



# Elektrotechnika

## 3. Előadás

### Transzformátor 2

*„Semmi sem lehet túl szép ahhoz, hogy igaz legyen, ha megfelel a természet törvényeinek..”*

*Michael Faraday*



# Mit is tudunk ?

Transzformátor  
modellezése



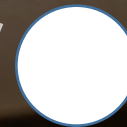
Veszteségek



Transzformátor  
üzemállapotai



Transzformátor  
konstrukció

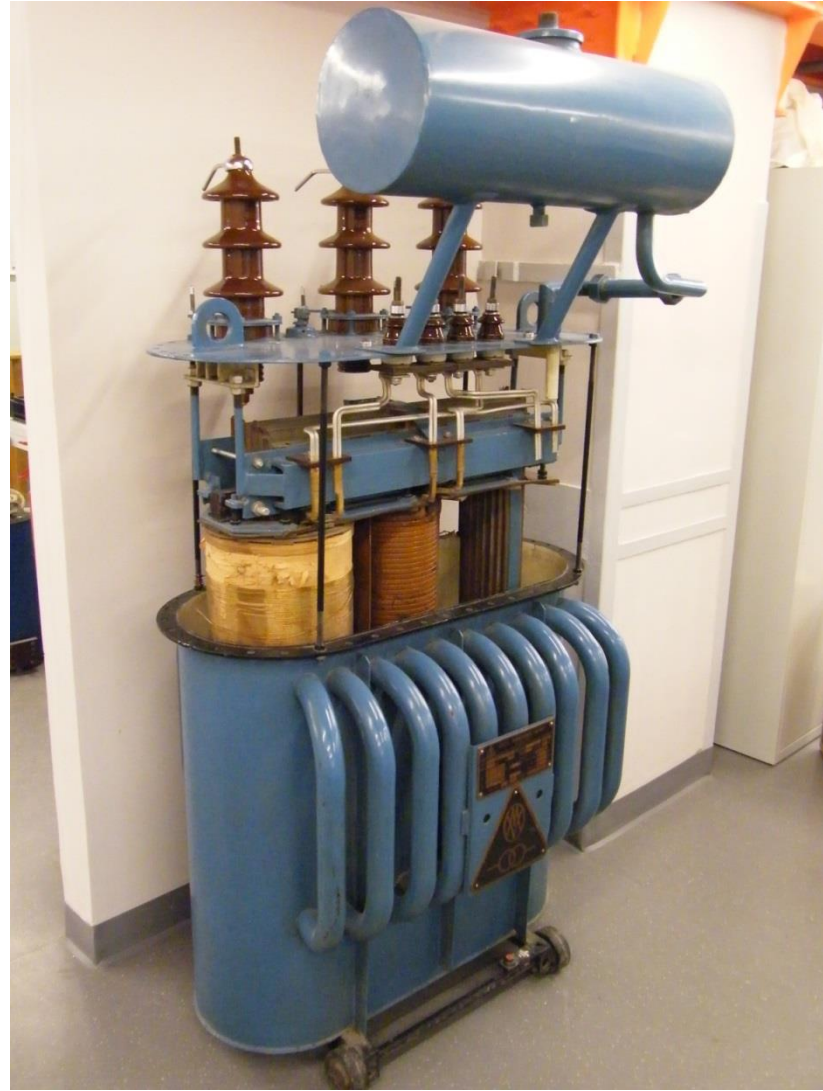


# Mi is a cél?





# Képek



# Indukált feszültség:

A transzformátor feszültsége:

$$\overline{U}_{i1m} = N_1 \frac{d\overline{\Phi}_m}{dt}, \quad \overline{U}_{i2m} = N_2 \frac{d\overline{\Phi}_m}{dt}$$

A főfluxus teljes komplex időfüggvénye:

$$\overline{\Phi}_m = \widehat{\Phi}_m e^{j\omega t} = \underbrace{\Phi_m e^{j\varphi_\phi}} e^{j\omega t}$$

Komplex amplitudó

Ezzel:

$$\overline{U}_{i1m} = j\omega N_1 \widehat{\Phi}_m e^{j\omega t}, \quad \overline{U}_{i2m} = j\omega N_2 \widehat{\Phi}_m e^{j\omega t}$$

# Indukált feszültség:

Az időfüggvények elhagyásával állandósult állapotban az indukált feszültség fazora kifejezhető a hálózati körfrekvencia,  $\omega=2\pi f$ , ahol  $f$  a hálózati frekvencia, a primer és szekunder menetszámok,  $N_1$  és  $N_2$ , valamint a főfluxus csúcsértéke,  $\Phi_m$  segítségével:

$$\hat{U}_{1i,\max} = j\omega N_1 \hat{\Phi}_m \quad \hat{U}_{2i,\max} = j\omega N_2 \hat{\Phi}_m$$

$$\frac{U_{1i,m}}{U_{2i,m}} = \frac{N_1}{N_2} = n = \text{menetszám - áttétel}$$

$\neq$  feszültség - áttétel

# Indukált feszültség:

Az indukált feszültség effektív értékét az alábbi összefüggés szerint számíthatjuk:

$$U_{i,eff} = 4,44 f N_1 \Phi_m \rightarrow \bar{U} \text{ fázor}$$

$$U_{i,eff} = \frac{U_{i,max}}{\sqrt{2}} \quad \text{csak ha szinuszos!}$$

Fenti képletet az oszlopindukcióval kifejezve kapjuk:

$$U_{i,eff} = 4,44 f N B_o A_v$$

$B_o$  az oszlopindukció csúcsértéke,  $A_v = k_g k_v A_0$

$A_v$  a vaskeresztmetszet,  $k_g$  a geometriai,  $k_v$  pedig a vaskitöltési tényezőt

$A_0$  a vasmag köré írható kör keresztmetszete.

# Indukált feszültség:

## Megjegyzések:

1.  $U_{i, eff}$  **EFFEKTÍV** érték  
 $\Phi_m$  vagy  $B_{o, m}$  **CSÚCS** érték

Nem ellentmondás:

$U_{i, eff}$  a villamos teljesítmény számításához,  
 $\Phi_m$  vagy  $B_{o, m}$  a mágneses kör méretezésének számításához szükséges.

3. A képletben szereplő állandó,  $4,44 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}}$  **csak szinuszos esetben!**



# Helyettesítő kapcsolás

Állandósult állapotbeli - vizsgálatokra alkalmas, **egyszerű, koncentrált paraméterű** helyettesítő (modellező) áramkört alkottunk meg, és pedig a szuperpozíció érdekében **lineáris, azaz állandó paraméterű - és galvanikus csatolású -** kapcsolást.

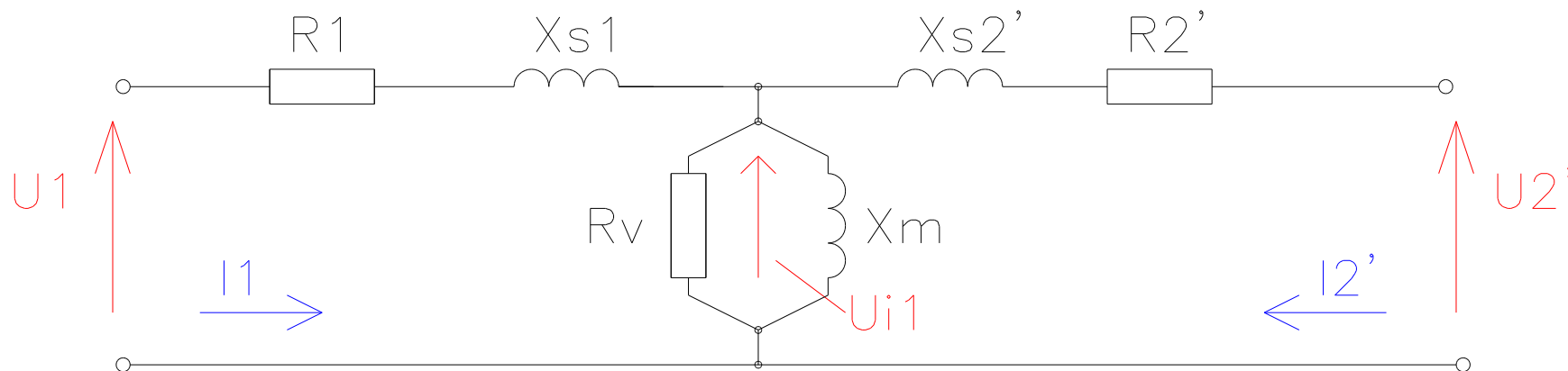
$I_2'$  ellentétes előjelű (fogyasztói pozitív irányrendszer), feszültség egyenletek szimmetrikus alakúak:

**R:** a tekercsek ohmos ellenállása.

**Xs:** a szórt fluxus által indukált feszültséget feszültség-esésként modellezi (**nem veszteség, de fázistolást eredményez**)

$$\bar{U}_1 = R_1 \bar{I}_1 + jX_{s1} \bar{I}_1 + \bar{U}_{1,i}$$

$$\bar{U}_2 = R_2 \bar{I}_2 + jX_{s2} \bar{I}_2 + \bar{U}_{2,i}$$



# Gerjesztések egyensúlyának törvénye

Mit tudunk a  $\Theta$ -ról?

$$U_1 = \text{áll} \Rightarrow U_i \approx \text{áll} \Rightarrow \Phi \approx \text{áll} \Rightarrow B \approx \text{áll} \Rightarrow \Theta \approx \text{áll}$$

$$\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$$

$$r, x \approx 0 \quad U \propto \Phi \quad \Phi \propto B \times A$$

**A gerjesztések egyensúlyának törvénye.**

$$\overline{\Theta}_1 + \overline{\Theta}_2 \approx \overline{\text{áll}} = \overline{\Theta}_{1,\text{üj}} \Rightarrow \approx \overline{0}$$

$$\overline{I}_1 + \overline{I}_2' \approx \overline{\text{áll}} = \overline{I}_{1,\text{üj}} \Rightarrow \approx \overline{0}$$

**Mert ha állandó, akkor  
szekunder áram nélkül =  
üresjárásban is közel ugyanaz**

A transzformátor - primer oldali - mágnesező árama, amely az üresen járó - nyitott szekunderű - transzformátor vasmagjában ugyanakkora főfluxust hoz létre mint terheléskor a primer és szekunder tekercsek - azok gerjesztései - együtt.

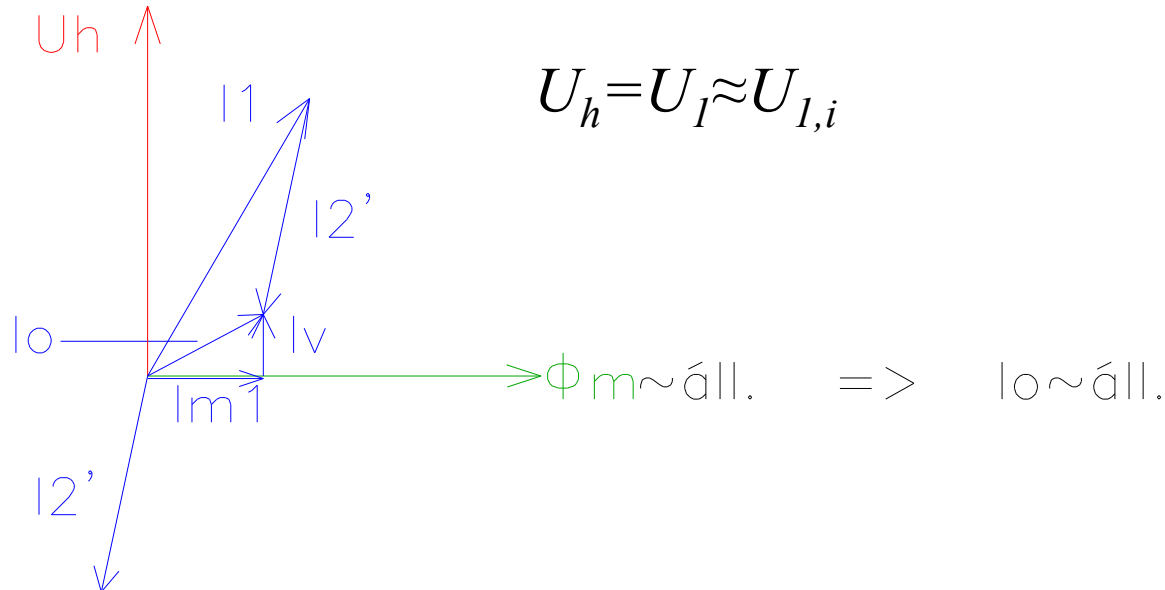
# Vektorábra:

Az állandó  $U_{1,i}$  indukálásához állandó  $\Phi_m$  főfluxus szükséges, annak létesítéséhez pedig állandó  $I_{1,0}$  üresjárású áram ill. állandó  $\Theta_{1,0} = N_1 I_{1,0}$  üresjárású gerjesztés.

Az  $U_h = \text{áll}$  hálózati feszültségkényszer tehát a transzformátor állandó üresjárású gerjesztését írja elő.

$I_2'$  nagyságát és fázisszögét a rákapcsolt terhelés határozza meg (ezért  $S_n$  a névleges teljesítménye).

$I_0$  induktív (a mágnesezés miatt). Üresjárásban rossz a fázisszög.



# Üzemállapotok:

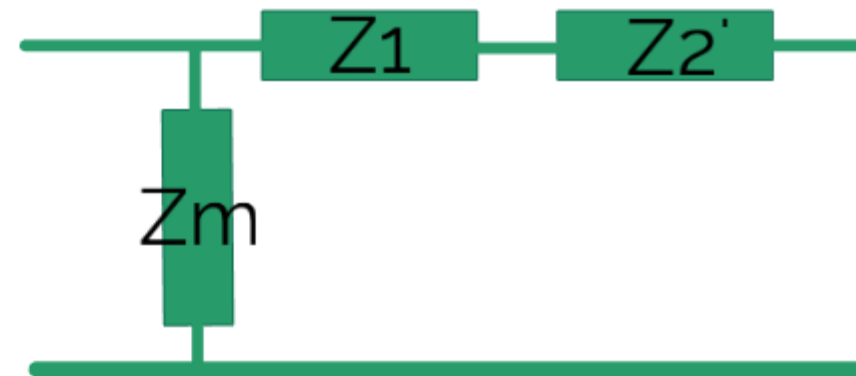
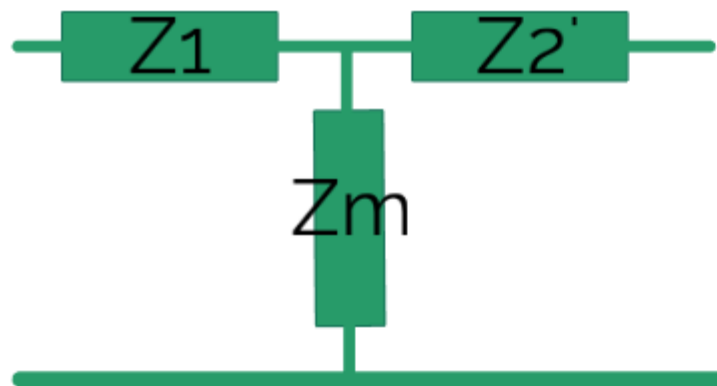
A kis primer feszültségésnek megfelelően gyakran közelítésként az áthidaló ágat a primer impedancia elé kapcsoljuk és így nyerjük az jobboldali ábrán látható ún. **"egyszerűsített helyettesítő kapcsolást"**, amelynek számos elvi és gyakorlati előnye van.

A két párhuzamos ággal **különválasztottuk a vasmag és tekercselés helyettesítő áramköröit**. Az előbbi impedanciája 5%-os üresjárású áram és névleges állapot esetén utóbbiéhoz kb. hússzorosa, így akár el is hanyagolható.

Hálózati vizsgálatoknál ezért csak a ún. "soros" ágat vesszük figyelembe ( $Z_1 + Z_2'$ ). A Drop-ot is ebből számoltuk (feszültség-esés, feszültség változás)

Üresjárásban csak a párhuzamos ág lényeges ( $Z_m$ )

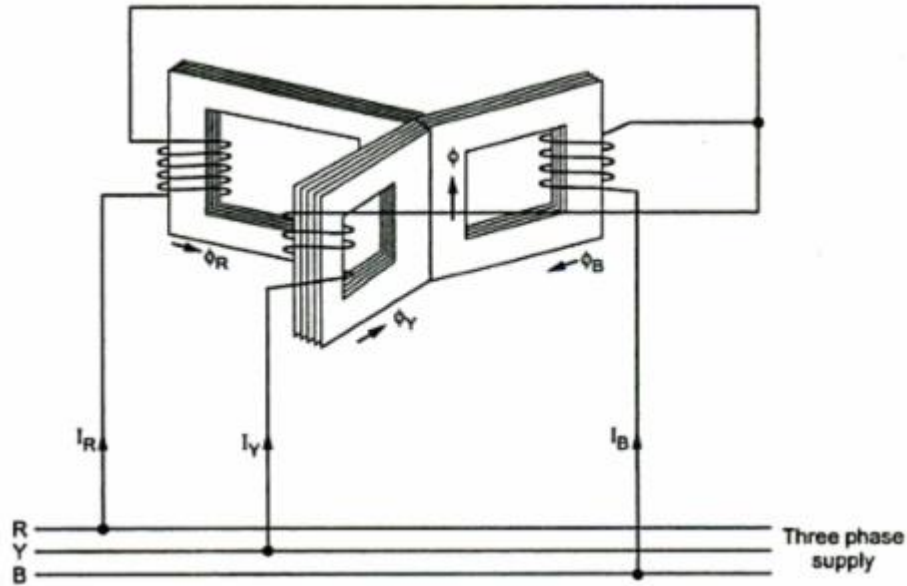
Rövidzársban a soros ág lényeges.



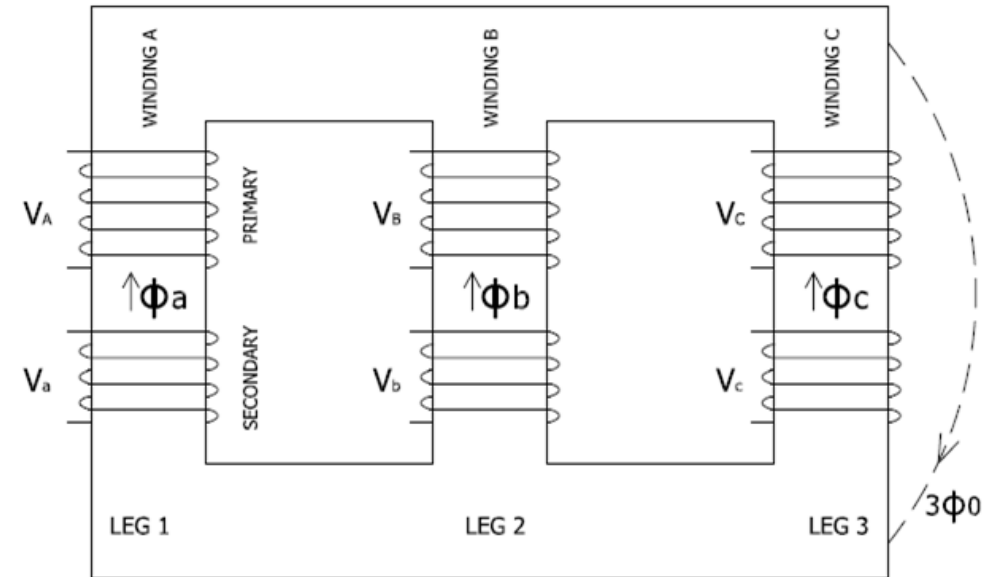


# 3 Fázisú transzformátor – Felépítés

Lehet 3 különálló 1F (cseré olcsóbb, de elsősorban szállíthatóság nehézsége esetén választják ezt)



■ 3 x 1F Tekercs fluxus kapcsolódása



■ 3F Transzformátor

■ 3 Fázisú transzformátor konstrukciója

<https://www.youtube.com/watch?v=H2hYUu8IPY0>

# 3 Fázisú transzformátor – Felépítés

A használatos **magtípus**

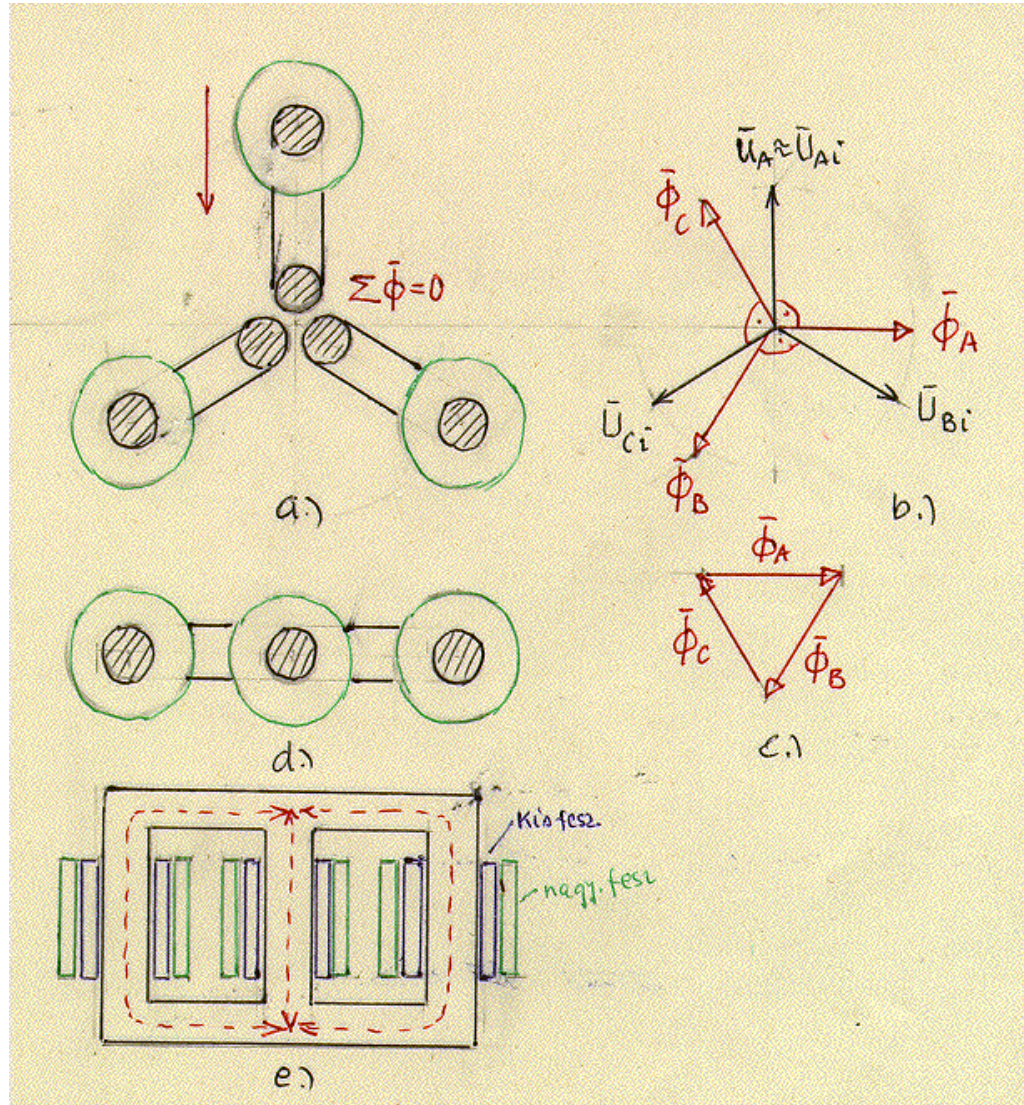
leszármaztatásához helyezzünk el három lánctípusu egyfázisú egységet szimmetrikusan, a).

A b) ábrán a hálózat szimmetrikus háromfázisú feszültségrendszerét, az azzal gyakorlatilag egyező indukált feszültségrendszert és az utóbbihoz 90°-kal késő fluxus-rendszert rajzoltunk.

A c) ábrán látható, hogy  $\sum_k \bar{\Phi}_k = \bar{0}$

Az a) ábra középső oszlopa így fluxusmentes és elhagyható.

Az egyik oszlopot a másik kettő közé betolva a d) és e) ábrákon a használatos aszimmetrikus magtípusu háromfázisu transzformátort látjuk.



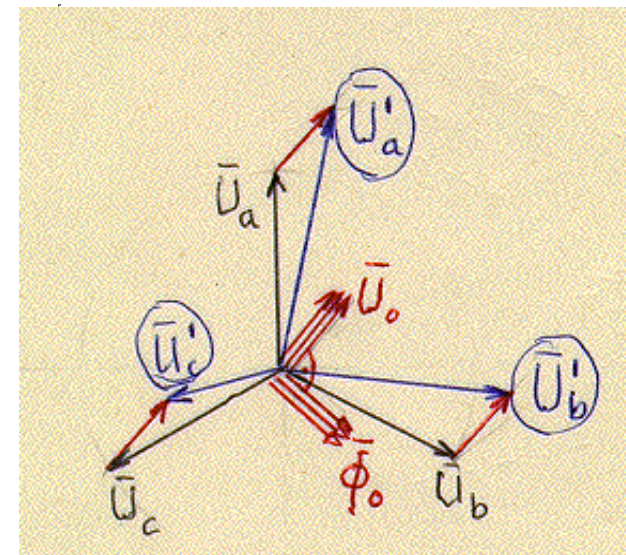
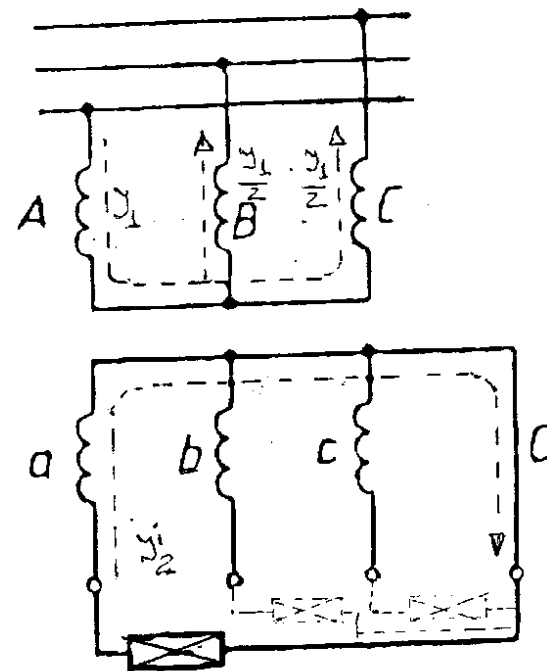


# 3 Fázisú transzformátor

A háromfázisú transzformátorok fázistekercseit **csillagba** vagy **deltába** vagy - csak a szekunder oldalon és kizárólag négyvezetékes kommunális fogyasztóknál - **zeg-zugba** kapcsolják. A kapocsjelölések cseréjével elméletileg **1296** változat lehetséges, de a gyakorlatban csak néhányat alkalmaznak.

## Melyiket válasszuk?

Problémát elsősorban az egyfázisú kommunális fogyasztók (lakások, irodák, stb.) okoznak. A kivezetett csillagponttal un. négyvezetékes rendszert nyerünk és az egyes fogyasztókat a nullavezeték és egy fáziskapocs közé kapcsolják. A fázisokat az egyes utcák, házak között elosztják. Az egyes fázisok fogyasztói csoportjai nem egyformán terhelik a hálózatot, így aszimmetrikus terheléseloszlás jön létre, ami kiegyenlítetlen gerjesztést okoz és aszimmetrikussá teszi a feszültséget a különböző fázisokon lévő fogyasztókon (egyiken nagyobb, másikon kisebb).



# 3 Fázisú transzformátor

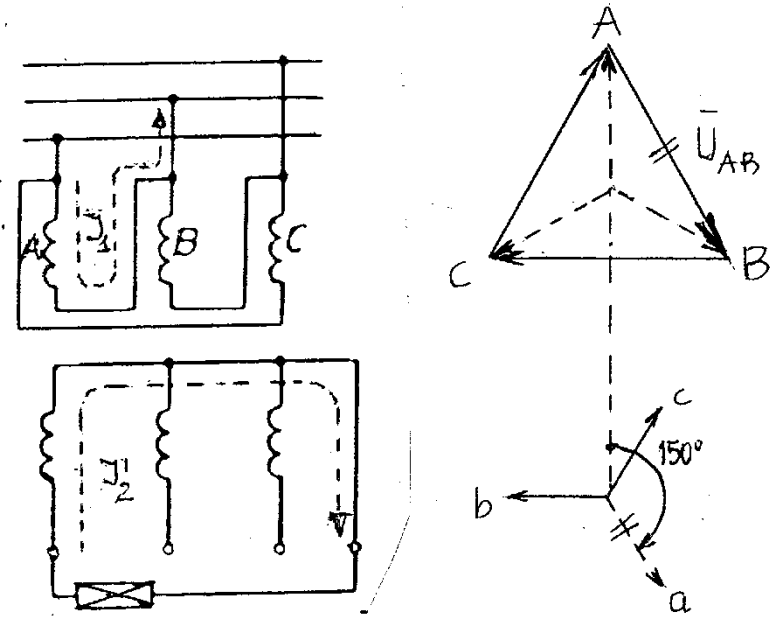
a megoldás: delta kapcsolás

## Háromszög-csillag kapcsolás

Az ábrán látható, hogy a primer fázisáram úgy folyik vissza a hálózatba, hogy másik fázistekercsen nem megy keresztül. Így **kiegyenlítetlen oszlopgerjesztések nem keletkeznek.**

A primer oldali delta kapcsolás tehát megoldotta a problémánkat. A primer háromszög kis teljesítmény és nagy primer feszültség esetén előnytelen, mert sokmenetű primer tekercset kell készíteni drága, vékony vezetőből. Készítése is drága.

Ilyenkor pl. a szekunder oldali **zeg-zug kapcsolás** lehet a megoldás, bár a hálózati mérnökök, ha lehet, kerülnek.





# 3 Fázisú transzformátor kapcsolási csoport

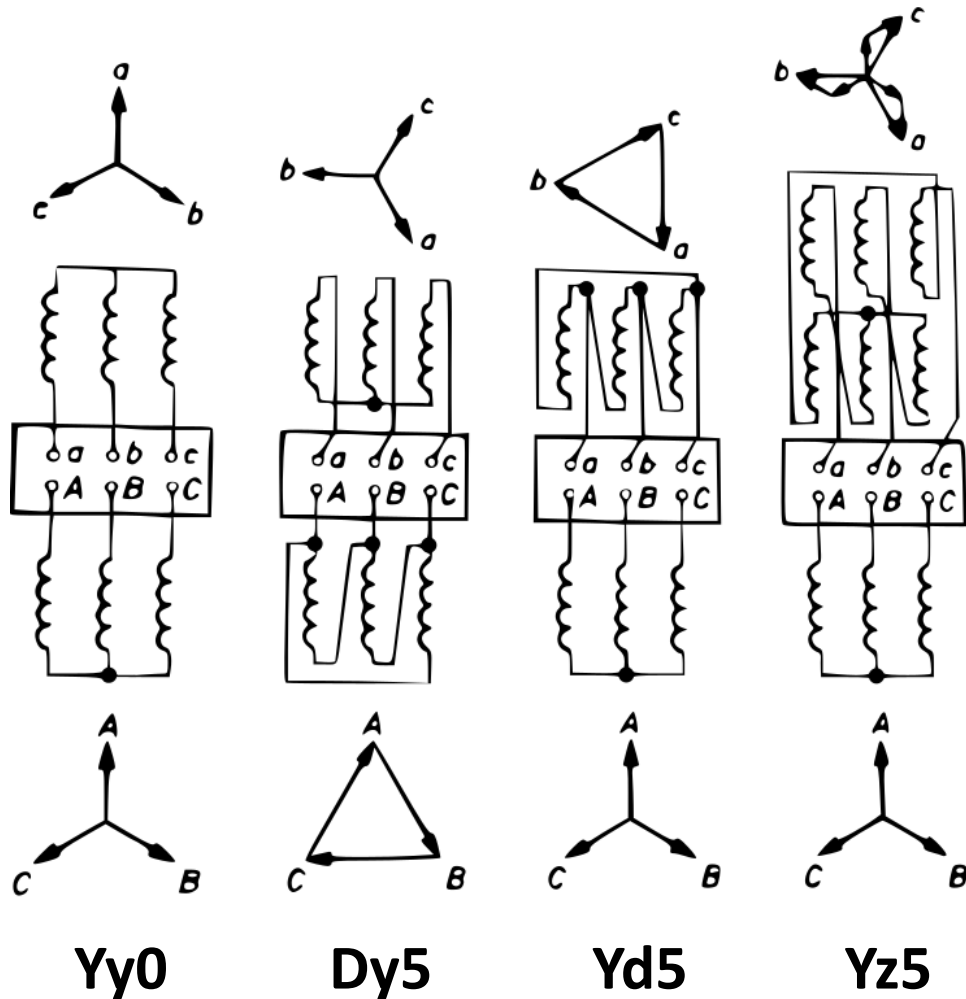
- A bemutatott kapcsolásoknál a primer és szekunder fázisfeszültségek között fázisszög eltérés van. A szimmetria viszonyokból kitűnik, hogy e fáziseltolás csak  $30^\circ$  többszöröse lehet, ezért az óraszámokkal jellemzik.
- A szögnek megfelelő óra az ún. jelölőszám. Így egy kapcsolat jele a primer kapcsolat nagybetűjétől, a szekunder kisbetűjéből és a jelölőszámból áll. A bemutatott kapcsolások sorrendjében ezek rendre:

Yy06, Dyo5

- A kis o index a csillagpont kivezetést, a nulla (negyedik) vezetékét jelöli.
- A gyakorlatban elsősorban a 0 és 5 órajelű kapcsolásokat (részben a velük ellenfázisban levő 6 és 11-eseket) alkalmazzák.

**Párhuzamosan csak olyan transzformátorokat lehet kapcsolni, amelyeknek a szekunder feszültségrendszere azonos nagyságú és fázishelyzetű fázisfeszültségekből áll (ne legyen feszültség különbség).**

# 3 Fázisú transzformátor – Kapcsolási csoportok



■ A nagybetű a nagyobb feszültségű oldalra, a kisbetű a kisebb feszültségűre vonatkozik. A szám „n” a transzformátor óraszámát jelöli ( n x 30 fok eltolás a fázisfeszültségek között ).

# Transzformátor fő méretek meghatározása (múlt órán)

1)  $S_n = 100\text{kVA}$  névleges teljesítményű egyfázisú, köpeny típusú transzformátor feszültsége  $U_1/U_2 = 5000 / 400\text{V}$ . A menetfeszültség\* effektív értéke  $U_M = 4.26$  a frekvencia  $f = 50\text{ Hz}$ .

Határozzuk meg:

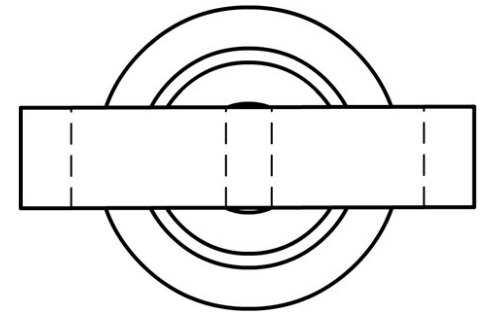
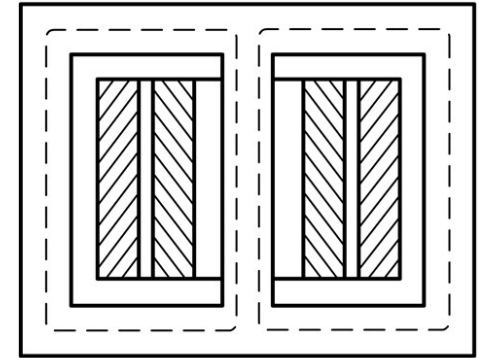
- Mindkét oldal menetszámát (  $N_1 : N_2$  )
- A tekercsek vezetőinek keresztmetszetét (  $A_1 : A_2$  ), ha az áramsűrűség  $J = 3.2\text{ A/mm}^2$
- Az oszlop tiszta vaskeresztmetszetét  $A_{0v}$ , ha az indukció csúcserőve  $B_0 = 1.4\text{ T}$

$$N_1 = \frac{U_1}{U_M} = \frac{5000}{4.26} = 1173 \quad N_2 = \frac{U_2}{U_M} = \frac{400}{4.26} = 94$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_1} = \frac{100 * 10^3}{5 * 10^3} = 20\text{A} \quad I_{2n} = \frac{S_n}{U_2} = \frac{100 * 10^3}{0.4 * 10^3} = 250\text{A}$$

$$A_1 = \frac{I_{1n}}{J} = \frac{20}{3.2} = 6.25\text{ mm}^2 \quad A_2 = \frac{I_{2n}}{J} = \frac{250}{3.2} = 78.12\text{ mm}^2$$

$$\phi = \frac{U_M}{4.44 * f} = \frac{4.26}{4.44 * 50} = 0.01918\text{ Wb} \quad A_{0v} = \frac{\phi}{B_0} = \frac{0.01918}{1.4} = 0.0137\text{ m}^2$$



\*Menetfeszültség: a főmező fluxus által a tekercselés egyetlen menetében indukált feszültség értéke.

\*\* $U_i = 4.44 * f * N * \phi$

# Transzformátor veszteségeinek meghatározása

2) Az 1) példában szereplő transzformátoron üresjárású és rövidzársú mérést végeztünk. ( Üresjárású mérésnél tápoldalként a kis feszültségű, rövidzársú mérésnél a nagy feszültségű tekercset választottuk. )

$P_0 = 900 \text{ W}$  ( üj veszteség );  $U_0 = 320\text{V}$ ;  $I_0 = 16.5\text{A}$ ;  $P_z = 1250 \text{ W}$  ;  $U_z = 240\text{V}$  ;  $I_z = 13\text{A}$

Határozzuk meg:

- Transzformátor vasveszteségét (  $P_v$  ), az üresjárású tekercsveszteség elhanyagolásával
- Transzformátor névleges tekercsveszteségét (  $P_{tn}$  )
- Az üresjárású és rövidzársú teljesítménytényező (  $\cos\varphi_0$ ;  $\cos\varphi_z$  )
- A dropot:  $\varepsilon_z$

$$P_v \sim \left(\frac{U_n}{U_0}\right)^2 * P_0 = \left(\frac{400}{320}\right)^2 * 900 = 1406 \text{ W} \quad (\text{Közelítés } P_v \sim U^2) \quad (*) \quad \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 * I_0} = \frac{900}{320 * 16.5} = 0.1704$$

$$P_{tn} \sim \left(\frac{I_n}{I_z}\right)^2 * P_z = \left(\frac{20}{13}\right)^2 * 1250 = 2956 \text{ W} \quad (\text{Közelítés } P_{tn} \sim I^2) \quad \cos\varphi_z = \frac{P_z}{U_z * I_z} = \frac{1250}{240 * 13} = 0.4006$$

$$U_{zn} = U_z * \frac{I_n}{I_z} = 240 * \frac{20}{13} = 369.2 \text{ V} \quad \varepsilon_z = \frac{U_{zn}}{U_1} * 100 = \frac{369.2}{5000} * 100 = 7.384\%$$



# Transzformátor hatásfokának meghatározása

3) Az 1) példában szereplő transzformátort a kifestültségű oldalon  $Z = R + j \cdot X = 1.2 + j \cdot 1.5 \Omega$  értékű impedanciával terheljük.

Határozzuk meg:

a) Transzformátor hatásfokát

$$I_2 = \frac{U_2}{Z} = \frac{400}{1.2 + j \cdot 1.5} = 130 - j \cdot 162.6 A$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot R = 208^2 \cdot 1.2 = 51920 W$$

$$|I_2| = \sqrt{130^2 + 162.6^2} = 208 A$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{1.2}{\sqrt{1.2^2 + 1.5^2}} = 0.625$$

$$P_t = P_{tn} \left( \frac{I_2}{I_n} \right)^2 = 2956 \cdot \left( \frac{208}{250} \right)^2 = 2046 W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_v + P_t} \cdot 100 = \frac{51.92}{51.92 + 1.406 + 2.046} \cdot 100 = 93.72\%$$

# 3 Fázisú Transzformátor számítása I.

3) 3 Fázisú Dy5 kapcsolású transzformátor adatai a következők.

$S_n = 40 \text{ kVA}$ ;  $U_1/U_2 = 10 / 0.4 \text{ kV}$ ;  $P_0 = 0.195 \text{ kW}$  (űj veszteség);  $I_0 = 0.04 I_n$ ;  $P_z = 1.1 \text{ kW}$ ;  $\epsilon_z = 4.5\%$ ;  $B_0 = 1.67 \text{ T}^*$   
 $A_0 = 65,4 \text{ cm}^2$  (vasmag oszlopának tiszta vaskeresztmetszete)

Határozzuk meg:

- űj és rz teljesítménytényezőt (  $\cos\varphi_0$  és  $\cos\varphi_z$  )
- Fázisonkénti összes ellenállást és szórást
- A primer oldal fázisonkénti ellenállását (  $R_1$  ), ha a közepes menethossz  $l_{k1} = 0.567 \text{ m}$ , a huzal keresztmetszete  $A_1 = 0.503 \text{ mm}^2$  és a fajlagos ellenállás  $\rho_{20} = 0.024 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_1} = \frac{40 * 10^3}{1.73 * 10^4} = 2.312 \text{ A} \quad I_{1nf} = \frac{I_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{2.312}{1.73} = 1.336 \text{ A} \quad I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_2} = \frac{40 * 10^3}{1.73 * 400} = 57.8 \text{ A}$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} * U_0 * I_0} = \frac{195}{1.73 * 400 * 0.04 * 57.8} = 0.1218$$

$$U_{zn} = \frac{\epsilon_{zn} * U_1}{100} = \frac{4.5 * 10^4}{10^2} = 450 \text{ V}$$

$$\cos\varphi_z = \frac{P_z}{\sqrt{3} * U_{zn} * I_{zn}} = \frac{1100}{1.73 * 450 * 2.312} = 0.6111$$

\* Oszlop indukció csúcsértéke

# 3 Fázisú Transzformátor számítása II.

$$P_z = 3 * I_{1nf}^2 * R \Rightarrow R = \frac{P_z}{3 * I_{1nf}^2} = 205.4 \Omega \text{ (fázisonkénti összes ellenállás)}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_z = \frac{X_s}{R} \Rightarrow X_s = R * \operatorname{tg} \varphi_z = 205.4 * 1.294 = 265.8 \Omega$$

$$U_M = 4.44 * f * B_0 * A_{0v} = 4.44 * 50 * 1.67 * 65.4 * 10^{-4} = 2.425 \text{ V/Menet (menetfeszültség)}$$

$$N_1 = \frac{U_1}{U_M} = \frac{10^4}{2.425} = 4124 \quad N_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3} * U_M} = \frac{400}{1.73 * 2.425} = 95.3$$

$$R_1 = \rho_{20} * N_1 * \frac{l_{k1}}{A_1} = 0.024 * 4124 * \frac{0.567}{0.503} = 111.6 \Omega$$

# Képek

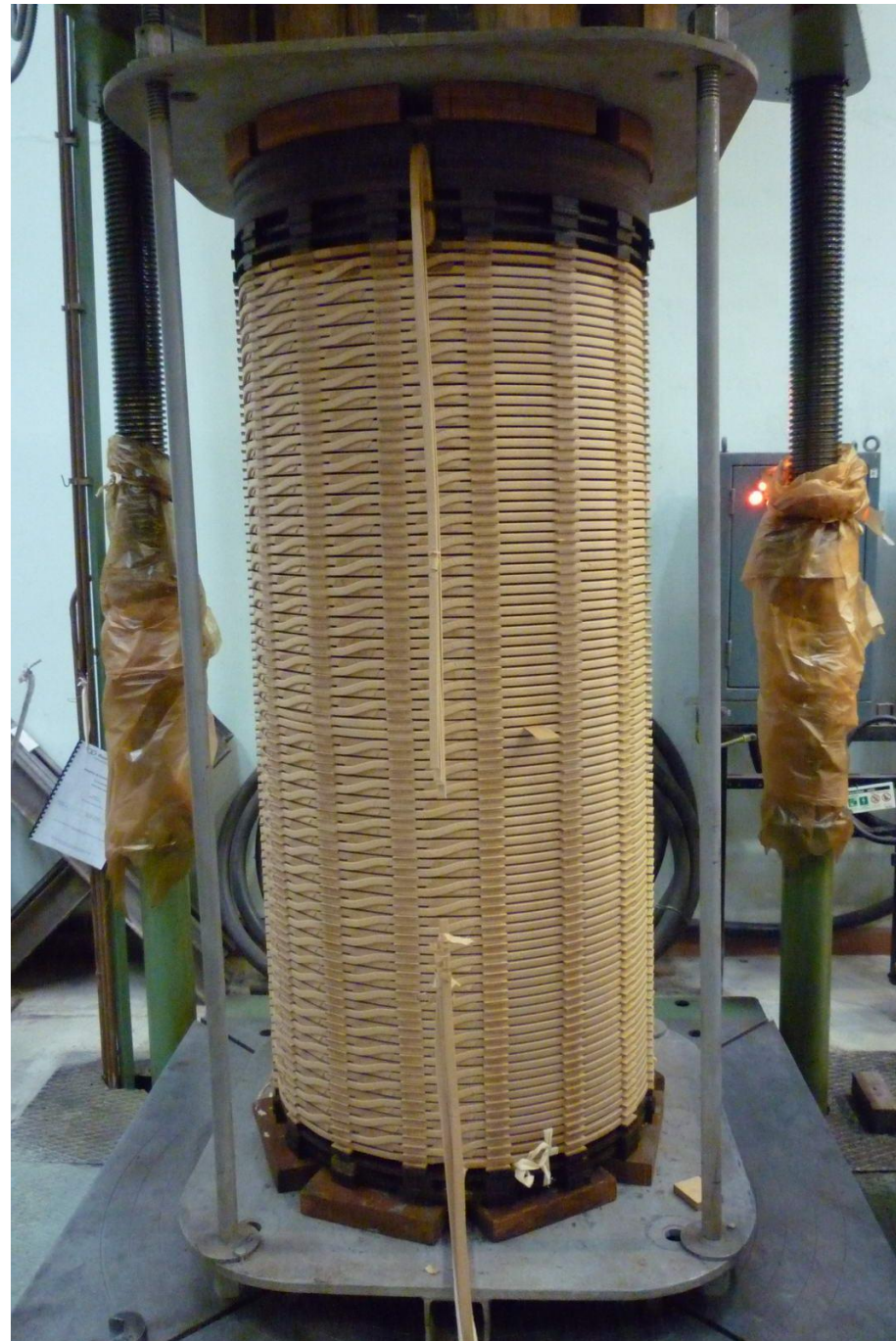




# Képek



# Képek



---

**Kérdés?**

**Q & A**