



## Mérési útmutató

### A transzformátor működésének vizsgálata

Az Elektrotechnika tárgy laboratóriumi gyakorlatok 3. sz. méréséhez

#### 1. A mérési gyakorlat céljai:

A transzformátor működésének kísérleti vizsgálata, helyettesítő képének meghatározása. A transzformátor menetszámáttételének kísérleti meghatározása, üresjárási mérés, rövidzárási mérés és terhelési mérés. A háromfázisú transzformátor kapcsolási típusai, a kiegyenlítetttség vizsgálata.

#### 2. A mérés fontosabb eszközei:

Egyfázisú transzformátor	1 darab
Háromfázisú transzformátor	1 darab
Digitális multiméter	4 darab

#### 3. Fogalomtár:

**Indukált feszültség:** A transzformátor változó mágneses tere által indukált feszültség. Kifejezhető a következő képlettel:

$$U_{i,eff} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot \hat{B}_o \cdot A_o \cdot N = 4,44 \cdot f \cdot \hat{B}_o \cdot A_o \cdot N \quad (1)$$

ahol  $B_o$  az oszlopindukció csúcsértéke,  $A_o$  az oszlopkeresztmetszet,  $f$  a frekvencia  $N$  pedig a primer vagy a szekunder menetszám. Az indukált feszültség effektív értékét kapjuk meg feltételezve a szinuszos jelalakot.

**Kapocsfeszültség:** A transzformátor primer illetve szekunder kapcsain mérhető feszültség. Az **indukált feszültségtől** eltérhet a terhelési állapot függvényében.

**Névleges érték:** Az az érték, amelyet a transzformátor tervezésekor célként kijelöltek. Beszélhetünk névleges feszültségről, amely meghatározza a menetek számát vagy a szigetelés vastagságát. A névleges áram megadja azt az áramterhelést, amelyet a transzformátor túlmelegedés nélkül tartósan elviselni képes. A névleges áram és névleges feszültség együtt határozza meg a transzformátor névleges teljesítményét.

**Üresjárási állapot:** A transzformátor szekunder oldala üresen jár, arra terhelést nem kötünk. Ilyenkor a szekunder áram értéke nulla, a szekunder **kapocsfeszültség** megegyezik az **indukált feszültséggel**.

**Rövidzárási állapot:** A transzformátor szekunder oldalát rövidre zárjuk, így a szekunder **kapocsfeszültség** értéke nulla.

**Üresjárási áram:** *Üresjárási állapotban*, a primer tekercsekben folyó áram. Kielégíti az oszlopindukció gerjesztésigényét, ez fedezi a vasvesztést. Telítődő vasmag esetében az *üresjárási áram* jelalakja a szinusztól jelentősen eltér.

**Rövidzárási feszültség:** *Rövidzárási állapotban* a primer oldalon a *névleges* áramhoz tartozó feszültség.

**Drop:** a *Rövidzárási feszültségnek* a névleges feszültséghez viszonyított százalékos értéke:

$$u_z = \frac{U_{zn}}{U_n} \cdot 100\% \quad (2)$$

A drop segítségével kiszámítható a névleges feszültség esetén kialakuló zárlati áram állandósult értéke:

$$I_z = I_n \frac{100\%}{u_z} \quad (3)$$

Kisebbszámú transzformátorok dropja 4-6%, ami azt jelenti, hogy zárlat esetén állandósult állapotban 16-25-szeres áramértékek is folyhatnak a transzformátorban. Emiatt nagyteljesítményű transzformátoroknál a drop értékét 8-12% körüli értékre választják (méretezik), hogy a zárlati áramok megfelelően csökkenjenek.

**Menetszám áttétel:** Transzformátor primer és szekunder menetszámának viszonya. Az *indukált feszültségek* arányával is kifejezhető (1) felhasználásával:

$$\frac{U_{1\text{eff}}}{U_{2\text{eff}}} = \frac{N_1}{N_2} = n \quad (4)$$

Üresjárási állapotban a primer és szekunder *kapocsfeszültségek* arányaként mérhető. Mérésekor figyelembe kell venni az *üresjárási áram* okozta hibát. Ez a hiba akkor minimális, ha a menetszám áttétel mérésére alkalmazott primer *kapocsfeszültség* a *névleges* feszültség 0,3-0,5-szöröse.

Megmutatható, hogy az áramáttétel:

$$\frac{I_{1\text{eff}}}{I_{2\text{eff}}} \approx \frac{1}{n}$$

**Kapcsolási csoport:** Háromfázisú transzformátoroknál megadott jelölés. Megmutatja az azonos fázisok primer és szekunder feszültségei között fennálló fáziskülönbséget. Órajelnek is nevezik, mivel a fáziskülönbségek mindig 30° egész számú többszörösei így reprezentálhatók úgy, mintha a megfelelő feszültségfázorok az óra nagy- ill. kismutatói volnának. Mindezek alapján a Dy5-ös kapcsolási csoport egy a nagyobb feszültségű oldalon delta, a kisebb feszültségű oldalon csillagba kötött transzformátort jelöl. Azonos fázisoknál a nagyobb és kisebb feszültségek között fázistolás 150° (5 óra).

**Vasvesztés:** Transzformátor vasmagjában keletkező veszteség. A mágneses hiszterézis és az örvényáramok következtében keletkező hőmennyiséget mutatja. Az örvényáramvesztés csökkentése érdekében a vasmagot lemezelik. A lemezeket, speciális anyagot használva, hidegen hengerelve készítik. Az *Üresjárási állapotban* felvett teljesítmény közelítőleg megegyezik a vasvesztéssel.

**Tekercselési veszteség:** A transzformátor tekercseiben keletkező veszteség. A vezetékanyag ellenállásán keletkező hőmennyiséget mutatja. Mértéke függ a frekvenciától, mivel a

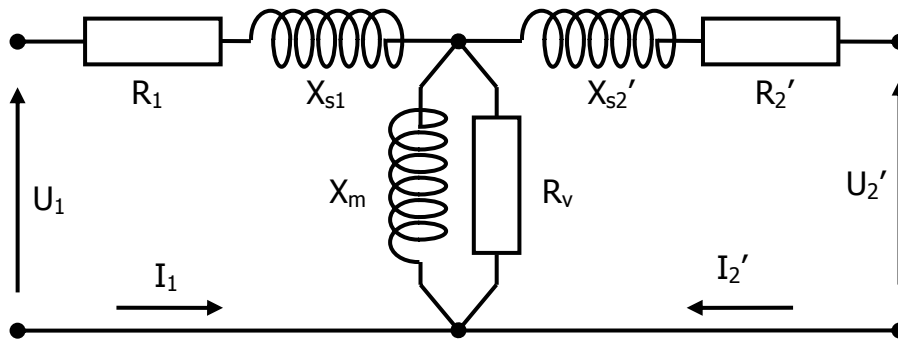
behatolási mélység befolyásolja a vezetésben résztvevő huzalkeresztmetszetet. Minimalizálása érdekében a huzal méreteit illeszteni kell a behatolási mélységhez. A **rövidzárási állapotban** felvett teljesítmény közelítőleg megegyezik a tekercselési veszteséggel.

**Főmező:** Transzformátor mágneses terének azon része, amely kapcsolódik mind a primer, mind a szekunder tekercsel. A főmező biztosítja az energiaátalakítást.

**Szórt tér:** Transzformátor mágneses terének azon része, amely vagy csak a primer vagy csak a szekunder tekercsel kapcsolódik, az energiaátalakításban nem vesz részt.

**Mágneses kör:** Azon tér-részek, amelyeken keresztül a transzformátor mágneses tere záródik. Főbb elemei az oszlopok illetve a járom, valamint a szórási tér. A mágneses kör elemeinek ismeretében a primer és szekunder áramok segítségével a transzformátor fluxusai számíthatók.

**Helyettesítő kapcsolás:** A transzformátor villamos jellemzőinek számításához használható áramkör, amelyben koncentrált paraméterű elemeket szokás figyelembe venni.



1. ábra: Transzformátor helyettesítő kapcsolása

**Elemei:**

- **Tekercsellenállások:** a primer és szekunder (kis- és nagyfeszültségű) tekercsek ohmos ellenállásai
- **Szórási reaktancia:** a primer illetve szekunder tekercsek szórási fluxusát leképező inuktivitásokkal számított reaktanciák.
- **Főmező reaktancia:** a mindkét tekercsel kapcsolódó **főmező**. A főmező reaktancia értéke jelentősen függ a transzformátor vasmagjának telítési állapotától.
- **Vasveszteségi ellenállás:** Fiktív ellenállás, amelyen keletkező wattos veszteség megegyezik a vasveszteséggel.

A szekunder oldalon található mennyiségek vesszős jelzése jelöli, hogy a helyettesítő kapcsolást a primer oldalra **redukáltuk**.

**Redukálás:** ahhoz, hogy a helyettesítő kép egy áramkör legyen, a szekunder oldali mennyiségeket át kell alakítani (redukálni) a primerre az alábbi összefüggések szerint:

$$U_2' = n \cdot U_2; I_2' = \frac{I_2}{n}; R_2' = n^2 \cdot R_2; X_{s2}' = n^2 \cdot X_{s2}$$

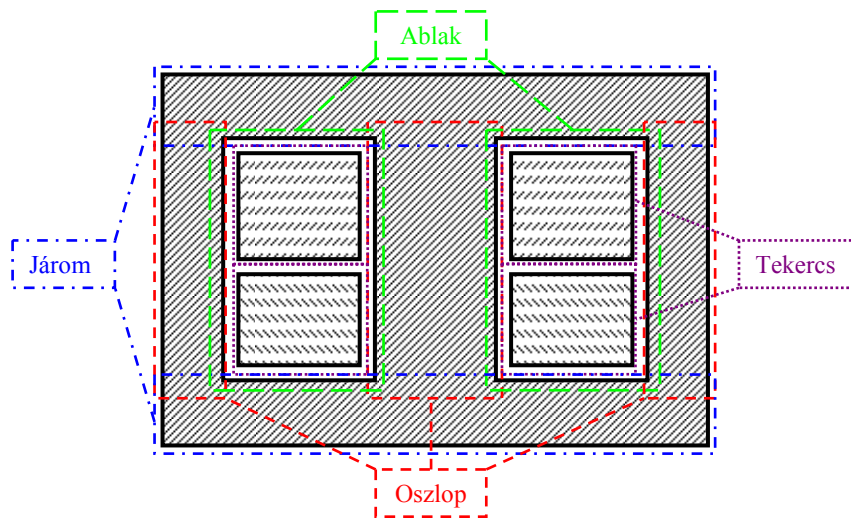
**Relatív értékek:** A transzformátor paramétereinek százalékos kifejezése. A viszonyítási alapok mindig a megfelelő **névleges** értékek. Tehát a **rövidzárási feszültség relatív** értékének meghatározásához a kapocsfeszültség **névleges** értékére kell viszonyítani, míg a **vasveszteség relatív** értékének meghatározásához a **névleges** teljesítményre. A **helyet-**

*tesítő kapcsolásban* szereplő koncentrált paraméterek *relatív* értékének meghatározásakor a viszonyítási alap a *névleges* impedancia, ami a *névleges* feszültség és a *névleges* áram hányadosa. A *relatív értékeket* általában kisbetűvel jelöljük.

#### 4. A transzformátor

A transzformátor olyan villamos gép, amely adott áramú és feszültségű teljesítményt más áramú és feszültségű teljesítménnyé alakít a mágneses tér közbeiktatásával, adott frekvencia mellett, néha a fázisszám is változik. Mivel az energia átvitelére alkalmazott közeg a mágneses tér, a transzformátor általában a galvanikus leválasztást is lehetővé teszi.

A transzformátorok aktív részei: a tekercsek és a vasmag. Ezen alkatrészek elhelyezésének számos variációja létezik, az alábbi ábrán a mérésünkben szereplő egyfázisú transzformátor keresztmetszetét mutatjuk be. Az ábrán feltüntetjük az alkatrészek hagyományos elnevezéseit.



2. ábra: Transzformátor metszete

*A transzformátor mérése:*

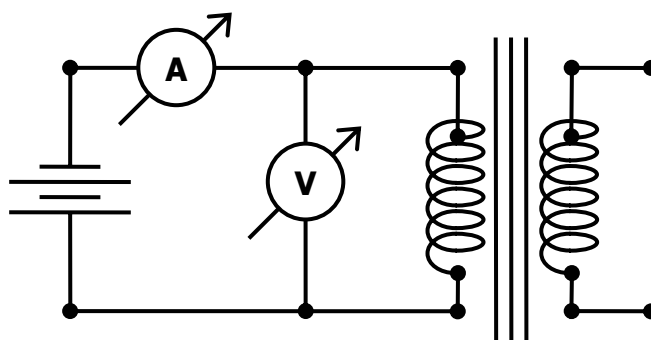
A transzformátor helyettesítő kapcsolási vázlatában szereplő elemek értékének megállapításához a következő méréseket végezzük el:

- Ellenállásmérés
- Áttételmérés, kapcsolási csoport ellenőrzése
- Üresjárási mérés
- Rövidzárási mérés
- Terhelési mérés

A mérések végeztével ismert lesz a transzformátor DC, illetve AC ellenállása, áttétele valamint - háromfázisú transzformátor esetén - a kapcsolási csoportja. Meghatározzuk a szórási, illetve a főmező reaktanciákat, továbbá a tekercselési- és a vasveszteségeket.

*Ellenállásmérés:*

A transzformátor primer illetve szekunder tekercseinek ellenállását mérjük meg egyenáramú ellenállásmérés segítségével. A 3. ábra alapján állítsuk össze a kapcsolást és mért feszültség, és áram arányából határozzuk meg a két tekercs ellenállását.



3. ábra: DC ellenállásmérés

Áttételmérés:

Transzformátor **menetszámának áttételét üresjárás**i mérés segítségével állapíthatjuk meg. A **menetszám áttétel** mérésekor azt a tényt használjuk ki, hogy az áttétel meghatározható a primer és szekunder **indukált feszültségek** arányaként. **Üresjárás**i állapotban a szekunder oldalon nem folyik áram, ezért az itt mért feszültség megegyezik az **indukált feszültséggel**. A primer oldalon folyó **üresjárás**i áram a primer tekercs ellenállásán és **szórás**i inductívitásán feszültséget ejt (lásd 1. ábra), emiatt a primer oldalon mért **kapocsfeszültség** eltér az **indukált feszültségtől**.

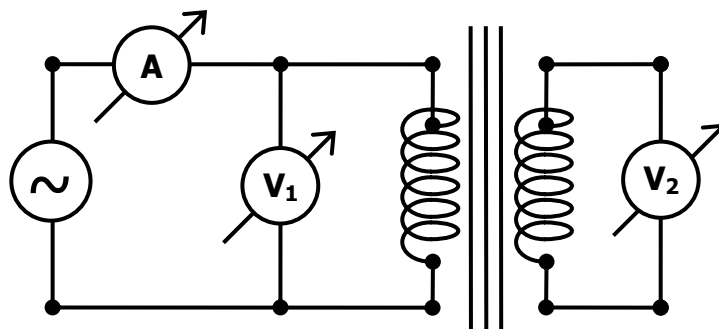
Ez a jelenség a **menetszám áttétel** mérésében hibát okoz. A mért érték korrigálásra szorul a következő képlet alapján:

$$n = n_{\text{mért}} \cdot \left( 1 - \frac{I_{01}}{U_1} \cdot X_{s0} \right) \quad (5)$$

Ahol  $n_{\text{mért}}$  a mért **menetszám áttétel**,  $I_{01}$  az **üresjárás**i áram,  $U_1$  a primer **kapocsfeszültség**,  $X_{s0}$  pedig az **üresjárás**i állapotban fellépő primer **szórás**i reaktancia.

Amennyiben nem áll rendelkezésünkre  $X_{s0}$  értéke, a korrekciót nem tehetjük meg. Ennek ellenére a mérés elvégezhető úgy, hogy a mérési hiba minimális legyen.  $I_{01}/U_1$  viszony a feszültség függvénye és értéke minimális, ha  $U_1$  értéke a **névleges feszültség** 30-50%-a. Így a hiba minimalizálható ugyanis a többi érték a hiba képletében konstans.

Míndezek ismeretében állítsuk össze a 4. ábrán látható kapcsolást és mérjük meg a transzformátor menetszám áttételét. Ügyeljünk, hogy a primer **kapocsfeszültség** ne haladja meg a **névleges feszültség** 50%-át és jegyezzük fel az **üresjárás**i áram értékét is.



4. ábra: Áttétel mérése

*Kiegészítő feladat:*

A rövidzárási mérés végeztével - az  $X_s$  **szórási reaktancia** ismeretében - korrigáljuk a **menetszám áttétel** mérésének adatát. Használjuk a következő közelítő összefüggést a korrigáláshoz szükséges  $X_{s0}$  meghatározására:

$$X_{s0} = \frac{X_s}{2}$$

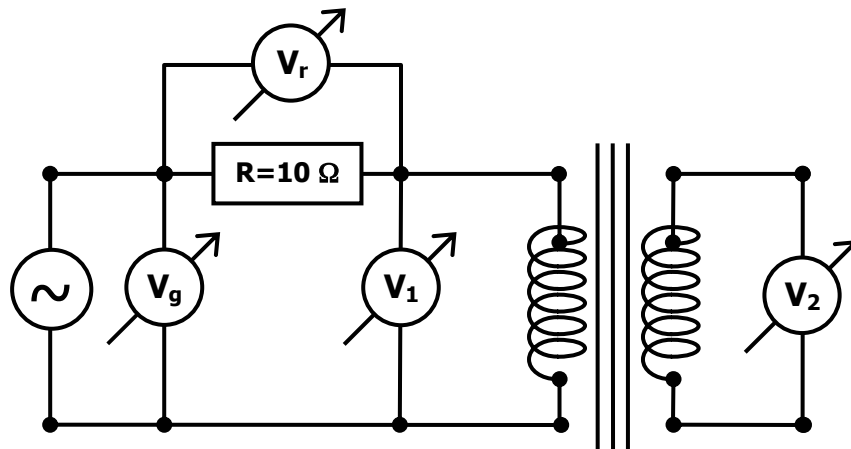
*Üresjárási mérés:*

A transzformátor üresjárási mérésének legfontosabb célja a transzformátor **üresjárási áramának** és **vasvesztésének** meghatározása. Ezen kívül meghatározható még a **helyettesítő kapcsolásban** szereplő **főmező-reaktancia** és **vasvesztéségi ellenállás** értéke is.

Üresjárási mérés során a változó a primer kapocsfeszültség, ennek függvényében kell a mért és számolt mennyiségeket ábrázolni. Primer feszültségtől jelentős mértékben függ az **üresjárási áram**, a **vasvesztéségi ellenállás** és a **főmező reaktancia**.

Az  $I_{01} = f(U_1)$  görbe a transzformátor vasmagjának mágnesezési görbéje. Amíg a vasmag nincs telítésközeli állapotban, a fenti összefüggés lineáris jellegű. A telítés hatása jól megfigyelhető a **főmező reaktancia** nagymértékű változásán.

Állítsuk össze a 4. ábrán látható kapcsolást. Végezzük el az üresjárási mérést a primer **kapocsfeszültség** változtatásával. Célszerű a mérést fentről lefelé végezni, a kiindulópont a transzformátor **névleges** feszültségének 120%-a legyen. Jegyezzük fel a műszerek adatait minden mérési pontban. A szekunder feszültség értékének feljegyzése azért szükséges, hogy a vasvesztésüket meghatározhassuk.



**5. ábra: Üresjárási mérés**

A mérés végeztével a következő értékeket kell kiszámolni minden mérési pontban:

$$U_{i1} = n \cdot U_2 \quad (6)$$

ahol  $n$  a **menetszám áttétel**,  $U_2$  a szekunder **kapocsfeszültség**,  $U_{i1}$  pedig a primer **indukált feszültség**.

$$I_{01} = \frac{U_r}{R} \quad (7)$$

ahol  $U_r$  a mérőellenálláson eső feszültség,  $R$  a mérőellenállás értéke,  $I_{01}$  pedig a primer áram.

$$\cos \phi = \frac{U_g^2 - U_1^2 - U_r^2}{2 \cdot U_r \cdot U_1} \quad (8)$$

ahol  $U_g$  a generátor feszültsége,  $U_1$  a primer **kapocsfeszültség**,  $\cos \phi$  pedig az áram és feszültség fázistolásának teljesítmény tényezője.

$$S = U_1 \cdot I_{01} \quad P_{\dot{u}} = U_1 \cdot I_{01} \cdot \cos \phi \quad P_{vas} = U_{i1} \cdot I_{01} \cdot \cos \phi \quad (9)$$

ahol  $S$  a felvett látszólagos teljesítmény,  $P_{vas}$  a **vasvesztés**,  $P_{\dot{u}}$  az üresjárási veszteség,  $I_{01}$  a primer **üresjárási áram**,  $U_1$  pedig a primer **kapocsfeszültség**.

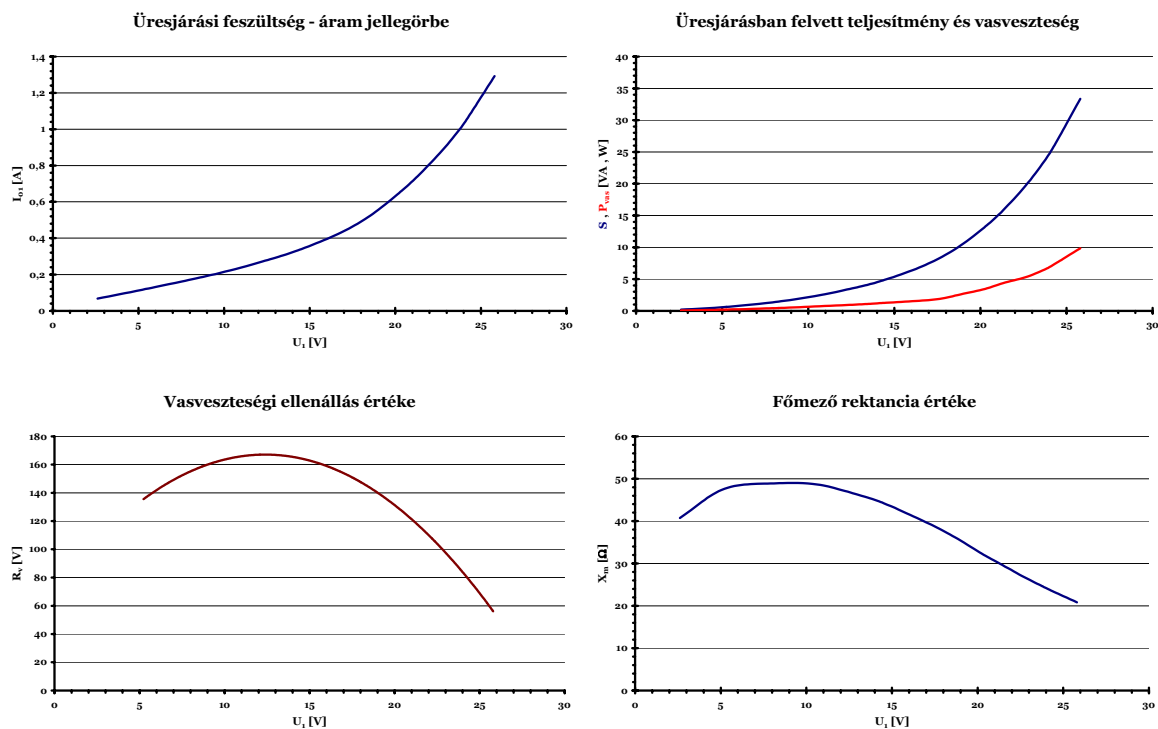
$$R_v = \frac{U_{i1}^2}{P_{vas}} \quad (10)$$

ahol  $R_v$  a **vasvesztéségi ellenállás**.

$$X_m = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{I_{01}}{U_{i1}}\right)^2 - \left(\frac{1}{R_v}\right)^2}} \quad (11)$$

$X_m$  a **főmező reaktancia**.

A mért és számolt értékeket ábrázoljuk grafikonon a primer **kapocsfeszültség** függvényében. Határozzuk meg a főbb paraméterek **relatív** értékét a **kapocsfeszültség névleges** pontjában (**üresjárási áram**, **vasvesztés**, **vasvesztéségi ellenállás** és **főmező reaktancia**).



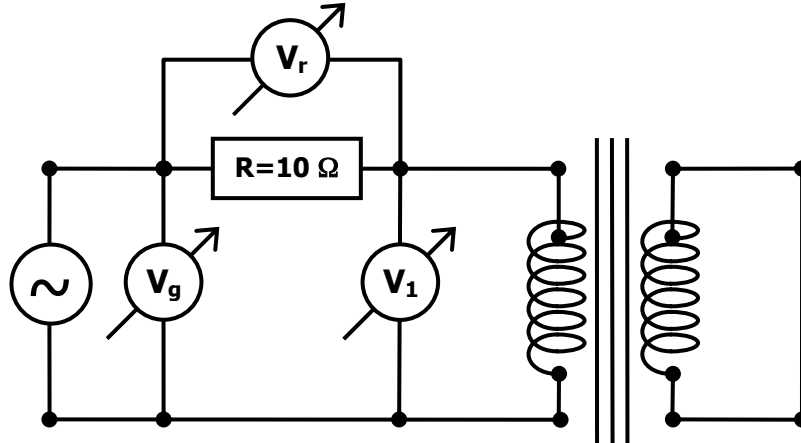
6. ábra: Üresjárási állapot jellemző görbéi

*Rövidzárási mérés:*

A transzformátorok rövidzárási mérésének legfontosabb célja a **rövidzárási feszültség**, más néven a **drop**, illetve a **tekerceselési veszteség** meghatározása. Ezen kívül meghatározható még a **helyettesítő kapcsolásban** szereplő **szórás reaktanciák** összege is.

Rövidzárási mérés során a szabad paraméter a primer áram, ennek függvényében kell a mért és számolt mennyiségeket ábrázolni. A primer áram néveleges értékéig a **rövidzárási feszültség** lineárisan nő, ami azt mutatja, hogy a **tekercselési ellenállások** valamint a **szórási reaktanciák** nem függenek az áram értékétől.

Állítsuk össze a rövidzárási mérést a 7. ábra alapján. Végezzük el a mérést a generátor feszültségének növelésével. Olvassuk le a primer áram és feszültség értékét minden mérési pontban. Ügyeljünk arra, hogy a primer áram ne haladja meg a **névleges** értéket. A mérést célszerű minél gyorsabban elvégezni, hogy a tekercsek hőmérséklete ne változzon jelentősen.



7. ábra: Rövidzárási mérés

A mérés végeztével számoljuk ki és ábrázoljuk a primer áram függvényében a következő értékeket:

$$I_1 = \frac{U_r}{R} \quad (12)$$

ahol  $U_r$  a mérőellenálláson eső feszültség,  $R$  a mérőellenállás értéke,  $I_1$  pedig a primer áram.

$$\cos \varphi = \frac{U_g^2 - U_1^2 - U_r^2}{2 \cdot U_r \cdot U_1} \quad (13)$$

ahol  $U_g$  a generátor feszültsége,  $U_1$  a primer **kapocsfeszültség**,  $\cos \varphi$  pedig az áram és feszültség fázistolásának teljesítmény tényezője.

$$S_z = U_1 \cdot I_1 \quad P_z = S_z \cdot \cos \varphi \quad Q_z = \sqrt{S_z^2 - P_z^2} \quad (14)$$

ahol  $S_z$  a zárlati állapotban felvett látszólagos teljesítmény,  $Q_z$  a zárlati állapotban felvett meddő teljesítmény,  $P_z$  a zárlat során felvett hatásos teljesítmény.

$$R_{AC} = R_1 + R_2' = \frac{P_z}{I_1^2} \quad (15)$$

ahol  $R_1$  a primer tekercselés váltakozóáramú ellenállása,  $R_2'$  a szekunder tekercselés primer oldalra redukált váltakozóáramú ellenállása.

$$X_s = X_{s1} + X_{s2}' = \frac{Q_z}{I_1^2} \quad (16)$$

ahol  $X_{s1}$  a primer tekercselés **szórási reaktanciája**,  $X_{s2}'$  a szekunder tekercselés primer oldalra redukált **szórási reaktanciája**.  $X_s$  pedig az eredő szórás.

$$\varepsilon = \frac{U_{z1}}{U_{1n}} \cdot 100\% \quad (17)$$

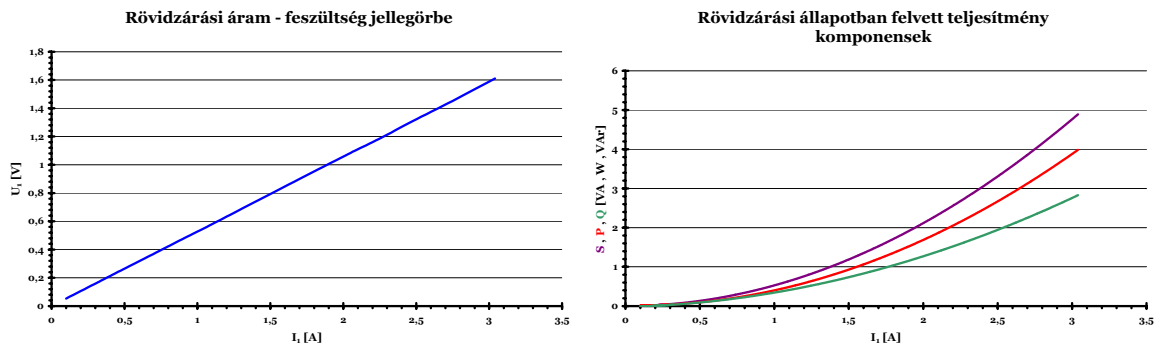
ahol  $U_{z1}$  a primer **rövidzárási feszültség**,  $U_{1n}$  a primer **névleges** feszültség,  $\varepsilon$  pedig a **drop**.



Határozzuk meg a főbb paraméterek *relatív* értékét a rövidzárási áram *névtleges* pontjában (*tekerceslési veszteség, szórású reaktancia és tekercesellenállások*).

*Kiegészítő feladat:*

Adjuk meg, hogy az egyenáramú esethez képest a tekerceslési ellenállások hány százalékkal növekedtek.

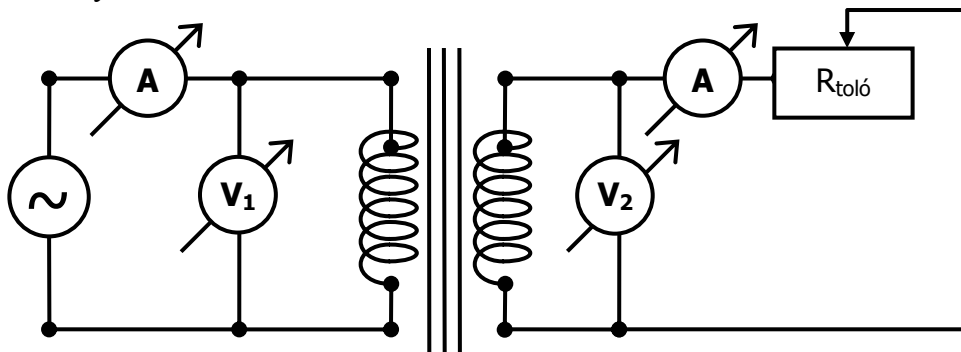


8. ábra: Rövidzárási állapot jellemző görbéi

*Terhelési mérés:*

Az energiaátviteli célra használt transzformátor fontos jellemzője, hogy állandó bemeneti feszültség esetén mennyire változik a kimeneti feszültség a terhelő áram függvényében. Ezt az  $U_2=f(I_2)$  összefüggés szemlélteti. A mérés ezenkívül használható az energia átvitel hatásfokának megállapítására is.

Állítsuk össze a 9. ábrán látható kapcsolást. Végezzük el a mérést a terhelés fokozatos növelésével. A terhelést jelen esetben a tolóellenállás értékének csökkentésével tudjuk növelni. A primer *kapocsfeszültség* értékét válasszuk a transzformátor *névtleges* értékére és ellenőrizzük a mérés során folyamatosan.

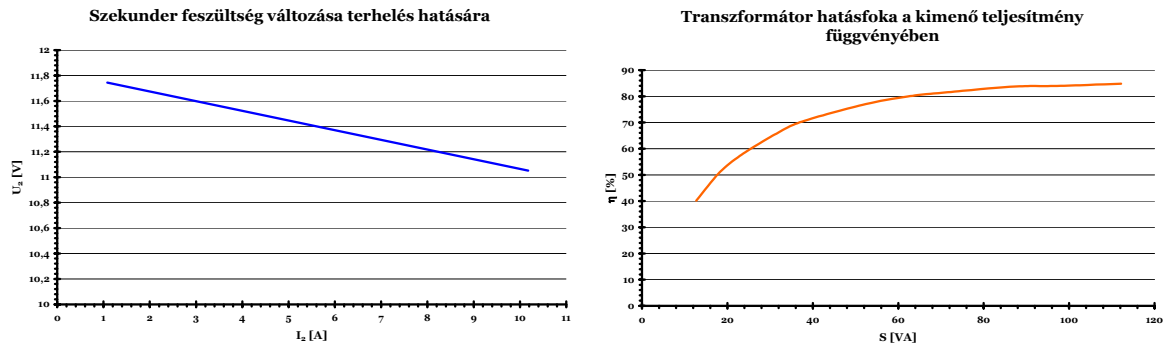


9. ábra: Terhelési mérés

A mérés végeztével ábrázoljuk az  $U_2=f(I_2)$  összefüggést grafikonon. Határozzuk meg és ábrázoljuk a leadott teljesítmény függvényében a hatásfokot az alábbi képlet alapján ( $\cos\varphi_2=1$  esetére):

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_v + P_t} \approx \frac{S_2}{S_1} = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1} \cdot 100\% \quad (18)$$

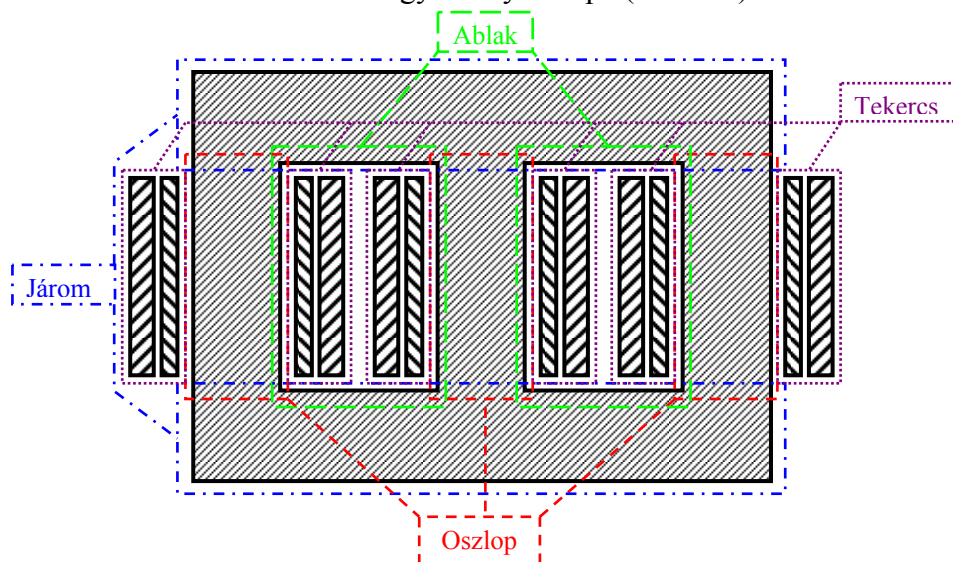
ahol  $U_2$  a szekunder *kapocsfeszültség*,  $U_1$  a primer *kapocsfeszültség*,  $I_2$  a szekunder áram,  $I_1$  pedig a primer áram.  $\eta$  pedig a hatásfok.



10. ábra: Terhelési állapot jellemző görbéi

## 5. A Háromfázisú transzformátor

Háromfázisú rendszerek energiaátviteli transzformátorainak felépítése levezethető három egy-fázisú transzformátor összevonásával. Az így keletkező rendszer középső oszlopának fluxusa a vektoriális összegzés miatt nulla, emiatt a középső oszlop az eszközből elhanyagolható. Így kialakul a háromfázisú transzformátor hagyományos képe (11. ábra).



11. ábra: Háromfázisú transzformátor metszete

Az elrendezésből eredően a középső oszlopon elhelyezkedő tekercseknek a **mágneses kör** rövidebb záródási útvonala miatt kisebb a gerjesztés-igényük. Szimmetrikus háromfázisú feszültséggel táplált transzformátor esetében tehát még **üresjárési állapotban** sem egyenlő a három fázisban folyó áramok effektív értéke.

A kiegyenlítetlenség a terhelés változásával tovább nőhet. Jó példák erre a lakossági áramszolgáltatás hálózati transzformátorai, ahol egy-egy fázis terhelése a lakossági igények szerint erősen különböző lehet. A fázisok terhelésének kiegyenlítésére különböző **kapcsolási csoportokat** szokás alkalmazni. Delta és zeg-zug kapcsolások alkalmazásával a fázisok kiegyenlítése növelhető.

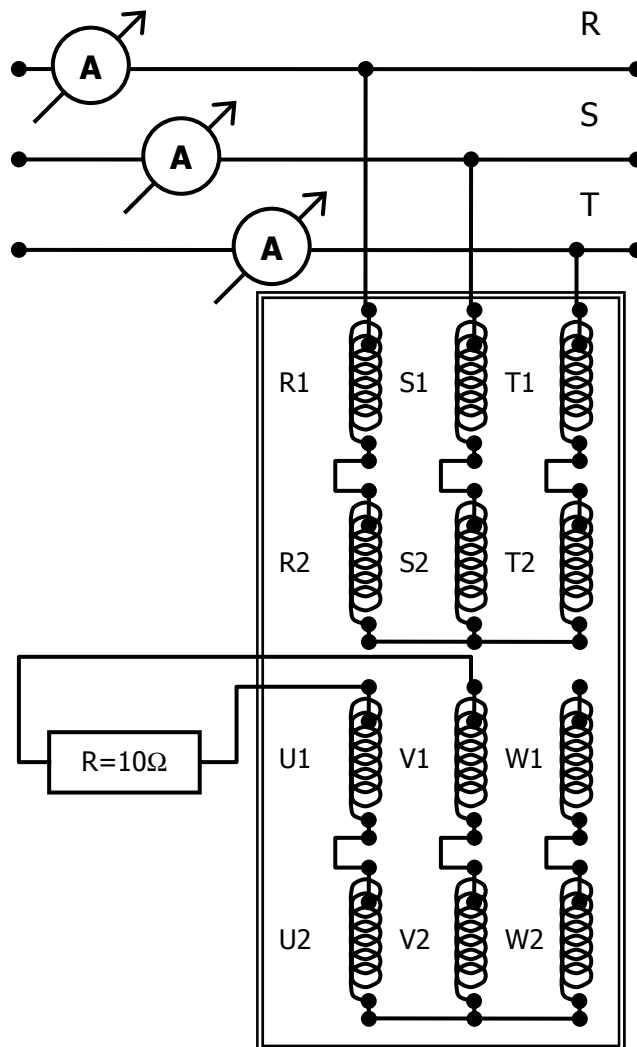
A **kapcsolási csoportok** jelölésénél három karaktert alkalmazunk, ebből kettő betű egy pedig szám. Az Y jelölés csillag kapcsolást jelent, a D deltát, míg a Z zeg-zug kapcsolást. A betűk mérete jelöli, hogy a transzformátor nagyobb vagy kisebb feszültségű oldalán helyezték el az adott kapcsolást. A jelölés végén található szám az **óraszám** a megfelelő primer és szekunder

feszültségek vektorai közötti fáziseltérést jelöli. A fáziseltérés  $30^\circ$  egész számú többszöröse lehet csak. Ha például a nagyfeszültségű tekercs feszültségfazora a képzeletbeli óralapon a 12 órára mutat, akkor a kisfeszültségű tekercs feszültségfazora valamelyik egész órára fog mutatni. Ezek alapján egy **Yz5**-ös transzformátor a nagyobb feszültségű oldalon, csillagba, kisebb feszültségű oldalon zeg-zugba van kötve és a megfelelő fázis nagyobb és kisebb feszültsége közötti fázistolás mértéke  $150^\circ$  ( $5 \times 30^\circ$ ).

*Kiegyenlítettég vizsgálata:*

Vizsgáljunk meg három kapcsolási csoportot a kiegyenlítettégük szempontjából. Kezdjük egy Yy0-ás transzformátorral, amely kapcsolási csoport igen érzékeny a kiegyenlítettlen terhelésre.

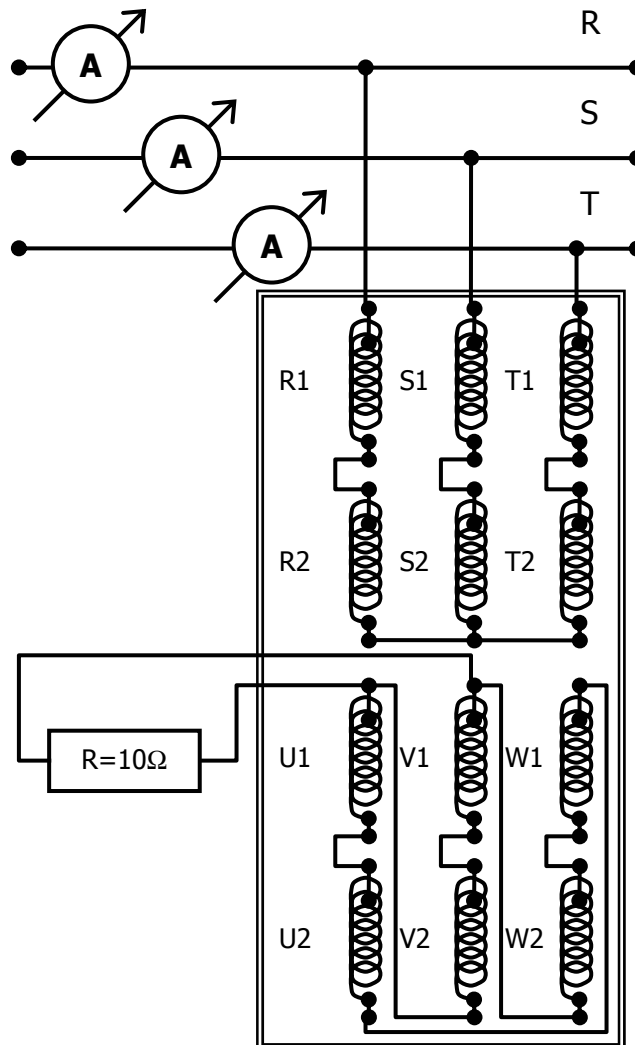
Állítsuk össze a kapcsolást a 12. ábra alapján. Jegyezzük fel az ampermérők értékét **üresjárási állapotban** és az ábrán feltüntetett terhelési állapotban is, amikor a szekunder oldal egyik vonalát terheljük. Ezzel egyúttal a csillagpont-eltolódást is mérni tudjuk.



12. ábra: Yy0 kapcsolási csoport

A következő vizsgált kapcsolási csoport legyen a Yd11-es transzformátor. Ez a kapcsolási csoport már kiegyenlített.

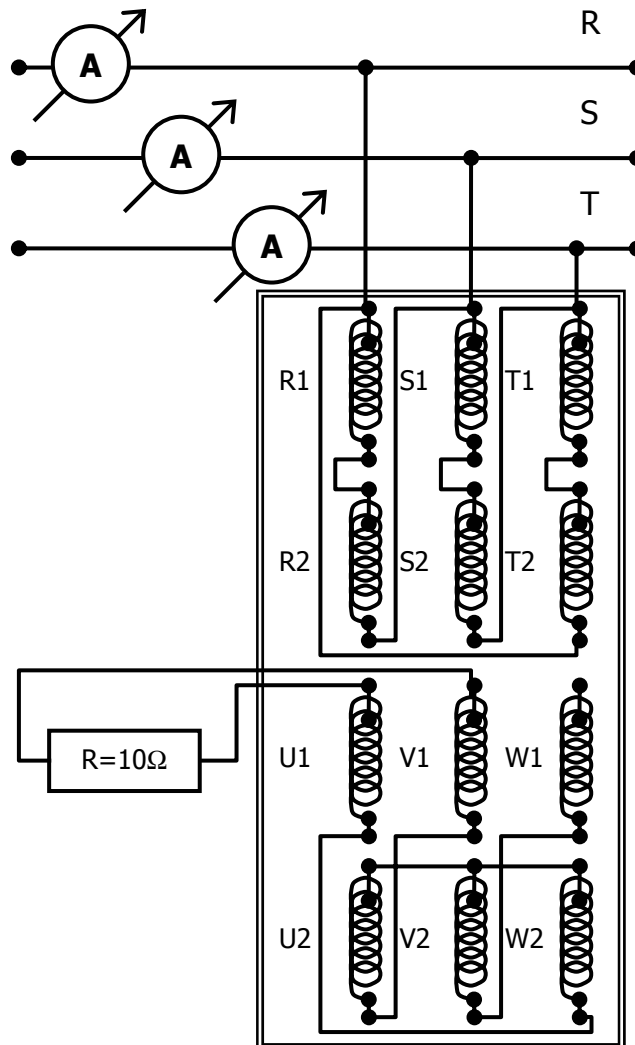
Állítsuk össze a kapcsolást a 13. ábra alapján. Jegyezzük fel az ampermérők értékét **üresjárási állapotban** és az ábrán feltüntetett terhelési állapotban is, amikor a szekunder oldal egyik vonalát terheljük.



13. ábra: Yd11 kapcsolási csoport

A következő vizsgált kapcsolási csoport legyen a Dz0-ás transzformátor. Ez a kapcsolási csoport már kiegyenlített.

Állítsuk össze a kapcsolást a 14. ábra alapján. Jegyezzük fel az ampermérők értékét **üresjárási állapotban** és az ábrán feltüntetett terhelési állapotban is, amikor a szekunder oldal egyik vonalát terheljük.



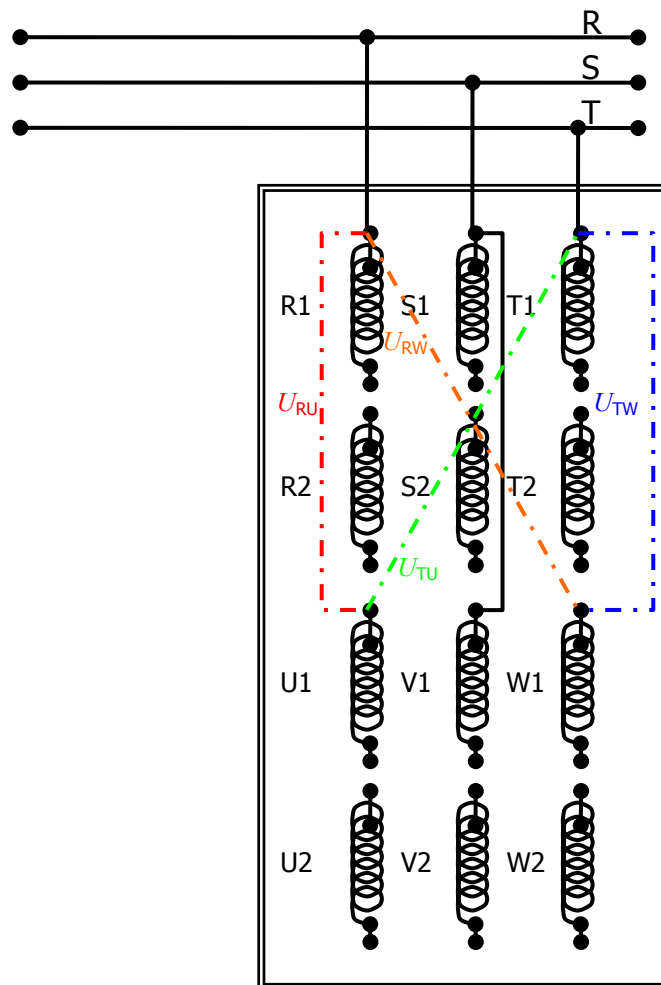
**14. ábra: Dz0 kapcsolási csoport**

A mérés végeztével hasonlítsuk össze az egyes kapcsolási csoportok fázisáramai közötti eltéréseket. Készítsünk táblázatot a fázisáram értékekről a középérték százalékában.

*Kapcsolási csoport megállapítása:*

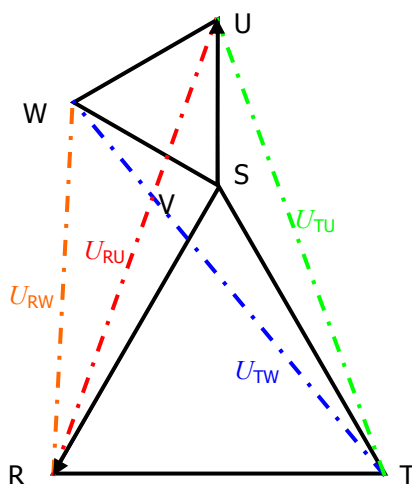
Ismeretlen háromfázisú transzformátor kapcsolási csoportja megállapítható a feszültségháromszögek mérésével. Miután a mérésvezető összeállított egy kapcsolási csoportot, határozzuk meg azt a 15. ábrán jelölt mérési pontok feszültségeinek megállapításával.

Kapcsolási csoport feszültség méréssel történő megállapításához az S-jelű primer és a V-jelű szekunder kábelek összekötjük (folyamatos vonal a 15. ábrán) és a transzformátor primer oldalára háromfázisú feszültséget kapcsolunk. Voltmérővel mérjük a primer és szekunder vonali feszültségek mellett a pontvonallal jelölt feszültségeket is. Ezekből a feszültséglépték felvétele után a primer és szekunder oldal feszültségháromszögei felrajzolhatók.



**15. ábra: Kapcsolási csoport megállapítása feszültségek mérésével**

Elsőnek a primer oldal R-S-T háromszögét rajzoljuk fel. A szekunder oldal U-V-W háromszögének egyik pontja már ismert, mert S és V közös pontok. Az U pont az R pontból rajzolt URU sugarú körnek és a T pontból rajzolt UTU sugarú körnek a metszéspontjában van. A W pont az R pontból URW sugárral, a T pontból UTW sugárral rajzolt kör metszéspontjában van. Alábbi példánkban a szerkesztés menete követhető.



**16. ábra: Kapcsolási csoport szerkesztése a mért feszültségekből. A példa egy 5 órás kapcsolást mutat**

## 5. Felkészülést segítő kérdések

1. Transzformátor esetén mi a szórási és a főmező fluxus fogalma?
2. Definiálja a menetszám-, a feszültség- és az áramátvitel fogalmát!
3. Hogyan és miért függ a feszültség-átvitel értéke a primer feszültségtől?
4. Hogyan változik a szekunder feszültség a terhelő áram hatására, ha a primer feszültség és a frekvencia állandó?
5. Mi a drop fogalma?
6. Rajzolja fel a transzformátor térelméleti helyettesítőképét!
7. Mit jelent a háromfázisú transzformátor kapcsolási csoportja?

Készítette:  
Horváth Dániel  
Villamos Energetika Tanszék  
2006