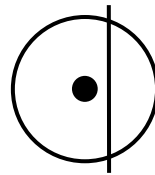


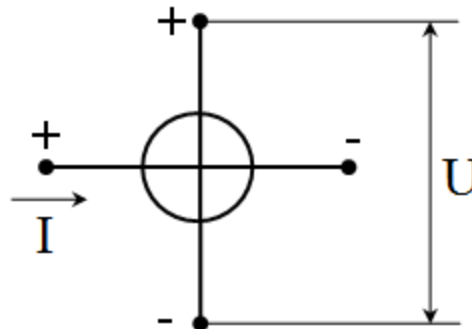
9. Merni instrumenti IV deo

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

- ❖ Indukcioni instrumenti mogu da se realizuju da mere struju, napon, aktivnu i reaktivnu snagu i energiju.
- ❖ U praksi najčešće se mogu sresti kao brojila električne energije.
- ❖ Ovi instrumenti isključivo se koriste za naizmenične veličine.
- ❖ Simbol ovog instrumenta prikazan je na slici.



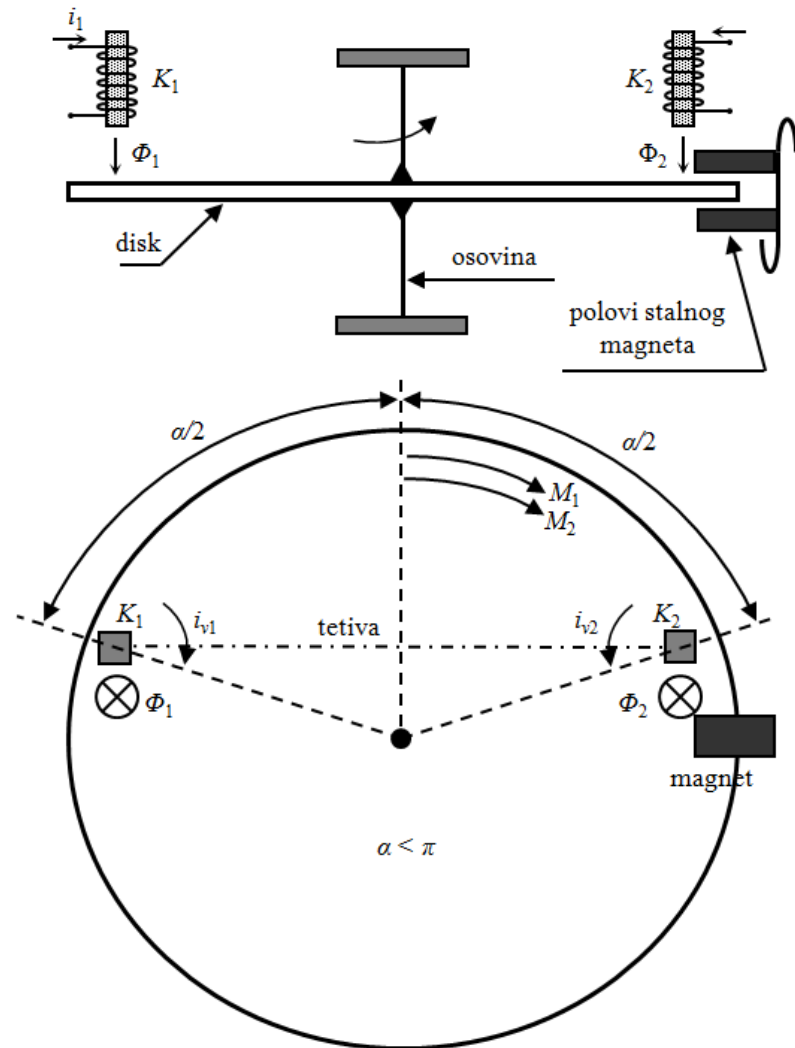
- ❖ Za brojilo oznake krajeva:



9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

❖ Princip rada indukcionih instrumenata ilustrovan je na slici.

- ❖ Disk sa slike se pravi od provodnog nemagnetnog materijala (najčešće aluminijum).
- ❖ On je postavljen na osovinu da može da se obrće.
- ❖ Elektromagneti sa strujama i_1 i i_2 , postavljeni su ekscentrično, na istoj tetivi.



9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

- ❖ Struje elektromagneta i_1 i i_2 stvaraju odgovarajuće flukseve. Struja i_1 stvara fluks Φ_1 , a i_2 fluks Φ_2 . Simbolično, to se može prikazati kao:

$$i_1 \rightarrow \Phi_1 \quad i_2 \rightarrow \Phi_2$$

- ❖ Fluksevi u disku indukuju vrtložne struje i_{v1} i i_{v2} , odnosno:

$$\Phi_1 \rightarrow i_{v1} \quad \Phi_2 \rightarrow i_{v2}$$

- ❖ Prema tome, ceo proces može se simbolički opisati kao:

$$i_1 \rightarrow \Phi_1 \rightarrow i_{v1} \quad i_2 \rightarrow \Phi_2 \rightarrow i_{v2}$$

- ❖ Uzajamnim dejstvom fluksa jednog elektromagneta na vrtložne struje koje pravi drugi elektromagnet javlja se kretni momenat, odnosno:

$$\Phi_1 \rightarrow i_{v2} \rightarrow m_1 \quad \Phi_2 \rightarrow i_{v1} \rightarrow m_2$$

- ❖ Kod instrumenata za merenje struje, napona i snage **otporni momenat stvaraju spiralne opruge**, a kod električnog brojila za to je zadužen **stalni magnet**.

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

❖ Aktivni momenat se daje u obliku:

$$m(t) = k' \cdot \Phi(t) \cdot i_v(t) = k \cdot i(t) \cdot i_v(t)$$

gde su:

$i(t)$ struja kroz kalem,

$i_v(t)$ indukovana vrtložna struja,

$\Phi(t)$ fluks kalema koji je posledica struje $i(t)$, a

k i k' su konstruktivne konstante.

❖ Postoje dve vrste momenta:

1. Momenat fluksa (struje) kalema $\Phi_i (i_i)$ i vrtložne struje koja je posledica dejstva tog fluksa (struje). Taj momenat se može označiti sa m_{ii} .

2. Momenat fluksa (struje) kalema $\Phi_i (i_i)$ i vrtložne struje koja je posledica dejstva fluksa drugog kalema. Taj momenat se može označiti sa m_{ij} .

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

m_{ii}

- ❖ Prvi tip momenta je pulsirajući sa srednjom vrednošću 0 i ne uzrokuje rotaciju diska. To se može lako pokazati.
- ❖ Neka je struja kroz kalem:

$$i_1(t) = I_{1m} \sin \omega t$$

- ❖ Vrtložna struja indukovana u disku kasni za ugao $\pi/2$, pošto je disk čisto omski otpor. Ta struja može da se opiše relacijom:

$$i_{v1}(t) = I_{v1m} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = -I_{v1m} \cos \omega t$$

- ❖ Trenutna vrednost momenta je:

$$m(t) = -k I_{1m} I_{v1m} \sin \omega t \cos \omega t$$

$$m(t) = -k I_{1m} I_{v1m} \frac{\sin 2\omega t}{2}$$

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

m_{ii}

- ❖ Srednja vrednost momenta je:

$$M_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T m(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left(-k \cdot I_{lm} \cdot I_{vlm} \frac{\sin 2\omega t}{2} \right) dt = 0$$

- ❖ Srednja vrednost momenta je jednaka 0 pošto je integral periodične funkcije na celoj periodi jednak 0.
- ❖ Može se potvrditi početna premisa da ovaj tip momenta ne uzrokuje rotaciju diska.

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

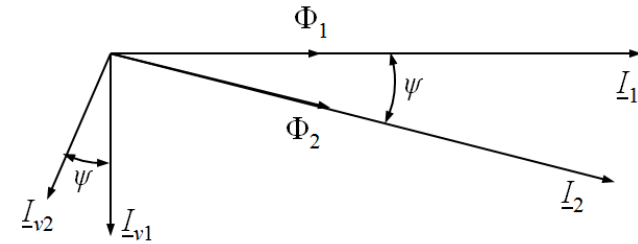
m_{ij}

- ❖ Drugi tip momenta stvara **kretni momenat**, pod uslovom da su struje u kalemovima međusobno fazno pomerene.
- Ako nisu međusobno fazno pomerene (na primer, kalemovi vezani na red), to se svodi na prvi slučaj.
- ❖ Ako su struje fazno pomerene, tada struja prvog kalema:

$$i_1(t) = I_{1m} \sin \omega t$$

indukuje vrtložnu struju:

$$i_{v1}(t) = I_{v1m} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$



- ❖ Struja drugog kalema

$$i_2(t) = I_{2m} \sin(\omega t - \psi)$$

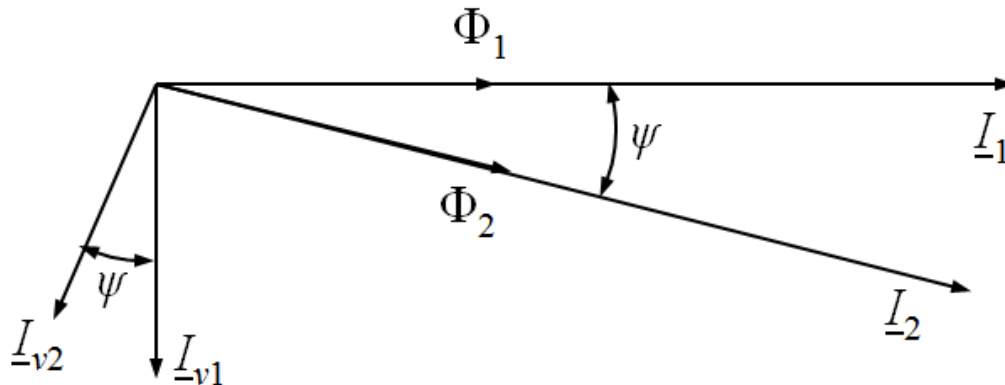
indukuje vrtložnu struju:

$$i_{v2}(t) = I_{v2m} \sin \left(\omega t - \psi - \frac{\pi}{2} \right)$$

gde je ψ fazni pomeraj između struja I_1 i I_2 .

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

❖ Vektorski dijagram struja dat je na slici.



m_{ij}

❖ Postoje dve komponente drugog tipa momenta.

- **Prva komponenta** je usled dejstva fluksa prvog kalema na vrtložne struje drugog kalema, $\Phi_1 \rightarrow i_{v2}$. Ta komponenta se može označiti sa **m_{12}** .
- **Druga komponenta** je usled dejstva fluksa drugog kalema na vrtložne struje prvog kalema, $\Phi_2 \rightarrow i_{v1}$. Ta komponenta se može označiti sa **m_{21}** .

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

m_{ij}

❖ Trenutna vrednost prve komponente momenta je:

$$m_{12}(t) = k \cdot i_1(t) \cdot i_{v2}(t) = k \cdot I_{1m} \sin \omega t \cdot I_{v2m} \sin \left(\omega t - \psi - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$m_{12}(t) = -k \cdot I_{1m} \cdot I_{v2m} \sin \omega t \cdot \cos(\omega t - \psi)$$

❖ Pošto iz trigonometrije važi formula:

$$\sin \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)]$$

za trenutnu vrednost momenta se dobija:

$$m_{12}(t) = -k \cdot I_{1m} \cdot I_{v2m} \frac{1}{2} [\sin(2\omega t - \psi) + \sin \psi]$$

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

m_{ij}

❖ Srednja vrednost ove komponente momenta je sada:

$$M_{12sr} = \frac{1}{T} \int_0^T m_{12}(t) dt = -\frac{k I_{1m} I_{v2m}}{2} \frac{1}{T} \int_0^T [\sin(2\omega t - \psi) + \sin \psi] dt$$

$$M_{12sr} = \frac{1}{T} \int_0^T m_{12}(t) dt = -\frac{k}{2} I_{1m} I_{v2m} \sin \psi$$

❖ Znak „-“ znači da fluks Φ_1 odbija vrtložne struje fluksa Φ_2 .

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

m_{ij}

❖ Trenutna vrednost druge komponente momenta je:

$$m_{21}(t) = k \cdot I_{2m} \sin(\omega t - \psi) \cdot I_{v1m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$m_{21}(t) = -k \cdot I_{2m} \cdot I_{v1m} \sin(\omega t - \psi) \cdot \cos \omega t$$

$$m_{21}(t) = -k \cdot I_{2m} \cdot I_{v1m} \frac{1}{2} [\sin(2\omega t - \psi) + \sin(-\psi)]$$

$$m_{21}(t) = -k \cdot I_{2m} \cdot I_{v1m} \frac{1}{2} [\sin(2\omega t - \psi) - \sin(\psi)]$$

❖ Srednja vrednost ove komponente momenta je:

$$M_{21sr} = \frac{1}{T} \int_0^T m_{21}(t) dt = -\frac{k I_{2m} I_{v1m}}{2} \frac{1}{T} \int_0^T [\sin(2\omega t - \psi) - \sin \psi] dt$$

$$M_{21sr} = \frac{k}{2} I_{2m} I_{v1m} \sin \psi$$

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

- ❖ Ova komponenta momenta je pozitivna, a to znači da fluks Φ_2 privlači vrtložne struje fluksa Φ_I .
- ❖ To znači da se momenti M_{I2sr} i M_{2Isr} sabiraju, tako da je ukupan momenat:

$$M_a = M_{I2sr} + M_{2Isr} = \frac{k}{2} [I_{1m} I_{v2m} + I_{2m} I_{v1m}] \sin \psi$$

- ❖ Ako se pretpostavi da je:

$$I_{v2m} = k' \cdot I_{2m} \text{ i } I_{v1m} = k' \cdot I_{1m}$$

- ❖ dobija se:

$$M_a = \frac{kk'}{2} [I_{1m} I_{2m} + I_{2m} I_{1m}] \sin \psi$$

$$M_a = kk' I_{1m} I_{2m} \sin \psi$$

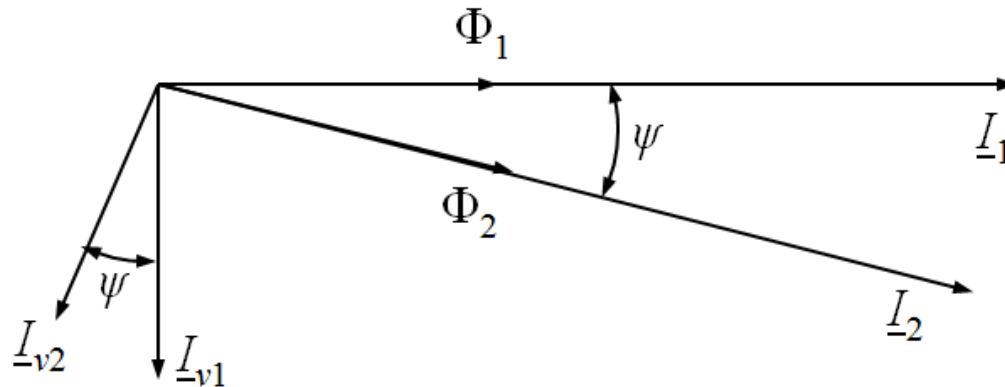
gde je ψ ugao između flukseva $\underline{\Phi}_I$ i $\underline{\Phi}_2$, odnosno fazora struja $\underline{I}_I$ i $\underline{I}_2$.

9.8. INDUKCIONI INSTRUMENTI

❖ Generalno, aktivni momenat kod indukcionih instrumenata je:

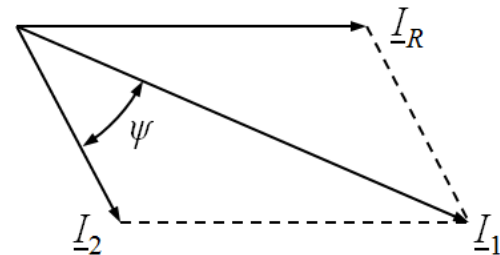
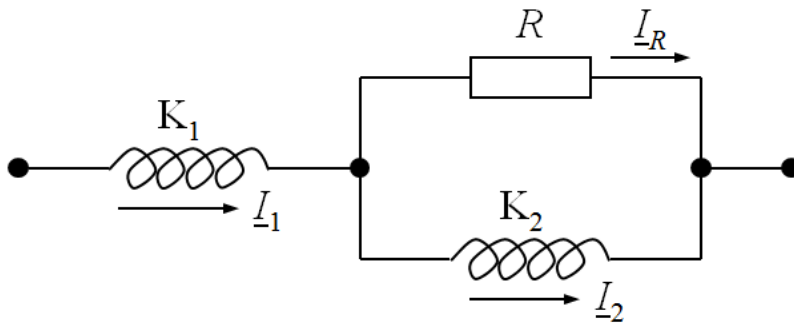
$$M_a = KI_1 I_2 \sin \angle(\underline{I}_1, \underline{I}_2) = K' \Phi_1 \Phi_2 \sin \angle(\underline{\Phi}_1, \underline{\Phi}_2)$$

❖ Iz izraza za momenat vidi se da je ovde situacija drugačija nego kod elektrodinamičkih instrumenata jer je momenat funkcija sinusa ugla, a ne kosinusa.



9.8.1. Indukcioni ampermetar

- ❖ Kada se indukcioni instrument realizuje kao ampermetar kalemovi K_1 i K_2 se vezuju na red, ali tako da se ostvari fazni pomeraj između struja.
- ❖ Šema vezivanja prikazana je na slici levo, dok je fazorski dijagram prikazan na slici desno.



9.8.1. Indukcioni ampermetar

- ❖ Na osnovu šeme može se reći da između struja kalemova $K1$ i $K2$ postoji veza:

$$I_2 = k_1 I_1$$

- ❖ Aktivni momenat je tada:

$$M_a = k I_1 I_2 \sin \psi = k I_1 k_1 I_1 \sin \psi$$

$$M_a = k_2 I_1^2$$

- ❖ Otporni momenat stvaraju spiralne opruge pa je:

$$M_o = c \cdot \alpha$$

- ❖ Pri ravnoteži momenata važi

$$M_a = M_o$$

$$k_2 I_1^2 = c \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{k_2}{c} I_1^2$$

9.8.2. Indukcioni voltmetar

- ❖ U realizaciji voltmetra celom sistemu se na red vezuje veliki otpor R_v .
- ❖ Tada je struja kroz sistem:

$$i = \frac{u}{R_v}$$

- sva razmatranja za ampermetar važe i u slučaju voltmetra. Dobija se da je:

$$\alpha = kU^2$$

9.8.3. Indukcioni vatmetar i varmetar

- ❖ U slučaju kada se indukcioni instrument realizuje kao **vatmetar i varmetar** kroz jedan kalem protiče struja potrošača, a kroz drugi kalem protiče struja proporcionalna naponu potrošača, odnosno:

$$I_1 \sim I_p \quad I_2 \sim U_p$$

- ❖ U tom slučaju ugao između fazora struja I_1 i I_2 je jednak uglu između fazora struje potrošača I_p i napona potrošača U_p , odnosno:

$$\angle(\underline{I}_1, \underline{I}_2) = \angle(\underline{U}_p, \underline{I}_p) = \varphi$$

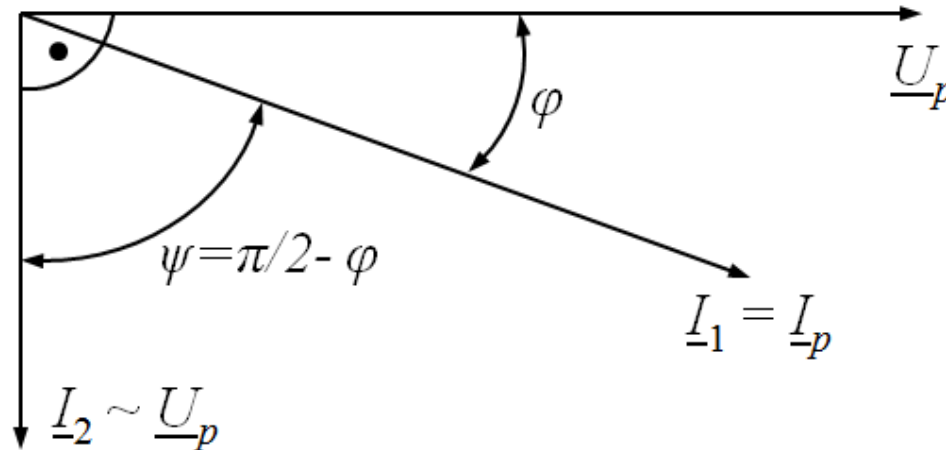
- ❖ Pri tome, **struja u naponskom kolu mora biti u fazi sa naponom**, a zbog induktivnosti kalema to se obezbeđuje dodatnim elementima.
- ❖ Tada je aktivni momenat:

$$M_a = k U_p I_p \sin \varphi = k \cdot Q$$

- ❖ To znači da se osnovnom konstrukcijom dobija **varmetar**.

9.8.3. Indukcioni vatmetar i varmetar

- ❖ Da bi se instrument realizovao kao **vatmetar** mora se obezbediti **uslov kvadrature** tj. da struja u naponskom kolu bude pomerena za $\pi/2$ u odnosu na napon.
- ❖ To se postiže konstruktivno. Postoji niz veza kojima se to realizuje.
- ❖ Fazorski dijagram izgleda kao na slici.



9.8.3. Indukcioni vatmetar i varmetar

❖ Sada važi da je:

$$\angle(\underline{I}_1, \underline{I}_2) = \psi = \frac{\pi}{2} - \varphi$$

➤ pa se za aktivni momenat dobija:

$$M_a = kUI \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$$

$$M_a = kUI \cos \varphi = k \cdot P$$

❖ Kao što se vidi, obezbeđenjem **uslova kvadrature** indukcionim instrument može da meri i aktivnu snagu, odnosno da radi kao **vatmetar**.

9.8.4. Indukciono brojilo električne energije

- ❖ U praksi, indukcioni instrumenti se najčešće realizuju kao **brojila električne energije**.
- ❖ Brojila su razvijena iz vatmetara i varmetara.
- ❖ Ona nemaju spiralne opruge jer mora da se omogući rotacija diska.
- ❖ Pri merenju ubacuje se komponenta vremena.
- ❖ Preko sistema zupčanika registruje se broj obrtaja diska.

9.8.4. Indukciono brojilo električne energije

- ❖ Pri konstrukciji brojila teži se da aktivni momenat bude linearna funkcija aktivne snage, odnosno:

$$M_a = c_1 \cdot P$$

- ❖ Takođe, teži se da otporni momenat bude linearna funkcija ugaone brzine obrtanja ω :

$$M_o = c_2 \cdot \omega$$

- ❖ Kada su momenti izjednačeni važi:

$$M_a = M_o$$

- ❖ Dalje važi važi:

$$c_1 \cdot P = c_2 \cdot \omega = c_2 \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

gde je α ugao zakretanja diska.

9.8.4. Indukciono brojilo električne energije

- ❖ Integracijom prethodne jednačine po vremenu od 0 do nekog vremena t dobija se:

$$\int_0^t c_1 P dt = \int_0^t c_2 \frac{d\alpha}{dt} dt$$

$$c_1 \int_0^t P dt = c_2 \int_0^t d\alpha$$

$$c_1 W = c_2 \alpha = c_2 2\pi N$$

$$W = \frac{c_2}{c_1} 2\pi N = k_b N$$

gde su: W - utrošena energija,

N - broj obrtaja registrovan za vreme t , a

k_b - konstanta brojila.

9.8.4. Indukciono brojilo električne energije

- ❖ Konstanta brojila k_b pokazuje kolika je utrošena energija po jednom obrtaju diska.
- ❖ Ona se obično daje u jedinicama Ws/ob ili kWh/ob.
- ❖ Određuje se uvek iz podatka koji je dat na brojilu u obliku:

$$X[\text{obrtaja}] = 1 \text{ kWh}$$

- ❖ Ovo znači da disk treba da obrne X puta da bi se registrovala energija od 1 kWh. Iz tog podatka konstanta brojila se dobija na sledeći način:

$$k_b = \frac{3.6 \cdot 10^6}{X} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{ob}} \right] \text{ ili } k_b = \frac{1}{X} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{ob}} \right]$$

- ❖ Postoje dva osnovna problema koje treba rešiti pri realizaciji indukcionog brojila.
- ❖ **Prvi problem** je kako obezbediti linearnu zavisnost aktivnog momenta od merene snage, a **drugi** kako obezbediti linearnu zavisnost otpornog momenta od brzine obrtanja.

9.8.4. Indukciono brojilo električne energije

- ❖ **Prvi problem** se relativno lako rešava jer je ranije pokazano kod indukcionog vatmetra da je skretanje proporcionalno merenoj aktivnoj snazi, pri čemu se samo mora realizovati uslov kvadrature.
- ❖ **Drugi problem** je složeniji. Za vreme rotacije diska **postoji više kočionih momenata. Osnovnu komponentu diktira dejstvo stalnog magneta.**
- ❖ Za vreme rotacije i stalni magnet stvara vrtložne struje, koje su proporcionalne njegovom fluksu i brzini obrtanja.
- ❖ Pri tome se javljaju dejstva:
 - flukseva strujnog i naponskog kalema na vrtložne struje stalnog magneta,
 - fluksa stalnog magneta na vrtložne struje strujnog i naponskog kalema,
 - fluksa stalnog magneta na njegove vrtložne struje.

9.8.4. Indukciono brojilo električne energije

❖ Generalno gledano, **postoje tri komponente otpornog momenta**:

– usled stalnog magneta $M_1 = \omega k_1 \Phi_m^2$

– usled strujnog kalema $M_2 = \omega k_2 \Phi_i^2$

– usled naponskog kalema $M_3 = \omega k_3 \Phi_u^2$

❖ Zbog rotacije diska javlja se otporni momenat usled trenja u ležištima M_σ .

❖ Ukupan otporni momenat sada je: $M_o = \omega \cdot (k_1 \Phi_m^2 + k_2 \Phi_i^2 + k_3 \Phi_u^2) + M_\sigma$

❖ U brojilu se formira dodatni aktivni momenat M_Δ , koji treba da poništi otporni momenat koji je posledica trenja, odnosno treba da važi:

$$M_\Delta \cong M_\sigma$$

❖ Taj momenat se formira tako što se deo fluksa strujnog ili naponskog kalema „*defazira*”, odnosno deo površine gvođenog jezgra kalema se prekrije provodnom pločicom ili se deo obuhvati jednim kratkospojnim namotajem.

9.8.4. Indukciono brojilo električne energije

- ❖ Konstruktivno se podešava da fluksevi kalemova budu mnogo manji od fluksa stalnog magneta, odnosno da važi:

$$\Phi_m \gg \Phi_i, \Phi_u$$

- ❖ Tada je otporni momenat:

$$M_o \cong \omega k_1 \Phi_m^2 + M_\sigma$$

- ❖ Ukupan aktivni momenat je:

$$M_{au} = k'P + M_\Delta$$

- ❖ Pri ravnoteži momenata dobija se:

$$M_{au} = M_o$$

$$k'P + M_\Delta = \omega k_1 \Phi_m^2 + M_\sigma$$

$$k'P = \omega k_1 \Phi_m^2 = k_1 \Phi_m^2 \frac{d\alpha}{dt}$$

9.8.4. Indukciono brojilo električne energije

- ❖ Integracijom poslednje jednačine po vremenu od trenutka 0 do trenutka t dobija se:

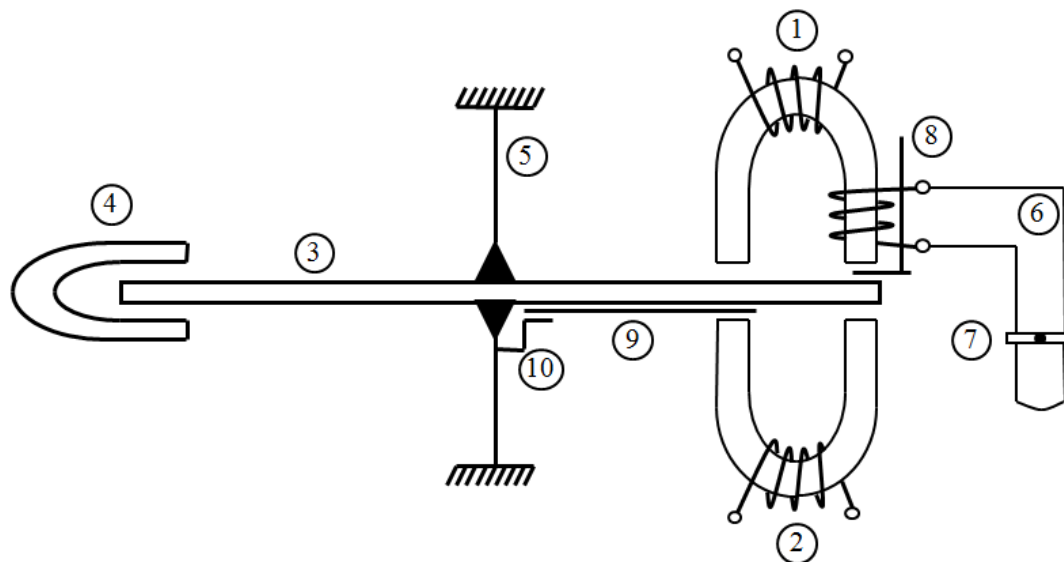
$$k' \int_0^t P dt = k_1 \Phi_m^2 \int_0^t d\alpha$$

$$W = \frac{k_1}{k'} \Phi_m^2 \alpha = \frac{k_1}{k'} \Phi_m^2 2\pi N = k_b N$$

- ❖ Izmerena utrošena energija srazmerna je broju obrtaja diska.

9.8.4.1. Podešavanje indukcionog brojila

- ❖ Podešavanje brojila sastoji se od nekoliko aktivnosti koje imaju za cilj da brojilo radi pravilno i tačno.
- Na slici je data skica brojila sa svim delovima od značaja pomoću koje će se objasniti podešavanje brojila.



1 – strujni kalem,
2 – naponski kalem
3 – disk,
4 – magnet,
5 – osovina,

6 – kolo za podešavanje uslova kvadrature,
7 – konjic,
8 – osovina i pločica za kompenzaciju trenja,
9 i 10 – jezičak i kukica za sprečavanje okretanja
usled dejstva naponskog kalema.

9.8.4.1. Podešavanje indukcionog brojila

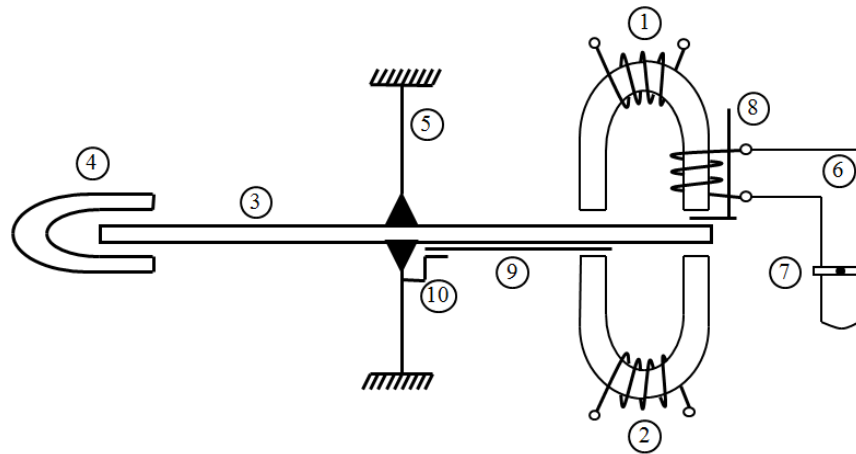
❖ Uslov kvadrature, odnosno uslov da bude

$$\psi + \varphi = 90^\circ$$

podešava se mostićem, kratkospojnikom (oznaka 7 sa slike).

❖ Time se menja otpor dodatnog namotaja na strujnom kalemu.

❖ Taj kalem je od otporne žice i pomoću njega se menjaju parametri strujnog kalema i podešava ugao $\psi + \varphi$.

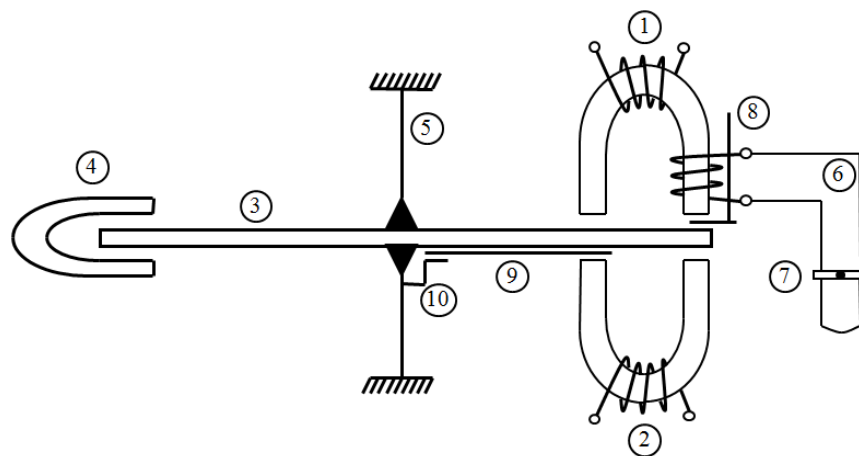


1 – strujni kalem,
2 – naponski kalem
3 – disk,
4 – magnet,
5 – osovina,

6 – kolo za podešavanje uslova kvadrature,
7 – konjic,
8 – osovina i pločica za kompenzaciju trenja,
9 i 10 – jezičak i kukica za sprečavanje okretanja
usled dejstva naponskog kalema.

9.8.4.1. Podešavanje indukcionog brojila

- ❖ Kompenzacija otpornog momenta usled trenja vrši se pomoću osovine i pločice na njenom kraju (oznaka 8 sa slike).
- ❖ Ta pločica prekriva deo jezgra strujnog kalema i time menja njegov ukupni fluks. Tako se stvara dopunski momenat M_{Δ} .

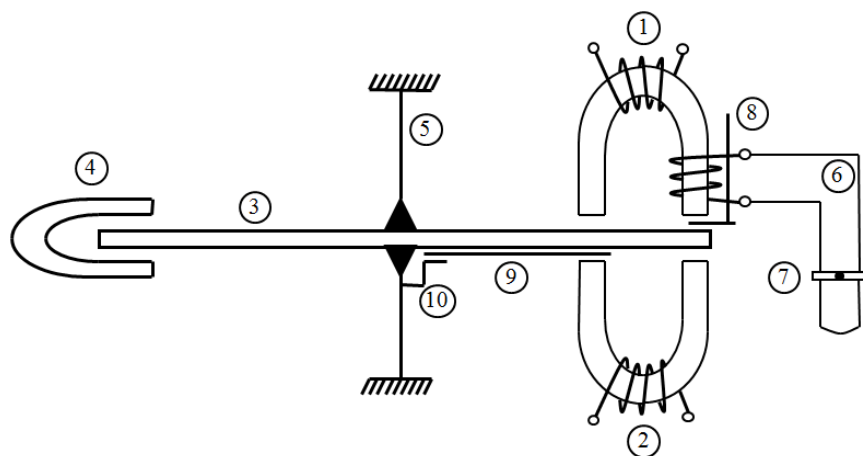


1 – strujni kalem,
2 – naponski kalem
3 – disk,
4 – magnet,
5 – osovina,

6 – kolo za podešavanje uslova kvadrature,
7 – konjic,
8 – osovina i pločica za kompenzaciju trenja,
9 i 10 – jezičak i kukica za sprečavanje okretanja
usled dejstva naponskog kalema.

9.8.4.1. Podešavanje indukcionog brojila

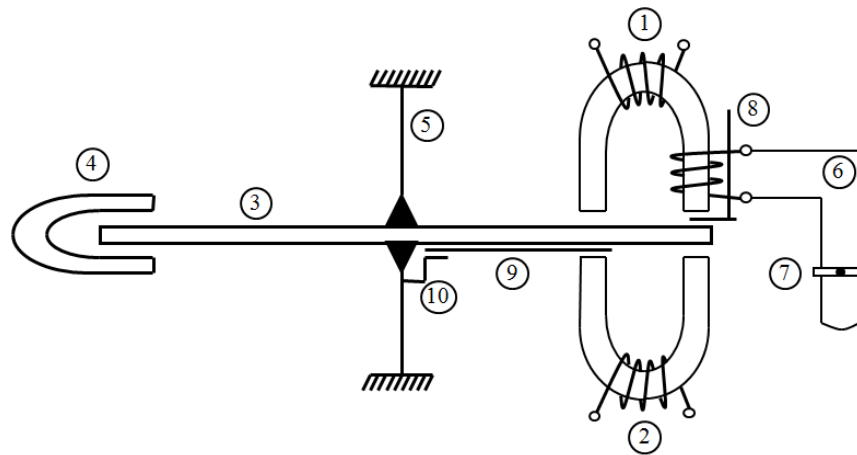
- ❖ Kod podešavanja brojila potrebno je **sprečiti obrtanje u praznom hodu.**
- ❖ U slučaju kada je struja jednaka nuli disk ne sme da se kreće.
- ❖ To se radi pomoću male metalne pločice postavljene na osovini diska i komadom lima koji delimično prekriva jezgro naponskog kalema (oznake 9 i 10 sa slike).
- ❖ Pošto je naponski kalem stalno uključen (brojilo je uvek pod naponom), njegov fluks stalno postoji, pa je komad lima stalno namagnetisan i privlači metalnu pločicu učvršćenu na osovini i tako se disk zaustavlja.



- 1 – strujni kalem,
- 2 – naponski kalem
- 3 – disk,
- 4 – magnet,
- 5 – osovina,
- 6 – kolo za podešavanje uslova kvadrature,
- 7 – konjic,
- 8 – osovina i pločica za kompenzaciju trenja,
- 9 i 10 – jezičak i kukica za sprečavanje okretanja usled dejstva naponskog kalema.

9.8.4.1. Podešavanje indukcionog brojila

- ❖ Regulacija broja obrtaja vrši se pomeranjem ili obrtanjem stalnog magneta.
- ❖ Tako se menja površina diska koju prekriva magnet. Na taj način se utiče na otporni momenat i broj obrtaja u jedinici vremena.

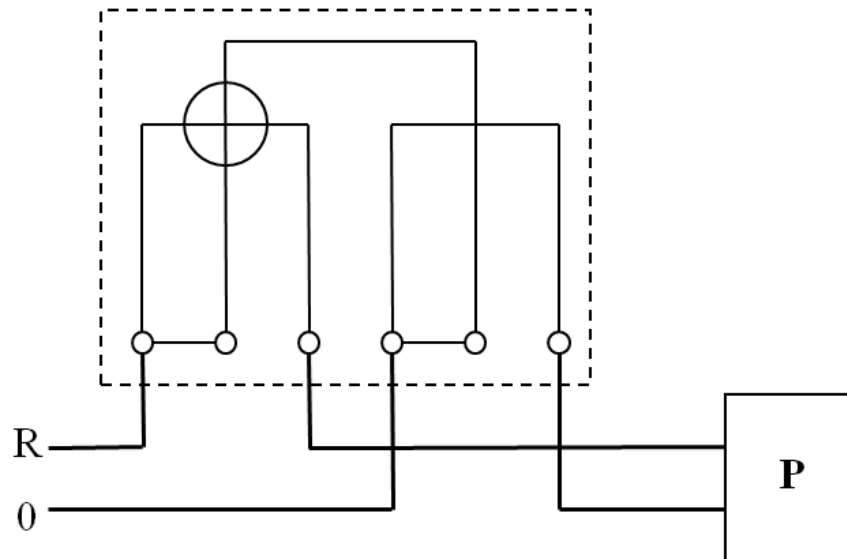


1 – strujni kalem,
2 – naponski kalem
3 – disk,
4 – magnet,
5 – osovina,

6 – kolo za podešavanje uslova kvadrature,
7 – konjic,
8 – osovina i pločica za kompenzaciju trenja,
9 i 10 – jezičak i kukica za sprečavanje okretanja
usled dejstva naponskog kalema.

9.8.4.2. Šeme indukcionih brojila

- ❖ Brojila se, prema tipu potrošača čija se energija meri, mogu podeliti na monofazna i trofazna brojila.
- ❖ **Monofazna brojila** mere aktivnu energiju monofaznih potrošača.
- ❖ Proizvode se za napon 220 V i više vrednosti struja.
- ❖ Šema priključivanja monofaznog brojila prikazana je na slici.
- ❖ Potrebno je reći da se **monofazna brojila za reaktivnu energiju ne proizvode**.



9.8.4.2. Šeme indukcionih brojila

- ❖ **Trofazna brojila** se koriste u trofaznim sistemima za merenje aktivne i reaktivne energije trofaznih potrošača. Mogu biti:
 - dvosistemska, $3 \times 380\text{V}$, $3 \times 400\text{V}$
 - trosistemska, $3 \times 380/220\text{ V}$, $3 \times 400/231\text{V}$
 - dvotarifna,
 - sa pokazivačem maksimuma.
- ❖ Da li će se koristiti dvosistemsko ili trosistemsko brojilo zavisi od načina napajanja potrošača.
 - Ako je trožični sistem napajanja (tri fazna bez neutralnog provodnika) onda se koriste dvosistemska brojila.
 - U slučaju četvorožičnog sistema napajanja (tri fazna i neutralni provodnik) koriste se trosistemska brojila.

9.8.4.2. Šeme indukcionih brojila

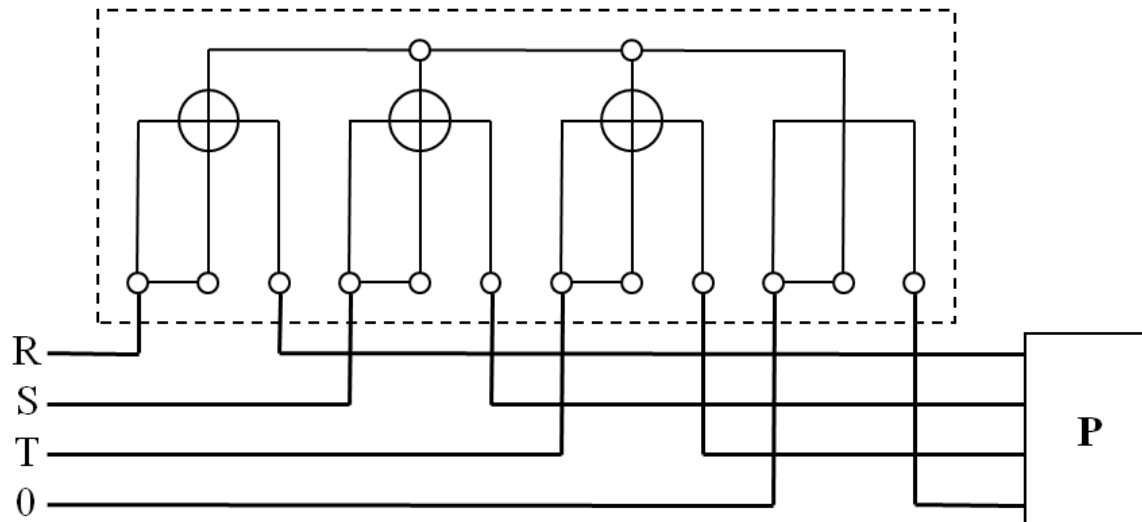
- ❖ Brojila se uglavnom izrađuju u **dvotarifnoj varijanti**, ali to nije pravilo.
- Od običnih se razlikuju jedino po tome što imaju **dva brojčanika za dve različite tarife**.
- Uključivanje pojedinih brojčanika vrši se pomoću **elektromagnetnog preklopnika**.

- ❖ Brojila sa **pokazivačem maksimuma** u intervalu između dva očitavanja pokazuju najveće opterećenje u kW.
- Ova brojila služe da se stekne uvid u to kako potrošač opterećuje električnu mrežu u pogledu snage.

- ❖ **Klase tačnosti brojila** zavise od namene, odnosno mesta ugradnje.
- ❖ Za domaćinstva klasa tačnosti brojila je **2**, a za brojila koja se povezuju na kupoprodajnim mestima klasa tačnosti je **0.2**.

9.8.4.2. Šeme indukcionih brojila

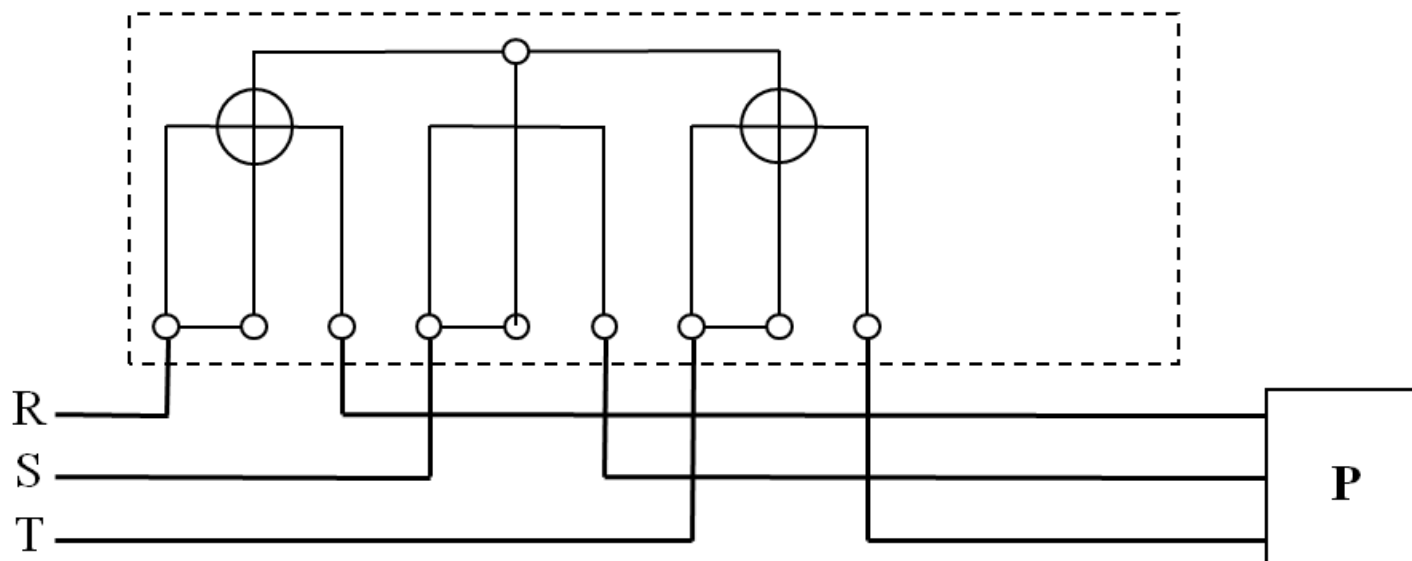
- ❖ Na slici je data šema **trofaznog trosistemskog brojila za merenje aktivne energije u četvorožičnom sistemu.**



- ❖ Ova brojila se mogu primeniti i u trožičnom sistemu ali u tom slučaju brojilo je bez sistema za neutralni provodnik.
- ❖ Praktično gledano, ova šema odgovara merenju aktivne snage pomoću tri vatmetra.

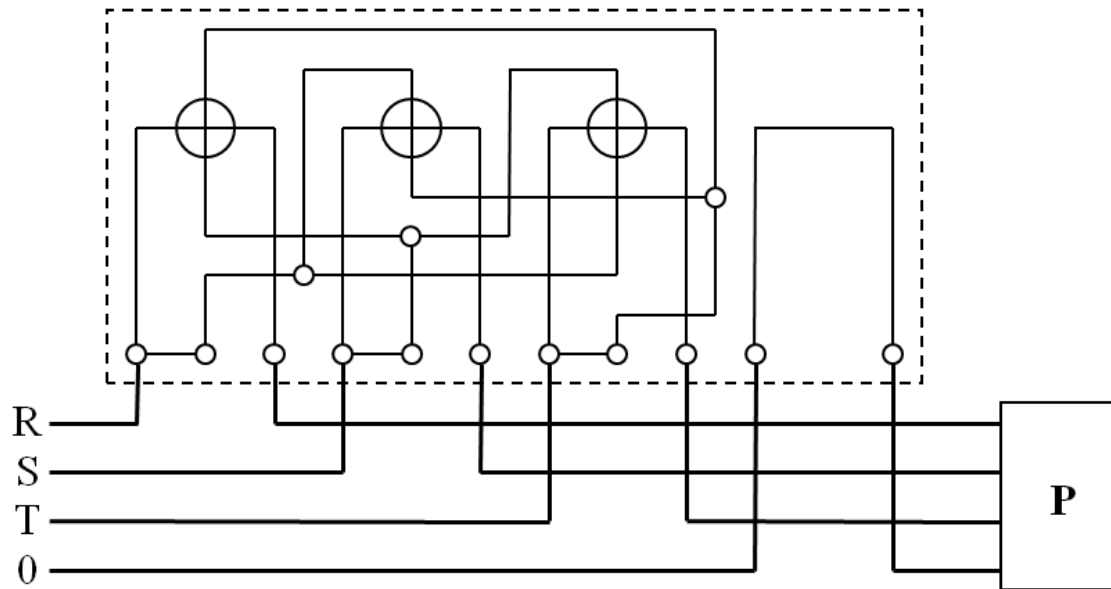
9.8.4.2. Šeme indukcionih brojila

- ❖ Na slici je data šema vezivanja **trofaznog dvosistemskog brojila za merenje aktivne energije**.
- ❖ Ova brojila služe za merenje aktivne energije u trožičnom sistemu.
- ❖ Ova šema odgovara Aronovoj vezi za merenje aktivnih snaga.



9.8.4.2. Šeme indukcionih brojila

- ❖ Na slici je prikazana šema vezivanja **trofaznog trosistemskog brojila za merenje reaktivne energije u četvrorožičnim sistemima**.
- ❖ Šema odgovara merenju reaktivne snage pomoću tri vatmetra.



10. Merenje snage u električnim kolima I deo

10. MERENJE SNAGE U ELEKTRIČNIM KOLIMA

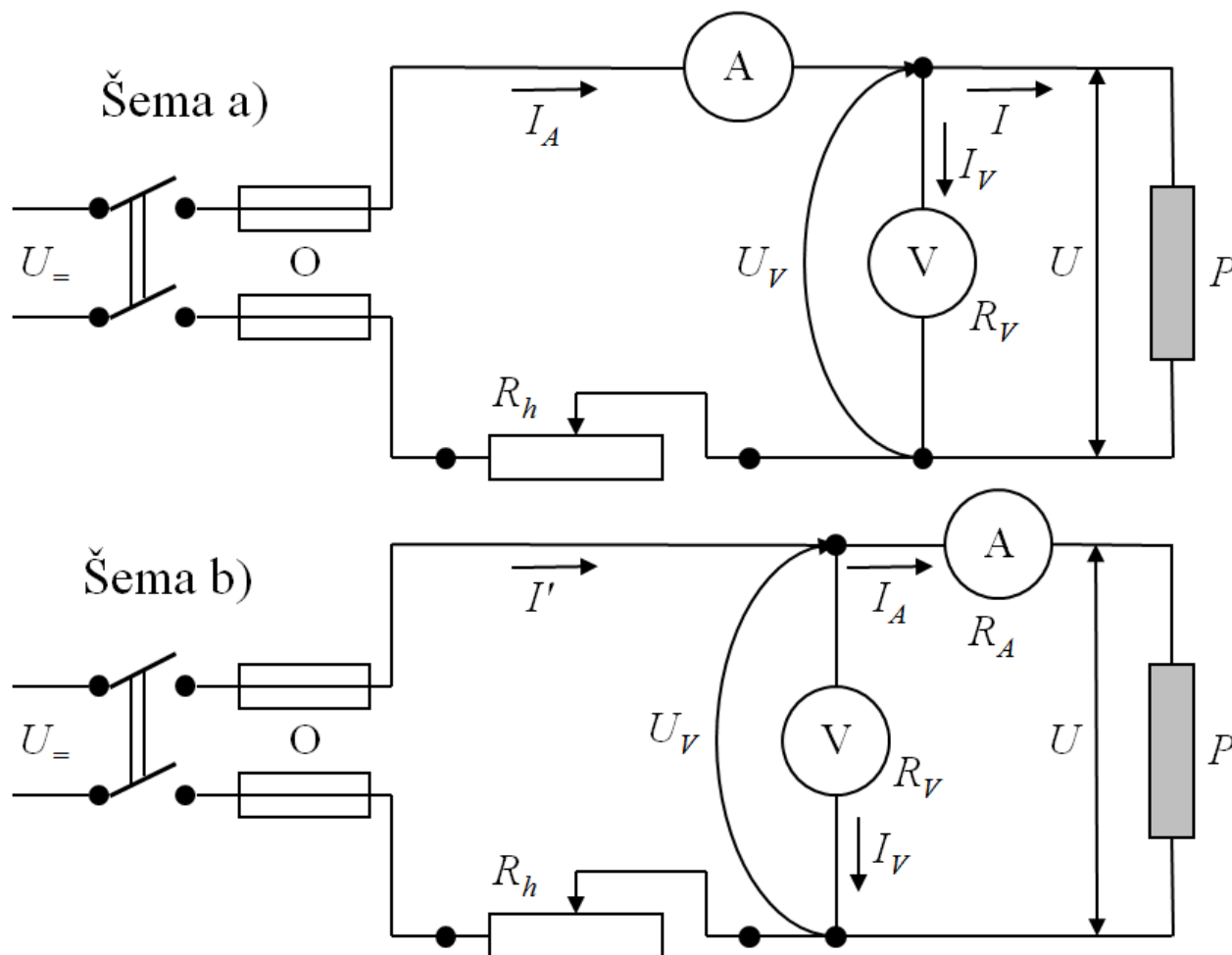
- ❖ Električna snaga se meri instrumentima koji se nazivaju **vatmetri**. To je **direktno merenje**.
- ❖ Postoje određeni slučajevi kada se snaga može meriti i **indirektno, bez vatmetra**.
- ❖ Na primer, snaga se može meriti u kolima jednosmerne struje primenom **U–I metode**.
- ❖ Takođe, za merenje snage u jednosmernim kolima može da se koristi i **kompensator**.
- ❖ U jednofaznim kolima naizmenične struje snaga može da se meri metodama sa **3 voltmetra** ili sa **3 ampermetra**.

10. MERENJE SNAGE U ELEKTRIČNIM KOLIMA

- ❖ Pomenute metode su pomoćne metode koje se koriste ako se ne raspolaže vatmetrima.
- ❖ U nastavku će biti obrađene metode za merenje snage koje ne koriste vatmetar, a nakon toga posebno će se obraditi merenje snage u trofaznim naizmeničnim kolima.

10.1. Merenje snage u DC kolima primenom U–I metode

- ❖ Kod ove metode za merenje snage koristi se **voltmetar i ampermetar**.
Postoje dve moguće šeme. Prva šema kada je ampermetar ispred voltmetra i druga, kada je ampermetar iza voltmetra.



10.1. Merenje snage u DC kolima primenom U–I metode

- ❖ Šeme su praktično iste kao i kod merenja otpora U–I metodom.
- ❖ Kod obe šeme postoji sistematska greška.
- ❖ Kod šema a) sistematska greška je zbog unutrašnje potrošnje voltmetra, a kod šeme b) zbog pada napona na ampermetru.
- ❖ Za obe šeme tačna vrednost snage je:

$$P = U \cdot I$$

gde su U napon na potrošaču, a I struja kroz potrošač.

- ❖ Ako se snaga računa samo na osnovu pokazivanja instrumenata dobija se približna vrednost snage:

$$P' = U_V \cdot I_A$$

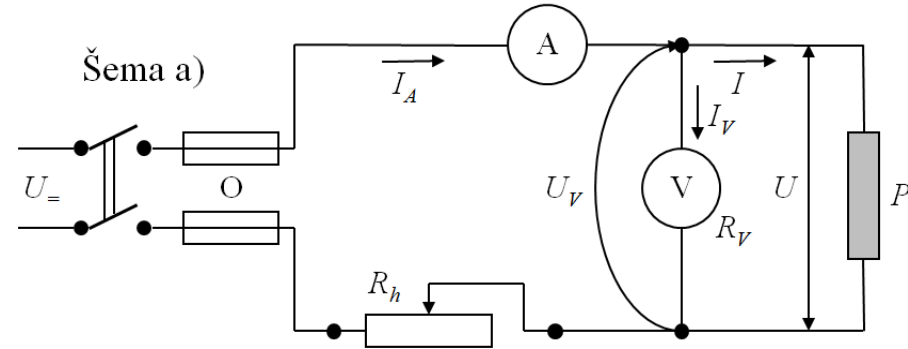
10.1. Merenje snage u DC kolima primenom U–I metode

❖ Vrednosti P i P' razlikuju se zbog sistematske greške.

❖ Za šemu a) važi:

$$U_V = U$$

$$I_A = I + I_V = I + \frac{U_V}{R_V} = I + \frac{U}{R_V}$$



pa je približna vrednost snage:

$$P' = U_V \cdot I_A = U \cdot \left(I + \frac{U}{R_V} \right) = U \cdot I + \frac{U^2}{R_V}$$

$$P' = P + \frac{U^2}{R_V}$$

❖ Tačna vrednost snage sada je:

$$P = P' - \frac{U^2}{R_V}$$

$$P = U_V I_A - \frac{U_V^2}{R_V}$$

10.1. Merenje snage u DC kolima primenom U–I metode

- ❖ Apsolutna greška koja bi se napravila ako se ne uvaži korekcija zbog struje koja teče kroz voltmetar bila bi:

$$\Delta P = P' - P = \frac{U^2}{R_V}$$

- ❖ Apsolutna greška je uvek pozitivna pošto u merenu snagu ulazi i unutrašnja potrošnja voltmetra.
- ❖ Relativna greška je sada:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\frac{U^2}{R_V}}{UI} = \frac{P_V}{P}$$

- ❖ Generalno, pri merenju treba koristiti voltmetre sa **što većim unutrašnjim otporom**.

10.1. Merenje snage u DC kolima primenom U–I metode

❖ Za šemu b) je:

$$U_V = U + R_A I$$

$$I_A = I$$

pa je približna vrednost snage:

$$P' = U_V \cdot I_A = (U + R_A I) \cdot I = UI + R_A I^2 = P + R_A I^2$$

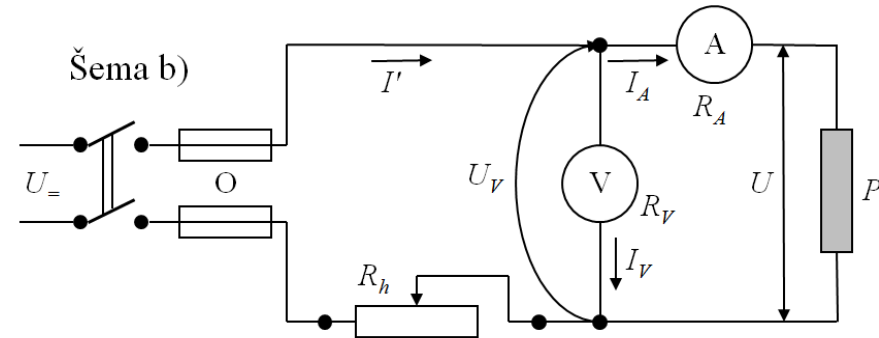
❖ Tačna vrednost snage je:

$$P = P' - R_A I^2 = U_V I_A - R_A I_A^2$$

❖ Apsolutna greška bi bila:

$$\Delta P = P' - P = R_A I^2$$

❖ Apsolutna greška je uvek pozitivna i jednaka je potrošnji ampermetra.



10.1. Merenje snage u DC kolima primenom U–I metode

❖ Relativna greška je:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{R_A I_A^2}{UI} = \frac{P_A}{P}$$

gde je P_A potrošnja ampermetra.

❖ Potrebno je reći da je kod merenja **pogodnije koristiti šemu a)** jer je podatak o otporu voltmetra pouzdaniji i obično se nalazi na kućištu instrumenta.

Hvala Vam na pažnji