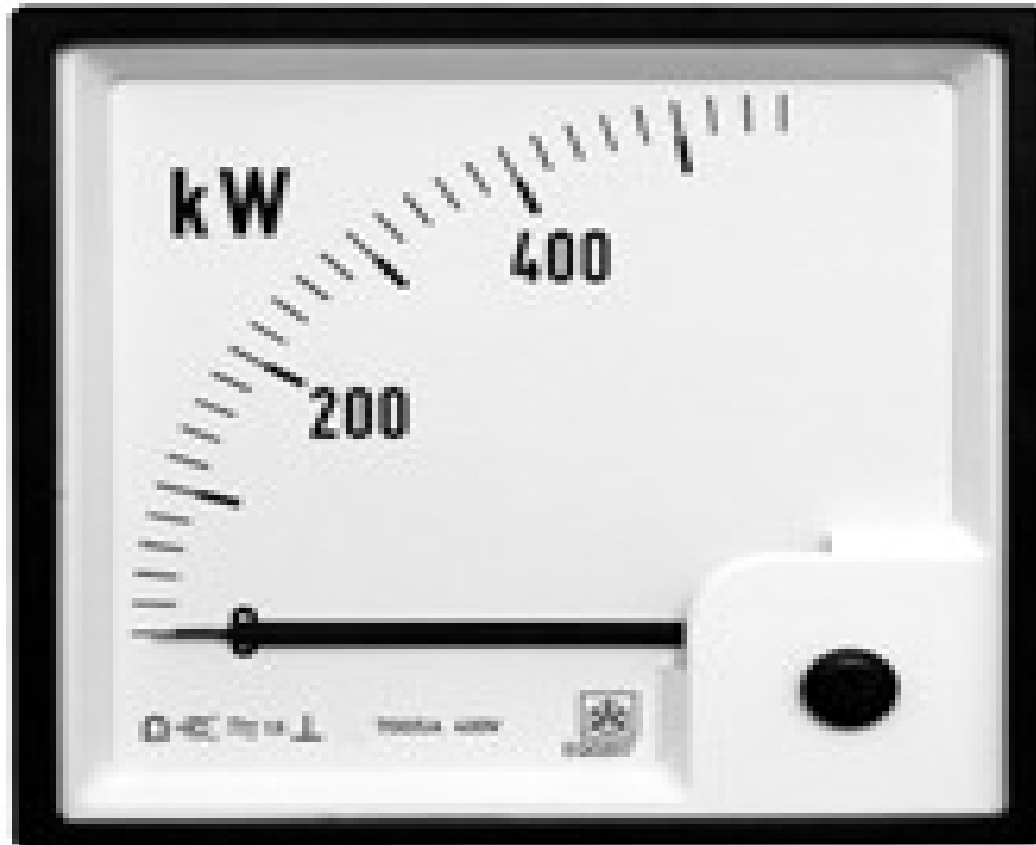
$$\alpha = k \cdot I_1 \cdot I_2$$

Elektrodinamične instrumente uporabljamo kot V – metre in A – metre, predvsem pa kot W – metre.

Simbol instrumenta:



# Merilniki moči



## Elektrodinamični W-meter

Četudi z elektrodinamičnim instrumentom lahko merimo različne električne veličine, pa je daleč najbolj razširjena njegova uporaba za merjenje moči. Pri tem je značilno, da lahko merimo z njim tako moč pri enosmernem toku, kot delovno moč pri izmeničnem toku, pri katerem celo oblika napetosti in toka ne moti pravilnega delovanja.

Nepremična tokovna tuljavica je navita z debelo žico, v njej pa teče tok bremena  $I$ . Vrtljiva tuljavica ima veliko ovojev tanke žice in jo vežemo na napetost bremena (kot V-meter), skozi njo teče tok  $I_v$ .

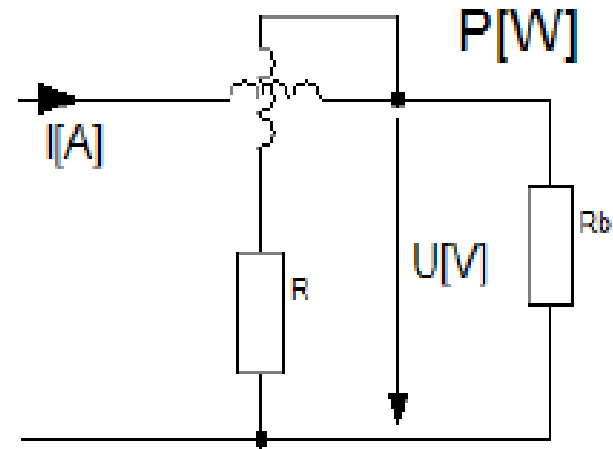
$$M_e = k_1 \cdot I \cdot I_v = k_1 \cdot I \cdot (U/R_v) = k_2 \cdot U \cdot I = k_2 \cdot P$$

Velja za enosmerno moč in tudi za izmenično, če je čista delovna moč. Pri realni obremenitvi, ki vsebuje tudi jalovo komponento pa je moment enak:

$M_e = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P$ , odklon je:  $\alpha = k P$ , iz česar vidimo, da je skala linearna.

Iz vezave elektrodinamičnega  $W$ -metra ugotovimo, da potrebujemo najmanj štiri priključne sponke. Dve za tokovno tuljavo in dve za napetostno tuljavo. V primeru razširitev merilnih območij pa še temu primerno več.

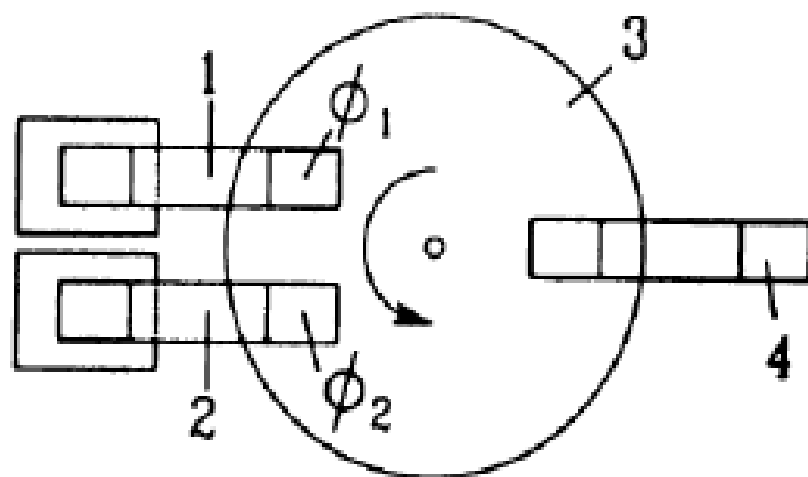
Elektrodinamične  $W$ -metre umerjamo na poln odklon pri nazivnem toku in nazivni napetosti, torej pri  $U \cdot I$ . Pri izmeničnem toku bomo dobili poln odklon le pri  $\cos \varphi = 1$ . Če pa ta pogoj ni izpolnjen, bo pri nazivni napetosti in nazivnem toku merilnik kazal manj kot poln odklon. Zato moramo paziti pri merjenju izmeničnih moči, ki so realne ne čisto delovne, da ne prekoračimo nazivnega toka, četudi kazalec  $W$ -metra ne kaže polno vrednost. Za zaščito običajno vežemo v tokovno vejo še dodatni  $A$ -meter, s katerim kontroliramo tok  $W$ -metra, da ne prekoračimo dopustnega nazivnega toka in ne uničimo merilnika.



# Indukcijski merilni instrumenti

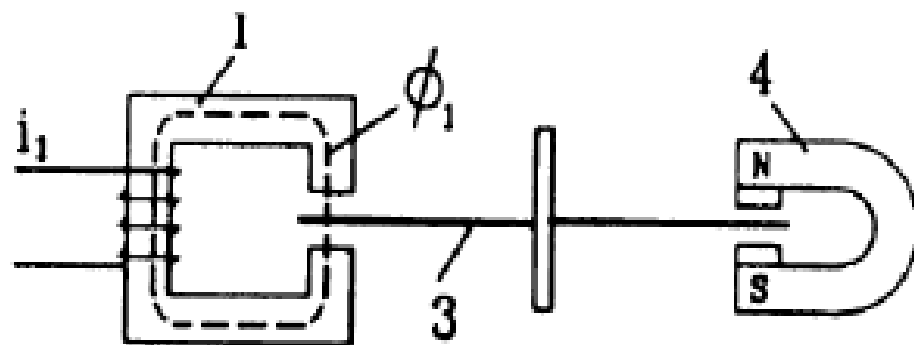


## Elektromehanski merilniki električne energije



- 1 - tokovna tuljava
- 2 - napetostna tuljava
- 3 - Al - disk
- 4 - trajni magnet

$$\phi_1 = \phi_I \quad \phi_2 = \phi_U$$



Tuljavi 1 in 2 povzročata magnetno polje, ki v plošči 3 inducira električni tok, na katerega deluje sila, ki zavrti ploščo 3. Da nastane vrtilni moment, morata biti magnetna polja  $\Phi_1$  in  $\Phi_2$  fazno premaknjena za  $90^\circ$ .  
 Odlikuje jih preprosta konstrukcija in zanesljivost.

$$M_1 = k_s \cdot \phi_I \cdot \phi_U \cdot \sin \psi = k_s \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi$$

$$\psi = 90^\circ - \varphi \quad \sin \psi = \cos \varphi \Rightarrow M_1 = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = kP$$

$$M_2 = k_z \cdot \frac{n}{t} \quad n = \frac{k}{k_2} \cdot P \cdot t = K \cdot W$$

Število vrtljajev  $n$  je sorazmerno energiji  $W$ , ki teče skozi števec.

Slika desno prikazuje priključitev enofaznega indukcijskega števca.

