

$$Q = CU$$

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Párhuzamos kapcsolás:

$$C_p = \sum_{i=1}^n C_i$$

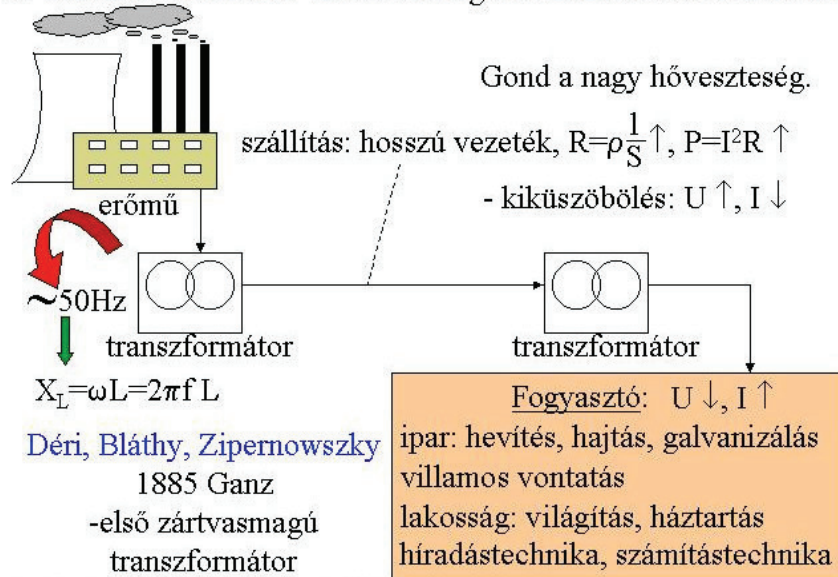
Soros kapcsolás:

$$\frac{1}{C_s} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

4. Villamos gépek

4.1. Transzformátorok

A transzformátornak a villamosenergia átvitelében van fontos szerepe.



80. ábra

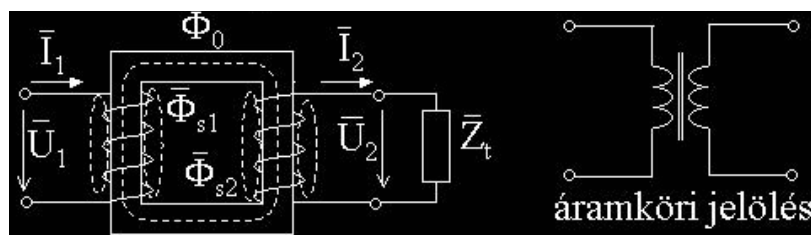
4.1.1. Egyfázisú transzformátorok

Működési elve az indukción alapszik, azaz:

$$u_i = N \frac{d\Phi}{dt}$$

A transzformátor vasmagját lemezelten készítik, hogy csökkentsék a veszteségeket. A vasmag formája szerint több fajta is lehet:

- mag
- láncszem
- köpeny



81. ábra

$$\Phi_0 = \Phi_{0max} \cdot \sin \omega t$$

És indukció törvényt felhasználva:

$$u_{i1} = N_1 \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = N_1 \cdot \Phi_{0\max} \cdot \cos \omega t$$

$$u_{i2} = N_2 \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = N_2 \cdot \Phi_{0\max} \cdot \cos \omega t$$

Az indukált feszültség maximuma:

$$u_{i\max} = 2\pi f N \Phi_{0\max}$$

$$u_i = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f N \Phi_{0\max} = 4,44 \cdot f N \Phi_{0\max}$$

Azaz az indukált feszültség:

$$u_{i1} = 4,44 f N_1 \Phi_{0\max}$$

$$u_{i2} = 4,44 f N_2 \Phi_{0\max}$$

A menetszámáttétel nem más, mint a menetszámok aránya:

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

Az indukált feszültségek aránya megegyezik a menetszámáttétellel. Ezt hívjuk feszültségáttétellek:

$$a_u = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = a = \frac{N_1}{N_2}$$

Ezt az áttételt üresjárásban mérve:

$$U_{i2} = U_{20}$$

$$U_{i1} \approx U_1$$

$$a_u \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$

Az áramáttétel a feszültségáttétel reciproka:

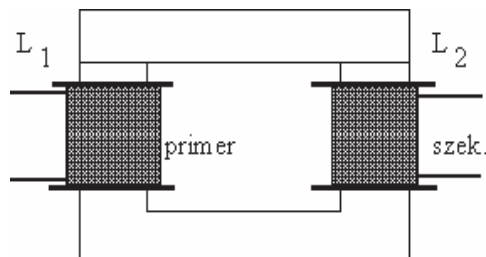
$$U_{i1} \cdot I_1 = U_{i2} \cdot I_2$$

$$a_i = \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_{i2}}{U_{i1}} = \frac{1}{a_u} = \frac{1}{a}$$

Az impedanciaáttétel:

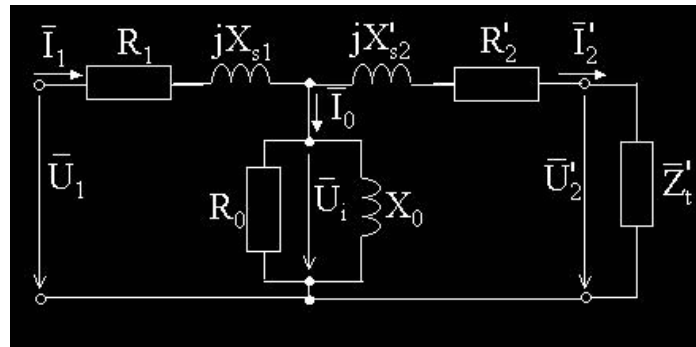
$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\frac{U_1}{I_1}}{\frac{U_2}{I_2}} = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{I_2}{I_1} = a^2$$

4.1.1.1. Egyfázisú transzformátor szerkezete



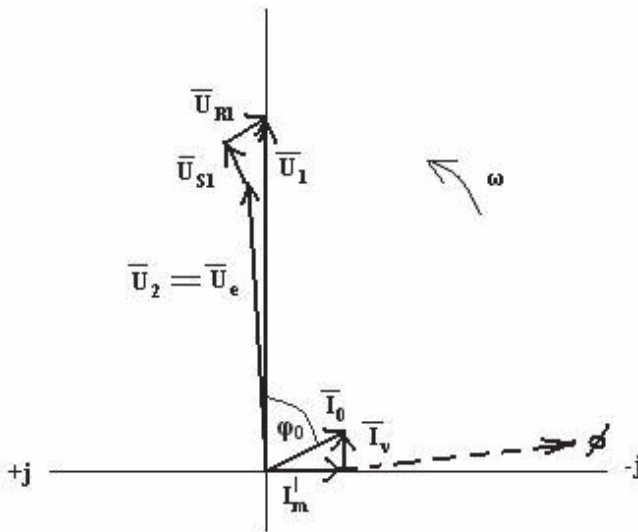
82. ábra

4.1.1.2. Helyettesítő kapcsolási vázlat

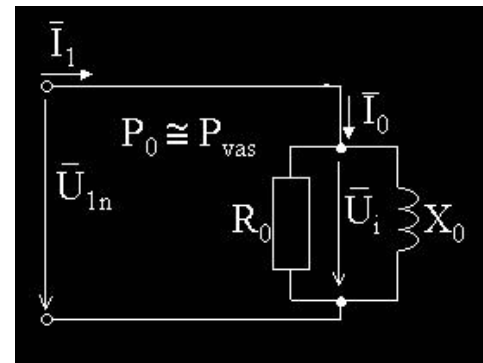


83. ábra

4.1.1.3. Üresjárás



84. ábra



85. ábra

$\cos \varphi \sim 0,1$

$$I_2' = 0 \Rightarrow \bar{U}_2 = \bar{U}_e$$

$$\bar{U}_e + \bar{U}_{S1} + \bar{U}_{R1} + \bar{U}_1 = 0$$

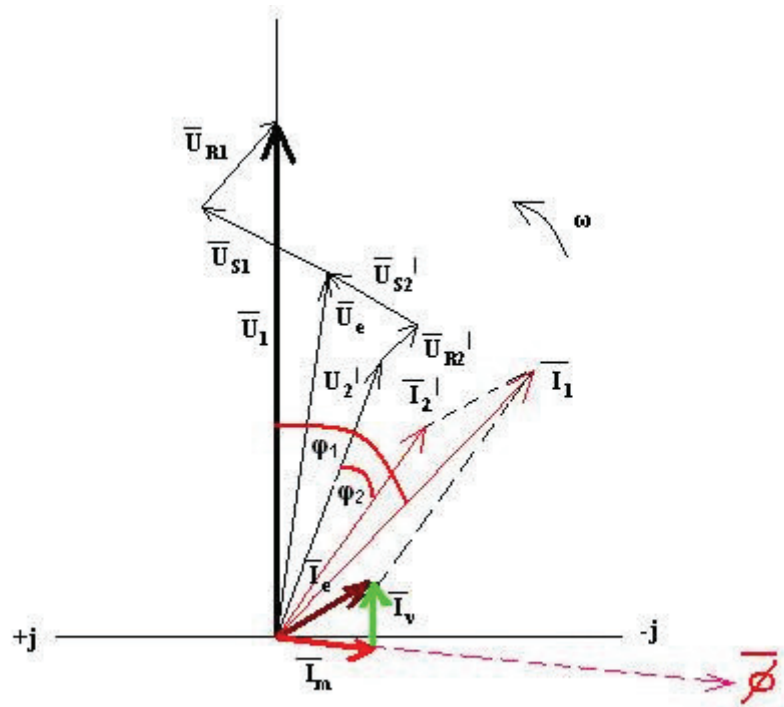
$$\bar{U}_e = -\bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1}$$

ahol:

- U_1 : primer kapcsolási feszültség
- I_v : üresjárásos áram wattos komponense
- I_m : üresjárásos áram meddő komponense
- I_0 : üresjárásos primer áram
- F_0 : üresjárásos fázis szög (a $\cos \varphi_0$ üresjárásos teljesítmény tényező értéke 0,1)
- U_{R1} : primer tekercs ellenállásán eső feszültség
- U_{S1} : primer tekercs reaktanciáján eső feszültség
- U_e : főfluxus által indukált feszültség

A főfluxus által indukált feszültséget úgy kapjuk meg, hogy az U_1 primer kapcsolási feszültségből levonjuk az üres járásos áram által a primer tekercs ellenállásán és szórási reaktanciáján okozott feszültségeket. Az ohmos feszültség fázisban van az üres járásos árammal, a szórt fluxus által indukált feszültség pedig negyed periódussal siet.

4.1.1.4. Terhelés



86. ábra

$$I_2' \neq 0$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1}$$

$$\bar{U}_2' = \bar{U}_e - \bar{U}_{S2}' - \bar{U}_{R2}'$$

Terheléskor a szekunder kapcsokra fogyasztókat kapcsolunk. A fogyasztókon és a szekunder tekercsen keresztül megindul az I_2 szekunder áram, illetve a helyettesítő kapcsolási vázlat redukált szekunder tekercsén keresztül az I_2' redukált szekunder áram. Nagyságát és fázisát a fogyasztók szabályák meg. A fogyasztók általában wattos és meddő teljesítményt is fogyasztanak. Ezért I_2 , illetve I_2' általában késik a szekunder kapocsfeszültség mögött.

A megterhelt transzformátor I_1 primer árama nagyobb, mint az I_0 üresjárási primer áram és más a fázisa. Ezért megváltoztak a primer áram által a primer tekercs ellenállásán és szórási reaktanciáján okozott feszültségesések is:

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1$$

$$U_{S1} = j \cdot S_1 \cdot I_1$$

Ezért változatlan U_1 primer kapocsfeszültség esetén kis mértékben megváltozik U_e is.

$$U_e = U_1 - I_1 \cdot R_1 - j \cdot X_{S1} \cdot I_1$$

Rövidebben jelölve:

$$U_e = U_1 - U_{R1} - U_{S1}$$

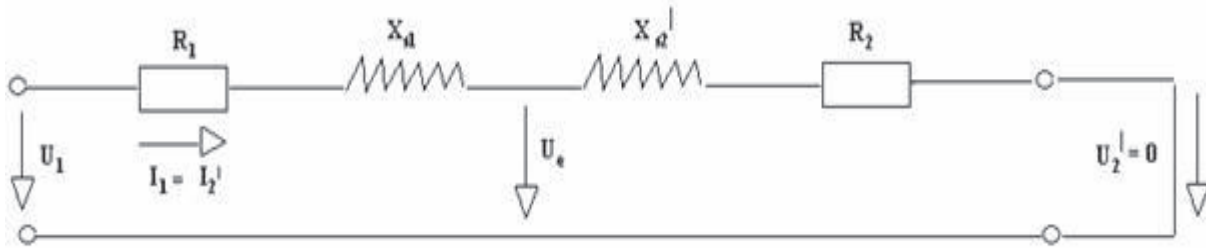
A redukált szekunder kapocsfeszültség:

$$U_2' = U_e - j \cdot X_{S2}' \cdot I_2' - R_2' \cdot I_2'$$

Rövidebben jelölve:

$$U_2' = U_e - U_{S2}' - U_{R2}'$$

4.1.1.5. Rövidzárás



87. ábra

Rövidzárási állapot az üresjárásával ellentétes szélső terhelési állapot. A szekunder kapcsokat rövidre zárjuk, de ez az állapot nem üzemzerű állapot! Hosszú ideig nem tartható fent mert a tekercsekben folyó áramok erőssége 10-25-szor nagyobb, mint névleges terhelés esetén. Ez az állapot a transzformátor tönkremenetelét okozhatja ezért védelmeket (pl. biztosítók) kell beépíteni. A lekapcsolásnak olyan rövid idő alatt kell megtörténnie, hogy a tekercsek nem éghetnek el, mert nincs idejük felmelegedni. A primer, illetve szekunder árammal arányosan megnőnek azonban a szórt fluxusok. A szórt fluxusok nagy mechanikai erőt fejtenek ki a tekercsre a rövidzárási állapotban, ezért a mechanikai méretezésnél figyelembe kell venni.

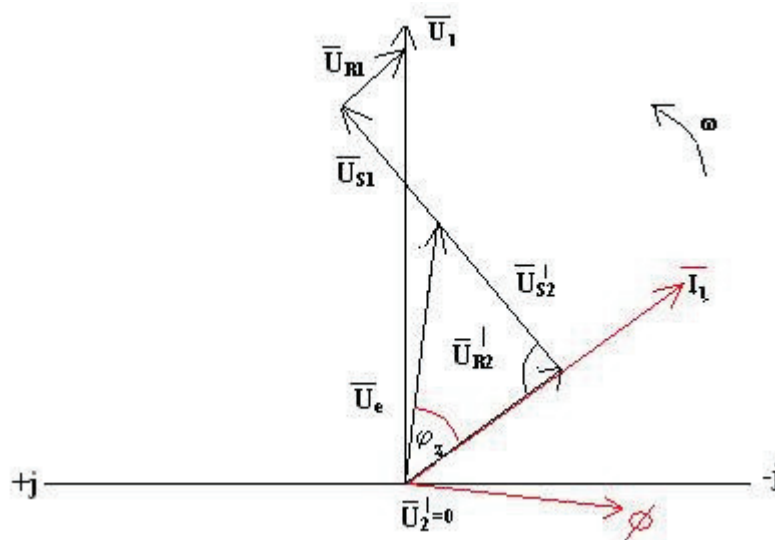
$$I_1 = I_2' = \frac{\bar{U}_1}{R_1 + jX_{S1} + R_2' + jX_{S2}}$$

$$I_{1rz} \approx I_{1n} \cdot 10 \div 30$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_{R2}' + \bar{U}_{S2}'$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1}$$

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_{R2}' + \bar{U}_{S2}' + \bar{U}_{S1} + \bar{U}_{R1} \Rightarrow \bar{U}_e \approx \frac{\bar{U}_1}{2}$$



88. ábra

4.1.1.6. Drop (százalékos rövidzárási feszültség)

$$\varepsilon = \frac{U_{1rz}}{U_{1n}} \cdot 100\% = \frac{I_{1n}}{I_{1rz}} \cdot 100\%$$

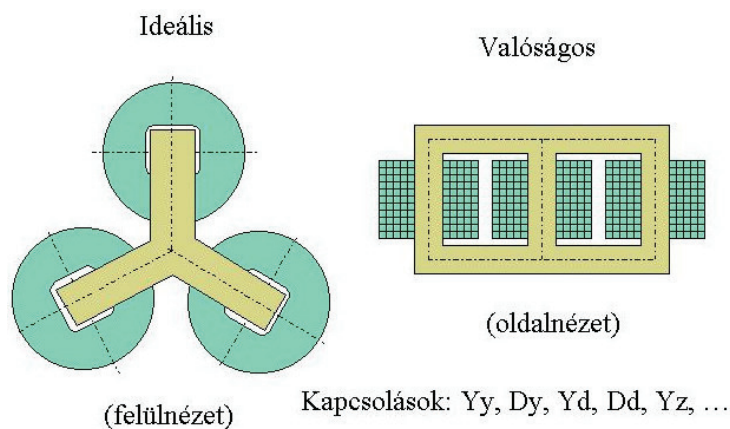
A drop kiszámításával a transzformátor maximális terhelési értékét lehet meghatározni.

A rövidzárási feszültségnek a névleges primer feszültséghez viszonyított értéke százalékos értékben kifejezve. A rövidzárási mérés a rövidzárási feszültség és a tekercs veszteség meghatározására szolgál.

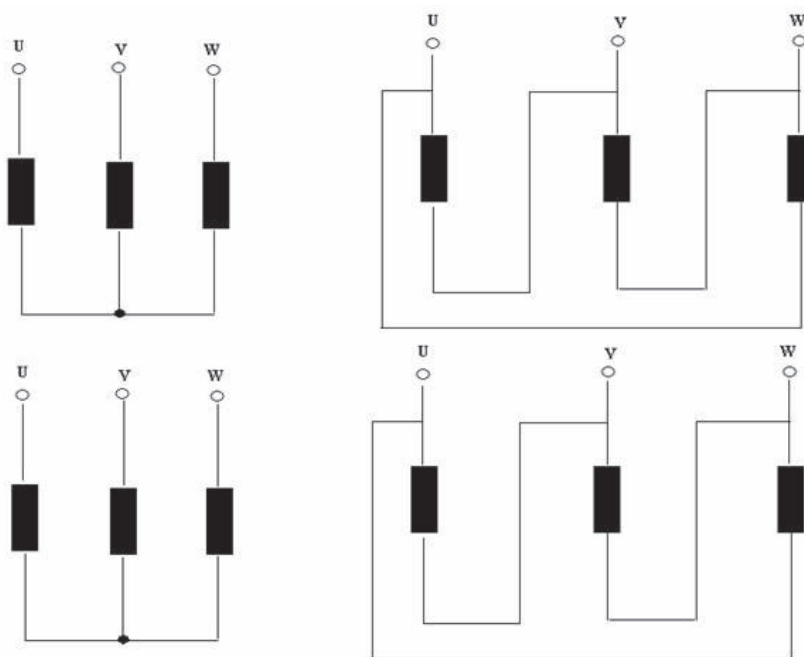
Amennyiben egy transzformátor terhelését növelni kívánjuk akkor figyelembe kell venni a droppet, mert a kis drop értékű transzformátor túlterhelődik melegszik és tönkremegy. Ezért általában a transzformáto-

rokat illik úgy méretezni, hogy ezen értékben még maximális terhelés esetén is 10-20% -os tartaléka legyen.

4.1.2. Háromfázisú transzformátorok



89. ábra



90. ábra

Y / Y

Δ/Δ

4.1.2.1. Csillag-csillag kapcsolású transzformátor

A primer oldalon nincs „0” vezető (szabványos nagyfeszültségű rendszerek). A kiegyenlítő áram a fázistekercseken keresztül tud folyni oly módon, hogy mindegyik üresjárási áramhoz hozzáadódik a kiegyenlítő áram egy-harmada.

A primer fázis tekercsben a szükséges gerjesztő áramon kívül még a kiegyenlítő áram egy-harmada is folyik melyek minden fázistekercsben azonos fázisúak. Ezek az áramok a szabályos (szimmetrikus) háromfázisú fluxuson felül minden oszlopban azonos fázisú fluxust gerjesztenek. A fluxusok azonos fázisa azt jelenti, hogy irányuk mindhárom oszlopban felfelé, majd egy fél periódus idő múlva lefelé mutat.