

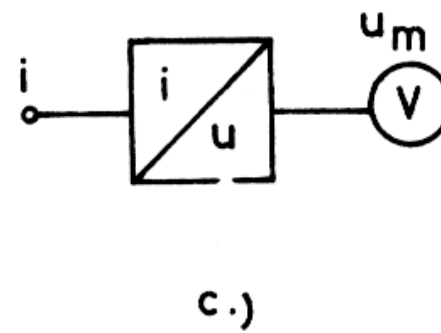
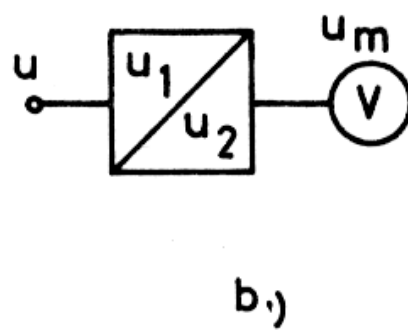
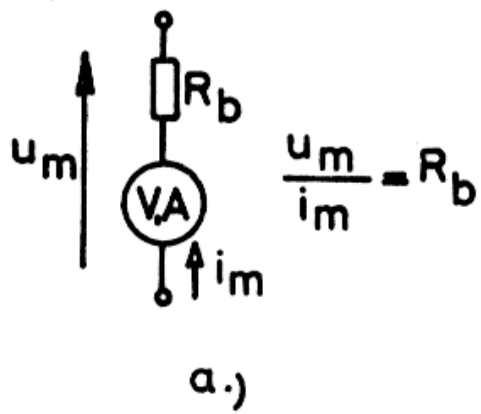
Merenja

9. predavanje

Metode merenja napona i struja

Kada na priključne kontakte osnovnog instrumenta priključimo napon u_m , potećiće iz mreže u kojoj se vrši merenje struja i_m . Veza između napona na koju treba priključiti instrument i struje koja treba da potekne kroz instrument, povezana je unutrašnjim otporom (u slučaju naizmjenične struje unutrašnjom impedansom) instrumenta. Tako osnovni instrument jednako se može smatrati i meračem napona i meračem struje.

Priključenjem pretvarača signala ispred osnovnog instrumenta mogu se meriti i naponi, i struje koji su veći od mernog opsega osnovnog instrumenta, čak instrument može da se osposobi i za merenje drugih veličina.



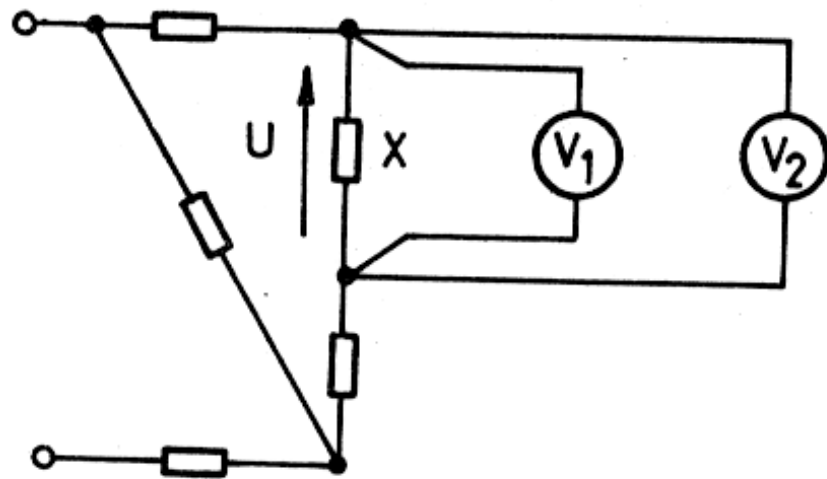
3.1.1 ábra

Pregled metoda merenja napona i struja

Način vezivanja voltmetara i ampermetara

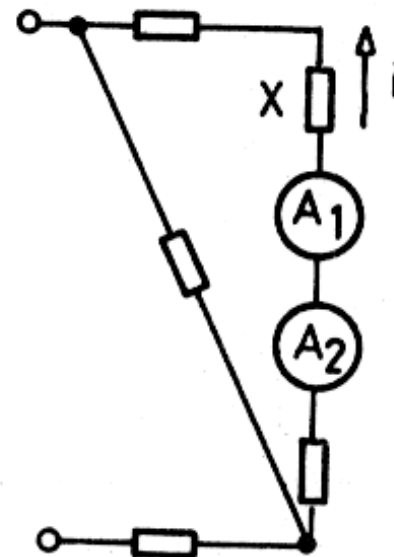
Voltmetre treba vezati na one dve tačke strujnog kruga čiju razliku potencijala (napon) želimo da izmerimo. U slučaju da imamo više voltmetara koji treba da mere isti napon, te voltmetre treba paralelno vezati na te dve tačke.

Priključenje ampermetra u granu u kojoj želimo da vršimo merenje struje vršimo prekidanjem strujnog kruga i vezivanjem ampermetra tako da merena struja teče kroz ampermetar. U slučaju da treba istu struju da merimo sa više ampermetara, te ampermetre treba da vežemo u seriju.



a.)

3.1.2 ábra



b.)

Merenje jednosmernog napona i jednosmerne struje pomoću elektromehaničkih instrumenata

Tipičan instrument za merenje jednosmerne struje i jednosmernog napona je instrument sa stalnim magnetom i pokretnim kalemom (D'Arsonval instrument). Ovaj instrument nije sposoban meriti brzopromenljive napone jer inercija pokretnog dela instrumenta ne omogućuje to. Pošto ne može da prati brze promene ono pokazuje srednju vrednost merene veličine. Proširivanje mernog opsega u slučaju napona vrši se predotpornicima, a proširivanje mernog opsega u slučaju struja vrši se šantovanjem (paralelno vezivanjem otpornika čija je vrednost manja od unutrašnjeg otpora instrumenta).

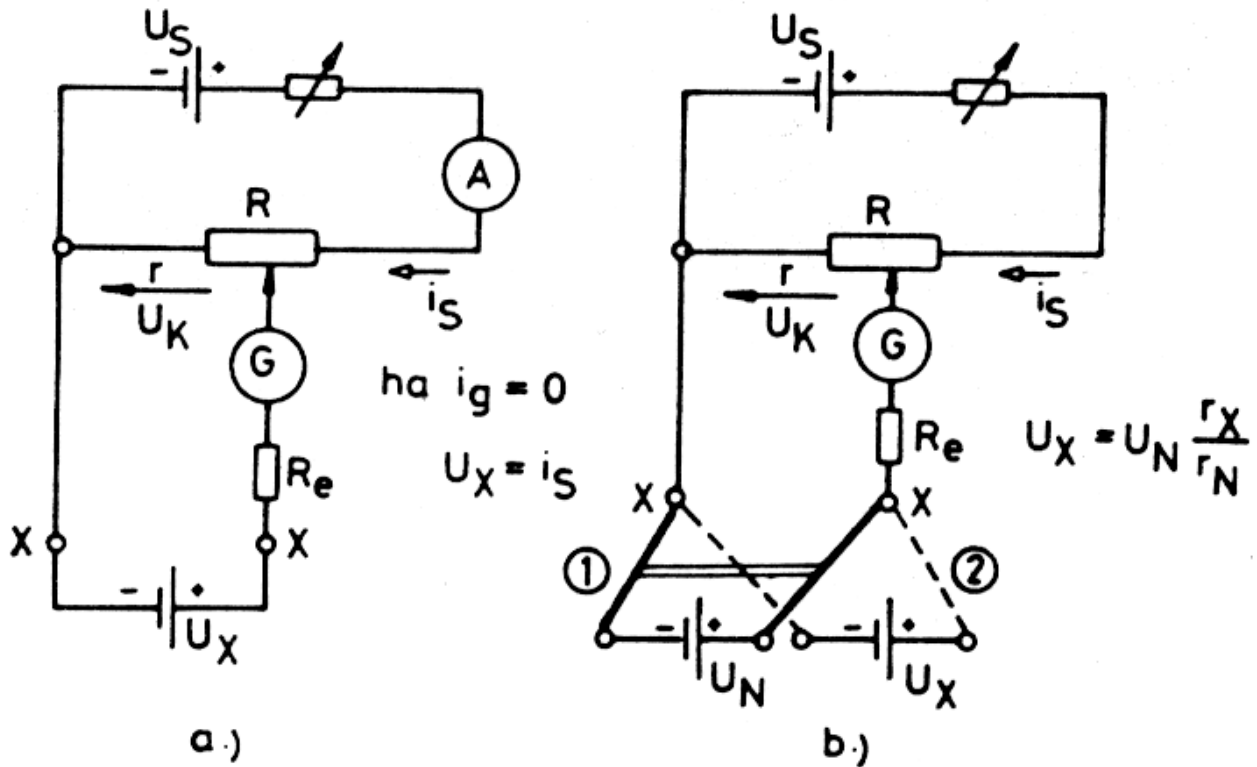
Ostali elektromehanički instrumenti sa određenim ograničenjima takođe mogu da mere i jednosmerne struje i napone. Elektrodinamički instrument, instrument sa mekim gvožđem itd. Ipak ovi instrumenti se uglavnom koriste za merenje naizmenične struje.

Analogni i digitalni elektronski instrumenti se koriste uglavnom za merenje napona, (merenje mnogih električnih veličina može se svoditi na merenje napona).

Digitalni merač napona i struja danas spada u najsavremenije direktne merače napona i struja (sa svojim ugrađenim predotpornicima i šantovima). Iako je rukovati sa njim, ima malu potrošnju i veliku tačnost. Iako zahteva sopstveni izvor danas je sve više rasprostranjen.

Merenje napona kompenzacijom

Merna metoda: merenje napona kompenzacijom znači da paralelno vezujemo dva napona iste veličine preko jednog nulinstrumenta.



3.1.3 ábra

U_x je mereni napon, a U_k je promenljivi napon kojim kompenziramo merenu veličinu.

Stabilan izvor napona u pomoćnom strujnom krugu na klizaču potenciometra R stvara kompenzacioni napon U_k . Ovaj napon preko galvanometra spojen je nasuprot merenom naponu U_x . Menjanjem otpornosti r može se postići da je

$$U_x = U_k = i_s r$$

što se može odrediti pomoću galvanometra velike osetljivosti.

Postoje dve grupe kompenzatora: tehnički i laboratorijski

Tehnički (ili industrijski) **kompenzatori**, slika a). Ugrađeni ampermetar pokazuje izmerenu struju i_s . Ovaj sklop je jednostavniji i može da meri sa tačnošću ampermetra.

Laboratorijski kompenzator, slika b), ne sadrži ampermetar. Umesto poznate struje kao referenca koristi se referentni napon koji se poznaje sa velikom tačnošću. Merenje napona vrši se u dva koraka. Prvo se iskompenzuje poznati napon U_k na priključku x kompenzatora otpornošću r_N . U sledećem koraku napon U_x se priključuje na priključak kompenzatora x i iskompenzuje se otpornošću r_x .

U oba slučaja važi jednačina,

$$U_N = i_s \cdot r_N \quad U_x = i_s \cdot r_x$$

iz ovih jednačina sledi:

$$U_x = U_N \frac{r_x}{r_N}$$

Upotreba kompenzatora posle pojavljivanja digitalnih voltmetra velike ulazne otpornosti i velike tačnosti je potisnuta.

Metoda kompenzacije napona se koristi kod:

- koordinatnih pisača, kao kompenzatora kod servomotora i
- kod kompenzacionih A/D konvertora...

Skale instrumenata za merenje naizmeničnih veličina

Za okarakterisanje naizmeničnih veličina odomaćena je efektivna vrednost.

Instrumenti za naizmeničnu struju zbog različitih osnova rada imaju skretanje kazaljke srazmeran različitim karakterističnim veličinama. Na primer instrumenti sa mekim gvoždem i elektro-dinamički instrumenti imaju otklon kazaljke srazmeran efektivnom vrednošću, instrument sa stalnim magnetom i kretnim kalamom sa Graetzovim spojem imaju otklon srazmeran srednjoj vrednosti apsolutne vrednosti struje u toku periode, itd.

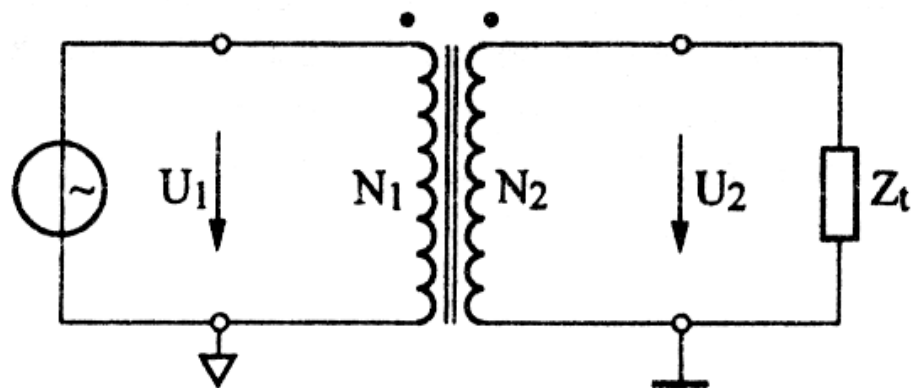
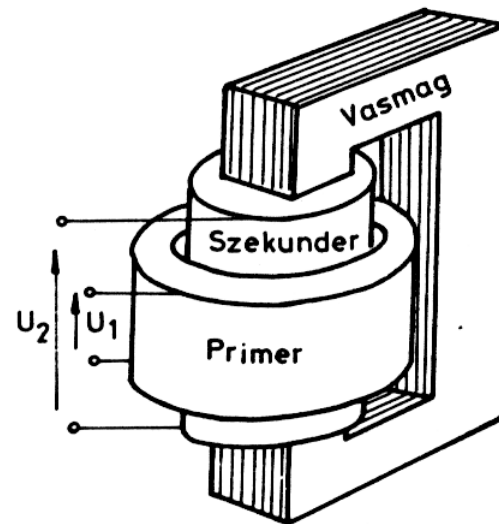
Skale i onih instrumenata koji imaju skretanje kazaljke srazmeran srednjoj vrednosti preračunaju na efektivne vrednosti pretpostavljajući da je ulazna veličina čisto sinusnog oblika. Pojavom viših harmonika kod takvih instrumenata javlja se sistematska greška zbog izobličenosti ulaza.

Merni transformatori

Naponski i strujni transformatori su merni transformatori, rade na principu transformatora, i zbog toga se upotrebljavaju samo pri merenju naizmjenične struje.

Naponski transformatori

Naponski transformator radi sa veoma malim opterećenjem na sekundarnom namotaju, skoro u praznom hodu, i ono je specijalni jednofazni transformator. Zadatak mu je da naizmjenični napon U_1 priključen na primar sa velikim brojem namotaja, pretvori u napon U_2 smanjen srazmerno odnosu broja namotaja primara i sekundara, ali istog faznog stava, na priključcima sekundarnog namotaja (da fazni pomak između primara i sekundara bude nula).



2.42. ábra. A feszültségváltó elve

Princip rada:

Primar i sekundar se nalaze na istom jezgru. Neznatna struja koja teče u namotima primara u jezgru stvara fluks iste frekvencije kao i priključeni napon. Naizmenični fluks u primarnom i sekundarnom namotaju indukuje naizmenični napon srazmeran broju namotaja pojednih namota. Na priključcima namotaja javljaju se naponi U_1 i U_2 . Prenosni odnos naponskog transformatora jednaka je odnosu nazivnih napona primara i sekundara, a u praksi se neznatno razlikuje od toga.

$$a_u = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$$

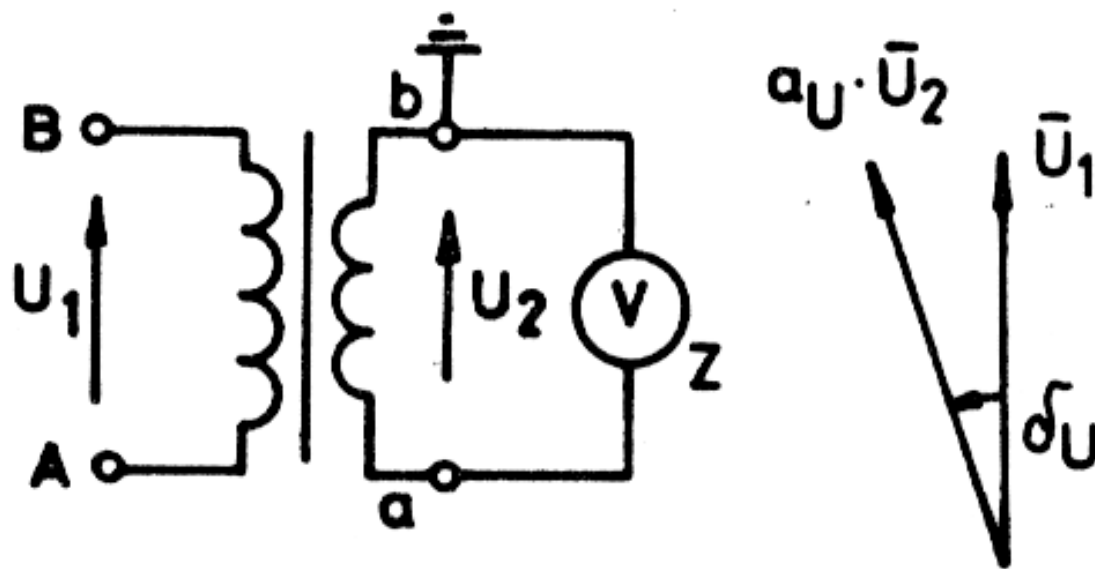
Za idealni naponski transformator važi formula:

$$\bar{U}_1 = a_u \bar{U}_2$$

Pravi naponski transformator ima i faznu i prenosnu grešku. Greška prenosnog odnosa je:

$$G_u = \frac{a_u U_2 - U_1}{U_1}$$

fazna greška je ugao δ_U sa predznakom između \bar{U}_1 i \bar{U}_2
 Nominalni napon naponskih transformatora je najčešće
 100 V.

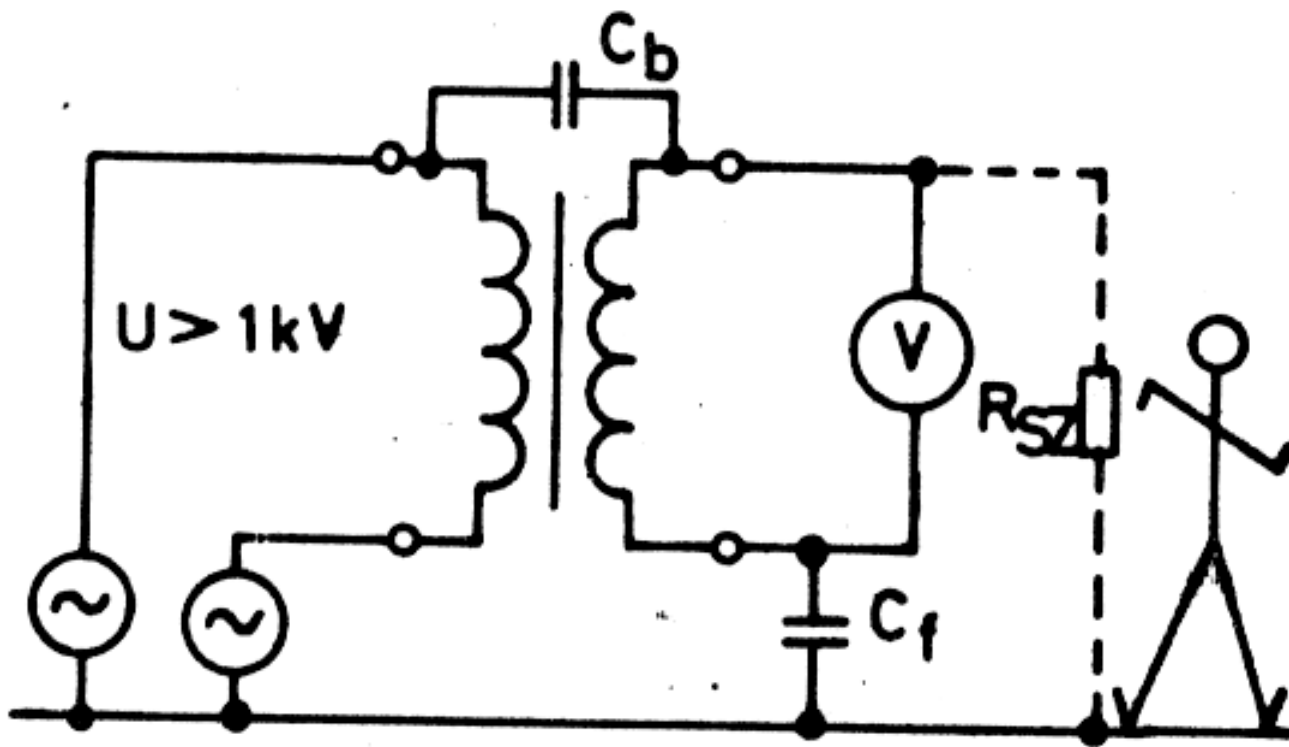


3.2.11 ábra

Skundarni namot naponskog transformatora iz sigurnosnih razloga treba uzemljiti.

Da to ne činimo potencijal primarnog namota koji je veći od 1 kV bi se raspodelio na: kapacitet između namotaja C_b , na kapacitet sekundarnog namota prema zemlji (C_f) i na otpornosti lica koji može da dođe u dodir sa sekundarnim namotom.

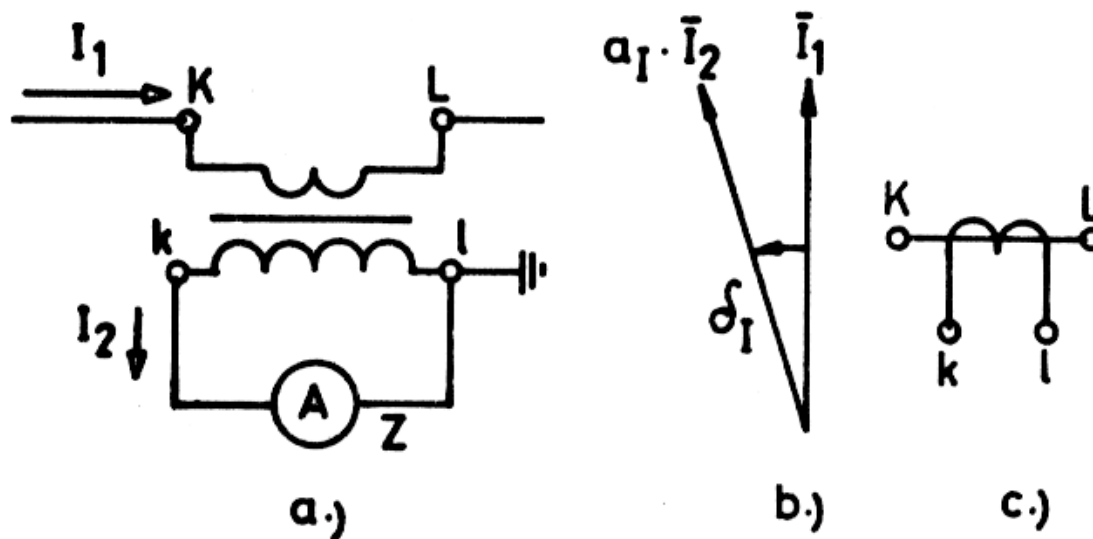
Uzemljenjem jedne tačke sekundarnog namota ovaj napon će biti na kapacitetu C_b koje je i predviđen za to.



3.2.12 ábra

Strujni transformatori

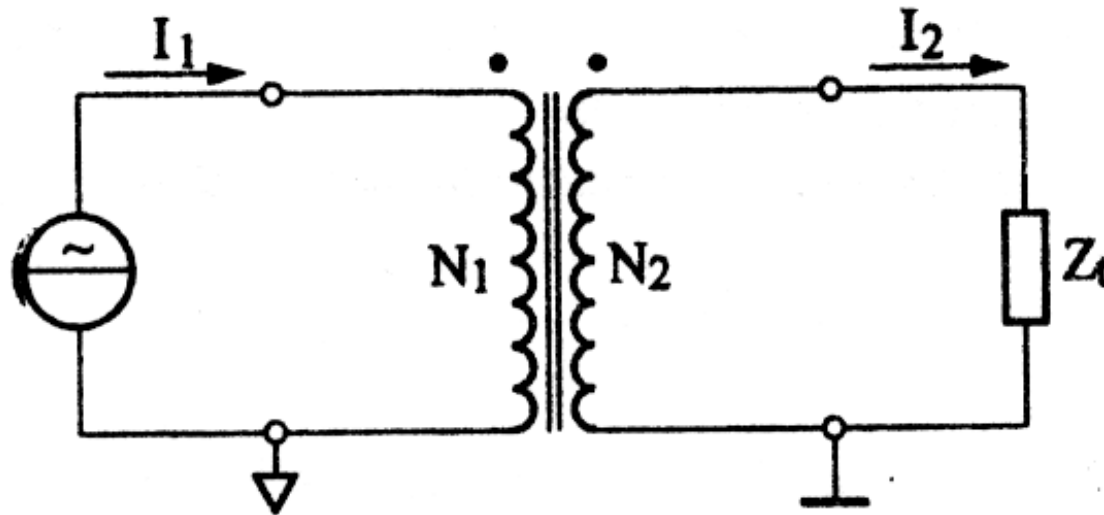
Strujni transformator je specijalni transformator koji je u sekundarnom krugu sa veoma malom impedansom skoro u režimu kratkog spoja. Zadatak mu je da struju koja teča kroz primar sa malim brojem navojaka pretvori u struju koja je smanjena prema prenosnom odnosu i istog je faznog stava.



3.2.13 ábra

Princip rada:

Primar i sekundar se nalaze na istom jezgru. Primar je redno vezan u strujni krug merene struje.



Princip rada strunog transformatora

Strujni transformator u ovom krugu predstavlja neznatnu impedansu i tako na struju I_1 koja je formirana u tom krugu ne utiče. Fluks u jezgru stvaraju dve struje zajedno.

Ampermetar u krugu sekundara praktično predstavlja kratak spoj zato za uspostavljanje struje I_2 jedva treba napona. Tako zbir pobuda je praktično nula:

$$\bar{I}_1 N_1 + \bar{I}_2 N_2 \approx 0$$

Stvarni prenosni odnos se malo razlikuje od nazivnog.

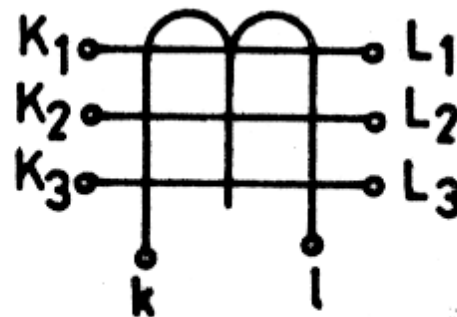
Greška prenosnog odnosa je:

$$G_I = \frac{a_I I_2 - I_1}{I_1}$$

fazna greška je ugao δ_I sa predznakom između \bar{I}_1 i \bar{I}_2

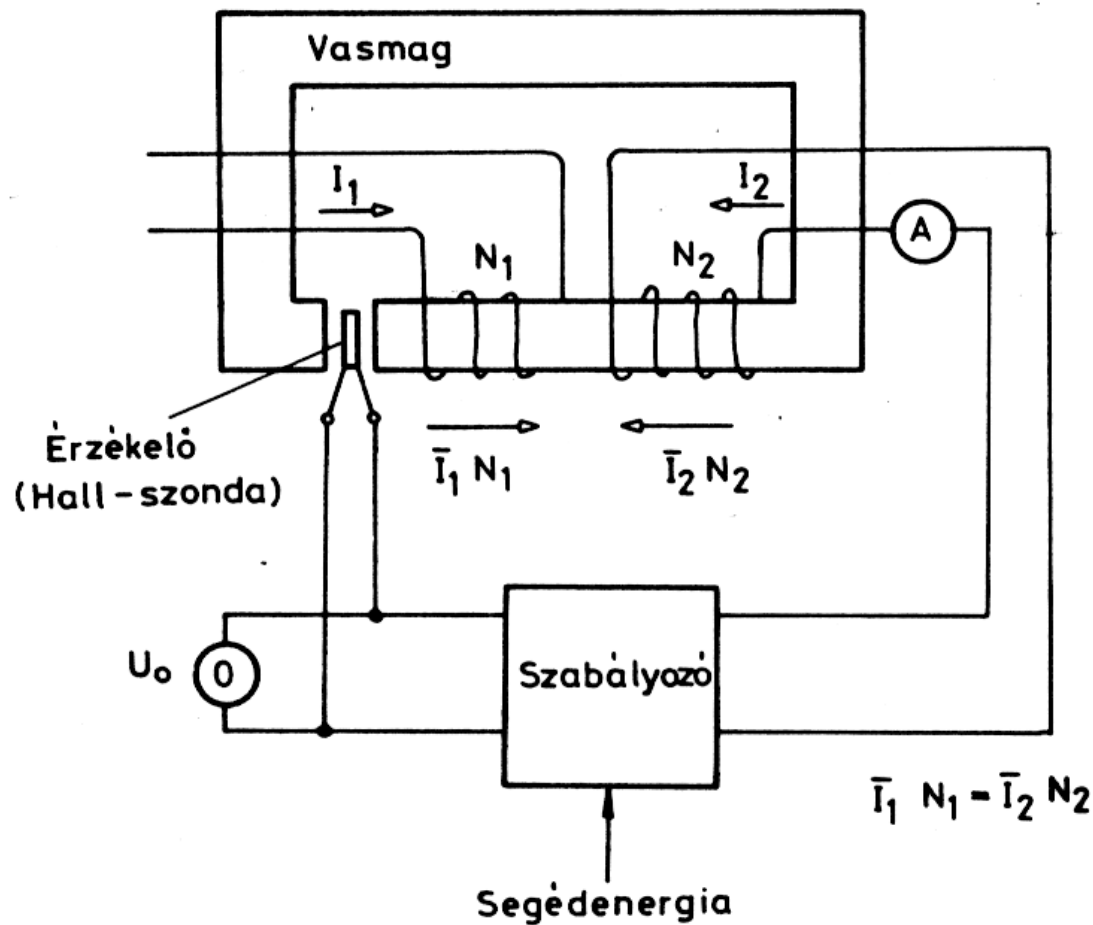
Nominalna struja strujnih transformatora je najčešće 5 A.

Prave se strujni transformatori sa više primarnih i jednim sekundarnim namotom.



3.2.15 ábra

Merenje struje induktivnim komparatorom struje



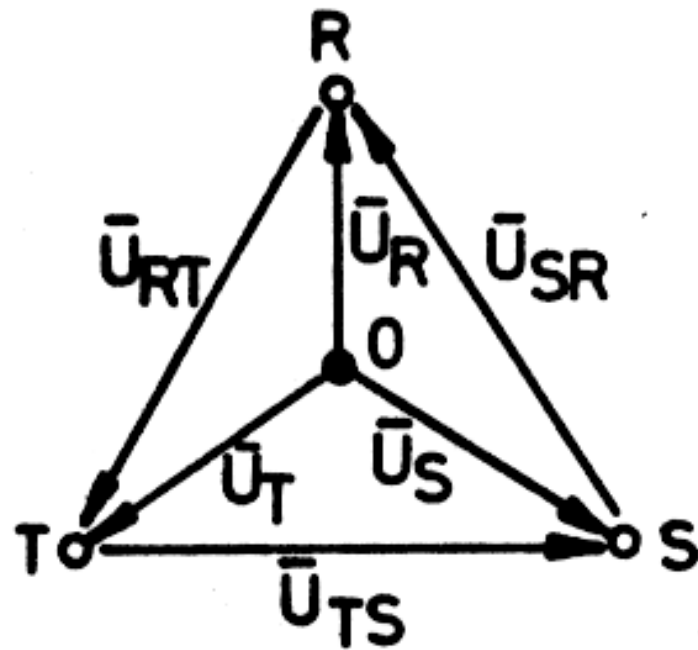
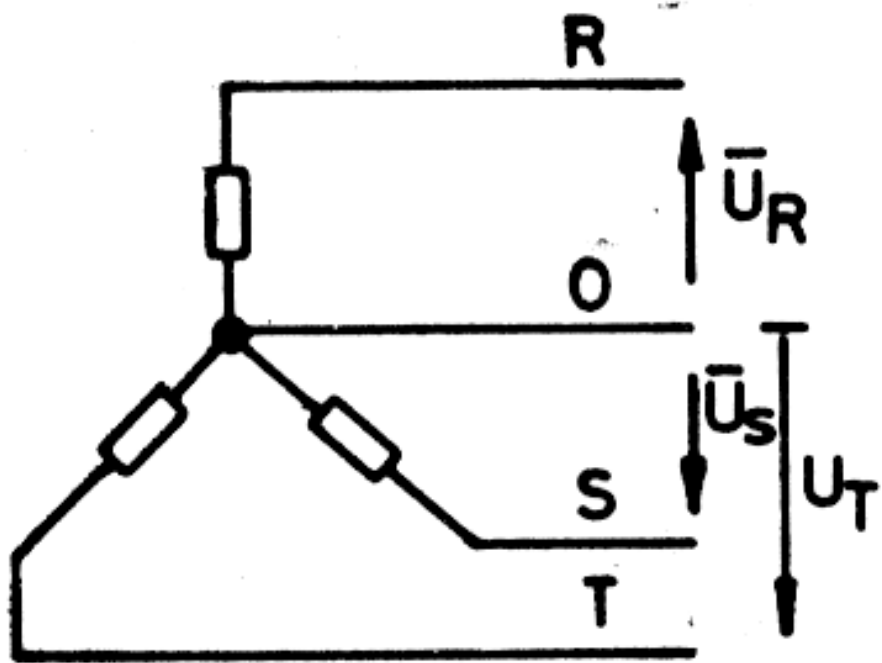
3.1.9 ábra

Induktivni komparator struje služi za upoređenje pobuda. Na zajedničkom magnetnom jezgru imamo dva namotaja. U jednom teče merena struja I_1 , u drugom struja I_2 koja se napaja iz odvojenog podešljivog izvora. U slučaju da su dve pobude iste $I_1 N_1 = I_2 N_2$. u magnetnom jezgru fluks je jednak nuli i iz toga sledi:

$$I_1 = I_2 \frac{N_2}{N_1}$$

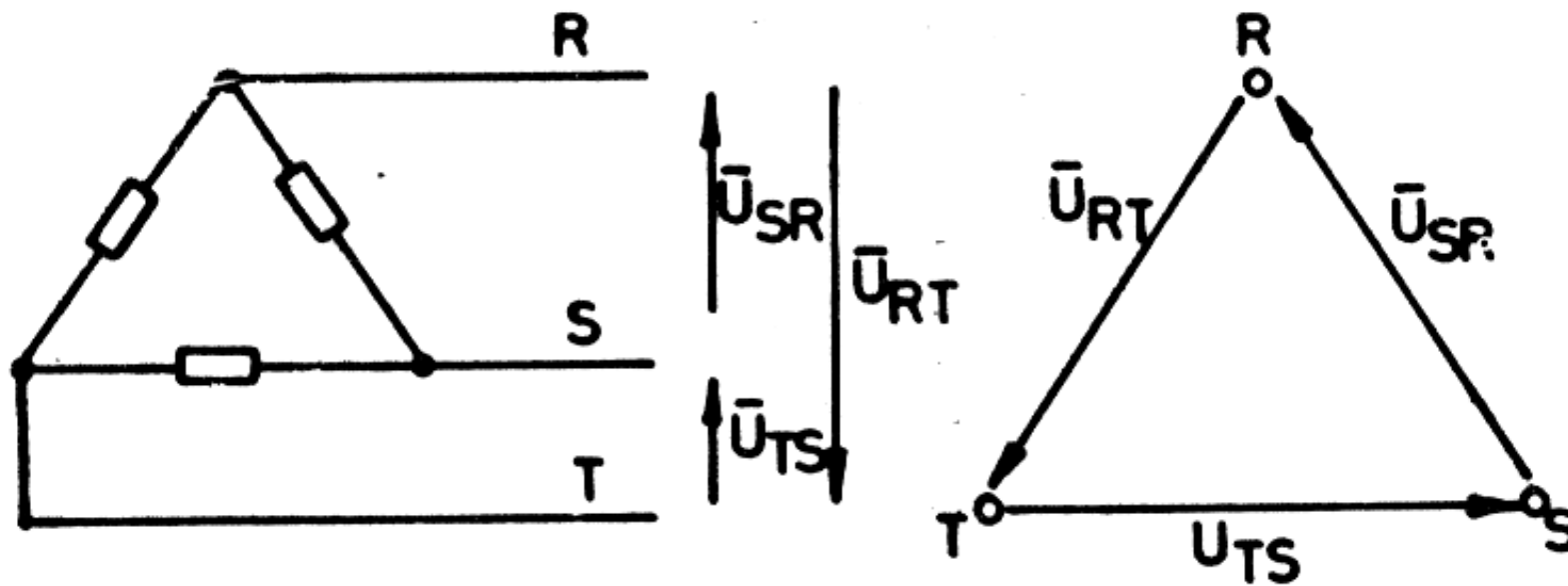
Struje i naponi u trofaznom sistemu

Trofazni sistem mogu da ostvare (svaka) grupa od tri naizmenična napona koja imaju istu frekvenciju. Sistem je simetričan ako su tri fazora jednaka i međusobni fazni pomeraj im je 120° . Mreže sa četiri provodnika se priključuju na izvor koji je povezan u zvezdu. Tri fazna provodnika i nulprovodnik. U slučaju simetričnog opterećenja na nulprovodniku ne teče struja. Između nulprovodnika i faza javlja se fazni napon, dok među fazama imamo linijski napon.



3.3.2 ábra

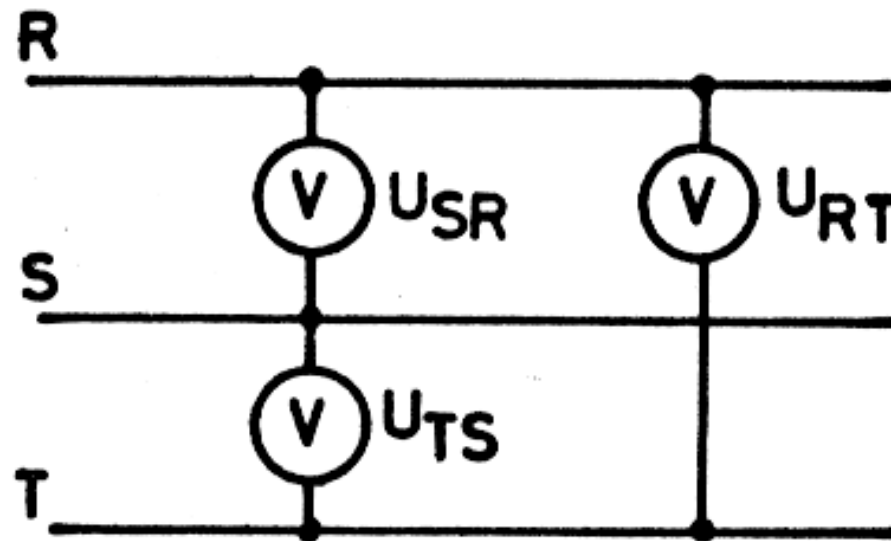
Na izvor vezan u trougao priključuje se mreža sa tri provodnika, i fazni naponi su nedostupni.



3.3.3 ábra

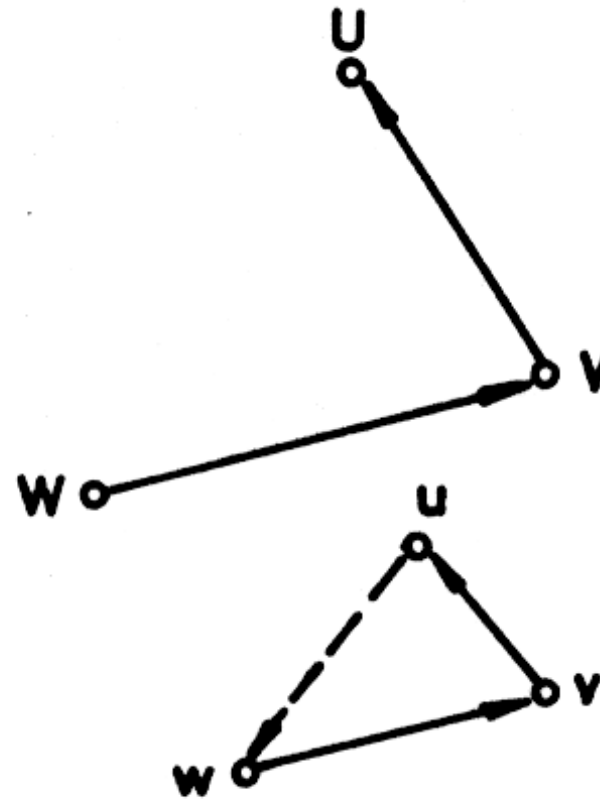
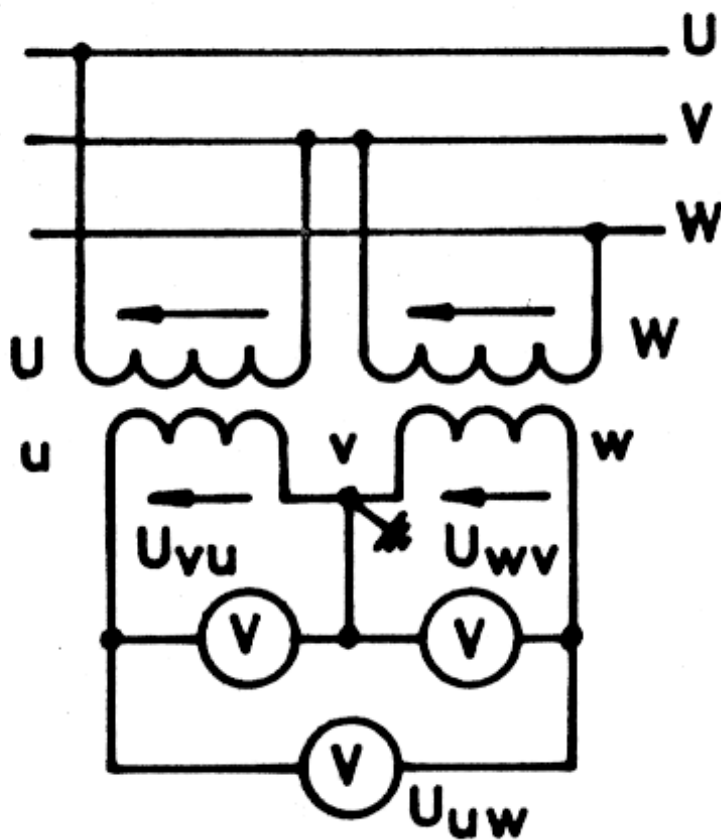
Merenje napona u trofaznom sistemu

Merači napona mere samo veličinu napona (efektivnu vrednost) ali ne i fazni stav.



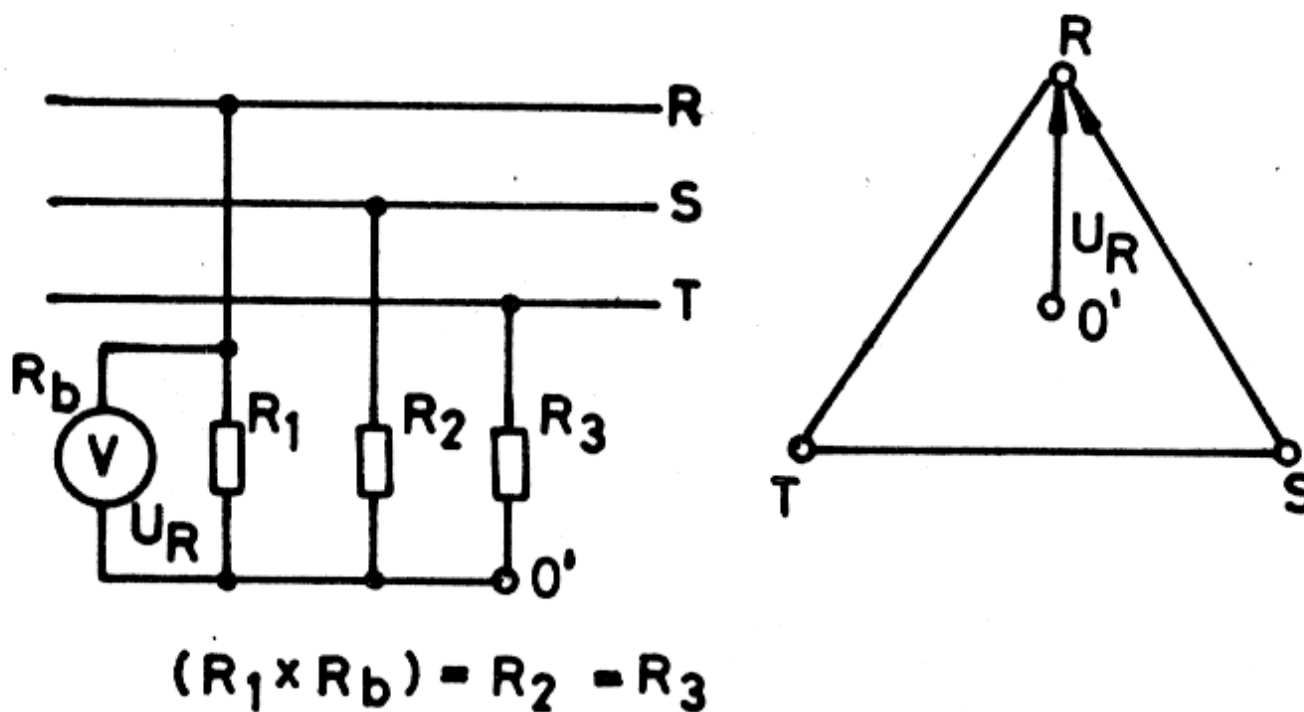
3.3.5 ábra

U slučaju simetričnog sistema dovoljno je meriti samo jedan napon. Kod visokih napona se primenjuju naponski transformatori. Kod sistema sa tri provodnika dovoljna su dva naponska transformatora:



3.3.6 ábra

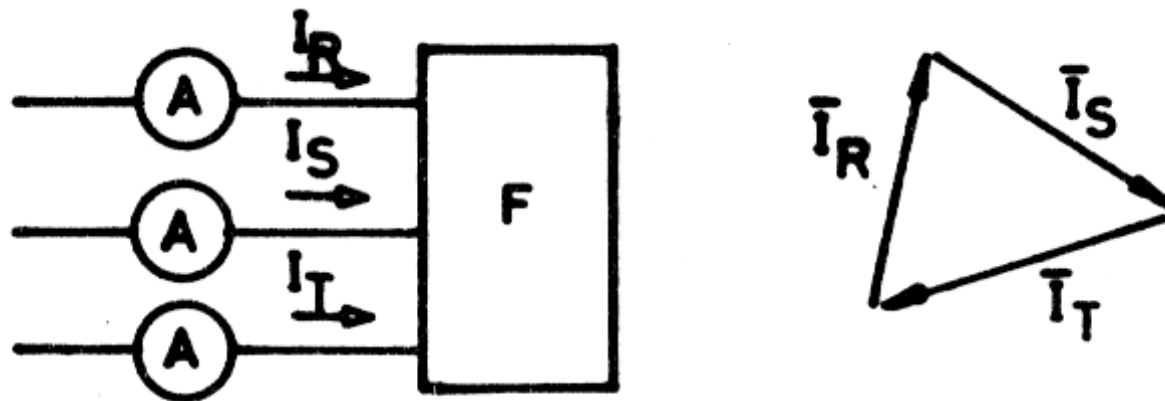
Kod sistema sa tri provodnika ako nam treba nultačka možemo je formirati kao fiktivnu nul tačku:



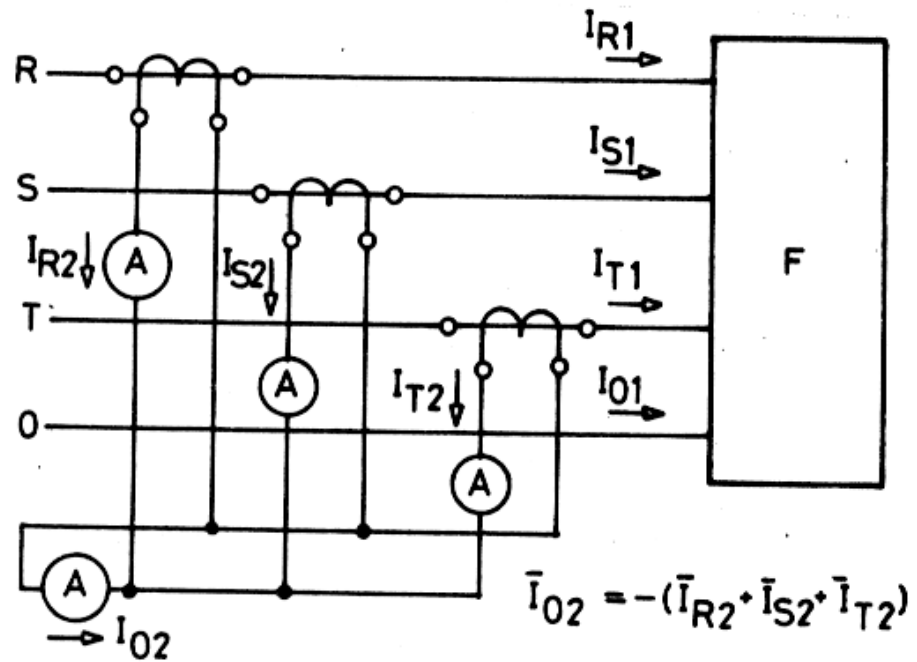
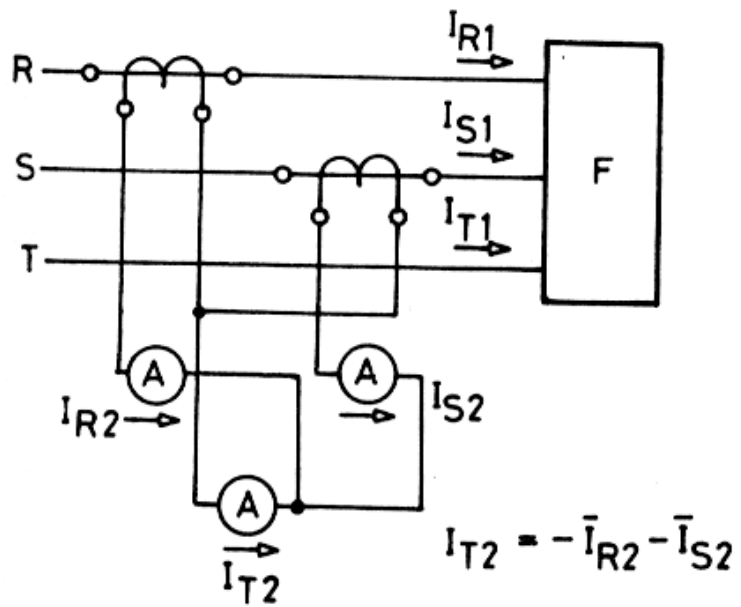
3.3.7 ábra

Merenje struja u trofaznom sistemu

Ampermetri mere samo veličinu a ne i fazni stav struja. Zbir svih struja u jednom trofaznom sistemu je nula.

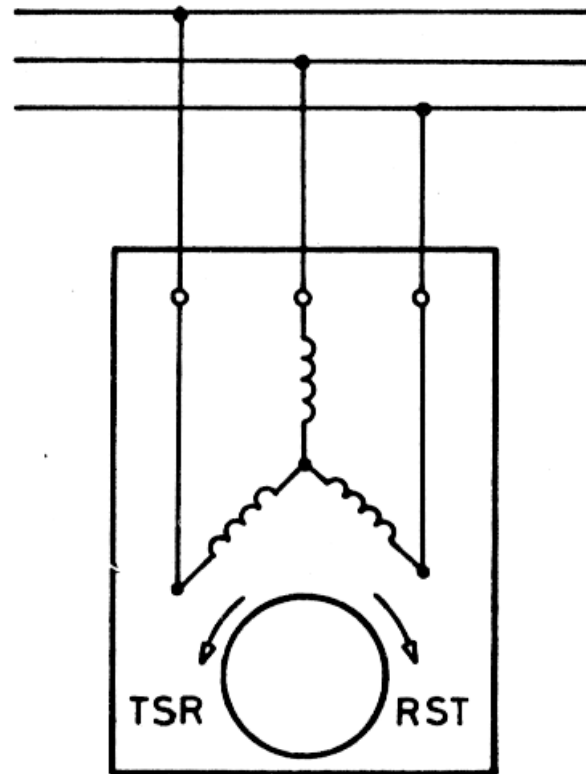


3.3.9 ábra



3.3.10 ábra

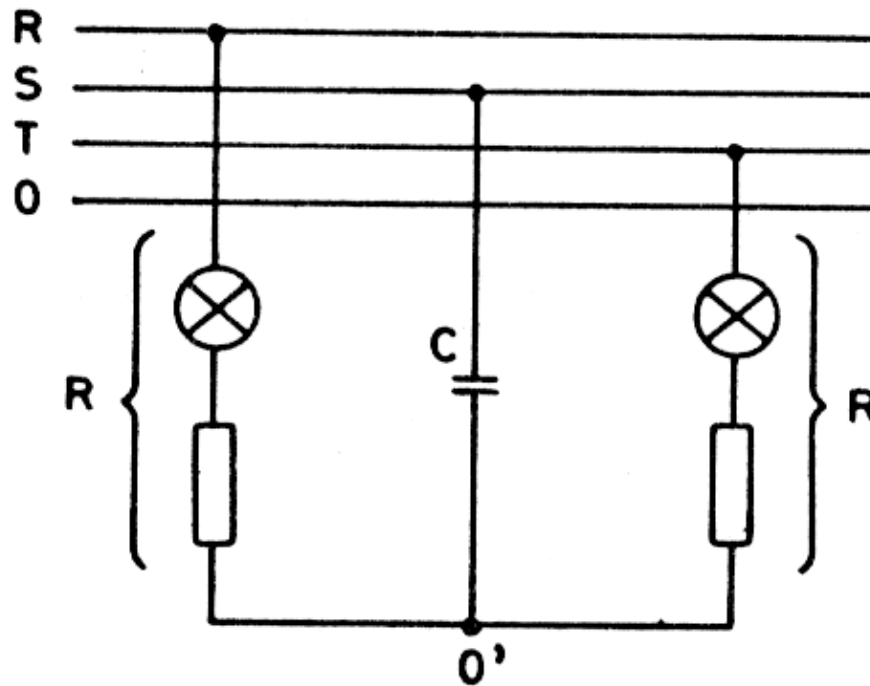
Određivanje redosleda faza



3.4.10 ábra

Indukcioni merač redosleda faza

Ovaj instrument je u principu jedan mali trofazni indukcioni motor. Na ispitivanu mrežu vezuju se njegovi u zvezdu spojeni namotaji. U namotajima se indukuje obrtno magnetno polje, koji usled vihornih struja povlači sa sobom uležišteni aluminijumski disk instrumenta, u tom obrtnom polju. Smer obratnja diska zavisi od redosleda faza. Instrument je predviđen za uobičajene frekvencije (50 – 60 Hz) i napone (100 – 500 V linijski napon)



3.4.11 ábra

Pravilo kod korišćenja ovog sklopa za određivanje redosleda faza je sledeći: fazu u koji je vezan kondenzator sledi faza čija lampa jače svetli. Ovaj sklop ne identifikuje faze samo određuje redosled!

Merenje snage i energije

Uvod

Opšti pojmovi. Snaga se meri u veoma širokim granicama frekvencije. Meri se trenutna vrednost snage, aktivna snaga, reaktivna snaga, prividna snaga, snaga se meri u sistemima jednosmerne struje, u monofaznim sistemima naizmjenične struje i u trofaznim sistemima naizmjenične struje. Trofazni sistemi mogu biti simetrični, asimetrični, sa nulprovodnikom i bez nulprovodnika.

Proizvodnja i distribucija električne energije na godišnjem nivou barata sa ogromnim količinama energije. Elektrana snage 1000 MW godišnje proizvodi 8,76 TWh energije. Greška pri merenju od 1% iznosi na godišnjem nivou 87,6 GWh energije što preračunato u dinare iznosi reda 250 000 000,00 (2.85 din/kWh) dinara nesigurnosti prilikom merenja i naplaćivanja. (To su ogromne pare)!

Pre detaljnije obrade metoda i sredstava za merenje snage i energije pregledajmo najvažnije definicije i pojmove:
Trenutna vrednost snage $p(t)$ je umnožak trenutne vrednosti struje i napona.

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Snaga u slučaju jednosmerne struje pri naponu U i struji I može se dati sledećim umnožkom sa predznakom:

$$P = \pm U \cdot I$$

gde pozitivni predznak se odnosi na snagu potrošača a negativni na snagu proizvođača.

U slučaju sinusnih funkcija pretpostavljajući napon efektivne vrednosti U i struje efektivne vrednosti I aktivna snaga je:

$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

reaktivna snaga je:

$$Q = U \cdot I \sin \varphi$$

a prividna snaga je:

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

gde je φ fazna razlika između napona i struje, a $\cos \varphi$ je faktor snage.

U slučaju kompleksnih periodičnih signala aktivnu i reaktivnu snagu mogu da stvaraju samo komponente napona i struje iste frekvencije prema sledećem izrazu:

$$P = U_0 I_0 + \sum_{i=1}^{\infty} U_i I_i \cos \varphi$$

odnosno

$$Q = \sum_{i=1}^{\infty} U_i I_i \sin \varphi$$

gde i označava redni broj harmonijskih komponenti.

U slučaju višefaznih sistema snaga pojedinih faza može se sumirati prema sledećoj formuli:

$$P = \sum_{k=1}^n P_k$$

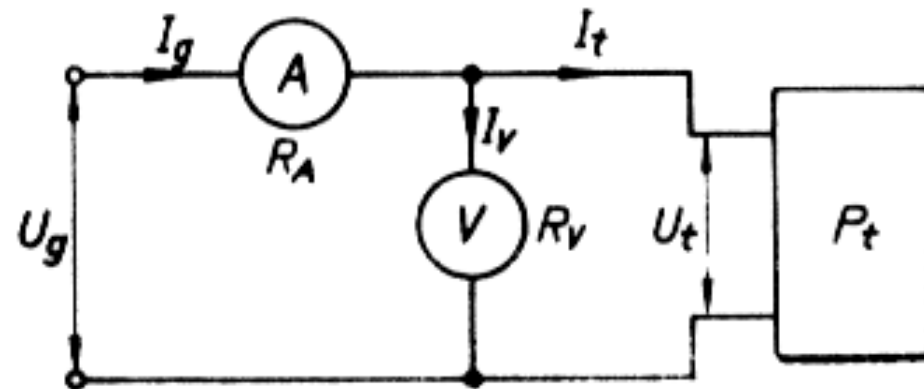
gde je P_k snaga k -te faze, a n je broj faza.

Zajednička osobina ovih definicija je da se temelje na matematičkoj operaciji množenja.

Merenje snage kod jednosmerne struje

Merenje snage pomoću ampermetra i voltmetra. Postoje dve mogućnosti za vezu instrumenata. Snaga koja se dobije množenjem izmerenog napona i struje, veća je od prave snage za sopstvenu potrošnju instrumenta bližem opterećenju.

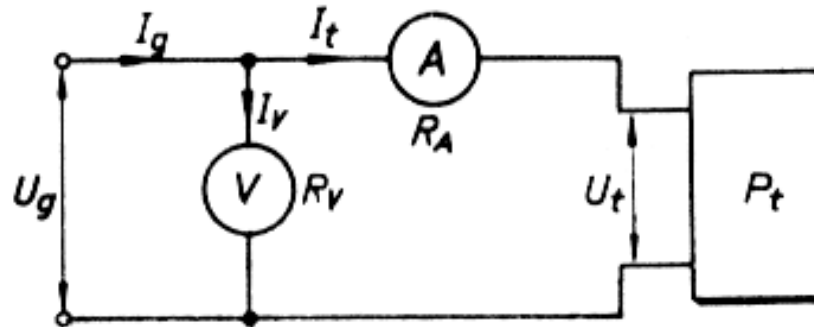
U prvom slučaju:



$$P_t = U_t \cdot I_t = U_t (I_g - I_v) = U_t \cdot I_g - \frac{U_t^2}{R_v}$$

Pošto je: $I_v = \frac{U_t}{R_v}$

U drugom slučaju:

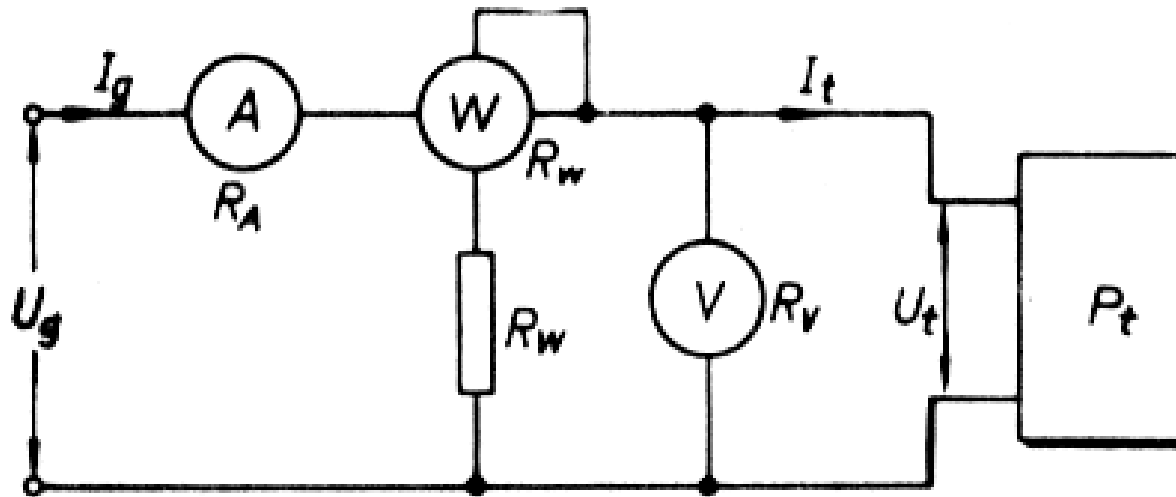


$$P_t = U_t \cdot I_t = (U_g - I_t R_A) I_t = U_g I_t - I_t^2 R_A$$

pošto je pad napona na ampermetru jednako: $I_t R_A$

Izbor načina spajanja zavisi od otpornosti potrošača.

Prilikom direktnog merenja snage pomoću vatmetra takođe su moguća dva načina spajanja

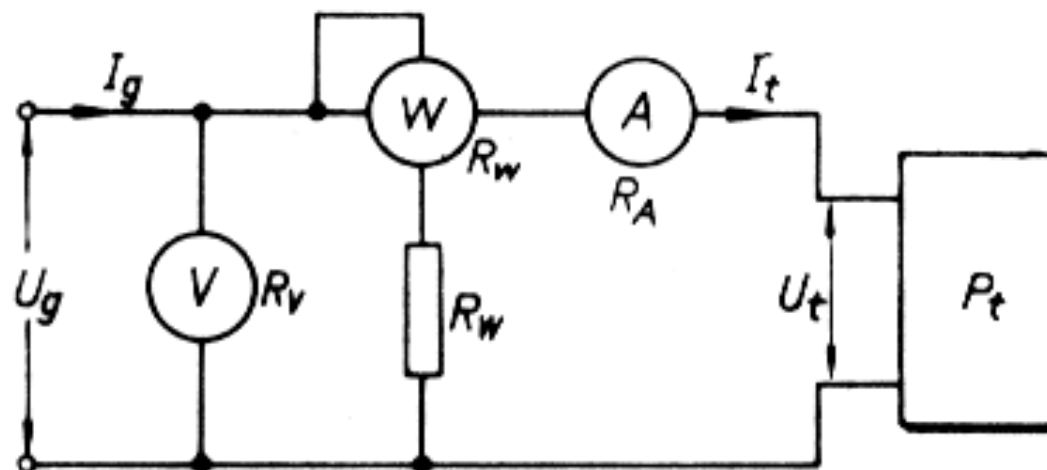


Slika 9.24. Mjerenje snage vatmetrom čija je naponska grana spojena na mjereni teret

Naponska grana vatmetra može se spojiti ili na stezaljku potrošača ili na stezaljku izvora.

Snaga potrošača, prema slici 9.24, je :

$$P_t = P_W - \left(\frac{U_t^2}{R_v} + \frac{U_t^2}{R_W} \right)$$



Slika 9.25. Mjerenje snage vat-
metrom čija je naponska grana
spojena na izvor

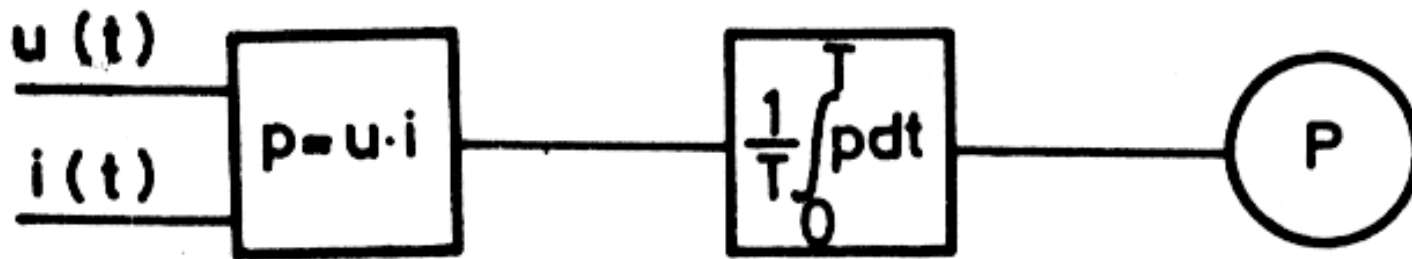
Snaga je prema slici 9.25:

$$P_t = P_W - I_t^2 (R_w + R_A)$$

Smer skretanja kazaljke vatmetra zavisi od redosleda priključivanja naponskih i strujnih stezaljki vatmetra. Ako zamenimo redosled naponskih stezaljki promeniće se smer skretanja kazaljke. To vredi i za strujne stezaljke. Isto tako će promena smera toka energije dovesti do promene smera skretanja kazaljke. Merenje snage pomoću elektrodinamičkih vatmetara primenjuje se na području nižih frekvencija.

Merenje snage naizmenične sinusoidne jednofazne struje

Funkcionalna šema merenja snage naizmeničnog jednofaznog sistema:



Množlač

Srednja vrednost

Prikazivanje

trenutna vrednost snage može se računati prema obrascu:

$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \cdot I_m \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)]$$

odakle se vidi da trenutna snaga varira sa učestanošću ($2\omega t$) dvaput većom od učestanosti naizmjenične struje.

Može se dokazati da je srednja efektivna vrednost snage:

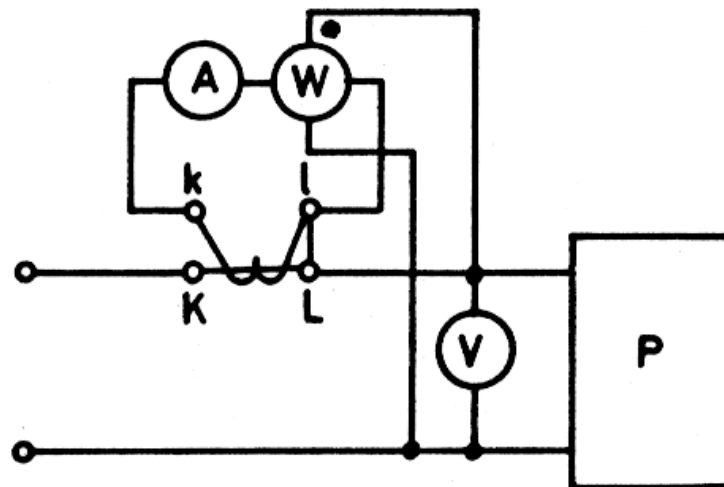
$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

pri čemu: $-\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2$

Iz otklona vatmetra ne može se jednoznačno otkriti dali je vatmetar preopterećen. Može se desiti da prilikom merenja aktivne snage iako je otklon kazaljke mali zbog niskog faktora snage vatmetar bude preopterećen. Da bi se ova situacija izbegla vatmetre treba koristiti zajedno sa voltmetrom i ampermetrom.

Merenje snage upotrebom strujnih transformatora

Strujni namotaj vatmetra i ampermetar se nalaze u sekundarnom krugu strujnog transformatora. Naponski namotaj vatmetra i voltmetar se priključuju direktno na napon.



3.6.16 ábra

Sekundarni namot strujnog transformatora se nalazi na neodređenom potencijalu koja može da bude i opasno visoka. Dva namotaja vatmetra treba da se nalaze na približno istom potencijalu. Ovo određivanje potencijala izvršeno je vezom između L i l polova strujnog transformatora.