

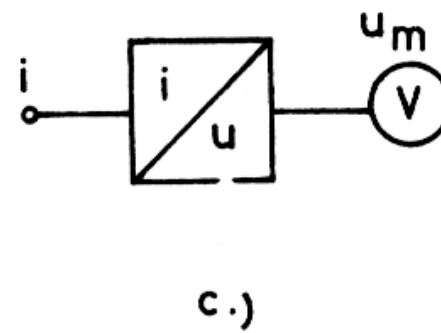
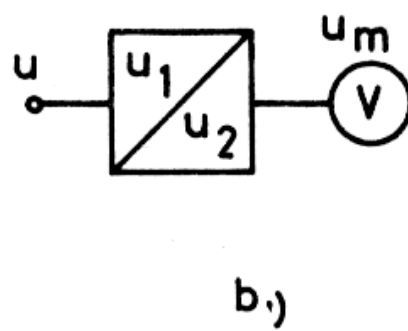
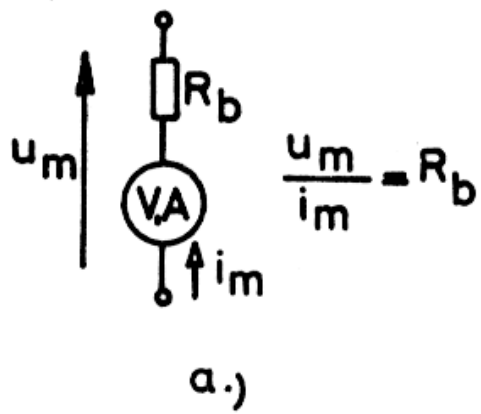
# Mérések

## 9. Előadás

# A feszültség és árammérés módszerei

Az alaplmszer bemenő kapcsaira  $u_m$  feszültséget kapcsolva, az  $i_m$  áramot vesz fel a mérendő hálózatból. A műszerre kapcsolt feszültséget és a műszer áramát a műszer belső ellenállása (váltakozó áram esetében a belső impedancia) kapcsolja egymáshoz. Az alaplmszer tehát egyaránt tekinthető feszültségmérőnek vagy árammérőnek.

Az alaplmszer elé jelátalakítót kapcsolva, saját méréshatáránál nagyobb mennyiségek mérésére, vagy más mennyiség mérésére is alkalmasá tehető.



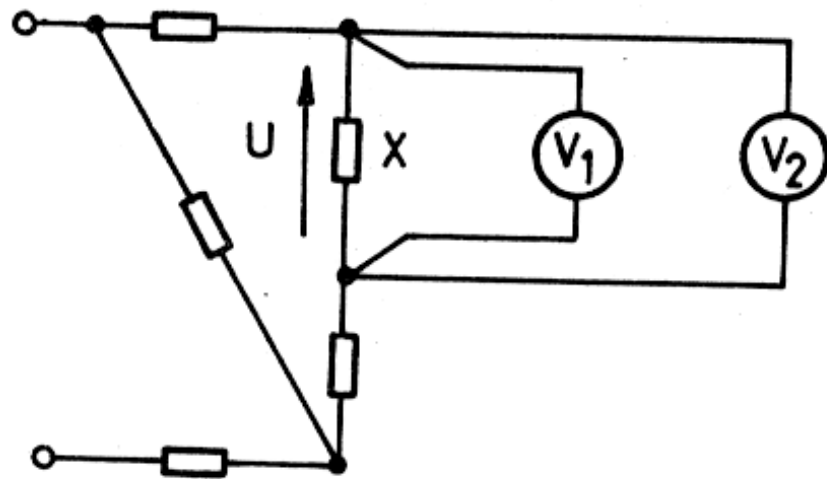
3.1.1 ábra

# **A feszültség és árammérés módszerek áttekintése**

# Feszültség- és árammérők elvi kapcsolása

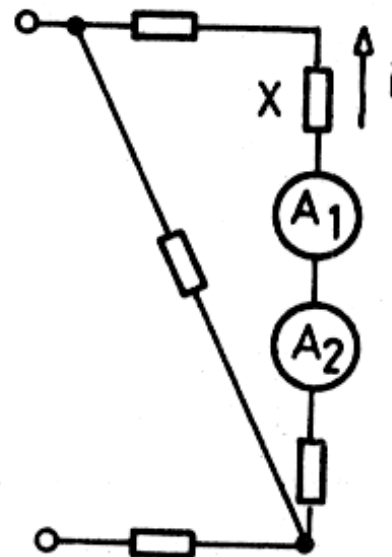
A feszültségmérő kapcsait az áramkör azon két pontjára kell kötni, amelyek közötti potenciálkülönbséget (feszültséget) mérni akarjuk. Ha valamilyen okból több voltmérőnek kell ugyanazt a feszültséget mérnie, akkor ezeket párhuzamosan kell bekötni a mérendő feszültségre.

Az árammérő kapcsait az áramkör azon ágába (annak megbontásával) kell bekötni, amely ágban a mérendő áram folyik. Ha valamilyen okból két árammérő eszköznek ugyanazt az áramot kell mérnie, akkor ezek csak sorosan köthetők be.



a.)

3.1.2 ábra



b.)

# Egyenfeszültség és egyenáram mérése elektromechanikus és elektronikus műszerekkel

Az egyenfeszültség és egyenáram mérésének tipikus műszere az állandómágnesű lengőtekerceses (Deprez) műszer. Ez gyorsan változó áram mérésére nem is alkalmas, mert a lengőtekerces tehetetlensége miatt nem tudja követni a gyors váltakozásokat és a középértékre áll be. Az alaplámpa feszültség méréshatárai előtétellenállásokkal, áramméréshatárai söntökkel bővíthetők, mert a mérőmű kis fogyasztású.

A többi leírt elektromechanikus mérőmű közül -bizonyos korlátokkal- egyenáram mérésére alkalmasak a lágyvasas és elektrodinamikus stb... mérőművek. Ezeket azonban inkább váltakozóáramú mérésekre használjuk.

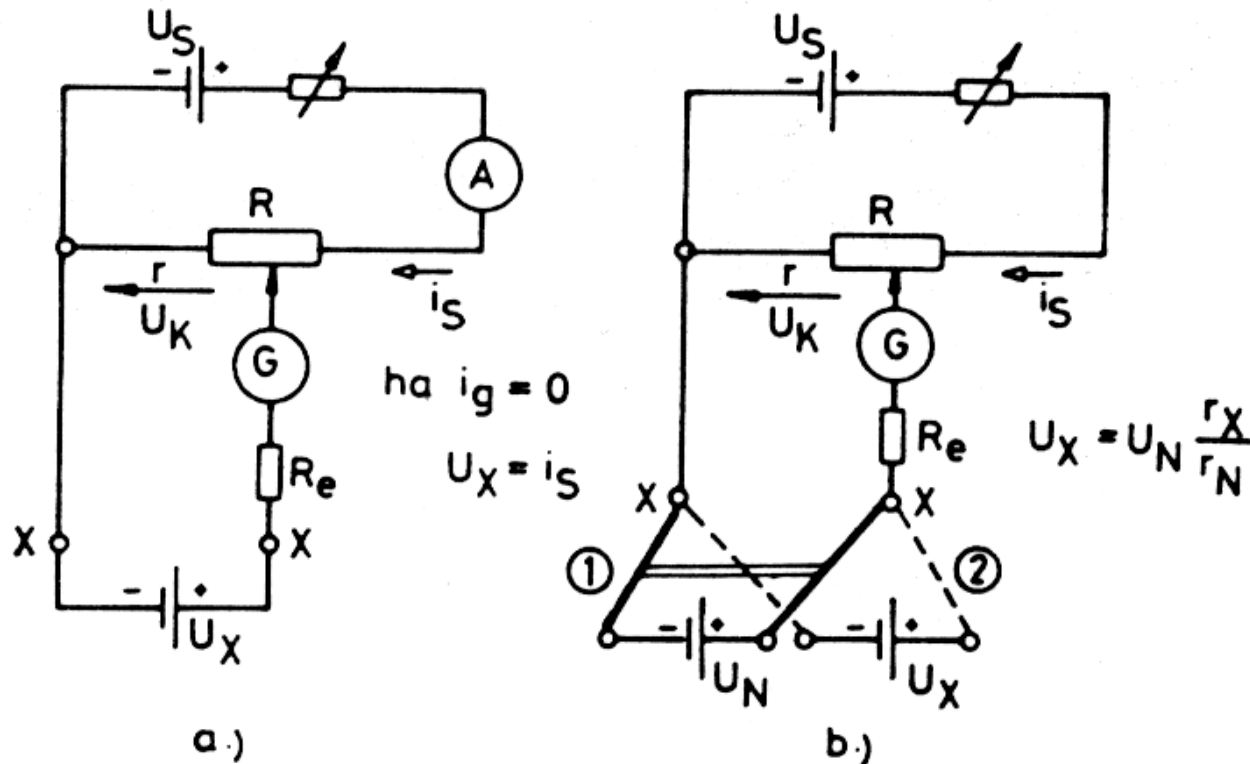
Az analóg és digitális elektronikus műszereket leginkább feszültség mérésére használjuk, (sok elektromos nagyság mérése leképezhető feszültségmérésre)

A digitális feszültség és árammérők ma a legkorszerűbb közvetlen áram és feszültségmérők közé tartoznak (a beépített söntökkel és előtétellenállásokkal). Könnyen kezelhetőek, kis fogyasztásúak, bár saját energiaforrásra van szükségük nagyon elterjedtek.



# Feszültségmérés kompenzációval

A feszültség kompenzáció elve azt jelenti, hogy két azonos nagyságú feszültséget kapcsolunk párhuzamosan egy nulla műszeren keresztül.



3.1.3 ábra

Az  $U_x$  a meghatározandó feszültség és  $U_k$  a változtatható nagyságú kompenzáló feszültség.

Egy nagy stabilitású feszültségforrásról kiépített segédáramkör  $i_s$  árama az állandó nagyságú  $R$  ellenállás változtatható  $r$  részén létesíti az  $U_k$  kompenzáló feszültséget. Ezt a feszültséget galvanométeren keresztül szembekapcsoljuk a mérendő  $U_x$  feszültséggel. Az  $r$  változtatásával elérhető az  $U_x = U_k = i_s r$  állapot, amit nagy áramérzékenységű galvanométerrel lehet érzékelni (nullindikátor).

Az egyenfeszültségű kompenzátoroknak két csoportja ismert: a technikai (üzemi) és a laboratóriumi.

A **technikai kompenzátorokban** a) ábra,  $i_s$  értékét egy beépített ampermérő mutatja. Ez egyszerűbb felépítésű és az ampermérő által meghatározott pontossággal tud mérni.

A **laboratóriumi kompenzátorban** b) ábra, nincs ampermérő. Az ismert áram helyett egy nagy pontosságú feszültségetalon szolgáltat referenciamennyiséget. A feszültségmérést két lépésben kell elvégezni. Első lépésként a kompenzátor x kapcsaira az  $U_N$  ismert feszültséget kapcsoljuk és ennek értékét kompenzáljuk ki ( $r_N$ ). Második lépésként a mérendő  $U_x$  feszültséget kapcsoljuk a kompenzátor x kapcsaira és ezt kompenzáljuk ki ( $r_x$ ).

Mindkét esetben érvényes ,

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

és ebből:

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

A kompenzátorok alkalmazása a nagy bemenő ellenállású, nagy pontosságú digitális voltmérők megjelenésével visszaszorult.

A feszültségkompenzálás elvét használják:

- a koordinátaírók szervomotoros automatikus kompenzátorai,
- kompenzációs A/D konverterek.

# Váltakozóáramú műszerek skálázása

Váltakozó feszültség és áram nagyságának jellemzésére a gyakorlatban az effektív érték honosodott meg.

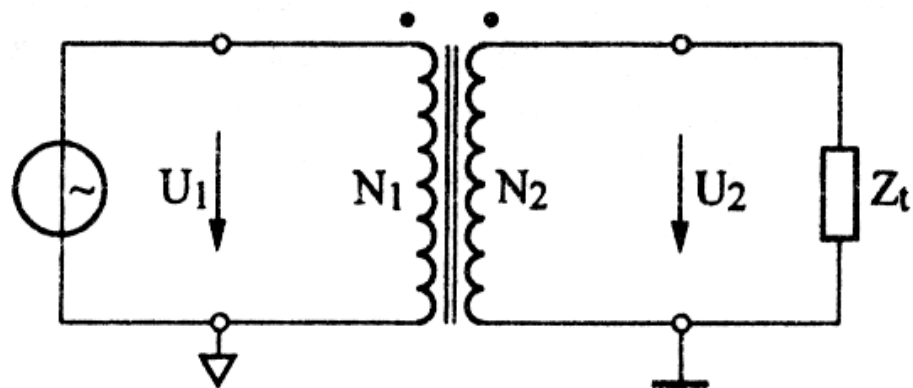
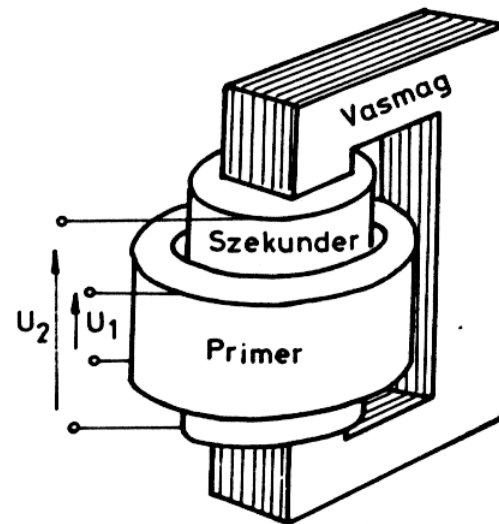
- A váltakozó mennyiségek mérésére szolgáló műszerek kitérése különfajta működési elvükből kifolyólag, a váltakozó jel más-más jellemzőjével arányos. Pl. a lágyvasas, elektrodinamikus műszer kitérése az effektív értékkel arányos, a Graetz kapcsolású Deprez műszeré az abszolút középértékkel, a soros és párhuzamos diódás Deprez műszeré a csúcsértékkel arányos.
- Más jellemzővel arányosan kitérő műszereket olyan skálával látják el, amely szinuszos görbealak esetén effektív értékre átszámított mennyiséget mutat. Nem szinuszos mért mennyiség esetében a kijelzett érték rendszeres hibát visz be a mérésbe.

# Merő transzformátorok

A feszültség és áramváltók mérőtranszformátorok. A transzformátorok elvén működnek, ezért csak váltakozó áramok mérésére alkalmasak.

## Feszültségváltó

A feszültségváltó igen kis szekunder terheléssel, közel üres járásban üzemelő, speciális egyfázisú transzformátor. Feladata, hogy a nagymenetszámú primer tekercsére kapcsolt  $U_1$  váltakozó feszültséget az áttétel arányában csökkentett nagyságú, de azonos fázishelyzetű  $U_2$  feszültségre váltsa.



2.42. ábra. A feszültségváltó elve

## Működésének elve:

A primer és szekunder tekercsek közös vasmagon vannak. A primer tekercsben folyó – jelentéktelen nagyságú – váltakozó áram a vasmagban  $f$  frekvenciával váltakozó fluxust gerjeszt. A váltakozó fluxus a két tekercsben menetszámaikkal arányos  $f$  frekvenciájú váltakozó feszültséget indukál. A két tekercs kapcsain  $U_1$  és  $U_2$  feszültségek jelennek meg. A feszültségváltó feszültségátvétele a névleges primer és szekunder feszültség hányadosa, a belső feszültségesések miatt kis mértékben eltér a menetszámok arányától:

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



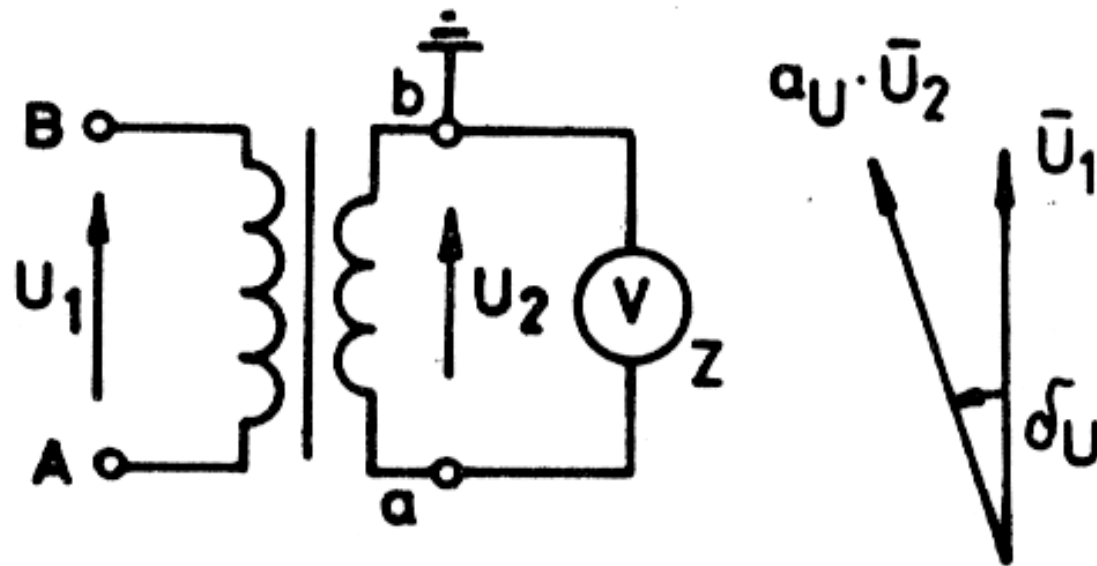
Az ideális feszültségváltó esetén érvényesül a következő összefüggés:

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

A valós feszültségváltó bevisz a mérésbe áttételi és fázishibát is. Az áttételi hiba nagysága:

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

A fázisváltó szöghibája az  $\bar{U}_1$  és  $\bar{U}_2$  közötti előjellel értelmezett  $\delta_U$  fázisszög. A feszültségváltók névleges szekunder feszültsége legfeljebb 100 V.

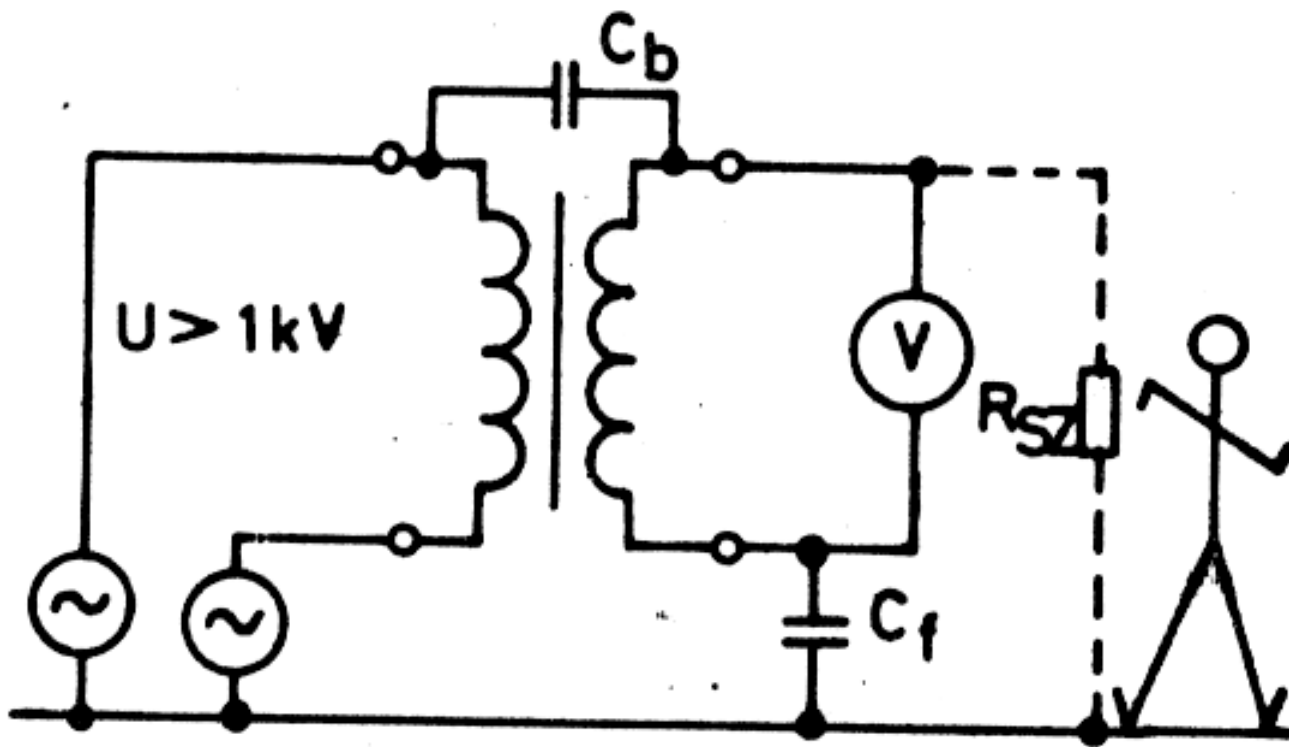


3.2.11 ábra

A feszültségváltó szekunder tekercséhez kapcsolódó mérőkört élet-és vagyónvédelmi okokból földpotenciálra kell kötni.

Ha ezt nem tennénk, úgy a primer tekercs földhöz képest mérhető 1 kV-nál nagyobb potenciálja a feszültségváltó két tekercse közötti  $C_b$ , valamint a szekunder tekercsnek a föld felé érvényesülő kapacitása ( $C_f$ ) esetleg a mérőkört érintő személy szigetelési ellenállásán oszlik meg.

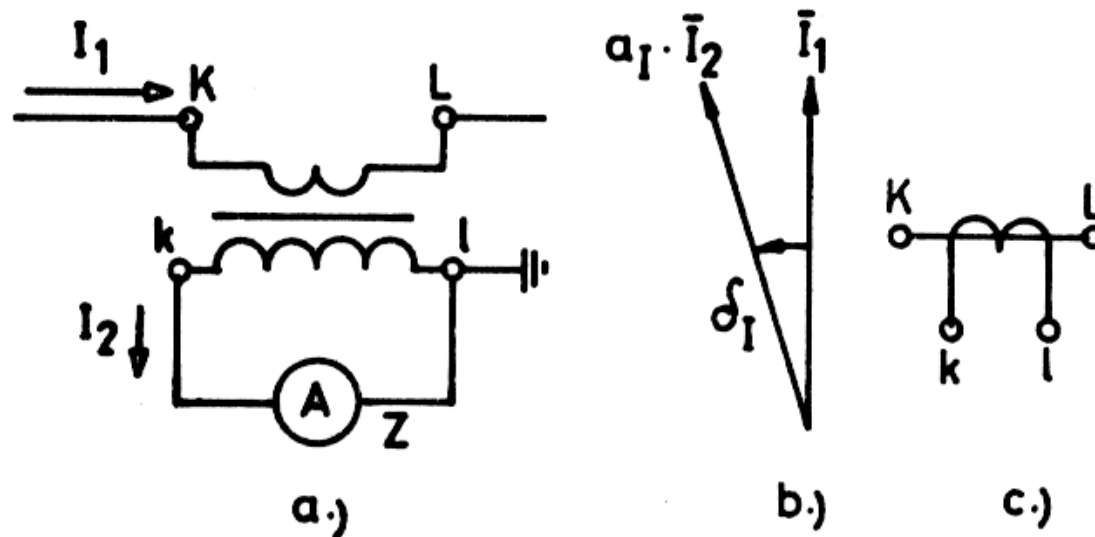
A szekunder kör egy pontjának földelésével ez a feszültség teljesen  $C_b$  -re fog jutni, de a tekercsek közötti szigetelést erre méretezték is.



3.2.12 ábra

# Áramváltók

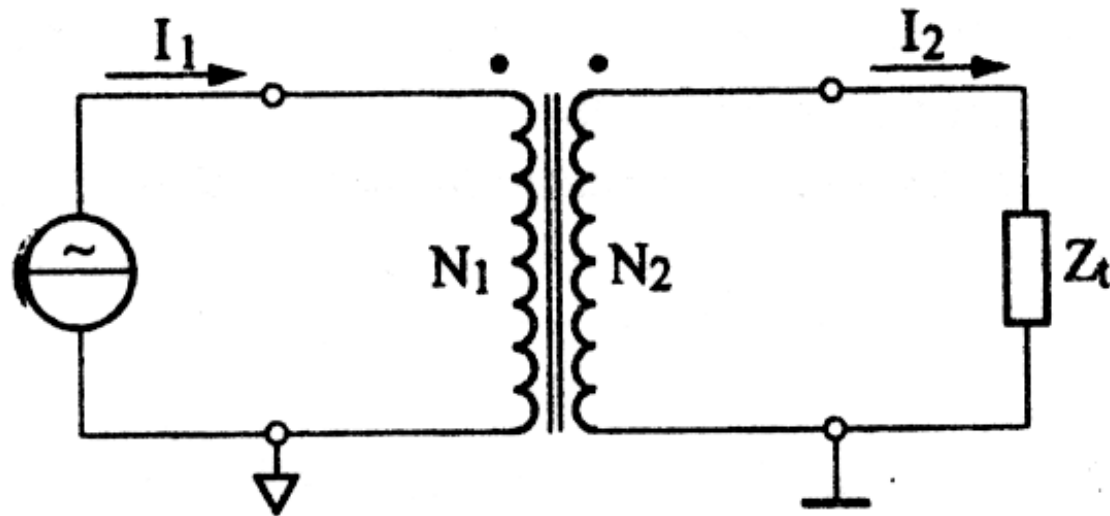
Az áramváltó a szekunder körében igen kis impedanciával terhelt, közel rövidzárásban üzemelő, speciális egyfázisú transzformátor. Feladata, hogy a kis menetszámú primer tekecsen átfolyó  $I_1$  váltakozó áramot az áttétel arányában csökkentett nagyságú, de azonos fázishelyzetű  $I_2$  áramra alakítsa át.



3.2.13 ábra

## Működésének elve:

A primer és szekunder tekercsek közös vasmagon vannak.  
A primer tekercs a mérendő áramkörbe sorosan van bekapcsolva



2.47. ábra. Az áramváltó elve

Az áramváltó ebben az áramkörben jelentéktelen impedanciát képvisel, így az ott egyébként kialakuló  $I_1$  áramot nem befolyásolja. A vasmagban a váltakozó fluxust a két tekercs áramgerjesztésének eredője hozza létre.

A szekunder áramkörbe kapcsolt ampermérő gyakorlatilag rövidzárat képvisel, ezért az  $I_2$  áram áthajtásához alig kell feszültségnek indukálódnia, így az eredő gerjesztés gyakorlatilag nulla:

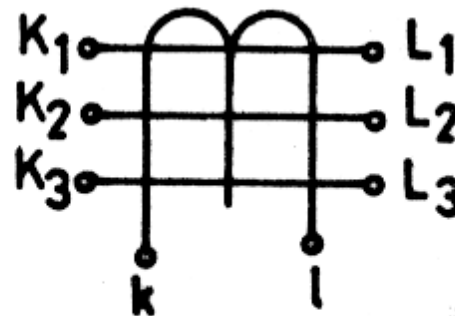
$$\bar{I}_1 N_1 + \bar{I}_2 N_2 \approx 0$$

A valós áramváltó áttétele egy kicsit különbözik a névlegestől. Az áttételi hiba nagysága:

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

Az áramváltó szöghibája az  $\bar{I}_1$  és  $\bar{I}_2$  közötti előjellel értelmezett  $\delta_I$  fázisszög. Az áramváltók névleges szekunder árama legtöbbször 5 A.

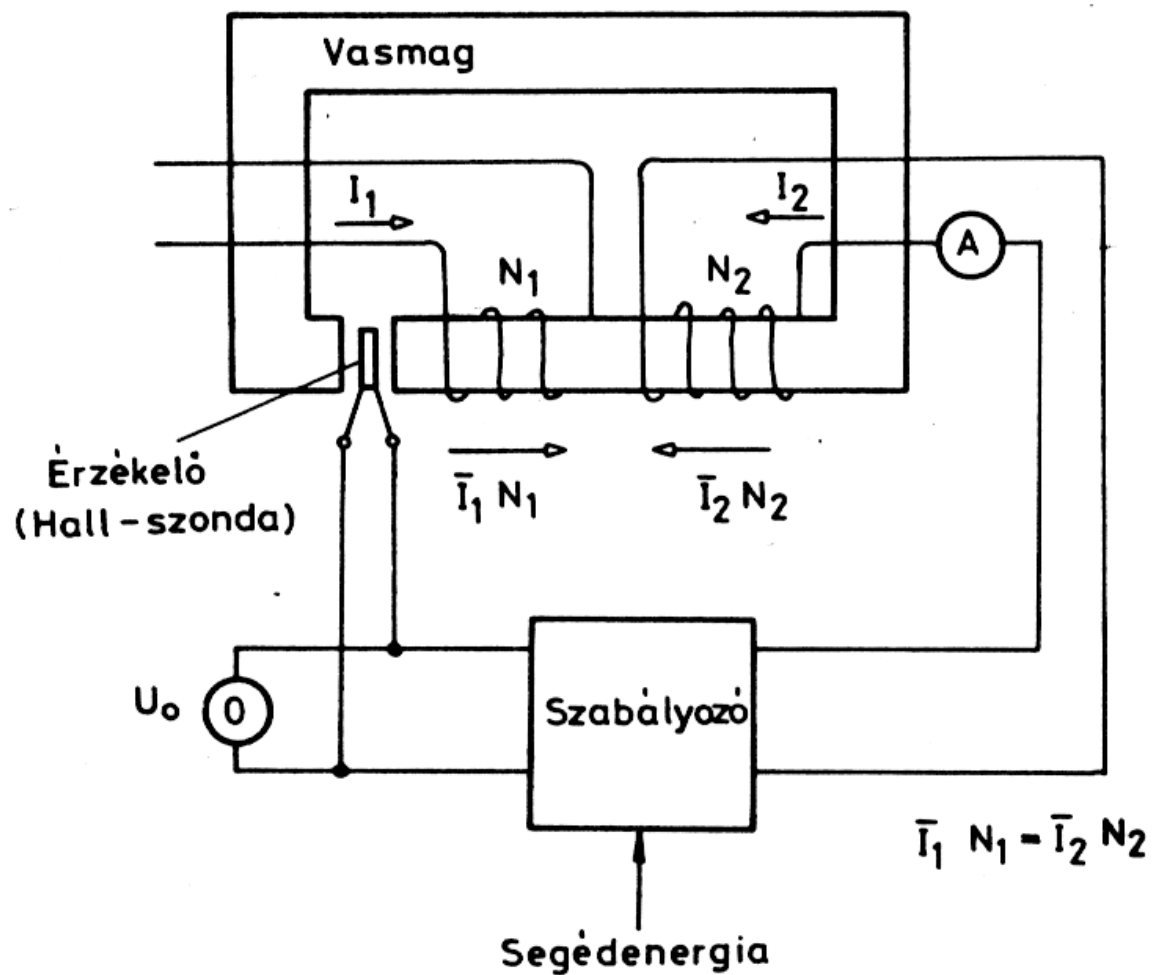
Készítenek áramváltót több primér és egyetlen szekunder tekercseléssel is



3.2.15 ábra



# Árammérés inductív áramkomparátorral



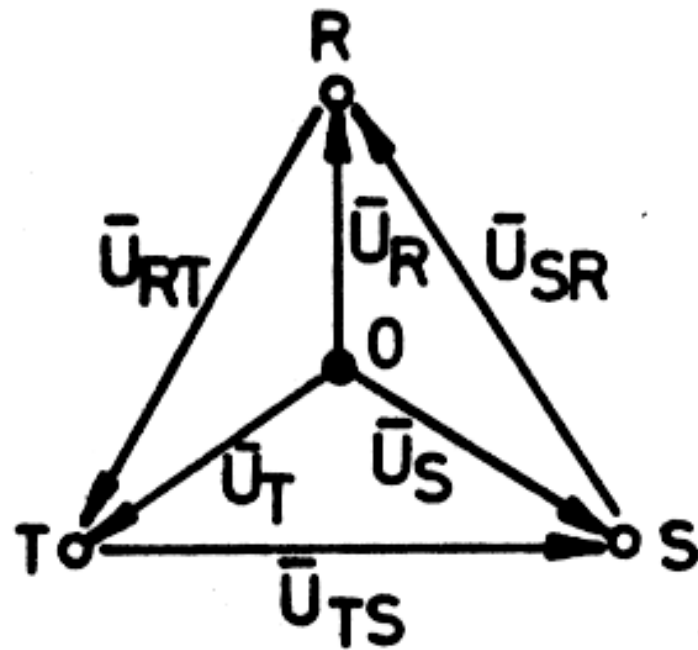
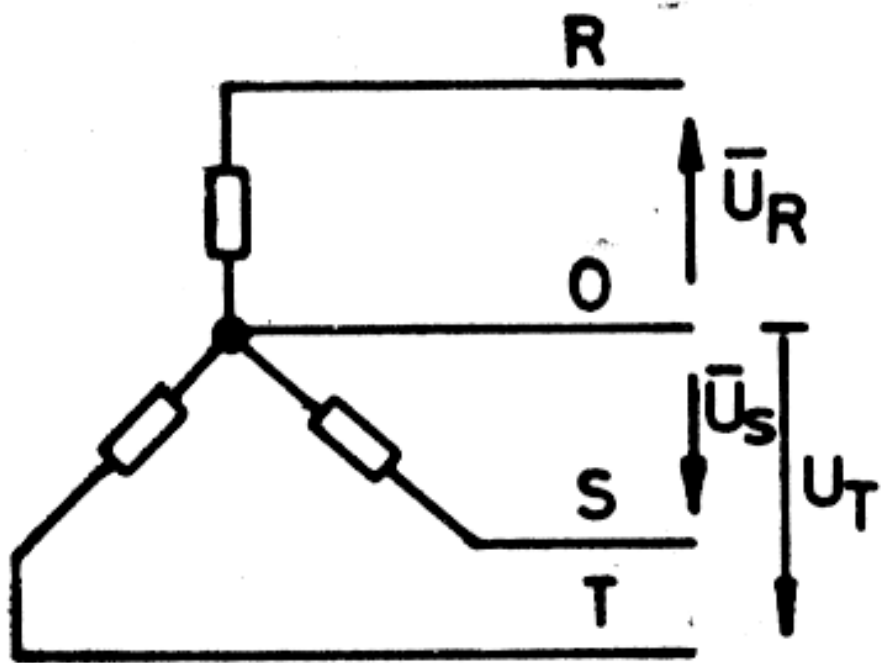
3.1.9 ábra

Az induktív áramkomparátor gerjesztések összehasonlítására szolgál. Egy közös vasmagon lévő két gerjesztő tekercs egyikébe az  $I_1$ , mérendő áramot, a másikába egy külső áramforrás  $I_2$  áramát vezetik. A gerjesztések egyenlősége esetén  $I_1 N_1 = I_2 N_2$ , a vasmagban a fluxus nulla ebből következik:

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

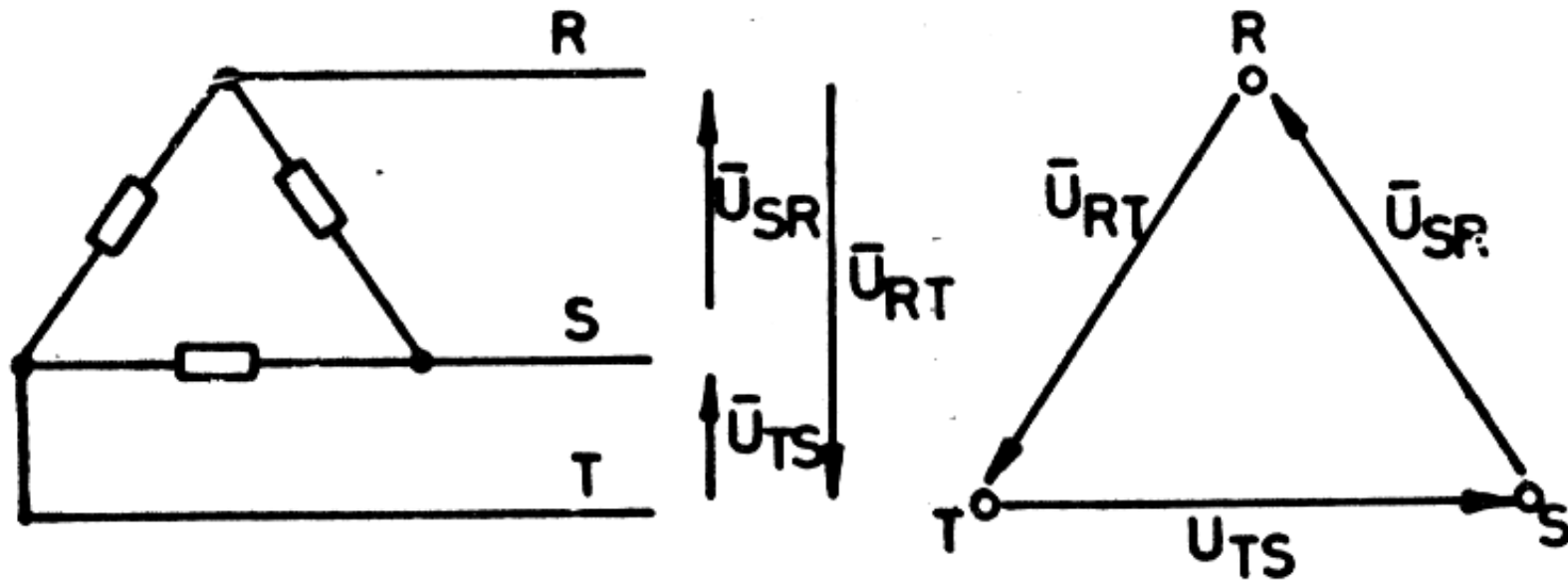
# Háromfázisú rendszer feszültségei és áramai

Háromfázisú feszültségrendszer alkot minden olyan három váltakozó feszültség, amelyek frekvenciája azonos. Szimmetrikus egy rendszer, ha a három fázor egyenlő nagy és fázisszögeik egymáshoz  $120^\circ$ -osak. A csillagkapcsolású energiaforráshoz kapcsolódó hálózat 4-vezetékes. A három fázisvezető (R, S, T) mellett a közösített visszavezetést nullavezetőnek hívják, mert az szimmetrikus terhelés esetén árammentes. A 0-vezető és a fázisvezetők között a fázisfeszültségek, a fázisvezetők között a vonalfeszültségek lépnek fel.



3.3.2 ábra

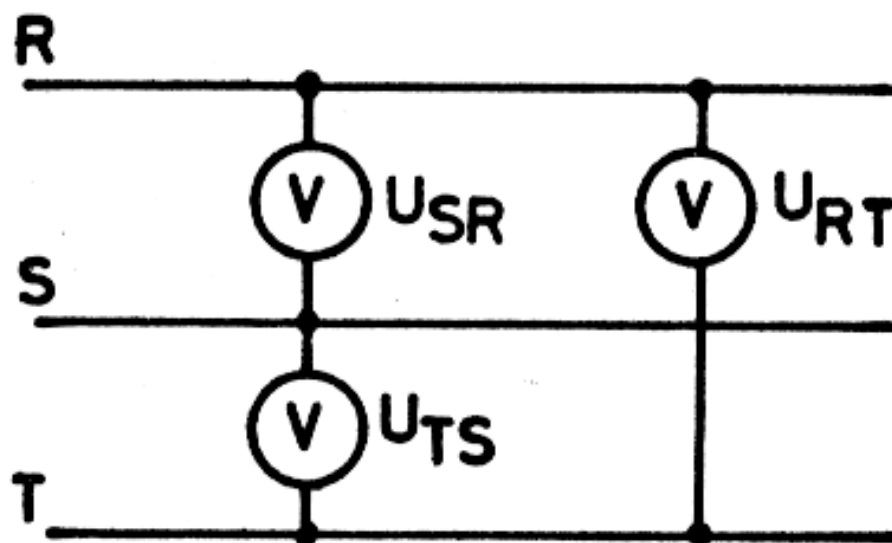
A háromszökapcsolású energiaforráshoz kapcsolódó hálózat 3 vezetékes. A hálózaton csak a vonalfeszültségek hozzáférhetők.



3.3.3 ábra

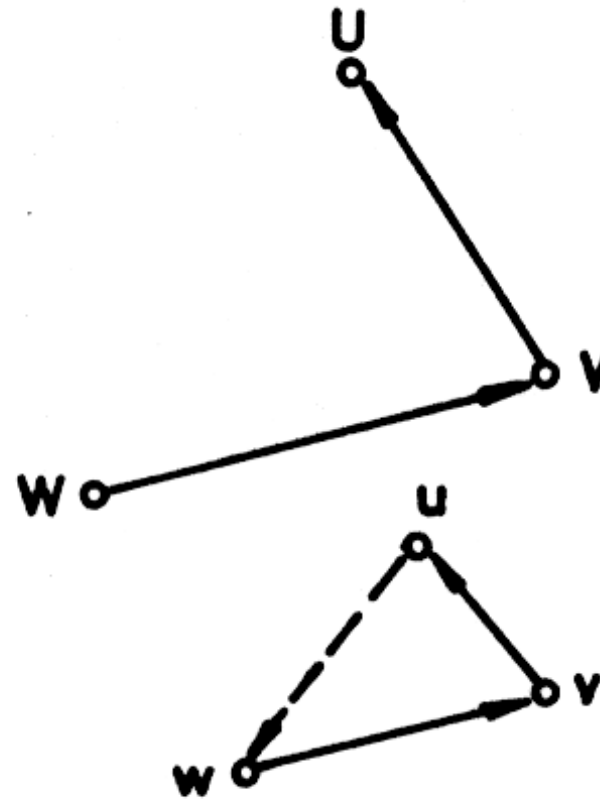
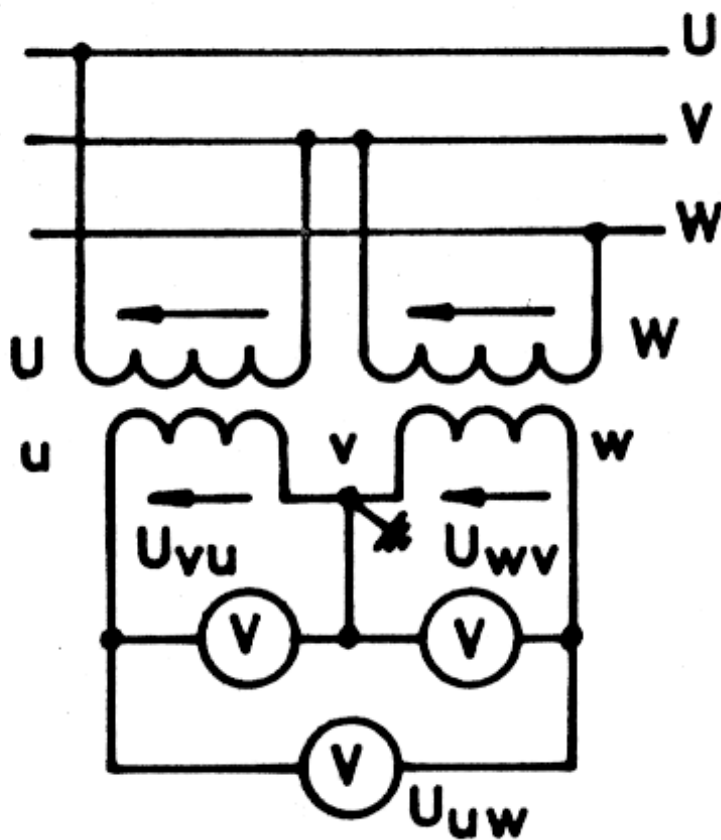
# Feszültségmérés háromfázisú rendszerekben

A feszültségmérésekre elterjedt voltmérők a feszültségnek csak a nagyságát (effektív értékét) mérik, a fázishelyzetét nem.



3.3.5 ábra

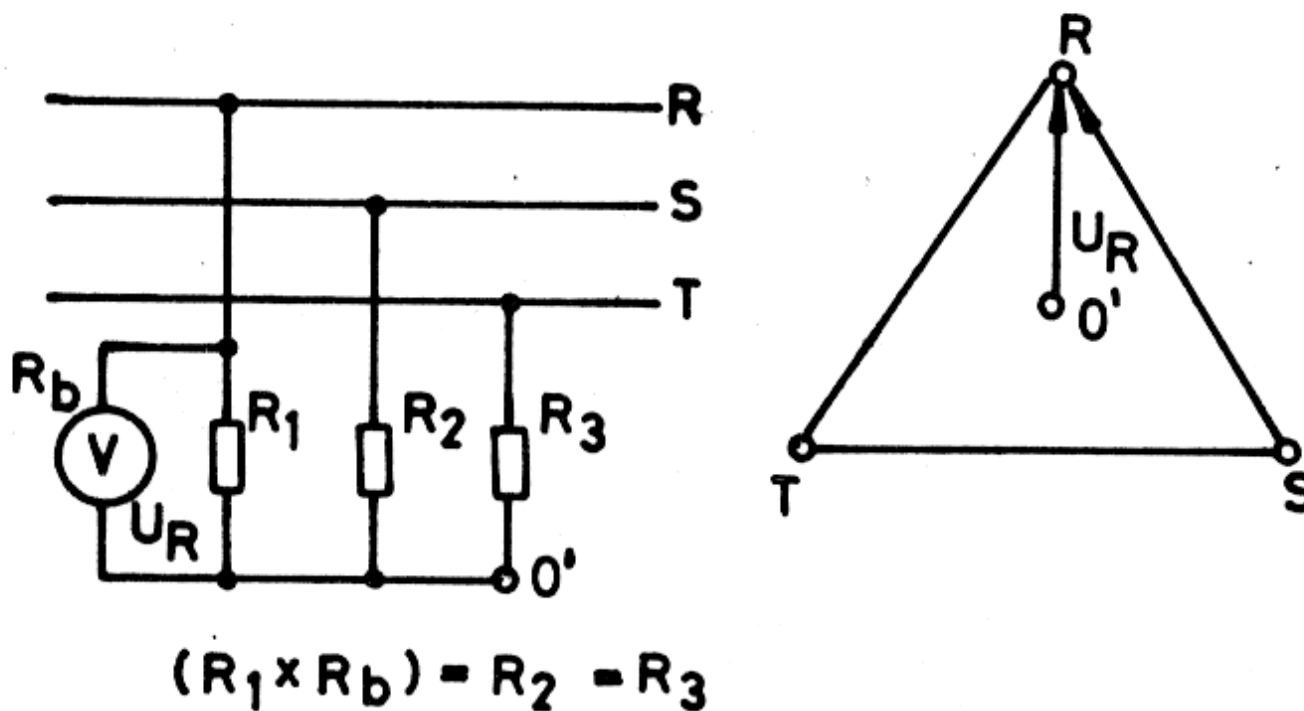
Szimmetrikus hálózat esetén elég egyetlen vonalfeszültséget mérni. Feszültségváltók alkalmazásánál a 3-vezetékes hálózat nagyfeszültségű fázorháromszöge 2 db. feszültségváltóval is transzformálható kisfeszültségű fázorháromszöggé:



3.3.6 ábra



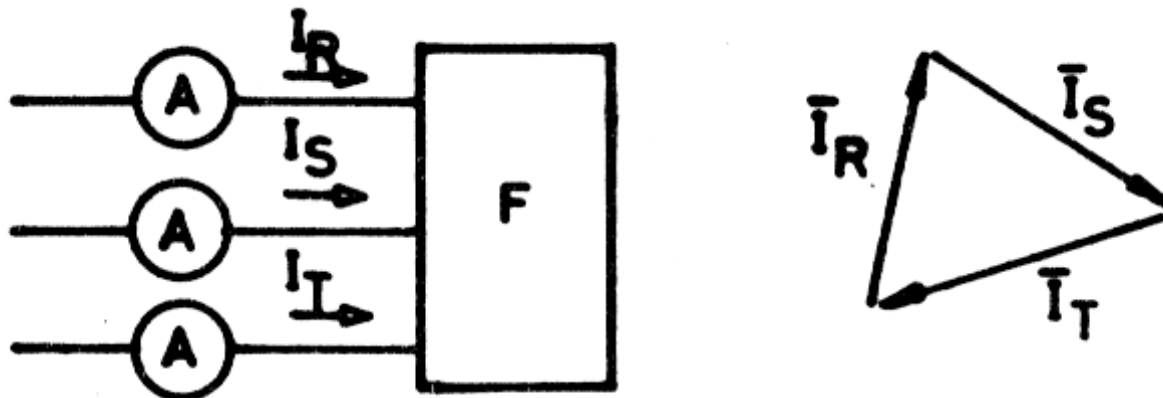
Amennyiben szükséges a háromvezetékes hálózat „fiktív” csillagpontjának létrehozása, e pontot előállíthatjuk mesterségesen:



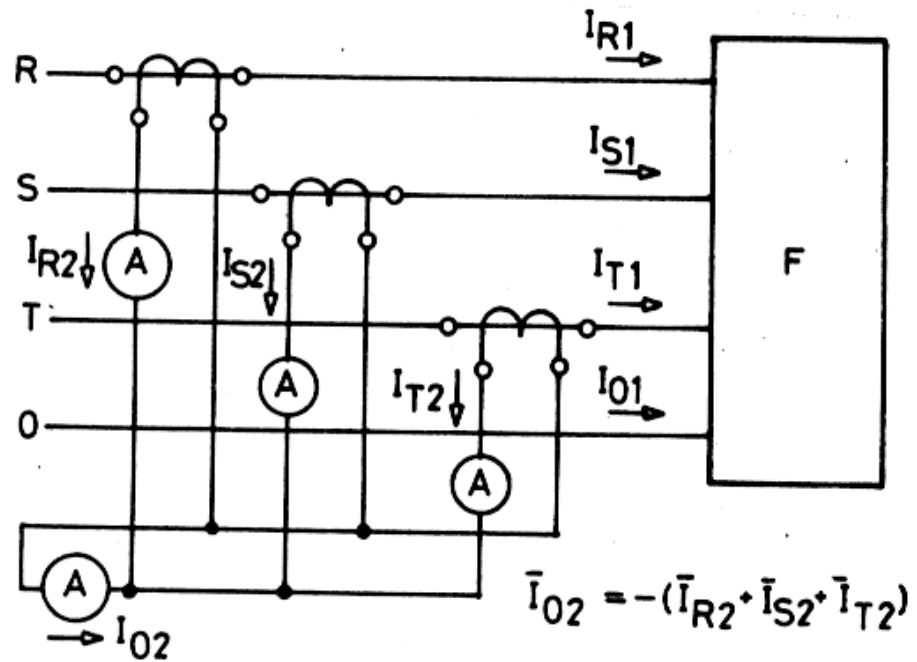
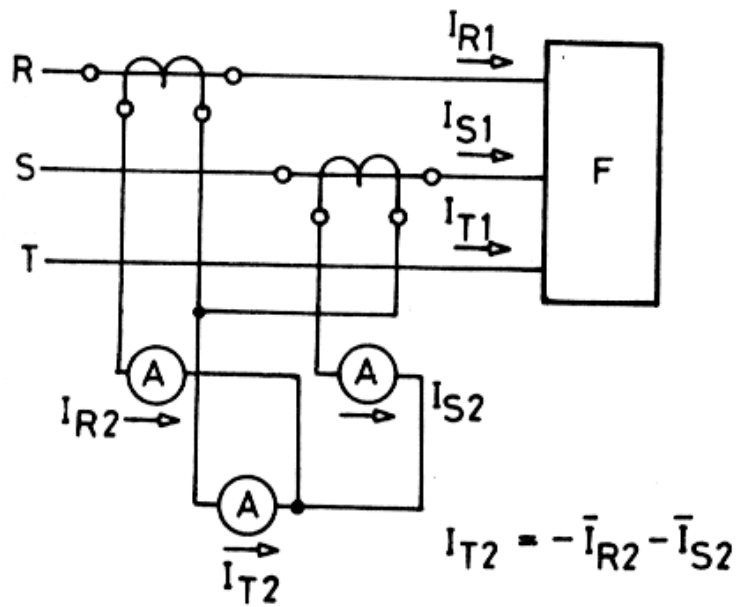
3.3.7 ábra

# Árammérés háromfázisú rendszerekben

Az árammérésre elterjedt ampermérők az áramnak csak a nagyságát (effektív értékét) mérik, a fázishelyzetét nem. A háromfázisú rendszer áramainak összege nulla.

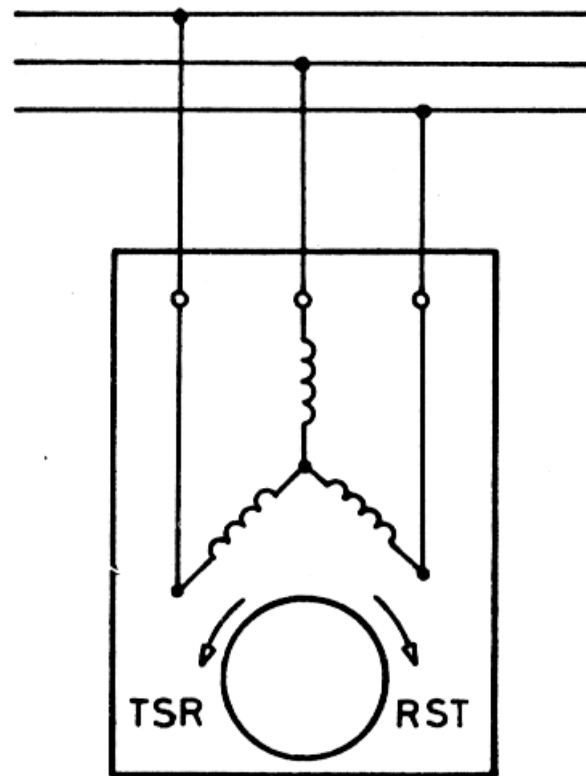


3.3.9 ábra



3.3.10 ábra

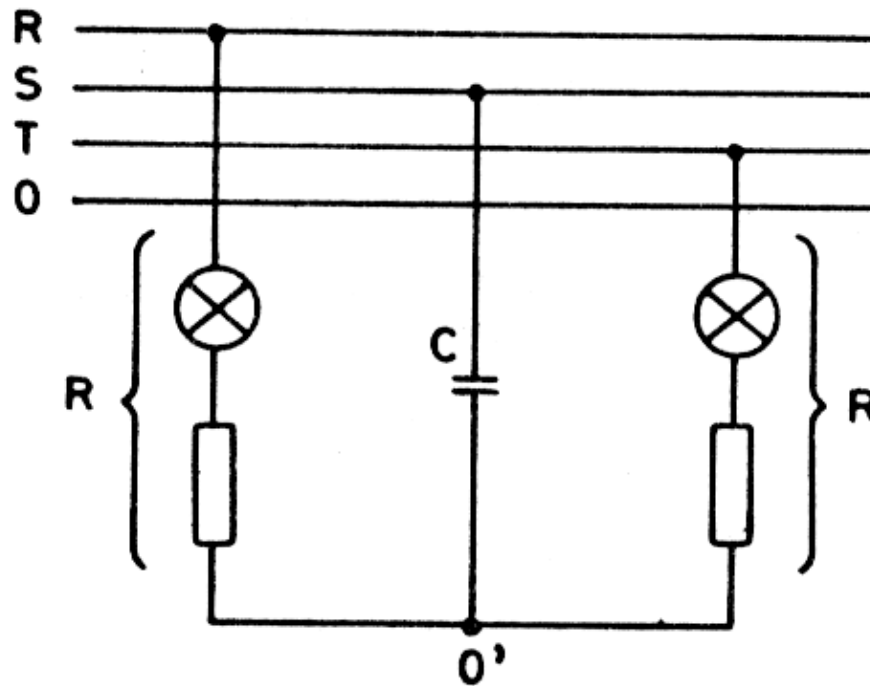
# Fázissorrend meghatározása



3.4.10 ábra

## Indukciós fázissorrendjelző.

A műszer elvileg egy miniatűr háromfázisú indukciós motor. A csillagba kapcsolt három tekercsét rá kell kapcsolni a vizsgálandó hálózatra. A tekercscsoport belsejében kialakult forgómágneses tér a benne elhelyezett csapágyazott alumíniumtárcsát (örvényáram hatására) magával ragadja. A forgás iránya a tekercsekre kapcsolt feszültségek fázissorrendjétől függ. A műszert az ipari erőátvitelben szokásos frekvenciatartományra (50 – 60 Hz) és feszültségtartományra (100 – 500 V vonalfeszültség) készítik



3.4.11 ábra

Az ismeretlen fázissorrend meghatározásának szabálya: a kondenzátor fázisvezetőjét sorrendben a jobban világító lámpa fázisvezetője követi. Ez a módszer nem azonosítja a fázisokat, csak a sorrendet határozza meg!

# A teljesítmény és az energia mérése

## Bevezetés

Általános fogalmak: Igen széles frekvenciatartományban kell mérni a pillanatnyi, hatásos, meddő és látszólagos teljesítményt. Teljesítményt mérhetünk egyenáramú rendszerben, egy és többfázisú váltakozóáramú rendszerekben. A váltakozóáramú rendszerek lehetnek szimmetrikusak, asszimmetrikusak, nullvezetővel vagy annélkül.

Az energiatermelés és elosztás éves szinten óriási energiameennyiséget kezel. Egyetlen 1000 MW teljesítményű blokk évi 8,76 TWh energiát termel. Egyetlen százalék mérési hiba éves szinten 87,6 GWh-tesz ki, ami átszámítva mintegy 250 000 000 dinár elszámolási bizonytalanságot okoz. (2.85 din/kWh)

A teljesítmény és energia mérésére vonatkozó módszerek és eszközök részletezése előtt tekintsük át a legfontosabb fogalmakat és definíciókat:

A villamos teljesítmény pillanatértéke  $p(t)$  az áram és feszültség pillanatértékeinek szorzata.

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

Az egyenáramú teljesítmény  $U$  feszültség és  $I$  áram esetén a következő előjeles szorzatként adható meg:

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

ahol a pozitív előjel a fogyasztói, a negatív pedig a termelői teljesítményre utal.



Szinuszos jelek esetén,  $U$  effektív értékű feszültség és  $I$  effektív értékű áram feltételezésével a határos teljesítmény:

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

a medő teljesítmény:

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

a látszólagos teljesítmény:

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

alakban definiált, ahol  $\varphi$  a feszültség és áram közötti fázisszög,  $\cos \varphi$  pedig a teljesítménytényező.

Komplex periodikus jelek esetén hatásos és meddő teljesítményt csak az azonos frekvenciájú feszültség- illetve áramösszetevők hoznak létre a következők szerint:

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

illetve

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

ahol  $i$  a harmonikus komponensek rendszámát jelöli.

Többfázisú rendszerben az egyes fázisok teljesítménye a következő összefüggés szerint összegezendő:

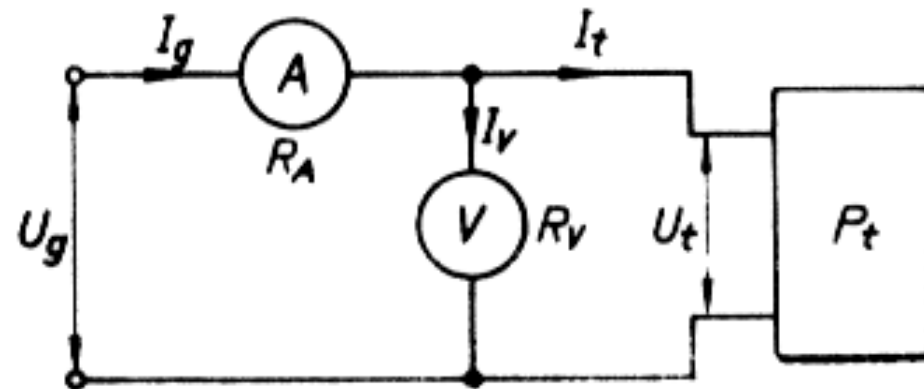
$$P = \sum_{k=1}^n P_k$$

ahol  $P_k$  a  $k$ -adik fázis teljesítménye és  $n$  a fázisok száma. A definíciók közös jellemzője, hogy a szorzás műveletére épülnek.

# Egyenáramú teljesítmény mérése

Teljesítménymérés ampermérő és voltmérő segítségével. Két féle kapcsolás lehetséges. A lemért feszültség és áram szorzataként kapott teljesítmény nagyobb a fogyasztó valós teljesítményénél a fogyasztóhoz közelebbi műszer fogyasztásával.

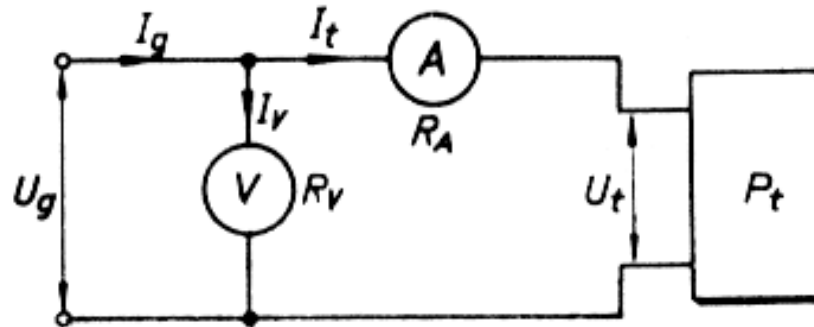
Az első esetben:



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

mivel: 
$$I_v = \frac{U_t}{R_v}$$

a második esetben:

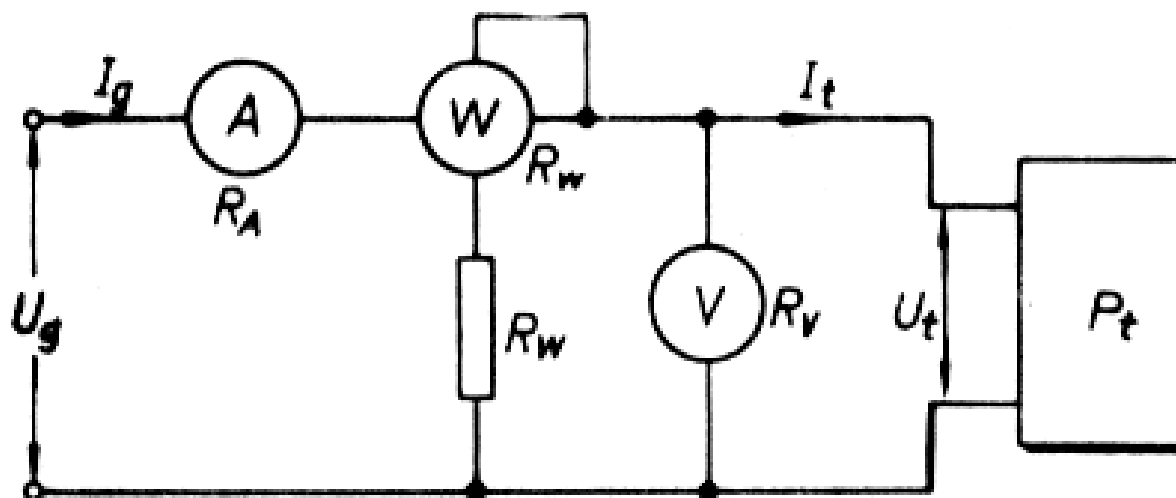


$$P_t = U_t \cdot I_t = (U_g - I_t R_A) I_t = U_g I_t - I_t^2 R_A$$

mivel az ampermérőn létrejövő feszültségesés  $I_t R_A$

A kapcsolást a fogyasztó ellenállásától függően választjuk.

Wattmérővel való közvetlen teljesítménymérésnél szintén van két lehetséges módja a kapcsolásnak.



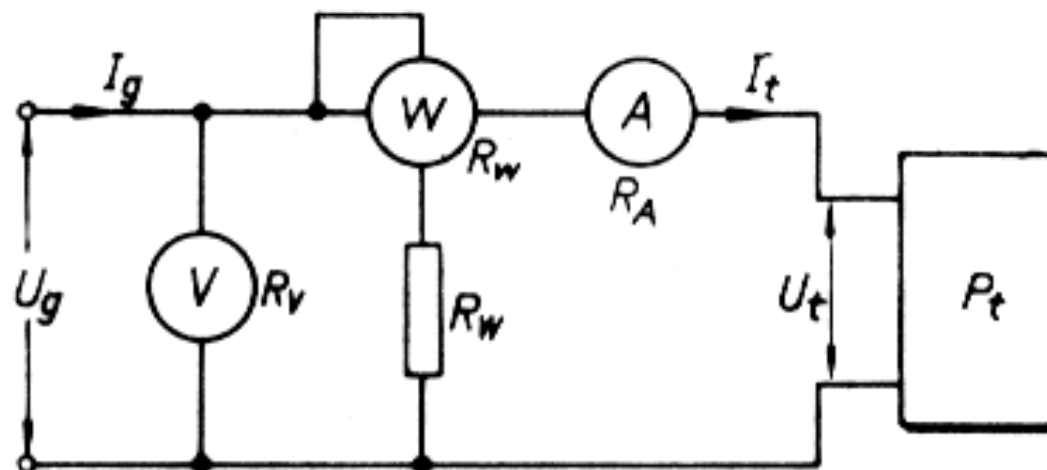
**Slika 9.24. Mjerenje snage wattmetrom čija je naponska grana spojena na mjereni teret**

A wattmérő feszültségtekercsét (és a voltmérőt) az áramtekercsek után, vagy előtt lehet a fogyasztóra kapcsolni. A fogyasztó teljesítménye:

A 9.24 ábra alapján:

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





Slika 9.25. Mjerenje snage vatmetrom čija je naponska grana spojena na izvor

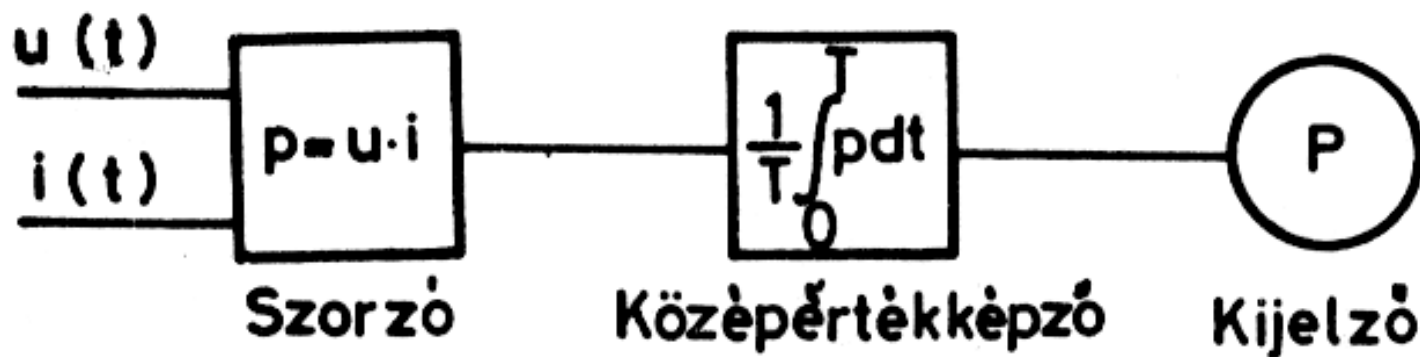
A 9.25 ábra alapján:

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

A mutató kitérésének iránya függ a feszültségtekercs és az áramtekercs csatlakozóinak csatlakozási sorrendjétől. Ha megváltoztatjuk a feszültségtekercs csatlakozóinak sorrendjét a mutató kitérésének iránya megváltozik. Ez érvényes az áramtekercsre is. Ha megváltozik az energia folyásának iránya, a műszer mutatója is ellentétes irányba fog kitérni. Az elektrodinamikus wattmérőket alacsonyabb frekvenciatartományokban használjuk.

# Egyfázisú szinuszos váltakozóáram teljesítménymérése

Egyfázisú szinuszos váltakozóáram teljesítménymérésének blokkvázlata:



3.6.7 ábra

a teljesítmény pillanatértékét a következő képlettel számítjuk:

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

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

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

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

látható hogy a teljesítmény pillanatértéke ( **$2\omega t$** ) frekvenciával változik, a váltakozó áram frekvenciájának duplájával.

Bizonyítható hogy a teljesítmény effektív értéke:

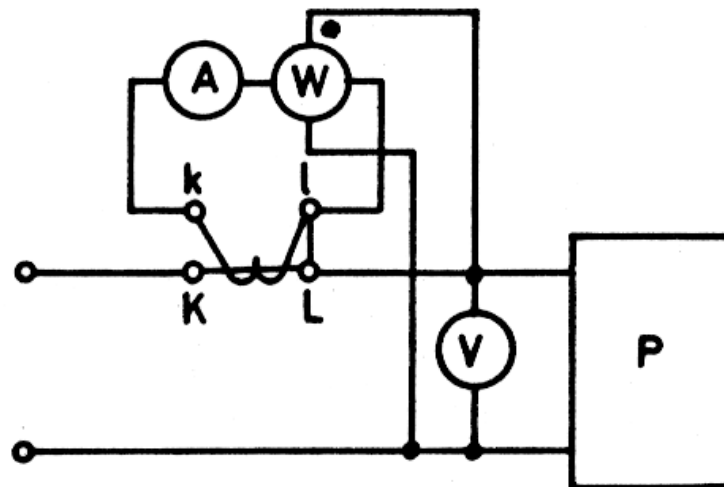
$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

ahol:  $-\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2$

A wattmérő kitéréséből nem állapítható meg egyértelműen hogy a műszer túl van-e terhelve. Megeshet hogy hatásos teljesítmény mérésénél kis kitérés esetén is, az alacsony teljesítménytényező miatt a műszer túl van terhelve. Elkerülendő ezt a helyzetet a wattmérőt áram- és feszültségmérővel együtt használjuk.

# Teljesítménymérés áramváltóval.

A wattmérő áramtekercse és az ampermérő az áramváltó szekunder körébe vannak kötve. A wattmérő feszültségtekercsét és a voltmérőt közvetlenül csatlakoztatjuk a feszültségre.



3.6.16 ábra

Az áramváltó szekunder köre határozatlan potenciálon van, amely akár veszélyes nagyságú is lehet. A wattmérő két tekercsének közel azonos potenciálra hozása érdekében feszültségkiegyenlítő kötést kell alkalmazni, ezt a 3.1.16. ábrán az áramváltó *L-l* kapcsolai között tettük meg.